

国防科工委重点教材建设计划立项教材

火炮概论

谈乐斌 张相炎 管红根 陈新 戴劲松 陈常顺 编

北京理工大学出版社

内 容 简 介

本教材较全面地概述现代火炮系统的基本知识、火炮系统的构造原理和结构特点，重点介绍火炮基本构造和工作原理、火炮关键部件设计原理和作用，适当介绍最近几十年来火炮技术发展起来的新结构、新原理、新概念、新方法，简要介绍弹道学、炮用弹药和火炮火控系统等内容。体现现代战争对火炮提出的新要求、当前世界火炮的新技术和发展趋势及现代化部队的新装备状况。

本教材内容系统完整、针对性强。作为高等院校地面武器机动工程专业的教材，也可供常规兵器行业的科技和工程管理人员参考。

序

火炮自动武器是当今世界各国军队陆、海、空装备数量最多，使用最频繁的武器种类，具有毁伤威力大、持续战斗力强、抗干扰能力强、目标特征小、攻防性能兼备、反应速度快、操作维护简易、可靠性好、造价低廉、弹药种类丰富等特点，是其他任何武器不可替代的，在现代及未来战争中具有举足轻重的作用。随着高新技术在战场上的大量应用，战争形式在不断发生变化。未来战场对火炮的战术技术性能提出新的要求，促使火炮领域发生深刻的变化。各国在发展火炮自动武器的过程中，均以提高其射程、射速、威力、精度、快速反应能力和生存能力等综合作战性能为目标，将高新技术应用于常规武器，大幅度提高其战术技术性能，使军队作战能力成倍增长。

毋庸置疑，课程和教材建设是培养合格专业人才的基本保证。《火炮概论》是火炮专业的一门专业基础课，也是专业基础课中的主干课，它与后续的专业理论课程有着密切的联系，是进一步学习火炮设计、工艺和测试等专业课的基础。1992年出版的《火炮概论》教材的特点是：地面炮以56式85mm加农炮为重点，高射炮以59式57mm高射炮为代表而拓宽展开的。经过最近几十年火炮技术的发展，新结构、新原理、新概念、新方法不断涌现，如身管新材料的应用，新型反后坐装置的研制成功，组合炮闩的新结构，智能弹的多样化，新概念发射原理的深入研究等等，因此1992年出版的《火炮概论》在内容上、形式上都需要更新，以反映当今国内外火炮科研新成就和火炮发展新趋势，以满足本专业以及相关专业的迫切需求。

这本《火炮概论》教材是在继承传统教材的基础上，广泛吸收近十年来国内外武器装备的研究成果，力求反映现代火炮技术发展进步的概貌。书中既说历史，又说现状，给了我们一个火炮系统的完整概念；既有典型分析，又有综合论述，给了我们举一反三、深入思考的启迪；既讲结构原理，又讲设计思想，给了我们加深理解、发展创造性思维的空间。我想这本书不仅是专业的教材，还可以作为专业技术人员的参考，并在普及国防教育中发挥积极的作用。

邱凤昌

2003年9月 于南京

前 言

这本《火炮概论》教材较全面地概述现代火炮系统的基本知识、火炮系统的构造原理和结构特点,体现现代火炮的新技术和现代化部队的新装备状况,为进一步学习火炮的专业知识打好基础。

全书共分5篇19章,第一篇概述包含四章。讲述火炮系统的概念、火炮发展历史、火炮的分类、火炮战术技术要求和火炮的主要组成,重点介绍现代火炮现状和火炮发展趋势、火炮战术技术要求的重要性及现代作战方式和战术思想对火炮战术技术指标提出的新要求。

第二篇火炮工作原理及基本结构包含五章。第一章以传统火炮的工作原理讲述火炮发射原理、发射过程及发射特点,介绍火炮射击和瞄准的基本知识以及现代战争对火控系统的要求,介绍弹道学的基本原理及其研究状况。第二至第五章分述炮身、反后坐装置、自动机和架体,介绍炮身各组成部件的结构特点、身管设计基本知识和身管工艺要求、牵引火炮炮门的工作原理和结构组成及特点、炮尾结构特点和各种炮口装置的功能等;介绍复进机和制退机及复进节制器的工作原理、典型结构形式以及变后坐制退机等在火炮设计中的最新应用;介绍自动机的自动工作原理和自动循环、自动机的结构形式、典型的加速机构和供输弹机构;介绍炮架架体、方向机和高低机、平衡机及牵引火炮运行部分的结构形式和结构特点;介绍高射火炮特别是小口径高射火炮在现代战争中的作用和发展趋势;介绍榴弹炮特别是远射程榴弹炮发展状况。

第三篇包含四章,分述自行火炮、坦克炮、反坦克炮和牵引火炮的结构及性能特点;现代自行火炮、坦克炮、反坦克炮和牵引火炮在战争中的作用、装备现状和未来发展趋势等。

第四篇包含四章,分述舰炮、航炮、特种炮和新概念火炮的结构及其特点;舰炮在我国近海防御中的作用;舰炮的装备现状及未来发展趋势;航炮降低后坐力技术;迫击炮和无后坐炮的结构及性能特点;无后坐原理;迫击炮的发展趋势。在分析传统火炮的局限性的基础上,介绍使用能源和工作原理与传统火炮存在较大差异的新概念火炮,包括外喷式、整装式和再生式液体发射药火炮的工作原理及特点,典型的电磁炮和电热炮的工作原理及特点;液体发射药火炮、电磁炮和电热炮的研究现状和关键技术。

第五篇包含两章,分述炮用弹药和火控系统的基本知识,介绍火炮使用的弹药(炮弹,炮射导弹)的组成及各组成部分的功能,炮弹的分类及其作用原理;引信的组成、分类及各类引信的工作原理;炮用火炸药的作用、性质、分类及要求,炮用装药结构对火炮的影响;新型弹药的研究和应用。讲述火控系统在火炮系统和现代作战中的作用和任务,典型火控系统的组成、分类、特点及发展概况;介绍雷达探测系统、光电探测系统、声探测系统的原理、组成及装备现状或应用;介绍火炮指挥控制系统的信息收集、处理、传输和利用等全过程;典型火炮随动系统的基本组成、工作原理特点和应用。

全书在讲述火炮基本知识和基本原理的同时,始终体现现代科技在火炮中的运用,体现现代战争对火炮提出的新要求及当前世界火炮的新技术和发展趋势,反映国内外火炮行业科研的新成果。

本书作为高等院校地面武器机动工程专业的教材,也可供常规兵器行业的科技和工程管

理人员的参考书籍。归纳起来具有如下特点：

1. 重点介绍火炮技术发展过程,使学生了解火炮在现代战争中的地位和作用以及火炮技术发展趋势,使学生对火炮系统有一个比较全面的认识,尤其是感性认识,具有一定的火炮、弹药、火控系统的基本概念和基本知识。

2. 重点介绍火炮基本构造和工作原理、火炮关键部件设计原理和作用。教材中附有大量典型结构原理图。

3. 适当介绍最近几十年来火炮技术发展起来的新结构、新原理、新概念、新方法,使学生了解当今世界火炮发展的趋势。

4. 简要介绍弹道学、炮用弹药、火炮火控系统和激光武器等内容。

5. 本书的编写人员是多年承担《火炮概论》教学任务,参与火炮科研研究和型号研制的教授、学者,具有丰富的教学经验和科研能力,教材内容系统完整、针对性强。

冷战结束后,苏联解体、北约东扩,以往两大军事集团相互对峙的局面已不复存在,世界局势发生了很大变化。但世界并不太平,被冷战铁幕掩盖下的各种民族矛盾、宗教矛盾和边界争端时有发生,地区性冲突不断爆发。海湾战争、科索沃战争标志着一场新军事技术革命已经到来。美国“9.11”事件进一步说明,反恐战争等非对称作战将会是未来战争的主要样式之一。广大军事理论学者普遍认为,在今后相当长的一段时期内爆发全球性核大战的可能性很小,战争样式将会是在高技术条件下的具有突发性的中、低强度常规局部战争。一切武器装备必须及时适应战争样式的改变。我国也必须及时适应战略的变化,大力发展适合未来战争需要的生存能力强、战略机动性好的武器装备。

第一篇、第三篇一至三章由谈乐斌编写,第二篇第一章、第四篇第四章由张相炎编写,第二篇二至五章、第三篇第四章由管红根编写,第四篇第一章、第三章由陈新编写,第四篇第二章由戴劲松编写,第五篇第一章由陈常顺编写,第五篇第二章由陈新、戴劲松合编,全书由谈乐斌统稿。

由于编者水平有限,加上时间仓促,故书中缺点和错误难免,请大家批评指正。

本书的编写和出版过程中得到各级主管部门的领导和同志们的关心和帮助,承蒙马福球、孟慎非两位研高工对本书初稿进行了认真评阅,无论是章节段落之总体结构还是文字符号等具体细节,两位审稿人提出了许多宝贵意见,减少了本书的谬误,编者对他俩以及所有关心帮助本书出版的人深表谢意。

编者

2003年9月于南京

目 录

第一篇 概述 1

第一章 火炮与火炮系统 1

第一节 火炮 1

第二节 火炮系统 3

第二章 火炮发展简史 4

第一节 古代火炮 4

第二节 典型的现代火炮 5

第三节 未来火炮 7

第三章 火炮分类 8

第四章 火炮战术技术要求 10

第二篇 火炮工作原理及基本结构 16

第一章 火炮的工作原理 16

第一节 火炮发射原理及其特点 16

第二节 弹道学简介 18

第三节 火炮射击与瞄准 25

第二章 炮身 29

第一节 概述 29

第二节 身管 29

第三节 炮门与炮尾 44

第四节 其它装置 59

第三章 反后坐装置 65

第一节 概 述 65

第二节 复进机 69

第三节 制退机 74

第四节 复进制动器 81

第五节 其它反后坐装置及后坐系统 84

第六节 反后坐装置上几个重要构件 91

第四章 自动机 99

第一节 概述 99

第二节	自动机工作原理.....	101
第三节	加速机构.....	106
第四节	供输弹机构.....	108
第五节	自动循环.....	113
第六节	浮动机.....	115
第五章	架体	123
第一节	概述.....	123
第二节	架体.....	124
第三节	瞄准机 (laying mechanism)	136
第四节	平衡机 (equilibrator)	142
第五节	运行部分	145
第三篇	自行火炮、坦克炮、反坦克炮和牵 引火炮	153
第一章	自行火炮	153
第一节	自行火炮的定义及其主要特点	153
第二节	自行火炮的发展简史及发展趋势	154
第三节	国产新型自行火炮简介	158
第二章	坦克炮.....	170
第一节	坦克炮的定义及其主要特点	170
第二节	坦克炮的发展简史及发展趋势	173
第三节	国产坦克炮简介	177
第三章	反坦克炮	180
第一节	反坦克炮的定义及其主要特点	180
第二节	反坦克炮的发展简史及发展趋势	180
第三节	几个国家反坦克炮的结构性能	182
第四章	牵引火炮	186
第一节	牵引火炮的定义及其主要特点	186
第二节	牵引火炮的发展简史及发展趋势	186
第三节	典型牵引火炮简介	190
第四篇	舰炮、航炮、特种炮和新概念火炮	194
第一章	舰炮	194
第一节	概述.....	194
第二节	舰炮武器系统的特点.....	195

第三节	典型舰炮简介.....	195
第四节	舰炮发展若干趋势.....	200
第二章	航炮	202
第一节	航空自动武器发展概况.....	202
第二节	航空自动武器的分类.....	205
第三节	23-2 航炮	210
第三章	特种炮.....	231
第一节	迫击炮.....	231
第二节	无后坐炮.....	253
第四章	新概念火炮	269
第一节	概述.....	269
第二节	液体发射药火炮.....	275
第三节	电炮.....	282
第四节	激光武器.....	291
第五篇	炮用弹药和火控系统	295
第一章	炮用弹药.....	295
第一节	火炮装药.....	296
第二节	弹丸.....	308
第三节	引信.....	327
第二章	火炮火控系统	339
第一节	概述.....	339
第二节	地炮火控系统.....	340
第三节	高炮火控系统.....	340
第四节	坦克炮火控系统.....	341
参 考 文 献	357	

第一篇 概述

第一章 火炮与火炮系统

第一节 火炮

火炮是一种口径在 20mm 以上（含 20mm），以发射药为能源发射弹丸的身管射击武器。火炮可对地面、水上和空中目标射击，用以歼灭、压制有生力量和技术兵器，摧毁各种防御工事和其它设施，击毁各种装甲目标和完成其它特种任务。火炮通常由炮身和炮架两大部组成。炮身由身管、炮尾、炮闩等组成。身管是炮身的主体，用来赋予弹丸初速和飞行方向；炮尾用来盛装炮闩；炮闩用来闭锁炮膛、击发炮弹和抽出发射后的药筒。现代火炮大多采用半自动炮闩，有的采用自动炮闩。发射时，装在炮闩内的击针撞击炮弹底火，点燃发射药，产生大量高压燃气，推动弹丸以极大的加速度沿炮膛向前运动。弹丸离开炮膛瞬间获得最大速度，并沿着预定弹道飞向目标。炮架由反后坐装置、摇架、上架、方向机、高低机、平衡机、瞄准装置、下架、大架和运动体等组成。反后坐装置包括驻退机和复进机。驻退机用来消耗炮身后坐能量，使炮身后坐至一定距离就停止；复进机在炮身后坐时贮蓄能量，后坐终止后使炮身复位。摇架是炮身后坐复进的导轨，装在上架上借助高低机作垂直转动。上架装在下架上借助方向机作水平转动。高低机和方向机使炮身在高低和方向上转动，结合瞄准装置使炮身瞄向目标。瞄准装置由瞄准具和瞄准镜组成，用来装定射击诸元，供火炮实施瞄准。平衡机使高低机操作轻便。下架、大架和运动体用来支撑火炮，行军时作为炮车。

早期，火炮是一切将弹丸投向敌人的工具的代名词。目前，火炮这一名词已用于描述在战场上为部队提供火力支援的各种形式的间接瞄准射击系统，通常还包括某些防空武器系统、定位装置和一些远距离反坦克武器。从华夏古战场的抛石机，到宋代用火药发射的青铜火铳，到 19 世纪末后装线膛炮与弹性炮架，……，火炮经历了漫长的发展岁月。20 世纪的两战世界大战，促进了火炮的极大发展。尤其是在二战中，火炮为步兵开辟道路，为机械化部队扫清障碍，消灭敌军有生力量，摧毁敌军军事目标，为战争的胜利发挥了不可估量的作用，炮兵享有“战争之神”的美誉。应当承认，二战之后的 10 多年里，随着各军事大国对导弹、核武器等战略武器的重视，常规武器的发展处于次重点的位置，火炮一度发展缓慢。但是经过历次局部战争证明，火炮在现代战场上仍占有重要的地位和作用。20 世纪 70 年代以来多次局部战争中，核武器用不上，导弹和火箭虽然射程远、精度高、威力大，但不能连续不断地提供火力支援。常规火炮能够全天候、全时空提供火力，它仍然是最可靠的武器。20 世纪 70 年代的越南战争，高炮在反空袭中发挥了重大作用。在 1973 年的中东战争中，尽管导弹已广泛使用于战场，但交战双方仍然十分重视发挥火炮的威力。埃及军队在一次作战中，曾集中 1500 门火炮，对以军进行 53min 火力急袭，发射炮弹 3000t，摧毁了以军 40% 的炮兵阵地和部分防御工事；以色列也把火炮作为闪击战的重要火力，凭借射程为 28km 的 175mm 火炮，迫使埃军多次后撤。在旷日持久的两伊战争中，火炮成为双方对峙的主要兵器。英阿马岛之战中，英军的火炮对支持陆地作战、瓦解阿军士气发挥了重要作用。1991 年海湾战争中，尽管参战的有 F-117 新型隐形飞机，有“阿帕奇”等各种武装直升机，有“战斧”巡航导弹，有“飞毛腿”、“爱国者”等战术导弹，但火炮仍得到广泛应用。多国部队参战的炮兵多达 54 个榴弹炮营、20 多个多管火箭炮连，还有众多的反坦克炮连，身管火炮占陆军压制炮兵的 90%。在车臣战场，俄罗斯军队也大量使用了常规火炮等压制兵器。在 2003 年的伊拉克战争中，美伊双方火炮对垒的场面时常发生，比如在巴士拉的攻防战和萨达姆国际机场的争夺战中，伊军与美英联军发生过数日的炮击拉锯战。可见，火炮在现代

战场上仍然大有用武之地。

20 世纪 70 年代以来，随着微电子技术、新材料、新能源在军事上的广泛应用，火炮的自行化、自动化、系统化程度显著提高，侦察、指挥手段不断更新，弹药更加多样化。现代火炮系统的战术技术性能有了很大的发展。比如，伴随微电子技术和计算机技术的发展，炮兵侦察仪器设备逐步形成了以光电技术为主的光学、激光、雷达、声测、电视、红外等先进侦察仪器构成的远中近结合、地面与空中结合，全方位、全天候、全天时、品种齐全、手段多样的侦察体系。作用距离由过去几千米、十几千米扩大到几百千米，定位精度大大提高，反应时间大为缩短。不但能发现暴露的目标，而且能识别伪装、隐蔽的目标；不仅白天能观察发现远距离目标，夜间也能观察到几千米远的目标。现代地面压制火力系统还有先进的空中侦察手段，包括固定翼飞机、直升机、无人机，机上装有航空照相、雷达、侦察电视、侦察舱、热像仪、红外扫描仪等设备，既能侦察敌情，又能为己方炮兵进行校射。现代炮兵还拥有炮兵侦察车，它装有多种先进侦察和通信设备，可以在前沿比较大的区域内活动，一旦发现目标，便能立即测定其坐标并迅速传输给指挥所或射击分队，实施实时打击。

随着信息技术的发展，炮兵多层次、多品种的通信体制正在形成。以电子计算机为核心的自动化射击指挥系统，是地面压制火力系统发展史上的重大变革。随着人工智能技术的发展，未来炮兵射击指挥系统将局部或全部实现智能化。炮用弹药也在迅速发展。除发展了一批增大射程的弹种之外，还研制了大威力的弹药，如各种子母弹和子母雷弹。对付装甲目标，出现了制导炮弹。比如美军 155mm 火炮发射的“铜斑蛇”激光末制导炮弹、俄罗斯 152mm 火炮发射的“红土地”激光末制导炮弹。为克服激光末制导炮弹存在尚需要激光照射目标的缺点，各国积极发展“打了不用管”的灵巧弹药。一种是弹头安装自动寻的装置，弹丸飞达目标地区上空后可以自动寻找、识别目标；另一种是末敏弹，母弹飞抵目标上空后，母弹开舱抛出子弹药，子弹药上的末敏感知目标后，自动引爆并毁伤目标。制导炮弹的出现，使现代火炮进入一个新时代：一是由无控向有控转变，实现弹炮结合；二是由面杀伤武器向既是面杀伤又是点杀伤武器转变，实现点面结合。

随着高技术的发展和应用，火炮的能源也发生了变化。传统火炮都是以固体发射药作为发射能源。如今，正在研究和发展中的有液体发射药炮、电热炮、电磁炮、激光炮、射束炮。新能源的使用有助于极大提高火炮的性能和威力。比如，美、英、德等国研制成功的液体发射药火炮，与传统固体发射药火炮相比，射程更远，射速更高，持续作战能力更强，而成本却比较低。美国和澳大利亚研制成的电磁炮，已从实验室走向靶场。电磁炮也具有射程远、射速快、精度高、可控性和隐蔽性好等优点，在反卫星、反导、防空、反装甲等方面具有十分诱人的前景。

总之，火炮是当今世界各国陆、海、空军装备数量最多、使用最频繁的武器种类之一，火炮武器具有毁伤威力大、射击死区小、持续战斗力强、抗干扰能力强、目标特性小、攻防性能兼备、反应速度快、机动性强操作维护简易、可靠性好、成本低、弹药种类丰富等特点，它不仅是军事行动的保障，而且仍将是最终占领阵地和夺取胜利的主要武器，在现代战争（特别是地面战争）中占有不可替代的重要地位，即：地面战场火力打击的骨干、联合作战中综合火力的主体、登岛作战火力支援和直接对抗的主力、山地作战火力的主力、近程防空反导的火力主体、防空作战体系中的最后一道屏障。随着高新技术的迅猛发展及其在军事领域里的广泛应用，未来战场具有全空域、全时域、全天候、信息化、数字化、自主化、智能化、立体化等诸多特点，炮兵火力运用将更加频繁，机动、灵活的炮兵火力将不仅是战斗行动的保障手段，而且是贯穿战斗全过程的骨干力量。在以往战争中建立卓著战功的“战争之神”，在未来高技术战争中，必将创造新的辉煌！

第二节 火炮系统

系统指的是由相互作用和相互依赖的若干组成部分（要素）结合而成的具有特定功能的有机整体。系统是结构和功能（行为）的统一，是由结构和行为决定的，结构是诸要素的秩序，可理解为对系统要素间的联系在时间上不变的规定。系统的行为可理解为系统随时间的动作，而功能是诸要素活动的秩序。由于客观世界的层次结构，某个系统本身是它所从属的一个更大系统（称超系统）的组成部分，而该系统的要素（称子系统）本身又是一个具有诸要素的系统，无论在系统结构和功能方面都具有层次性。图 1-1-1 所示的地面高炮防空武器系统，从研究该武器系统的有效性这个目的来说，它的结构层次性可分为：地面防空总系统→地面高炮防空武器系统→第 1 级子系统（火控、火力子系统）→要素（火控子系统的要素有雷达、测距机、指挥仪等，火力子系统的要素有高射炮、弹、药、引信等）。

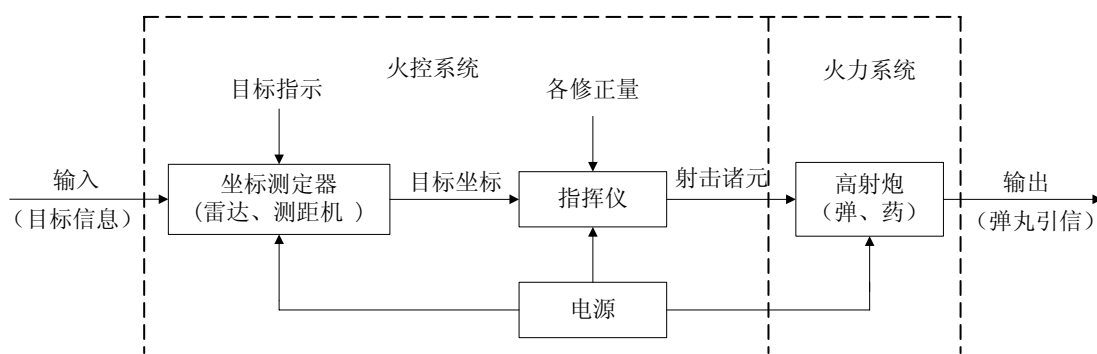


图 1-1-1 地面高炮防空武器系统框图

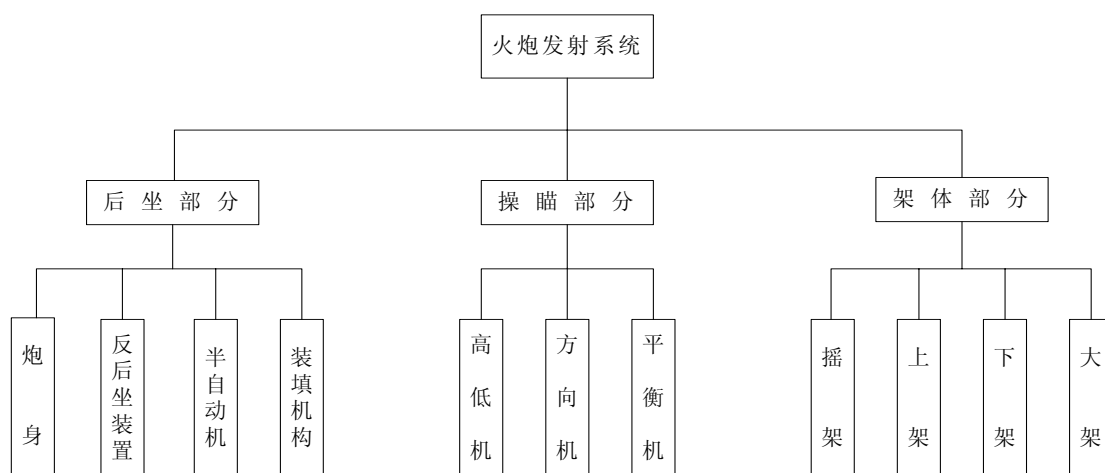


图 1-1-2 火炮发射系统的一般组成

火炮系统（gun system）是现代火炮的火力系统、火控系统、通讯与管理系统、防护系统、运行系统等的统称。火力系统包括发射系统和弹药系统。火炮发射系统一般包含图 1-1-2 中的部件或子系统。火控系统随炮种不同而不同，一般包括射击诸元求取、瞄准控制和射击控制系统等。通讯与管理系统包括有线、无线信息接收与发送，信息处理，全炮运行操作控制等。防护系统含装甲防护、主动防护系统、被动防护系统及三防（防核、生、化）装置等。运行系统对自行火炮指履带式底盘或轮式底盘，对牵引火炮则指其车体、车轮等运动部分。由于火炮品种繁多，作战使用要求不同，其系统组成也不同，且系统的分类也不尽相同。火炮威力的大小、性能的优劣是火炮系统综合性能的体现，因此必须从全系统出发，对火炮系统的各分系统进行优化组合。

第二章 火炮发展简史

第一节 古代火炮

公元前 500 多年，自人类意识到从远距离打击敌人比较安全那时起，人类就开始研制和使用远射用的兵器。最早的这种兵器是弹弓、抛石机和石弩。抛石机利用杠杆原理，靠人力把约 10kg 重的石头抛出 300 步远，用于攻城或对付集团目标。石弩则是用蓄能武器——弩来发射巨大的石块。公元 10 世纪，由于中国发明了火药，抛石机开始改为抛射火药包和火药弹，但射程没有增加多少。13 世纪中叶，中国出现了用竹筒制成的突火枪，这是人类第一次利用火药发射弹丸。现存于中国军事博物馆、制于 1332 年（中国元代至顺三年）的火銃，其口径为 105mm，重 7kg，长 36cm，它比西方国家现存火銃早 50 多年，当属目前世界上发现最早的火炮。

火药和火器传到西方以后，欧洲在 14 世纪上半叶，研制出了一种发射石弹的短粗身管火炮——臼炮。臼炮的威力较大，射程较远，杀伤面积也较大，因此曾被装备到舰船上使用。臼炮出现没多久，就被一种口径较小的长管炮代替，这种炮使用的是从炮口装填的球形实心弹和爆炸弹。15 世纪，伽俐略等科学家得出弹丸飞行的轨迹是抛物线形这一正确结论，弹道学开始得到应用。16 世纪以前，火炮基本上是不能移动的，火炮的任务几乎都是摧毁工事堡垒或从预定阵地上向进攻之敌射击。阿道弗斯使火炮进入了新的领域，他采用可移动的轻型炮来支援部队。他根据三种不同任务的要求编制火炮部队：攻城火炮、阵地防御火炮和野战炮。

到 17 世纪，火炮已发展为弹道低伸平直的加农炮和弹道弯曲的榴弹炮两大主类。17 世纪以后，古代火炮逐渐向近现代火炮演变。但是，直到 19 世纪中叶，典型的火炮仍为炮口装填、光滑炮膛并缺乏阻止火炮射击时向后滑退的有效的机械装置，发射球形弹，射速小，射程近。因为只靠炮管赋予炮弹飞行的方向，所以，早期这种滑膛炮的射击精度不高。在有膛线步枪问世后，对火炮膛线的应用势在必行。1845 年，意大利陆军少校 G·卡瓦利发明了世界上第一门后装线膛炮，炮管内有两条螺旋膛线，使发射后的弹丸旋转，飞行稳定，提高了射击精度，增大了火炮射程。卡瓦利为该炮设计了新型的炮尾、炮闩，实现了炮弹的后膛装填，发射速度明显提高。卡瓦利还一改过去的球形弹丸形状，发明了与后装式线膛炮相匹配的具有圆柱型弹体、船尾形弹尾、锥形弹头的炮弹，这也是世界上最早的与现代炮弹外形相似的卵形炮弹。卡瓦利的一系列发明和设计在火炮发展史上具有极其重要的意义，是古代火炮向现代火炮迈进的关键一步。为了消除大炮发射产生的巨大后坐力，19 世纪中叶以前的炮架都做得很重。第一门具有现代反后坐装置的火炮，是由德维尔将军、德波渔产上校和里马伊奥上尉 3 人组成的法国炮兵研制小组 1897 年发明的 75mm 野战炮。这门火炮所采用的长后坐原理本是德国人豪森内研究发明的专利。法国于 1894 年从豪森内手里购买了这项专利，并根据它研制了具有液压气动式驻退复进装置的炮架，称之为弹性炮架。炮身安装在弹性炮架上，可大大缓冲发射时的后坐力，使火炮射击后不致移位，再也不需要靠人力拉拽使火炮复位了，使发射速度和精度得到提高，并使火炮的重量得以减轻。弹性炮架的采用缓和了增大火炮威力与提高机动性的矛盾，并使火炮的基本结构趋于完善。75mm 野战炮还配有瞄准装置，车轮上装有防滑动的刹车装置，已初步具备了现代火炮的基本结构，这是火炮发展过程中划时代的突破。

总的说来，19 世纪中叶，螺旋线膛炮的出现，与随后不久发明的反后坐力装置，使得传统火炮迅速跨入现代火炮的发展阶段。在火炮发展过程中，有两点要说明的是：（1）如果没有黑火药，就不可能有火炮的问世；（2）最早的火炮都采用后膛装填，因为当时的制造工艺要求这样做而不是因为当时就有了提供闭气的有效手段。在制造技术完善到能够解决闭气

的问题之前，炮口装填成为标准方式并占支配地位。

历史上曾经出现的比较知名的火炮主要有：名声显赫的炮王、打得最远的“大贝尔塔”、打得最高的儒勒·凡尔纳大炮、发射速度最快的美国“火神”（其射速高达 6000 发/min）以及最重的“杜拉”铁道炮等等。炮王是 1586 年由俄国铸炮工匠铸造的一种铜制滑膛火炮。该炮口径为 890mm，重 39t，长 5m，炮身上还雕刻有当时沙皇的肖像，这或许就是它名字的由来吧。“大贝尔塔”又称巴黎大炮，该炮是为了配合德军 1918 年的春季战略攻势而特别研制的，它的身管长 37m，射程 120km。美国和加拿大在六十年代开始了一项被称为 HARP 的高空研究计划，儒勒·凡尔纳大炮是该项计划的产物，该炮以法国科幻小说家命名，其口径达到了 1.7m，是世界上打得最高的大炮，将用于发射卫星。世界上最重的火炮是纳粹德国 1942 年制造的“杜拉”铁道炮，重达 1329t，其起落部分重 400t，口径为 800mm。该炮发射的混凝土穿甲弹重达 7.1t，每小时只能发射 3 发。

第一次世界大战及其以后，先后出现了迫击炮、高射炮、坦克炮、航空机关炮、反坦克炮、无后坐力炮等专用火炮。19 世纪末，各国炮兵相继采用丝紧身管、筒紧身管、强度较高的炮钢和无烟火药，提高了火炮性能。采用猛炸药的复合引信，增大弹丸重量，提高了榴弹的破片杀伤力。20 世纪初，火炮还广泛采用了瞄准镜、测角器和引信装定机等仪器装置，由此进入了现代火炮的时代。

第二节 典型的现代火炮

在各国现装备的各种自行榴弹炮、牵引榴弹炮中，美国的 M-109 型 155mm 自行榴弹炮系列于 80 年代初装备部队，该炮可以发射多种炮弹，配备有“铜斑蛇”激光制导炮弹、M-43A I 型子母弹、M-549A I 型增程弹和 M454 型核炮弹。在使用常规炮弹时，射程为 18 100m，使用增程弹时，最大射程可达 24 000m。“铜斑蛇”这种末端制导精确杀伤武器的命中率在 80%以上。美军的 M-110A2 型 203mm 自行榴弹炮配备了增强辐射弹，杀伤威力为 1000~2000t 级 TNT 当量，这种炮弹的中子辐射比同等当量的裂变弹强得多，可以用来在广阔的沙漠地区对付坦克集群，更适合于杀伤坦克中的人员，但对地面建筑破坏和大气环境的核沾染则可控制在较小范围内。在小高炮方面，目前 20mm 的小高炮，其单管射速 700~1000 发/min，25~30mm 小高炮单管射速达 800 发/min，而俄罗斯的 Г IIII301 单管射速达到 1250 发/min。35mm 高炮达 550~600 发/min。意大利、瑞士联合研制的 MYRID7 管 25 和俄罗斯 KAIITAH 六管 30 转管炮达到 5000 发/min。1993 年，瑞士研制成功 AHEAD 单管 35 高炮系统，发射子母弹，射速达 1000 发/min，无弹链供弹，无车轮，弹底引信可编程。1995 年，我国研制成功 4-25 自行高炮武器系统，弹炮一体化，还配有指挥车、电源车、检测车、弹药车及模拟训练器等。

在压制火炮方面，除了俄罗斯的 2C-19 式 152mm 自行榴弹炮外，美国的 M-198，英国的 AS-90，原西德的“2000 年自行榴弹炮”，意大利的“帕尔马里亚”和 FIROS6，英国、原西德和意大利合作研制的 FH-70，瑞典的 FH-77，比利时的 GC-45，奥地利的 CHN-45，南非的 G-5 和法国的 TR 等 155mm 火炮都各有特色，代表了现代火炮的水平。155mm 火炮是西方特别注意发展的师属骨干火炮。目前，已发展了四代，其射速提高具有典型性，其中第三代(如 FH77，M-198，GC-45 牵引 155 火炮和 M109A3，2C5，GCT155 自行炮)最大射速 4~6 发/min，爆发射速为 3 发/13~15s；第四代(如 AS90，AUF1，PzH2000 型 155 自行炮)最大射速 8~12 发/min，爆发性射速 3 发/8~10s。

“恺撒”155mm 车载自行火炮系统是法国地面武器工业集团(Giat)与洛尔工业公司于 20 世纪 90 年代合作研制的，它是将标准的牵引式榴弹炮直接装到制式越野卡车底盘上的嫁接而成，炮手及作战需要的所有设备和弹药都由车载。“恺撒”炮身管长为 52 倍口径，最大射程 42km，最小射程 4.5km，最大持续射速 6~8 发/min，爆发射速 3 发/15s，高低射界 0~

66°，方向射界±17°，携弹量 18 发，“恺撒”系统空重 15.9t，战斗全重 17.4t，这个重量比一般的自行榴弹炮轻两三倍。外形尺寸 10×2.55×3.7m，车全长 10m，比牵引榴弹炮牵引状态下要短一半，这一点特别适合空运。“恺撒”采用已经大量生产的成熟民用底盘，改装时驾驶员基本训练不超过 3 天，尺寸和载重符合民用交通规则，还能利用民间维修设施。该系统不加油最大行程 600km，最大公路速度 110km/h，最大越野速度也有 50km/h。“恺撒”火炮单炮能自主作战，采用了自动液压瞄准系统和半自动装弹系统（包括液压送弹槽、液压输弹机、液压操纵的螺旋炮闩和自动雷管输送机），“恺撒”系统进入/撤出战斗时间不超过 1min。一辆“恺撒”火炮从进入阵地到打完 6 发急速射击并撤出阵地，总共耗时不超过 3min。这个时间比牵引式火炮减少了一半，从而能有效躲避敌方的反击火力。一组 8 辆“恺撒”火炮可在不到 1min 的时间内打出 1t 以上的炮弹，从而可将多达 1500 枚反人员子弹药或 48 枚灵巧反装甲子弹药打到 40km 以外的目标上。这些反装甲子弹药可以摧毁一个坦克中队、两个机械化步兵连或两个自行火炮连。在“恺撒”使用的新一代精确制导炮弹中，“妖魔”M864 炮弹每发可以抛撒出 63 枚反坦克和破片杀伤子弹药，都带有自毁装置，可穿透 90mm 以上的装甲。齐射的 6 发“妖魔”炮弹可对 35km 外一片面积达 30 000m²的地区进行饱和攻击。另一种精确制导炮弹“博纳斯”主要对付坦克和其它中/重型装甲目标，每发炮弹带有两枚灵巧反坦克子弹药，射程 35km，采用攻顶弹道，打击目标的薄弱环节。“恺撒”火控系统与旅或师等上级部队以及装甲兵或步兵等其它兵种的协同能力也非常完善，具有自动数据传输、持久精确定位、自动火炮瞄准和射击后自动重新瞄准等能力，甚至在火炮还未到达预定发射阵地前，它就能将火炮调向目标。因此，该炮首发命中率高，不再需要试射，大大提高了火力突然性。由于战术机动性很强，完全跟得上坦克和步兵战车，因此，“恺撒”不一定固定在炮兵部队，而可以方便地装备到装甲兵、机械化步兵/摩托化步兵甚至特种部队，用于直接火力支援、反炮兵作战、纵深打击和海岸防御等多种任务。“恺撒”以单车为作战单位，连司机在内的 5 人炮班全部乘坐在带空调的装甲驾驶室内，可防炮弹破片和轻武器火力杀伤。“恺撒”最大的缺点是炮手作战时仍暴露在外，尤其是得不到“三防”保护。目前，只有南非的 G6 型 155mm 自行榴弹炮解决了这个问题，不过 G6 除了是轮式设计外，其余部分和履带式自行榴弹炮相差无几，在成本上比“恺撒”要高出许多。

对于坦克炮和反坦克炮，由于作战对象主要是快速机动的各类装甲目标，对其射速要求也越来越高，西方的 105 坦克炮一般射速为 10 发/min，120 坦克炮 7~12 发/min，俄罗斯的 125 坦克炮 8 发/min，105mm 自行反坦克炮达 8~10 发/min。

在提高火炮射击精度方面，西方火炮系统主要是采用了大闭环校正，即利用多卜勒原理对弹目进行检测，计算机自动计算弹目角偏差，并据此角偏差修正身管的实际指向，从而显著提高射击精度和系统的毁歼概率。同时通过火炮自行化、操瞄自动化大幅度提高火炮系统的快速反应能力。例如美 M109 系统反应时间(从战斗准备、发射 3 发炮弹、并转移 500m 距离以避开反击火力)由 157s 减少到 81s。德国在研的 2000 型装甲自行榴弹炮能保证火炮进入阵地后，30s 钟内做好战斗准备，10s 钟内发射 3 发弹，然后快速撤出阵地。在小高炮方面，瑞典的 Bofors40 系统反应时间 5~8s，德双 35 高 6~8s，英神枪手 35 高炮 6s，瑞士双 35 高 6s，意 Bred 高 4s，俄通古斯卡 4 管 30 高 8~10s。

第三节 未来火炮

随着高新技术在战场上的大量应用，战争形式在不断发生变化。例如，在 2003 年的伊拉克战场，美军地面进攻与各种规模的空中打击行动几乎同步展开，空地协同作战效能发挥得淋漓尽致：一方面，地面部队高速突进，迫使伊军由隐蔽待机转为运动接敌，暴露在美强大的空中火力打击之下；另一方面，空中打击又及时摧毁了伊大量的重兵集团和装甲集群，减轻了地面快速推进部队所受的威胁和压力。国内外许多军事专家都从不同的角度概括总结了未来战争作战方式的显著特点，即：兵力部署快速机动化、打击方式远程精确化、战场规模立体纵深化、指挥及装备数字信息化等。对火炮的战术技术性能提出新的要求，促使火炮领域也在发生深刻的变化。可以预见，随着时代的发展，会出现更多的新型火炮和弹药。各国在发展火炮的过程中，均以提高其威力、快速反应能力和生存能力等综合作战性能为目标，将高新技术应用于常规武器，大幅度提高其战术技术性能。另外，火炮将与其它武器装备协调发展，实现整体最优化，从而获得最佳的综合战斗能力。

火炮技术的未来发展既与科技的发展有关，也与军事战略思想、方针有关，前者是技术推动，后者是需求牵引。新概念、新原理、新结构、新材料、新技术的应用将促使火炮技术的不断发展。火炮总体技术，火炮系统模块化、系列化技术，火炮系统总体参数匹配技术、总体优化技术，火炮 CAD/CAE/CAM/CAT/PDM 与快速成形技术，火炮虚拟设计技术、计算机数值仿真与专家系统，火炮小型化、轻量化技术，机、电、液、气的控制技术，密封技术，现代传感器技术，计算机测控技术，信息化与智能化技术，弹药高效毁伤技术等得到深入研究和应用，未来火炮的结构及性能可能与现代火炮有较大的变化。具体说来可能体现在以下几方面。

1. 发射技术取得新的突破。首先是发射能源的多样性，即不仅采用固体化学能源，而且可能会采用液体化学能源、电磁能源、电热化学能源及某些组合能源；除了通过化学和机械方法外，会充分应用计算机技术和微电子技术控制含能材料的燃烧。发射方式也会多种多样，“金属风暴”、“万发炮”等超高射频火炮武器可能由理论变成现实。

2. 减载技术将取得新的进展，磁流变、电流变等技术可能应用于火炮反后坐装置，克服传统炮口制退器效率的局限性。

3. 新材料的应用将有助于解决长期困扰火炮技术发展的固有问题，如身管内膛的烧蚀磨损、威力与机动性的矛盾等。

4. 原理性、结构性的创新，使现代火炮的结构发生重大变化。

5. 数字化火炮、智能弹药以及传感器引爆弹药等技术不断成熟，智能探测、智能决策、计算机智能分析和控制技术大量应用于火炮武器系统，数字化、信息技术渗透到火炮的探测、指挥、发射、火力、控制、运行、弹药及后勤供应等各个方面，火炮武器系统的综合作战效能得到大幅提高。

6. 火炮的作战对象、作战环境可能得到拓展，水中火炮、天基火炮等新型火炮可能相继出现，未来火炮具有摧毁敌方鱼雷、潜艇、卫星等功能。

总之，随着兵器科学技术的发展以及现代科技在兵器科学中的应用，使得火炮技术成为多种技术的综合体，它涉及能源、机械、材料、控制、光学、电子、通信和计算机等诸多学科，随着多种新概念武器的出现，表征火炮的各种属性正在发生根本性的变化。

第三章 火炮分类

炮兵要歼灭或压制各种各样的目标,对付各种不同的目标需要不同型式的火炮。对火炮进行适当分类,对使用、研究或管理等方面都是有利的。火炮分类方法很多,也没有完全统一。火炮常见的分类及其说明见表 1-3-1。

表 1-3-1 火炮种类及其说明

分类方法	火炮名称		说明
按用途分	地面压制火炮 (Field gun)	加农炮	其中地面压制火炮俗称地炮,主要用于从地面对地(水)面目标射击,有些国家将火箭炮也归入地面压制火炮。火箭炮确切名称应是“火箭发射装置”,因为它不同于一般的身管火炮。前者是一种一般发射无控火箭弹的装置,通常为多发联装,火箭弹靠本身的火箭发动机提供飞行的能量;后者发射弹丸的能量由膛内高压火药气体提供。
		榴弹炮	
		加农榴弹炮	
		迫击炮	
	高射炮 (Antiaircraft gun)		高射炮主要用于从地面对空中目标射击。
	反坦克炮 (Anti-tank gun)		反坦克火炮主要用于对坦克和其它装甲目标射击。反坦克火炮包括无后坐炮,无后坐炮发射时利用部分火药燃气后喷,使全炮无明显后坐。
	坦克炮 (Tank gun)		坦克炮是一种装在坦克上,符合坦克作战要求的火炮。
	航炮 (Aircraft gun)		航炮是装在飞机上符合空中作战要求的火炮。
按火炮弹道特性分	舰炮 (Naval gun)		舰炮是装在舰艇上符合海上作战要求的火炮。
	岸炮 (Coast gun)		岸炮是配置在海岸或岛屿上符合海防作战要求的火炮。
	加农炮 (Gun)		加农炮初速大、弹道低伸、射角小,用定装式或分装式炮弹,变装药号数少,适于对装甲目标、垂直目标和远距离目标射击。
	榴弹炮 (Howitzer)		榴弹炮初速较小、弹道较弯曲、射角大,用分装式炮弹,变装药号数较多,弹道机动性较大,适于对水平目标射击。
按运动方式分	加农榴弹炮 (Gun howitzer)		加农榴弹炮以加农炮性能为主,兼有榴弹炮弹道性能,简称加榴炮。
	迫击炮 (Mortar)		迫击炮初速小,弹道弯曲,用座板承受后坐力,变装药号数较多,适于对遮蔽物后的目标射击。
	自行火炮 (Self-propelled gun)		自行火炮是一种同履带车或轮式车底盘构成一体,可长距离运行的火炮。
	自运火炮 (Auxiliary-propelled gun)		自运火炮是一种装有辅助推进装置,可短距离运行的火炮。
按口径大小分	牵引火炮 (Towed gun)		牵引火炮是由机动车拖动的火炮。
	驮载炮 (Pack gun)		又称山榴炮、山炮,以畜力驮载作为运动方式的火炮。主要用于在山地和崎岖地形上行军作战。
	大口徑火炮 (Major caliber gun)		俄罗斯规定地面火炮口径大于152mm为大口径,76~152mm为中口径,20~75mm为小口径。我国规定高炮口径在100mm以上的为大口径,60至100mm为中口径,小于60mm(含60mm)为小口径;舰炮口径在130mm以上的为大口径,76mm至130mm为中口径,小于76mm为小口径舰炮。
	中口径火炮 (Medium caliber gun)		
小口径火炮 (Small caliber gun)			
按有无膛线分	线膛炮 (Rifled gun)		身管内膛有膛线
	滑膛炮 (Smooth bore gun)		身管内膛无膛线

除表 1-1-1 中所述火炮之外，其它火炮分类方法及其它类型的火炮说明如下。

按军兵种来分，火炮可分为海军炮、陆军炮、空军炮。陆军炮中又可分为高射炮、地面炮和坦克炮。

按编制配属可分为营炮、团炮、师炮、集团军炮等。

按身管个数分为单管火炮（Single barrel gun）、双管火炮（Twin barrel gun）和多管火炮（Multi-barrel gun）。具有一个、两个、两个以上身管的火炮分别称为单管火炮、双管火炮和多管火炮。

按装填方式可分为后装炮和前装炮。

按发射方式可分为自动炮（Automatic gun）和半自动炮（Semi-automatic gun）。自动炮能自动完成连发射击，半自动炮能自动完成部分射击动作。小口径高炮、航炮及多数小口径舰炮属于自动炮。

按瞄准方式可分为直瞄火炮（Direct aiming gun）和间瞄火炮（Indirect aiming gun）。用瞄准装置直接瞄准目标射击的火炮为直瞄火炮；用瞄准装置间接瞄准目标射击的火炮为间瞄火炮。

按火炮特征可分为速射自动炮（高炮、舰炮、航炮等）、远程压制火炮（加农炮、加榴炮、岸炮等）、高膛压直射火炮（坦克炮、反坦克炮等）、曲射炮（榴弹炮、迫榴炮等）、特种火炮（无后坐力炮、火箭炮、迫击炮等）和新概念火炮（电热炮、电磁炮等）。

战车炮（Fighting vehicle mounted gun）：装在装甲战斗车辆上，符合步兵作战要求的火炮。

车载炮（Vehicular gun）：火炮结构基本不作变动或简单改动后安装在现有或稍作改动车辆上的火炮。这种火炮的目的主要在于提高机动性。按车体承载能力、火炮种类和改装程度不同，车载炮可以在车上射击，也可以离车射击。车载炮所用指挥器材、瞄准与射击方法与未上车时基本相同，这一方面与自行火炮有所不同，自行火炮是将射击控制器材或火控系统、车体作为有机组成部分而综合设计的。

山炮（Mountain gun）：能迅速分解结合，由畜力驮载或用人力搬运的火炮。

前冲炮（Soft-recoil gun）：炮身在前冲过程中达到预定的速度或行程时击发的火炮。

液体发射药火炮（Liquid propellant gun）：用液态发射药作为推动弹丸运动能源的火炮。

电热炮（Electrothermal gun）：全部或部分利用电能加热工质产生离子体来推进弹丸的火炮。

电磁炮（Electromagnetic gun）：利用运动电荷或载流导体在磁场中受到的电磁力（通常称它为洛仑兹力）加速弹丸，即依靠电磁能来发射的火炮。

弹道炮（Ballistic gun）：专供弹道性能试验用的火炮。

固定火炮（Fixed gun）：装在固定基座上的火炮。

游动炮（Maneuverable gun）：按照预定计划，在指定地域内，不断变换炮阵地，执行射击任务的火炮。

伴随炮（Accompanying gun）：配属并跟随步兵分队行动，以抵近射击完成战斗支援任务的火炮。

第四章 火炮战术技术要求

“火炮战术技术要求”又称“火炮战术技术指标”，是指对准备研制或生产的系统提出的作战使用和技术性能方面的主要要求，它是进行火炮设计、生产和定型的根本依据。火炮战术技术要求一般包括战斗要求、勤务要求和经济要求三个方面，通常是由使用单位根据全军的战术思想、战术任务、战斗经验、未来战争的作战方式与特点以及国情、国力等多方面因素综合提出，然后由有关部门结合科学技术水平、国家的经济能力和生产能力等进行全面分析和论证，最后定出该种火炮具体的战术技术要求。这是一个反复调查研究、分析论证的过程，有的可能长达数年，有时还要结合实际情况，进行应用研究、技术攻关和部件验证试验等多方面的工作。火炮战术技术要求在提出的内容和拟定的程序方面，各个国家有所区别。

一、战斗要求

战斗要求是战术技术要求的主要内容，它由火炮的口径、初速、射程或射高、射速、射击精度、机动性和可靠性确定。具体可概括为火炮威力、机动性、寿命、快速反应能力和战场生存能力等五个方面。

1 火炮威力（power of gun）

火炮威力是指火炮在战斗中能迅速地压制、破坏、毁伤目标的能力。由弹丸威力、远射性、射击精度和速射性等主要性能构成。

（1）弹丸威力（power of projectile）是指弹丸对目标杀伤或破坏的能力。对不同用途的弹丸有不同的威力要求。例如，杀伤榴弹要求杀伤破片多、杀伤半径大，穿甲弹应具有较大的侵彻力，照明弹则应发光强度大、作用时间长等。

（2）远射性（ability in long-ranging）是指火炮能够毁坏、杀伤远距离目标的能力。通常用最大射程（maximum range）表示。远射性可以保证火炮在不变换阵地的情况下的火力机动性，在较大的地域内能迅速集中火力，给敌方以突然打击或压制射击，能以较长时间的火力支援进攻中的步兵和装甲兵。也能使我军火炮配置在敌人火炮射程之外，增加了火炮自身的生存能力。

远射性对主要承担压制任务的加农炮、榴弹炮和加农榴弹炮具有重要意义。但对于反坦克炮和高射炮，其直射距离、有效射程、高射性则比远射性更有意义。

直射距离（Point-blank range）是指外射弹最大弹道高等于给定目标高时的射击距离。在这个射程内，射手可以不改变瞄准具上的表尺分划而对目标进行连续射击，保证了对活动目标射击的快速性。直射距离越大，用同一表尺射击时杀伤目标的区域纵深越大，测距误差对目标毁伤的影响越小。直射距离是坦克炮和反坦克炮战斗威力的指标之一。当弹丸一定时，初速愈大则直射距离愈大，其穿甲能力愈大。

有效射程（effective range）是指在规定的目标条件和射击条件下，弹丸达到预定效力时的最大射程。近年来，由于坦克上火控系统性能不断提高，使火炮能在大于直射距离的范围内迅速地对活动目标射击，且能达到较高的命中概率，加之在实战中，地形或环境条件等与标准条件的差异，即使是在直射距离以内，有时仍需随时对射击诸元进行修正，方能命中目标。因此用“有效射程”的标准来取代“直射距离”，更能反映武器火力部分和火控部分的性能，反映射击对目标所能达到的效果。有效射程的概念现已成为反映武器综合性能的一个重要指标。

高射性（ability in fire altitude）是指火炮能够毁伤高空目标的能力，通常用最大射高表示。射高（altitude）是指过射出点的水平面距弹道最高点的高度。最大射高（maximum altitude）即射高的最大值。有效射高（effective altitude）是指在规定的目标条件和射击条件下，弹丸达到预定效力时的最大射高。影响有效射高的因素比较复杂，与高射炮所担任的具体防空任务、火炮口径大小、弹丸初速、弹丸结构、发射速度、瞄准器材和指挥方式（雷达指挥仪或

手动瞄准)以及目标的航速和目标要害面积的大小等有关。据一般经验,有效射高 H 和最大射高 H_{\max} 之间的关系为:小口径高炮 $H=(0.35\sim 0.6)H_{\max}$;大口径高炮 $H=(0.6\sim 0.85)H_{\max}$ 。

(3)射击精度(firing accuracy)是射击密集度和射击准确度的总称。射击密集度(density of fire)是指火炮在相同的射击条件下,弹丸的弹着点(炸点)相对于平均弹着点的密集程度,通常用公算偏差表示。公算偏差(probable deviation)即中间偏差或中间误差,是弹丸的散布度量指标。平均弹着点(mean point of impact)是一组弹着点的平均位置。对地面火炮,其射击密集度一般用距离中间偏差 E_x 与最大射程 X_{\max} 的比值表示。正常火炮的 $E_x / X_{\max}=1/200\sim 1/400$,平均的 E_x / X_{\max} 越小,表示射击密集度越好,击毁目标所消耗的弹药量越少。对坦克炮、反坦克炮和高射炮,常以一定距离的立靶密集度来表示,即以方向中间偏差 E_z 和高低中间偏差 E_y 表示,一般 E_y 应在 $0.2\sim 0.6\text{m}$ 的范围内, E_z 应在 $0.2\sim 0.5\text{m}$ 的范围内,这些数值越小,立靶密集度越好。射击准确度(accuracy of practice)是指平均弹着点对目标的偏离程度,以平均弹着点与目标预期命中点间的直线距离衡量。射击准确度主要与射手操作火炮及有关仪表的状况有关(如目视测距、装定分划、射击操作的稳定性等);射击密集度主要与火炮自身的弹道与结构性能、振动情况有关。为提高射击精度,一方面应对火炮的弹道性能、结构特点及运动状况进行综合分析,以改善火炮的使用性能;另一方面应加强对射手的射击训练。否则,可能出现火力密集度好的火炮射击精度差的情况。射击精度主要决定于火炮系统的性能、射手的操作水平及外界射击条件等因素。

(4)速射性(rapid fire ability)是火炮快速发射炮弹的能力,通常用射速来表示。射速(rapid of fire)指火炮在单位时间内(每分钟)发射炮弹的数量。一般分为极限射速、实际射速、理论射速和规定射速等。极限射速(limit rate of fire)是指在一定时间内持续射击时,火炮技术性能所允许的最大射速。实际射速(practical rate of fire)是火炮在战斗使用条件下实际达到的射速。理论射速(theoretical rate of fire)是指火炮按一个工作循环所需要的时间计算的射速。规定射速(specified rate of fire)是在规定的时间内,在不损坏火炮、不影响射击准确度和保证安全条件下的射速。规定射击速度的原因是由于火炮若以最大射速连续射击,持续一定时间就会引起炮身过度受热,金属性能下降,膛线磨损加速,从而使火炮很快失去原有的弹道性能。地面压制火炮在猛烈射击的情况下,不仅炮身过热,而且反后坐装置的液体和气体产生过热现象,使炮身的后坐、复进运动不正常,甚至会引起零件损坏。表 1-4-1 给出了 54-122mm 榴弹炮的规定射速。美国 M198 式 155mm 榴弹炮的炮身上配有炮身温度超值显示器,以限制射弹的发数。

表 1-4-1 54-122mm 榴弹炮的规定射速

连续射击时间 (min)	1	3	5	10	15	60	120	180	360
该时间内允许发射的弹数 (发)	8	18	25	35	45	100	160	220	350

2 火炮机动性

火炮机动性(mobility)是火力机动性(fire mobility)和运动性(movability)的总称。对运动目标而言,火力机动性是指火炮快速、准确地捕捉和跟踪目标的能力;对静止目标(对地面进行压制射击的目标)而言,火力机动性表现在压制范围即面积的确定,涉及射距和方向的结合,快速、准确地确定射击诸元,快速准确地调炮(把射线调至所需位置)。运动性是指火炮快速运动,进入阵地和转换阵地的能力。火力机动性取决于射界、瞄准速度和装药号等,这些因素都与火炮类型及其战斗任务有关。射界(field of fire)是指炮身俯仰(高低)和水平回转(方向)的最大允许范围,高低、方向均用度表示。高低射界(elevation limits)是指炮身俯仰的最大允许范围,方向射界(traverse limits)是指炮身水平回转的最大允许范围。火炮死界(dead range)是指火炮由于结构限制而射击不到的空间区域。检查火炮水平

和测量高低角度时用的量角单位除了度以外，还有密位（mil）。我国将圆周分成 6000 等分，每一等分弧所对的圆心角为一密位。瞄准速度（laying speed）是指瞄准机手轮转一转或随动系统带动火炮跟踪目标时，炮身轴线在水平和垂直面内的角位移，以度/转或度/s 计。在水平面内的角位移称方向瞄速，在垂直面内的角位移称高低瞄速。

发射装药（propelling charge）是为满足一定弹道性能要求及射击要求，由发射药及必要的元、部件按一定结构组成，用于一次发射的组合件，其种类及其定义如表 1-4-2 所示。

表 1-4-2 发射装药种类及其定义

种 类	定 义
全装药（full charge）	使弹丸获得图定最大初速的发射装药。
强装药（supercharge）	在试验弹丸、药筒、引信、其它炮弹元件以及火炮系统材料强度等性能时，以高温或改变装药的方法达到制式发射装药的最大设计膛压的发射装药。
特种装药（special charge）	使弹丸获得特定初速或具有特殊用途的发射装药。
定装式装药（fixed charge）	药筒与弹丸结合成一体。其装药量不能调整，使弹丸获得一个图定初速的发射装药。
全定装药（full fixed charge）	使弹丸获得一个图定最大初速的定装药。
减定装药（reduced fixed charge）	使弹丸获得的初速小于图定最大初速的定装药。
分装式装药（separate charge）	射击时弹丸和发射装药分别装填的发射装药。
药筒分装药（Separate charge in a cartridge）	置于药筒中的分装式发射装药。
药包分装药（Separate charge in a bags）	置于药包中的分装药
变装药（multisection charge）	为改变初速以达到较大范围的射距离而改变装药量的发射装药，它由基本药包（束）和若干附加药包（束）组成。射击时可调整附加药包（束）的个数，使弹丸获得几个图定初速中任一初速的发射装药。
全变装药（white bag charge）	使弹丸获得图定最大初速和部分较大等级初速的变装药。
减变装药（green bag charge）	使弹丸获得图定最小初速和部分较小等级初速的变装药。
迫击炮装药（mortar charge）	迫击炮基本药管及其附加药包的总称。
基本药管（ignition cartridge）	在迫击炮装药中，用以点燃迫击炮的附加药包，或使弹丸获得图定最小初速和最小膛压所用的、置于迫击炮尾管中的药管。
迫 击 炮 附 加 药 包 （ propellant increment charge for mortar）	置于迫击炮尾管上的若干药包（片）或药包和药片。发射时以调整药包（片）的数量，可获得不同的图定初速。
混合装药（composite charge）	由药形尺寸不同或组分不同的发射药组成的发射装药。
战斗装药（fighting charge）	用于实弹的发射装药。
空包装药（blank charge）	空包弹的发射装药。

装药结构（configuration of propelling charge）是按内弹道和武器系统要求，将一定形状尺寸和质量的发射药和点火药以及其它装药元、部件，按一定结构形式按放在药筒或药室中的一种配置。

火炮的运动性包括火炮各种运输条件和各种道路或田野上运动的性能，在确定火炮的外形尺寸和质量时要考虑能否在铁道、水上和空中进行运输，能否通过起伏地形、狭窄地区和迅速改变发射阵地。提高运动性的基本措施是牵引机械化、自运化、自行化，合理设计炮架及运动体，减轻火炮质量等。

火炮由行军状态转换成战斗状态的迅速性用行军战斗转换时间（traveling-firing

alternation time) 表示, 它与火炮质量、炮架结构和火炮类型有关。例如, 100mm 高射炮转换时间为 8~10min, 而 100mm 加农炮转换时间只需 2.5~5min。

要求火炮机动性的最终目的是准确而迅速地提供火力, 有效地保存火炮自身的战斗力, 以充分体现火炮的奇袭性。

3 火炮寿命

火炮寿命是指火炮在一定条件下自然使用能够保持其战斗性能要求的特性(在战场上意外遭到破坏的情况除外)。因身管是火炮最主要的构件, 通常都以身管寿命作为火炮的寿命。身管寿命(tube life)指身管在弹道指标降低到允许值或疲劳破坏前, 当量全装药的射弹数目, 以发数表示。判断身管寿命的标准常包括: 弹丸初速下降到一定程度(如 10%); 地面火炮的距离散布面积以及直射火炮的立靶散布面积超过规定值的一定倍数; 由于膛压下降使得一定比例(如 30%)的弹丸引信在膛内不能解除保险; 出现弹丸早炸, 引信连续瞎火以及近炸现象等。在部队使用中, 常用测量药室增长量来判断身管寿命。

4 快速反应能力

快速反应能力通常是指火炮系统从开始探测目标到对目标实施射击全过程的迅速性能, 以“反应时间”(reaction time)表示, 单位以 s 计。火力控制系统的反应时间是指从操作员探测目标(或者地面炮兵的前沿观察员发出火力呼唤开始)到火力系统收到射击诸元间所用的时间。反应能力是衡量火炮系统综合性能的一个指标, 现代战场由于存在大量快速目且侦察手段和火力控制系统不断精确完善, 这样就使得反应慢的一方处于被动挨打的局面, 反应快的就能避开对方袭击而充分发挥炮兵的火力作用。例如, 现代高射炮要对付低空或超低空突防战斗机, 要求高炮系统的反应时间小于 10s, 火力控制系统的反应时间小于 6s, 地面火炮火力控制系统的反应时间应在 1 min 以内。

5 战场生存能力

战场生存能力是指在现代战场条件下, 火炮能保持其主要战斗性能, 和在受到损伤后尽快地以最低的物质技术条件恢复其战斗的能力。显然, 提高火炮机动性和快速反应能力, 加强火炮系统的防护能力, 作好火炮的伪装和隐蔽, 在行军时降低行驶噪音, 提高火炮系统的可维修性等, 都有助于提高火炮的战场生存能力。有的国家陆军提倡火炮“打了就跑”(Shoot and Scoot)的战术, 美军曾要求压制火炮在 9~12min 内完成一次有效射击并撤离阵地, 其目的也是为了提高火炮的战场生存能力。

二、勤务要求

装备全寿命过程(又称全寿命周期(life cycle))是指装备从论证开始到退役为止的全过程, 可分为论证阶段(conceptual phase)、研制阶段(development phase)、生产阶段(production phase)、使用阶段(operational phase)和退役阶段(retirement phase)这五个阶段。使用阶段指新装备列装服役, 即对装备进行使用、储存、维修, 直到该种装备退役前为止。从勤务方面看, 在使用阶段对火炮的主要要求是可靠性与维修性, 可靠性与维修性是火炮产品质量的重要特征和标志, 直接关系到火炮战斗性能的实现。

可靠性是指产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力。可靠性是一项综合性工程, 有其自身的理论基础、特定的技术和组织管理。有时将其分为三个基本方面进行研究, 即可靠性(Reliability)、有效性(Availability)和维修性(Maintainability), 简称 RAM 问题或 RAM 技术。可靠性的特征量有“可靠度”、“失效率”(故障率)、“平均故障间隔时间”、“失效前平均时间”等。可靠性工程的基本任务是为达到产品可靠性要求进行一系列设计、试验和生产工作。由此按照一定的要求和程序编制成的技术文件就是可靠性大纲。产品可靠性大纲的最终目标是为了改善产品的战备完好状态, 提高任务成功能力, 减少对维修人力和后勤保障的要求, 提供管理信息和提高费用效益。产品可靠性大纲应包括可靠性管理、可靠性工程和可靠性计算等项目。这些工作项目应该统一纳入产品的设计、试验和生产计划, 保

证必需的资源、进度、管理措施，密切协调，全面完成。产品可靠性大纲必须从一开始就与产品的维修性、安全性、人机工程、质量保证等工作综合权衡，以达到最佳费用效益。产品的可靠性是设计出来的，在产品设计一开始，就需要编制可靠性大纲，它既是产品功能设计时的技术要求，也是产品研制中的指导性文件。国家军用标准《装备研制与生产的可靠性通用大纲》是开展火炮可靠性工作的基本法规。

火炮维修性是指火炮在寿命期内经过维护和修理可以保持或恢复其正常功能的能力。维护是根据规定对火炮进行预先检查和保养措施。例如，防湿、防腐、按季节更换润滑油和保护油、检查反后坐装置气液状况等。维护本身就是一种日常的可靠性控制过程。修理是在产品发生故障后进行的，其目的是用最简单的方法和最短的时间尽快将产品恢复到投入使用时所具有的性能指标和可靠性水平。在火炮设计、制造中应将维修性作为一种重要要求来考虑，要采用标准件、通用件，部件结构力求简单，少采用专门工具或装置，对寿命较短的零件应有必要的备件等。维修性的定性要求包括下列几方面：

- (1) 具有良好的可达性；
- (2) 提高标准化和互换性程度；
- (3) 具有完善的防差错措施及识别标记；
- (4) 保证维修安全；
- (5) 检测诊断准确、迅速、简便；
- (6) 要重视贵重件的可修复性；
- (7) 减少维修内容和降低维修技能要求；
- (8) 要符合维修的人机工程要求。

产品可靠性和维修性的综合成效体现了产品的有效性。它的特征量就是“有效工作概率”。

测试性 (testability) 定义为“系统及设备能及时、准确地确定其工作状态 (可工作、不可工作或工作性能下降) 并隔离其内部故障的一种设计特性。”它与维修性及可靠性密切相关，因为具有良好测试性的设备将减少故障检测及隔离时间，进而减少维修时间，改善维修性。任何不能被检测出的故障状态的存在将直接影响装备的可靠性，通过采用测试性好的设备可及时检测出故障，排除故障，进而提高系统的使用可靠性。测试性通常用故障检测率 (FDR)、故障隔离率 (FIR) 和虚警率 (FAR) 度量。80 年代，美国国防部颁发了 MIL-STD-470A 《系统及设备维修性管理大纲》，强调测试性是维修性大纲的一个重要组成部分，测试性不仅对维修性设计产生重大影响，而且影响武器装备的寿命周期费用。美国国防部颁发的 MIL-STD-2165 《电子系统及设备测试性大纲》，规定了电子系统及设备各研制阶段中应实施的测试性分析、设计及验证的要求和实施方法。80 年代中期以来，美英等国相继开展综合诊断及人工智能技术的应用研究。为了提高新一代武器系统的战备完好性、降低使用保障费用，1991 年美国国防部正式颁布 MIL-STD-1814 《综合诊断》军用标准，1993 年又颁发了 MIL-STD-2165A 《系统和设备测试性大纲》取代 MIL-STD-2165。

保障性 (supportability) 是系统的设计特性和计划的保障资源能满足平时战备及战时使用要求的能力。它通过可靠性、维修性设计和测试性设计等来保证武器装备具有规定的保障性设计特性，并通过保障性分析使武器装备的设计特性与所要求的保障资源最佳配合，保证以最低的寿命周期费用获得规定的保障性。在 80 年代中，武器装备的保障性问题引起了普遍重视。1983 年美国国防部颁发了指令 DoDD5000 · 39 《系统和设备综合后勤保障的采办和管理》，该指令要求对用于实现战备完好性的资源应与用于实现进度和性能指标的资源得到同等重视，并规定从武器装备型号立项开始至整个寿命周期内都应包括综合后勤保障计划。美国国防部从 1985 年开始推行一项计算机辅助采办和后勤保障计划 (CALS)。它是一个政府机构与工业部门采用共用数据库的综合数据系统，用于收集处理和分配武器装备工程

设计、制造和保障的详细数据，使武器装备设计、制造和保障问题从设计一开始就进行综合考虑，以实现提高武器装备的设计精度，缩短研制时间和降低寿命周期费用的目标。

在装备的设计中不仅要考虑如何达到传统的性能指标，而且还要考虑如何使设计的装备不易发生故障，发生故障后便于维修、便于保障，使设计的装备到部队迅速形成战斗力，而且寿命周期费用低。国外许多国家（特别是美国）从二十世纪六、七十年代开始在装备的研制过程中就着手开展质量、可靠性、维修性和保障性（QRMS）方面的工作。从九十年代开始，美国开展了采办制度的改革，采取了一系列措施简化采办程序，降低装备的采办费用，提高部队的保障能力。我国可靠性工程起步于 60 年代，经历了曲折和反复，进入 80 年代以后，得到了迅速发展。在武器装备的研制过程中，需要进一步加强其可靠性、维修性、保障性和测试性（RMST）方面的工作。

三、经济性

经济性（economy）要求主要是指在满足战斗与使用要求的前提下，武器系统的造价和维修费用要低。无论是过去还是现在，军工产品是国家的一种特殊的“消费品”，在发展和采购军工产品时，经济的可承受能力是重要的约束条件。武器设计师在进行研发时，往往把效费比作为追求的目标函数，把产品的经济性放在重要位置。在科技迅猛发展的时代，火炮的技术含量越来越高，研制、生产、装备的成本也越来越高，如果武器的性能虽先进但造价和维修费用过于昂贵，可能仍难以采用。因此研制新火炮要把经济承受力放在十分显著的位置，努力从各个方面降低成本。

四、其它要求

作战适用性（operational suitability）和作战效能是度量武器系统作战能力的两个重要参数。作战效能指的是武器装备投入外场使用时完成其规定任务的能力。作战适用性指的则是武器装备投入外场使用时能够保持可用的程度，即装备在计划的保障方案和资源下，由军事人员在外场使用时能完成规定任务的程度。它定义为“在考虑可用性、兼容性、运输性、互用性、可靠性、战时利用率、维修性、测试性、安全性、人为因素、人力保障性、自然环境效应和影响、文件和培训要求等因素的情况下，武器装备在外场使用的满意程度。

安全性（safety）描述装备对人员及其他装备或设备所具有的潜在危险，它是装备作战效能和作战适用性评价需考虑的因素，通常用危险的严重性等级和危险的可能性等级来度量。目前系统安全性不仅在武器装备而且在航空、航天、核能、化工、石油及建筑等各领域均引起世界各国的高度重视。

完整性（integrity）指的是武器装备在规定的使用环境下和要求的使用寿命期间，通过获得安全性、耐久性、生存性、可靠性、维修性、保障性和性能而具有的属性。

第二篇 火炮工作原理及基本结构

本篇共五章。第一章是关于火炮发射原理及内、外弹道的基础知识；第二至第五章主要论述地面火炮各主要部件（炮身、反后坐装置、架体、自动机）的作用、结构组成、工作原理及结构分类等。

第一章 火炮的工作原理

第一节 火炮发射原理及其特点

火炮的作用是将弹丸发射到预定的目标上。从生活实践中可知，要将一个物体抛出一定距离，必须给该物体一定的初始速度和方向。火炮工作也是这个道理，即火炮的主要作用是赋予弹丸一定的射向和初始速度。一般称火炮的整个工作过程为火炮的射击过程，而将火炮射击过程中赋予弹丸初始速度的过程称为火炮的发射过程。

一、火炮发射原理

赋予弹丸的初始能量来自哪里？换句话说，火炮发射的能量是什么？人类发明火药以后，火药的一个重要用途是作为火器的发射能源。传统火炮就是以固体发射药（即火药）作为发射能源。一般是根据设计要求，将火药制成具有给定尺寸的粒状或长条状，通过一定方式点燃后释放能量，将发射药的化学能转化成热能以及弹丸运动的动能。随着科学进步和火炮技术的发展，可能会利用液体发射药、电等新能源作为火炮发射能源。

火炮发射一般是使火药在一端封闭的管形容器（即身管）内燃烧，生成的高温高压燃气膨胀做功，推动被抛射的物体（即弹丸）向另一端未封闭的管口（即膛口）加速运动，在膛口处获得最大的抛射速度（即初速）。

二、火炮发射过程

火炮发射过程如图 2-1-1 所示。

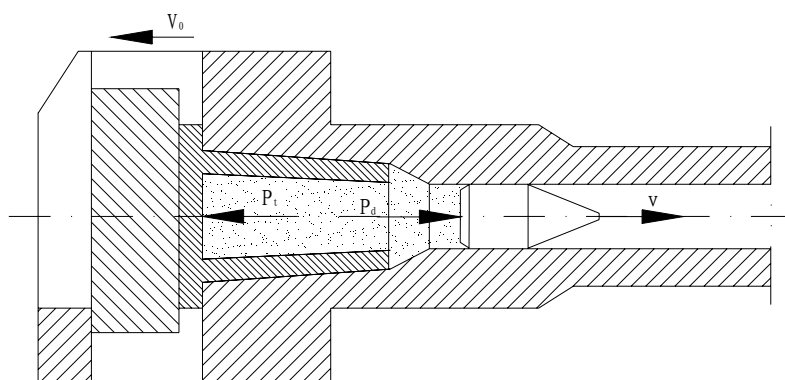


图 2-1-1 发射过程示意图

火炮发射过程可以分为如下几个阶段：

①点火阶段：身管轴线赋予弹丸一定的初始射向，先利用电能或撞击动能引燃比较敏感的点火药（底火），再利用点火药产生的火焰及高温高压燃气点燃发射药。

②发射药定容燃烧阶段：发射药点燃后，生成高温高压火药燃气。在燃气压力不足以推

动弹丸运动前,发射药燃烧是在一定容积的药室内进行的。随着发射药不断燃烧,弹丸后面的燃气压力不断升高。

③弹丸加速运动阶段:在弹丸后面的燃气压力大到足以推动弹丸运动后,燃气压力推动弹丸向管口加速运动,同时作用于身管。弹丸后面的容积随着弹丸运动而增大,发射药燃烧是在变化容积的弹后空间里进行的。变化着的容积对发射药燃烧、燃气生成、压力变化、弹丸运动等规律有直接影响。通过合理设计发射药的形状尺寸、炮膛结构尺寸、弹丸等来控制膛内压力变化规律(称为膛压曲线,如图2-1-2所示),从而控制弹丸的运动规律。

④火药燃气后效作用阶段:弹丸运动出管口后,火药燃气高速从管口喷出。从管口高速喷出的火药燃气,一方面继续对弹丸产生作用,另一方面继续对身管产生作用,并且可以通过控制从管口高速喷出的火药燃气的流动方向及流量来控制其作用效果。

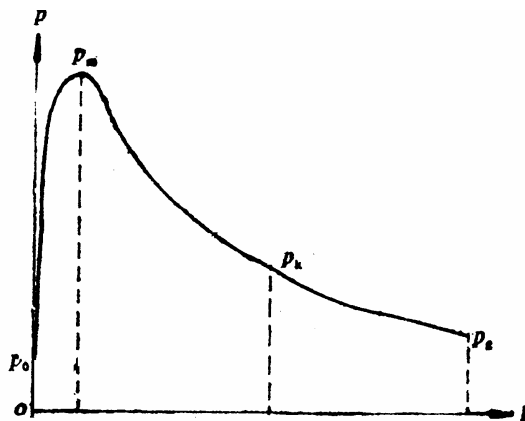


图 2-1-2 膛内压力变化规律

在火药燃气作用完毕之后,弹丸依靠所达到的初速,在空中惯性飞向预定目标。由于存在重力、空气阻力等,弹丸在空中飞行的速度是不断变化的,加上气候等诸多因素的影响,弹丸按一定的概率分布规律到达预定目标。

在燃气压力推动弹丸向管口方向加速运动的同时,根据作用与反作用原理,燃气压力对身管有向管口相反方向的作用,称燃气作用在身管上沿身管轴线与管口相反方向的作用力的合力为炮膛合力。炮膛合力最终通过发射装置的架体(炮架)传到地面上,称炮身作用于炮架的力为后坐力。由于发射时膛内燃气压力非常高(最大膛内压力高达 $250\sim 700\text{MPa}$),因此炮膛合力非常大(炮膛面积乘膛内压力,例如 155mm 火炮的炮膛合力可以高达 $7\times 10^6\text{N}$)。如果身管与发射装置的架体刚性连接,则后坐力就等于炮膛合力。为了保证正常射击,在射击时,发射装置既不能移动(称射击时发射装置保证不移动的性能为射击静止性),也不能翻转(称射击时发射装置保证不翻转的性能为射击稳定性),还应具有足够的刚度和强度。这样,发射装置就比较庞大和笨重,导致其机动性下降。

为了减小燃气压力对发射装置的直接作用,通常设置缓冲装置(称为反后坐装置),让身管沿其轴线向后运动(称为后坐)。这样,炮膛合力转化成两部分,一部分是后坐运动惯性力,另一部分是通过缓冲装置作用于炮架的后坐力。由于后坐运动,作用于炮架的后坐力比炮膛合力小得多(约二十分之一至四十分之一)。从而,可以在保证射击静止性和稳定性以及发射装置的刚度和强度的同时,减轻发射装置的重量,减小发射装置的结构尺寸,提高其机动性能。通过合理设计反后坐装置,可以控制后坐运动以及后坐力。

在火药燃气作用完毕之后,身管由于惯性而后坐。后坐过程中受到缓冲装置的作用。后坐结束后,身管又在缓冲装置作用下向前运动(称为复进),恢复发射前状态。

后坐部分的后坐运动能量约为弹丸动能的几十分之一,常用作开门,供、输弹机构及后坐部分复进的动力源。对于采用液压式制退机的武器,大部分后坐运动能量转化为制退机内

制退液的温升，如何控制液压是液压式制退机设计中必须解决的关键问题。

三、火炮发射特点

火炮发射过程实质上是一个能量转化过程。火炮依赖的能源是火药，火药是一种含能化学材料，既有燃烧剂又有助燃剂，当达到一定的温度以后就会燃烧。火药燃烧的速度除与它的化学成分有关外，还与压力有关，压力越大燃速越快。火药燃烧后在容器内生成有一定温度和压力的火药燃气，化学能转化为热能。火药燃气在膛内膨胀，推动弹丸飞出膛口，实现了由热能向动能的转化，即将有一定质量的弹丸从静止状态加速到飞出膛口时获得一定的线速度和迴转速度（滑膛炮没有或只有极低的迴转速度）。由于火炮发射过程的时间很短，它的瞬时功率很高，但热损失很大，其能量利用率约为 16%~30%，远比其他热力机械低。

火炮发射过程是一个极其复杂的动态过程。一般发射过程极短（几毫秒至十几毫秒），经历高温（发射药燃烧温度高达 2500~3600K）、高压（最大膛内压力高达 250~700MPa）、高速（弹丸初速高达 200~2000m/s）、高加速度（弹丸直线加速度是重力加速度的 10 000~30 000 倍，发射装置的零件加速度也可高达重力加速度的 200~500 倍，零件撞击时的加速度可高达重力加速度的 15 000 倍）过程，并且发射过程以高频率重复进行（每分钟可高达 6000 次循环）。

火炮发射过程伴随发生许多特殊的物理化学现象。火炮发射过程中，对发射装置施加的是冲击载荷，身管、膛口装置、抽气装置、炮尾、炮闩及各连接件，直接承受火药燃气的冲击载荷，该载荷是构件强度设计的主要依据。在冲击载荷的激励下还会引发发射装置的振动，尤其是膛口振动是影响射弹散布的重要原因之一。火炮发射过程中，身管的温升与内膛表面的烧蚀、磨损是一系列非常复杂的物理、化学现象。在工程实践中，采取各种方法冷却身管，在发射装药中增加缓蚀添加剂，研究爆热低的发射药，研究新型的身管材料，对身管内膛进行特殊工艺处理等多种技术措施以减少烧蚀和磨损，以满足使用需求。当弹丸飞离膛口时，膛内高温、高压的火药燃气在膛口外急剧膨胀，甚至产生二次燃烧或爆燃。特别是采用膛口制退器时，产生的冲击波、膛口噪声与膛口焰容易自我暴露而降低人和武器系统在战场上的生存能力，对阵地设施、火炮及运载体上的仪器、仪表、设备和操作人员都会产生有害作用。

火炮发射特点可以概括成：

- ①周期性：一发一个循环，要求较好的重复性。
- ②瞬时性：发射过程极短，具有明显的动态特征。
- ③顺序性：每个循环的各个环节严格确定，依次进行。
- ④环境恶劣性：高温、高压、高速、高加速、高应变率、高功率。

第二节 弹道学简介

一、弹道学

一般把弹丸或其他发射体质心运动的轨迹称为弹道。从设计理论角度，把研究弹丸或其他发射体从发射开始到终点的运动规律及伴随发生的有关现象的科学称为弹道学，把研究发射装置的构造原理及发射过程中的伴随现象和规律的科学称为身管武器设计理论。

早期的弹道学仅局限于研究质心运动轨迹的力学范畴。随着武器的进步、基础科学和测试技术的发展，弹道学的研究对象逐步扩展到发射全过程的各个方面。从发射装药的点火、燃烧、高温高压燃气的产生与膨胀做功、弹丸或其他发射体的运动到弹丸对目标的作用以及伴随出现的各种现象等，大大丰富了弹道学的研究内容，使之逐渐发展成为涉及刚体动力学、气体动力学、空气动力学、弹塑性力学、化学热力学以及燃烧理论、爆炸动力学、撞击动力学、优化理论和现代计算技术等学术领域的综合性学科。

弹道学是武器设计和应用的理论基础，研究弹道学的目的在于本着全弹道的观点在理论和实践上指导武器的设计、使用和改进，使武器在优化条件下达到预期的射程、射击精度和

毁伤效果，并保证射击的安全性。此外，弹道学还可以在新型武器的研制、新发射方式的探讨以及新能源的利用等方面发挥应有的指导作用，并促使本身向新的学术领域扩展。

由于弹丸在不同阶段的运动规律不同以及相应的研究方法不同，根据射击过程不同阶段的物理现象，身管武器（枪炮）弹道学最初是以身管武器的膛口为界，划分为膛内弹道学（简称内弹道学）和膛外弹道学（简称外弹道学）。经过一个多世纪的发展，到 19 世纪后期，才初步完善了各自的学科体系。介于其间的膛口现象研究，原先仅作为内弹道现象的延续。随着对武器的威力和射击精度要求不断提高，以及应用膛口装置之后，膛口气流的利用及有害现象的抑制等问题的出现，促使对膛口气流的研究日益受到重视，而气体动力学理论、计算技术以及流场测试技术的相继发展，又为这方面的研究提供了必要的条件。20 世纪 60 年代以后，这一新领域的研究已从内弹道学中分化出来，形成中间弹道学学科。弹道起始段的研究，虽然原来也是属于内弹道学的一个组成部分，但随着武器向高初速、高膛压及高装填密度方向发展的需要，发射装药起始燃烧阶段对射击安全性和弹道稳定性等的重要影响日益受到重视，而现代燃烧理论、内弹道两相流理论以及脉冲 X 光测试技术等也为这方面的研究提供了必要的条件，使这个领域研究的深度和广度都在不断发展，也逐渐地从内弹道学中分化出来，形成了起始弹道学学科。终点弹道学的研究虽然早在 19 世纪前期即已兴起，但是它的发展进程同中间弹道学的情况一样，也是 20 世纪中期在有关基础学科和测试技术发展的推动下，才逐渐形成较完整的学科体系。

目前，根据射击过程不同阶段的物理现象，身管武器（枪炮）弹丸运动的全过程划分为 5 个弹道阶段及相应的研究领域，即起始弹道、膛内弹道、中间弹道、膛外弹道、终点弹道。

二、内弹道学

内弹道学是研究发射过程中炮膛内的火药燃烧、物质流动、能量转换、弹体运动和其他有关现象及其规律的学科，是弹道学的一个分支。

内弹道学的研究对象归纳起来主要有 4 个方面：

- ①有关点火药和火药的热化学性质，点火和火药燃烧的机理及规律；
- ②有关枪炮膛内火药燃气与固体药粒的混合流动现象，火箭发动机内的气流现象以及气流对火药燃烧的影响；
- ③有关弹带嵌进膛线的受力变形现象，弹丸和枪炮身的运动现象；
- ④有关能量转换、传递的热力学现象和火药燃气与膛壁或发动机之间的热传导现象等。

内弹道学研究的主要内容和基本任务是：从理论和实验上对膛内的各种现象进行研究和分析，揭示发射过程中所存在的各种规律和影响规律的有关因素；应用已知规律提出合理的内弹道的方案，为武器的设计和发展提供理论依据；有效地利用能源及探索新的发射方式等。

发射过程中炮膛内的各种现象既是同时发生而又相互影响，它们之间的关系是通过火药燃气的温度、压力及弹丸速度等各种量的变化规律来表达的。因此，研究并掌握这些规律就成为内弹道学的一个基本问题。通常是根据对各主要现象的物理实质的认识，分别建立描述过程变化的质量、动量、能量守恒方程及气体状态方程，再结合火炮的特点，将各相应的方程组成内弹道方程组，对方程组求解的数学过程称为内弹道解法。它可以根据给定火炮内膛结构数据及装填条件，解出压力和速度的变化规律，为火炮的改进提供依据。例如对火炮内弹道方程组求解，可以直接给出随弹丸行程及时间变化的压力曲线和速度曲线。曲线所表示的变化规律即反映了火炮内弹道的特点。

图 2-1-3、图 2-1-4 分别为炮膛内的 $p-l$ 、 $v-l$ 曲线和炮膛内的 $p-t$ 、 $v-t$ 曲线，图中的 p 、 v 、 l 、 t 分别为炮膛压力、弹丸速度、弹丸行程和弹丸运动时间；下标 m 、 k 、 g 分别表示最大压力点、火药燃烧结束点及炮口点； p_0 表示弹丸的弹带全部挤进膛线开始运动时的膛内压力，称为挤进压力。

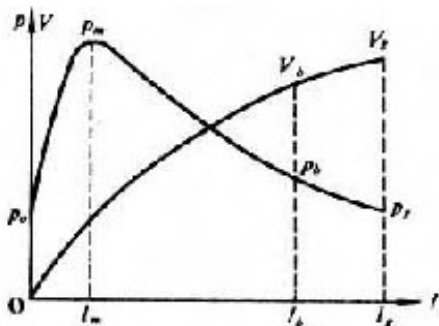


图 2-1-3 炮膛内的 p - V 曲线

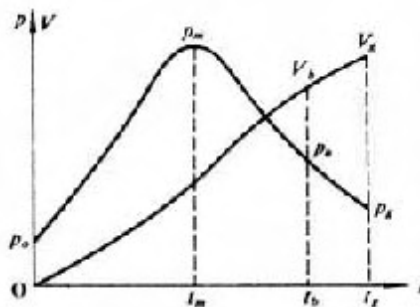


图 2-1-4 炮膛内的 p - t 曲线

压力曲线的变化规律表明,炮膛内存在两个作用相反的效应:火药燃烧生成气体使压力增长;弹丸向前运动时,弹后空间增大又使压力下降。因此,曲线的压力上升段即表示前者的效应超过后者,而压力下降段则正好相反。当两种效应达到瞬态平衡时即为最大压力。在整个过程中压力虽然在不断变化,但弹丸则一直受压力的作用而不断加速,从而给出不断上升的速度曲线。弹丸飞出炮口瞬间的速度称为炮口速度,用实验方法测算的炮口速度称为初速。最大压力和初速是火炮内弹道的两个重要弹道量,它们是火炮性能和弹药检验的主要标志量。

利用所掌握的内弹道规律,改进现有的火炮或设计出新型的火炮,就是内弹道设计。它也是以内弹道方程组为基础的。例如根据战术技术要求所给定的火炮口径及外弹道设计所给出的初速、弹重等主要起始数据,解出合适的炮膛结构数据、装填条件以及相应的压力和速度变化规律。在内弹道设计方案确定之后,方案的数据就是进一步进行炮身、炮架、药筒、弹丸、引信及发动机等部件设计的基本依据。因此,火炮的性能在很大程度上决定于内弹道设计方案的优化程度。

为了选择最优化的设计方案,内弹道学根据所研究过程的特点,采用了如下的弹道指标作为评定火炮弹道性能的主要标准:①最大压力。炮膛所承受的最大压力是炮身、弹丸、药筒、引信等部件强度设计的主要依据。为了减轻部件的重量,在保证火炮满足所要求的射程及威力的条件下,这个指标应尽可能地降低。②示压系数(或炮膛工作容积利用系数)。火药燃气在炮膛内膨胀做功,使弹丸、炮身及火药燃气获得动能的过程表明,压力随行程变化的曲线不仅反映压力变化的规律,曲线下面的面积还反映出弹丸获得动能的变化规律,一定的炮口动能与一定的曲线总面积相对应。因此,进行内弹道设计时,在给定最大压力指标的条件下,为了达到设计要求的炮口动能或曲线总面积,可以从不同的压力变化规律以及不同的弹丸全行程长度进行选择,如图 2-1-5 所示。在最大压力和曲线总面积都相同的条件下,弹丸全行程长与压力曲线下降的平缓程度有关。为了表示曲线的这种特点,常采用曲线积分面积的平均压力与最大压力的比值(即示压系数)作为评定指标。这个比值愈大,则曲线下降愈平缓,所设计的炮管将愈短,有利于火炮机动性能的提高。现有火炮的示压系数一般在 0.5~0.75 之间。③弹道效率。根据炮膛内能量转换过程的特点,火炮内弹道学采用火药燃气总内能转换为炮口动能的百分比,作为评定能量利用效率的指标,称为弹道效率。为了充分利用火药能量,这个指标应尽可能地提高。现有火炮的弹道效率一般在 20%~30% 之间。

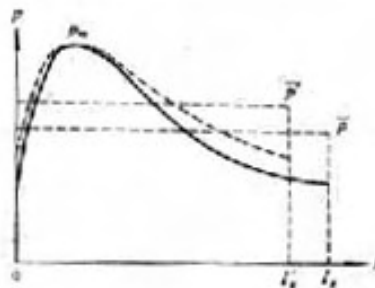


图 2-1-5 最大压力和弹丸炮口动能都相同时的 p - t 曲线

内弹道设计方案从选择到具体实现,除了以上各主要指标之外,还要考虑其他一系列的要求。例如,减少对炮膛的烧蚀作用以提高寿命;保证弹道性能的稳定性及射击精度;避免膛内激波的形成;减少炮口焰、炮尾焰和炮口噪音等有害现象以及火炮应用的高低温度范围等。根据火炮的具体情况,这些指标和要求在不同程度上已成为评定火炮性能的重要标准,同时也是内弹道学研究工作中经常要解决的课题。

能源是实现内弹道过程的主要物质基础。如何选择合适的能源,有效地控制能量释放规律,合理地应用释放的能量以达到预期的弹道效果,一直是内弹道学研究的一个主要问题。火药是最常用的主要能源。早在无烟药开始应用时对于成形药粒的燃烧,就采用了全面着火、平行层燃烧的假设,并以单一药粒的燃烧规律代表整个装药的燃烧规律,称为几何燃烧定律。它是内弹道学的一个重要理论基础。长期以来,应用这个定律指导改进火药的燃烧条件,控制压力变化规律以达到提高初速和改善弹道性能的目的。广泛应用的方法有两种,一种是采用燃烧过程中燃烧面不断增加的火药,如7孔、14孔、19孔等多孔火药;另一种则采用燃烧速度不断增加的钝化火药。由于这两种方法受到现有火药的性能和工艺条件的限制,再进一步发展已较困难。因此,又开展了包覆火药、镶嵌金属丝及涂层金属火药、成型组合装药以及随行装药等方法的研究,并取得了初步成果。20世纪70年代以来,对利用液体燃料作为火炮能源的可能性进行了探索性研究,也取得了一定的进展。

三、外弹道学

外弹道学是研究弹丸在空中的运动规律及有关现象的学科,是弹道学的一个分支。炮弹在空中飞行时,由于受空气阻力、地球引力和惯性力的作用,不断改变其运动速度、方向和飞行姿态。不同的气象条件也将对弹丸的运动产生影响。通常可以将弹丸的运动分解为质心运动和围绕质心运动(绕心运动)两部分,分别由动量定律和动量矩定律描述。

外弹道学的研究内容主要包括弹丸或抛射体在飞行中的受力状况、弹丸质心运动、绕心运动的规律及其影响因素、外弹道规律的实际应用等,涉及理论力学、空气动力学、大气物理和地球物理等基础学科领域,在武器弹药的研究、设计、试验和使用上占有重要的地位。

作用于弹丸的力和力矩主要是地球的作用力和空气动力。地球的作用力可以归结为重力与哥氏惯性力。重力通常可以看作是铅直向下的常量。当不考虑空气阻力时,弹丸的飞行轨迹(真空弹道)为抛物线。对于远程弹丸则要考虑重力大小、方向的改变和地球表面曲率的影响,其轨迹为椭圆曲线。哥氏惯性力还对远程弹丸的射程和方向有一定影响。

作用于弹丸的空气动力与空气的性质(温度、压力、粘性等)、弹丸的特性(形状、大小等)、飞行姿态以及弹丸与空气相对速度的大小等有关。当弹丸飞行速度矢量与弹轴的夹角(称为攻角或章动角)为零时,空气对弹丸的总阻力的方向与弹丸飞行速度矢量方向相反,它使弹丸减速,称为迎面阻力。当攻角不为零时,空气对弹丸的总阻力可分解为与弹丸飞行速度矢量方向相反的迎面阻力和与其垂直的升力,后者使弹丸向升力方向偏移。由于总阻力的作用点(称为阻心或压心)与弹丸的质心并非恰好重合,因而形成了一个静力矩。它使旋转弹丸的攻角增大而使尾翼弹丸的攻角减少,因而分别称为翻转力矩和稳定力矩。当弹轴有摆动角速度时,弹丸周围的空气将产生阻滞其摆动的赤道阻尼力矩。当弹丸有绕轴的自转角速度时,将形成阻滞其自转的极阻尼力矩。如自转时有攻角存在,还将形成一个与攻角平面垂直的侧向力和力矩,称为马格纳斯力和马格纳斯力矩。这些力和力矩如图2-1-6所示。在诸空气动力中,迎面阻力、升力和静力矩对弹丸运动影响较大,它们可以表达成弹速、弹丸横截面积、弹长和空气密度以及弹丸阻力系数的函数。

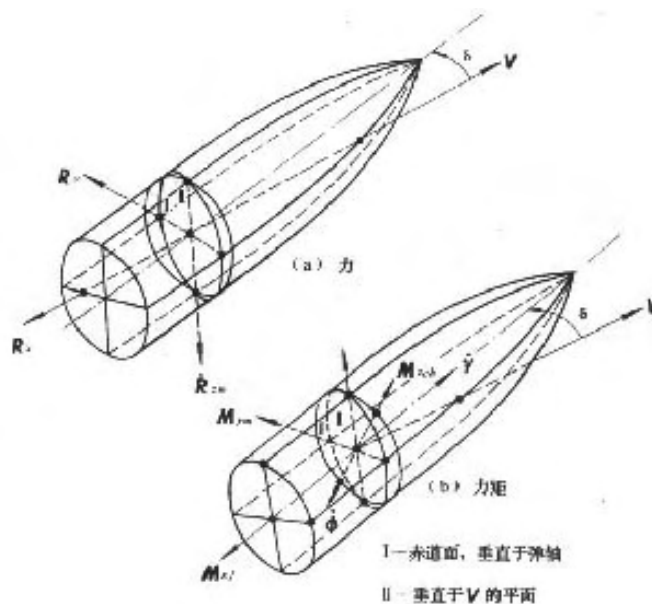


图 2-1-6 作用于弹丸上的空气动力和力矩

此外，随时间、地点和高度的不同而变化的气象因素(如气温、气压和风等)将直接影响空气的密度和弹丸与空气的相对速度，使空气动力发生变化。通常气温高、气压低或顺风均使射程增大，反之则减小。横风将使弹丸侧偏。

要准确地描述弹丸运动的规律，有赖于对上述空气动力的准确测量。测量的方法通常有风洞法和射击法两类，后者已发展成为实验外弹道学的主要内容。

在攻角为零、标准气象条件和其他一些基本假设下，弹丸质心运动的轨迹将是一条平面曲线(理想弹道)。它由初速、射角和弹道系数完全确定。弹道系数是反映弹丸受空气阻力影响大小的重要参量，它是弹径、弹重和弹形系数(当攻角为零时弹丸阻力系数与某标准弹阻力系数之比)的函数。弹道系数越小，对减小阻力、增大射程越有利。在同样的初速和射角条件下，弹道系数与射程的关系如图 2-1-7 所示。

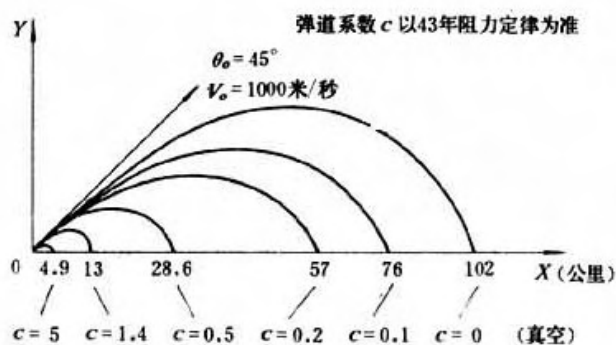


图 2-1-7 弹道系数与射程的关系

通常采用减小弹形系数、增加弹丸的长细比和选用高密度材料等方法来减小弹道系数。例如枣核弹，由于改善了弹头、弹尾的形状，减小了空气阻力，使弹形系数减小到 0.7 左右；底部排气弹由于采用了底部排气技术，提高了弹底压力，使弹形系数进一步减小到 0.5 左右；某些次口径穿甲弹，由于提高了初速，增大了长细比或采用钨、铀等高密度材料，不仅增大了射程，还提高了落速和穿甲能力。

研究质心运动规律的目的，在于准确地获得弹道上任意点的坐标、速度、弹道倾角和飞行时间等弹道诸元，以及在非标准条件下的射击修正量。由初速、射角和弹道系数等参量可以编制外弹道表，用以直接查取或求得顶点、落点乃至任意点的弹道诸元和有关的修正系数。

弹丸在作质心运动的同时作绕心运动。当攻角不大时，绕心运动可用线性理论来描述。起始扰动引起攻角的大小呈周期性变化。攻角平面在空中绕速度矢量旋转，与攻角相应的升力矢量也将空中旋转，使弹丸质心运动的轨迹成为一条空中螺旋线。螺旋线的轴线向一方偏离形成平均偏角，它的大小主要与随机变化的起始扰动有关。这是造成跳角及其散布，特别是低伸弹道高低和方向散布的重要原因。由重力引起的非周期性变化的攻角称为动力平衡角。它对于右(左)旋弹丸主要偏向弹道右(左)方，与其相应的升力产生使弹丸向右(左)侧运动的偏流。此外，由于弹丸攻角大小的变化，还将引起迎面阻力的增大和变化使射程减小并产生散布，如图 2-1-8 所示。对于尾翼稳定弹丸绕心运动对质心运动的影响，除了不形成偏流外，其他与旋转弹丸相似。

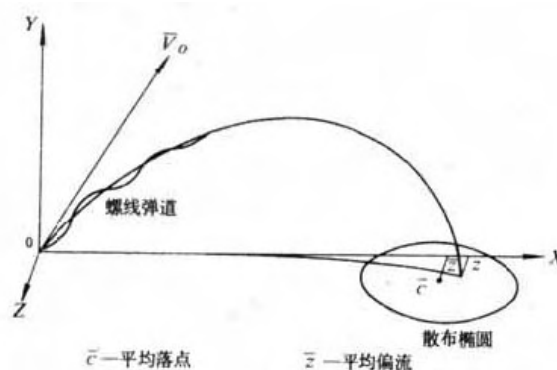


图 2-1-8 螺旋弹道、偏流与散布示意图

由绕心运动的规律可以确定弹丸的飞行稳定性，即保证弹丸在飞行全过程中攻角始终减小或不超过某一最大限度。这是保证弹丸具有良好射击精度的必要条件。弹丸的飞行稳定性取决于它的运动参量、气动力参量和结构参量。尾翼稳定弹丸利用其尾翼作用使阻心移到质心后面，形成稳定力矩使攻角不致增大，称为静态稳定弹。一般阻心与质心间的距离达到全弹长的 10%~15% 时，就能保证良好的静态稳定性。旋转弹丸不具有静态稳定性，但当其旋转速度不低于某个最低值时，就可以依靠陀螺效应使弹轴围绕某个平均位置旋转与摆动，不致因翻转力矩的作用而翻转，即具有陀螺稳定性。在重力作用下弹道是逐渐向下弯曲的，如果弹轴不能追随弹道切线以同样的角速度向下转动，势必形成攻角增大甚至弹底着地。旋转弹丸由于有动力平衡角存在，与其相应的翻转力矩将迫使弹轴追随弹道切线向下转动，因而具有追随稳定性。为了保证攻角始终较小，动力平衡角也不能过大。如果弹丸旋转速度太高，其陀螺定向性过强，就可能造成动力平衡角过大，因此又必须限制转速不超过某一个最高值。由保证陀螺稳定的最低转速和保证追随稳定的最高转速，可以确定相应的膛线缠度(以口径的倍数表示膛线旋转一周时的前进距离)的上下限。通常枪炮的膛线缠度均在其上限的 0.70~0.85 范围内选取。膛线缠度主要由弹丸的结构参量、阻心位置和翻转力矩系数来确定。静态稳定的尾翼弹丸同时具有追随稳定性。此外，具有静态稳定的尾翼弹丸或具有陀螺稳定和追随稳定的旋转弹丸，其弹轴摆动虽是周期性的，但摆动的幅值可能因条件不同而逐渐衰减或逐渐增大。为了保证弹丸的飞行稳定性，还必须要求摆动幅值始终衰减，即要求弹丸具有动态稳定性。动态稳定性与其升力、静力矩、赤道阻尼力矩、极阻尼力矩和马格纳斯力矩等有关。旋转弹丸的飞行稳定性如图 2-1-9 所示。

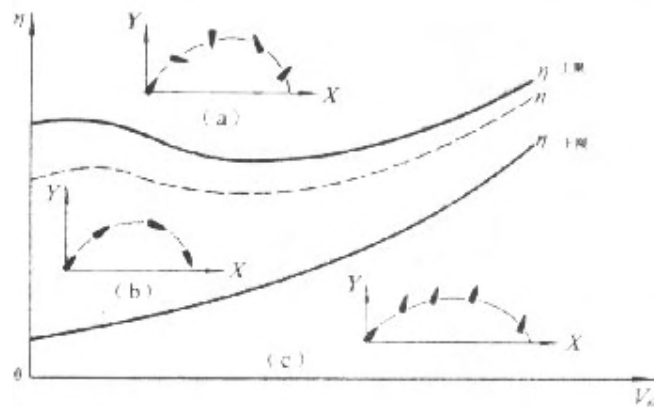


图 2-1-9 旋转弹丸的飞行稳定性示意图

(a) 陀螺不稳定; (b) 陀螺追随稳定; (c) 陀螺稳定、追随不稳定。

从质心运动和绕心运动的有关规律,可以分析估算射弹散布的大小。引起散布的因素很多,不仅与起始扰动、阵风等随机因素有关,而且与弹道参量、弹炮结构参量以及它们的变化范围等有关。

利用所掌握的外弹道规律,可以进行外弹道设计和编制射表。外弹道设计、计算是根据火炮的战术技术要求,应用空气动力学、现代优化理论和计算技术对相应的外弹道方程组进行弹道计算,以寻求最有利的运动条件并确定出弹重、弹径、初速和弹形结构等的合理值。综合应用飞行稳定性和散布理论,提供满足射程、射击精度要求和减小散布的有利条件,寻求最优化的总体设计方案。它为武器、弹药、引信等的设计、研究、试验、使用提供依据。编制射表,是根据外弹道理论结合射击试验,准确地列出特定火炮的射角、射程及其他弹道诸元间的对应关系;应用修正理论给出相应弹道诸元在非标准条件下的修正量;用实验和散布理论确定出有关的散布特征量,为准确有效地实施射击提供依据。准确完善的射表或简单可靠的弹道数学模型是设计制作瞄准具、射击指挥仪或火控系统等的基礎。

四、全弹道体系

弹丸运动的 5 个弹道阶段,组成了一个完整的弹道体系。在这个体系中,起始弹道通过装药的点火燃烧及弹丸挤进膛线等起始条件,直接影响内弹道规律;内弹道又通过弹丸的初速、膛内弹丸的运动状态、枪炮身的振动和炮口膛压等因素,影响中间弹道进而影响外弹道;而外弹道则通过弹丸的落速、落角等因素影响终点弹道,从而密切地联系在一起,并体现出全弹道的整体概念。

在现有弹道学体系的基础上,根据应用条件的特殊性,还派生出各种新的分支学科。例如,由于作为介质的水的密度大于空气而可压缩性小于空气,水中发射有其特殊的弹道规律,因而,随着水中兵器的发展而形成了水中弹道学。此外,还有研究在短时间和短距离内发射重载物的弹射弹道学;研究投射物对人体致伤作用与机理的创伤弹道学等。

弹道学体系各分支学科及其一些重要理论的形成与发展,往往取决于某些弹道实验技术与发展。这是由于弹道学的研究对象比较复杂,一般都具有高压、高温、高速和瞬时性等特点,有关参数的测量必须使用专门的仪器与设施,从而逐渐发展并形成了实验弹道学。这个学科是弹道学体系的一个重要组成部分,每个弹道阶段都有其相应的弹道实验。

长期以来,由于弹道现象的复杂性,导致了理论研究及计算的困难,影响了弹道学的发展。随着计算机及计算技术的发展,弹道学的研究取得了突破性的进展。计算机的迅速发展,对中间弹道学和终点弹道学这两个分支,以及内弹道气动力理论体系的形成和发展,也都起了巨大的推动作用。各个分支学科都建立了求解各自问题的数学模型和计算程序。为了适应全弹道体系发展的需要,计算弹道学也逐步发展成专门的分支学科。

第三节 火炮射击与瞄准

一、射击

射击是火器完成战斗任务的基本手段。炮兵射击就是火炮发射炮弹对目标实施火力攻击以达到一定战术目的的过程，它是射击指挥员和侦察、计算、通信、火炮各专业分队协调一致的行动。要求依据一定的射击规则以最小的损耗，取得最佳的射击效果。

1. 地面炮兵射击

地面炮兵射击可分为射击准备和射击实施两个阶段。射击准备的主要目的是决定参加射击的火炮对目标射击开始用的瞄准装置装定分划（方向、高低和表尺分划），以及用时间引信射击时的引信装定分划。射击准备主要包括侦察目标、校正火炮、准备弹药、组织通信、进行气象探测和决定射击诸元等。对目标的射击实施，传统方法是采取试射和效力射两个步骤。试射是用射击的方法排除或缩小开始诸元的误差，以获取有利于毁伤目标的效力射诸元。效力射是以较精确的射击诸元，对目标进行有效的射击，以达到预期的战术目的。现代信息化火炮将不再试射。集团军对炮兵的要求是“首发命中，首群覆盖”，这也是火炮武器系统要努力实现的使命。

依据战术目的和目标遭受的损伤程度不同，射击任务主要可区分为压制、歼灭、破坏和妨害。压制射击是给目标以部分损伤，使其暂时或部分失去战斗力；歼灭射击是给目标以重大损伤，使其大部或全部丧失战斗力；破坏射击是摧毁工事、工程设施或建筑物，使其不能使用；妨害射击是指目的仅在于扰乱（妨碍、迟滞）敌人行动，削弱其战斗力或封锁交通要道的射击。毁伤是压制、歼灭、破坏等的总称。此外，还可发射特种炮弹，以完成照明、纵火、布雷、施放烟幕和散发宣传品等射击任务。对现代信息化作战，还可发射特种炮弹，以完成电子战和战场侦察、对目标毁伤评估的任务。

依据火炮能否直接通视目标，地面炮兵射击又分为直接瞄准射击和间接瞄准射击。直接瞄准射击是将火炮配置在距目标较近且能通视目标的阵地上，用火炮瞄准装置直接瞄准目标，决定射击诸元，观察炸点，指挥射击。射击的准备和实施较为简便，命中率高，能以少量弹药在短时间内完成射击任务。其弹道低伸，对坦克、碉堡等有一定高度的目标射击较为有利。但炮阵地暴露，容易遭到对方火力毁伤。间接瞄准射击在不能从火炮阵地直接看到目标或需要对目标实施“顶攻”时采用的一种射击方式，它是将火炮配置在不能通视目标的阵地上，由专设的观察所或观察员侦察目标，决定对目标的射击诸元，并传输给火炮。炮手在火炮上装定射击诸元，赋予火炮射角，同时向瞄准点瞄准以赋予火炮射击方向，实施射击。观察炸点修正误差均由观察所或观察员进行。间接瞄准射击能充分发挥火炮射程远、落角大的性能，便于实施火力机动，有利于纵深梯次配置炮兵，是地面炮兵的主要射击方式。但在射击准备和实施阶段的侦察、测地、通信、气象和弹道等技术保障比较复杂，弹药消耗较多。

依据对炸点能否观察修正，间接瞄准射击还可分为对能观察目标射击和对不能观察目标射击。对能观察目标射击，可根据观察结果修正炸点偏差，直至完成射击任务。对不能观察目标射击，要使用最精确的方法决定目标位置和射击诸元，发射完规定的弹数就停止射击。也可派出前方观察员、敌后观察员实施抵近观察，或利用炮兵侦察校射飞机（目前多采用无人机）、电子侦察仪器等手段，使之转化为对能观察目标的射击。

20 世纪 60 年代以来，以微型电子计算机为核心的地面炮兵射击指挥系统的使用，提高了决定射击诸元的速度，增强了射击反应能力，射击指挥程式也随之简化。近年来，随着测地、气象探测和测定初速等各种先进测量技术的广泛使用，进一步提高了射击精度，不经试射直接进行效力射的效果有了可靠保证。

2. 高射炮兵射击

高射炮兵射击的主要目标是空中目标，必要时也可射击地面目标和水面目标。现代战场

高射炮兵需要对付的空中目标，除传统固定翼飞机外，主要是各类导弹，尤其是巡航导弹，以及低空和超低空的武装直升机。防空和反导是当今高射炮兵的两大任务，尤其是反导。高射炮反导比导弹反导有其特殊的优势，并且是最后一道屏障。

现代高射炮兵对空中目标射击，通常先以雷达、光学仪器、光电跟踪和测距装置搜索、发现和跟踪目标，连续测定目标坐标；通过高射炮射击指挥仪或瞄准具求出射击诸元，并连续传送到火炮；然后，火炮按射击诸元进行发射，使弹丸直接命中目标，或在目标附近爆炸以破片毁伤目标。

由于目标运动快速，火炮不能直接向目标现在点射击，而应向目标提前点射击。同时，由于弹丸受重力和空气阻力的影响，其弹道向下弯曲，火炮射击时身管还要抬高一个高角。目标提前点是根据目标在弹丸飞行时间内仍按火炮发射前的飞行状态作有规则运动的假定，用外推法确定的；高角是根据弹丸弹道下降量确定的。确定提前点和高角时，必须使弹道与目标航路相交，使弹丸从起点到提前点的弹丸飞行时间与目标从现在点到提前点的目标飞行时间相等。

高射炮兵射击也可分为射击准备和射击实施两个步骤。射击准备主要包括：准备火炮、仪器、弹药，使之处于良好的战备状态；组织对空侦察，保证及时发现目标；根据任务、地形和飞机活动特点等制定射击预案；计算与修正气象、弹道等条件的偏差。射击实施主要包括：搜捕与指示目标；判断情况；选择目标；决定火力运用的方法、射击方法和发射种类；确定开火时机，适时开始射击；进行射击观察；实施火力机动。

射击方法通常分为指挥仪法射击和瞄准具法射击。指挥仪法射击，是利用指挥仪求取射击诸元的方法进行的射击，是高射炮兵的基本射击方法。指挥仪是比较完善的计算装置，其核心部分是计算机，对目标飞行状态假定接近实际，可修正气象和弹道条件等的偏差，计算诸元的准确性较好。瞄准具法射击，是利用火炮瞄准具求取射击诸元进行的射击。瞄准具对目标飞行状态的假定和计算装置较指挥仪简单，计算诸元的准确性低于指挥仪，通常是在不能用指挥仪法射击时采用的射击方法。有的自行高射炮系统有一部主计算机和一部简易计算机。用主计算机计算诸元射击是基本的方法，简易计算机是在紧急情况下不能用主计算机时使用。

小口径高射炮通常用点射，包括连续发射弹数较少的短点射和连续发射弹数较多的长点射；大、中口径高射炮通常用有一定发射间隔的齐射和以最大发射速度发射的急促射。

20 世纪 70 年代以来，许多国家大力发展的小口径高射炮系统，能同时进行搜索与跟踪，能在全天候和电子战条件下识别敌我飞机，探测和跟踪低空、超低空快速目标，并能同时跟踪多个目标。有的高射炮系统采用数字式火控计算机，能迅速、准确地同时计算多个目标的射击诸元和为获得最大毁伤概率所需的连续射击时间，并能同时控制数个火力单位对数个目标射击。有的高射炮系统在炮口装有测定初速、气压等的设备，能自动修正初速和气象条件变化所引起的弹道偏差；在仪器车和炮架上均装有自动调平装置，可在几秒钟内自动调整仪器车和炮架水平；在仪器车上装有视差测量装置，可自动测定和修正仪器与火炮之间的视差，缩短了射击准备时间，提高了射击精度。为了提高命中和毁伤概率，有的高射炮系统采用近炸引信和预制破片的榴弹射击。自行高射炮系统机动性好，自动化程度高，能自动修正车体偏向与摇摆所产生的偏差，保障行进中搜索、跟踪目标，计算射击诸元，实施行进间射击和短停射击。高射炮系统的反应时间一般为 6~8s，有的只需 2.5s。由于电子计算机和运筹学原理的广泛运用，高射炮兵射击将进一步向提高精度、速度和自动化程度的方向发展。

二、瞄准

实施火炮射击前必须进行瞄准。瞄准是指根据指挥系统指令，赋予炮身轴线在空间一个正确位置，以保证射弹的平均弹道通过预定目标的过程。瞄准一般包括高低瞄准和方向瞄准。

要赋予炮身轴线在空间一个正确位置，首先需要确定火炮的炮身轴线的初始指向，以及

目标相对火炮的位置和距离。一般将火炮的炮口切面中心作为瞄准起点（ O ），以火炮的炮身轴线在水平面上的投影与正北方向（ \overrightarrow{ON} ）的夹角（即初始方位角 β_0 ）表示火炮指向（初始射向）。瞄准起点（ O ）与目标（ T ）的连线称为炮目线（ \overrightarrow{OT} ），也称瞄准线。炮目线与炮口水平面的夹角称为炮目高低角（ ε ）。目标在炮口水平面以上，炮目高低角为正；目标在炮口水平面以下，炮目高低角为负。瞄准时，应根据目标位置，给炮身装定炮目高低角。由于射弹受地心引力和空气阻力的作用，其弹道不可能由炮口指向目标的直线，而呈现为曲线形状。考虑弹道弯曲，为了使弹道通过预定的目标点，射击时，炮身轴线就不能直接指向目标，而应该在炮目高低角的基础上抬高一个角度，对准虚拟的目标点（ A ）射击，瞄准起点与虚拟目标的连线（ \overrightarrow{OA} ）称为射击线，射击线也就是弹丸出炮口时的速度方向。瞄准时抬高的角度，即 \overrightarrow{OA} 与 \overrightarrow{OT} 的夹角（ α ）称为瞄准角，也称为高角。高角的大小，取决于弹丸的初速、弹重、射程，以及弹丸的其他结构参数。考虑到射击时火炮的跳动等因素，往往对高角进行修正，记高角修正量为 $\Delta\alpha$ 。实际射击时，炮身轴线与炮口水平面的夹角称为射角（ φ ），即炮目高低角、瞄准角与高角修正量之代数和，如图 2-1-10 所示。高低瞄准就是赋予火炮的射角。

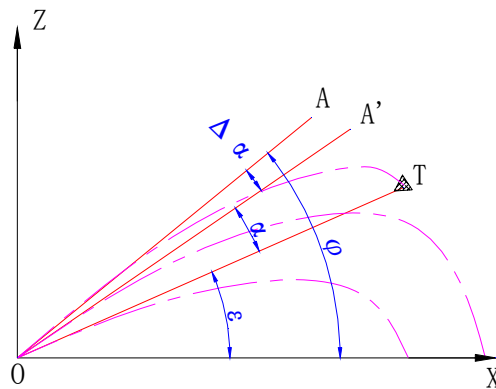


图 2-1-10 射角

火炮对目标射击，应在方向上对准目标。炮目线在水平面上的投影方向称为基准射向。初始炮膛轴线所在铅垂面与炮目线所在铅垂面的夹角称为炮目方位角（ β_{OT} ），炮目线所在铅垂面与正北方向的夹角称为基准方位角（ β_T ）。考虑到偏流、横风等影响，为了使弹道通过预定目标点，射击时，在方向上，炮膛轴线不能只从初始指向移动一个炮目方位角到达基准射向，而应该在基准方位角的基础上，偏离一个角度，即炮目线所在铅垂面与射击时炮膛轴线所在铅垂面（称为射面）之间应该有一个方位偏角（ δ ），称为侧向瞄准角。射面与正北方向的夹角称为方位角（ β ），即方位角为初始方位角、炮目方位角与方位偏角之代数和。方向瞄准就是赋予火炮的方位角。射击准备时，一般事先将初始射向调整到基准射向。进行方向瞄准时，只需赋予火炮侧向瞄准角。如图 2-1-11 所示。

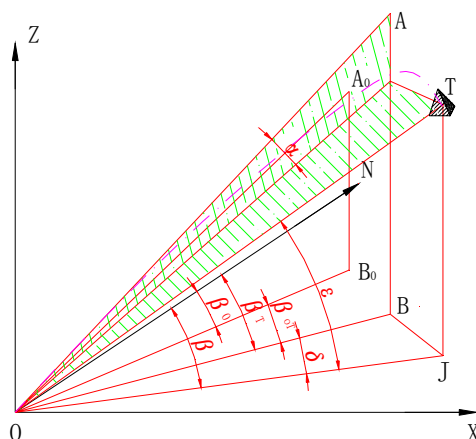


图 2-1-11 方位角

瞄准就是赋予火炮射角和方位角。根据瞄向目标的方式不同，瞄准方式分为直接瞄准和间接瞄准。直接瞄准是指火炮瞄准时，瞄准线直接指向可见的待射目标；间接瞄准是指火炮瞄准时，瞄准手看不见待射目标，火炮以一个可见的辅助点为基点进行瞄准。

瞄准是通过瞄准装置来实现的。瞄准装置一般包括瞄准具和瞄准机。瞄准机附属于炮架，将在炮架一章中专门介绍。

瞄准具是能赋予火炮准确的瞄准角，使平均弹道通过目标的装置。

瞄准具按结构与作用原理，可分为机械瞄准具、光学瞄准具、光电瞄准具、自动电子瞄准具和激光瞄准具等。

机械瞄准具是按三点可确定一直线的原理，用眼睛通过照门和准星瞄准目标的装置。简单的机械瞄准具由准星和带照门的表尺组成，主要用于近距离射击瞄准。

光学瞄准具主要由瞄准镜、表尺分划筒、方向和高低机等装置组成。使用时，将瞄准具装定好对准目标的方向角和高低角，并将瞄准参数赋予火炮实施射击，通过射程和方向的不断修正，保证弹道准确通过目标。火炮用光学瞄准具，又分为直接瞄准射击用的瞄准具和间接瞄准射击用的瞄准具。前者供火炮射击可通视目标时使用，主要由瞄准镜和高角装定器组成。瞄准镜的分划板上刻有距离分划、方向提前量分划和瞄准分划。它固定在火炮摇架上，当高角处于零位时，其光轴与炮膛轴线平行。后者供火炮在遮蔽阵地间接瞄准射击用，主要由周视瞄准镜、高角装定器和炮目高低角装定器等组成。它借助高低机赋予火炮射角，还可利用倾斜调整器消除炮耳轴倾斜对瞄准精度的影响。

光电瞄准具主要由光学系统、光电转换器、显示器、高压电源及探测器等组成，包括红外瞄准具、微光瞄准具和热成像瞄准具等，常用作火炮昼夜射击的瞄准装置。

自动电子瞄准具主要是供地炮自动射击的瞄准装置，由控制显示装置、间接瞄准和直接瞄准装置组成，它能自动地控制瞄准具的方位角、计算高低角、修正火炮倾斜度、显示射击诸元，避免了人工装定的误差，提高了射击精度。

激光瞄准具是利用可见激光束进行瞄准的装置，一般由高低、方向调整机构和激光器组成。它应用准直激光束直线传播的特性，只要使激光束照准目标，即可射击。它的主要特点是能双目同时瞄准，反应时间快，射击精度高。

随着武器战术技术性能和目标机动性的提高以及电子技术、夜视技术等科学技术的发展，武器的瞄准装置已逐步向光、机、电结合，观测、跟踪、瞄准合一，全天候和高度自动化等方向发展，逐步成为完整的武器火控系统。

第二章 炮身

第一节 概述

炮身（cannon）是火炮的一个主要部件，它的主要作用是完成炮弹的装填和发射任务，承受火药燃气压力，赋予弹丸一定的初速和射向。

炮身一般由身管、炮门、炮尾和炮口装置组成。根据炮种特点，炮身上还设有其他装置。例如，坦克炮的炮身上装有抽气装置和热护套，一般舰炮炮身上装有冷却装置。

图 2-2-1 为某加农炮炮身与炮弹合膛后的外廓图。炮弹装入炮膛，被炮门闭锁，通过击针击发，引燃发射药，在火药燃气作用下，弹丸获得一定的速度。

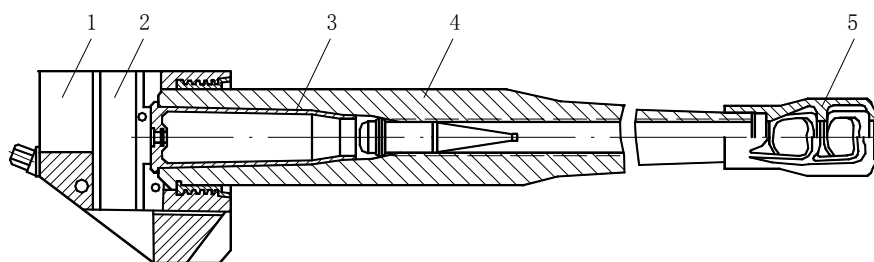


图 2-2-1 炮身与炮弹合膛后的外廓图

1-炮尾；2-炮门；3-炮弹；4-身管；5-炮口制退器。

发射时，炮身承受高温、高压火药燃气的作用，其技术状况直接影响着使用安全、射击效果和火炮寿命。为此，对炮身的基本要求是：

1. 满足战术技术要求，性能稳定，工作可靠，使用安全；
2. 各构件应有足够的强度和韧性，发射时不得产生塑性变形或脆性破坏；
3. 身管寿命要长；
4. 材料及制造工艺要适应国情，符合经济原则，便于大批量生产；
5. 外形尺寸及其质心位置的确定，要有利于其它部件的设计。

第二节 身管

身管（barrel），又称炮管，是发射时赋予弹丸一定的初速和射向的管状件。有膛线的身管还使弹丸在出炮口时获得一定的旋转速度，以保证弹丸在大气中飞行的稳定性。

身管的外形多为圆柱形或圆柱与圆锥形的组合，其尺寸主要根据膛压曲线的变化规律由强度计算确定，同时还要考虑身管刚度、散热以及和其他部件如摇架、反后坐装置的连接方式。

身管的内部空间及其内壁结构称为炮膛（gun bore），也称内膛。根据有无膛线，炮膛可分为线膛和滑膛两种。线膛在火炮中广泛采用，滑膛主要在迫击炮、一些无后坐炮以及一些坦克炮、反坦克炮中采用。

一、身管强度分析的基本理论

（一）发射时身管受力和应力分析

发射时火药燃气的压力作用于药室底部、药室锥形部和身管壁。沿身管长度的压力曲线由内弹道计算给出（ $P-l$ 曲线）。弹丸在身管内运动期间弹带就对身管壁和膛线导转侧施以压力。此外身管还受到摇架、反后坐装置和炮口装置的反作用力的作用，以及在制退——复

进时的惯性力的作用。但是，在研究身管强度时，一般只考虑火药燃气压力的作用，其他各力相对较小，常将其忽略。如图 2-2-2 所示。

设计时，通常把身管看成是由许多段理想的厚壁圆筒所组成。并赋予下列五项假设：

1. 形状是理想的圆筒形；
2. 材料是均质和各向同性的；
3. 圆筒承受的压力垂直作用于筒壁表面且均匀分布；
4. 圆筒受力变形后仍保持其圆筒形，任一横截面变形后仍为一平面（平面假设）；
5. 压力是静载荷，圆筒各质点均处于静力平衡状态。

这样，就把厚壁圆筒问题简化为静力作用下的轴对称问题。在上述假设条件下得出的计算公式将用于身管强度设计。显然，发射时身管受力和变形是不完全符合上述假设的，但利用厚壁圆筒公式计算身管强度比较简便，由此产生的与实际工作情况的偏差，可以利用合理地选择安全系数来加以考虑。

发射时，其任一横剖面都可看成是内径为 r_a 、外径为 r_b ，在内压为 p_a 、外压为 p_b （大气压力）作用下厚壁圆筒。根据材料力学中厚壁压力容器的理论，从身管壁内任取一单元体，此单元体由轴向长度 dz 、夹角为 $d\theta$ 的二辐射面及半径各为 r 及 $r+dr$ 的同心圆柱面组成，在内压作用下，膛壁会产生 3 个方向的主应力：

径向应力 σ_r ，切向应力 σ_t ，轴向应力 σ_z 及对应的 3 个应变： ε_r 、 ε_t 与 ε_z 。如图 2-2-3 所示。

由于外压 p_b （大气压）远小于膛压 p_a ，一般取 $p_b=0$ ，加之轴向应力 σ_z 较小，对强度影响极微，取 $\sigma_z=0$ ，则由材料力学中导出的厚壁圆筒应力应变公式可简化为：

$$\begin{aligned}\sigma_r &= -p_a \frac{r_a^2}{r^2} \cdot \frac{r_b^2 - r^2}{r_b^2 - r_a^2} \\ \sigma_t &= p_a \frac{r_a^2}{r^2} \cdot \frac{r_b^2 + r^2}{r_b^2 - r_a^2} \\ E\varepsilon_r &= -\frac{2}{3} p_a \frac{r_a^2}{r^2} \cdot \frac{2r_b^2 - r^2}{r_b^2 - r_a^2} \\ E\varepsilon_t &= \frac{2}{3} p_a \frac{r_a^2}{r^2} \cdot \frac{2r_b^2 + r^2}{r_b^2 - r_a^2}\end{aligned}\quad (2-2-1)$$

式中 E ——身管材料的弹性模量；

r ——管壁任意点的半径。

式 (2-2-1) 是普通单层身管强度计算的基本公式。 $E\varepsilon_t$ 与 $E\varepsilon_r$ 称为切向与径向相当应力，或称等效应力（strees equivalent）。图 2-2-4 为管壁应力分布示意图。

由上式可得出重要结论：

1. 径向、切向的应力与应变都与膛压 P_i 呈线性关系，且随 r^2 变化；

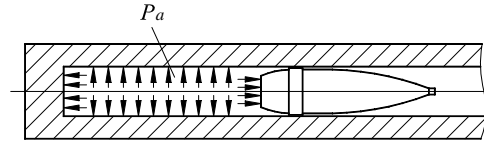


图 2-2-2 炮身受力示意图

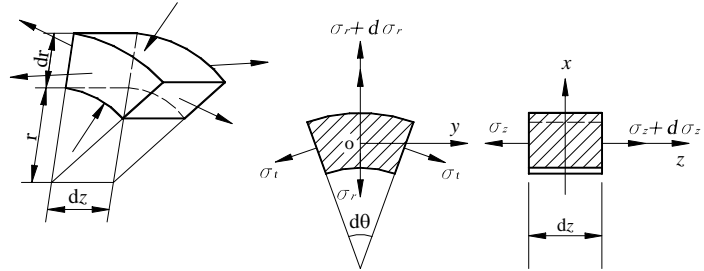


图 2-2-3 身管壁内单元体受力示意图

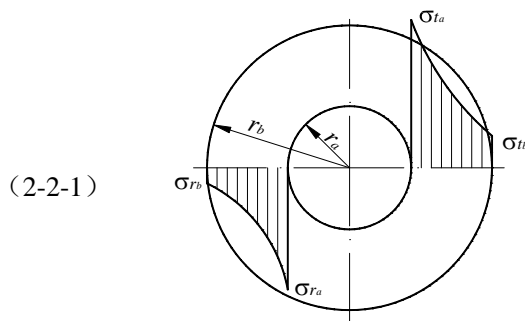


图 2-2-4 管壁应力分布示意图

2. 切向应力大于径向应力 $E\varepsilon_t > E\varepsilon_r$, $\sigma_t > \sigma_r$;

3. 切向和径向应力最大值, 都出现在身管内壁, 即 $r = r_a$ 处。

因此, 当切向相当应力超过材料的强度极限时, 身管就出现纵向破裂。由于身管在轴线方向所受的拉应力很小, 身管横向断裂的情况极少。

(二) 身管强度极限与壁厚关系

在身管设计中, 目前仍主要采用第二强度理论, 即最大线应变理论。

第二强度理论认为, 材料的危险状态是由最大拉伸线应变引起的。根据这个理论, 当复杂受力构件上的最大拉伸线应变达到材料在简单拉伸情况下危险的线应变值时, 材料达到危险状态。

根据身管不产生塑性变形的要求, 其壁内的最大应变 ε_{\max} 必须满足条件

$$\varepsilon_{\max} \leq \varepsilon_p = \frac{\sigma_p}{E} \Rightarrow E\varepsilon_{\max} = \frac{2}{3} p_a \frac{2r_b^2 + r_a^2}{r_b^2 - r_a^2} \leq \sigma_p \quad (2-2-2)$$

式中 ε_{\max} ——复杂应力状态下的最大线应变;

σ_p ——材料的比例极限;

ε_p ——单向拉伸时材料达到 σ_p 时的线应变。

由此, 引出一个新的概念: 身管材料确定后, 当其承受的内压 p_a 逐渐增大到某一值 P_1 时, 管壁的内表面材料达到弹性极限状态, 超过 P_1 , 材料出现塑性变形, 称 P_1 为身管弹性强度极限或称弹性失效压力。

$$P_1 = \frac{3}{2} \sigma_p \frac{r_b^2 - r_a^2}{2r_b^2 + r_a^2} = \frac{3}{2} \sigma_p \cdot \frac{W^2 - 1}{2W^2 + 1} \quad (2-2-3)$$

式 (2-2-3) 中, $W = r_b/r_a$, 当身管外半径 r_b 趋向无限大时, 其弹性强度极限也只能趋向一个极限值 $0.75\sigma_p$, 如图 2-2-5 中曲线 I。

单位长度身管质量 Q_{sg} 的近似式为

$$Q_{sg} = \pi (r_b^2 - r_a^2) \gamma$$

单位长度内膛金属质量的近似式为

$$Q_1 = \pi r_a^2 \gamma$$

式中 γ ——比重。因此身管的相对质量为

$$\frac{Q_{sg}}{Q_1} = \left(\frac{r_b}{r_a} \right)^2 - 1$$

从图 2-2-5 中可以看出, 当 r_b/r_a 接近或超过 3 以后, 随着 r_b/r_a 的增加, 身管弹性强度极限都增加得很慢。相反, 身管的相对质量却增加的很快。因此, 设计身管时, 壁厚选取在一倍口径以下 (即 $r_b/r_a \leq 3$), 比较适合。在制式火炮中, 常用的 r_b/r_a 值如下: 加农炮和高射炮为 2.0~3.0; 榴弹炮为 1.7~2.0。

式 (2-2-1) 说明: 身管壁厚薄时, 其内外表面的切向相当应力相差不大, 亦即壁内应力分布较为均匀; 随着壁厚的增加, 内、外表面的切向相当应力的差值就越来越大。身管壁内应力分布越来越不均匀。如图 2-2-4 所示。这种现象启迪人们去改善身管壁的应力分布状

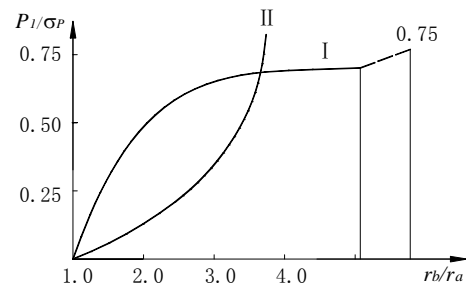


图 2-2-5 P_1/σ_p 及身管相对质量随 r_b/r_a 变化曲线

I — P_1/σ_p 随 r_b/r_a 变化曲线;

II — 身管相对质量随 r_b/r_a 变化曲线。

况，合理地利用金属材料，因此出现了各种类型的身管。

二、身管的分类

在身管设计中，通常采用下述两种分类法。一种是根据炮膛结构来分，身管可分为滑膛、线膛、半滑膛和锥膛等。另一种是根据身管结构来分，又可分为普通单筒身管、增强身管、可分解的身管。

(一) 普通单筒身管 (monoblock tube)

这类炮身的身管由一个毛胚制成，只有一层管壁。其结构简单、制造方便、成本较低，因而得到了广泛的应用。我国现装备的制式火炮基本上都采用这种身管，如 85 加农炮，37、57 高射炮以及各种迫击炮和无后坐炮等等。普通单筒身管发射时，内层产生的应力很大，而外层的应力很小，也就是说，外层材料没有得到充分利用。对高膛压、大威力的火炮来说，采用普通单筒身管，必须增加壁厚和采用高强度炮钢，对火炮的使用和生产都是不利的。

在小口径自动高射炮中，由于身管长、射速高、刚度及散热问题较突出，常采用外表面均匀分布若干纵向沟槽构成的普通单层星形断面身管 (star section barrel)，如图 2-2-6。如在面积相同的横剖面及长度的条件下，星形的惯性矩大于环形惯性矩，因此，其刚度大、质量小且易于散热。例如，德国的“猎豹”式 35mm 自行高射炮和瑞士 25mm 牵引高射炮均采用这种身管。

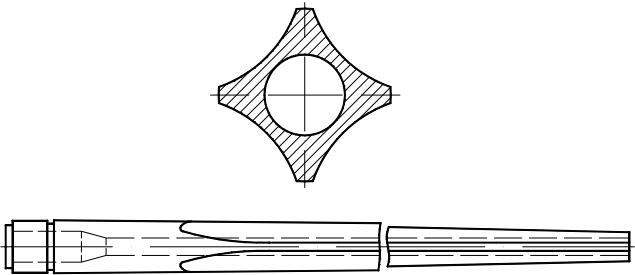


图 2-2-6 星形断面身管

(二) 增强身管

又称紧固身管。是指为提高身管的强度，在制造过程中，采用某种工艺措施，使身管内壁产生受压、外壁产生受拉的有利预应力，以改善发射时管壁的应力分布，提高身管承载能力和身管寿命的炮管。按照产生预应力方法的不同，可分为筒紧身管、丝紧身管和自紧身管。

1. 筒紧身管 (built-up barrel)

身管由两层或多层同心圆筒过盈地套在一起。最内一层叫内管 (inner tube)，外层称为被筒 (jacket)，中间层称紧固层，紧固层或被筒的内径稍小于相邻内筒的外径，相差量称紧缩量或过盈量 (shring rang)。制造时将外筒加热至 700K 左右，迅速将其套在内管上，冷却后，外筒要恢复原来尺寸，因存在过盈量，内筒阻止其恢复，使外筒受拉，内筒受压，在各层管壁内产生了所要求的预应力，其方向与发射时膛压对管壁产生的应力方向相反，从而使发射时内筒的实际应力减小了 ($AS < AB$)，在同样壁厚、同样材料的条件下身管可承受更大的压力，并提高外筒金属的利用率。提高了身管弹性强度极限。图 2-2-7、2-2-8 分别为两层筒紧身管横剖面图及发射时管壁应力分布示意图。

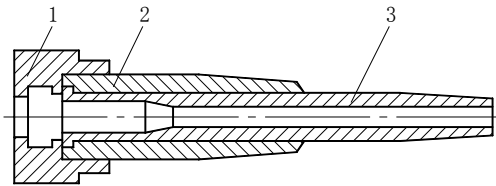


图 2-2-7 筒紧身管剖面图

1-炮尾；2-被筒；3-内管。

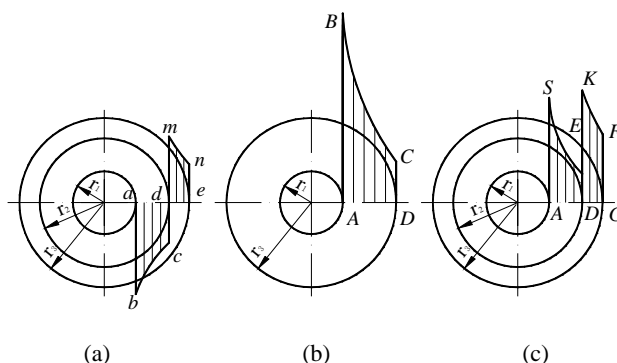


图 2-2-8 筒紧身管应力分布

(a)发射前预应力分布；(c)筒紧身管发射时应力分布；
(b)与图(a)等壁厚的单层身管发射时应力分布。

筒紧身管的层数与火炮口径、膛压、材料、质量大小等因素有关。层数愈多各筒壁间的应力分布愈均匀，最内层的合成应力愈小，但制造愈困难。20 世纪初，炮钢强度较低，为提高火炮威力，西方国家多采用筒紧技术，口径从小到大，层数有 2~6 层。例如，美 1917 式 76.2mm 高射炮身管为双层筒紧，美 1920 式 406mm 海岸炮为四层筒紧身管。1891 年我国从德国买的 208mm 海岸炮为六层筒紧身管。随着冶金技术不断提高，火炮上较少采用筒紧技术。

当代，为了减轻某些大威力火炮身管质量和满足高压、高初速的要求，筒紧技术又开始受人青睐。

2. 丝紧身管 (wire-wrapped tube)

又称缠丝身管。是指在身管的外表面缠绕多层具有一定拉应力的钢丝或钢带的身管。钢丝或钢带的紧箍作用使身管处于压缩状态，在身管壁内产生与膛压方向相反的切向压缩应力，从而提高身管的强度。为提高丝紧身管纵向抗弯刚度，钢丝缠绕的方向与身管横截面具有适当的倾斜角，或在钢丝外面加上一个外筒，如图 2-2-9 所示。

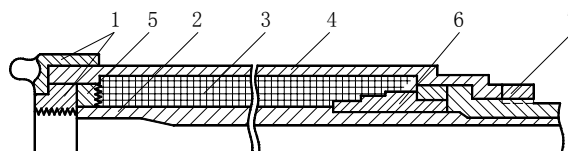


图 2-2-9 丝紧身管

1-炮尾与连接环；2-身管；3-矩形钢带；
4-被筒；5、6-钢带头固定环；7-螺环。

试验证明，在同等口径与威力的情况下，丝紧身管比相应的筒紧身管轻，这对大口径火炮更为显著。20 世纪初，火炮上曾盛行采用丝紧技术。但丝紧管最大的缺点是刚度差，抗弯性能也差，易导致弹丸出炮口瞬间炮身摆动量增大，使射弹密集度下降，另外，丝紧身管的寿命比筒紧身管短。炮钢性能提高后，就很少采用丝紧身管了。

近年来，为提高迫击炮和无后坐炮身管的强度并减轻其质量，有的已采用丝紧技术，并在其上套以玻璃钢筒。同时，在化工高压容器上也较广泛地采用丝紧技术。

3. 自紧身管 (auto fretted barrel)

又称自增强身管，这种身管结构同单筒身管完全一样，但在制造时对其膛内施以高压，使身管由内到外局部或全部产生塑性变形。在高压去掉以后，由于各层塑性变形不同，造成外层对相邻内层产生压应力，即内层受压、外层受拉，就象多层筒紧身管一样，因而可以使身管强度提高。自紧身管的主要优点如下：

(1) 提高了身管的强度。在同样材料强度和相同尺寸的条件下，自紧身管比单筒身管

的强度可提高约 1 倍。

(2) 提高了身管的寿命。这有两方面的含意：其一，试验表明：身管耐烧蚀性能随其含碳量的降低而提高。而自紧身管可以采用含碳量低的合金钢；其二，试验表明：一些高强度炮钢身管多次发射以后，在膛内要产生裂纹并随着发数的增多而扩大，最后造成贯穿管壁引起身管破裂，这就是所谓疲劳破坏。若身管自紧，则内膛表面得到强化，裂纹扩展速度下降，使寿命明显提高。例如，美 175mm 加农炮，用普通单层身管时，疲劳寿命仅 400 发，而采用自紧身管，其疲劳寿命达 2530 发，烧蚀寿命提高为 1200 发。

(3) 可节省大量合金元素。因为自紧身管提高了强度，所以，在身管尺寸大致相同的条件下可以采用强度类别较低、合金元素较少的材料，经济性好。

(4) 由于自紧时对膛内施以高压，可及时发现和排除毛坯中的疵病。防止身管在战斗使用中发生意外事故。

根据身管的强度要求，如对整个身管进行自紧称为全长自紧；只在药室到最大膛压对应处的长度上进行自紧，称为局部自紧。目前多采用后者。

根据自紧工艺的不同，目前有液压自紧 (hydraulic autofrettage)，冲头挤扩自紧 (swage autofrettage) 和爆炸自紧 (explosion autofrettage) 3 种方法。

由于自紧身管结构简单，强度较高，疲劳寿命长，加工工艺较筒紧身管简单，现代高膛压、大威力火炮已广泛采用自紧身管。

(三) 可分解的身管 (dissociated tube)

可分解的身管是由两个同心圆筒按一定间隙套合组成。外筒称作被筒，内管壁较薄，内、外筒间的空隙大小由火炮威力、身管强度、身管结构和拆装方便确定。经过射击，当炮膛烧蚀磨损不能满足弹道性能时，可及时更换内管以恢复火炮的战斗性能。从而提高了火炮的使用寿命，经济性好。

根据结构与作用的不同，可分为：

1. 活动衬管 (loose liner)

如图 2-2-10，衬管与被筒间的最小直径间隙一般为 0.02~0.05 mm，最大直径间隙为 0.1~0.3 mm。发射时，因火药燃气压力和温度的作用，使衬管膨胀，间隙消失，衬管与被筒紧密贴合，共同承受内压的作用。射击结束后，衬管、被筒冷却，其间的间隙恢复。通常，为便于更换衬管，在其外表面镀铜或涂上一层石墨润滑脂，也可将其外表面加工成圆锥面，但这样增加了衬管和被筒加工的复杂性。

活动衬管的主要特点是：

- (1) 衬管壁较薄，一般约 0.1~0.2 倍口径，所采用的材料强度等级较高；
- (2) 衬管的全长由被筒覆盖，以增强身管的刚度；
- (3) 因衬管壁薄，加工与装配时应防止弯曲和扭转变形。

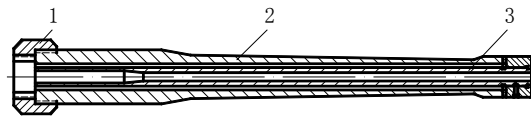


图 2-2-10 活动衬管炮身
1-炮尾；2-被筒；3-衬管。

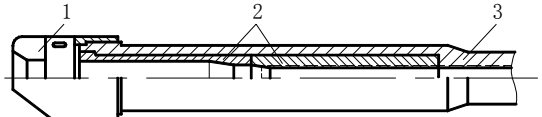


图 2-2-11 短衬管炮身
1-炮尾；2-组合衬管；3-身管。

实弹射击表明，炮膛烧蚀比较严重的部位，仅在由膛线起始部向前约 10 倍口径的长度上，为此更换整根内管是不经济的，于是出现了短衬管结构。如图 2-2-11。我国 69 式双管 30mm 海军炮就采用了这种结构。

2. 活动身管 (loose barrel)

活动身管的结构及工作原理与活动衬管基本相同，其间的差别主要有两点：

- (1) 活动身管的管壁较厚，一般厚度为 0.2~0.5 倍口径；
- (2) 被筒比活动身管短，只覆盖身管后部烧蚀严重的区段。如图 2-2-12。

活动身管结构合理，工艺性及经济性都较好。

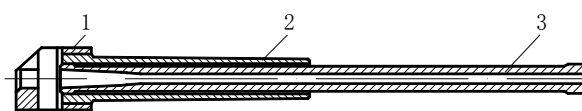


图 2-2-12 活动身管炮身

1-炮尾；2-被筒；3-活动身管。

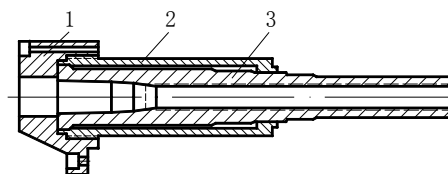


图 2-2-13 带被筒的单筒身管

1-炮尾；2-被筒；3-身管。

3. 带被筒的单筒身管

这种结构的特点是：被筒与身管之间留有较大的间隙，被筒的材料等级较低。发射时，间隙不消失，被筒不承受内压的作用。见图 2-2-13。采用被筒的目的是为了增加火炮后坐部分的质量，由反后坐装置原理可知，后坐部分的质量的增加将减小射击时炮架受力，因而可以减轻炮架质量。另外，被筒还可与摇架配合作为后坐部分运动的轨道。由于被筒与身管之间的间隙较大，更换身管也较方便。我国的 54-122mm 榴弹炮和 83-122mm 榴弹炮都是采用的这种结构。

(四) 其他结构的身管

下面介绍几种不常见的身管结构，目的在于活跃读者设计思路，以探求新的结构。

1. 组合式变口径身管

结构如图 2-2-14 所示。该图系德国 1941 年式 75/55mm 反坦克炮身管的纵剖面，其炮膛由药室部、线膛部、滑膛锥形部与滑膛圆柱形导向部所组成。滑膛锥形的大端直径为 75mm，逐渐过渡为 55mm，然后是直径为 55mm 的滑膛圆柱导向部，配用带裙边的缩径弹丸，见图 2-2-15。裙边用软金属制造，运动到滑膛锥形部时，裙边逐渐收缩，可密闭火药气体。这种缩径弹丸直径随膛内、外运动而改变，能获得较大的初速和落速，穿甲性能大幅度提高。同时，线膛和滑膛的结合使用，有利于提高射弹的密集度。但由于加工工艺复杂，组合身管未得到广泛使用。

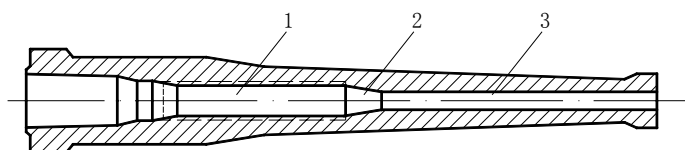


图 2-2-14 组合式变口径身管

1-线膛部；2-滑膛锥形部；3-滑膛圆柱部。

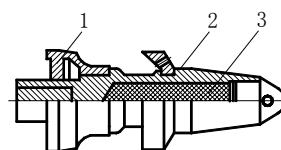


图 2-2-15 裙边弹

1-裙边；2-本体；3-炸药。

2. 辅助装药身管

传统火炮发射时，其膛压曲线随身管行程迅速衰减，不利于提高弹丸初速。而辅助装药身管在身管的长度方向上安装多个装药，通过控制身管上辅助装药的点火时机，控制燃烧速度，使膛压曲线平滑丰满，有利于改善内弹道性能，提高初速。关键技术是点火时机的掌握。

3. 复合材料身管

传统的设计方法和炮钢材料的使用已经很难在减轻身管质量上有较大的突破，采用新型

复合材料替代传统材料用于身管设计目前取得了重大的进展。较高的比强度和比刚度是复合材料最为突出的优点。

美国弹道研究所研制的 M68 型 105mm 身管是由十层铝箔和四层 13mm 厚的玻纤增强复合材料交替排列组成，质量轻、性能好，现已装备部队。美国陆军材料与力学研究中心采用树脂基纤维增强复合材料制成了大口径加榴炮身管，经实弹射击试验，弹着点的散布仅是金属身管的三分之一。该所同时采用石墨纤维/环氧复合材料制造了 75mm 火炮身管的延伸部分并进行了射击试验，成功地解决了金属身管存在的下垂过大的问题，提高了射击精度。

4. 多（复）药室身管

为了充分利用同一身管，使同一种弹丸获得更大的射程或各种初速，除在普通身管药室内改变装药结构外，还出现过多（复）药室结构。如图 2-2-16。

身管的尾部轴向有主药室，身管的周向设有侧药室（也可有几个），与主药室相通，必要时也可用柱栓堵塞，停止使用。火炮需要对远程目标射击时，可同时启用主药室与侧药室，在各药室中装入相应的发射药量，进行发射。需改变射程时，可适当关闭侧药室，这样可保证在不改变装填密度的情况下，靠变化装药量和药室而获得不同的初速，当然，这种结构较复杂，工艺性也较差。

综上所述，身管按结构分类及其特点归纳如下：

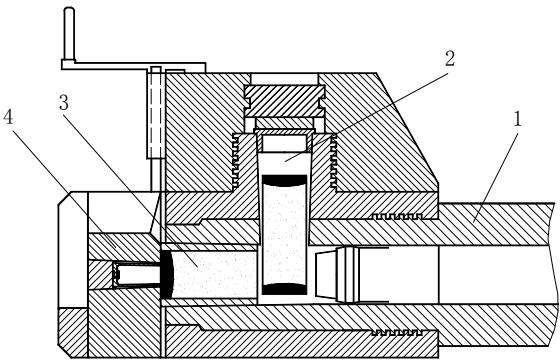


图 2-2-16 多(复)药室身管

1-身管；2-侧药室；3-主药室；4-炮门。

- 身管
- 普通单层身管：由一个毛坯制成，工艺简单。

增强身管
 - 筒紧身管：内外筒过盈套合，产生预应力。
 - 丝紧身管：钢丝带紧绕在内管上，产生预应力。
 - 自紧身管：用壁内产生塑性变形方法产生预应力。

可分解身管
 - 活动身管：被筒局部覆盖。
 - 活动衬管：被筒全长覆盖。
 - 短 衬 管：在膛线起始部向前一段长度上有衬管。
 - 带被筒的单管：发射时被筒与内管的间隙不消失。

其它结构身管

三、炮膛结构

一般将身管的内部称为炮膛，内膛一般由药室、坡膛和导向部组成。

（一）药室（chamber）

药室是放置发射药和保证发射药燃烧的空间，它的容积是由内弹道设计和弹药结构决定的，而结构形式主要决定于火炮的性能、弹丸的装填方式和加工工艺性等。目前常见的药室结构有药筒定装式药室、药筒分装式药室、药包分装式药室和半可燃药筒的药室四种。

1. 药筒定装式药室（chamber for fixed cartridge case）

是指在发射中容纳整装式炮弹的药室。平时，弹丸与药筒已组成一体，发射前一次装入药室的炮弹称为整（定）装式炮弹。

定装式药室由本体、连接锥和圆柱部 3 段组成。其特点是：药室形状与药筒外形基本一

致，药筒内的容积等于内弹道设计时所确定的值。见图 2-2-17 及图 2-2-18。为了使装填和射击后抽筒方便，除药室本体具有一定的锥度外，在药室壁和药筒之间还应有适当的径向间隙。除圆柱部外，间隙的大小与药筒强度有关，而圆柱部的间隙还要考虑闭气和抽壳的需要。间隙大些有利于装填方便，但间隙过大会使药筒在射击时塑性变形过大甚至破裂，而圆柱部则会影响闭气和抽壳。一般径向间隙，在药室底部为 $0.35\sim 0.37\text{ mm}$ ，连接锥部为 $0.2\sim 0.8\text{ mm}$ ，圆柱部为 $0.2\sim 0.5\text{ mm}$ 。药室本体还具有 $1/100\sim 1/60$ 的锥度，连接锥的锥度为 $1/10\sim 1/5$ 。

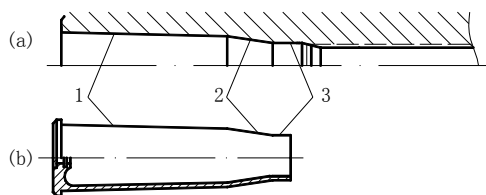


图 2-2-17 定装式药筒与药室结构

(a) 药室；(b) 药筒。

1-本体；2-连接锥；3-圆柱部。

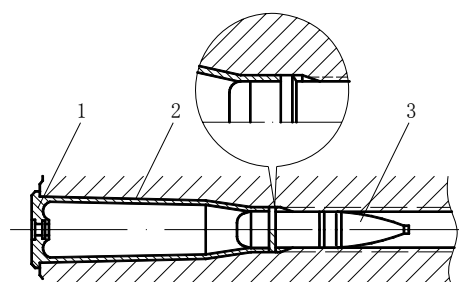


图 2-2-18 定装式弹药的装填位置

1-药筒；2-药室；3-弹丸。

在中、小口径火炮中，弹丸、发射药和药筒的总质量较小，采用定装式炮弹使装填动作简便而迅速，能达到速射性的要求，因而常采用药筒定装式药室。

2. 药筒分装式药室 (chamber for separated cartridge case)

是指适用于发射前弹丸与药筒分别装入炮膛的药室。对于口径较大的火炮，为提高火力灵活性和延长身管寿命，需要几种初速以调整射程，相应地就要采用几种装药结构，称为变装药，加之大口径弹药总质量大，例如，60 式 122mm 加农炮的发射药质量为 9.8kg，药筒质量为 9.25kg，弹丸质量为 27.3kg，若把三者结合成一体，则总质量为 46.35kg，一次装填有困难。因此，大口径火炮一般都采用药筒分装式炮弹。但发射速度要比定装式炮弹低。分装式弹药的装填位置如图 2-2-19 所示。

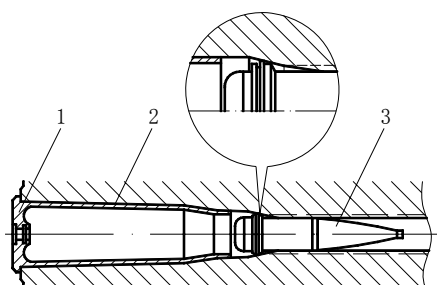


图 2-2-19 分装式弹药的装填位置

1-药筒；2-药室；3-弹丸。

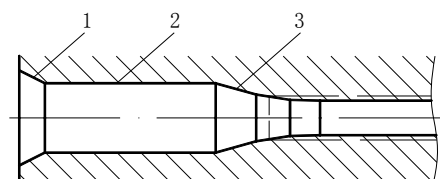


图 2-2-20 药包装填式药室

1-紧塞圆锥；2-圆柱本体；3-前圆锥。

3. 药包装分装式药室 (chamber for separated-loading cartridge bag)

大口径火炮，尤其是大口径海军炮和要塞炮的药筒质量较大，使用不便，而且要消耗大量的铜或其他金属材料，同时，在军舰和要塞内，往往都设有良好的弹药库和弹药运输装置，发射药可以不用药筒来保护。在这种情况下，常采用药包装填，对应于这种装填方式的药室，叫做药包装填式的药室，其结构如图 2-2-20 所示。

这种结构的药室一般由紧塞圆锥、圆柱本体和前圆锥组成。为了防止射击时火药燃气从

身管后面泄漏出来,要采用一种专门的紧塞具与紧塞圆锥相配合闭塞火药燃气。紧塞圆锥的锥角一般为 $28^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。

4. 半可燃药筒的药室 (chamber for semi-combustible case)

是指适用于以硝化棉火药为基本原料制成药筒本体的药室结构。发射时,药筒本体作为发射药的一部分全部燃烧。为了有效地密闭火药燃气,药筒本体下部带有金属短底座,因而称为半可燃药筒。其药室由本体、连接锥和圆柱部组成,如图 2-2-21 所示。由于这种药室常容纳尾翼稳定穿甲弹丸,其圆柱部较长。在坦克炮和自行反坦克炮中,采用半可燃药筒可增加弹药的携带量。

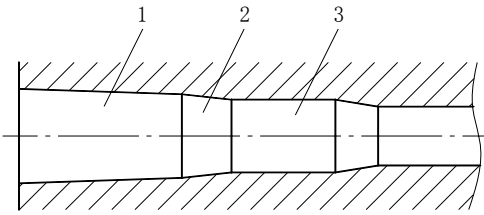


图 2-2-21 半可燃药筒的药室

1-本体; 2-连接锥; 3-圆柱部。

(二) 坡膛 (forcing cone)

炮膛内连接药室与导向部的锥形部分称为坡膛。其主要作用是:发射前确定弹带起始位置,限定药室容积;发射时引导弹丸进入导向部。坡膛结构如图 2-2-22 所示。

在线膛炮中,坡膛就是膛线的起点处,因此坡膛具有一定的锥度,锥度的大小与药室结构、弹带结构和材料有关。

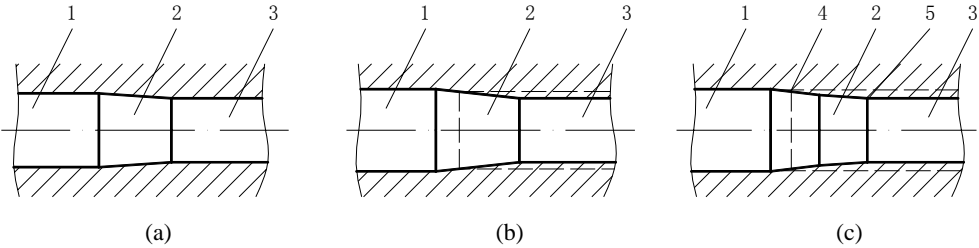


图 2-2-22 坡膛结构

(a) 滑膛坡膛; (b) 线膛坡膛; (c) 双锥度坡膛。

1-药室; 2-坡膛; 3-导向部; 4-膛线起点; 5-膛线全深起点。

坡膛分滑膛坡膛与线膛坡膛;按锥度情况又可分为单锥度、双锥度或大锥度、小锥度坡膛。

坡膛锥度的范围较宽,约 $1/60\sim 1/5$ 。常用锥度为 $1/10\sim 1/5$,此属大锥度。

定装式炮弹在大锥度坡膛内,发射初期,弹带嵌入膛线时所经的距离 l 较短,弹丸定位点变化小,有利于弹道性能的稳定。但因弹带很快切入膛线,单位长度变形功大,温度升高,会加剧坡膛磨损;锥度太大,燃气在此处易产生涡流,形成压力波,影响压力正常传递。在小锥度坡膛内情况正相反。采用双锥度坡膛,则兼收二者的优点,第一锥度较大,约为 $1/10$,第二段锥度约为 $1/60\sim 1/20$ 。一般,口径较大的火炮常采用双锥度坡膛。图 2-2-23 为坡膛锥度与弹带定位示意图。

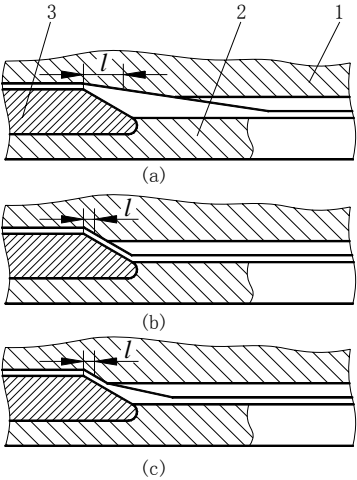


图 2-2-23 坡膛锥度与弹带定位示意图

(a) 小锥度; (b) 大锥度; (c) 双锥度。

1-身管; 2-弹丸; 3-弹带。

（三）导向部（guiding parts）

身管内膛除药室和坡膛以外导引弹丸运动的部分称为导向部。一般分为线膛（rifled bore）和滑膛（smooth bore）两种。

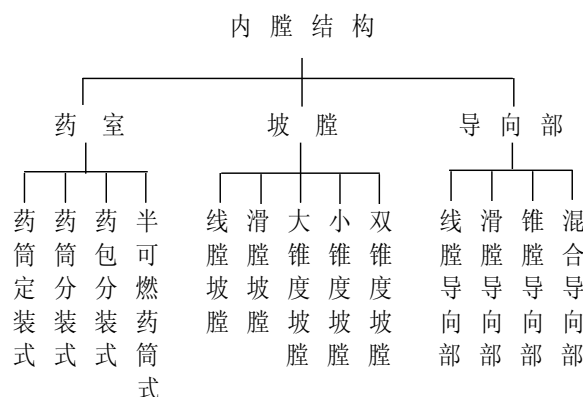
导向部是滑膛时，其内径就是火炮的口径（caliber）；是线膛时，则相隔 180° 的两条阳线过炮膛中心的距离就是火炮的口径。是锥膛时，常以入口口径代表火炮的口径。口径的常用单位为“毫米”或“英寸”，一般用名义尺寸以近似值表示。如 122mm 榴弹炮的实际口径为 121.92mm，152mm 榴弹炮或 6 英寸榴弹炮的实际口径为 152.4mm。

“口径”是枪炮技术中俗定的一种特殊标量，常以 d 表示。火炮上一些重要零、部件的长度多以口径倍数表示，质量常以口径立方表示，例如 83-122mm 榴弹炮其身管长为 $30d$ ；弹丸相对质量 $C_m = m/d^3 = 12$ 。采用以口径表示的相对值，有利于比较同类火炮的性能和进行火炮的初始设计。

火炮身管导向部由线膛与滑膛组合而成称为混合导向部。

根据导向部的形状又可分为直膛和锥膛两种，凡导向部沿炮膛轴线方向各横剖面内径不变化的称为直膛，当今火炮几乎都是直膛；导向部沿炮膛轴线呈锥形、炮口部的直径比其他处的直径小的内膛称为锥膛（tapered bore）。带有软金属裙边的次口径弹丸在锥膛内运动时，裙边不断被挤压收缩，能可靠地密闭火药燃气，有利于增大初速。锥膛结构曾用于反坦克炮，目前很少采用。

综上所述，内膛结构分类归纳如下：



四、火炮膛线

（一）膛线的结构与作用

膛线（rifling）又称来复线。是指在炮膛导向部管壁上与身管轴线成一定倾斜角的若干条螺旋形的凸起和凹槽。其作用是赋予弹丸在出炮口时一定的旋转速度，以保证弹丸在空中飞行的稳定性。

常用的膛线在炮膛横剖面上的形状如图 2-2-24 所示，螺旋槽凸起的部分称为阳线（rifling land），其宽度为 a ，凹下的槽部称为阴线（rifling groove），其宽度为 b ，阳线和阴线顶面的圆弧与炮膛横剖面共一圆心 o 。阴线两侧平行于通过阴线中点的半径。为增加弹丸上铜质弹带的强度，一般阴线宽度比阳线宽度大， $b = (1.5 \sim 2.9)a$ 。阴线和阳线在半径方向上的差值称为膛

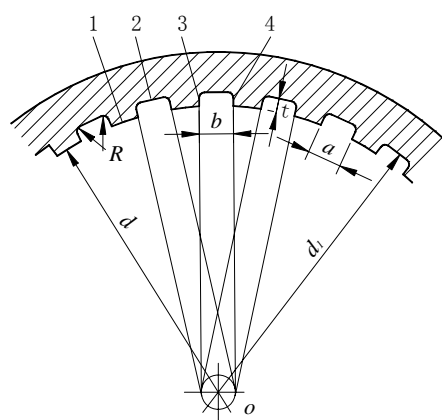


图 2-2-24 膛线横剖面图

1-阳线；2-阴线；3-导转侧；4-堕侧。

线深 (depth of rifling grooves), 以 t 表示。为减小膛线根部的应力集中, 便于射击后擦拭炮膛, 在阴线 and 阳线的交接处用圆角连接, 圆角半径 $R = 0.5t$ 。阳线有一侧面与弹带上相应处紧贴, 赋予弹丸一定的旋转力, 此侧面称为膛线的导转侧, 其高度约等于膛线深。膛线从起点至炮口其旋绕方向顺时针者, 称为右旋(right handed twist); 逆时针者称为左旋(left handed twist)。现代火炮都为右旋膛线。从炮尾看图 2-2-24, 对右旋膛线, 其阳线的右侧就是导转侧 (driving edge), 左侧称为堕侧。

在炮膛横剖面上阳线 (或阴线) 的条数称为膛线数 (number of grooves)。用 n 表示。为便于膛线的加工与测量, 通常将膛线数做成 4 的倍数, 如 24 条、28 条和 32 条等。膛线数往往随口径加大而增加, 步枪的膛线多为 4 条, 美制 175mm 加农炮的膛线为 48 条。

(二) 膛线的缠角、缠度与弹丸的转速

如将炮膛纵向展开成平面图, 则膛线上某点的切线相对于炮膛轴线的夹角 α 称为该点的缠角 (angle of rifling)。膛线旋转一周在轴向移动的距离 L 称为膛线进程长, 可用口径 d 的倍数 η 表示。 η 称为缠度 (twist), 它是一无因次量, 其大小主要取决于弹丸在外弹道上飞行稳定性的要求。

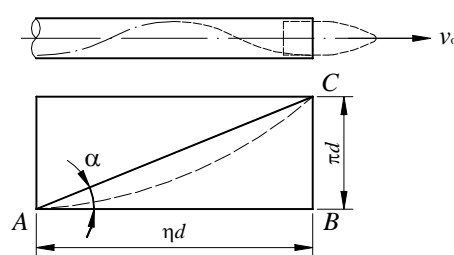


图 2-2-25 膛线展开示意图

$$L = \eta d$$

由膛线展开图得

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{BC}{AB} = \frac{\pi d}{\eta d} = \frac{\pi}{\eta} \quad (2-2-6)$$

弹丸在膛内旋转一周 (2π 弧度), 其在轴向运动的距离为 ηd , 假设在炮口附近于 dt 时间内弹丸旋转了 $d\phi$ 弧度, 轴向运动的距离为 dl , 则

$$2\pi : d\phi = \eta d : dl$$

$$d\phi = \frac{2\pi}{\eta d} dl$$

两边同除以 dt 得

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{2\pi}{\eta d} \cdot \frac{dl}{dt}$$

$$\text{令 } \omega = \frac{d\phi}{dt} \quad \text{弹丸的旋转角速度}$$

$$v = \frac{dl}{dt} \quad \text{弹丸的直线运动速度}$$

$$\text{则 } \omega = \frac{2\pi}{\eta d} v \quad \text{或 } \omega = \frac{2\operatorname{tg} \alpha}{d} v$$

当弹丸在炮口时, 其速度为 v_0 , 其炮口旋转速度为:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{\eta_g d} v_0 \quad \text{或 } \omega_0 = \frac{2\operatorname{tg} \alpha_g}{d} v_0 \quad (2-2-7)$$

α_g 称为炮口缠角或终缠角, η_g 称为炮口缠度或终缠度。相应地, 在膛线起始处的特征

量则称为初缠角和初缠度。

从上述 η 、 α 、 ω 的定义及其相互关系中, 有几点应该明确:

1. 在口径 d 已定的情况下, ω_0 的大小只取决于在炮口处的 v_0 及 η_g (或 α_g), ω_0 与膛线在膛内的结构与变化规律无关。

2. 在 d 与 ω_0 已定的情况下, $\eta \propto v_0$, 对于初速较大的加农炮, 则可取较大的 η 值, 由 $\eta = \pi/tg\alpha$ 可知, α 值可以较小, (一般加农炮 $\alpha = 5 \sim 7.2^\circ$), 膛线变化可以平坦, 这样, 当弹带切入时, 阻力较小, 膛线磨损也小, 对身管寿命有利; 而对于初速较小、装药变号较多的榴弹炮, η 值相应也较小, α 值就较大, 按较大的缠角加工膛线, 则膛线变化会较陡, 弹带切入阻力大, 膛线磨损也大, 影响身管寿命。因此, 出现了不同类型的膛线以缓解上述问题。

(三) 膛线的分类

1. 根据缠角 α 沿炮膛轴线变化规律的不同, 膛线可分为等齐膛线、渐速膛线和混合膛线 3 种。

(1) 等齐膛线 (uniform rifling)

这种膛线的缠角 α 为一常数。若将炮膛展开成平面, 则等齐膛线是一条直线, 如图 2-2-26(a)所示。其导转侧上的正压力 N 为:

$$N = \frac{1}{n} \left(\frac{\rho}{r} \right)^2 p_d \cdot S \cdot tg\alpha \quad (2-2-8)$$

式中 ρ ——弹丸的惯性半径;

S ——导向部横剖面面积;

p_d ——作用于弹底的火药燃气压力;

n 、 α ——膛线数及缠角;

r ——口径之半($d/2$);

等齐膛线的优点是加工工艺性好, 加工精度易保证, 缺点是弹丸在膛内运动时, 膛线导转侧沿长度上受力不均匀, 所受的挤压应力变化规律与火药燃气的压力曲线相似, 故膛线起始部易磨损, 对身管寿命不利。所以等齐膛线的缠角不宜过大, 一般 $\alpha < 7.30^\circ$ 。这种膛线多用在初速较大的加农炮和高射炮上。其弹丸出炮口时所需的旋转角速度, 则由较大的初速来补偿。

(2) 渐速膛线 (increasing rifling)

这种膛线的缠角 α 为一变数, 在膛线起始部缠角很小, 有时甚至为零 (以便减小此部位的磨损), 向炮口方向逐渐增大。若将炮膛展开成平面, 渐速膛线为一曲线, 如图 2-2-26(b)所示。常用的曲线方程有:

二次抛物线 $y = ax^2$

半立方抛物线 $y = ax^{3/2}$

正弦曲线 $y = a \sin bx$

式中 a 、 b 为膛线的参数, 是根据所要求的炮口缠角、起始缠角和膛线长来确定的。渐速膛线常用于弹丸初速较小的火炮, 如榴弹炮。

渐速膛线的优点是可以采用不同曲线方程来调节膛线导转侧上作用力的大小。减少起始部的初缠角, 以改善膛线起始部的受力状况, 减小磨损, 提高身管寿命。缺点是炮口部膛线导转侧作用力较大, 加大了炮口处的扰动, 工艺过程较为复杂。射击时挂铜现象也较严重。

(3) 混合膛线 (combined rifling)

由等齐膛线和渐速膛线组合而成的膛线。如图 2-2-26(c)所示, 1 段为渐速膛线, 2 段为

等齐膛线。它兼收了上述两种膛线的优点。膛线起始部采用渐速膛线，以便减小起始部阳线导转侧压力，从而减小磨损；炮口部采用等齐膛线，以便减小炮口部膛线的受力及炮口扰动。也有采用等齐——渐速——等齐 3 段构成的混合膛线，但这种膛线挂铜现象也较严重。在两种膛线的交界处，导转侧压力有突变，在射击时可能引起身管振动。

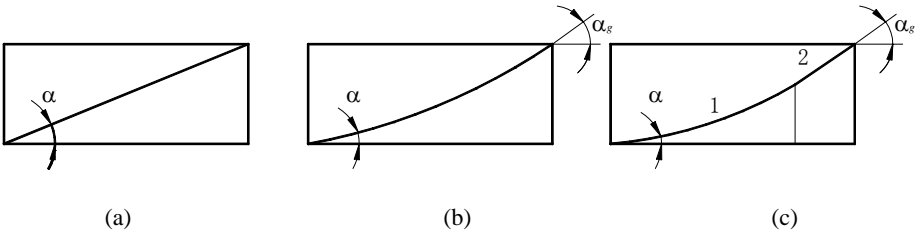


图 2-2-26 各种矩形膛线的展开图

(a) 等齐膛线；(b) 渐速膛线；(c) 混合膛线。

混合膛线加工较等齐膛线困难一些，过去采用较少。为了提高身管寿命，近来在中小口径自动炮上有应用增多的趋势。例如，瑞士厄利空双管 35mm 高射炮、美国 AMCAWS30mm 航空炮及苏联 3Y-23mm 高射炮等都采用混合膛线。

根据 (2-2-8) 式，结合弹丸及膛线的具体结构尺寸，将上述 3 种膛线导转侧上正压力 N 的变化规律绘于图 2-2-27 上，可看到各种膛线 N_{\max} 出现的大致区段。

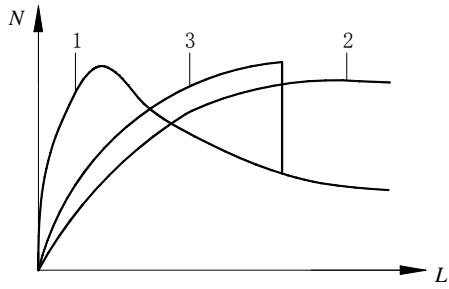


图 2-2-27 膛线导转侧上正压力 N 的变化规律

1-等齐膛线；2-渐速膛线；3-混合膛线。

2. 根据膛线深度与口径的比值 t/d 不同，可将膛线分为浅膛线和深膛线两种。

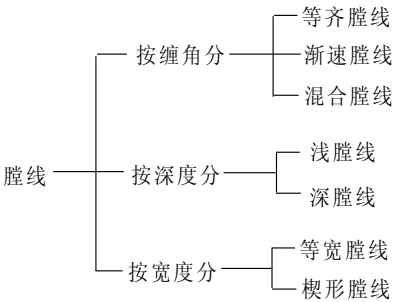
(1) 浅膛线 $t/d=0.01\sim0.015$ 。浅膛线的优点是弹带切入阻力小，射击后擦净内膛较容易。缺点是导转侧的工作面积小，膛线易磨损，影响身管寿命。一般认为，最大膛压及初速都较低的火炮，宜采用浅膛线。

(2) 深膛线 $t/d=0.02$ 。其优缺点与浅膛线正好相反。一般认为，最大膛压及初速都较高的火炮，宜采用深膛线，以满足膛线与弹带的强度要求。

3. 根据膛线阴线宽度（或深度）沿炮膛轴线的变化，可分为等宽（或等深）膛线和楔形膛线两种。

目前，多数火炮膛线的宽度和深度沿炮膛全长都是不变的。其加工工艺好。所谓楔形膛线是指阴线断面向炮口方向逐步减小的膛线。又叫渐紧膛线（tightening rifling）。减小的方法有两种：一是逐渐减小阴线的深度，一是逐渐减小阴线的宽度，后者比前者加工更困难。这种膛线的优点是对火药燃气能够起更好的密封作用，但加工特别困难，目前已很少应用。

综上所述，可将膛线分类概括为：



五、身管寿命

身管寿命 (barrel life) 是指火炮按规范条件射击, 身管在弹道指标降低到允许值或疲劳破坏前, 当量全装药的射弹总数。身管是火炮的主要构件, 有时就以身管寿命称为火炮寿命。

根据射击使用过程中身管失效条件的不同, 一般用两种方式来衡量身管寿命, 一为烧蚀寿命, 一为疲劳寿命。

(一) 身管烧蚀寿命 (erosion life of gun tube)

又称弹道寿命。炮身虽采用高强度炮钢 (含铬、镍、钼、钒等多种元素的合金钢) 制造, 满足了炮身的工作强度要求, 但是, 随着发射弹数的增多, 内膛的烧蚀磨损是不可避免的。影响烧蚀磨损的主要原因为:

1. 火药燃气的高温作用。发射时膛内火药燃气温度高达 $2500\text{K}\sim 3800\text{K}$, 与膛壁接触, 使金属温度迅速升高, 造成烧蚀磨损。

2. 高温高压火药燃气的冲刷作用。由于膛面的烧蚀磨损, 使弹丸与炮膛之间出现空隙特别是当身管温度升高后, 由于膨胀, 内径增大, 更使弹带与膛面的空隙增大, 因此, 火药燃气高速度 (达 1400m/s 甚至更高) 从弹带与膛面的空隙中冲出, 也使膛面磨损。

3. 弹丸对膛面的摩擦作用。弹丸在膛内运动, 弹带及定心部与膛壁发生摩擦, 使膛面磨损, 尤其是膛线导转侧磨损更为严重。

4. 火药燃气的化学作用。火药燃气在高温高压下与炮膛金属化合, 渗入金属组织内, 使膛面金属变得硬脆, 易于剥落而被弹丸和火药燃气冲刷带走。

以上各种作用是同时发生、互相影响的。通常把膛面金属层在反复冷热循环和火药燃气物理化学作用下金属性质的变化及龟裂剥落现象称为烧蚀。将炮膛尺寸、形状的变化称为磨损。实际上, 两种现象是相伴而生, 在身管导向部起始处和最大膛压处最严重。图 2-2-28 为阳线沿身管长度磨损的一般规律。当炮膛烧蚀磨损达到一定程度, 就会丧失所要求的弹道性能。

实用中, 常以下列 5 项之一作为身管烧蚀寿命终止的界限。

1. 初速下降的百分数超过规定值。炮种不同, 取值各异。
2. 射弹密集度超过一定范围。
3. 发射弹数引信不起作用的百分数超过规定值。
4. 膛压下降的百分数超过规定值。
5. 膛线起始部磨损量超过规定值。

(二) 身管疲劳寿命 (fatigue life of gun tube)

火炮射击过程中, 身管内膛逐渐烧蚀, 微裂纹因疲劳逐渐扩大, 直至突然破裂时的当量全装药炮弹总发数。身管材料疲劳发展是一个复杂过程, 包括裂纹起始、裂纹扩展和疲劳裂纹达到临界尺寸时身管最终破裂 3 个阶段。身管经过最初的实弹射击在内膛即产生细小的裂纹, 在以后的重复射击中, 裂纹沿管壁径向不断扩展, 某部分管壁裂纹深度达到一定程度时就会导致突然断裂破坏。60 年代以后, 随着高膛压大威力火炮的出现, 高强度炮钢引起的身管突然脆性断裂的事故时有发生。例如, 1966 年 4 月美军某 175mm 加农炮射击到 373 发时发生膛炸, 身管断裂成 29 块。目前关于身管疲劳寿命的研究开始受到重视, 身管疲劳

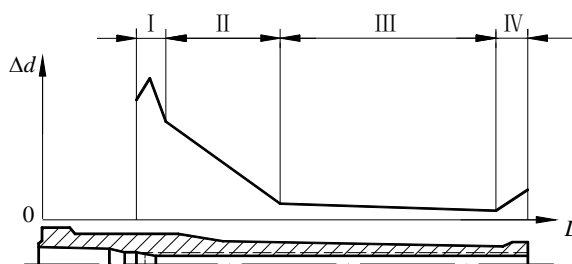


图 2-2-28 阳线沿身管长度磨损

I - 最大磨损段; II - 次要磨损段;
III - 均匀磨损段; IV - 炮口磨损段。

破坏的各种理论与模型尚处在研究阶段，对身管疲劳寿命试验方法尚无统一标准，一般是在射击一定数量的炮弹后，采用液压循环模拟试验法来取得身管疲劳的有关数据。在正常情况下，身管疲劳寿命大于身管烧蚀寿命。

影响身管寿命的因素较多，一般与炮种、身管材料、弹道参数、装药性质、内膛与弹丸结构、制造工艺、射击条件和维护保养状况等有关。但是，由于新工艺、新材料的采用，身管寿命可以得到提高，如炮膛镀铬、在装药中加入有机和无机的添加剂（护膛剂），合理的弹、膛结构。实践证明，采用无药筒装药结构、渐速膛线、小锥度坡膛，增加膛线数，皆有利于减小烧蚀磨损；改进弹带结构、提高对燃气的密封性及减小弹、膛间隙，也都有利于身管寿命的提高。

第三节 炮闩与炮尾

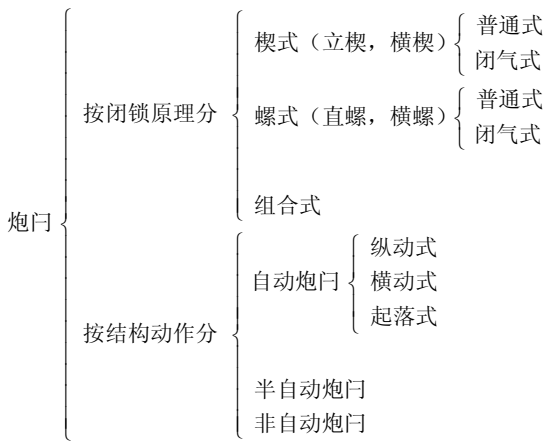
一、概述

炮闩（breech mechanism），自动炮又称机心（bolt），是发射时承受燃气压力，具有闭锁、击发、开锁、开闩及抽出药筒等功能的机构。一般由关门、闭锁、击发、开闩（开锁）、抽筒、保险等机构组成。通常把直接承受火药燃气压力并为炮闩各零、部件所依附的核心零件（或主体零件）称为闩体（breechblock）。炮尾（breech）一般是指联结炮闩和身管并容纳部分炮闩机构及构件的零件，射击时承受和传递炮闩所受的作用力。

炮闩与炮尾在设计中应满足下列基本要求

1. 闭锁确实。炮闩与炮尾应有足够的强度和刚度，并与身管可靠结合；不能因火药燃气压力作用而自行开闩；燃气不应后溢。
2. 结构简单，分解结合容易，操作方便，动作可靠。重要零件应有备件并能进行完全互换。操作开、关门机构轻便且装填方便。
3. 应具有多种可靠的保险装置，保证射击过程中的安全。如：关门未到位不能击发；瞎火或迟发火时用一般操作不能开闩；坦克炮或自行火炮在行进间装填后，不能因车体振动而引起击发。

在实际设计中，炮闩结构是根据火炮的要求和总体布置而定，而炮尾结构又是相应于炮闩结构而定。炮闩的主要分类形式如下所示：



一般，自动炮闩用于小口径高射炮和航炮；半自动炮闩多用于中、小口径地面火炮；非自动炮闩曾用于大、中口径火炮，现应用较少。在地面炮中广泛采用楔式炮闩（sliding wedge breech mechanism）和螺式炮闩（screw breech mechanism）。相对应的炮尾结构形式为楔式炮尾和螺式炮尾。

普通式炮闩是靠药筒的变形后紧贴炮膛密闭膛内火药燃气的炮闩。

闭气式炮门 (breech mechanism with gas obturator) 利用金属和非金属弹性零件密闭膛内火药燃气的炮门。在膛内火药燃气作用下, 使闭气零件与炮膛壁贴紧, 起密封作用, 压力消失后恢复原状, 保证顺利开门、关门。闭气炮门用于药包分装式弹药或使用全可燃药筒和无壳弹的火炮。弹性闭气零件代替了金属药筒闭气作用, 可以多次使用, 定期更换。目前, 闭气炮门有两种形式: 一种是螺式闭气炮门, 带有德·巴日式 (De. Beuge) 紧塞具的闭气结构, 如美 M107 式 175mm 加农炮, 另一种是楔式闭气炮门, 如英国“奇伏坦”式坦克上的 120mm 火炮。螺式闭气炮门发展较早, 比较成熟, 缺点是发射速度低, 开关门时, 门体动作占据空间位置大、勤务保养困难等。楔式闭气炮门结构紧凑, 能满足坦克和带封闭炮塔自行火炮的需要, 有良好的发展趋头。

二、楔式炮门结构原理

楔式炮门也称横动式炮门。其门体为楔形, 垂直于炮膛轴线作直线运动, 以进行闭锁、开锁等动作。按门体运动方向分为横楔式 (在水平面左右运动) 和立楔式 (在垂直面上下运动) 两种; 按闭气方式又分为普通式与带紧塞具闭气式两种。

图 2-2-29 是一种普通式半自动立楔式炮门与炮尾结构原理图。其作用是闭锁炮膛、击发底火、抽出药筒。为完成上述任务和保证半自动工作, 炮门由闭锁装置、击发装置、抽筒装置、保险装置、半自动装置和复拨器等组成。

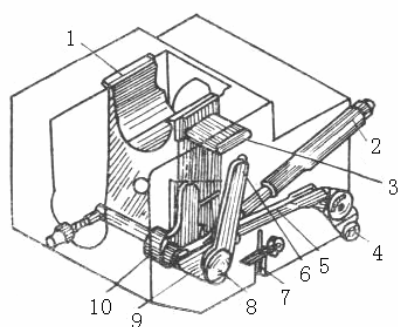


图 2-2-29 普通半自动楔式炮门

- 1-门体; 2-弹簧支筒; 3-门体挡板; 4-曲柄;
5-拉杆; 6-开门手柄; 7-抽筒子杠杆;
8-曲臂轴; 9-关门杠杆; 10-曲臂滑轮。

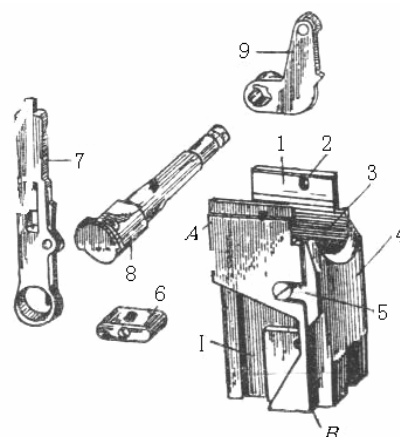


图 2-2-30 闭锁机构主要零件

- 1-楔形门体; 2-提把孔; 3-输弹槽;
4-门体镜面; 5-抽筒子挂臂; 6-门体挡板;
7-门柄; 8-曲臂轴; 9-曲臂。

现主要以 85mm 加农炮炮门结构为例分述如下:

(一) 闭锁机构 (locking mechanism)

闭锁机构主要由门体、曲臂、曲臂轴、门柄和门体挡板等组成, 如图 2-2-30 所示。

门体是一楔形体。内部各孔安装击发装置, 上端有输弹槽、提把孔; 前面有抽筒子挂臂及镜面 (中有击针孔) 直接抵住药筒; 右侧有供曲臂滑轮运动的定形槽。定形槽由纵槽 I、横槽 II 和以曲臂轴中心为圆心的圆弧 III 组成, 见图 2-2-31。槽 I 用于分解结合炮门时曲臂滑轮的通道; 槽 II 供滑轮带动门体开、关门; 槽 III 用于使门体可靠闭锁, 在开门前拨回击针。

门体定形槽有不同的形状, 如图 2-2-32 所示, 但其作用原理基本相同。

人力开门时, 顺时针转动门柄, 则曲臂轴带动曲臂滑轮位于槽 II 中迫使门体下降而开门。

曲臂以花键套在曲臂轴上。转动时, 其上的滑轮在门体定形槽内运动, 产生开关门动作。曲臂齿用于开门时拨回击针, 齿的凹面用于关门到位时解脱保险器。见图 2-2-33。

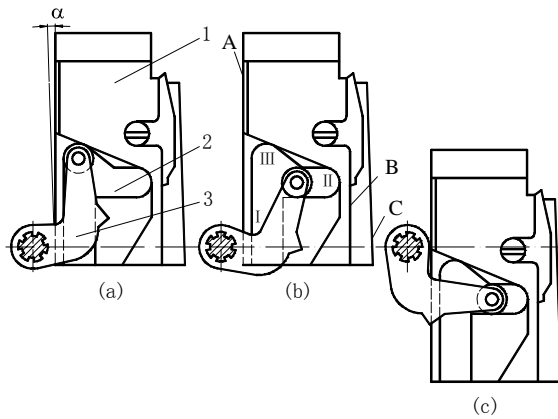


图 2-2-31 曲臂与臼体相互位置
(a) 关门状态；(b) 开始开门；(c) 开门状态。
1-臼体；2-定形槽；3-曲臂。

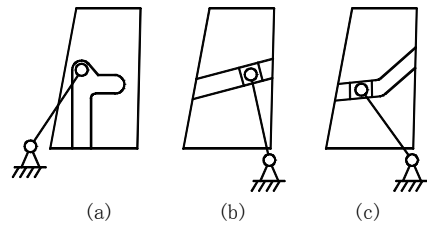


图 2-2-32 臼体定形槽
(a) 组合形；(b) 直线型；(c) 折线型。

臼体后端面 A 与炮膛轴线的垂直线成 γ 角，前面两侧的导向棱 B 与 A 面平行，而臼体镜面 C 垂直于炮膛轴线，臼体成一楔形。 A 、 B 两面与炮尾臼室内的两个倾斜导向面相配合，开门时，臼体向下运动，并向后位移 Δl (图 2-2-34)；关门时，臼体向上运动，并向前位移 Δl 。将臼体作成楔形的目的是：(1) 关门时，臼体可把炮弹略向前推，使炮弹装填确实；(2) 开门时，臼体前端镜面与药筒底离开，减少臼体镜面与药筒间的摩擦力，使开门容易。

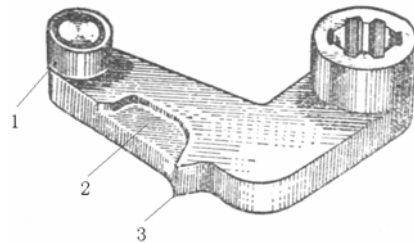


图 2-2-33 曲臂
1-滑轮；2-凹面；3-曲臂齿。

要使楔形炮臼闭锁确实，必须满足两个条件：

1. 臼体自锁条件

图 2-2-34 为臼体受力示意图，发射时作用于臼体的力有：

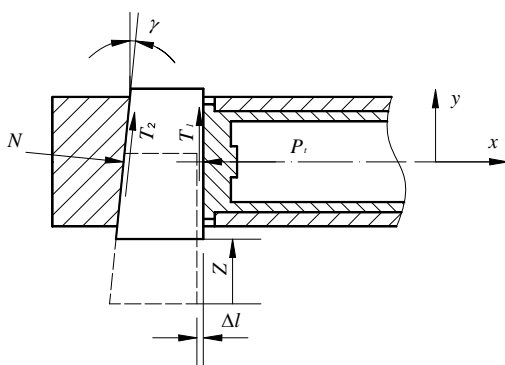


图 2-2-34 臼体受力示意图

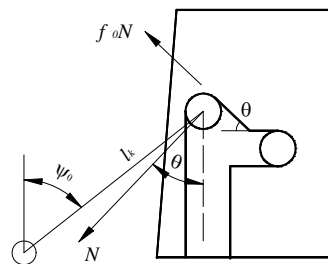


图 2-2-35 曲臂滑轮受力示意图

P_t ——膛底合力； N ——炮尾支撑面对臼体的垂直反力。

令 f_1 及 f_2 分别为臼体镜面与药筒底面和炮尾支撑面与臼体后斜面间的摩擦系数。考虑到臼体的重力及惯性力相对很小，可忽略不计，则臼体在自锁状态下受力平衡方程为：

$$\begin{aligned}\sum X &= -P_t + N(\cos \gamma + f_2 \sin \gamma) = 0 \\ \sum Y &= P_t f_1 - N(\sin \gamma - f_2 \cos \gamma) = 0\end{aligned}$$

消去 N 并略去高次项，则

$$\sin \gamma = (f_1 + f_2) \cos \gamma$$

$$\text{设 } f_1 = f_2 = f$$

$$\tan \gamma = 2f$$

由摩擦定律知：摩擦系数 f 可用摩擦角 φ 的正切代替， $f = \tan \varphi$ ；因角度小，正切函数又可用弧度值代替，得 $\gamma = 2\varphi$ 。

因此，闭体的自锁条件是：

$$\gamma \leq 2\varphi$$

一般地， $f = 0.01 \sim 0.02$ ，所以闭体后面的斜角 γ 只能在 $1^\circ 10' \sim 2^\circ 20'$ 之间。通常楔闭都取 $\gamma = 1^\circ 42'$ 。

2. 闭锁装置的自锁条件

对于闭体带定形槽的闭锁装置，发射时闭体作用在曲臂上的力如图 2-2-35 所示。

N_1 ——闭体作用于曲臂滑轮上的力，垂直于触点的切线；

$f_0 N_1$ ——曲臂滑轮上的摩擦力；

ψ_0 ——关闭状态时曲臂的初始角；

θ ——关闭状态滑轮在槽内触点切线对炮膛轴线的夹角。

为了可靠地闭锁炮膛，发射中，曲臂向前（开闭方向）回转的力矩应该小于或等于向后的力矩。即：

$$N_1 \cdot l_k \sin(\psi_0 - \theta) \leq f_0 \cdot N_1 \cdot l_k \cos(\psi_0 - \theta)$$

$$\tan(\psi_0 - \theta) \leq \tan \varphi$$

$$\text{则 } \psi_0 \leq \theta + \varphi_0$$

因此，要保证自锁，曲臂的初始角 ψ_0 应小，当 $\psi_0 = \theta$ 时， N_1 通过曲臂轴线，闭锁更可靠，在 56 式 85mm 加农炮的闭锁装置中，圆弧 III 的法线就是通过曲臂的回转中心。

（二）开闭、关门结构（breechblock opening-closing mechanism）

在半自动炮闭和自动炮闭中，需要设置独立的关门和开闭机构。关门机构多采用弹簧式。依靠开闭时压缩弹簧而储存能量，需关门时，靠弹簧伸张推动闭体完成闭锁动作。

关门机构与炮闭结构有关，一般可分为：

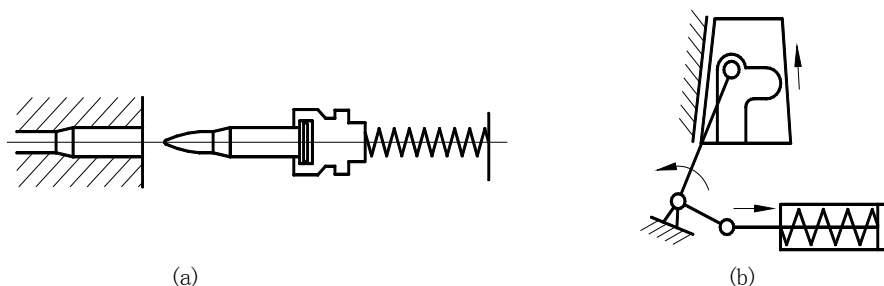


图 2-2-36 关门结构原理图

(a) 纵动式；(b) 横动式。

1. 纵动式炮闭关门机构，见图 2-2-36(a)。其特点是：关门时同时完成输弹动作，开闭时直接抽出药筒，关门动力靠关门弹簧力或炮闭复进簧力直接作用在闭体上。这种结构多用于自动炮。

2. 横动式炮闭关门机构，见图 2-2-36(b)。其特点是：关门弹簧力需通过曲臂连杆机构将其传给闭体。这种结构多用于半自动楔闭。其典型结构为 56 式 85mm 加农炮半自动机，

它由关门机和开闩板组成。

关闭机（图 2-2-37）用于自动关门。由平行四连杆机构、支筒和关门簧组成。四连杆机构由杠杆（ ab ）、拉杆（ bc ）、曲柄（ cd ）和固定于炮尾上的二轴心（ a 、 d ）构成，各杆互相以销轴连接。支筒用小轴铰接在炮尾侧面，可作小幅度摆动，压筒以销轴与拉杆连接，在关门簧的作用下推动拉杆和杠杆使曲臂转动，从而带动闩体关门。调整螺帽用以调整弹簧的预压力。

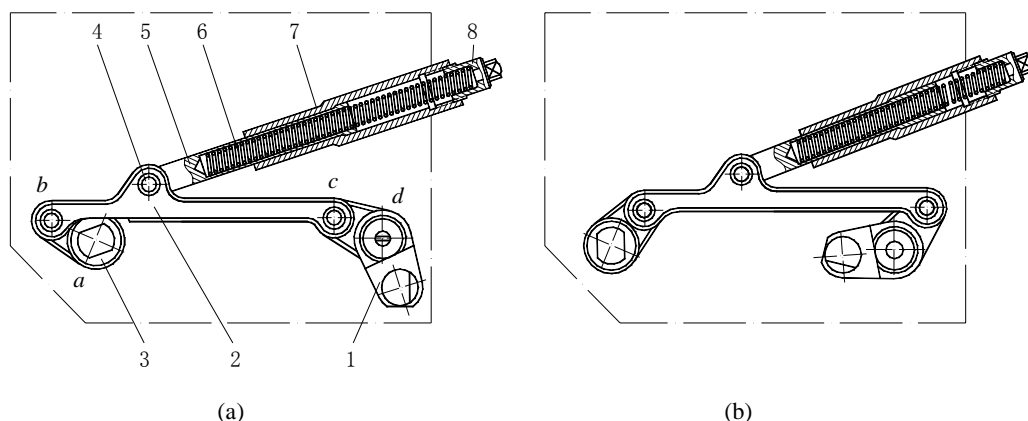


图 2-2-37 关闭机

(a) 关门状态；(b) 开闩状态。

1-曲柄；2-拉杆；3-杠杆；4-小轴；5-压筒；6-关门簧；7-支筒；8-调整螺帽。

开闩板（图 2-2-38）用于自动开闩。装在摇架的支臂上，可绕开闩板轴在水平面上摆动，其后端面是工作面，侧斜面供炮身后坐时让开炮尾上的曲柄，以使后坐运动正常进行。

人力开闩时闩柄带动曲臂轴，杠杆绕 b 点顺时针转动，使压筒压缩弹簧而储存关门能量；开闩后抽筒子挂钩钩住闩体，解脱此挂钩，则弹簧伸张推动拉杆、杠杆、曲臂轴和曲臂而关门。

自动开闩时，其动作顺序如下：图 2-2-39(a) 为发射前的位置。发射时，炮身后坐，曲柄上圆形凸起部的斜面推动开闩板，从其侧面滑过，开闩板略向右转，让开曲柄，如图 2-2-39(b) 所示。当炮身复进到一定位置时（大约复进 $1/3$ 行程，这时复进速度最大），曲柄的圆形凸起部撞击开闩板的工作面，见图 2-2-39(c)，曲柄开始回转，通过拉杆、

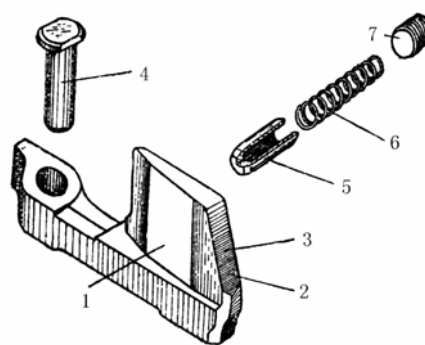


图 2-2-38 开闩板

1-侧斜面；2-开闩板；3-工作斜面；

4-开闩板轴；5-压筒；6-弹簧；7-螺塞。

杠杆和曲臂轴带动曲臂，曲臂滑轮先在闩体定型槽的弧形段内滚动，完成拨回击针动作，当滑轮接触闩体水平槽时，闩体开始下降直至闩体被抽筒子挂钩钩住，见图 2-2-39(d)，在曲臂轴回转的同时关门簧被压缩，贮存关门所需能量。

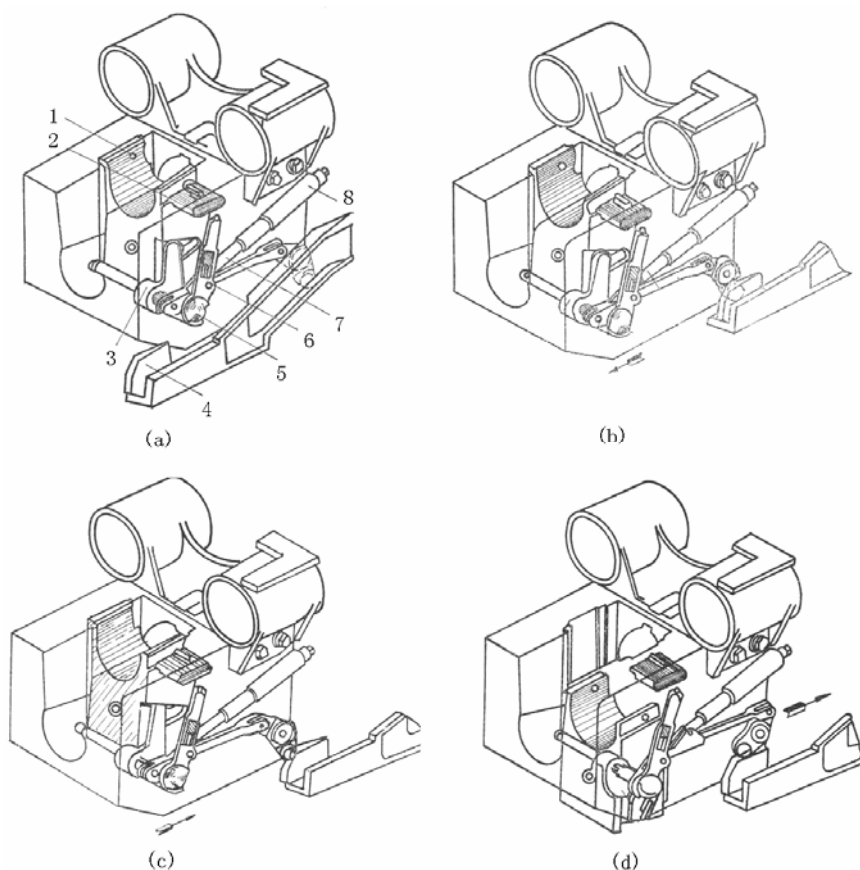


图 2-2-39 自动开门动作

(a) 平时状态；(b) 后坐阶段；(c) 复进阶段；(d) 开门状态。

1-门体；2-门体挡板；3-曲臂；4-开门板；5-曲臂轴；6-门柄；7-压筒；8-支筒。

(三) 抽筒机构 (extraction mechanism)

其作用是抽出药筒、保持门体在开门状态以便输弹（这是半自动楔门的抽筒装置特有的任务）。

抽筒机构一般分为纵动式炮门抽筒机构与横动式炮门抽筒机构。前者由炮门上的抽筒钩在炮门向后运动时便可直接抽出药筒，见图 2-2-36(a)；后者则必须设抽筒子以完成抽筒动作。

抽筒子按其抽筒作用的性质，可分为撞击作用式和平稳作用式两种。按结构又分为杠杆式和凸轮式两种。撞击作用杠杆式抽筒子（如 56 式 85 加农炮），利用门体在开门终了撞击抽筒子短臂，而由抽筒子长臂抽出药筒。平稳作用凸轮式抽筒子（如 59 式 100 高炮），利用开门过程中，门体上的曲线槽使抽筒子转动，并用传速比逐步增大的方法，达到开始抽筒时药筒速度很小，以便平稳地抽动药筒，然后迅速增大以达到预定的抽筒末速。

撞击作用杠杆式抽筒子的优点是结构简单、制造容易、操作使用方便。缺点是撞击时受力很大，容易引起抽筒子及药筒底缘损坏。在药筒变形较大时，抽筒性能差。一般随炮都带有抽筒子备件。它通常应用于中、小口径火炮上。

平稳作用凸轮式抽筒子的优点是抽筒平稳、工作可靠。缺点是制造较困难，输弹到位的速度不能太大，否则药筒底缘和抽筒子抓钩接触部位容易发生塑性变形。它通常应用于中、大口径火炮上。

图 2-2-40 和 2-2-41 分别为 56 式 85mm 加农炮杠杆冲击式抽筒结构图及抽筒状态示意图。左右抽筒子套在有键的轴上，每个抽筒子有长臂和短臂，长臂上端有抽筒子爪和挂钩。

抽筒子爪用于抽筒时抓住药筒底缘；挂钩用于钩住闩体上的抽筒子挂臂，以保持闩体于开闩状态。压栓和弹簧用于使抽筒子长臂经常贴向闩体，以便在开闩后及时钩住抽筒子挂臂。

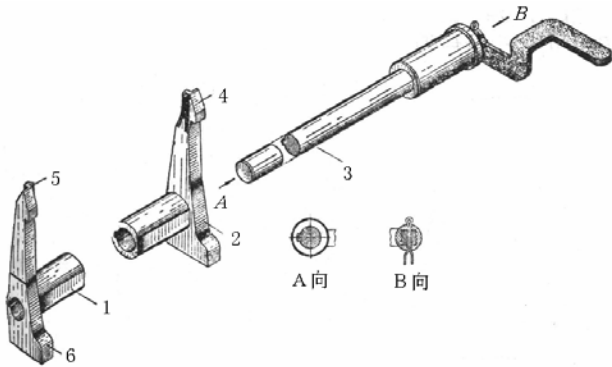


图 2-2-40 杠杆冲击式抽筒装置

1、2-左、右抽筒子；3-抽筒子轴；
4-挂钩；5-抽筒子爪；6-短臂。

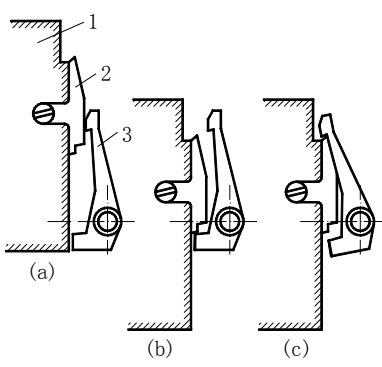


图 2-2-41 抽筒状态示意图

(a)平时；(b)抽筒前；(c)抽筒后。
1-闩体；2-闩体挂臂；3-抽筒子。

抽筒子轴安装在炮尾内，两个抽筒子在其上可相对摆动一个角度，以防某一个的挂钩磨损、损坏变形或碰离闩体挂臂时，另一个抽筒子仍可钩住闩体于开闩状态。

(四) 击发装置 (percussion mechanism)

击发装置一般由击发机和发射机组成。根据点火的能源不同，击发装置可分为机械式和电点火式两种。前者是用机械构件的撞击动能引燃底火；后者用电流加热金属丝引燃底火。在地面火炮上多采用机械式。其分类如下：

机械式击发机	{	击针式	{ 惯性式
			{ 拉火式
		击锤式	
		撞针式	

在楔式炮闩上多采用击针惯性式击发机。图 2-2-42 为 56 式 85 mm 加农炮的击针惯性式击发机，由击针、击针簧、拨动子、右拨动子轴、拨动子驻栓、驻栓弹簧等组成。拨动子和右拨动子轴用来在开闩时拨回击针。

开闩时，曲臂向下转动，曲臂齿压右拨动子轴的杠杆，右拨动子轴带动拨动子转动，将击针拨回，压缩击针弹簧，如图 2-2-43(a)所示，这时拨动子驻栓在弹簧作用下向左移动（从炮尾向前看），浅槽

卡住拨动子呈待发状态。关闩后，发射机经炮尾内的推杆向右推动拨动子驻栓，使深槽对正拨动子下端，拨动子不受约束，击针便在弹簧作用下向前击发，如图 2-2-43(b)。

拨回击针的动作应在闩体开始下降之前完成，这样，在开闩时，击针尖就不致因与底火相碰而折断。曲臂滑轮在闩体定形槽的圆弧段Ⅲ（图 2-2-31）内运动时，曲臂齿便压动右拨

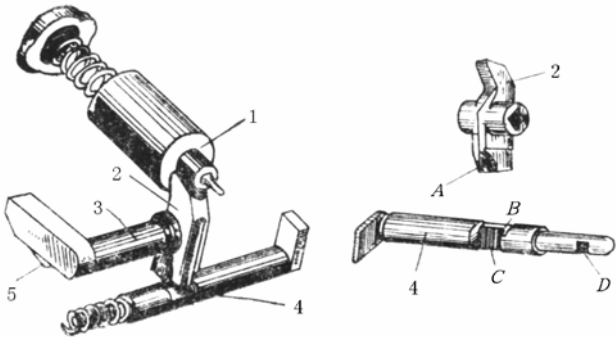


图 2-2-42 击针惯性式击发机示意图

1-击针；2-拨动子；3-右拨动子轴；4-拨动子驻栓；5-小齿；
A-缺口；B-驻柱浅槽；C-驻栓深槽；D-保险器缺口。

动子轴，拨回击针，这时闩体尚未移动，此后曲臂继续转动，闩体才向下运动。

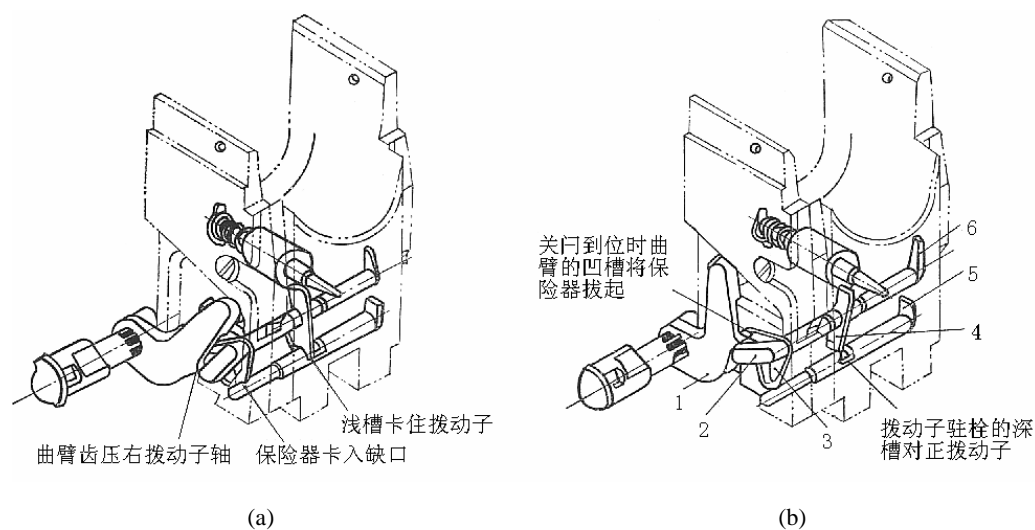


图 2-2-43 击发装置动作

(a) 待发状态；(b) 击发状态。

1-曲臂；2-右拨动子轴；3-保险器；4-拨动子；5-拨动子驻栓；6-左拨动子轴。

一般要求击发机构所提供的能量应与底火的构造和击针突出量匹配，既要可靠击发，又不能击穿底火；击针应有足够的强度、硬度和韧性；击发机应该结构简单、拆装方便，有互换性；同时应设击发保险和重复击发装置。通常，击针头直径约为 $3\sim 3.5\text{mm}$ ，突出量约在 $2\sim 3.8\text{mm}$ 之间。

击针惯性式击发机动作简单，开门时击针就处于待发状态，发射时延迟时间短，适用于反坦克炮和加农炮；拉火式击发机是在击发过程中才压缩击针簧，发射延迟时间较长，常用于榴弹炮和大口径火炮；击锤式常用于大、中口径迫击炮及药包装填的海军炮；而撞针式击发机则广泛用于小口径迫击炮。

(五) 保险机构 (safety device of breechblock)

又称炮门保险器，是射击时控制击发条件和时机，保证火炮机构和人员安全的炮门装置。通常在以下情况应设保险机构，例如：闩体未到位，闭锁不确实，不得击发；迟发火或瞎火时，人力用普通动作不能开门；炮身、反后坐装置、摇架相互连接不正确时，不得击发；炮身复进不到位时，不能继续发射等。

图 2-2-44 为 56 式 85mm 加农炮炮门上的保险器。当炮门未关闩到位（尚未确实闭锁）时，即使操作发射机也不能让其击发，这是靠保险器起作用的，保险器由保险子和弹簧组成。

保险器套在拨动子右轴上，扭簧上端压于闩体上，另一端压在保险器的上凸角上，使其下凸角总有卡入拨动子驻栓缺口的趋势。

开门时，击针为待发状态，保险子在扭簧的作用下，下凸角立即插入拨动子驻栓缺口，当关闩不到位时，下凸角仍然卡住拨动子驻栓缺口，阻止拨动子驻栓移动，因而不能击发。闩体上升到位后，曲臂滑轮继续在闩体定形槽圆弧段Ⅲ内运动，当曲臂转到最上端位置时，便是关闩到位（或者说闭锁确实），这时曲臂齿上凹面将保险器的上凸角抬起，下凸角便离开驻栓缺口，这时方可击发。

若没有保险器，而曲臂在圆弧段内。未转至垂直状态时，如果击发，便会产生过早开门。

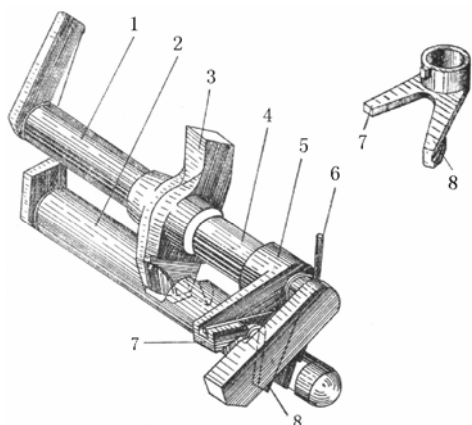


图 2-2-44 保险器

1-左拨动子轴；2-拨动子驻栓；3-拨动子；4-右拨动子轴；
5-保险器；6-弹簧；7-上凸角；8-下凸角。

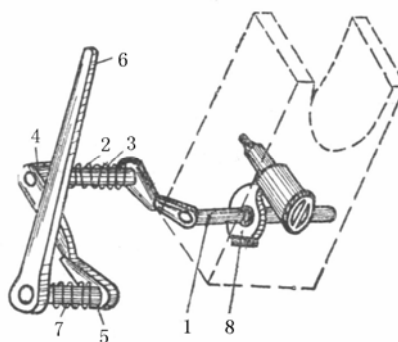


图 2-2-45 复拨器

1-拨动子左轴；2、5-扭簧；3、4-杠杆；
6-复拨器握把；7-杠杆轴；8-拨动子。

(六) 复拨器 (relocking lever)

发射中出现迟发火时，不必开闩，采用复拨器将击针拨回便可再次击发。图 2-2-45 拨动子左轴就起这种作用。在摇架的防危板上装有握把和杠杆，炮尾左侧装有杠杆轴，它与拨动子左轴接触。转动握把，杠杆带动杠杆轴而使拨动子左轴转动，拨动子将击针拨回或待发状态，放松握把后，杠杆在扭簧的作用下恢复原位。

三、螺式炮闩结构原理

(一) 概述

螺式炮闩是靠闩体上的外螺纹直接与炮尾闩室内的螺纹连接的一种炮闩。闩体形状有圆柱形、圆锥形、圆柱圆锥混合形及椭圆形。椭圆形制造困难，已不采用。按闩体外螺纹形状，闩体可分为：

1. 连续螺纹闩体 (eccentric screw breechblock)：闩体外螺纹是连续的，由于用整体螺纹与炮尾结合，有较好的强度，但闩体旋入或旋出炮尾闩室时，动作复杂且费时间，因此，现代螺式炮闩很少采用。

2. 断隔螺纹闩体 (interrupted screw breechblock)：将闩体外螺纹沿纵轴方向对称地切去若干部分，被切后的光滑部将螺纹隔断，如果剩余的螺纹部所对的圆心角为 30° 或 90° ，则闩体进入炮尾的闩室后只需旋转 30° 或 90° 就能与闩室对应的断隔螺纹啮合以进行闭锁，十分方便。

3. 阶梯式断隔螺纹闩体 (stepped-thread breechblock)：它是断隔螺纹闩体的改进型。在大口径火炮上，为了保证闩体强度，不影响闭锁性能，就要增加螺纹的外径和圈数，这会增加闩体质量和长度，而当闩体长度大于 1 倍口径时，又会使开、关门困难。因此，在大口径火炮上多采用阶梯式断隔螺纹闩体，螺纹制成 2~3 阶梯，使其与炮尾闩室的啮合面增加。我国 130mm 单管海军炮就采用了二阶梯式螺闩，图 2-2-46，其光滑部与螺纹部构成高低 3 个阶梯，螺纹与光滑部所对的圆心角各为 40° ，闩体进入闩室后，旋转 40° ，即可闭锁。

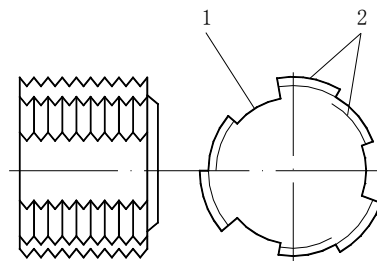


图 2-2-46 阶梯式断隔螺纹闩体

1-光滑部；2-螺纹部。

开关闩时，闩体运动动作可分为：

1. 一程式螺闩。即开、关闩时连续旋拧螺纹，用在连续螺纹闩体上。
2. 二程式螺闩。即关闩时，闩体先作弧形运动，进入炮尾闩室，然后再绕自身纵轴旋转而闭锁。开闩时，动作相反。目前火炮上的螺闩基本上都采用二程式。
3. 三程式螺闩。第一动作，闩体在锁闩里转动；第二动作，闩体在锁闩里作直线运动，移出闩室；第三动作，锁闩离开炮尾切面。

螺闩的外螺纹为左旋，螺纹的形状，一般为等腰三角形。为保证发射时可靠闭锁，螺纹升角很小，通常为 $1.10'$ 或 $1.20'$ 。为改善各圈螺纹受力不均的程度，常将接近药筒的第一、二圈螺纹空隙稍加大。

为使闩体在进、出闩室时不与闩室螺纹相碰，将闩体的两个光滑面沿纵向加工成弧形，一侧内凹，另一侧外凸。如图 2-2-47。

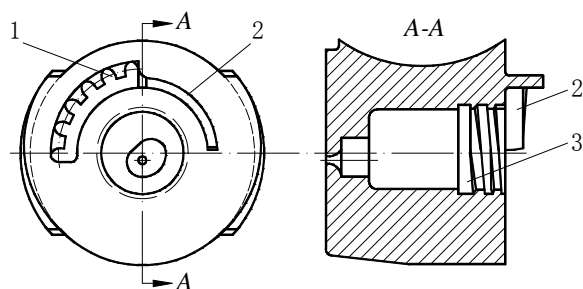


图 2-2-47 断隔螺闩闩体

1-闩体齿；2-限制弧；3-连接筒室。

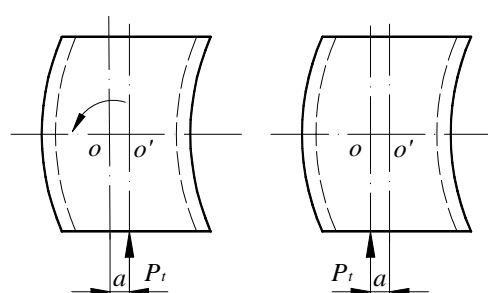


图 2-2-48 螺闩击针偏心示意图

(a) 击针孔不偏心；(b) 击针孔偏心。

由于闩体成凸凹弧形，其质心 O 与形心 O' 不重合，相距为 a ，而闩体的击针孔中心必须与闩体质心 O 重合，才能避免膛底合力 P_t 对质心形成的有害力矩 $P_t a$ ，否则，会使螺纹卡坏或使开闩困难。因此，应将击针孔对闩体形心加工成偏心的，其偏心矩为 a 。如图 2-2-48。

(二) 螺式炮闩的一般组成

螺式炮闩一般由闭锁、击发、抽筒、保险及挡弹等装置组成。现将常用的螺闩结构原理简介如下。如图 2-2-49。

1. 闭锁装置

闭锁装置由闩体、锁闩、闩柄、诱导杆及驻栓等组成。闩体通过内螺纹旋在锁闩的连接筒上，锁闩用闩柄轴装在炮尾上并可绕此轴转动。诱导杆可在锁闩内滑动，其上的齿与闩体的齿弧相啮合，闩柄转动时带诱导杆滑动，诱导杆带闩体转动。关闩第一阶段：闩体、锁闩、闩柄和诱导杆一起转动，直至闩体完全进入闩室。关闩第二阶段：锁闩不动，闩柄继续转动，经诱导杆使闩体转 90° ，闩体螺纹与闩室螺纹相吻合而闭锁。如图 2-2-50。

锁闩（图 2-2-51）上安装了闭锁装置和击发装置的零件。通过锁闩在炮尾上转动，进行开关闩。闩柄用于使锁闩和炮尾联接，并开、关炮闩。诱导杆用来将闩柄的动作传给闩体。

驻栓其作用是适时地卡住或解脱诱导杆，以控制诱导杆在锁闩内不动或滑动。它斜放在锁闩内，被弹簧顶着，其上面是一平面。驻栓在开闩后被弹簧顶出，上平面向上移动卡在诱导杆凸起部上，在关闩第一阶段时限制诱导杆的移动，如图 2-2-52(b)开闩时的位置。但当闩体进入闩室后，炮尾后端面将驻栓压入锁闩，驻栓上平面下降，解除了对诱导杆的限制，诱导杆便相对于锁闩移动，带动闩体转 90° 而闭锁，如图 2-2-52(a)关闩时的位置。

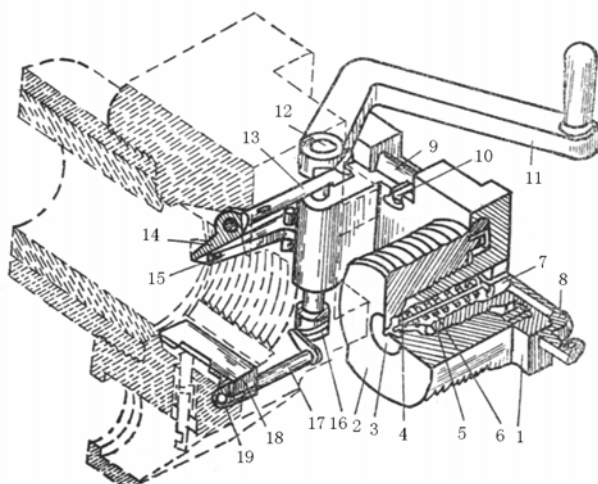


图 2-2-49 螺式炮门

1-锁扉；2-门体；3-工作衬筒；4-击针；5-击针套筒；
6-击针簧；7-击针逆钩；8-引铁；9-诱导杆；10-引铁驻栓；
11-门柄；12-门柄轴；13-挡弹板轴；14-挡弹板；15-抽筒子；
16-连接筒；17-托弹板轴；18-托弹板；19-杠杆。

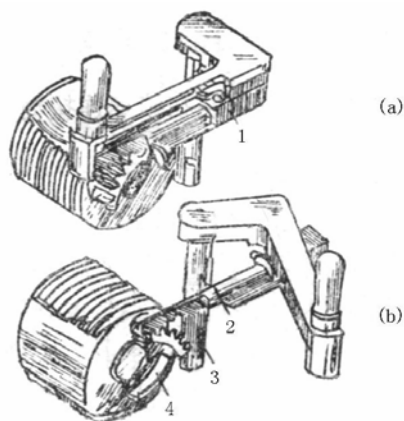


图 2-2-50 闭锁与开锁

(a) 闭锁状态；(b) 开锁状态。

1-门柄；2-诱导杆；3-门柄轴；4-门体。

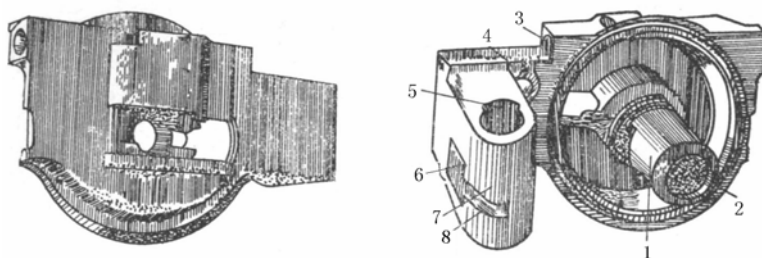


图 2-2-51 锁扉

1-连接筒；2-击发机室；3-诱导杆通孔；4-驻栓室；5-键槽；6-抽筒冲铁；7-连接耳；8-偏心槽。

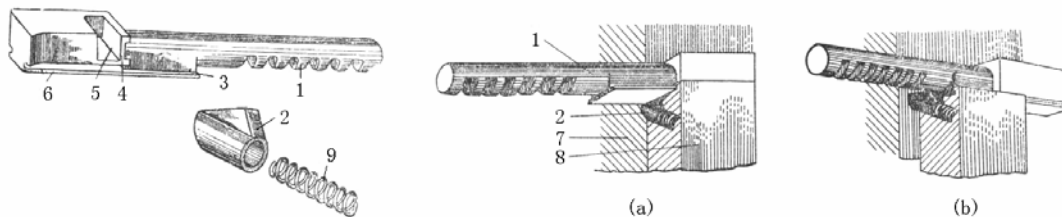


图 2-2-52 诱导杆和驻栓

(a) 关门时位置；(b) 开门时位置。

1-诱导杆；2-驻栓；3-凸起部；4-保险栓连接部；5-诱导筒缺口；6-定向缘；7-炮尾；8-锁扉；9-弹簧。

对于采用药包分装式炮弹的螺式炮门，在炮门上还需有专用的紧塞装置，以密封火药燃气和安装点火具。较为典型的结构是带巴日紧塞具炮门，如图 2-2-53 所示。它由气密垫、菌状杆、前后切口垫环及弹簧等组成。气密垫是由石棉浸羊脂压制后外包一层帆布制成，具有较高的弹性与强度，能耐高温。前、后垫环用以防止气密垫在膨胀时挤进空隙被损坏，并避免火药燃气直接与气密垫接触。弹簧提供气密垫一定的预压力（ $3 \sim 5 \text{ MPa}$ ）防止发射初

期燃气外溢。

发射时，菌状杆受燃气压力作用而后移，压缩气密垫，使其向炮膛扩张而紧贴于药室壁。因菌状杆前面受燃气压力作用的面积大于后面的面积，所以气密垫所产生的压力总比燃气压力大，从而完成闭气任务。菌状杆中心有导火孔，由装在发火机上的底火铜壳进行闭气。采用气密垫这种紧塞方式，省去了药筒，炮弹的成本也可降低，常用于大口径火炮。我国单管 130mm 海军炮及美 175mm 加农炮都采用这种炮闩结构。但其缺点是：紧塞性能受环境温度影响较大，气温太高，易影响开、关门；气温太低，易出现漏气。因此，射击准备时应根据环境温度选配气密垫的厚度。

2. 螺闩击发装置

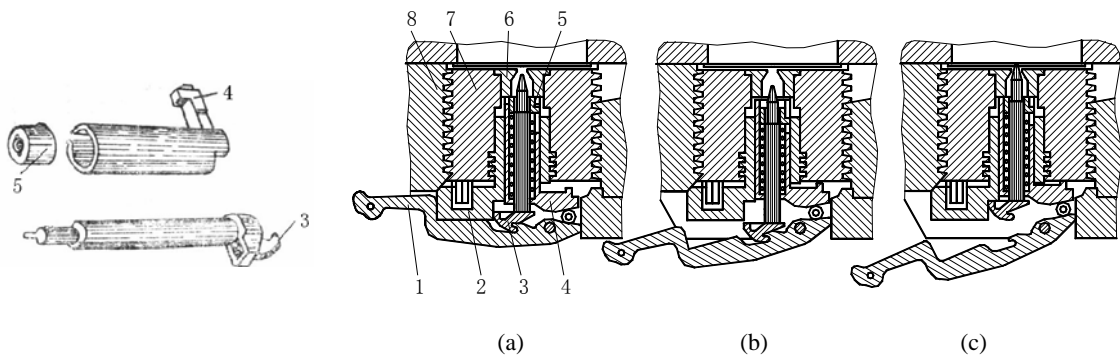


图 2-2-53 巴口紧塞具

1-菌状杆；2-气密垫；3-闩体；4-火帽室；
5-发火机；6-锁扉；7-炮尾；8-垫环；9-身管。

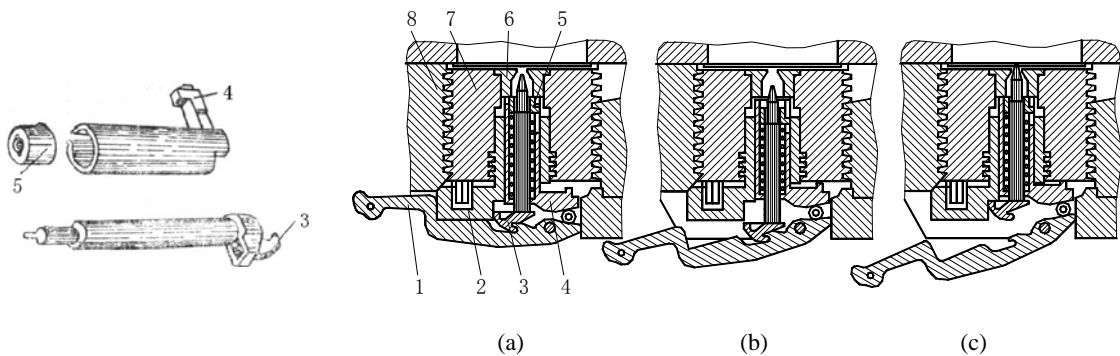


图 2-2-54 击发装置

(a) 平时状态；(b) 待发状态；(c) 击发状态。

1-引铁；2-锁扉；3-逆钩；4-套筒；5-支筒；6-衬筒；7-闩体；8-炮尾。

螺闩击发装置一般采用击针拉火式。由击发机与拉火机组成。击发机装在锁扉连接筒内，拉火机装在锁扉后端如图 2-2-54。

发射时，炮手拉引铁，钩脱板通过逆钩使击针及支筒向后移动，同时引铁滑轮迫使击针套筒向前移动，故击针簧被压缩。当引铁拉至一定程度时，逆钩便与钩脱板脱离，于是弹簧伸张，使击针向前运动。开始是支筒和击针一起运动，当支筒被闩体衬筒挡住后，击针簧不伸张，而击针以惯性向前运动而击发。当炮手放开引铁，击针簧伸张，使套筒向后运动，套筒支臂经滑轮使引铁恢复原状；同时套筒带着击针向后，逆钩又与钩脱板钩住。各件恢复平时状态。这种击发机构，可以连续拉火，不必另设复拨装置。但因其在击发时才压缩击针簧，所以击发延迟时间较长。

3. 抽筒装置

抽筒装置的结构如图 2-2-55 所示。抽筒子为单枝抽筒子，它以其上、下两耳轴装在炮尾右侧。装填炮弹后，抽筒子爪位于药筒底缘前面。关门时，锁扉上的偏心槽，经凸筒使抽筒子向前转动，同时闩体能将药筒向前推到位。开门时，锁扉上的冲铁冲击抽筒子的凸起部，使抽筒子迅速转动而抽出药筒。

4. 保险机构

常见的螺钊保险机构有两种。

(1) 关门不到位不能击发。此由钊体上的限制弧控制(见图 2-2-47)。当钊体未完全闭锁时,限制弧位于击针套筒的前方,阻止套筒前移,引铁拉不动,也就不能击发。这种措施,结构简单,动作可靠。

(2) 惯性保险。炮弹迟发火时为防止炮手过早开钊,由装在炮尾孔内的惯性保险栓与诱导杆配合完成。如图 2-2-56。

关门到位后,保险栓上的凸起部和其上的片簧被掰开,进入诱导杆缺口中卡住了诱导杆,使它不能移动,于是不能开钊(图 2-2-56a—c);击发后炮身后坐,保险栓因惯性作用相对炮身前移,压缩弹簧解除了诱导杆,片簧弹回离开缺口而贴向保险栓(图 2-2-56d),复进后片簧顶在诱导杆的平面上,即可开钊。

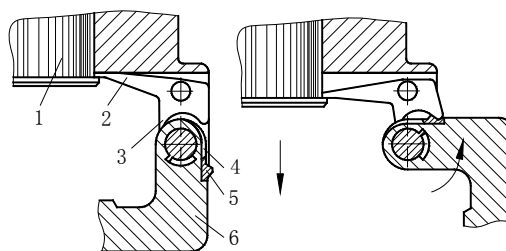


图 2-2-55 抽筒装置

1-药筒; 2-抽筒子; 3-凸筲; 4-偏心槽;
5-冲铁; 6-锁扉。

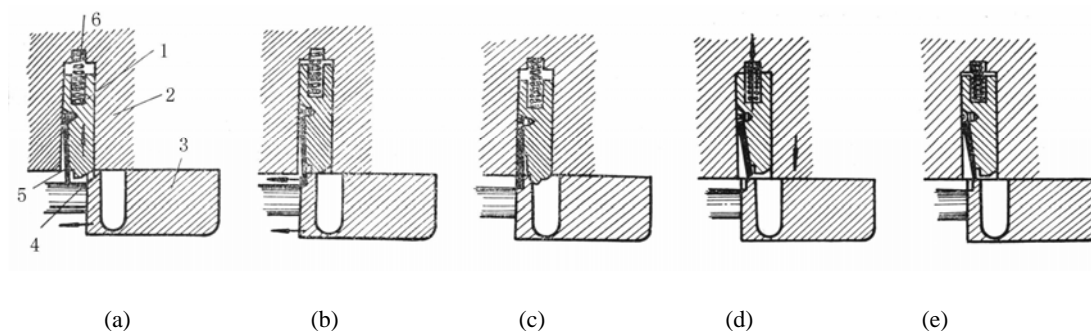


图 2-2-56 保险装置动作

(a) 诱导杆拔保险栓向前; (b) 诱导杆拔片簧向左; (c) 保险状态;
(d) 后坐时解除保险; (e) 炮身复进, 片簧顶在诱导杆上。

1-保险栓; 2-炮尾; 3-诱导杆; 4-保险栓连接部; 5-片簧; 6-弹簧。

5. 挡弹装置

分装式弹药在射角大于 0° 时,为防止装填中弹丸和药筒掉出炮膛,都设有挡弹装置。其结构简单,如图 2-2-57。

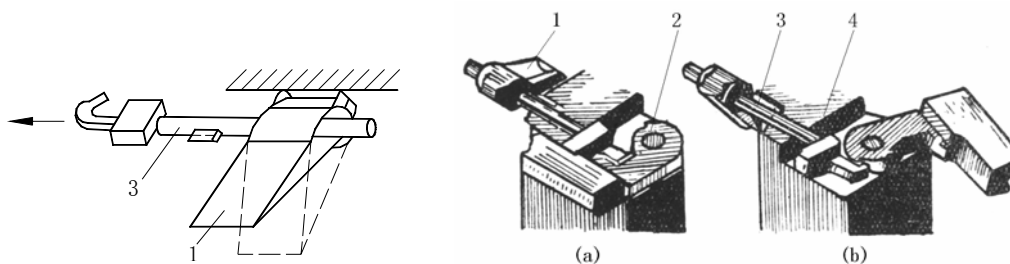


图 2-2-57 挡弹装置

(a) 关门位置; (b) 开门位置。

1-挡弹板; 2-钊柄定型缺口; 3-挡弹板轴; 4-炮尾。

开门抽筒后,钊柄上的定型缺口带动轴钩使挡弹板轴上的键脱离挡弹板,挡弹板便下垂一个角度,因此装填时能挡住弹丸和药筒。关门时,钊体将挡弹板托起,此后钊柄之定型缺口将挡弹板轴推入,轴上的键将挡弹板保持于抬起状态,直到抽筒以前。

（三）楔式炮闩与螺式炮闩的特点比较

楔闩与螺闩是常用的典型结构,选用时应结合具体火炮而定。在火炮口径相同的情况下,可作如下一般性的分析比较。

1. 在动作和操作性能方面:

(1) 楔式炮闩开关闩动作快,因闩体只有直线运动,而螺闩则有两个运动。

(2) 楔闩体便于快速装填,因为楔闩在开闩时自然形成了一个导弹槽,且开闩时闩体运动的方向不妨碍提早装填的操作,故有利于装填的快速性;而螺闩的开闩方向与输弹方向相反,在炮闩未完全打开时炮弹不能移近炮尾,因而影响了射速的提高。

(3) 楔式炮闩易于实现自动化和半自动化。

(4) 楔式炮闩可在开闩时拨回击针,可缩短发射时间,有利于对活动目标射击。

2. 对火炮结构的影响方面:

(1) 螺闩比楔闩质量轻 30%~35%,相应的楔闩炮尾结构尺寸大,其上架横向尺寸也较大。

(2) 楔闩闩体打开后所占空间小,这对战斗室窄小的坦克炮和封闭式自行炮是可取的。

(3) 楔闩与炮尾闩室系平面接触,运动时不易产生卡滞现象,故障较少;螺闩与闩室为螺纹连接,螺纹及锁扉耳容易磨损,故障相对较多。

(4) 楔闩制造工艺、维修较螺闩简单方便。

总的来看,对中、小口径的加农炮、坦克炮、高射炮等速射火炮,应用楔闩较为适宜;对大口径威力较大的火炮,尤其是药包装填的火炮,采用螺式闭气炮闩,其技术上把握性更大;但是,在小口径自动炮上,为提高发射速度,往往又采用螺式炮闩,因为它的输弹与关闩动作可同时进行,开闩与抽筒也可同时进行,缩短了射击循环时间。

四、炮尾

（一）炮尾的作用

炮尾(breech)用来安装炮闩,连接身管,并和反后坐装置相连。发射时,炮尾承受并传递炮闩所受的膛底压力,使炮身产生后坐运动。炮闩在完成关闩、闭锁、击发、开闩和抽筒等各种动作时,有些零件需要装在炮尾上,因此,在炮尾上加工有不同的平面、孔、凸起部和凹槽等。采用分装式炮弹的火炮炮尾内还设有挡弹与托弹装置,有的炮尾上还配有一定质量的金属块以调整火炮起落部分的质心。

（二）炮尾结构类型

炮尾的结构形式取决于闩体的结构形式。目前,常用的闩体有两种,楔式炮闩与螺式炮闩。与此相对应的炮尾是楔式炮尾与螺式炮尾。

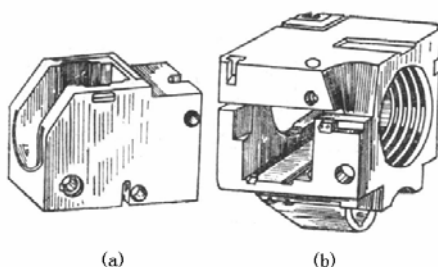


图 2-2-58 楔式炮尾

(a) 立楔式炮尾; (b) 横楔式炮尾。

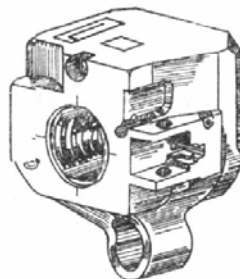


图 2-2-59 螺式炮尾

1. 楔式炮尾(sliding wedge breech)。它与楔式炮闩相配合共同闭锁炮膛,多用于中、小口径半自动火炮。根据闩体在闩室内运动方向不同又分为立楔式和横楔式。楔式炮尾的结

构如图 2-2-58 所示。

(1) 立楔式炮尾。闩室是垂直孔, 开关闩时, 闩体在闩室内作上下运动。如 85 加农炮、37 高炮等。

(2) 横楔式炮尾。闩室是水平横孔, 开关闩时, 闩体在闩室内作左右横向运动。如 130 加农炮、152 加农炮等。

一般楔式炮尾的外形为尺寸较大的长方体, 比较笨重。

2. 螺式炮尾 (screw breech)。这种炮尾与螺式炮闩相配合, 完成闭锁炮膛的作用, 通常多用在药包装填的大口径火炮上。中口径药筒分装式火炮 (例如 54-122mm 榴弹炮) 也常采用螺式炮尾。螺式炮尾的结构如图 2-2-59 所示。

(三) 炮尾与身管的连接

1. 固定式。炮尾与身管做成一体, 这种结构使炮身尾部横向尺寸显著减小, 结构紧凑。其主要缺点是炮尾不能更换, 身管制造困难; 身管损坏后, 炮尾也不能使用。见图 2-2-60。

2. 螺纹连接式。近代火炮多将炮尾做成单独零件, 利用螺纹与身管连接。根据螺纹的不同, 又可分为以下两种:

(1) 全螺纹连接式。这种结构又可分为两种, 一种是将螺纹直接刻制在身管上, 如 152mm 加榴炮, 见图 2-2-61(a); 一种是螺纹刻制在被筒上, 如 122mm 榴弹炮, 为了防止身管由被筒中前移, 身管后部做成一个凸肩, 见图 2-2-61(b), 同时身管被炮尾从后面顶住不致于向后脱出。在带活动衬管的炮身中, 为了防止衬管在外筒中转动, 常用键来固定。

这种连接方式的缺点是螺纹起点必须有严格的要求 (如采用定起点螺纹), 否则炮尾转到位, 其方向难以保证。这就给加工增加了困难。此外, 拆装炮尾时, 由于炮尾必须整个旋转, 可能与其它部件干涉, 因而需将炮身向后拉一段距离后再进行, 造成很大不便, 对大口径火炮尤为显著。另外, 螺纹在拆装时也易于损坏。其优点是炮尾的外形尺寸较小。

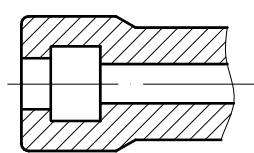


图 2-2-60 固定式

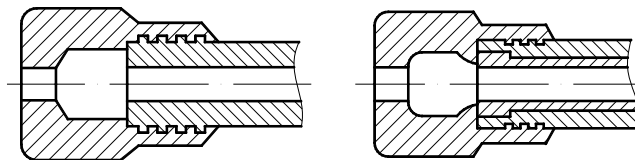


图 2-2-61 螺纹连接式

(a) 螺纹在身管上; (b) 螺纹在被筒上。

(2) 断隔螺纹连接。身管与炮尾分别加工相应的断隔螺纹。身管插入炮尾旋转一定角度即可结合, 最后用驻栓制转。其优点是简单且拆装迅速, 适于经常更换身管的火炮。高射速的中、小口径高射炮 (如 55 式 37mm 高炮) 多采用这种连接方式。但对大口径火炮则不大适宜, 因螺纹的接触面较小, 为保证强度, 势必要增加螺纹圈数 (即增加螺纹长度)。

3. 连接筒连接方式。见图 2-2-62。炮尾与身管结合、分解时, 两大件勿需转动, 采用一个带锯齿形外螺纹的短连接筒将两者连接。身管后端面紧抵炮尾内的定位面, 连接筒旋入炮尾内, 其一端顶在身管环形凸起部上, 以限制身管轴向

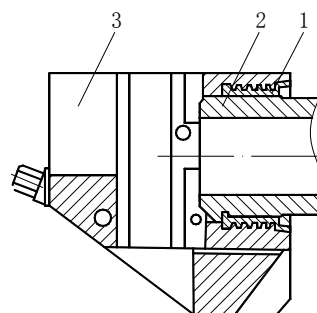


图 2-2-62 身管连接筒

1-连接筒; 2-身管; 3-炮尾。

移动，另一端凸缘上有小齿，与固定在炮尾上的驻板配合，防止本身松动。身管与炮尾间用键防止相对转动。这种连接方式装配工艺性好，拆装方便，便于维修。但炮尾的外形尺寸较大。一般用在坦克炮，反坦克炮及加农炮等中口径炮身上。

第四节 其它装置

根据炮种的要求不同，身管上有时还需设置一些特殊装置，例如炮口装置、抽气装置和热护套等。另外，使射击时发热身管冷却，也是一个特殊问题，需要有相应的技术措施。

一、炮口装置 (muzzle device)

炮口装置又称膛口装置，是安装在炮口部利用后效期火药燃气能量对火炮产生一定作用的各种能量转换装置的总称。根据不同的用途，一般有制退器、消焰器、助退器、冲击波偏转器和初速测量器等。

(一) 炮口制退器 (muzzle brake)

炮口制退器是一种控制后效期火药气体流量、气流方向和气流速度的排气装置，其目的是减小后坐动能从而减小炮架受力、减轻炮架质量以提高火炮机动性。

早在弹性炮架发明之前，1842 年法国研制了第一个炮口制退器，这个简单的形式是在身管的炮口区域开一组斜孔，后经过试验，射击精度比原来提高一倍，后坐长减至正常情况的 25%，实现了用炮口制退器减小后坐能量的想法，后来由于弹性炮架的发明，而未被推广。20 世纪 30 年代以后，对火炮的威力与机动性要求日高，使炮口制退器在火炮上得到了广泛应用。

1. 炮口制退器的作用

炮口制退器的作用大小以其效率 η_T 表示，即火炮上装炮口制退器后所减少的后坐动能与无炮口制退器时最大自由后坐动能比值的百分数。一般用实测的自由后坐速度法求之。

$$\eta_T = \frac{E_0 - E_E}{E_0} \% = \frac{W_0^2 - W_E^2}{W_0^2} \% \quad (2-2-9)$$

式中 E_E 、 E_0 ——有、无炮口制退器时自由后坐动能；

W_E 、 W_0 ——后效期末，有、无炮口制退器时自由后坐速度。

η_T 的一般范围为 20%~70%，大口径火炮为 20%~40%，中、小口径火炮取值较大。一般来说，炮口制退器的作用主要有两条：

(1) 减小后坐动能。当后坐部分质量及后坐长度一定时，可以减小射击时对炮架的作用力，从而减小炮架纵向尺寸，减小火炮质量；或者在后坐阻力一定时，缩短后坐长度。炮口制退器的应用缓解了火炮的威力与机动性的矛盾。

(2) 设计中，还可采用不同的 η_T 的炮口制退器，将不同口径的炮身分别装在同一种炮架上，通常称此为“姊妹炮”。例如 54 式 122mm 榴弹炮与 56 式 152mm 榴弹炮是用的同一种炮架，59 式 130mm 加农炮与 59 式 152mm 加农炮，用的也是同一种炮架。这样简化了火炮设计与生产，方便维护使用，具有较大的经济意义，同时，也有利于加速炮兵装备的改造工作。采用姊妹炮的条件是：必须保证各炮在后效期末自由后坐动能相等。即

$$\frac{1}{2} Q_{01} W_{E1}^2 = \frac{1}{2} Q_{02} W_{E2}^2$$

由 (2-2-9) 式得： $W_E = \sqrt{1 - \eta_T} W_0$

$$Q_{01} (1 - \eta_{T1}) W_{01}^2 = Q_{02} (1 - \eta_{T2}) W_{02}^2$$

可见，只要两种口径火炮的后坐部分质量 Q_{01} 、 Q_{02} 及自由后坐速度 W_{01} 及 W_{02} 确定后，制造具有一定 η_T 值的炮口制退器，即可使炮架受有相同的后坐能量。

同时，炮口制退器的采用，也带来一些不利影响。

(1) 增加炮口冲击波强度、噪声，阵地烟尘也加大，危害炮手健康，影响射击瞄准，当噪声声压值超过 140 dB 时，必须给炮手配备护耳和护胸装置。

(2) 加重了炮身，特别是增加了起落部分的重量力矩，增加了平衡机的负担和随动系统设计的难度，也会增加身管弯曲，引起射击时的振动等不利现象。同时，带有炮口制退器的火炮对弹丸在后效期间的飞行也会产生不良的作用。所以，对坦克炮和自行火炮来说，很少采用炮口制退器。

2. 炮口制退器的分类

炮口制退器，按作用原理分，有两种主要类型。

(1) 冲击式炮口制退器。如图 2-2-63。

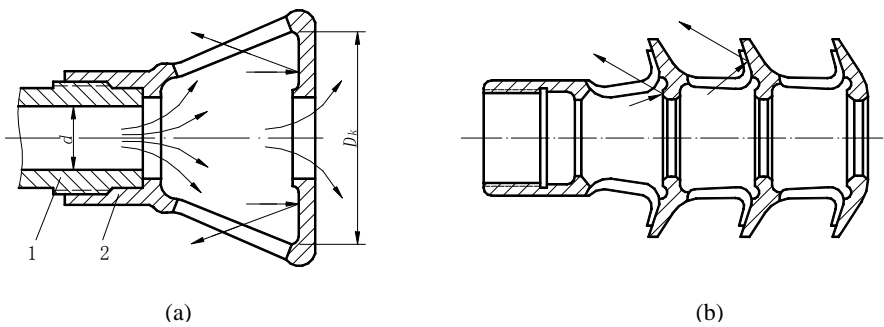


图 2-2-63 冲击式炮口制退器

(a) 单室；(b) 多室。

1-身管；2-炮口制退器。

弹丸出炮口后，身管内的高压火药燃气流入内径较大 ($D_K/d > 1.3$) 的制退室，突然膨胀，形成高速气流，其中大部分气流冲击炮口制退器的前壁（反射面）而赋予炮身向前的冲量，形成制退力，然后经侧孔排出。小部分气流经中央弹孔喷出，为了进一步利用这部分气流的能量，而出现了双室或多室的炮口制退器。冲击式炮口制退器的效率一般较高。

(2) 反冲式炮口制退器。如图 2-2-64。

弹丸出炮口后，身管内的高压火药燃气流入内径较小 ($1 \leq D_K/d \leq 1.3$) 制退室，膨胀较小，压力仍很高，大部分燃气经侧向扩张喷孔突然膨胀，以高速向后喷出，形成反推力，使身管向前；少量燃气从中央弹孔流出。当制退室的内径与火炮口径相等时，则称为同口径炮口制退器。

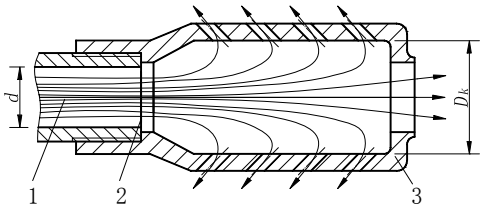


图 2-2-64 反冲式炮口制退器

1-身管；2-制退器；2-喷孔。

一般的炮口制退器都同时具有程度不同的冲击作用和气流的反冲作用。只是按那种作用为主要方面进行分类的。

按气流在制退器室内的膨胀度来分类，可分为：

(1) 开腔式炮口制退器

其工作特点是：侧孔面积很大，以致在侧孔处气体平均压力从制退器开始工作起就接近大气压力，不能再膨胀，只经侧孔排出。其结构特点是：侧孔面积特别大，炮口制退器室几

乎没有侧壁，如图 2-2-65(a)所示，因此，开腔式炮口制退器均属冲击式。

(2) 半开腔式炮口制退器

如果气流进入侧孔前的压力仍大于大气压，经侧孔时将进一步膨胀（二次膨胀），此种属于半开腔式，半开腔式炮口制退器同时能起冲击和反冲作用，它可以是冲击式也可以是反冲式。如图 2-2-65(b)。

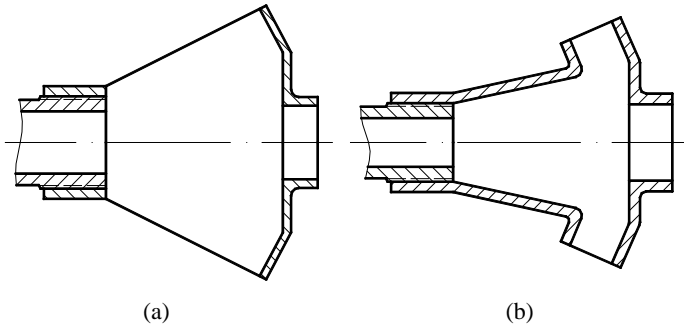


图 2-2-65 开腔式和半开腔式炮口制退器

(a) 开腔式；(b) 半开腔式。

按照制退室的数量可分为单室、双室及多室制退器。如图 2-2-63。

按侧孔形状有大侧孔、条形侧孔与圆侧孔的炮口制退器。如图 2-2-66。

有的炮口制退器内还制有膛线，目的在于提高射击精度，例如德国装在轮式自行炮上的 RH105mm 火炮的炮口制退器。

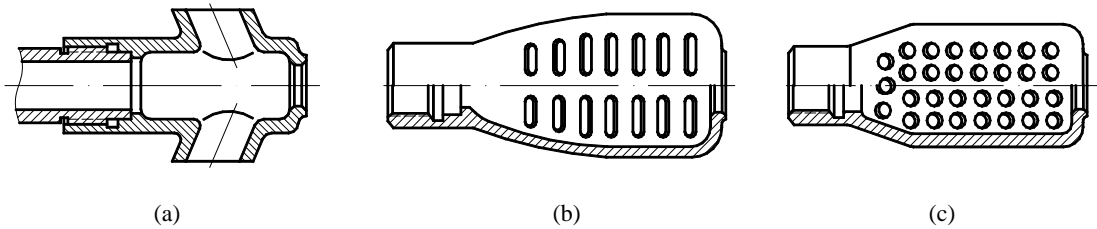


图 2-2-66 各种侧孔形状的炮口制退器

(a) 大侧孔；(b) 条形孔；(c) 圆侧孔。

炮口制退器以左旋螺纹拧在身管上，主要因为：射击时，身管受到弹丸给予的反作用力矩的作用，猛烈地向左扭转，而炮口制退器因本身的惯性不转，因此身管与炮口制退器有相对旋转的可能，如采用左旋螺纹连接时，这种旋转作用只能使炮口制退器在身管上旋紧。

(二) 炮口助退器 (muzzle recoil intensifier)

炮口助退器是利用后效期火药燃气来增加身管后坐能量而使自动机高速工作的装置。多用于小口径高射速自动武器。当炮身的后坐能量不足以达到规定的循环时间的需要时，采用炮口助退器可以增大后坐速度，提高射频。图 2-2-67 是一个作用式炮口助退器示意图，它由一个半封闭圆筒和一个装在圆筒内与之配合且与炮口固联的活塞组成。圆筒固定于自动炮的架体上，活塞可与炮身一起在圆筒内沿轴向滑动。

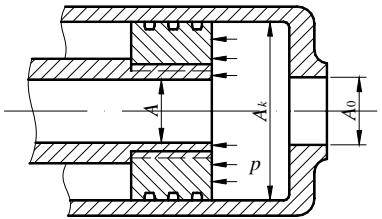


图 2-2-67 炮口助退器

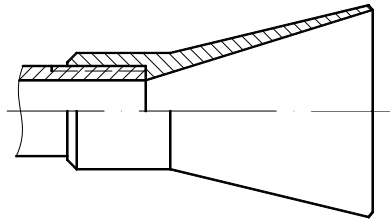


图 2-2-68 炮口消焰器

发射时，弹丸在出身管离开炮口环之前，流出膛口的火药燃气进入助退器腔内，突然膨

胀，速度及压力都较高。部分燃气对炮管前端面作用，使身管加速后坐，部分燃气从炮口环的中央弹孔流出。

助退力的大小与炮口环中央弹孔的直径、助退器内腔的容积和身管前端面的横剖面积有关。中央弹孔的直径愈小、内腔容积愈小、身管前端面的横剖面积愈大，则助退力愈大。

（三）炮口消焰器（flash hider）

炮口消焰器又称防火帽或灭火罩。用以减弱或消除射击时的炮口火焰，防止暴露射击位置和避免影响炮手的瞄准与观察。

炮口焰的产生主要由于射击时发射药在膛内燃烧不完全，弹丸出炮口后，从炮口喷出的火药燃气含有一定的可燃气体（CO 和 H_2 等），它们与膛外空气混合，在高温下燃烧。为抑制这种现象，一般采取两方面措施：一是在发射药中增加适量的氧化剂，使发射药在膛内燃烧完全，或者在发射药中加入一些惰性物质以提高混合气体的燃点温度，这样虽对抑制炮口焰有一定效果，但使炮口烟粒增加，弹道性能也变坏；另一种措施就是在炮口设置机械装置——消焰器。其消焰原理是：用机械的方法阻止或破坏与炮口焰有关的激波边界，控制空气与火药燃气混合物密集区的温度，使其低于着火点。图 2-2-68 是一种锥形消焰器，当火药燃气从炮口沿着扩张的喷管流动时，其流速增加，压力和温度下降。试验表明，扩张喷管由直径为 d 的截面扩大到 $2d$ 截面时，气流的绝对温度要降低 40% 以上，从而减小了燃烧的可能性。

消焰器多用于小口径高射炮上。如海 25mm 高炮、37mm 高炮等。

（四）冲击波偏转器（blast deflector）

航炮上称其为炮口补偿器，或称为稳定器。它是用以偏转炮口冲击波的方向，减小冲击波对射手或航炮载机运动影响的炮口装置。一般也是通过控制炮口火药燃气的流向，达到偏转冲击波的目的。其结构形式较多，有不同形状的排气孔口、气体通道与导管。图 2-2-69 是航炮上的一种炮口补偿器。火药燃气在其腔内产生一垂直于炮管的补偿力，此力对飞机重心的力矩与航炮射击时的后坐力对飞机重心的力矩方向相反，可以抵消或减小航炮后坐力对飞机飞行姿态的扰动，从而提高航炮的射击精度。

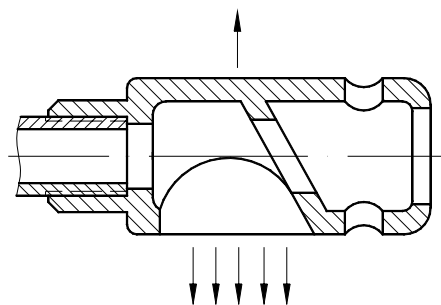


图 2-2-69 炮口补偿器

各种炮口装置有其特性，但是其功能往往是综合的，例如消焰器有助退的作用，而制退器也同时具有消焰、和使冲击波偏转的功能。

（五）初速测量器

是为测定每发弹的初速值，固定在身管膛口处的一种电子测速装置。在配有火控系统的某些现代火炮上，为了能及时修正初速值的波动对射击精度的影响，以提高命中概率。在炮口的前端装有一个支架，支承着两个相距一定距离并与炮膛轴线同心的耦合线圈，线圈通有电流并与电子表和中频计数器连接，当弹丸通过两线圈时，带电线圈依次产生脉冲，经放大和计算，即可得到实际的初速值，传输给火控计算机进行修正。

二、炮膛抽气装置（bore evacuator）

它是将射击后膛膛内残留的火药燃气从炮口排除的装置。在弹丸出膛后，膛内残存的火药燃气或燃烧不完全的火药分解物，有相当一部分随着开门而向后冲出膛外，使炮手周围或封闭式的战斗室中出现 CO 等有毒气体，有时遇氧后还会继续燃烧，发射后的药筒也带有一定的燃气。为此，在坦克炮、大、中口径自行榴加榴炮或舰炮上多采用炮膛抽气装置，或与电

风扇配合，用以降低战斗室内有害气体的浓度。常见的抽气装置有 3 种类型：

1. 引射式炮膛抽气装置 (ejecting action bore evacuator)

如图 2-2-70 所示，在身管上距炮口端面一定距离处固定有贮气筒，贮气筒腔通过身管上若干个小喷气孔与炮膛相通，喷气孔与炮膛轴线成一定倾角（一般为 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ），并均匀分布在身管的同一个剖面上。发射时，弹丸经过喷孔剖面后，部分火药燃气进入贮气筒内，并具有一定的压力，当筒内的压力与膛内压力相等时，燃气不再进入贮气筒内。弹丸出炮口后，膛内压力很快下降，贮气筒内火药燃气经过喷孔高速冲入炮膛，膛内在此高速气流的后部形成一个压力很低的稀薄气体的锥体，残留的火药燃气及残渣便被吸引向前方，喷射到炮口外面。这种抽气装置结构简单，作用可靠，多用在 大、中口径坦克炮和自行炮上。

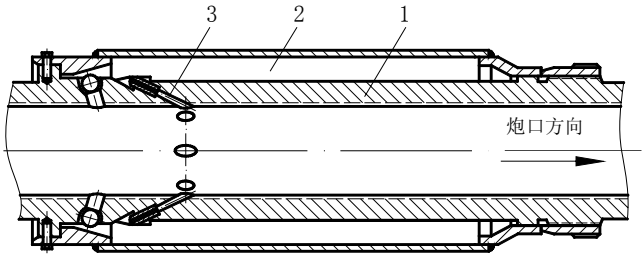


图 2-2-70 引射式炮膛抽气装置

1-身管；2-贮气筒；3-喷气孔。

2. 高压空气式吹气装置 (blowing device with compressed air)

在射击后利用压缩空气直接从炮尾端向炮膛吹气，迫使膛内的残存物从炮口排出。此种吹气装置还能同时起到部分冷却身管的作用。由于所需的压缩空气瓶或空气压缩机占地空间较大，一般多用在 大、中口径的舰炮上。结构原理见图 2-2-71。

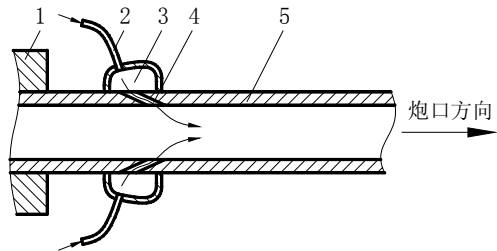


图 2-2-71 高压空气式吹气装置

1-炮尾；2-压缩空气管道；3-贮气筒；4-喷孔；5-身管。

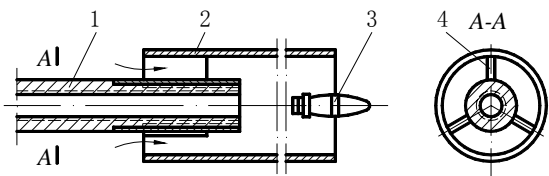


图 2-2-72 炮口抽气装置

1-身管；2-抽气装置外筒；3-弹丸；4-支筋。

3. 炮口抽气装置 (muzzle gas evacuator)

图 2-2-72 为炮口抽气结构原理示意图。这种装置在抽出膛内残留物的同时，还用来清除炮口附近的烟尘。但抽气效果不如引射式抽气装置，多用在 小口径自动炮上。

三、身管热护套 (thermal jackets)

为了减小身管热弯曲变形而装在身管外表面的绝热或导热材料制作的包覆物。火炮置于露天，受风吹、雨淋和日晒等外界气候的影响，引起身管周向温度分布不均匀，而产生热弯曲变形。对于长身管则更为严重。这种变形会导致炮口角的变化，直接影响坦克炮首发命中。

身管热护套主要用于坦克炮和自行反坦克炮。按作用机理分为 3 类：

1. 隔热型热护套——用石棉、玻璃钢等绝热材料制成，可减轻外界对身管局部加热或冷却作用，从而减小身管断面温差和热弯曲变形量。

2. 导热型热护套——多用铝板等导热性好的材料制成。利用材料的导热作用，先使外界对热护套局部的加热或冷却作用沿周向均匀分布，再通过热护套与身管的热交换，使身管受热均匀，断面温差和热弯曲变形量减小。

3. 复合型热护套——将导热性好的材料和绝热材料相间制成的多层结构装到身管上。这类热护套具有导热型的匀热效应和隔热型的隔热效应双重作用，防护效果较好。在多种复合型热护套中，双层铝板空气夹层型热护套是一种质量轻、防护效果好、较为理想的热护套。如图 2-2-73 所示。

美国 105mm 坦克炮在夏天阳光下试验：不带热护套的身管上下温差达 3.6°C ，炮口角 $3.78'$ ，带热护套的身管上下温差仅 0.2°C ，炮口角 $0.17'$ ，平均弹着点散布范围减少到不带热护套身管的 39%，大大提高了首发命中率。因此，从 70 年代以后，国内外新型坦克炮上都装有热护套。

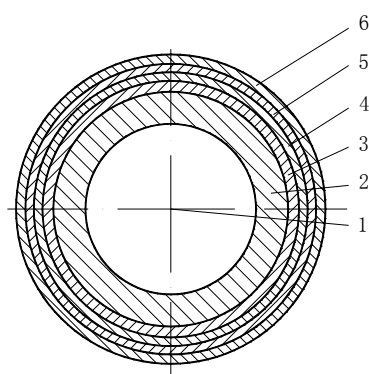


图 2-2-73 复合型热护套剖面图

1-炮膛；2-身管壁；3、5-玻璃纤维；4、6-铝。

四、身管冷却 (tube cooling)

连续射击时，药室表面和膛线起始部的表面温度最高，使金属机械性能下降，影响身管寿命；身管发热严重，将使退壳条件恶化；也会引起身管刚度变化，影响弹丸正常运动；同时也增大了膛壁与弹丸导转部的间隙，影响弹丸的飞行姿态，增大射弹散布；膛内温度持续上升甚至会引起装药自燃或膛炸事故。因此，改善身管散热条件，降低身管温度，对各种火炮特别是对持续射击的自动火炮非常必要。

一门中口径火炮，当身管温度达到 $300^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ 时，单靠空气自然冷却至 100°C 需 $30 \sim 60\text{min}$ ，而要冷却到周围空气温度，则需 $2 \sim 3\text{h}$ 。因此，应该在身管上采用非自然冷却措施。目前常采用连续冷却和间断冷却两种方式。而根据冷却剂的不同，又可分为四类。

(一) 液体冷却

1. 外部冷却。水泵不断将冷水送入套在身管外的冷却筒中，达到连续降温的效果。

2. 内部冷却。属于间断冷却。发射后将冷却液直接喷入膛内降温，散热速度快。但使内膛温度突变，易使膛壁产生网状裂纹，影响身管寿命；同时身管为下部单面散热，冷却不均匀，易使身管产生弯曲。

3. 层间冷却。在身管外表制有纵向沟槽，套以被筒，或在身管外面套有内腔带纵向沟槽的被筒，向层间沟槽压注液体，液流接近炮膛，冷却效率较高。

4. 综合冷却。采用内部冷却与外部冷却结合，例如我国双管 30mm 舰炮的冷却方式。发射后，及时用淡水对身管内膛后部和中部进行间断喷射冷却，另用海水或循环水对前身管外表面进行连续冷却。冷却效果较好。

(二) 气冷

发射后利用压缩空气经过喷管吹入炮膛，可降低身管温度，并排除残留于膛内的火药燃气等。这是一种间断冷却的方法，常用在舰炮上。

(三) 化学冷却

发射后将化学液剂（如液态 CO_2 ）喷入内膛，身管温度可迅速冷却到 0°C 下。这种冷却法使内膛温度突降，影响材料性能，对身管寿命不利。现很少采用。

(四) 薄膜冷却

在药筒内表面和发射装药之间放置一种由聚合物制成的缓蚀添加剂。在点火期间聚合物降解产生冷却气体薄膜，沿身管内壁流动，把火药燃气与炮尾附近的管壁隔开，从而降温并减小身管烧蚀。

第三章 反后坐装置

第一节 概 述

一、刚性炮架与弹性炮架

火炮发射时，膛内火药燃气压力的轴向合力（称炮膛合力或后坐力）使炮身及其固连部分产生与弹丸行进方向相反的运动。这个动作称为后坐（recoil）。通常将炮身及与之一同向后运动的构件统称为后坐部分（recoiling parts）。后坐是射击中能量守恒定律的体现。后坐能量是随火炮威力的提高而增加的。因此，在提高火炮威力的同时，妥善处理后坐能量，研究后坐运动规律，是火炮设计中的一个重要内容。

十九世纪七十年代以前的火炮，没有反后坐装置（recoil system）（图 2-3-1、图 2-3-2）。那时的火炮，炮身通过其上的耳轴与炮架直接刚性连接，炮身只能绕耳轴作俯仰转动，与炮架间无相对移动。发射时，全部后坐力通过耳轴直接作用到炮架上，这种火炮的炮架称为刚性炮架（rigid carriage）。

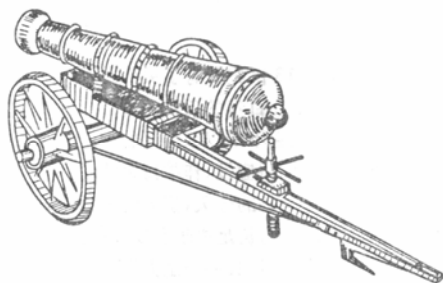


图 2-3-1 1689 年武成永固大将军炮

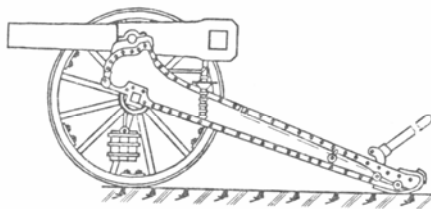


图 2-3-2 1877 年俄轮式炮

图 2-3-3 是刚性炮架火炮的受力情况， $P_t \cos \varphi$ 力使炮架向后移动， $P_t h$ 力矩使炮架绕驻锄支点 B 转动，车轮离地而跳动，造成火炮射击时的不稳定性。因此，在火炮设计中，为达到一定的射击精度和发射速度，应该满足火炮射击时的静止条件（static condition of gun）和稳定条件（stability condition of gun）。通常称此为射击稳定性（firing stability）条件。

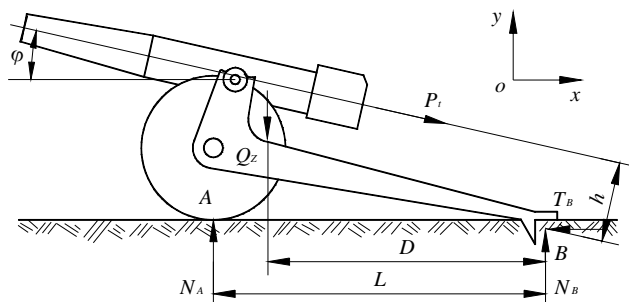


图 2-3-3 发射时刚性炮架火炮受力图

假定火炮处于平衡状态，可列出下面方程：

$$\begin{aligned} \sum x = 0 \quad & P_t \cos \varphi - T_B = 0 \\ \sum y = 0 \quad & N_A + N_B - P_t \sin \varphi - Q_z = 0 \\ \sum M_B = 0 \quad & P_t \cdot h + N_A \cdot L - Q_z \cdot D = 0 \end{aligned}$$

式中 φ ——射角；

N_A ——地面对车轮的垂直反力；
 N_B ——土壤对驻锄的垂直反力；
 T_B ——土壤对驻锄的水平反力；
 D 、 L ——全炮质心、车轮着地点至 B 点的距离；
 Q_Z ——火炮全重。

由上列方程可知，火炮保持静止性（在水平面上不移动）的条件是：

$$T_B \geq P_t \cdot \cos \varphi$$

当 $\varphi = 0^\circ$ 为极限情况， $T_B \geq P_t$ 使火炮保持静止性。

火炮保持稳定性（车轮不离地）的条件是：

$$N_A = \frac{Q_Z \cdot D - P_t \cdot h}{L} \geq 0 \quad (2-3-1)$$

极限情况是 $N_A = 0$ 时， $Q_Z \cdot D > P_t \cdot h$ 使火炮保持稳定性。

随着火炮威力的提高， P_t 值可达几十吨、几百吨，若仍采用刚性炮架，要想满足上述静止条件和稳定条件，必须将火炮重量 Q_Z 大大加重，炮架长度大大加长。以 85mm 加农炮为例，它的基本参数为：

$$P_t = 148400 \text{kg}$$

$$Q_Z = 1725 \text{kg}$$

$$h = 0.935 \text{m (火线高)}$$

$$\text{根据稳定性条件； } D \geq \frac{P_t \cdot h}{Q_Z} = \frac{148400 \times 0.935}{1725} = 80 \text{m}$$

即要使火炮不跳动，需要有长达 80m 的大架，显然这是不能允许的。如果允许大架长为 4m，又要保持射击时的稳定性，则火炮重量就需要 34.6t，这么笨重的火炮显然也是不堪实用的。

为了使火炮射击时保持静止性，不向后移动，要用多大的驻锄面积呢？

设土壤所提供的抗力为 4.5kg/cm^2 ，则驻锄的总面积是：

$$S = P_t / F = 148400 / 45000 = 3.3 \text{m}^2$$

$$\text{每一个驻锄的面积是 } S_1 = 1.65 \text{m}^2 = 1.28 \times 1.28 \text{m}^2$$

显然，这样大的驻锄使用起来很不方便，实际上以前的刚性炮架火炮并不是靠驻锄来制止后移的，而是让火炮发射时向后移动一段不小的距离，发射后，再将火炮推回原位重新瞄准射击，这样大大限制了发射速度的提高；同时，因为全炮直接承受膛底合力的作用，火炮各部件都要有足够的强度，势必引起尺寸和重量的加大。

因此，随着火炮威力的提高，对刚性炮架而言，威力与速射性、机动性的矛盾显得非常突出。解决这一矛盾的办法就是在炮身与炮架之间加入特制的“缓冲装置”（即反后坐装置）。通过它将炮身与炮架弹性地连接起来。如图 2-3-4 所示。射击时，炮身在膛底合力 P_t 的作用下可以相对于炮架作后坐运动，而反后坐装置提供后坐阻力 R ，在后坐行程中阻力做功消耗大部分后坐动能（小部分被贮存用于使炮身复进到原位）。后坐停止后立即复进，在后坐复进行程中，炮架基本不动，这种带有反后坐装置的炮架称作弹性炮架（elastic carriage）。

由于弹性炮架的火炮，在发射时炮身可以相对于炮架后坐，而炮架受力 R 相对于炮身受力 P_t 大大减小。对一般火炮而言，炮架受力 R 是炮身受力 P_t 的 $1/15 \sim 1/30$ ，见表 2-3-1。采用弹性炮架就比较容易保证火炮射击时的稳定性和静止性，不必将火炮设计得那样笨重大，这就在很大程度上解决了威力与机动性的矛盾，从而大大提高了火炮的机动性和发射速度，同时可以利用炮身的后坐、复进动能作为射击半自动化或自动化的能源，所以，弹性炮

架的出现实为火炮发展史上一次巨大的变革。

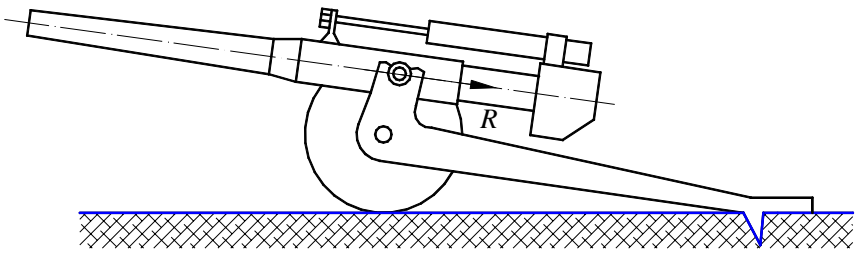


图 2-3-4 弹性炮架

表 2-3-1 弹性炮架火炮射击时的受力

火 炮	最大膛压 P_m (MP _a)	最大膛压合力 P_m (kN)	炮架最大受力 R_m (kN)	比 值 R_m / P_m
65-37G	280	~308	~20	1/15
59-57G	310	~825	~51	1/16
56-85J	255	~1485	~75	1/20
59-130J	315	~4325	~230	1/19

对于弹性炮架的火炮，从火炮稳定条件的公式（2-3-1）可以看出，减小后坐阻力 R 和尺寸 h ，可以降低翻倒力矩，而 h 值与火线高（height to axis of bore） H （射角为 0° 时，火炮在战斗状态下炮膛轴线至地面的距离）有关， R 一定时， H 小，即火炮低矮时其射击稳定性增加；增加全炮质量和尺寸 D 可以提高稳定力矩，但是这样将影响全炮的机动性，同时 H 值还受到炮架结构等的限制，因此，设计应全面考虑。

二、后坐阻力与运动规律

弹性炮架是由于反后坐装置的缓冲作用而使架体受力大为减小。这种缓冲作用并未改变火药燃气作用于火炮的全冲量 $\int_0^{t_p} P_t dt$ ，只是将数值很大、瞬时变化的膛底合力 P_t 转换成数值较小、变化平缓、作用时间很长的后坐阻力（total resistance to recoil） R ，即

$$\int_0^{t_p} P_t dt = \int_0^{t_h} R dt \quad (2-3-2)$$

式中 t_p ——火药燃气作用时间；

t_h ——火炮后坐总时间。

由于 $t_h \gg t_p$ ，因此，就可以使 $R \ll P_t$

反后坐装置所提供的后坐阻力 R 主要是制退机产生的液压阻力 ϕ ，复进机力 P_f 、各种摩擦力 F 和后坐部分重力 Q_0 的分力所构成，其表达式为：

$$R = \phi + P_f + (F - Q_0 \sin \varphi)$$

R 的变化规律及其数值究竟取多大，应在设计反后坐装置结构以前，根据火炮总体技术要求进行选定，一般 $R_{\max} \approx (1/30 \sim 1/15)P_{t\max}$ 。

通常要求后坐阻力 R 变化应平缓， R 值不能太大，如太大，对于牵引火炮，其翻倒力矩会增加，射击时火炮不稳定。所以，在一定射角下， R 值的变化规律有一个界限，称为“后坐稳定界”（stability limit of recoil）； R 值也不能太小，如太小，又将使后坐长度增加，或不能有效地消耗后坐能量。一般将所选取的理想 R 值随时间 t 或随后坐行程 X 的变化规律的图形，称为后坐制动图（brake diagram of recoil motion）。如图 2-3-5 所示。后坐制动图是反

后坐装置结构设计的一种依据。

取火炮后坐部分为自由体，其后坐部分运动方程为：

$$\frac{Q_0}{g} \frac{dV}{dt} = P_t - R$$

在火炮的内弹道性能确定后，其膛底合力 P_t 的大小及变化规律就定了；当后坐制动

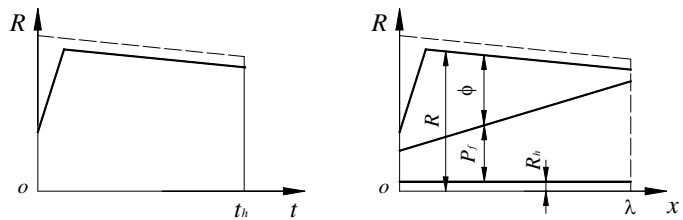


图 2-3-5 后坐制动图

图形选定后，后坐阻力 R 的大小及变化规律也就定了，因此，后坐速度 V 随时间 t 或随后行程 X 的变化规律便随之而定的，图 2-3-6 为 P_t 、 R 的变化规律及由其决定的后坐速度的变化规律。

后坐初期， $P_t \geq R$ ，后坐为加速运动；弹丸出炮口后，由于气体从膛内排出， P_t 迅速下降，到某瞬间 P_t 和 R 相等，此时后坐速度达最大值 V_{\max} 。以后由于 $P_t \leq R$ ，后坐转入减速运动；到 P_t 降为 0 后，后坐部分靠惯性克服后坐阻力运动直到后坐停止。所以，根据 P_t 和 R 的作用，可把制退后坐运动划分为 3 个时期：

1. 后坐第一时期：即弹丸膛内运动时期（ $t=0 \sim t_g$ ）， $P_t \geq R$ ，后坐为加速运动，约为千分之几秒；

2. 后坐第二时期：即火药气体后效期（ $t_g \sim t_k$ ）， P_t 逐渐减小为 0，后坐由加速转为减速运动，约为百分之几秒；

3. 后坐第三时期：即惯性运动时期（ $t_k \sim t_h$ ）， $P_t = 0$ ，靠惯性克服后坐阻力 R ，后坐为减速运动，直至 $V = 0$ ，后坐结束，约为十分之几秒。

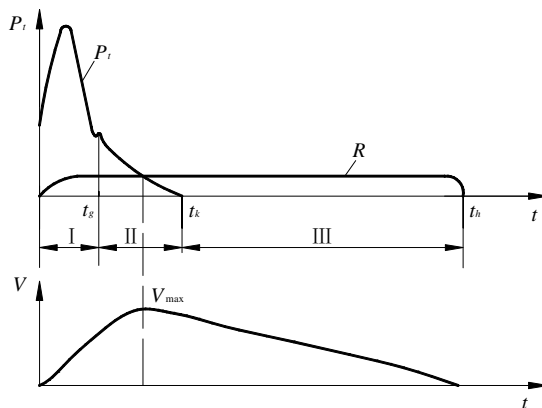


图 2-3-6 后坐运动规律示意图

I—膛内期；II—后效期；III—惯性期。

三、反后坐装置的作用、组成与分类

（一）反后坐装置的作用及所对应的机构是：

1. 消耗后坐部分的后坐能量，将后坐运动限制在一定行程上。这一任务主要由后坐制动器完成。

2. 后坐结束时应立即使后坐部分自动回复到射前位置，并在任何射角下保持这一位置，以待继续射击，这个回复过程称为复进（counter recoil），此任务主要由复进机（recuperator）完成。

3. 控制后坐部分的复进运动，使复进平稳、无冲击。此任务主要由复进制动器（return throttling device）或复进缓冲器完成。

所以，反后坐装置是后坐制动器、复进机和复进缓冲器三者的总称。三者间有 3 种组合形式：

1. 后坐制动器与复进制动器组合成一个部件，称为制退机（recoil brake）。复进机为单独部件。例如 56 式 85mm 加农炮。

2. 后坐制动器与复进机组合成一个部件，称为制退复进机。复进制动器为单独部件。

例如 59 式 100mm 高射炮。

3. 后坐制动器、复进机与复进制动器组合成一个部件。例如：美国的一些坦克炮。

(二) 反后坐装置的一般分类



第二节 复进机

一、复进机的工作原理

复进机的作用是：

- (1) 发射时，贮存部分后坐能量，后坐终了时使炮身复进到射前位置；
- (2) 平时保持炮身于待发位置，在射角大于零时，使炮身不致下滑；
- (3) 在有些火炮上还需为自动机或半自动机提供工作能量。

复进机的工作原理很简单，炮身后坐时压缩弹性介质而储能，在复进时弹性介质释放能量，推动炮身复进到位。

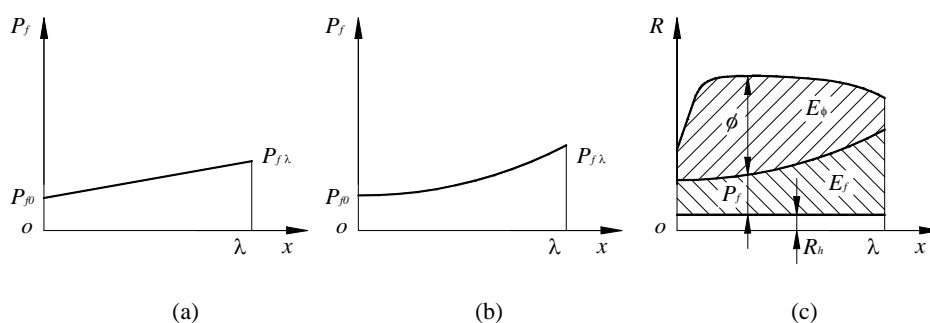


图 2-3-7 复进机工作曲线和后坐阻力曲线

(a) 弹簧式；(b) 气压式；(c) 后坐阻力曲线。

根据储能介质不同，有弹簧式与气压式两类复进机。弹性介质向后坐部分提供的复进动力称为复进机力（force of recuperator），以 P_f 表示。 P_f 与后坐行程 x 之间的变化规律称为复进机工作曲线，弹簧式复进机的工作曲线为直线，图 2-3-7(a)；气压式为指数曲线，图 2-3-7(b)。发射前，复进机弹性介质的预压力称为复进机初力 P_{f0} ，后坐终了时，复进机抗力

称为复进机末力 $P_{f\lambda}$ 。为使后坐部分在整个射角内保持待发位置而不下滑，应

$$P_{f0} \geq Q_0 \sin \varphi_{\max} + F_f$$

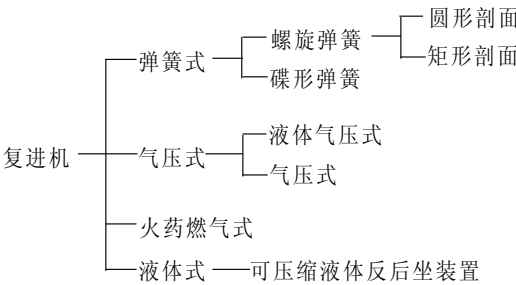
式中 Q_0 ——后坐部分重力； φ_{\max} ——最大射角；

F_f ——总摩擦力（含炮身与摇架间摩擦力、反后坐装置的摩擦力）。

复进机力 P_f 是后坐阻力 R 的一个组成部分。复进机在后坐时吸收的后坐能量，在图 2-3-7(c)中以阴影部分 E_f 表示。

二、复进机的典型结构

复进机实际上是一个弹性储能装置。根据其储能介质不同，一般有如下分类：



其中，以弹簧式和液体气压式应用最多。前者多见于中小口径的自动炮，后者常用于各种口径的地面火炮。

（一）弹簧式复进机（spring recuperator）

中小口径自动高射炮多采用弹簧式复进机。如 65-37G 和 59-57G。图 2-3-8 为 59-57G 弹簧式复进机结构图。复进簧套在身管的外面，其前端顶在与身管连接的螺环上，后端顶在摇架颈筒和环形肩部上。螺环外径镶有铜套，可在摇架颈筒内滑动。

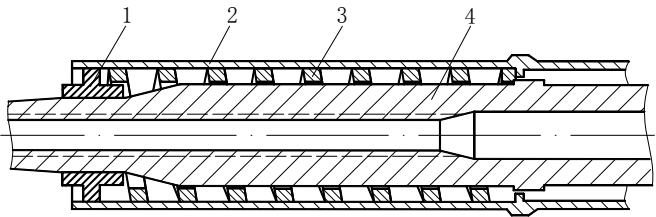


图 2-3-8 59-57 G 弹簧式复进机结构图

1-螺环；2-摇架；3-复进簧；4-身管。

炮身后坐时，压缩弹簧，后坐停止瞬间，在弹簧张力作用下，推炮身回复到射前位置。因弹簧有预压力，可以克服炮身在高射角时下滑分力的作用，射击前使炮身始终保持在待发位置上。

弹簧式复进机还可以方便地与制退机一起布置为同心式反后坐装置。它的液压式制退机和复进簧均套在身管外部，使火炮结构十分紧凑。但射击中身管的导热将影响制退液的粘性，进而影响火炮后坐复进运动和受力规律。因此，同心式反后坐装置的布置方式，应注意解决身管的散热和反后坐装置的隔热问题。

口径较小的自动炮多采用圆断面的圆柱螺旋弹簧，口径较大的自动炮，为了在有限的尺寸范围内获得较大的复进机力（弹簧抗力），通常采用矩形断面的圆柱螺旋弹簧。

弹簧式复进机的主要优点是结构简单紧凑、动作可靠，工作性能不受温度的影响，弹簧断裂仍可暂时使用，维护简单方便；缺点是重量大，口径越大重量矛盾就越突出，不便于通过复进机调整复进速度，长期使用易疲劳。

（二）气压式复进机

气压式复进机以气体作为储能介质。气压式复进机中的部分液体一般是用来密封气体

的。根据复进机中液体的用途又可分为液体气压式复进机和气压式复进机。

液体气压式复进机——若复进机中的部分液体不仅用来密封气体,而且用来传递复进活塞对气体的压力,称该气压式复进机为液体气压式复进机。

气压式复进机——若复进机中的部分液体仅仅用以密封气体,不作它用,复进活塞直接压缩气体,称该复进机为气压式复进机。下面分别加以介绍。

1. 液体气压式复进机 (hydropneumatic recuperator)

液体气压式复进机是目前地面火炮广泛应用的一种复进机。根据参加后坐运动的构件的不同,可分为杆后坐和筒后坐两类不同结构形式;根据气液结合形式,可分为气液接触式和浮动活塞式。

(1) 杆后坐的液体气压式复进机

由于复进杆后坐,为保证任何射角下液体都能可靠的密封气体,通常采用两个筒。一个筒储存高压氮气,称为储气筒;另一个筒内放置带复进杆的复进活塞,称为工作筒。储气筒内放入部分液体以密封气体,为保证小射角时气体不致逃逸,在工作筒的后端的下方或侧方开通孔与储气筒

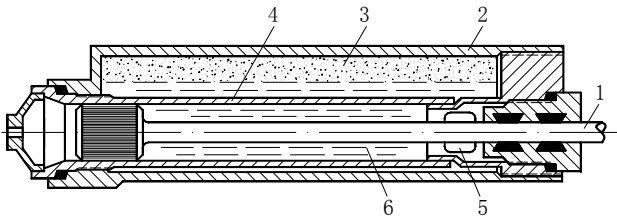


图 2-3-9 杆后坐液体气压式复进机

1-复进杆; 2-外筒; 3-高压气体; 4-内筒; 5-通孔; 6-液体。

相通,并使通孔在任何射角下都埋入液体中。图 2-3-9 为 54-122L 杆后坐的液体气压式复进机,为了结构紧凑,勤务方便,该炮采取如下措施:第一,将工作筒(内筒)置于储气筒(外筒)内;第二,将内外筒偏心布置以减小液体用量;第三,内筒可方便地从外筒中拆下,以利更换紧塞元件,为此内筒以螺纹与前盖连接,内筒后端以动配合与后盖凸缘配合,为防止气体进入内筒,进而从紧塞具逸出,小射角时,储气筒液面应略高于内筒外径的上缘;第四,为保证复进机的正常工作,必须使复进机内的气体初压和初容积在设计范围内,为此设置一开闭器作为检查、调整液量和气压的安全通道。

(2) 筒后坐的液体气压式复进机

筒后坐的液体气压式复进机,可以增加后坐部分的重量。为保证在任何射角下,液体都能有效地密封气体,一般都采用 3 个筒套装的结构。在内筒和外筒中间增加一后方开有通孔的中筒。同时,内筒或中筒相对外筒作偏心布置。

筒后坐的液体气压式复进机为什么采用 3 个筒结构?要有 3 个筒才能防止气体进入内筒而从紧塞器以及活塞的间隙处漏掉。假如只有两个筒,如图 2-3-10(a),由于在筒后坐的情况下,内筒的通孔必须位于前端,这样,当起落部分处于仰角时,外筒的液体盖不住内筒的通孔,外筒的气体便进入内筒而漏出。采用 3 个筒,见图 2-3-10(b),内筒前端的通孔就经常被中筒的液体所遮蔽,中筒的通孔在后

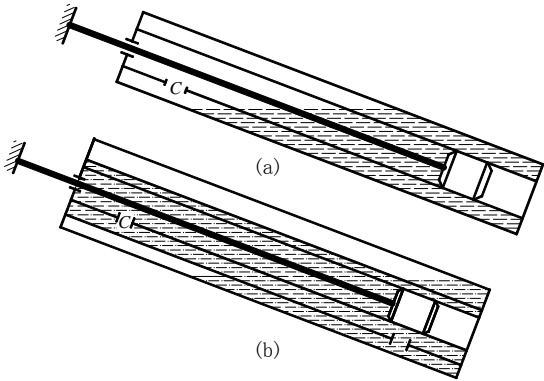


图 2-3-10 筒后坐液体气压式复进

(a) 两筒; (b) 三筒。

端，也可以经常被外筒的液体所遮蔽，所以气体不能进入内筒。

在坦克炮上，也有筒后坐而采用两个筒的液体气压式复进机。因为坦克炮的后坐长度小，内筒的通孔可以位于中段而不必在前端（复进筒的长度比后坐长度大得多）；而且坦克炮的最大仰角也比较小，所以能够保证内筒的通孔经常被外筒的液体所遮蔽。

中筒的偏心布置，可以在保证一定的气体初体积（平时状态的气体体积）的条件下少装液体，从而使复进机的尺寸、重量减小。但在最大俯角时，不会将中筒后下方的通孔暴露在液面之上。中筒偏于下方配置时所需的液量，显然比不偏心配置时要少；图 2-3-11 表示液量相同时，中筒不偏心配置（图中 a）与中筒偏心配置（图中 b）的情况。在图 a 的情况下，液体不能把中筒后下方的通孔遮蔽，欲使气体不经中筒进入内筒而漏出，必须增加液体量；液量增加后还要保持原来的气体初体积，必然要增大外筒的直径或长度，以致复进机的尺寸、重量增大。

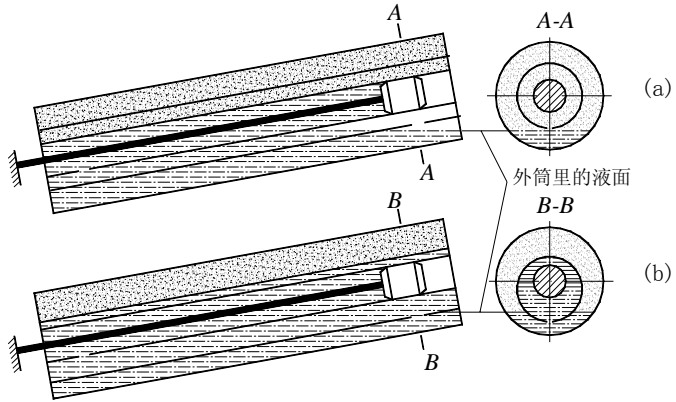


图 2-3-11 中筒偏心布置的作用
(a) 三个筒同心布置；(b) 中筒偏心布置。

图 2-3-12 为 56 式 85mm 加农炮的复进机剖视图。该机有两个特点：(1) 其内外筒同心，中筒偏心布置；(2) 内筒前端有活瓣，活瓣上有 12 个小孔，后坐时，液体压缩活瓣弹簧，活瓣压向前方让液体从大孔通过，经中筒、外筒而压缩气体；复进时，气体膨胀，推液体由外筒经中筒流向内筒。活瓣在弹簧作用下复位，遮住大孔，液体只能从 12 个小孔流向内筒，从而消耗一部分复进能量，起到辅助节制复进的作用；同时也具有调节作用，在复进速度随复进行程的增加而逐渐变小时，经活瓣上小孔所消耗的能量也随之减小，可以保证后坐部分能复进到位。

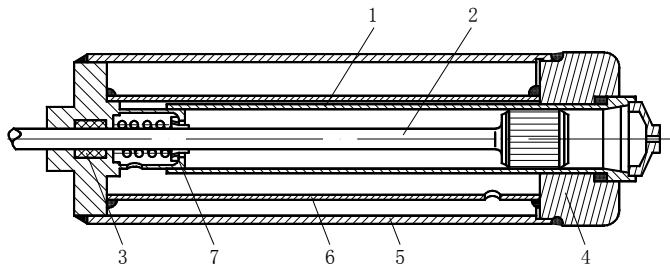


图 2-3-12 56-85 加农炮复进机
1-内筒；2-复进杆；3-活塞头紧塞具；
4-后盖；5-外筒；6-中筒；7-活瓣。

(3) 浮动活塞式
上面两种气压式复进机都是气液接触式，如气体和液体用浮动活塞隔离称为浮动活塞式，如图 2-3-13，其优点是可以减少液量，紧塞可靠，结构紧凑，能避免气液混合产生的不良影响。其缺点是：浮动活塞摩擦力较大，结构较为复杂，气体初压较

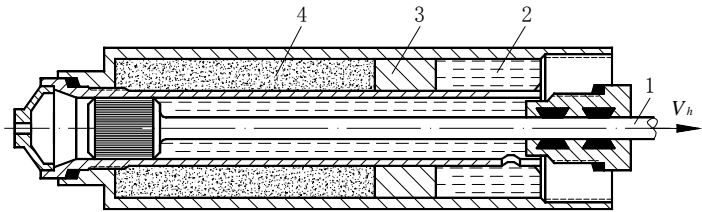


图 2-3-13 浮动活塞式复进机
1-复进杆；2-液体；3-浮动活塞；4-气体。

高。

总之，液体气压式复进机的主要优点是：结构紧凑，在中、大口径火炮上比弹簧式复进机重量轻，还可控制液流通道，调节复进速度，应用较广。它的缺点是气体的工作特性随温度变化较大，复进机中所用的液量较多，约占总容积的一半以上，必须经常检查液量和气压。为此，这种复进机在筒端都设有检查气压和补偿液体的开关装置，需配备专门的检查、注气和注液工具，使勤务复杂。

2. 气压式复进机 (pneumatic recuperator)

气压式复进机是以压缩气体为贮能介质，用小型增压器密闭气体的复进机。见图 2-3-14。为了保证可靠的紧塞，要求紧塞元件与运动表面之间的压力大于被紧塞气体的压力，因此在结构上往往要有液体增压器。增压器主要利用活塞两边面积不等而使液压增高，活塞面积大的一边与复进机内高压气体接触，面积小的一边与液体接触，液体压力始终高于气压，可起密闭作用。增压器中的液体远少于液体气压式复进机中的液体，因此，气压式复进机结构更为紧凑，质量小，但结构较复杂，一般多应用于有高压气源的大口径舰炮上，以利于及时对复进机补充气体。我国 130mm 舰炮是采用此种原理的复进机。

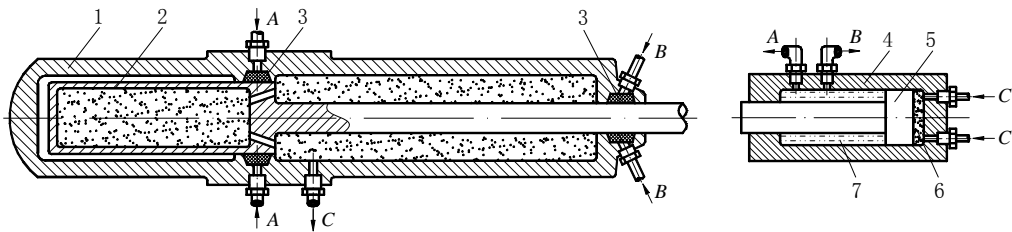


图 2-3-14 气压式复进机

1-复进机外筒；2-复进杆活塞；3-紧塞具；4-增压器；
5-增压器活塞；6-高压气体；7-液体。

(三) 火药燃气复进机 (propellant gas recuperator)

火药燃气复进机多用于射速较高的航炮上，其工作原理是将膛内的火药燃气引入复进机工作腔，后坐时以高压的火药燃气作为储能介质，存储后坐能量，使复进时后坐部分获得较高的复进速度，在复进末期将工作腔的排气孔打开，放出残余的火药燃气。

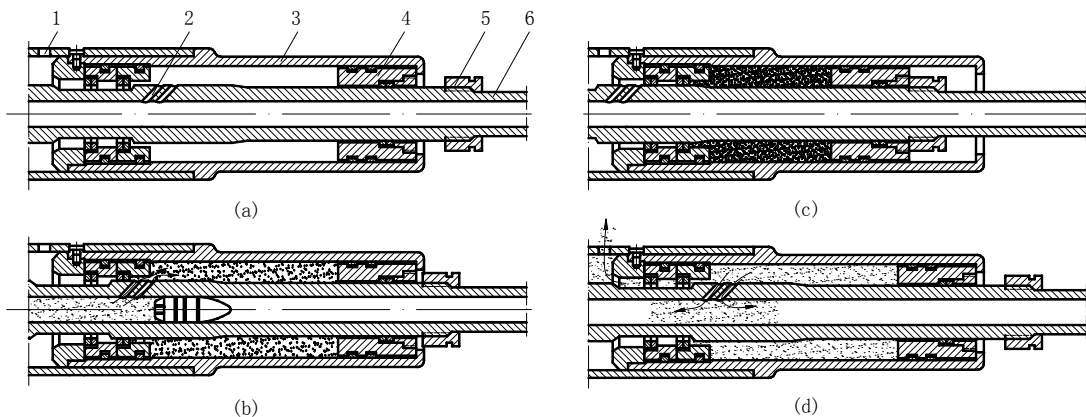


图 2-3-15 火药燃气复进机

(a) 发射前；(b) 充气与后坐；(c) 后坐与复进；(d) 复进。

1-排气孔；2-进气孔；3-复进筒；4-浮动活塞；5-螺管；6-身管。

图 2-3-15 为航 30-1 的同心式火药燃气复进机。复进筒套在身管外，前方有一与身管连

接的活塞，后方有一与筒壁连接的固定塞子，构成复进机的工作腔。发射时，弹丸在膛内运动，身管后坐。当弹丸越过进气孔时，火药燃气由进气孔进入复进机的工作腔。同时，复进机的排气环形通道被固定塞子关闭，火药燃气被密闭在工作腔内。身管继续后坐时，其螺环推动活塞开始压缩火药燃气储存能量。后坐结束时，火药燃气膨胀，推动活塞带动炮身复进。直到活塞被复进筒肩部挡住。以后，身管以惯性继续复进，使排气环形通道打开，高压火药燃气由进气孔和排气通道排出。复进到位后借助于专门的卡锁将后坐部分固定在待发状态。

火药燃气复进机的优点是结构简单，重量轻，适用于复进速度较高的高射速航炮。缺点是高温高压的火药燃气作为工作介质，使进气孔的烧蚀、活塞的磨损和身管的温升都比较严重，使紧塞元件寿命低，维护擦拭困难。此外，该复进机平时不具有能支持炮身的复进机力，需设计专门机构以保持炮身在待发位置。但是由于航炮射速高，身管寿命较低，持续工作时间短暂，当进气孔烧蚀影响工作性能时，身管寿命已中止了，更换身管可以保证复进机的工作性能。同时航炮对重量要求十分苛刻，因此在航炮上采用火药燃气复进机是合理的。

第三节 制退机

一、制退机的工作原理

制退机又称驻退机。它在发射过程中，产生一定规律的阻力用于消耗后坐能量，将后坐运动限制在规定的长度内，并控制后坐和复进运动的规律。

为便于理解制退机的工作实质，现以最简单的结构为例说明。图 2-3-16 中，筒内充满理想液体（即密度不变、不可压缩、无粘滞性而连续流动），带活塞制退杆固定在架体上，发射时不动，活塞筒随炮身一起后坐，在面积为 A_0 的活塞上开有面积为 a_x 的小孔，该小孔称为流液孔，俗称漏口。当筒以速度 V 随炮身后坐时，在 dt 时间内，活塞后移 dx ，挤压液体。I 腔（称工作腔）产生压力 P_1 ，迫使体积为 $A_0 dx$ 的液体通过 a_x 进入 II 腔（称非工作腔）。其液压阻力（fluid resistance） $\phi = P_1 \cdot A_0$ ，因活塞杆从筒中抽出，故在 II 腔中出现真空， $P_2 = 0$ 。

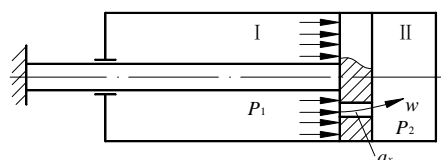


图 2-3-16 制退机的工作原理

$$A_0 \cdot dx = a_x \cdot w \cdot dt \quad (w \text{ 为流液速度})$$

$$w = \frac{A_0}{a_x} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{A_0}{a_x} \cdot V$$

在 dt 时间内，活塞的位移为 dx ，流过小孔 a_x 的液体质量为：

$$dm = \frac{r}{g} \cdot A_0 \cdot dx \quad r \text{ —— 液体比重}$$

质量为 dm 的液体在 dt 时间内所获得的动能为：

$$T = \frac{1}{2} w^2 dm = \frac{r}{2g} A_0 \cdot \left(\frac{A_0}{a_x} V \right)^2 dx$$

根据功能原理，液体所获得的动能是活塞对它做功的结果，活塞在相对位移 dx 的过程中，对液体的压力为 P_1 ，所做的功为 $P_1 \cdot A_0 \cdot dx$ ，则

$$P_1 \cdot A_0 \cdot dx = \frac{r}{2g} A_0 \cdot \left(\frac{A_0}{a_x} V \right)^2 dx$$

$$\phi = \frac{r}{2g} \frac{A_0^3}{a_x^2} V^2$$

对于实际的液体，还要考虑流动时各种损失，设损失系数为 ξ_0 。则液压阻力功应等于流动动能与能量损失之和。

$$\phi dx = \frac{1}{2} w^2 dm + \xi_0 \frac{1}{2} w^2 dm = (1 + \xi_0) \frac{1}{2} w^2 dm$$

$$\text{令} \quad K = 1 + \xi_0$$

$$\phi = \frac{Kr}{2g} \frac{A_0^3}{a_x^2} V^2 \quad (2-3-3)$$

式中 K 为液压阻力系数 (hydraulic drag coefficient)，或称理论与实际符合系数。

ϕ 是后坐阻力 R 中的主要组成部分，因 R 的规律早已选定，当复进机选定后， ϕ 的变化规律也随之确定了，现在只有根据后坐速度 V 的变化，相应地改变流液孔的面积 a_x ，才能控制 ϕ 的变化使之符合预先选定的后坐阻力 R 的规律。所以 a_x 不能是直径不变的小孔， a_x 应随后坐行程 x 而变化。

因此，人们采用了多种方法，以形成变化的流液孔面积 a_x ，从而出现不同类型的制退机。

1. 节制杆式 (throttling bar type)。采用定直径环 (称节制环) 与变截面的杆 (称节制杆) 配合，相对运动时，形成变化的流液孔面积 a_x 。见图 2-3-17(a)。

2. 沟槽式 (groove type)。外径一定的活塞与在制退筒上沿长度方向变深度的沟槽配合，相对运动时，形成变化的流液孔面积 a_x 。见图 2-3-17(b)。

3. 键式 (key type)。活塞上加工一定面积的矩形槽与制退筒内镶嵌的沿长度方向变高度的键配合，相对运动时，形成变化的流液孔面积 a_x 。见图 2-3-17(c)。

4. 活门式 (throttling vane)。用液压和弹簧抗力来控制活门的开度，以形成所要求的流液孔 a_x 。见图 2-3-17(d)。

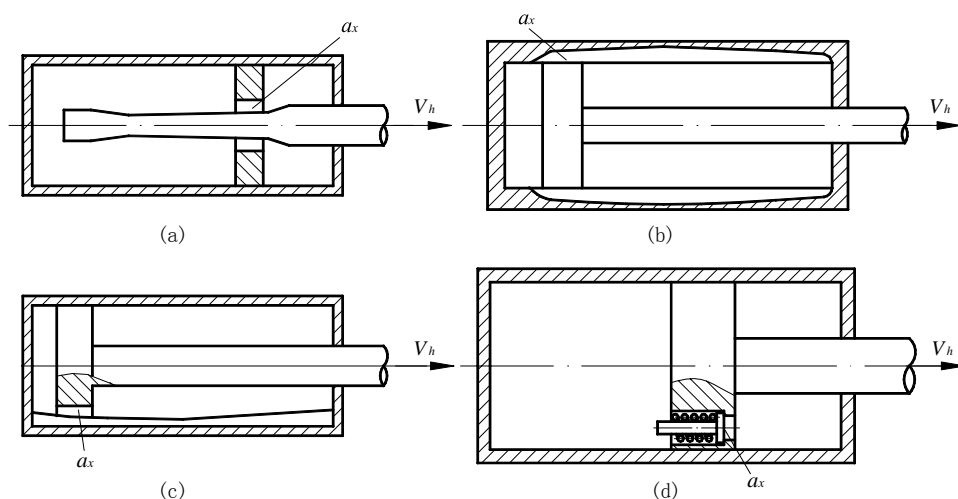
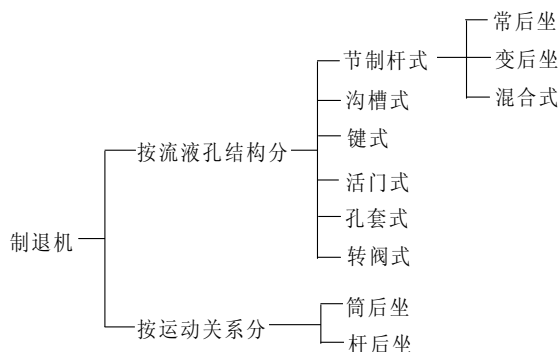


图 2-3-17 各类制退机的工作原理示意图

(a) 节制杆式；(b) 沟槽式；(c) 键式；(d) 活门式。

二、制退机的典型结构

火炮上所用制退机大都属于不可压缩液体的制退机。它的结构形式很多，为研究方便，常以流液孔形成方式进行分类如下：



转阀式和多孔衬筒式制退机，出现于早期火炮上。由于加工工艺和结构复杂或缓冲性能不易控制等原因，目前已不见应用。活门式和节制杆式制退机具有结构简单、缓冲性能易于控制等优点，广泛应用于现代的火炮上。应该指出，节制杆式制退机现已形成一套较完善的行之有效的设计方法和理论，按此理论设计的制退机在运动和受力规律上与试验结果有较好的符合。因此，节制杆式制退机广泛应用于各种火炮上。

（一）节制杆式制退机（throttling bar type recoil brake）

这是一种将变截面杆（节制杆）与定内径环（节制环）之间所形成的间隙作为流液孔的制退机。如果制退杆与后坐部分连接，称为杆后坐式；制退筒与后坐部分连接，则称为筒后坐式，如 56 式 85mm 加农炮的制退机。其结构及工作原理见图 2-3-18 及图 2-3-19。

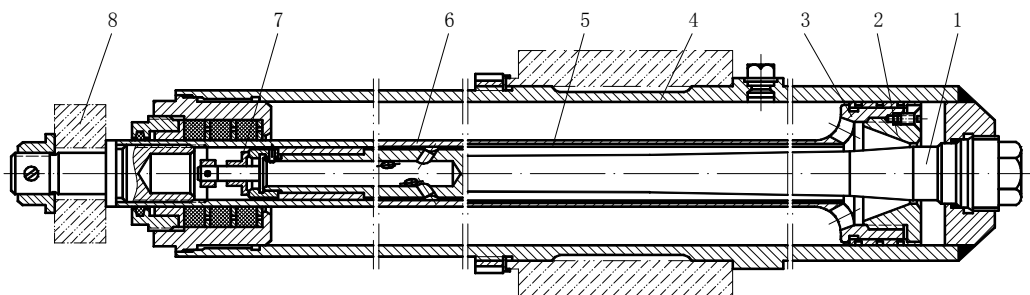


图 2-3-18 56-85 J 制退机结构图

1-节制杆；2-节制环；3-活塞头；4-制退筒；5-沟槽；6-制退杆；7-活瓣；8-摇架。

图 2-3-18 中有两个特殊构件简介如下：

（1）制退杆（recoil piston rod）。在筒后坐时，杆的一端与摇架固定，另一端是活塞头，外有铜套，套上有迷宫型沟槽，铜套的外径应控制退筒内径的实测尺寸加工。活塞头内固定着节制环，活塞头与其杆的过渡处有 6 个大斜孔，供液体畅流，制退杆是空心的，内腔有两条从左向右由浅渐深的等宽度沟槽。

（2）节制杆（throttling bar）。它是一变直径杆，一端与制退筒端盖固定，另一端为空心，插入制退杆内腔，其上有 8 个小斜孔，杆端套有衬筒、活瓣与活瓣座，该座上有 5 个纵孔。铜衬筒外径应控制退杆内腔实测尺寸加工以便较好地配合。

发射时，炮身后坐，复进机内的气体受压，吸收部分后坐能量而储能，同时，制退筒和节制杆随炮身后坐，制退杆活塞压 I 腔内的液体，经 6 个大斜孔流入活塞头内，即分成两股液流，一股液流经节制杆与节制环形成的间隙面积 a_x 进入非工作腔 II 内，后坐能量基本被

消耗。因筒已后坐，制退杆从制退筒内抽出时使Ⅱ腔内出现真空。另一股液流向制退杆内腔流去，经制退杆的内表面和节制杆外表面间的环形间隙和节制杆上的斜孔推开活瓣经5个纵孔进入Ⅲ腔，使Ⅲ腔内充满液体。

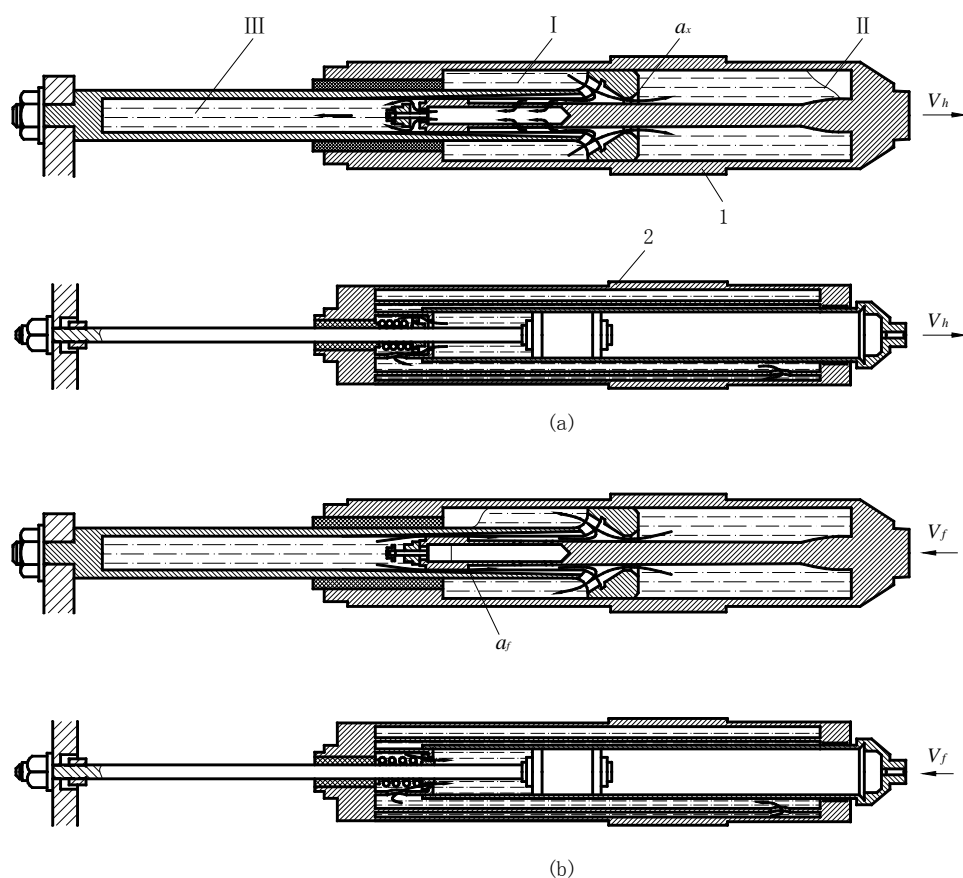


图 2-3-19 56-85 J 反后坐装置液流示意图

(a) 后坐时；(b) 复进时。

后坐结束，在复进机推动下炮身复进，此时活瓣复位，关闭纵孔，Ⅲ腔内的液体只能通过制退杆内壁上的两条变深度沟槽 a_f （即复进制动器）流出，使Ⅲ腔压力增高，产生较大的复进液压阻力，以节制复进运动，液体再经活塞斜孔流回Ⅰ腔；当Ⅱ腔真空消失后，液体又经流液孔 a_x 回到Ⅰ腔，此时也产生一定的液压阻力以节制复进运动。

带沟槽式复进节制器的节制杆式制退机结构较简单，作用可靠，复进时为全程制动，可充分满足复进稳定性要求。广泛应用于地面牵引火炮和坦克炮。由于复进全程实施制动，使复进平均速度降低，不利于提高射速，故射速较高的自动炮不采用这种复进节制器。

（二）变后坐节制杆式制退机（throttling bar type recoil brake with variable length recoil）

大口径或大威力火炮特别是牵引火炮，其威力和机动性的矛盾突出。欲保证射击稳定性和获得较轻的重量，会给总体设计带来难以解决的困难。采用变后坐长的制退机是解决这些矛盾的有效措施之一。59-130J、GC45-155L 以及某些 203mm 榴弹炮均采用变后坐长的节制杆式制退机结构。

这种制退机作用原理与一般节制杆式制退机相似，只是其后坐流液孔的大小随射角变化从而改变后坐长度。如图 2-3-20。

后坐流液孔由固定于活塞头内的调节环上的四个窗口与节制杆上的两对变深度长、短沟槽组成。节制杆呈圆柱形，一端中空由小孔与沟槽连通，其上有复进调速筒和活瓣，另一端

固定在制退筒上并与后坐长度转换器连接。复进制动器的流液孔由制退杆内腔的变深度沟槽与节制杆调速筒配合构成。

射角变化时，通过后坐长度转换器转动节制杆，改变其上的长沟槽与调节环窗口的相对位置，使流液孔起始面积改变以实现变后坐。即射角大时，流液孔起始面积变小，在后坐过程中液压阻力增大，后坐长度变小；射角小时，情况相反。为便于转动节制杆常采用杆后坐。

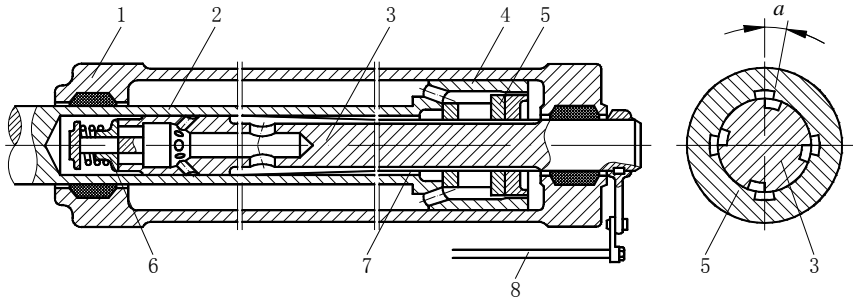


图 2-3-20 变后坐节制杆式制退机

1-制退筒；2-制退杆；3-节制杆；4-活塞头；5-调节环；
6-活瓣；7-制退杆沟槽；8-后坐长度转换器。

（三）沟槽式制退机（groove type recoil brake）

这种制退机的流液孔是在制退筒内壁上加工数条变深度沟槽与活塞外圆表面相对运动而构成，是简单的制退机之一。通常与针形杆复进制动器组合为一体。见图 2-3-21，复进制动器流液孔由针式节制杆上的斜面与安装在活塞内的节制环构成。炮身后坐时，I 腔内的液体被迫经制退流液孔流入 II 腔，产生液压阻力，同时 II 腔出现真空。复进初期，活塞向前运动，当 II 腔真空消失后，针式节制杆便进入节制环内孔。排挤 III 腔内的液体产生较大的复进液压阻力。最后与 II 腔内的液体经沟槽一起流回 I 腔。

这种制退机结构简单，复进为非全程制动，复进时间短，有利于提高火炮的发射速度，常用在高射炮上。

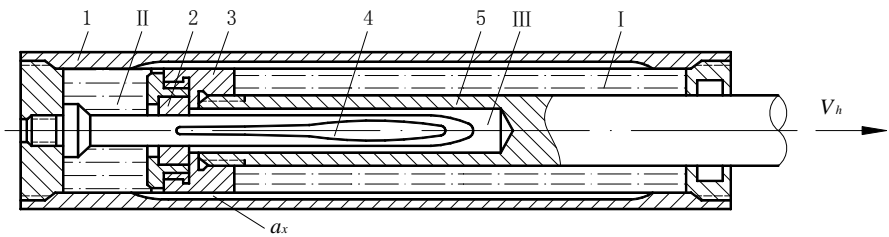


图 2-3-21 沟槽式制退机

1-制退筒；2-节制环；3-活塞；4-针式节制杆；5-制退杆。

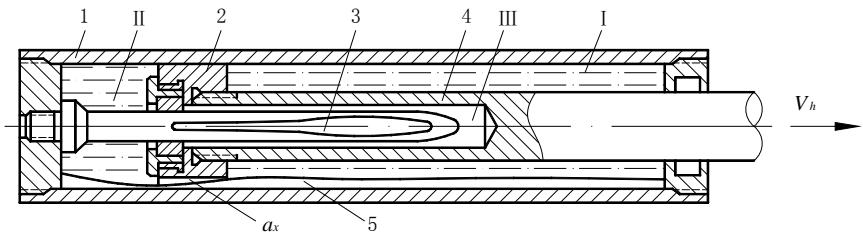


图 2-3-22 键式制退机

1-制退筒；2-活塞；3-针式节制杆；4-制退杆；5-节制键。

另一种制退机是在制退筒内壁上嵌有变高度的节制键与活塞上的沟槽构成流液孔,称为键式制退机 (key type recoil brake)。见图 2-3-22。其工作原理同上。

(四) 混合的节制杆式制退机 (composite throttling bar type recoil brake)

节制杆式制退机与非全程制动的沟槽式复进节制器相结合,而复进节制器的流液孔也是制退机流液孔的一部分,故称混合式。如图 2-3-23 所示,炮身与制退杆连接,后坐时,浮动活塞前移,其上的两纵孔被堵闭,同时打开制退杆活塞头上的斜孔, I 腔中受挤压的液体经两组制退流液孔进入 II 腔(即经制退筒内壁上的变深度沟槽与游动活塞之间的流液孔和节制杆与节制环之间的流液孔),形成液压阻力,以消耗后坐能量。复进初期,制退杆先排除 II 腔内的真空,液体不受压,真空消失后,游动活塞便后移,纵孔打开,同时关闭了活塞头上的斜孔,沟槽与游动活塞及其上的两纵孔又分别构成复进制动器的两个流液孔,产生复进制动力。II 腔内的液体经纵孔与沟槽再流回 I 腔。这种制退机,动作可靠,复进系非全程制动,在计算液压阻力时较前述几种制退机复杂。我国 54 式 122mm 榴弹炮上是采用此结构。

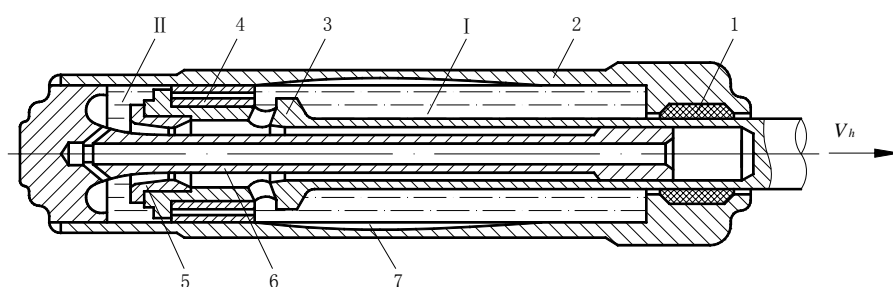


图 2-3-23 混合式节制杆制退机

1-紧塞具; 2-制退筒; 3-制退杆; 4-游动活塞; 5-节制环; 6-节制杆; 7-制退筒沟槽。

(五) 活门式制退复进机 (throttling valve type recoil counter recoil mechanism)

这是制退机和复进机有机组合成为一个部件,其流液孔大小由弹簧作用下的活门控制的制退机,结构示意图见图 2-3-24。后坐时,活塞挤压 I 腔内的液体推开后坐活门,压缩弹簧,形成流液孔,液体流入 II 腔,推动游动活塞,压缩 III 腔内的气体,可与复进机组合成活门式制退复进机。复进时,后坐活门关闭, III 腔内的气体膨胀推动游动活塞,迫使 II 腔内的液体经复进定漏口流回 I 腔,推动活塞带动炮身复进。

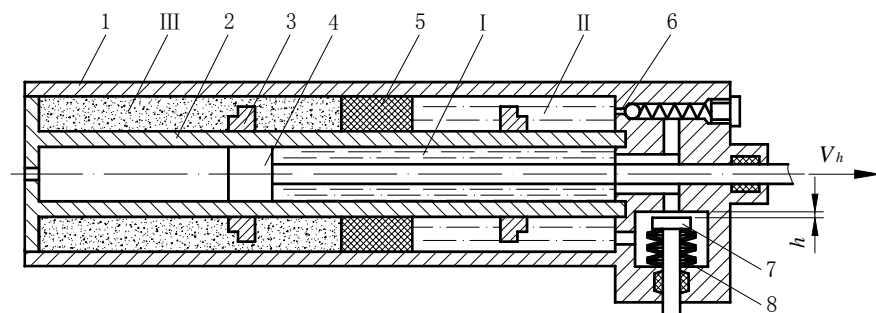


图 2-3-24 活门式制退机

1-外筒; 2-内筒; 3-活塞挡环; 4-活塞杆; 5-游动活塞;
6-复进定漏口; 7-后坐活门; 8-弹簧; h -活门开度。

活门式制退复进机的特点是: 结构简单、紧凑; 因其液体中始终存在压力, 后坐时筒内

不会产生真空；由于流液孔随液体的压力变化而自动调整，故后坐阻力的变化较平稳，不会产生突变，例如，后坐速度比正常情况稍大时，则活门弹簧受到较大的力，压缩多一些，因此活门相应开大，使后坐阻力增加不多，同样，当阻力系数 K 随温度稍有变化时，后坐阻力也不会有大的变化。但此种活门不能严格的控制后坐阻力按某一规律变化，且后坐末期，液压阻力随速度下降而下降，在一定程度上增加了后坐长度。另外，由于复进时采用定漏口，如要保证一定的复进速度，漏口不能太小，这样复进剩余能量必然较大。为保证复进到位时不产生撞击，应另设缓冲器。

由于流液孔的大小由弹簧控制，流液孔面积与活门开度 h 有关，而 h 的大小与 I、II 两腔的液体压力和弹簧刚度系数有关，所以，活门式制退机的核心问题是弹簧设计及其参量的确定。

（六）同心式制退机 (concentric type recoil brake)

套在炮身外，轴线与炮膛轴线重合的液压式制退机，见图 2-3-25。筒形摇架可以当作制退机的外筒，作为贮液筒。炮身外表面固定有带活塞的内筒，炮身即当作活塞杆。复进机另外设置。通过活门座将制退机与复进机的动作有机地结合起来，活门座上有调节液压阻力的后坐流液孔（后坐活门）及复进流液孔（复进活门）。射击时，炮身带着内筒和活塞一起后坐，液体进入活门座打开后坐活门形成所要求的制退力而流入复进机液腔，推动游动活塞压缩气体以贮存能量。后坐到位时，后坐活门复位，气体释放能量，推动游动活塞，液体打开复进活门，形成一定的制动力，并将复进机内的液体压入制退机内，推动活塞带动炮身复进到位后，复进活门恢复原位。

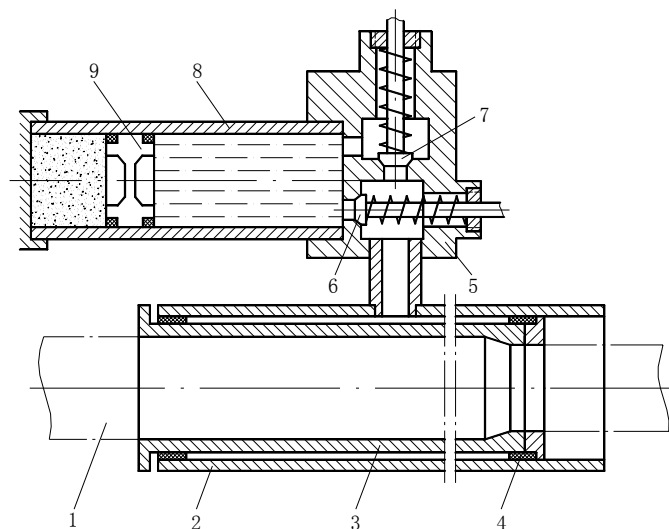


图 2-3-25 同心式制退机

1-炮身；2-制退机外筒；3-内筒；4-活塞；5-活门座；
6-复进活门；7-后坐活门；8-复进机；9-游动活塞。

活门复位，气体释放能量，推动游动活塞，液体打开复进活门，形成一定的制动力，并将复进机内的液体压入制退机内，推动活塞带动炮身复进到位后，复进活门恢复原位。

另一种同心式制退机的结构是将制退机外筒（摇架）内表面加工有变深度的沟槽，它与固连在炮身上的活塞间形成可变流液孔，后坐时产生液压阻力。采用弹簧式复进机，弹簧也套在身管外，并位于制退筒内。

同心式制退机因其轴线与炮膛轴线重合，可有效地消除动力偶对射击的影响，同时使火炮总体布置紧凑合理，还有利于炮身前抽的需求。曾用于坦克炮，以减少火炮所占空间，并可降低炮塔高度；同时筒形摇架兼作制退筒，有利于减轻火炮质量。但是，在射击时，对身管散热和制退液温升都有不良的影响。

（七）孔套式制退机 (perforated bar type recoil brake)

通过内套上孔数的增减来改变流液孔面积的制退机。如图 2-3-26 所示。制退筒内装一内套，与制退筒间有适当间隙，内套上制有若干个孔。后坐时，活塞向右运动，压迫 I 腔内液体经右边内套上的孔流进间隙，再经左边内套上的孔流入 II 腔，随后坐距离不同而流液孔数不同，从而产生不同后坐阻力。复进时，液体反方向流动，形成复进制动阻力。这种制退

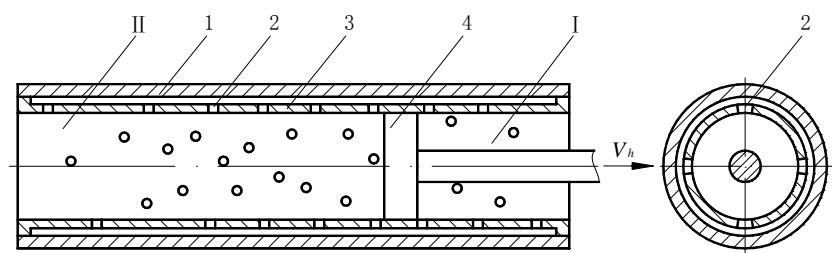


图 2-3-26 孔套式制退机

1-制退筒；2-流液孔；3-内套；4-活塞。

机结构简单，但难于达到理想的后坐和复进阻力，应用很少。

第四节 复进制动器

一、复进制动器的工作原理

复进是在火炮后坐结束时，后坐部分在复进机力作用下，回复到待发位置的过程。可是，复进机释放的能量除了克服后坐部分重力与摩擦阻力做功以外，还有相当大一部分多余的能量，称为复进剩余能量。此能量太大，会使后坐部分在复进到位时产生严重冲击，影响复进稳定性。此能量是射角的函数，小射角时，因克服后坐部分重力分量作的功较小，剩余值就大（图 2-3-27 中 $abcd$ 面积）；大射角时则相反，剩余能量就小（图 2-3-27 中 $ab'c'd$ 面积）。

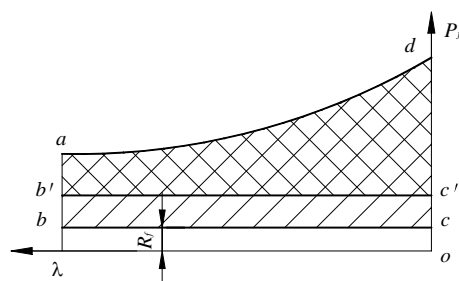


图2-3-27 复进剩余能量

为了消耗上述剩余能量以确保火炮平稳无撞击地复进。因此，设置了复进制动器，使其在复进过程中产生一定的阻力。这种在火炮复进中对后坐部分施加制动力以消耗复进剩余能量的过程称为复进制动。

复进时，后坐部分运动方程为：

$$\frac{Q_0}{g} \frac{dV_f}{dt} = P_f - R_f - \phi_f = r \quad (2-3-4)$$

式中 ϕ_f ——复进时，反后坐装置产生的液压阻力（制动力）；

R_f ——静阻力（总摩擦力与重力分量 $Q_0 \sin \varphi$ 之和）；

V_f 、 t_f ——复进速度与复进时间；

r ——复进合力。

根据上式绘制的复进力与复进阻力随复进行程变化的图形，称为复进制动图（brake diagram of counter recoil motion）。图 2-3-28 中曲线 I 是复进的动力曲线， R_f 与 ϕ_f 是阻力曲线。一般，为了使后坐部分在复进到位时的速

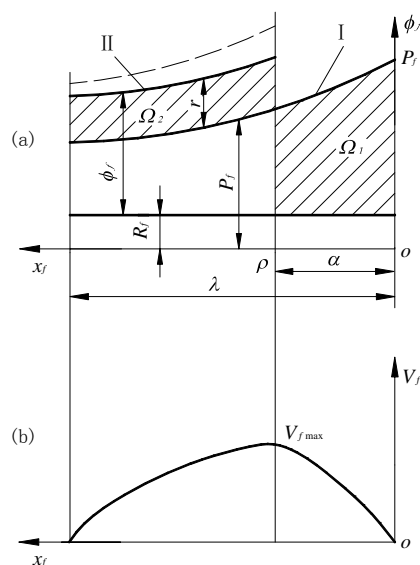


图 2-3-28 复进制动图形

(a) 复进制动图；(b) 复进速度图。

度接近于零，图中曲线 I 与曲线 II 下面的面积应大致相等（即阴影面积 $\Omega_1 \geq \Omega_2$ ）。在分界点 ρ 以前，因动力大于阻力（即 $r > 0$ ），所以加速复进，后坐部分的复进速度从零迅速上升到最大值 $V_{f\max}$ 。 ρ 点以后，阻力大于动力，即 $r < 0$ 出现减速复进， V_f 逐渐下降接近于零，为便于火炮的自动机或半自动机工作和保证火炮复进到位，复进到位时速度 $V_{f\lambda}$ 应稍大于零。一般火炮 $V_{f\lambda} = 0.1 \sim 0.3\text{m/s}$ ，小口径高射速的自动炮，其 $V_{f\lambda}$ 可达 1m/s 左右。在复进减速阶段，复进合力 r 的方向朝前，如图 2-3-29。对带驻锄的牵引炮，“前翻”一个重要的不良后果是容易破坏驻锄后的土壤连续性。为避免火炮绕前支点（车轮接地点 A）向前翻倒，必须保证复进稳定性，应使翻倒力矩小于稳定力矩，即 r 的绝对值应小于火炮复进稳定条件所允许的极限值 $[r_j]$ 。

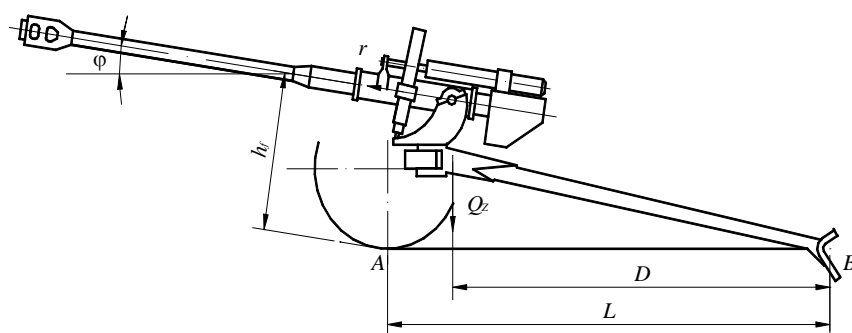


图 2-3-29 复进时火炮受力

$$|r| < [r_j] = \frac{Q_z \cdot (L - D)}{h_f} \quad (2-3-5)$$

式中 h_f ——A 点至后坐部分质心轨迹的距离，是射角的函数；

D ——B 点至全炮质心的水平距离，是射角与复进行程的函数。

复进行程上各点 $[r_j]$ 的连续，称为复进稳定界。研究 $[r_j]$ 的变化，可合理确定复进制动规律，以便设计满足要求的复进制动器。

复进制动一般下列有两大类：

1. 非全程复进制动（non-full-length brake counter-recoil）

在复进的部分行程上施加制动力，其复进制动图如图 2-3-28 所示。多用于固定式火炮及某些高射炮。

2. 全程复进制动（full-length brake counter-recoil）

在整个复进行程上都施加制动力，即复进一开始就产生液压阻力 ϕ_f ，其复进制动图如图 2-3-30 所示。多用于牵引式地面火炮。

确定了复进制动图形，就可按照制退机的工作原理设计出相应的流液孔结构，产生所需的液压阻力 ϕ_f 以消耗复进剩余能量，使复进运动平稳无冲击。

火炮的复进时间比后坐时间长得多火炮的复进时间比后坐时间长得多（如表 2-3-2），要想缩短射击循环时间，提高发射速度，应注意复进制动器的结构设计。

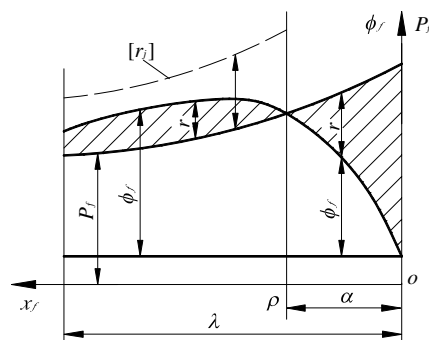


图 2-3-30 全程复进制动图

表 2-3-2 几种火炮射击循环时间

火炮	$t_h(s)$	$t_f(s)$	$t_h(s) + t_f(s)$	$t_f(s)/t_h(s)$
56-85 J	0.15	0.488	0.638	3.25
54-122 L	0.126	0.705	0.831	5.59
69-130 J	0.163	1.426	1.589	8.75
59-100 J	0.088	0.571	0.659	6.49

二、复进制动器的典型结构

火炮上复进制动器结构形式很多，按流液孔形成方式分，可分为沟槽式、针式、键式、活瓣式；按与制退机、复进机结合有以下 3 种组合方式：

1. 复进制动器与制退机组成一个部件，较为典型的结构有：（1）节制杆沟槽式制动器（参见后坐节制杆式制退机），这种结构可实现全程制动，作用可靠、能较好地满足射击稳定性要求，应用较广；（2）针形杆式制动器（参见沟槽式制退机），这种结构系非全程制动，复进速度较高，常用在高射炮或复进稳定性易保证的火炮上。

2. 复进制动器为独立部件（参见复进缓冲器）。常用在采用混合式制退复进机的火炮上。

3. 制退机、复进机、复进制动器三者组合成一个部件（参见短节制杆式制退复进机）。

（一）复进缓冲器（counterrecoil buffer）

利用液体压力形成的阻力在后坐部分复进到末期时的部分行程上进行制动或缓冲的装置。混合式制退复进机（短节制杆式或活门式）不能完全消耗复进剩余能量，后坐部分在复进末期仍有较大的速度，采用复进缓冲器可以减小炮身等复进到位时的撞击。其结构有键槽式复进缓冲器，如航空炮中的油压减冲筒；有活门式缓冲器。

活门式复进缓冲器，见图 2-3-31。节制筒内充满液体，外部与摇架固定，活塞上有数个斜孔，活塞内装有套筒，其上滑套着具有两个小孔的外活门。后坐时，弹簧伸张，推活塞杆由节制筒中伸出，液体推开外活门经斜孔流向节制筒 I 腔。复进末期，炮尾推活塞杆，压缩弹簧，I 腔液压力升高，推动外活门而封闭斜孔，液体只能经外活门上的小孔及内活门通道流入 II 腔。两股液流经过两个活门所形成的液压阻力作功而起缓冲作用。59 式 100mm 高射炮采用此种结构。

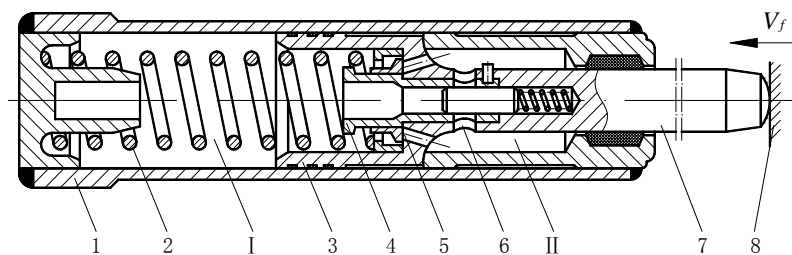


图 2-3-31 液压缓冲器

1-节制筒；2-弹簧；3-活塞头；4-套筒；5-外活门；6-内活门；7-活塞杆；8-炮尾。

（二）短节制杆式制退复进机（short throttling bar recoil and counter recoil mechanism）

这是一种由复进机，制退机和复进制动器有机结合的反后坐装置，其节制杆工作长度小于后坐长度。见结构示意图 2-3-32。

贮液筒与贮气筒中的液体由导管或大孔连通，后坐流液孔由短节制杆与节制环构成，节制杆固定在浮动活塞上，复进制动流液孔由节制杆后端的复进调速筒与制退杆内壁变深度沟槽构成。后坐时，制退杆活塞迫使筒中的液体经孔道流入 A 腔，推动单向活门流向后坐流液

孔，形成一定的液压阻力，流入 *B* 腔后，推动浮动活塞而压缩气体；复进时，气体膨胀，推动浮动活塞，单向活门关闭，迫使 *B* 腔液体经后坐流液孔，再经复进制动器流液孔（沟槽）经孔道流回贮液筒推动活塞而带动炮身复进，在复进末期，由呼吸器进行最后的缓冲。

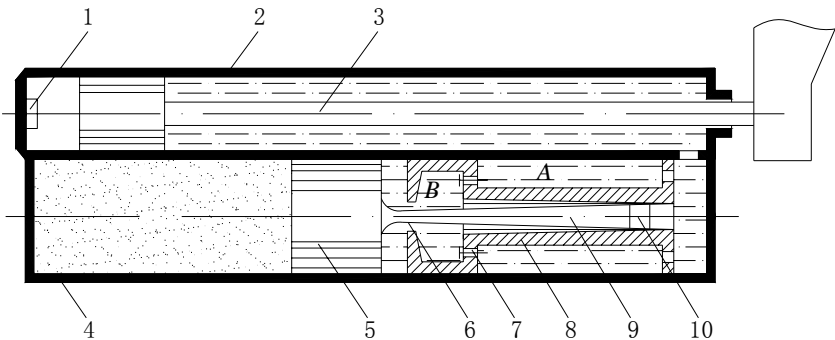


图 2-3-32 短节制杆式制退复进机

1-呼吸器；2-贮液筒；3-制退杆活塞；4-贮气筒；5-浮动活塞；
6-节制环；7-单向活门；8-沟槽式制退杆；9-短节制杆；10-复进调速筒。

这种制退复进机工作时腔内也不会产生真空；且结构紧凑，动作平稳可靠。由于浮动活塞的工作面积较制退杆活塞的工作面积大，其行程较短，可以缩短节制杆的长度，避免加工细长杆和细长管，但结构较复杂，且复进速度不能太大。在美式榴弹炮上曾采用。

（三）呼吸器（respirator）

呼吸器又称空气缓冲器，是复进制动器的辅助装置，用于控制复进末期的运动，防止复进到位时运动件之间刚性碰撞的一种活门式空气缓冲装置。其结构原理见图 2-3-33。

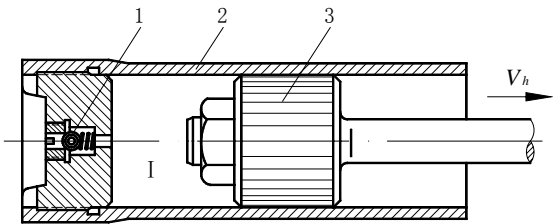


图 2-3-33 呼吸器

1-单向活门；2-制退筒；3-制退杆活塞。

后坐时，制退杆活塞在制退筒中后移，I 腔压力很低，单向活门被推开，吸入的空气充满活塞前的空间，复进时，活门关闭，空气只能由小孔排出，增加了排气阻力，从而起缓冲作用。呼吸器通常设在制退复进机贮液筒的前盖上。

复进制动器的辅助装置，还有橡皮缓冲垫，弹簧缓冲器等。

第五节 其它反后坐装置及后坐系统

一、后坐系统分类

发射时火炮后坐是能量守恒定律的结果。后坐运动有许多种形式，一般有如下分类：

1. 按有无人为阻力分：制动后坐、自由后坐和人工后坐。

自由后坐（free recoil）是指炮身处于水平状态发射时，后坐部分只在炮膛合力单独作用下的后坐运动。

制动后坐（brake recoil）是指发射时向受炮膛合力作用下的后坐部分人为施加一个后坐阻力，将后坐运动限制在一定行程上。实际火炮的后坐都属制动后坐，自由后坐只能在实验室条件下近似得到。

人工后坐（manual recoil）不是火炮射击循环中的后坐运动，而是在装配使用或维修火

炮时，为检验火炮某些性能，采用专用装置使后坐部分运动到规定位置后，在复进机作用下又回复到原位的过程。在此过程中进行的检测称为人工后坐试验。例如，检查液体气压式复进机中的液量和气压值；有的自动炮或前冲炮首发射击需要身管后拉时；检查炮身、摇架、反后坐装置等的配合情况；检查复进是否到位、自动机或半自动机动作是否正常以及部队的技术检查等。

人工后坐的方法很多，中小口径火炮常采用螺杆式人工后坐器，装在摇架与炮身之间，摇动棘轮扳手，螺杆旋出而顶炮身后坐。大口径火炮常用压缩空气或将高压液体注入复进机活塞前方，推活塞或复进筒向后，使炮身后坐，或直接用钢绳滑轮、卷扬机等拉炮身后坐。

2. 按射击循环的顺序分：正常后坐系统和前冲后坐系统。

正常后坐系统（normal moving recoil system）。击针击发底火后，控制后坐部分按后坐、复进（完成开闩、抽筒等动作）回复到待发位置的后坐系统。大多数火炮具有这种后坐系统。

前冲后坐系统（forward moving recoil system）。火炮发射时，控制后坐部分按前冲、击发底火、后坐、复进回复到待发位置的后坐系统，也称软后坐系统。

3. 按后坐层次分：单一后坐与双重后坐。

单一后坐（single recoil）或称单一制动后坐，是指炮身与摇架间用反后坐装置连接，发射时使炮身等后坐件沿摇架导轨作规定长度的位移，其他架体不参与后坐的过程。单一后坐运动循环过程很简单。即击发后，炮膛合力 P_t 使后坐部分按照后坐阻力 R 所提供的规律运动。待后坐速度为零时即复进，回复到始发位置。目前的各类火炮基本上都采用单一制动后坐方式。

双重后坐（double recoil）是指发射时炮身相对于摇架导轨作后坐运动，且上架连同起落部分一起又相对于下架作后坐运动的一种复合后坐运动。也称双重制动后坐。双重后坐火炮的炮身与摇架之间，上架和下架之间各由一套反后坐装置连接。如图 2-3-34 所示。前者称第一反后坐系统，后者称第二反后坐系统。

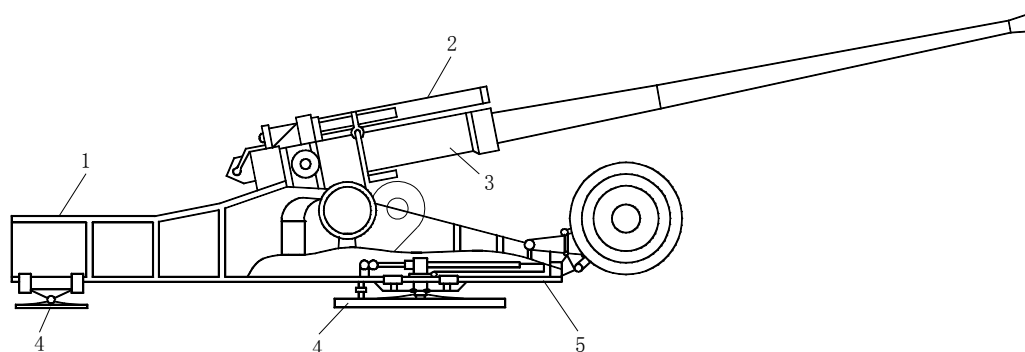


图 2-3-34 具有双重后坐系统的火炮

1-上架；2-第一后坐装置；3-摇架；4-下架；5-第二后坐装置。

双重后坐火炮因其参与后坐的零部件数量较多，增加了后坐部分质量，减小了作用于炮架上的力，提高了火炮发射时的稳定性，是解决火炮威力和机动性之间矛盾的方法之一。缺点是：结构比较复杂，需增加一套上架反后坐装置；大射角时，不能有效地减小作用在炮架上的力；瞄准装置随上架一起后坐，增加了光学瞄准镜的负荷，并使勤务操作困难等。因此，有时只在大口径火炮上采用。美国曾在 203mm 榴弹炮上采用这种系统。

4. 按后坐距离分：定长后坐与变长度后坐。

定长后坐是指火炮在整个射角范围内，于同等条件下射击时，其后坐部分的后坐长度基本不变的后坐运动。一般在常温下，射角为零度，用正装药射击时的后坐长度称为正常后

坐长，它是考核反后坐装置性能的一个重要数据；用强装药，在最大射角和最高制退液温度下发射时的后坐长度，称为最大后坐长度；反后坐装置结构允许的后坐长度称为极限后坐长。根据火炮类型不同，极限后坐长通常取为正常后坐长的 1.08~1.2 倍。

变后坐（variable recoil）是指射击时通过适当的机构使火炮后坐长度随射角变化而改变的一种后坐运动。它是为了解决在大射角射击时炮尾可能碰地，小射角射击时稳定性差的问题而采取的一种措施。变后坐一般有两种方式。

（1）阶段式变后坐是在部分射角上变化后坐长度，大射角时采用短后坐 λ_k ，小射角时用长后坐 λ_g 。见图 2-3-35 曲线 1。这种变后坐适用于高低射界范围较大的火炮。

（2）渐变式变后坐是在整个高低射界内后坐长度连续地变化，最大射角时，后坐长度

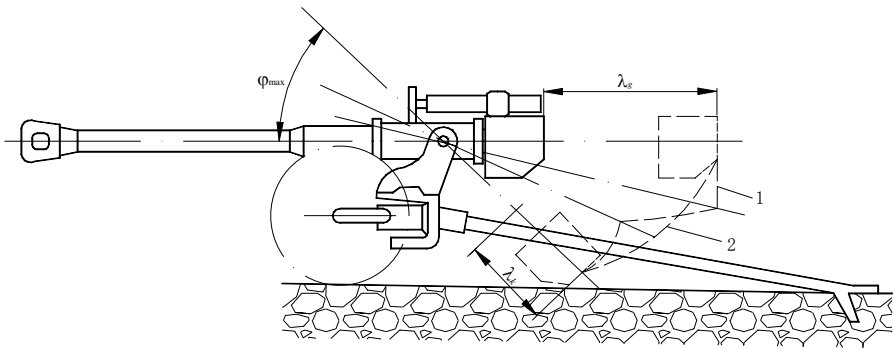


图 2-3-35 变后坐方式
1-阶段式；2-渐变式。

变得最短。见图 2-3-35 曲线 2。

实现上述变后坐，目前都是通过转动液压制退机中的节制杆或制退杆或改变活门开度以调节液压阻力来达到。一般在威力较大或射角变化较大的大口径地面火炮上常采用变后坐。

5. 按后坐质心轨迹分：直线后坐与曲线后坐。

直线后坐系统（linear moving recoil system）——后坐部分的质心始终沿与炮膛轴线平行的方向运动的后坐系统。如果将炮膛轴线看成平面笛卡尔坐标的横轴，那么直线后坐系统后坐部分质心运动轨迹始终沿着坐标横轴。几乎所有正常后坐系统同时又是直线后坐系统。

曲线后坐系统（curved moving recoil system）——后坐部分质心的运动轨迹可以分解为坐标横轴和纵轴两个分量的后坐系统。曲线后坐系统中，又可根据后坐部分是否绕质心作定轴转动，分为平动的曲线后坐系统和平面运动的曲线后坐系统。

二、前冲式反后坐装置

这种反后坐装置在发射中的运动循环与前述常规式反后坐装置不同，常规式是：击发——后坐——复进；而前冲式为：前冲——击发——后坐。发射前，弹簧式或液体气压式前冲机（其结构基本上与复进机相同）中的弹性介质已受压缩，使炮身通过卡锁机构卡在摇架的后

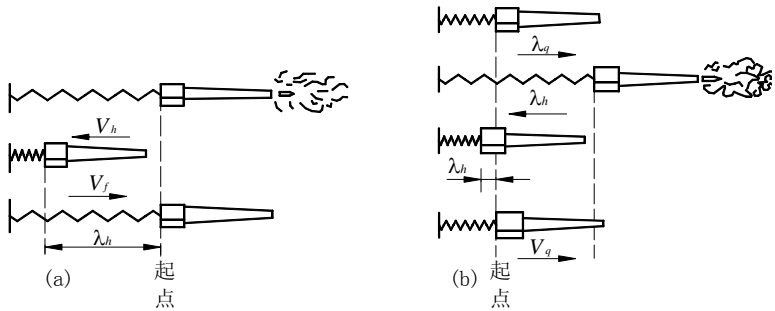


图 2-3-36 运动循环示意图
(a) 常规式；(b) 前冲式。

方位置，发射时，解脱卡锁机构，炮身在前冲机的作用下向前运动，达到一定的前冲行程或达到最大前冲速度时便带动击发机构击发炮弹底火。前者称为定点击发，后者称为定速击发。因为炮身是在前冲运动中击发的，可对后坐部分提供向前的冲量，以抵消炮膛合力向后的部分冲量，使后坐部分的实际后坐动能较常规反后坐装置的火炮大为减小，从而可进一步减小作用在炮架上的力。在小口径自动炮上还能提高发射速度和射击精度。后坐时，炮身又被卡锁机构限制在后方位置。图 2-3-36 为前冲式与常规式运动循环示意图。

采用前冲式反后坐装置的火炮，称为前冲炮。美国在 50 年代初就对前冲原理进行了研究，1970 年研制了 XM204 型 105mm 前冲榴弹炮样机，几经周折，1980 年美陆军才批准将 XM204 型 105mm 榴弹炮定为制式火炮，型号改为 M204 型，取代 M101A₁ 型 105mm 榴弹炮。我国自 70 年代以来对前冲原理在大口径火炮和小口径自动高炮上的应用也进行了研究，取得了一定成果。归纳起来，前冲原理在火炮上应用有下述优点（如表 2-3-3 所示）：

表 2-3-3 前冲炮与常规火炮性能比较

	XM 204 型 105mm 前冲榴弹炮	M 2 A 型 105mm 常规榴弹炮
炮架受力（N）	20044	70608
射速（发/min）	20	4~10
行军战斗转换（min）	0.5	2~4
全炮长（m）	5.07	6

1. 大幅度地减小和改善了火炮在发射时的受力

射击时炮架承受的载荷与非前冲的制式火炮相比大为下降。较好地解决了火炮威力提高与机动性下降的矛盾。炮架承受的最大载荷可下降 30%~70%。同时前冲炮在前冲和后坐运动中火炮始终只受有向后方的力，因而还极大的改善了火炮射击时的稳定性。减小了火炮驻锄或驻桩的面积，简便了火炮射击准备的操作。

2. 显著缩短了射击循环时间

一般后坐火炮复进时间 t_f 远大于后坐时间 t_h （10 倍以上），由于前冲运动，缩短了射击循环时间，提高了火炮发射速度，这对自动高炮尤为重要。

3. 全面地改变火炮的总体结构

由于后坐稳定性比较有保证，就有可能使火炮采用大架前伸、火炮后坐盘落地，全炮绕座盘 360° 方向旋转的新型结构形式，可实现 360° 环射，增加了火力灵活性。同时火炮后方有较空阔的区域便于炮手装填操作，又可以大大地减短火炮行军的全长，提高了行军的通过能力。因无需驻锄，火炮放列即可射击，缩短了行军战斗转换时间。图 2-3-37 为某前冲炮的外貌示意图。

4. 弹丸初速较高，炮口冲击波较小

由于弹丸出炮口时，炮身处于最前方位置，其后坐速度远低于一般后坐火炮在弹丸出炮口时的后坐速度，在相同的相对速度条件下，弹丸有较高的绝对速度。同时在炮手区域的冲

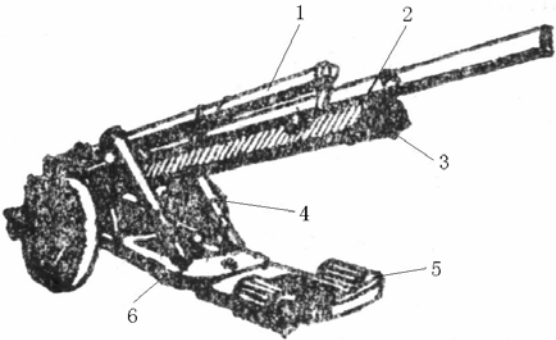


图 2-3-37 某前冲炮外貌图

1-前冲机；2-身管；3-摇架；
4-高平机；5-滚轮；6-大架。

击波超压值，也因炮身处于较前方而比一般后坐火炮为小。

尽管前冲原理在火炮上应用有很多优点，但也面临着不少技术问题。在前冲炮研制中出现的主要技术难题为：

1. 射击中弹药瞎火与迟发火，是目前存在的突出问题之一。由于炮身是在加速前冲中击发，此时如出现瞎火，炮身将与摇架发生撞击，致使机件损坏，甚至使火炮前翻，为避免此情况，只得增设一套前冲缓冲器，以消耗前冲动能。前冲中如果出现迟发火，实际击发瞬间前冲速度大于预定值，后坐动能克服前冲能量后所剩值很小，使后坐不到位，不能卡在待发位置上，会影响再次发射；如果迟发火出现在前冲缓冲阶段内，前冲速度变小了，使后坐动能大大增加，后坐长可能超出允许值，或者会使火炮后仰，为限制后坐长，只得增设一套后坐缓冲器。增添了前冲、后坐缓冲装置，使阻力大为增加，为保证炮架强度和射击稳定性，火炮质量相应增加，直接影响了火炮的机动性，我国在 70 年代研制的 130mm 前冲加农炮也因这方面的问题而使研究工作受挫。

2. 难于精确控制击发时间。击发时机提前或滞后，都将引起类似迟发火时所出现的两种情况。因此，按定点击发或定速击发确定击发时机时，还应考虑火炮处于不同射角、不同装药的情况。

3. 后坐部分的后拉问题。当火炮迟发火或瞎火以后，后坐部分最终均在前缓冲器的作用下停止于最前方位置。为了使下一发正常的发射，必须克服前冲机力，将后坐部分拉回到挂卡位置。由于前冲机力很大，后坐部分所需移动的距离又很长，必须在火炮上安装专门的后拉器或采取可靠迅速的后拉措施。

综上所述，要将前冲原理可靠地在地面火炮上应用，必须在设计好火炮前冲机的同时，设计一般地面火炮所没有的：卡锁机构、定速击发和装定机构、前缓冲器、后缓冲器、复进制动器和后拉器等等。这不可避免的使得前冲机的结构变得十分复杂，给训练操作和勤务使用带来很多不便。特别是在全装药最大射角所需的正常前冲后坐行程之外，还要留出相当长的前后缓冲行程。这就要求结构上必须保证的后坐部分运动长度实际比一般后坐火炮的长得多，因而使得摇架和起落部分的长度长，重量大，给平衡机和高低机的设计带来困难，这也是前冲炮的不足之处。

由于前冲原理对炮架减载效果显著，加上高科技的发展对解决困扰前冲原理应用的上述问题有现实的技术方案，美国在“未来作战系统”中已有前冲电热炮的技术方案，值得注意。

三、曲线后坐系统

传统火炮在发射后，后坐系统始终沿炮膛轴线（或沿与炮膛轴线平行的直线）运动。而曲线后坐系统质心的运动轨迹是一条曲线，可以分解为坐标横轴和纵轴两个分量。曲线后坐系统中，又可根据后坐部分是否绕质心作定轴转动，分为平动的曲线后坐系统和平面运动的曲线后坐系统。如果后坐部分在后坐运动中，只作平移而无绕其质心的定轴转动，该后坐系统称为平动的曲线后坐系统。如果后坐部分在后坐过程中，不仅作平移而且还绕质心作定轴转动，称该后坐系统为平面运动的曲线后坐系统。图 2-3-38 为平动的曲线后坐系统。炮身

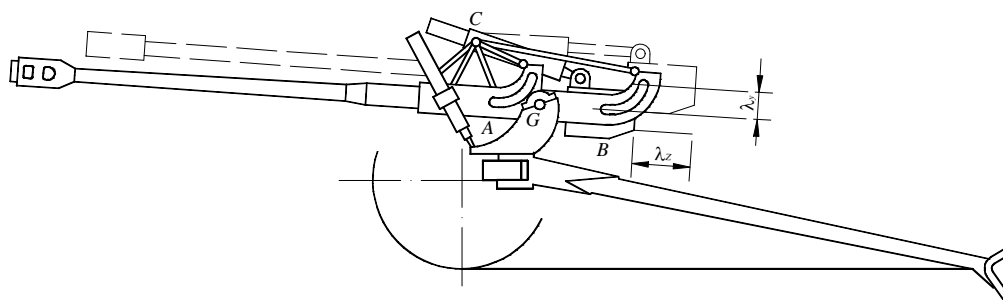


图 2-3-38 平动的曲线后坐系统原理图

前后支点 A 和 B 各以滚轮在摇架曲线槽内滚动。由于前后曲线槽形状一样，火炮后坐时，后坐部分作平动，后坐终了时炮身平行地抬高一定高度；图 2-3-39 为平面运动的曲线后坐系统，摇架前方有一个可绕 A 轴转动的铜衬，与身管光滑圆柱部配合起前导向作用。炮尾两侧各有一个滑轮 B ，可在摇架曲线槽上滚动。火炮后坐时，后坐部分不仅绕质心作定轴转动，而且沿炮膛轴线方向后坐一定的距离。同样，当后坐终了时，后坐部分质心也抬高一定高度。

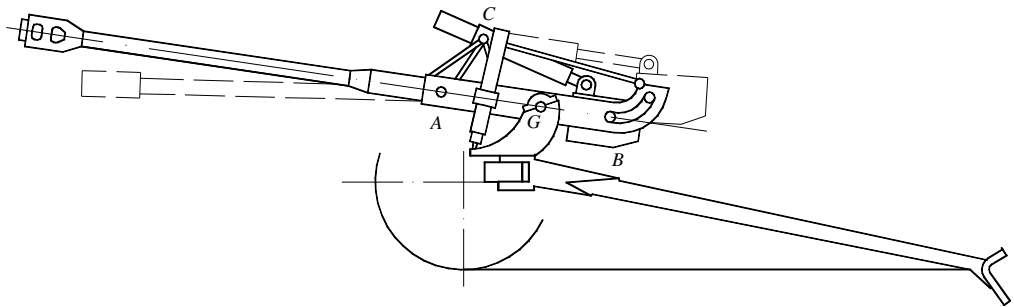


图 2-3-39 平面运动的曲线后坐系统原理图

两种结构的共同点是使质心在后坐过程中升高一定距离。质心升高的加速时期，其惯性力指向地面，该力与火炮总体布局相匹配，可以提高火炮射击稳定性。

曲线后坐系统中炮身作平面运动，占用空间较大，给摇架设计带来困难，然而，它能有效地提高火炮射击稳定性，故仍为减轻火炮重量的有效措施。

图 2-3-40 为另一种曲线后坐系统的原理图。该系统是由沿不同方向（夹角为 α 角）运动的两套后坐系统组成。后坐时后坐部分质心 G 的运动规律，由两个方向运动合成所规定。一般情况下，质心 G 的运动轨迹是一条曲线。控制两套后坐系统的运动规律，可使质心 G 按设计者指定的曲线规律运动，以达到增加稳定性的目的。该系统有双重摇架，

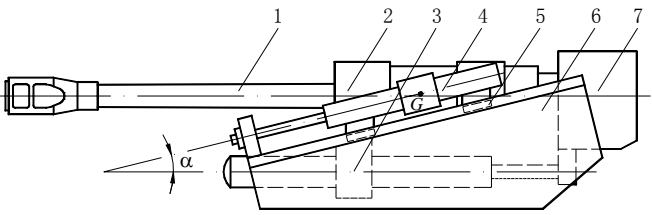


图 2-3-40 二维后坐系统原理图

1-炮身；2-筒形摇架；3-第一套后坐系统；4-第二套后坐系统；5-导轨和滑块；6-槽形摇架；7-炮尾。

后坐部分在第一套后坐系统控制下，沿筒形摇架中的前后铜衬瓦内作后坐直线运动，同时后坐部分连同第一套后坐系统和筒形摇架，在第二套后坐系统控制下，沿槽形摇架的导轨作后坐直线运动。这种原理的优点是在总后坐长一定情况下，可使两后坐系统各自的后坐长缩短很多，减小了每个摇架导轨尺寸，从而使火炮设计的更紧凑。该结构的另一个优点是为进一步增加后坐长度和减小后坐阻力提供了可能性。而减小后坐阻力是增加火炮射击稳定性的根本途径。当然，其代价是增加了一个活动框架，但采用轻合金和薄壁结构，其重量增加不多。

四、可压缩液体反后坐装置

可压缩液体反后坐装置是近年来发展起来的一种新型的反后坐装置，它是利用制退液的可压缩性和筒壁弹性变形，储存部分后坐能量供复进使用。因此，可压缩液体反后坐装置在保证火炮后坐部分后坐和复进动作可靠的情况下，可省去复进机，使结构简单紧凑，动作可靠。设计者对流液孔不作精心调整的情况下可获得平缓的后坐阻力曲线（即所谓平台效应）。由于使后坐阻力峰值减小，在一定程度上减小了后坐阻力。

前述各种反后坐装置中的液体都认为是不可压缩的,它只作为传递能量或密封气体的一种介质,而本节所述的液体是一种具有良好压缩性和稳定性的硅油。液体的可压缩性一般以其体积弹性模量 β 表示。目前较好的可压缩液体是道氏细粒 200 (10Cs) 硅油。在压力 $0\sim 35\text{MP}_a$ 下,弹性模量 β 与压力 P 成线性关系。

图 2-3-41 为最简单的可压缩液体制退复进机的结构原理图。该装置由制退筒和制退杆组成,腔内充满硅液,制退杆由粗端(d_2)、细端(d_1)和制退活塞(D)组成,制退活塞与制退筒内径(D_1)构成流液孔。

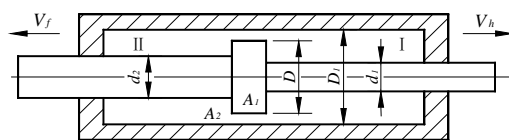


图 2-3-41 可压缩液体制退复进机结构原理图

假设制退筒与摇架连接,制退杆以 V_h 速度后坐,细端不断地从腔内拉出,而粗端不断地插入腔内,使腔内液体体积不断减小,液体受压缩储存部分后坐能量,供复进使用。同时 I 腔液体还受制退活塞的压缩,液体经流液孔流入 II 腔,该股液体消耗另一部分后坐能量。在后坐过程中, I 腔液体压力 P_1 始终大于 II 腔液体压力 P_2 ,当后坐结束时, $P_1 = P_2$ 。

复进时,由于制退活塞两端工作面积不等, $A_1 > A_2$,其中 $A_1 = \pi(D^2 - d_1^2)/4$, $A_2 = \pi(D^2 - d_2^2)/4$,而活塞两端压力相等,其合力作用使制退杆复进。一旦制退杆细端插入腔内,而粗端从腔内抽出时, II 腔液体受制退活塞压缩,使液体经流液孔流回 I 腔。在复进过程中始终 $P_2 > P_1$,一直到复进到位才使 $P_2 = P_1$ 。这种制退复进机结构简单紧凑,省去了浮动活塞和高压氮气的臃肿结构。

目前,可压缩液体反后坐装置设计的困难如下:

1. 实现长(或超长)后坐困难。这是因为后坐长度与液体压缩量有关。在 30MP_a 压力下,硅液相对压缩量($\Delta V/V_0$)在 3% 左右,获得较大的液体压缩量只能靠增大液体初容积,这对于后坐长度较大的制退机,所需液体初容积在结构上是难以接受的。

2. 对环境温度较为敏感。因为液体可压缩性不仅与液体压力有关,而且与液体温度有关。液体在一定压力下,温度越高其相对压缩量越小,这种压缩量的改变,将影响反后坐装置的性能。一般采用调节液量的办法加以补偿。

3. 液体泄漏。可压缩液体反后坐装置较一般反后坐装置对液体泄漏有更严格的要求。因为泄漏减少了液体总量,从而改变了所需的液体可压缩性。因此,选择合理的密封结构,并使液体最大工作压力在密封允许压力范围内,设计的可压缩液体反后坐装置才容易成功。

图 2-3-42 为一种刚性壁型的可压缩液体制退复进机典型结构,它成功地用于火炮射击实验中。与最简单式可压缩液体制退复进机比较,有如下几个特点。

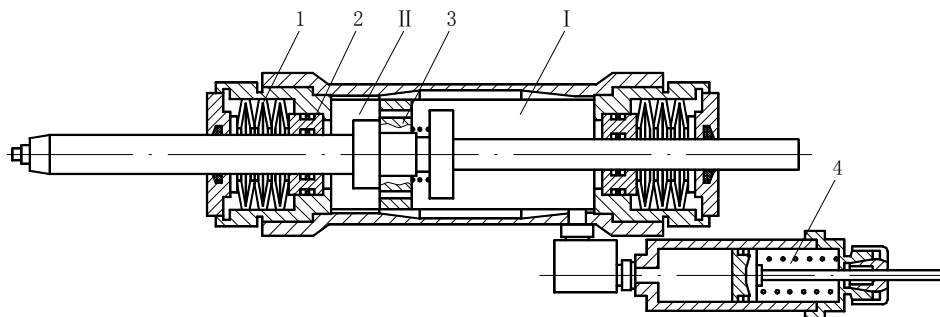


图 2-3-42 带限压装置的可压缩液体驻退复进机结构图

1-限压装置; 2-活塞; 3-游动活塞; 4-温度补偿器; I-工作腔; II-非工作腔。

1. 在工作腔和非工作腔设置限压装置

现有的密封装置，一般允许的工作压力不大于 35 MPa ，超过该压力，液体或多或少的产生泄漏，特别是密封装置设计欠合理时更是如此。为了使可压缩液体反后坐装置的工作腔压力不大于 35 MPa ，在工作腔和非工作腔分别设置限压装置。碟形弹簧式限压装置的活塞，在后坐过程中，当工作腔和非工作腔压力达到一定数值时，将产生微小位移（在后坐过程中产生 $3 \sim 4 \text{ mm}$ 位移）。活塞的轴向位移使腔内容积变大，从而改善了液体可压缩性。在后坐长度相同的条件下，采用限压装置，可使液体初体积大大减小，从而使结构更加紧凑。

2. 储液筒与温度补偿器共用

为了使制退机结构紧凑，将所需制退液的一部分储存在储液筒内，储液筒与制退筒用导管相连。这种结构给火炮总体设计带来方便。储液筒的一端设置了带标尺的活塞，活塞在弹簧作用下压向液体。活塞杆由一快速夹紧机构夹住。射击时锁紧夹紧机构，使液体在一定容积中被压缩，当环境温度变化需要调整时，旋松夹紧机构，活塞在弹簧力和液体压力作用下重新达到平衡，停在某一位置上。设计时使弹簧初力略大于密封装置摩擦力，温度使液体可压缩性的改变是通过改变容积来补偿的。

3. 设置带弹簧的游动活塞

可压缩液体反后坐装置在后坐过程中，为了存储足够的后坐能量供复进使用，必须有足够的后坐行程，才能使后坐阻力在规定的后坐长度上变化平缓、峰值小。因此其后坐流液孔较一般反后坐装置大得多。但是，由于液体刚度较大，容易使后坐部分复进到位产生冲击，因此必须进行有效的复进制动。复进节制流液孔明显比后坐流液孔小。在制退杆上设置一弹簧作用下的游动活塞。后坐时，在液体压力作用下推开游动活塞，使活塞上的 4 个通孔打开，与筒壁上变深度沟槽面积以及空心制退杆内的孔一起构成足够大的后坐流液孔。复进时，由于 $P_2 > P_1$ ，靠 P_2 作用推游动活塞压缩弹簧，使活塞贴紧螺母，关闭了活塞上的 4 个通孔。这样复进节制流液孔大大减小，使后坐部分复进到位基本无冲击。

4. 采用复进速度调节器

为了有效地调节由于制造误差和温度影响使复进速度发生变化，采用了针杆式复进速度调节器。旋转针杆，可以调节复进节制流液孔大小，使复进速度满足设计要求。

第六节 反后坐装置上几个重要构件

一、紧塞和密封

反后坐装置的大部分部件以液体或气体作为工作介质，完成发射时的能量转换。反后坐装置中的紧塞元件（obturator）（又称密封元件（packings））必须在平时和射击时对液体和气体可靠密封，不使它们外逸或渗漏，才能确保反后坐装置可靠地工作。反后坐装置的工作条件比一般民用液压机构的工作条件恶劣得多，它需要在高达 $30 \sim 50 \text{ MPa}$ 的压力，气温在 $-45 \sim +50^\circ\text{C}$ ，介质温度甚至 $+100^\circ\text{C}$ 和相对速度为 $10 \sim 20 \text{ m/s}$ 的条件下工作。而且某些相对运动表面在野战条件下经常暴露于火药烟雾及灰尘之中。因此，为了保证反后坐装置在各种条件下都能可靠地工作，必须对紧塞装置的结构设计予以充分的重视。根据所密封的零、部件工作状态一般可分为两大类。

一类是被密封的两构件间无相对运动或不再拆卸。例如，注液、注气孔，排液、排气孔，

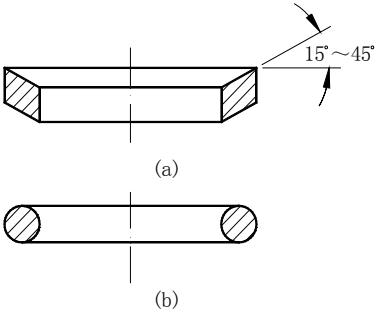


图 2-3-43 紧塞圈
(a) 紫铜环；(b) O 形橡胶圈。

检查孔，复进机的中筒与外筒、内筒与中筒的螺纹连接或筒与端盖处等。通常有 3 种密封方式：（1）在连接处端面嵌入具有 15° 或 45° 平行四边形断面、经过退火的紫铜环或用 O 形橡胶圈，拧紧连接螺纹，施加轴向压力，紫铜环、O 形橡胶圈变形后即可起密封作用，见图 2-3-43；（2）在螺纹齿面间嵌入四氟乙烯塑料薄膜，以堵塞齿面间的间隙；（3）对不再拆装的零件用无酸焊法密封。即对密封部位用无酸性液清理，零件的待连接表面均匀涂上一层融锡，乘热旋紧即可保证密封、这样还可防止螺纹松动。例如制退杆与杆头常用此法连接。

另一类是被紧塞的两件间具有相对运动，例如，复进机活塞、复进杆、制退杆等与其配合的筒之间都有相对运动，对其紧塞和密封则比较困难和复杂。液体气压式或气压式反后坐装置，一般均用液体密封气体，然后再对于相对运动处的液体进行紧塞。优点是比直接密封气体容易，且可对运动部分起润滑作用。

有相对运动零件间的密封利用的都是液体（气体）和弹簧产生的轴向压力和弹塑性零件（紧塞环或皮碗）的变形产生径向压力。径向压力与轴向压力之比称为压力因子 k_p (pressure factor)。为了保证密封，径向压力必须大于液体压力，但压力过大摩擦阻力又会增加，故采用泄漏因子 γ (leakage factor) ——径向压力对最大液体压力之比予以控制。

通常 γ 接近于 1，有时为了润滑， γ 可稍小于 1。在反后坐装置设计中，摩擦阻力需要进行计算。减小摩擦阻力的措施之一是运动件表面（外筒内表或制退杆，复进杆外表）镀铬，以改善粗糙度。

紧塞装置中最重要的零件是紧塞元件。一般由皮革、橡胶或石棉制成，其断面形状如图 2-3-44 所示。皮革制品耐磨损、不怕油质浸润，需上等牛皮制造，并用铬盐作鞣剂进行鞣制，成本较高，且易吸水膨胀而失去弹性；橡胶制品没有上述缺点，尤其是 O 形圈结构简单，密封性能好，目前应用广泛；石棉制品主要由石棉，石蜡和凡士林压制而成，为减小摩擦，还可加入一些石墨，但寿命短，使用不如橡胶制品方便。

二、液量调节器

火炮发射时，炮膛合力对后坐部分的作用使后坐部分获得动能，这部分能量在后坐和复进过程中绝大部分由制退机和复进机以不可逆的形式转化为热能，这使制退机内液体温度升高。为使火炮能连续不断地射击以完成战斗任务，在反后坐装置的设计中，必须解决制退液温升引起的工程问题。

（一）温升对反后坐装置的影响

制退液随温度的升高而体积膨胀，使制退机内除液体以外的空间减少，这可能引起后坐部分复进不到位的现象。如果在复进不到位的条件下继续射击，就会因为制退机的起始位置的改变而改变了原设计的后坐规律，使后坐长度超差，出现“液力闭锁”的严重后果，以致造成火炮的故障和损坏。解决这个问题的途径是在制退机内设置液体调节装置或者在制退机内预留一定的空间。

火炮的连续发射使制退机内液体温度不断升高，若温度超过制退液的沸点，液体就产生

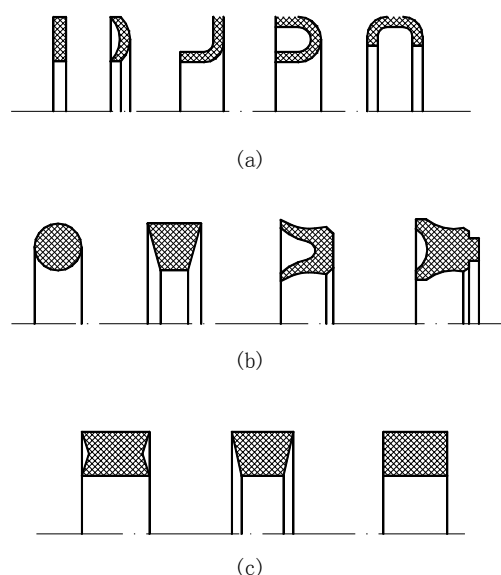


图 2-3-44 紧塞元件

(a) 皮革制品；(b) 橡胶制品；(c) 石棉制品。

气化,从而使复进不能到位。高温时,反后坐装置的紧塞装置可能发生损坏而失去紧塞性能,因而要充分考虑制退液的沸点和紧塞具热特性。一般牛皮制件工作温度不能高于 100°C ,橡胶制件不得超过 120°C 。

因此,应采取措施控制射击过程中制退机的极限温度和液体的膨胀量。通常采用如下办法:

1. 从结构设计上改善制退机的散热条件。增加其热容量(如多装液体和增加筒壁厚度)或将复进制动器独立设置等。

2. 根据火炮种类及战斗性能,确定“发射速度规定”的射击条例,载入火炮勤务指南,并严格遵守。

3. 采用保留空间法:常温下,从注满液体的制退机中再抽出一定数量的液体,预先留出一定的空间 W_i ,供受热液体膨胀。该空间可由公式计算确定。

空间 W_i 的存在,虽能容纳液体的一定膨胀量,但它对后坐制动规律有影响,且 W_i 愈大,影响也愈大。因此,一般将 W_i 限制在制退机总容量的 5% 以内。如计算出的 W_i 过大,则应考虑设置液量调节器。

4. 采用液量调节器。

(二) 液量调节器 (liquid regulator)

液量调节器是维持独立式液压制退机内液体正常体积的一种补偿装置。由温度变化和其他原因引起制退机内液体体积变化时,它能自动调节制退机内的液量。

液量调节器一般有 3 种结构。

1. 弹簧式液量调节器 (spring type liquid regulator)。见图 2-3-45(a)。调节器与制退机中的液体由隔板(或导管)上的小孔相通,制退液受热膨胀时调节器可容纳制退机内多余的液体,使各运动构件复位而不致错位。制退液冷却收缩时,调节器内的液体在弹簧的作用下被推入制退机,以保持制退机内正常的液量。这种结构作用可靠,但尺寸和质量较大。54 式和 83 式 122mm 榴弹炮制退机上已采用。

2. 气压式液量调节器 (gas type liquid regulator)。见图 2-3-45(b)。膨胀后的液体被挤入调节器,压缩其上的气体,冷却后,又被气体压回制退筒。这种调节器结构简单,质量轻,但可靠性较差。曾在 76mm 加农炮和 54-1 式 122mm 榴弹炮上采用。

上述两种结构在后坐、复进过程中,与制退机存在着液量交换,对后坐运动规律有一定的影响,为减小此影响,隔板上或导管的孔径必须很小,一般在 2mm 左右。

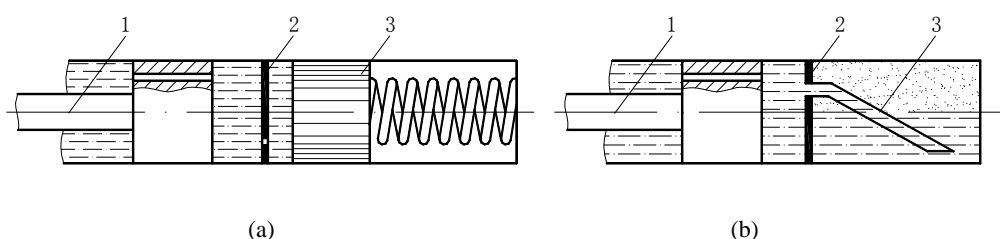


图 2-3-45 液量调节器

(a) 弹簧式; (b) 气压式。

1-制退机活塞; 2-隔板; 3-调节器。

3. 活门式液量调节器 (valve type liquid regulator)。见图 2-3-46。调节器通过单向活门与制退机连通,在后坐复进过程中,因钢珠堵住活门孔,调节器不工作。复进即将到位时,后坐部分推动顶杆打开活门,此时可以进行液量调节。这种结构虽较复杂,但作用可靠,能避免上述两种调节器的缺点。

有机联合式的反后坐装置（即制退机复进机合为一体）不需要设液量调节器，因其整个贮气贮液筒就相当于一个大液量调节器。

三、液量指示 (liquid indication)

反后坐装置中液量的多寡直接影响火炮正常射击，一般有以下 3 种方法显示其液量。

1. 液量指示器 (oil index)。见图 2-3-47。通常用于液体气压式复进机。连杆左端与复进机内游动活塞相连，右端连接上齿条。复进机内液量变化时，游动活塞通过连杆带动上齿条左右移动，经小齿轮推动与下齿条固连的指示标尺，即可判断液量是否合乎规定标准。

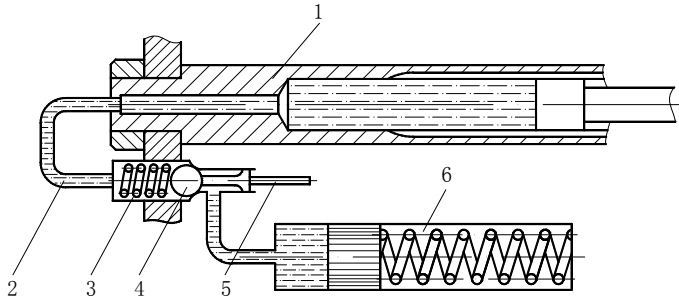


图 2-3-46 活门式液量调节器

1-制退机；2-导管；3-单向活门；4-钢珠；5-顶杆；6-调节器。

2. 指示标尺 (indication scale)。见图 2-3-48。在液量调节器的活塞上固定指示标尺。活塞随液量变化移动时，可由伸出筒外指示标尺上刻度显示。以上两种方法显示精度较高，但结构比较复杂。

3. 检查窗 (check window)。见图 2-3-49。在复进机或制退复进机的外筒或后盖上设置

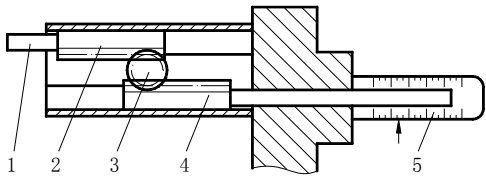


图 2-3-47 液量指示器

1-连杆；2-上齿条；3-小齿轮；4-下齿条；5-标尺。

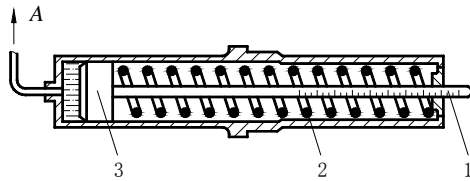


图 2-3-48 液量指示标尺

1-标尺；2-调节器弹簧；3-活塞；A-接制退机。

检查窗。窗内安装带标准液面刻线的反射镜，由检查窗可直接观察液面变化。这种方法简单、方便，但精度较差，且在气液相混产生雾化现象时，不能正确显示液量。

四、开闭器和液量检查表

(一) 开闭器 (switching device)

开闭器是液体气压式复进机上用于检查气压、液量、注气、注液或放气、放液的一种开关装置。一般设在复进机后盖（或前盖）便于操作的部位上。由于液体气压式复进机中气体都具有较高的初压力（一般地面火炮都在 3000 kPa 以上），测量其中的气压或注液、注气时必须保证安全，并且不得使气体大量外喷。为此，设置了专用的开关装置，其结构见图 2-3-50。

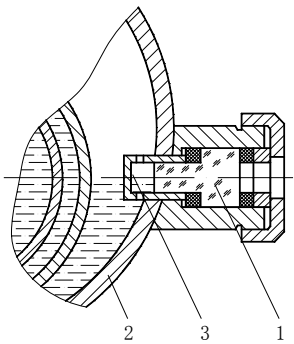


图 2-3-49 液量检查窗

1-视孔；2-外筒；3-反射镜。

复进机后盖上加工有接续管室 2 与开闭杆室 4，平时皆拧上螺盖，使用时，取下螺盖将接续管套筒及接续管旋入 2 室，安装气压表或注液注气导管；4 室内旋有开闭杆、紧定螺母及紧塞元件等。2、4 两室以垂直孔 5 相通，4 室又与纵孔 3 相通，孔 3 与弯导管 6 连通，管

6 直接插入复进机的储气筒中，管内充满液体，以阻止气体进入孔 3 中。平时利用开闭杆前端的圆锥面对孔 3 中的液体进行密闭，使其不能进入 2 室。使用时，在 2 室内拧好接续管套及气压表等之后，再用 T 形搬手轻轻拧松开闭杆，2 室才与孔 3 相通，放出弯管 6 中的液体，即可测量气压或注液、注气或放气等。操作之后，拧紧开闭杆，应重新使弯管 6 中充满液体，以对气体进行闭塞。取下气压表及接续管套，赋予炮身仰角，略拧松开闭杆，当 2 室内出现液体时，立即拧紧开闭杆，然后将螺盖分别拧在 2、4 室上。

开闭器的结构简单，设计构思可取。还可用于其他具有一定气压的装置上。

(二) 液量检查表 (liquid inspection table)

液量检查表是为检查液体气压式复进机中气体初容积是否符合设计规定的标准值，而制定的一种用液量进行判别的图表。

复进机经过长期使用或库存，液体可能溢漏，导致其中气体初压力 P_0 和初容积 W_0 改变，射击时会直接影响后坐和复进运动的规律，严重者甚至会在高射角下使炮身掉地，因此，必须在射击前对复进机的气压和液量进行检查并调整到正常范围内以确保火炮正常发射。

初压 P_0 值可用气压表装在开闭器上直接测得。

初容积 W_0 不能直接测量。但复进机筒内的容积是一定的，可以通过间接的方法测量筒内液体体积，从而得知 W_0 。

气体在复进筒内气体压力 P_0 与容积 W_0 的变化规律为：

$$P_0 W_0^n = P_l W_l^n \quad (n \text{ 为多变指数}) \quad (2-3-6)$$

一般在检查复进机时，用人工或机械拉动炮身后坐，其速度很慢，可以按等温过程处理 $n=1$ 。

P_0 和 P_l —— 气体初压力和后坐长为 l 时之压力；

W_0 和 W_l —— 气体初容积和后坐长为 l 时之容积。

$$P_0 \cdot W_0 = P_l \cdot (W_0 - A_f \cdot l)$$

$$W_0 = W_q - W_y$$

W_q 和 W_y —— 复进筒内总容积和液体容积。

A_f —— 复进活塞工作面积。

$$\text{则} \quad P_l = P_0 \left(\frac{W_0}{W_0 - A_f \cdot l} \right) = P_0 \left(\frac{W_q - W_y}{W_q - W_y - A_f \cdot l} \right) \quad (2-3-7)$$

$$\text{令} \quad K = \frac{W_q - W_y}{W_q - W_y - A_f \cdot l} \quad (2-3-8)$$

P_0 与 P_l 为线性关系，斜率为 $\tan \alpha = K$

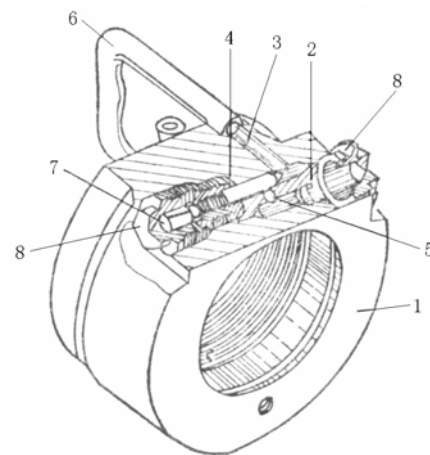


图 2-3-50 开闭器

1-复进机后盖；2-接续管室；3-纵孔；4-开闭杆室；
5-垂直孔；6-弯管；7-开闭杆；8-螺盖。

由(2-3-8)式可知,当液量 W_y 变化时, K 值就变化。如果 K 值符合原设计的标准值,说明液量也符合标准。通常将 $tg\alpha = K = P_l/P_0$ 制成图表。如图2-3-51所示。

对于同一种型号的火炮, K 为一定值,检查时当测得复进机初压力 P_0 和后坐到某一距离 l 所对应的气压 P_l 时,可从图表中查出其交点,即可知复进机液量是否在标准线上,从而判定 W_0 是否符合原设计要求。

当斜率变化时,说明液量变化。将式(2-3-8)改写成下式可判明 K 变动时液量是过多还是过少。

$$W_y = W_q - \left(1 + \frac{1}{K-1}\right) \cdot A_f \cdot l$$

由上式可见,当 K 增大时,使 W_y 增大。故知 K 与液量变动方向相同。当按测量的 P_0 与 P_l 值,在图表上查得该点落在使 α 增大处,液量过多,反之则过少。

为使用方便,可直接将增减的液量计算好的填入表内。例如,以 ΔW 表示液体体积的变化,则对于后坐到 l 长度时其对应的压力,容积关系为:

$$P_0(W_0 - \Delta W) = P'_l(W_0 - \Delta W - A_f \cdot l) \quad (2-3-9)$$

联解(2-3-7)、(2-3-9)式得:

$$\Delta W = P_0 W_0 \left(\frac{P'_l}{P_l} - 1 \right) \left(\frac{1}{P'_l - P_0} \right) \quad (2-3-10)$$

P_0 、 W_0 及 P_l 各值查设计资料即可得。

由 l 处的 P'_l 值便可算出 ΔW 值。

分别按常用范围取 $P'_l = P_l + 1, P_l + 2, P_l + 3 \dots, P'_l = P_l - 1, P_l - 2, P_l - 3 \dots$ 。

由(2-3-10)计算 ΔW ,便可得出具体的液量,填入表内即可。

测 P_l 的方法现主要有两种。

1. 人工后坐法

先测未后坐时复进机初压力 P_0 ,人工后坐到 l 长度时,再测气压 P_l ,从液量检查表上查 P_0 与 P_l 的交点即可知液量是否符合标准。此法精度高,但人工后坐时操作费力,效率较低。

2. 采用特制的检查器。

如图2-3-52所示,按一般操作要领,先测复进机的初压 P_0 后,再拧松开闭杆使复进机气室与一定容积 ΔW_0 的检查筒相通。测出复进机

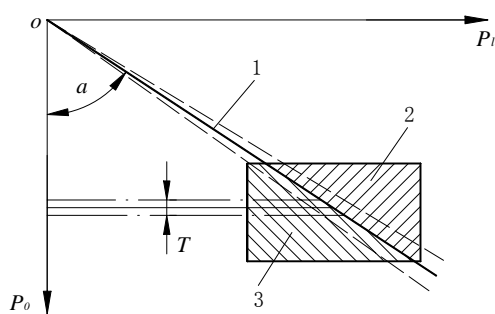


图2-3-51 液量检查原理图

1-标准液量线; 2-液量过多区;
3-液量过少区; T -初压公差。

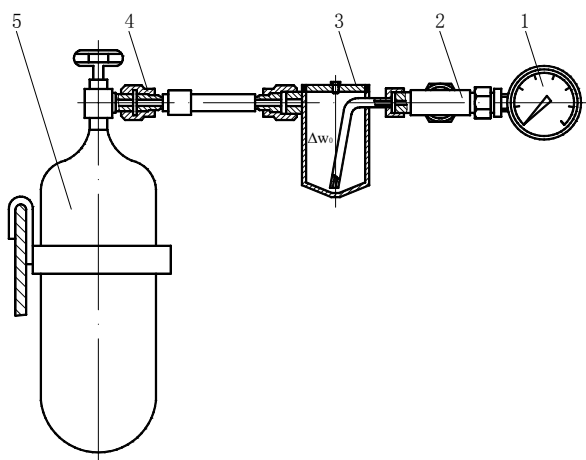


图2-3-52 复进机检查器

1-气压表; 2-三通管; 3-检查筒; 4-接头; 5-小气瓶。

内下降后的压力 P_l ，拧紧开闭杆。由 P_0 与 P_l 查液量检查表。该表由下式编制：

$$\frac{P_l}{P_0} = \left(\frac{W_0}{W_0 + \Delta W_0} \right)^n = K$$

如液量符合标准，只需打开连通的小气瓶和开闭杆将复进机气压加到标准值即可；如液量不足，向检查筒中注进所缺的液量，打开小气瓶和开闭杆，使液体压入复进机中。这种方法使用方便，不必进行人工后坐。但需有专用的检查器。表 2-3-4 为 1956 年式 85mm 加农炮复进机液量检查表。

表 2-3-4 1956 年式 85mm 加农炮复进机液量检查表

$\begin{matrix} P_l \\ P_0 \end{matrix}$	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
38	0.6	0.3		0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0																
39	1.9	1.0	0.4		0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0										多于标准液量					
40		2.0	1.0	0.4		0.2	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0														
41			2.1	1.1	0.5		0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9													
42				2.2	1.2	0.6			0.4	0.6	0.7	0.8	0.9												
43					2.3	1.3	0.6	0.2		0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0										
44						2.4	1.3	0.7	0.2		0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9									
45							2.5	1.4	0.7	0.3		0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9								
46								2.6	1.5	0.8	0.3		0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9							
47									2.7	1.5	0.9	0.4		0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9						
48										2.8	1.6	0.9	0.4		0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9					
49											2.9	1.7	1.0	0.5			0.3	0.5	0.6	0.7	0.8				
50												3.0	1.8	1.0	0.5	0.2		0.3	0.5	0.6	0.7	0.8			
51													3.1	1.9	1.1	0.6	0.2		0.3	0.4	0.6	0.7	0.8		
52		少于标准液量												3.2	2.0	1.2	0.6	0.3		0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	
53															3.3	2.0	1.2	0.7	0.3		0.2	0.4	0.5	0.6	0.7
54																3.4	2.1	1.3	0.7	0.4		0.2	0.3	0.5	0.6
P_0 ：复进机初压力 P_l ：后坐 150mm 时复进机压力 液量在标准范围内 注：调整液量后需再行检查																									

五、制退液

火炮反后坐装置中所注入的液体称为火炮制退液（recoil liquid for gun），它是制退机和复进机的工作介质，起到传递压力、吸收能量、密封气体和进行润滑的作用。制退液的性能可直接影响火炮在规定的气温条件下的正常工作和持续射击，所以火炮制退液需满足以下要求：

- 1. 凝固点要低，沸点要高。我国幅员广大，北方冬季最低温度可达 -45°C ，夏季沙漠地区最高温度可达 $+50^{\circ}\text{C}$ 。因为火炮在各种气象条件下都能使用，要求制退液在此温差范围内不凝固、不沸腾，保持较好的流动性。
- 2. 热容量要大，气化热要高。火炮射击时，其后坐能量经过反后坐装置作用，大部分能量为制退液所吸收，转换为制退液的温升。热容量大可在吸收相同能量下，降低制退液每发的温升值。沸点越高的制退液，一般其气化热也越高。容许持续发射的弹数也越多，这样

有利于提高火炮的发射速度和持续作战时间。

3. 密度和粘度较大而且随温度变化要小。制退液的密度和粘度越大，单位体积的液体从静止加速到一定速度所消耗的能量就越大。在消耗相同的后坐能量下，密度和粘性大的制退液可减小制退机的结构尺寸。一般液体的密度和粘度随温度升高而减小，致使后坐阻力减小，后坐长度增长。连续发射时，制退液温度可接近沸点，如密度和粘度变化过大，将使火炮的受力和运动规律严重偏离设计要求，甚至使火炮不能正常工作。

4. 化学稳定性要好。一方面保证在长期保管中及各种温度和压力下不变质，不改变液体的组分和性质；另一方面保证液体不腐蚀金属和密封元件。

5. 来源要丰富，生产简便，价格便宜，并保证战时能大量及时的供应。

6. 无毒无害。保证生产和部队勤务人员的安全。

目前我国装备的火炮采用的制退液主要是斯切奥尔液和斯切奥尔-M 液。在一些旧式火炮上也有采用 AY-锭子油的。

斯切奥尔和斯切奥尔-M 液中的铬酸钾（ $K_2Cr_2O_3$ ）是良好的阻化剂，它可以减低制退液对钢铁的腐蚀。氢氧化钠（ $NaOH$ ）可使液体略带碱性以保持其性能的稳定，减缓变酸的过程。以甘油为基础的制退液的优点是比热和比重大，对紧塞元件不浸润溶胀，低温粘度小。它的缺点是成本高，沸点低，换油期短，高压下易被氧化变酸，以铬酸钾为阻化剂时在光和热作用下会发生氧化还原作用，使制退液变酸，尤其对铜质零件腐蚀严重。近年来曾把制退液中的铬酸钾改用磷酸氢二钠及硼砂作阻化剂制成 691 制退液。因为在使用中发现它对钢腐蚀严重，这比腐蚀铜更坏，所以已停止使用。

另外，西方各国多采用以石油产品为基础油的制退液。比较明显的优点是来源丰富和价格便宜，但比重较小，粘性随温度变化较大。因而所需的液量大，有时不得不另设贮液筒。

第四章 自动机

第一节 概述

根据火炮射击自动化的程度，可将火炮分为自动炮、半自动炮和非自动炮 3 类。

自动炮 (automatic gun) 是指能自动完成重新装填和发射下发炮弹的全部动作的火炮。这些动作一般包括：击发、收回击针、开锁、开闩、抽筒、抛筒、供弹、输弹、关闩和闭锁。若上述动作一部分自动完成，另一部分由人工完成，则此种火炮称为半自动炮 (semi-automatic gun)。若全部动作均由人工完成，则称为非自动炮 (no-automatic gun)。自动炮能进行连续自动射击，直至射手停止射击或弹夹 (弹匣或弹带) 内的炮弹耗尽 (或剩一发) 为止，而半自动炮和非自动炮则只能进行单发射击。

火炮自动机 (automatic mechanism of gun, 以下简称自动机) 是自动炮的核心部分，是自动完成重新装填和发射下发炮弹实现连发射击的各机构的组合。通常，自动机从工作原理讲，应包括下述各机构 (装置或构件)：

炮身 (barrel assembly)：包括身管、炮尾和炮口装置。与非自动炮一样，身管的作用是赋予弹丸一定的飞行方向和炮口速度，并使其具有一定的自转角速度。

炮闩 (breechblock)：包括关闩、闭锁、击发、开门和抽筒等机构。与这些机构相对应，它将完成开闩和关闩、开锁和闭锁、击发、抽筒等动作。

供弹和输弹机构 (feeding and ramming mechanism)：用来依次向自动机内供给炮弹，并把最前面的一发输入膛。

反后坐装置 (recoil and counter recoil mechanism) 和缓冲装置 (buffer mechanism)：用以吸收未被自动机工作所消耗的后坐动能，控制火炮的后坐与复进运动，并减小射击时作用于炮架的力。

发射机构 (firing mechanism)：用以控制火炮的射击。

保险机构 (safety mechanism)：用于保证各机构可靠地工作和正确地相互作用，以及保障勤务操作的安全。

除上述主要机构 (装置或构件) 外，自动机还有若干辅助机构。例如，为第一次装填、更换身管和分解结合自动机等所设置的机构。采用这些机构，可以减少操作和减轻炮手的体力消耗。

自动机的这些机构，依靠炮箱 (或摇架) 组成一个整体，并安装在炮架上。

自动炮按其用途又可分为陆用自动炮、航空自动炮和舰艇自动炮等。虽然这些自动炮的自动机由于使用条件不同而有所差异，但在设计理论方面是基本一致的。

对于自动炮来说，火炮发射速度是其主要战术技术指标。发射速度 (rate of fire)，又称射速，概括地说是指火炮在单位时间内能够发射的弹数。具体地说，则分为理论射速 (射击频率)、实际射速和极限射速。

理论射速 (cyclic rate of fire)，是指在不考虑外界条件的影响下，自动机在单位时间内可能发射的弹数 (即自动机工作的循环次数)。可见，理论射速取决于自动机工作循环时间。在自动连续射击时，相继的两次击发 (或其它动作) 间的工作过程称为自动机的一个工作循环，其延续时间 (即一个周期) 称为自动机的循环时间。理论射速

$$n = \frac{60}{T} \quad (\text{r/min})$$

式中， n 为每分钟发射的发数， T 为自动机的循环时间，以秒表示。

理论射速是自动机的一个主要特征数。理论射速的大小主要取决于火炮的口径、炮弹的

尺寸和质量。自动机及其各机构的作用原理和构造，对理论射速也有很大影响。为了提高理论射速，可以采用以下措施：缩短后坐部分和其它运动构件的行程，增大运动构件的速度；减少“死时间”（即各运动构件相互等待的时间），使各自动动作和各机构的工作过程在时间上重叠起来。

实际射速（actual rate of fire），是指把瞄准、修正瞄准、重新装填（更换弹夹、弹匣或弹带）以及更换或冷却身管所需时间考虑在内时，自动炮在单位时间内所能发射的弹数。由此可见，实际射速和理论射速不同，它是考虑到战斗使用时各种条件的特征数。为了提高实际射速，可采取以下措施：提高理论射速；采用连续供弹装置；采用良好的身管冷却装置；采用与改进追随空中目标的随动系统；采用自动停射器等。

通常，把理论射速和实际射速统称为射速。几种高射炮的发射速度见表 2-4-1。

表 2-4-1 高射炮发射速度表

项目 炮种	循环时间（s）	理论射速（r/min）	实际射速（r/min）
65 式 37	0.375~0.333	160~180	80~100
59 式 57	0.522~0.50	105~120	50~60
59 式 100	3.60~3.74	16~17	~15

极限发射速度（utmost rate of fire），又称发射速度规定，就是在一定时间内持续射击，在不损害火炮技术性能条件下，所允许发射的最大弹数。高射炮的极限发射速度，一般是根据持续射击时炮身升温情况确定的。通常限制炮身的最高温度，对小口径高射炮为 400~450℃，对中口径高射炮为 350℃（一般测量身管口部外表面）。这样可以避免身管材料的机械性能降低太多，炮膛烧蚀和磨损太快。3 种高射炮的极限发射速度见表 2-4-2。

表 2-4-2 极限发射速度表（一个身管的发数）

炮 种	条件	射 击 持 续 时 间						
		10 s	20 s	40 s	1 min	2 min	5 min	15 min
65 式 37	夏季	30	45	70	90	120	200	250
	冬季	30	45	70	90	120	200	300
59 式 57		18	30	40	50	60	75	
59 式 100	夏季	（风速>5m/s）					7	18
	冬季	（风速>5m/s）					8	20

现代空中目标的飞行速度不断提高，目标位置变化极快，使得每发弹丸的命中公算变得极小。为了捉住战机消灭目标，必须增加射击的火力密度，即增加单位时间内对目标的射弹数，亦即提高射速。射速越大，火力密度越大，命中公算也就越大。由此可见，从战术的观点出发，希望自动炮的射速越大越好。但是，射速的增大会受到技术条件的限制。

同时，火炮自动机有固定一种射频的，也有两种射频或 3 种射频的。称有一种射频以上的自动机为变射频自动机。变射频是根据战术上的使用要求而提出的。现代火炮自动机具有多用途性，可对付空中的快速飞行目标，也可对付地面上慢速运动的目标。对付空中目标无论从提高毁歼概率的角度出发，还是从提高武器系统生存能力、自卫能力的角度出发都要求火炮自动机具有较高的射频。当自动炮对地面目标射击时，对于高射速的高射武器，为了更有效地利用炮弹，可降低射速使用。对于步兵战车的车载自动炮，主要对付地面轻型装甲车辆，并要求较高的命中率，为此也要用较低的射频进行射击。高射速是对飞行目标提高毁歼概率所追求的。但同时高射速又给自动机带来高的运动速度、高的撞击速度，最终影响是加

大身管的炮口振动。弹丸始终是在炮口振动中射出,影响射击密集度,加大了射弹散布。这样的射速对首发命中率要求较高的地面装甲目标射击显然效果是不好的。降低射频主要是为了减小火炮振动对射击精度和散布的影响,以提高命中率,同时又能见有效地减少弹药的消耗。

为了提高射击效果,对不同运动速度和性质的目标采用不同的射速,是变射频的基本设计指导思想。这一设计思想在实践中被证明是正确的。如某 25mm 战车炮,射击条件相同,只改变射频,其立靶密集度值有明显的不同:

射频 100 r/min 时,立靶密集度小于 1.0 密位 \times 1.0 密位;

射频 400 r/min 时,立靶密集度为 2.0 密位 \times 3.0 密位。

我国在已装备的产品上最早应用变射频技术的是 $\times\times$ 年式双联 30mm 舰炮,自然射频为 1000 r/min,控制射频为 250~400 r/min。用自然射频对付空中目标,用控制射频对付海(岸)上目标。国外较早采用变射频的火炮有美国 M 163 式 20mm 6 管自行高炮、M 167 式 20mm 6 管牵引高炮,对空射击射频为 3000 r/min,对地面目标射击射频为 1000 r/min。3000 r/min 射频时,后坐力为 7170 N,1000 r/min 射频时,后坐力为 2390 N。减少后坐力,同样有助于提高射击密集度。

第二节 自动机工作原理

随着科学技术和战术的不断发展,为了适应不同条件下作战的需要,产生了各种型式的花炮自动机。为了科学地分析和综合地研究各种自动机,需要根据其特点进行分类。根据自动机利用能量的不同和结构的特点,把火炮自动机分成以下几类:

第一类 后坐式自动机(recoil operated automatic mechanism)——利用后坐能量的自动机。

第二类 导气式自动机(gas operated automatic mechanism)——利用从炮膛中导出火药燃气能量的自动机。

第三类 转膛式自动机(revolving chamber automatic mechanism)——利用后坐或从炮膛中导出的火药燃气能量使几个药室转动的自动机。

第四类 转管式自动机(revolving barrel automatic mechanism)——利用外部能源使几个身管转动的自动机。

第五类 链式自动机(chain automatic mechanism)——利用外能源通过链条带动闭锁机构工作的自动机。

下面,分别对各类自动机进行一些分析、研究,以便掌握其特点和优缺点,为设计时正确地选择和确定新自动机的类型及总体结构创造条件。

一、后坐式自动机

这类自动机的共同作用原理是利用后坐动能使自动机各机构工作。根据利用后坐动能的不同方法,可将此类自动机划分为 3 种:

炮闩后坐式自动机(bolt recoil operated automatic mechanism)——炮身不动,或只作很小的缓冲运动,主要利用炮闩后坐动能进行工作的自动机。

炮身短后坐式自动机(barrel short recoil operated automatic mechanism)——炮身后坐长小于炮弹长,利用炮身和炮闩后坐动能进行工作的自动机。

炮身长后坐式自动机(barrel long recoil operated automatic mechanism)——炮身后坐长大于炮弹长,利用炮身和炮闩后坐动能进行工作的自动机。

1. 炮闩后坐式自动机

如图 2-4-1 所示,这组自动机的炮身与炮箱为刚性联接,炮闩在炮箱中后坐和复进,并

为带动各机构工作的基础构件。发射时，作用于药筒底的火药燃气压力推动炮闩后坐，抽出药筒，并压缩炮闩复进簧以贮存能量。炮闩在其复进簧作用下作复进运动的同时，把炮弹推送入膛。这种自动机的供弹机构的工作，通常利用外界能源，例如，弹匣或弹鼓中的弹簧能量，当然也可利用炮闩的能量。

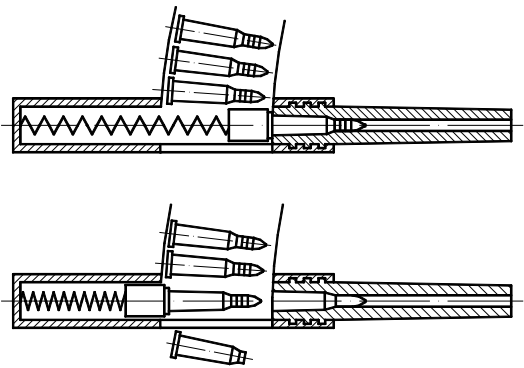


图 2-4-1 炮闩后坐式自动机

炮闩后坐式自动机根据炮闩运动的特点还可分为自由炮闩式自动机和半自由炮闩式自动机。自由炮闩式自动机具有自由的炮闩，发射时，炮闩不与身管相联锁，它主要依靠本身的惯性起封闭炮膛的作用。击发后，当火药燃气推药筒向后的力上升到大于药筒与药室间的摩擦力和附加在炮闩上的阻力后，炮闩就开始后坐并抽筒，因此这种自动机抽筒时膛内压力较大，容易发生拉断药筒的故障。为了减小炮闩在后坐起始段的运动速度，就得加大炮闩的质量。可见，具有笨重的炮闩是自由炮闩式自动机的特点。

自由炮闩式自动机的优点是结构简单，理论射速高。缺点是抽筒条件差、故障多，炮闩重。这种原理过去曾应用于小威力的火炮自动机。例如，瑞士厄利空（Oerlikon）20mm 高射炮用过，现在已很少采用。

采取某种机构来阻滞炮闩在后坐起始段运动的自动机称为半自由炮闩式自动机，这种原理在火炮自动机中也很少采用。

2. 炮身短后坐式自动机

如图 2-4-2 所示，这组自动机的身管与炮尾在炮箱或摇架内后坐与复进。炮身是带动各机构工作的基础构件。击发后，炮身与炮闩在闭锁状态下一同后坐一短行程（约占炮闩行程的 $1/2 \sim 2/3$ ），在后坐或复进过程中，利用开锁机构完成开锁、开门和抽筒。图 2-4-2 中， λ_{ps} 是炮身后坐长度， λ_{st} 为炮闩后坐长度。炮身短后坐式自动机的优点是：可以控制在后效期末时开锁、开门和抽筒，所以抽筒条件好，后坐力较小；循环时间短，理论射速高。缺点是结构较复杂。在火炮自动机中，炮身短后坐原理应用得很广泛。几乎各种中、小口径的火炮自动机都有采用炮身短后坐原理的例子，如：瑞士苏罗通-20、苏 HC-23、我国的 65 式 37、59 式 57 等自动炮。

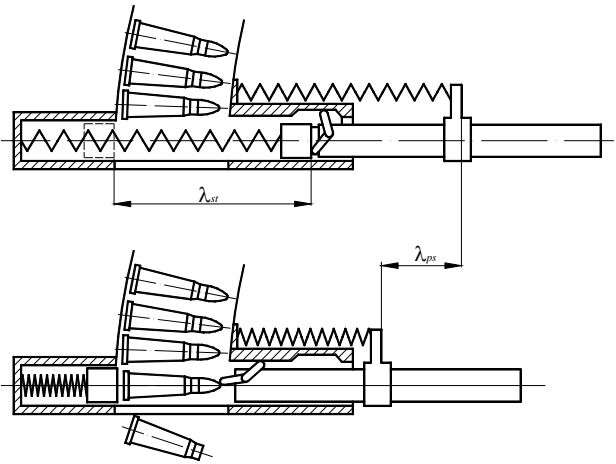


图 2-4-2 炮身短后坐式自动机

炮身短后坐式自动机，根据炮身和炮闩运动的不同的相互关系，还可对应有多种循环图。

3. 炮身長后坐式自动机

如图 2-4-3 所示，这组自动机的基础构件是炮身和炮闩。击发后，炮身与炮闩一起后坐

(其后坐长略大于炮弹长), 开始复进时, 炮门被发射卡锁卡在后方位置, 炮身继续复进完成开锁、开闩和抽筒动作。炮身复进终了前, 通过专门机构解脱炮闩, 炮闩便在复进簧作用下输弹入膛, 并进行闭锁和击发。这组自动机的优点是后坐力小, 结构比炮身短后坐式的简单。理论射速低是这组自动机的重大缺点, 其原因是后坐长度长后, 炮身后坐和复进时间就长, 加上各机构又依次动作, 所以自动机循环时间就比短后坐式自动机要长得多, 理论射速也就低得多。例如, 德国克鲁伯-37 自动机的理论射速仅 120 r/min, 维克斯-37 自动机的理论射速仅 100 r/min。正因为如此, 长后坐式自动机未被广泛采用。

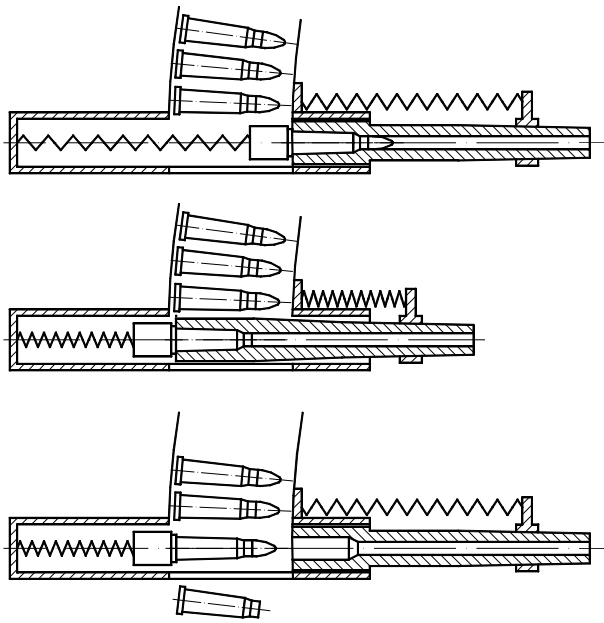


图 2-4-3 炮身长后坐式自动机

二、导气式自动机

又称气退式自动机。它是利用由炮膛内导出的火药燃气的能量来使自动机各机构工作。根据炮身和炮闩运动关系的不同, 可把此类自动机分为两种。

炮身不动的导气式自动机——炮身与炮箱刚性联接的导气式自动机。

炮身运动的导气式自动机——炮身可沿炮箱后坐与复进的导气式自动机。

1. 炮身不动的导气式自动机

如图 2-4-4 所示, 这组自动机的炮身与炮箱为刚性联接, 不能产生相对运动。但是, 为了减小后坐力, 这组自动机通常都在炮箱与摇架间设有缓冲器。这样, 整个自动机要产生缓冲运动。

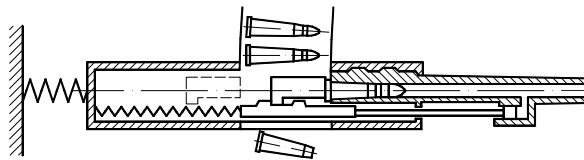


图 2-4-4 炮身不动的导气式自动机

击发后, 当弹丸经过身管壁上的导气孔后, 高压的火药燃气就通过导气孔冲入导气装置的气室, 推动气室中的活塞运动, 活塞带动活塞杆并使自动机活动部分向后运动, 进行开锁; 而后带动闩体进行开门和抽筒, 与此同时压缩复进簧并带动供弹机构工作。炮闩后坐停止后, 在其复进簧作用下复进并推弹入膛, 而后闭锁、击发, 完成一个射击循环。属于这组的自动机有: 英国 MK-20、苏 Б-20、ВЯ-23、AM-23 等。

2. 炮身运动的导气式自动机

如图 2-4-5 所示, 这组自动机的炮身可沿炮箱后坐与复进, 而炮箱与摇架之间为刚性联接。这组自动机的工作情况与炮身短后坐式自动机有些相似, 不过, 这时起加速机构作用的是导气装置, 它带动炮闩进行开锁、开闩、并使供弹机构工作。这组自动机的供弹台是不动的, 因此对供弹无不利影响。与第一组相比, 这组自动机的理论射速要低些, 机构也要复杂些, 因此, 在导气式自动机中应用得较少。法国哈其开斯-25 和 37 自动机属于这种型式,

它的供弹方式是弹匣供弹，亦即供弹利用了外界能量。如果供弹机构不依靠外界能量而由炮身运动来带动，那末自动机工作既利用了导气的能量，又利用了后坐能量，这样的自动机称为混合式自动机，德国 41 式 50 和 43 式 37 自动机就是混合式自动机。

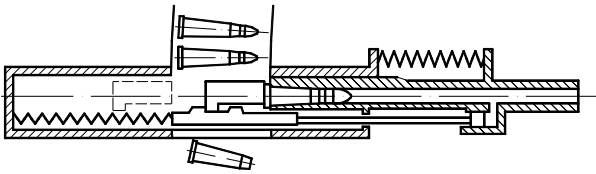


图 2-4-5 炮身运动的导气式自动机

导气式和混合式自动机还可采用复进击发（浮动）原理来减小后坐力，提高理论射速和改善射击密集度。

导气式自动机活动部分质量较轻，通过调整导气孔的大小可以大幅度地改变火药燃气对活塞作用冲量的大小，因此导气式自动机的理论射速较高，而且自动机机构也比较简单，这是主要优点。但由于火药燃气对活塞作用的时间较短，所以活动部分必须在很短时间内获得所需的后坐动能，这样，活动部分运动初期的速度和加速度就比炮身后坐式的大得多，而且容易产生剧烈的撞击，这就是导气式自动机的缺点。

导气式自动机通常应用于口径小于 37mm 的自动炮，口径越小，导气式自动机的优点越显著。现代 20mm 口径的自动炮绝大部分是采用导气式自动机，并且应用了浮动原理。例如，瑞士 H·S·820，西德 MK 20 Rh 202 及瑞士 GDF-003 型双管 35 自动炮等。

三、转膛式自动机

转膛式自动机（图 2-4-6）的特点是炮身由两段所组成，后段具有多个能旋转的药室（一般 4~6 个药室），每发射一次，药室转动一个位置。药室转动和供弹机构的工作，可以利用炮身后坐能量，也可利用导气的能量。由于这类自动机具有多个药室，所以自动机各机构的工作在时间上可以互相重叠或同时进行。例如，在药室 2 进行发射的同时，其它药室可进行输弹和抽筒。

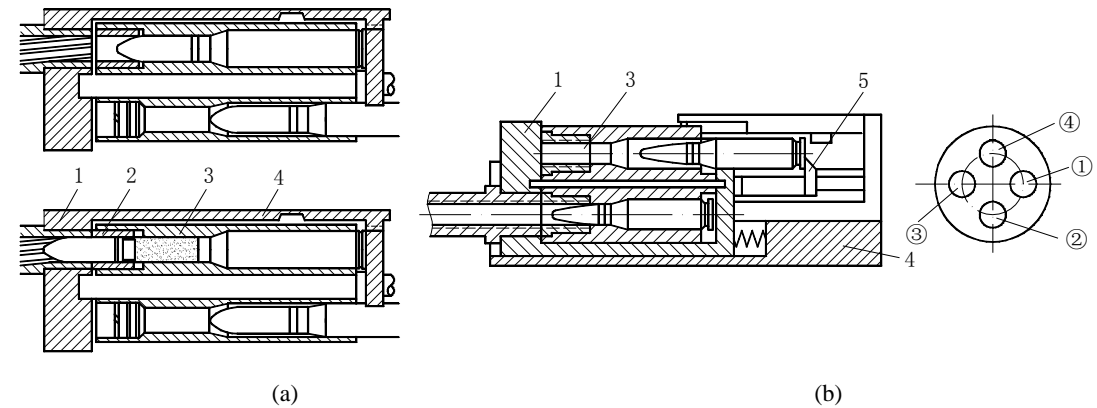


图 2-4-6 转膛式自动机原理图

(a) 局部；(b) 全局。

1-炮尾；2-衬套；3-药室；4-炮箱；5-输弹器。

转膛式自动机的身管与旋转的药室可在炮箱内后坐与复进，以减小后坐力。为了缩短点燃装药的时间并提高可靠性，采用电底火引燃装药。发射时，药室②的电路接通，点燃装药，弹丸的弹带在挤入衬套内的膛线时，使衬套向前移动，紧紧抵住身管前段，以便弹丸能顺利地通过两段炮膛的连接处，在弹带进入身管前段后，由于火药燃气对衬套后端面的压力，迫使衬套紧紧抵住身管前段，减少了火药燃气的泄漏。炮身后坐时带动输弹器向后运动，并使

供弹机构工作,药室③则进行抽筒(利用导气的能量)。炮身后坐停止后,在复进簧的作用下复进,并带动药室旋转一个位置。在炮身复进到位和药室旋转到位后,电路接通,点燃第二发炮弹的装药,开始第二个循环。在复进末期,开始第3发炮弹的输弹,直到第二次后坐末期炮弹完全进入药室④。图 2-4-7 是转膛式自动机的位移-时间循环图。利用它可清楚地显示上述动作过程。

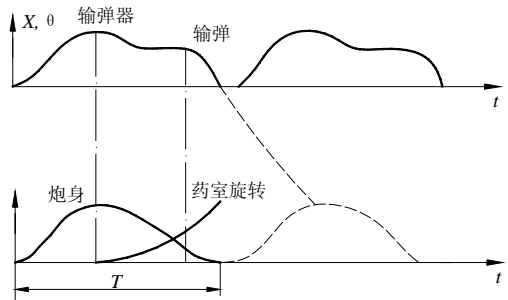


图 2-4-7 转膛式自动机循环图

转膛式自动机的优点是理论射速高。例如,69 式 30 舰炮理论射速达 1050 r/min,美国 MK II 双管 20 自动炮理论射速为 4000 r/min。缺点是:横向尺寸大、质量大、炮膛连接处漏气使初速下降,人员不能靠近。因此,这类自动机仅应用于遥控操作的航炮和舰炮上。

四、转管式自动机

这种自动机是火炮发展中的新结构,它是利用外界能源完成自动动作的。一门火炮由几根身管组成,这些身管围绕着同一轴线平行地安装在一个圆周上,发射时身管都围绕着这一轴线旋转,一次只有一根身管发射,而其余的身管则分别进行装填、闭锁和抽筒等动作。

图 2-4-8 所示为一个六管转管自动炮。六管共用一个供弹系统和一个发射系统,并采用同样的炮闩。六个炮闩由一条凸轮环带依次带动。自动机的驱动动力是马达。发射时,装填、闭锁、击发和抽筒等动作时间是重迭的,因此具有较高的射速。这类自动机的优点是:

1. 理论射速很高,并且可以根据不同情况加以改变。由于采用外部能源,因此比利用火药燃气能量对设计的限制要小。可以选择适当的方案实现很高的理论射速,例如美国“伏尔肯”20 六管航空炮,理论射速达到 6000 r/min。如果改变传动装置的速比可以方便地改变理论射速,例如美国“伏尔肯”20 六管牵引高射炮,当对空射击时理论射速为 3000 r/min,对地射击时为 1000 r/min。

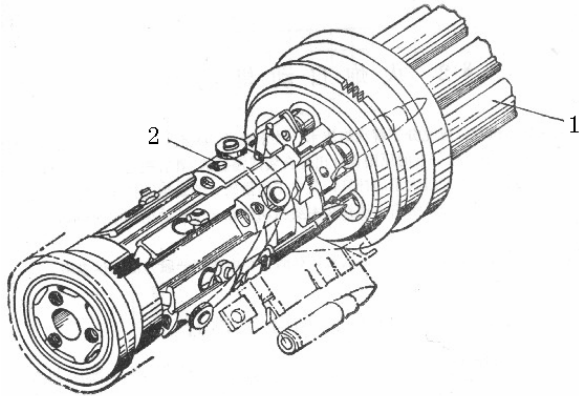


图 2-4-8 身管旋转式自动机原理

1-身管; 2-炮闩。

2. 在相同的威力条件下,多管武器总的体积及重量比同样门数的单管武器的体积及重量之和要小。
3. 自动机的工作与炮弹发火情况无关,因此消除了一般自动机由于炮弹不发火而引起的故障,提高了可靠性。
4. 电底火可以缩短点燃装药的时间,提高可靠性。

这类武器的缺点是:

1. 必须有迟发火的保险装置。由于自动机工作与炮弹发火情况无关,因此,当由于弹药受潮等原因引起迟发火时,可能在膛压很大时开锁和开门,发生事故。因此必须设置保险装置,在迟发火时使炮闩延迟开门。

2. 由于射击时火药燃气对膛底作用力直接传给炮箱,因此需要采用整个自动机缓冲的

方法减小后坐力。

3. 必须有外部能源。

五、链式自动机

利用外能源通过链条带动闭锁机构工作的自动机。主要环节是由一根双排滚柱链条与4个链轮组成的矩形传动轨道。直流电机通过一组螺旋伞齿轮带动装在炮箱前方的立轴，然后直接驱动主动链轮和供弹系统。链条的主链节上固定有一垂直短轴，上面装有炮门滑块（T形），与炮门支架下部滑槽相配合。当链条转动带动滑块前后移动时，臼体支架也同时被带动在纵向滑轨上作往复运动（见图

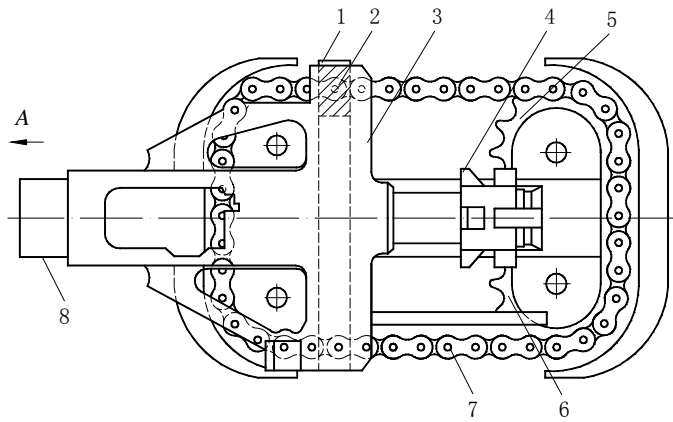


图 2-4-9 链式自动机结构原理图

1-炮门滑块；2-主链节；3-炮门支架；4-炮门；5-惰轮；
6-主动链轮；7-链条；8-纵向滑轨；A-炮口方向。

2-4-9)。臼体支架到达前方时，迫使臼体沿臼体支架上的曲线槽作旋转运动而闭锁炮膛。臼体支架向前时完成输弹、闭锁、击发动作；臼体支架向后时，完成开门、抽壳等动作。炮门滑块横向往右移动时，将在 T 形槽内滑动，臼体支架保持不动。支架在前面时为击发短暂停留时间，在后面时为供弹停留时间。链条轨道的长度和宽度根据炮弹的长度和循环时间的关系确定，射手可在最大射速范围内，根据需要由直流电机无级调整射速。

链式自动机的主要特点如下：

1. 链式自动机简化了自动机本身的结构，即无输弹机，无炮门缓冲器、无反跳锁机构，但增加了供弹系统的动力传动机构和控制协调机构。
2. 炮门通过炮尾直接与身管连接，炮箱不受力，使炮箱这个结构最复杂的部件得到简化，易加工，寿命长。这是与一般结构自动机的明显区别。
3. 链驱动炮门复进、闭锁、击发、开门、抽壳、供弹，运动平稳，撞击小，既可提高自动机零部件寿命，又有助于提高射击密集度。

第三节 加速机构

对炮身短后坐式自动机中的纵动式炮门而言，在后坐过程中将炮身的一部分动能传递给炮门，使炮门与炮身产生相对运动以完成开门动作的机构，叫做加速机构（accelerating mechanism）。有时为了提高炮门复进速度，也设置复进加速机构。横动式炮门的输弹器有时也装有加速机构。在自动炮中，常见的加速机构有如下几种类型。

1. 杠杆式加速机构

杠杆式加速机构的动作原理是利用后

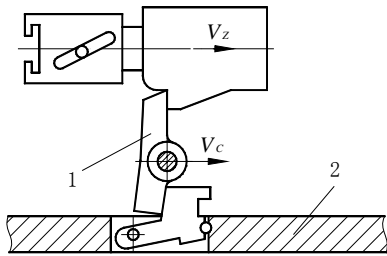


图 2-4-10 杠杆式加速机构简图

1-加速臂；2-炮箱。

坐时的冲击，将一部分后坐动能通过杠杆传给炮闩。加速臂可以固定在后坐部分上（见图 2-4-10），也可以固定在不动的炮箱上。图中： V_C ——炮身后坐速度， V_Z ——炮闩后坐速度。

这种加速机，结构简单，但有剧烈的撞击，将会降低零件寿命和影响动作的可靠性。

2. 凸轮式加速机构

凸轮式加速机构的工作原理与杠杆式加速机相同，只是加速臂工作表面为凸轮曲线形，如图 2-4-11 所示。

这种加速机构的传速比逐渐增大，工作时间长，作用平稳可靠，但形状复杂。23mm 航空机关炮属于这种型式。

3. 杠杆-卡钣式加速机构

这种型式的加速机构工作平稳可靠。57mm 高射炮就属此类型，如图 2-4-12 所示。

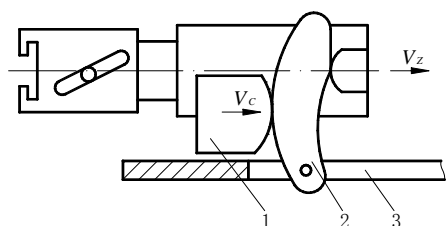


图 2-4-11 凸轮式加速机构简图

1-炮身冲铁；2-加速臂；3-炮箱。

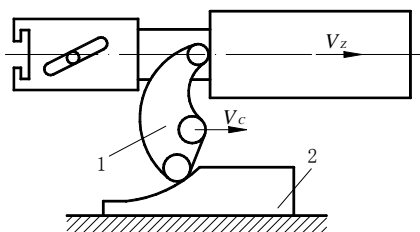


图 2-4-12 杠杆-卡钣式加速机构简图

1-加速臂；2-卡钣。

4. 齿条式、齿条-卡钣式加速机构

齿条式加速机构由齿轮、齿条组成（图 2-4-13）。大小齿轮同轴，此轴联接在后坐部分上，小齿轮与固定齿条啮合，大齿轮与炮闩上的齿条啮合。当炮身后坐时，由于固定齿条的作用，通过齿轮组传动使炮闩加速后坐。炮闩对炮身的传速比为：

$$K = 1 + \frac{R}{r} = \text{常数}$$

式中： R 和 r 分别为大小齿轮的节圆半径。

这种结构很复杂，且传速比为常数，开始加速瞬间将产生很猛烈的撞击。

为了减小撞击，可将固定齿条改为带有齿弧的凸轮和卡钣，并将带有齿弧的凸轮联接在后坐部分上，而将卡钣固定在炮箱上，也可将卡钣固定在后坐部分上，带有齿弧的凸轮固定在炮箱上，如图 2-4-14 所示。

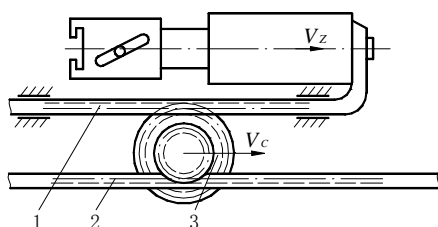


图 2-4-13 齿条式加速机构简图

1-炮闩齿条；2-固定齿条；3-大小齿轮。

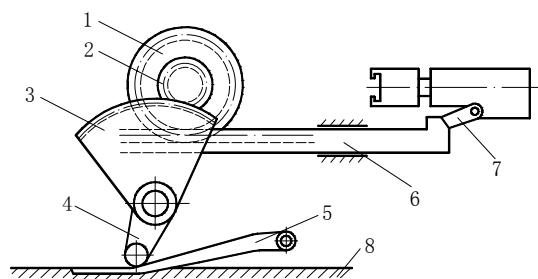


图 2-4-14 齿条-卡钣式加速机构简图

1-大齿轮；2-小齿轮；3-凸轮；4-滚轮；
5-卡钣；6-齿条；7-中间卡锁；8-后坐部分。

5. 液压式（或液体气压式）加速机构

图 2-4-15 为液压式加速机构示意图。联接在炮身上的卡钣，在复进时作用于大活塞杆，使大活塞上升，迫使液体经管路推动小活塞，带动炮门向后运动。它的优点是动作平稳可靠。但结构复杂。

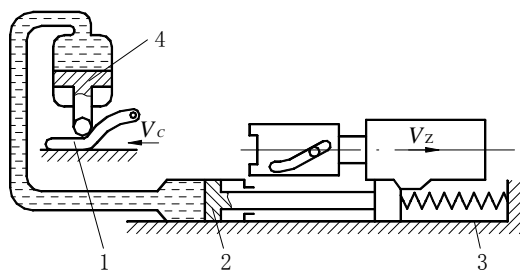


图 2-4-15 液压式加速机构简图

1-卡钣；2-小活塞；3-炮箱；4-大活塞。

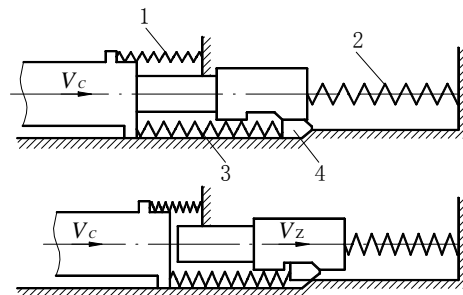


图 2-4-16 弹簧式加速机构简图

1-炮身复进簧；2-炮门复进簧；3-加速机簧；4-加速块。

6. 弹簧式加速机构

苏罗通-37 自动炮的加速机构属于弹簧式，其结构原理如图 2-4-16 所示。当炮身、炮门一同后坐时，加速机弹簧被压缩，后坐一定距离后，此弹簧被解脱而伸张，推动炮门加速后坐。它的结构复杂，工作可靠性差。

第四节 供输弹机构

供弹机构用来依次把炮弹送到输弹起始位置。输弹机构则把在输弹出发位置的炮弹输入炮膛。供弹和输弹机构的结构和型式，在很大程度上决定了整个自动机结构的复杂程度和可靠性，并直接影响自动机的发射速度。

一、供弹方式的选择

自动炮的供弹方式（mode of feeding）有：弹夹供弹、弹链供弹、弹鼓供弹和弹匣供弹等。

目前，37mm 以上的小口径自动炮广泛采用弹夹供弹（例如：65 式 37 高炮和 59 式 57 高炮等）。为了便于操作，一夹炮弹的质量不应大于 30 Kg，因此弹夹上的炮弹数一般只有 4~5 发。为了保证连续射击，需要人工及时地供给炮弹，因此容易产生故障（例如 65 式 37 高炮的“骑马弹”、“卡弹”等故障），还会由于炮手来不及供给炮弹而造成停射（例如 59 式 57 高炮）。

口径在 37mm 以下的自动炮广泛采用弹链供弹（例如：30-1 航炮和 61 式 25 舰炮等）。弹链上炮弹的数量可以在很大范围内变化，因而便于实现较长的连射，自动机的轮廓尺寸及质量也比采用弹夹供弹小。弹链供弹的缺点是更换弹链的时间较长，把炮弹装入弹链和弹箱也较麻烦。采用弹链供弹时，需要考虑装满炮弹和弹链的弹箱质量要恰当，以便战斗中能迅速更换弹箱。当弹箱不随起落部分起落时，还应考虑如何导引弹链和炮弹顺利地进入自动机。

弹鼓供弹和弹匣供弹应用于口径在 35mm 以下的自动炮。弹鼓内炮弹的容量比弹匣要大几倍，因此可实现较长的连射。弹鼓和弹匣供弹与弹链和弹夹供弹相比较，自动机的结构比较简单，故障率小，更换弹鼓和弹匣也比较方便。有些采用弹鼓和弹匣供弹的自动机，当加上附加装置后就可采用弹链供弹，这就提高了自动机的通用性。

为了提高威力，要求进一步提高自动炮的发射速度，目前，解决供弹问题已成为自动炮设计中的关键问题之一。

在供弹和输弹过程中，炮弹必须经过 3 个严格确定的位置：在等待压到输弹线上时所占

据的位置称为进弹口，在等待输弹入膛时所占据的位置称为输弹出发位置；输弹到位时炮弹所占据的位置就是药室。

上述 3 个位置把炮弹的运动分成 3 个阶段：把炮弹前移一个炮弹节距、并依次将当前的一发炮弹拨到进弹口的运动称为拨弹（transferring）；把进弹口的炮弹压到输弹出发位置的运动称为压弹（pushing）；把输弹出发位置的炮弹输入药室的运动称为输弹（ramming）。拨弹和压弹统称为供弹（feeding），完成拨弹和压弹的机构称为供弹机构（或压弹机构），输弹则由输弹机构或能起输弹作用的纵动式炮门完成。

二、对供弹和输弹机构的要求

1. 供弹台在射击过程中应固定不动或只作很小的运动，以便装填手能迅速而准确地装弹。对于采用整个自动机前冲或缓冲以减小发射对火炮的作用力的自动炮来说，更应注意此项要求，采取相应的技术措施。

2. 供弹和输弹过程中，炮弹和弹夹（或弹链）运动的轨迹必须严格确定。为此应设置炮弹导向面或导向槽。例如，59 式 57 高炮炮弹在压弹机内运动的轨迹，在上下方向是由压弹机体的前导向面（与弹丸圆柱部相配合）和药筒定向凸起（与药筒底部凹槽相配合）所确定，在前后方向则靠后导向面和药筒定向凸起内侧面（与药筒底缘相配合）所确定。65 式 37 高炮是靠压弹机左右侧壁的内侧（与药筒体相配合）和前、后壁的定向槽和定向道确定炮弹的运动轨迹。

3. 炮弹在进弹口、输弹出发位置必须有严格确定的位置。为此应设置相应的定位零件和约束炮弹的零件。例如，59 式 57 高炮炮弹在进弹口是由右阻弹子和下前活瓣定位，上下活瓣起约束炮弹的作用。炮弹在输弹出发位置由门体及驻栓定位。65 式 37 高炮炮弹在进弹口由拨弹器体定位，在输弹出发位置由输弹槽和输弹钩定位。

4. 供弹过程中炮弹的运动必须是强制的。不许利用重力，要把压弹和输弹的惯性运动行程缩短到最小限度。拨弹板和输弹器应保证拨弹和输弹时炮弹不致歪斜，以免发生“卡弹”等故障。

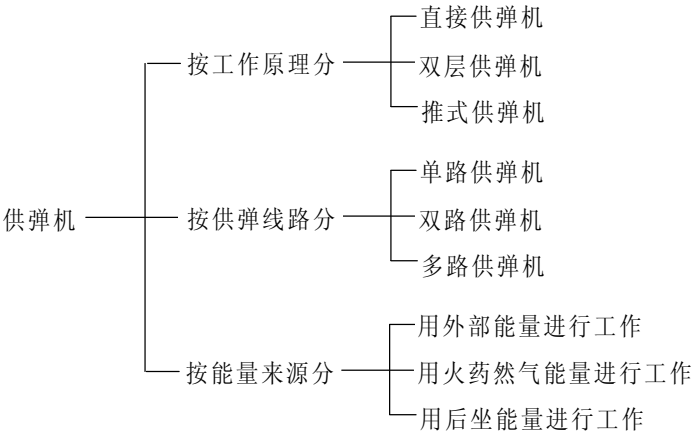
5. 供弹和输弹机构工作时应平稳，尽量避免撞击，消耗能量要小，效率要高。

6. 必须有阻截装置。以保证每次只能向进弹口和输弹出发位置供给一发炮弹，并阻止后续炮弹由于惯性运动而提前进入进弹口。

7. 须有保险装置。当炮弹运动的阻力过大时，应自动中断供弹，以免因供弹负荷过大而损坏零件。

三、供弹机

又称进弹机或压弹机。完成供弹动作的机构，是自动炮完成连续射击的重要部件，因口径、炮身和炮门的的不同而有各式各样的结构。



1. 直接供弹机 (direct feed mechanism)

在供弹过程中, 炮弹轴线基本上在通过炮膛轴线的平面内运动的供弹机构。这种供弹机将拨弹与压弹动作合而为一, 结构简单, 动作可靠, 一般用于弹夹或弹链供弹。缺点是自动机横向尺寸较大, 炮闩在后方要停留等待压弹, 因而影响发射速度的提高。

按炮弹被拨动作情况分为:

(1) 单面约束供弹机 (single face constrained feed mechanism)

是靠炮身后坐时压缩压弹弹簧而贮存的能量, 进行拨弹和压弹。炮身与供弹机构的连系为单面约束。例如, 59 式 57mm 高射炮的供弹机构。图 2-4-17 所示, 炮身后坐时, 炮身卡板推动凸轮杠杆, 从而使拨动杠杆转动, 带动压弹滑板向左移动, 压缩压弹弹簧, 储存压弹能量, 直至压弹滑板越过压弹卡锁。炮身复进时, 凸轮杠杆在弹簧作用下恢复原位, 压弹滑板在弹簧作用下稍向右移, 被压弹卡锁顶住, 停止于压弹状态。炮身复进末期, 解脱卡锁使拨弹弹簧伸张, 进行拨弹。

(2) 双面约束供弹机 (double face constrained feed mechanism)

通过炮身后坐和复进带动供弹机进行拨弹和压弹。炮身与供弹机构的连系为双面约束。例如, 65 式 37 高炮的供弹机构。炮身后坐和复进时, 通过输弹机体上的拨弹曲线槽带动活动梭子进行运动以完成拨弹和压弹任务。如图 2-4-18 所示。

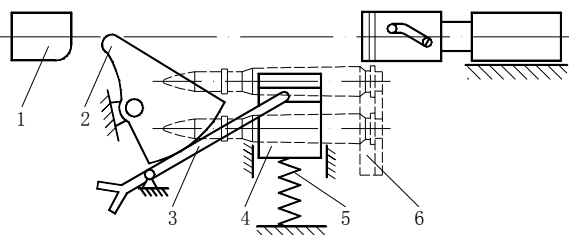


图 2-4-17 单面约束的直接供弹机构 (待拨时)

1-炮身卡板; 2-凸轮杠杆; 3-拨动杠杆;
4-压弹板; 5-压弹弹簧; 6-弹夹。

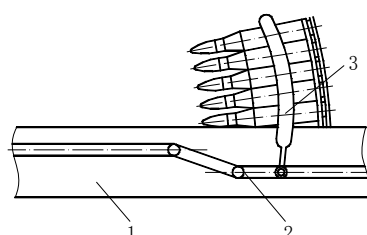


图 2-4-18 双面约束的弹夹直接供弹机构

1-输弹机体; 2-拨弹曲线槽; 3-活动梭子。

2. 双层供弹机 (double layer feed mechanism)

又称阶层供弹机。在拨弹和压弹过程中, 炮弹轴线不在同一平面内运动的供弹机构。例如 23-1 和 30-1 航炮等的供弹机构就是双层供弹机构。一般把炮弹拨到输弹出发位置上方, 用压弹臂或脱弹器把炮弹压到输弹出发位置。这种供弹机适用于弹链供弹。按从弹链取出炮弹的方式不同, 弹链分为开口式或封闭式两种。前者应用更广泛。从弹链上取出炮弹所需的力称为脱弹力 (又称脱链力)。此力有一定的要求, 是设计压弹臂、脱弹器和弹链的依据。这种供弹机结构紧凑、占用空间较小, 容易实现左右两面都能供弹。缺点是结构比较复杂, 需克服较大的弹链阻力。开口式弹链双

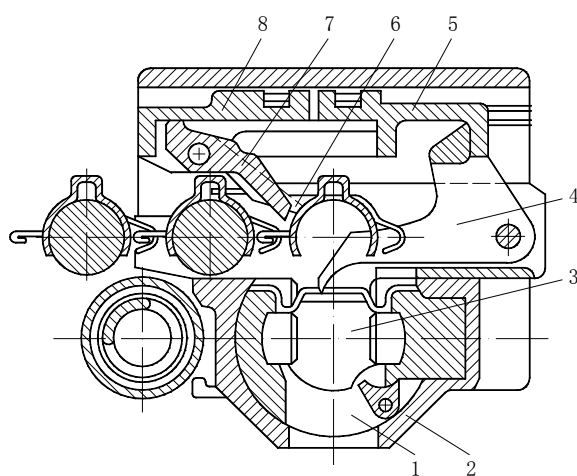


图 2-4-19 双层供弹机的结构原理图

1-炮身; 2-炮箱; 3-炮闩; 4-压弹器; 5-后坐拨弹滑板;
6-后坐拨弹齿; 7-复进拨弹齿; 8-复进拨弹滑板。

层供弹机的结构原理见图 2-4-19。

3. 推式供弹机 (push feed mechanism)

推弹臂 (或炮闩) 从输弹出发位置推送炮弹向前的同时, 借助于导向面使炮弹倾斜进入药室的供弹机构称推式供弹机构。图 2-4-20 所示。这类机构把压弹和输弹动作结合起来, 所以供弹机构结构简单, 占地空间小。推弹臂 (或炮闩) 不必在后方停留, 有利于提高发射速度。但炮弹运动轨迹较复杂, 较易发生故障。

这种机构还容易实现多路供弹, 即可在两路或 3 路不同种类的炮弹中, 任选一路炮弹进行发射, 以便对付不同性质的目标。它的缺点是推弹行程较长, 相应的自动机长度要增大。瑞士双管 35mm 高炮, 23-2 航炮和 61 式 25 舰炮等的供弹机构就属于推式供弹机构。

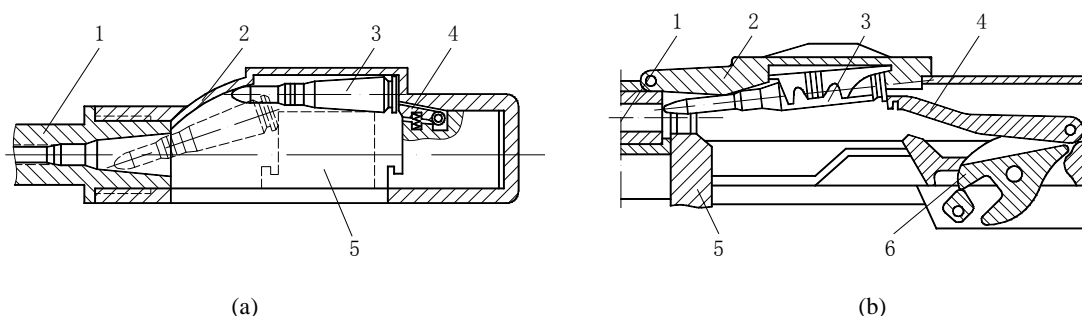


图 2-4-20 推式供弹机构原理图

(a) 纵动式炮闩; (b) 横动式炮闩。

1-炮身; 2-导向板; 3-进弹口处炮弹; 4-推弹臂; 5-闩体; 6-加速臂。

4. 双路供弹机 (dual-feed mechanism)

射击时, 能在两条不同弹种的供弹线路中, 任选一种炮弹发射的机构。为了有效地对付空中和地面的不同目标, 这种机构可保证迅速选择穿甲弹或燃烧爆破弹发射。具有两条以上不同弹种供弹线路的机构称为多路供弹机 (multi-feed mechanism)。新式自动炮大多采用双路或多路供弹机。

四、输弹机

输弹机构的作用, 是把输弹出发位置的炮弹沿输弹线可靠地输入炮膛, 或把进弹口的炮弹可靠地推入炮膛。输弹机构是影响理论射速的主要机构之一。

输弹方式可分为强制输弹和惯性输弹两种。

(1) 强制输弹 (forced ram) ——即在整个输弹行程上, 炮弹都被强制运动的输弹。例如: 59 式 57、69 式 100 高炮, 58 式 23、59 式 30 航炮和 61 式 25 舰炮等都是强制输弹。

(2) 惯性输弹 (inertia ram) ——即炮弹仅开始一段输弹行程上被强制运动, 以后则靠炮弹的惯性运动的输弹。例如: 65 式 37 高炮, 69 式 30 舰炮等就是惯性输弹。

强制输弹的优点是动作确实可靠。由于炮弹始终被强制运动, 所以偶然的附加阻力对炮弹的运动影响不大。强制输弹机构可以利用纵动式炮闩来完成, 此时可利用炮闩复进加速的方法, 提高输弹的平均速度 (如 58 式 23、59 式 30 航炮)。当采用横动式或起落式炮闩时, 则须专门设计强制输弹机构, 例如 69 式 23 航炮的推弹臂等。由于输弹机构的输弹器工作行程要大于炮弹长, 所以要有输弹器的加速机构。

惯性输弹的优点是输弹机构比较简单, 可不设输弹加速机构, 直接利用炮身后坐运动压缩输弹弹簧 (如 65 式 37 高炮)。缺点是输弹不够可靠, 在大射角时容易产生“掉弹”等故障。

常见的输弹机结构型式有如下几种:

1. 纵动式炮闩输弹机。这种输弹方式属于全程强制输弹。例如 57mm 高射炮即属于此

类型。

2. 弹簧式输弹机——广泛用于小口径自动炮上，结构简单，工作可靠。37mm 高射炮输弹机即属于此类型。输弹弹簧是在炮身复进时被压缩的，而在复进之末开始伸张，进行输弹。如图 2-4-21 所示。

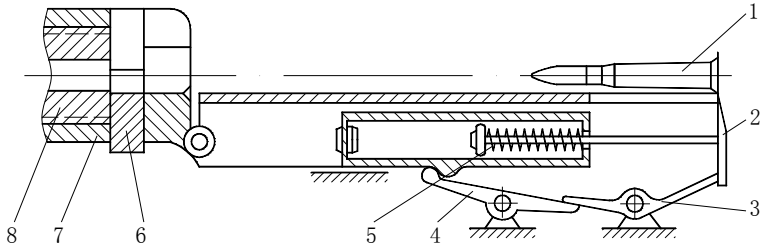


图 2-4-21 弹簧式输弹机原理图

1-炮弹；2-挂臂；3-卡锁；4-发射卡锁；5-输弹簧；6-门体；7-炮尾；8-身管。

3. 液体气压式输弹机——多用于中、大口径火炮上，结构与液体气压式复进机有许多共同之处。图 2-4-22 为液体气压式输弹机原理图，它是由工作筒和加速筒所组成。工作筒的构造和液体气压式复进机的构造相似。

第一发装填时用人力把输弹杆拉向后方卡住，这时工作筒外筒内的空气被压缩。把制栓解脱后，输弹杆在空气压力作用下带动炮弹入膛。火炮发射时，在复进过程中压缩加速筒的活塞杆，使输弹杆向后运动再次卡住。而工作筒中空气又被压缩储存了能量。100mm 高射炮的输弹机即属此类型。

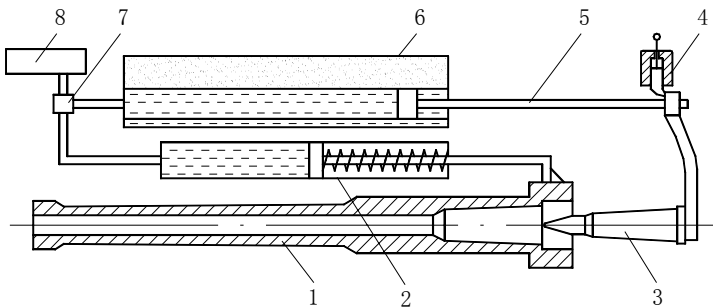


图 2-4-22 液体气压式输弹机示意图

1-炮身；2-加速筒；3-炮弹；4-制栓；5-输弹杆；6-工作筒；7-活门；8-油箱。

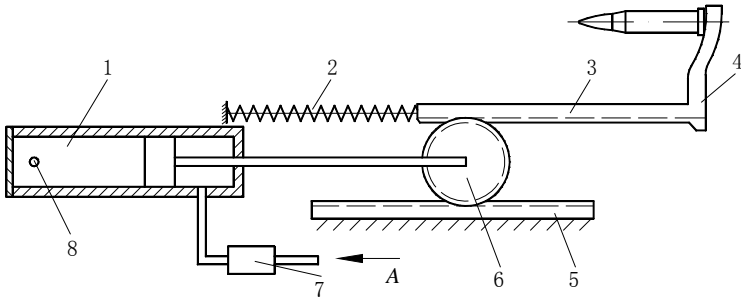


图 2-4-23 气压式输弹机示意图

1-气缸；2-回位弹簧；3-动齿条；4-输弹拐；5-固定齿条；
6-加速齿轮；7-调气箱；8-排气孔；A-压缩空气入口。

4. 气压式输弹机——以压缩空气为能源的输弹机。图 2-4-23 气压式输弹机原理图，为

了减小气筒和活塞杆的尺寸。机构中采用齿轮加速器。这种机构因需要专门的压缩空气能源，故在一般火炮上采用受到限制，仅适用于有压缩空气条件的大口径海炮上，例如双管 130mm 海岸炮输弹机就是这种结构。

5. 链式输弹机——是利用电动机经过减速器带动一条送弹链，将炮弹推入膛内。见图 2-4-24。链条只能向一个方向弯曲，收回时可以进入链盒内。整个输弹机在横向可以移动，以免妨碍炮尾后坐和抽筒动作。这种机构结构简单，占地方小，适用于坦克炮。如苏 T 72 式 125mm 坦克炮和美 M 117 式 175mm 自行炮。

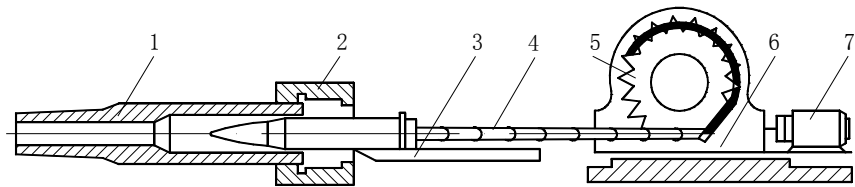


图 2-4-24 链式输弹机示意图

1-炮身；2-炮门；3-装填盘；4-输弹链；5-链轮；6-减速器；7-电机。

第五节 自动循环

火炮自动机是自动炮的一个重要组成部分，它是自动完成重新装填和发射下发炮弹实现连发射击的各机构的组合。通常一个循环动作包括：击发、收回击针、开锁、开门、抽筒、抛筒、供弹、输弹、关门和闭锁。其主要部件的联动及各运动构件之间的关系，可用自动机循环图表示。

自动机循环图（cycle diagram of automatic mechanism），是显示自动机运动规律的一种图表。它以图表或曲线的形式表示自动机各主要构件（炮身、炮门、拨弹板等）的运动状态。通常，自动机循环图有两种形式：

一是以基础构件（主动构件）位移为自变量的循环图。这种循环图标出了工作构件（从动构件）工作时基础构件的位移。它表明自动机各机构的相互作用和工作顺序以及对基础构件位移的从属关系。

图 2-4-25 是 65-1 式 37 自动机以位移为自变量的循环图。在作图时，首先在横坐标轴上以一定的比例尺截取一线段，表示基础构件（炮身）的位移，而后以相同的比例尺与原点相隔一定距离，作横坐标轴的若干平行线，相应地表示自动机各机构工作阶段基础构件的位移。为了使图表明显起见，可在各行（即各平行线所占之行）的左端并列地注明机构的名称及运动特征段。

以位移为自变量的循环图的不足之处是：它不能表明工作过程中各机构的位移与时间的关系；且当基础构件停止运动后，某些工作构件可能仍在继续运动，这些工作构件的运动便不能再用基础构件的位移来表示。为了表示这些工作构件的运动，只能将某工作构件再看作基础构件，另外建立补充的循环图。譬如，图 2-4-25 所示的循环图，便不能表示惯性开门阶段门体的运动及抽筒运动，更不能表示关门、闭锁运动。为此，就要另行建立以曲臂转角 θ 为自变量的循环图（图 2-4-26），以表明开门、抽筒和关门、闭锁运动。因此用这种循环图比较各式自动机时，很难看出这些自动机各自的工作特点。

另一种是以时间为自变量的循环图，实际上，它就是自动机各主要构件的位移和运动时间的关系曲线图。一般取纵坐标向上为 X，表示炮身的后坐行程（位移）；向下为 Y，表示拨弹滑板等构件横向的位移。取横坐标表示时间，由纵坐标可以看出各构件位移间的关系；

由横坐标可以看出各构件运动的顺序和时间上的关系。曲线的斜率则表示构件的速度。通常，把自动机基础构件（如炮身）运动开始的瞬间，即点燃装药的瞬间，为计算时间的起点，此时，各构件的位置作为计算位移的起点。以时间为自变量的循环图可清楚地表示自动机的工作原理，因此应用很广泛。图 2-4-27 为 59 式 57mm 高炮自动机循环图

运动特征段		基础构件——炮身
		0 140
后坐运动	拨回击针	24 61
	强制开闭	61 95.5
	活动梭子上升	26 121
复进运动	输弹器被卡住	25 121.5
	活动梭子下降	26 121
	压弹	42 105
	开始输弹	• 25

图 2-4-25 65-1 式 37 自动机位移循环图

运动特征段		基础构件——曲臂（以其转角 θ 为自变量）
开闭运动	开闭杠杆转角	0° 68°
	开锁	11°2′
	拨回击针	4°15′
	强制开闭	11°2′ 40°24′
	惯性开闭	40°24′ 68°
	抽筒	• 60°
关闭运动	关闭	11°2′ 61°35′
	闭锁	
	解脱击发卡锁	3°30′ 8°

图 2-4-26 65-1 式 37 自动机炮闭的循环图

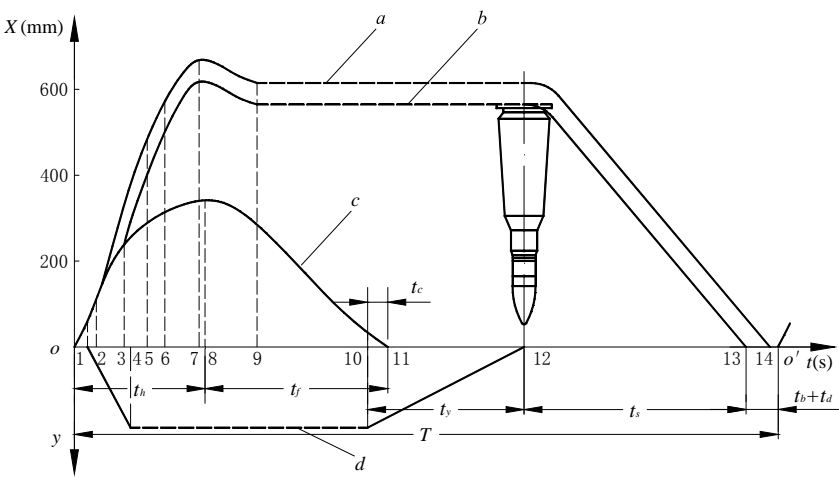


图 2-4-27 57mm 高射炮自动机循环图

a-炮闭支架；b-闭体；c-炮身；d-拨弹滑板。

图中各特征段及特征点含义如下:

- $o \sim 8$ ——炮身后坐;
- $8 \sim 11$ ——炮身复进;
- 1——拨弹滑板开始运动;
- 2——加速机开始工作, 使炮闩支架加速后坐;
- $2 \sim 3$ ——闩体旋转开锁;
- 3——闩体开始随炮闩支架加速后坐, 并抽筒;
- 4——拨弹滑板向左运动到位;
- 5——加速机工作完毕;
- 6——开始缓冲;
- 7——缓冲完毕;
- 8——炮身后坐终了, 开始复进;
- 9——炮闩支架后坐到最后, 向前稍复进, 被自动发射卡锁卡住;
- 10——拨弹滑板开始向输弹线上拨弹;
- 11——炮身复进到位;
- 12——压弹到位, 自动发射卡锁解脱, 开始输弹;
- 13——输弹到位;
- $13 \sim 14$ ——闩体旋转闭锁和击发;
- 14——击发完毕;
- o' ——炮身后坐。开始下一发循环。

57mm高炮自动机完成一次工作循环的时间用 t_x 表示, 由炮身后坐时间 t_h , 炮身复进时间 t_f 、压弹时间 t_y 、重叠时间 t_c , 输弹时间 t_s , 闭锁时间 t_b 和底火点燃时间 t_d 构成。其关系式如下:

$$t_x = t_h + t_f + t_y + t_s - t_c + t_b + t_d$$

在正常工作情况下, $t_x = 0.5 \sim 0.57s$, 由它所确定的自动机理论射速为 $105 \sim 120 \text{ r/min}$ 。要提高理论射速, 就要减小上述各时间。

为了提高理论射速可以采取以下措施:

1. 缩短炮身后坐、复进时间, 方法是减小后坐长度, 提高后坐和复进的平均速度。
2. 提高压弹速度, 使压弹在炮身复进到位前完成, 这样压弹就不占自动机循环时间。
3. 缩短输弹时间, 方法是尽可能缩短输弹长度、增大输弹的平均速度。

第六节 浮动机

一、浮动原理及其在自动炮中的应用

火炮在复进过程中击发的原理称为前冲原理。采用前冲原理的自动炮叫浮动原理自动炮, 简称浮动自动炮 (floating automatic mechanism)。所谓“浮动”是指连发时自动机的工作行程(浮动行程)界于后坐到位和复进到位之间, 浮动部分在浮动行程上往复运

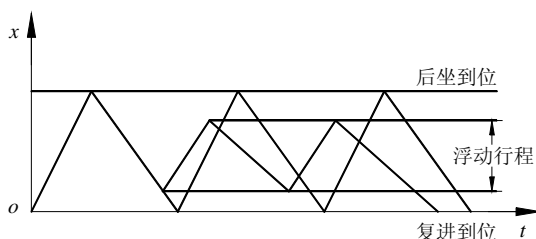


图 2-4-28 浮动与不浮动自动机位移随时间变化曲线

动。浮动部分是指浮动自动机中参加浮动的所有构件的总和。采用浮动原理和不采用浮动原理的自动机，其浮动部分（或后坐部分）位移随时间变化曲线如图 2-4-28 所示。

因为浮动自动机在复进过程中击发，因此，击发后火药燃气产生的向后冲量首先要抵销掉浮动部分向前的动量，剩余的冲量才能使浮动部分后坐，这样既能减小作用在炮架上的力，又能有效地缩短浮动部分的后坐行程和复进行程。

浮动自动机依靠浮动机来实现其浮动，与自动机的驱动能源没有关系。因此，浮动自动机可以采用内能源、外能源和混合能源，其自动机的工作原理可以是炮身短后坐式、导气式、转管式、转膛式等。目前，小口径浮动自动机大多采用导气式的工作原理。

自动炮采用浮动原理，具有以下优点：

1. 可以减小火炮的受力

由于浮动部分在复进过程中击发，抵销了部分后坐能量，使后坐剩余能量减小，因此，可以大幅度地减小发射时作用于炮架上的力。有利于减轻火炮全重。

2. 可以提高射击密集度

性能优良的浮动机可以改善火炮的受力状态，并在射击循环中使火炮受力的方向保持向后不变。因此，可提高火炮射击时的稳定性，从而有效地提高了火炮的射击密集度。

3. 可以提高理论射速

由于减小了火炮受力，所以在后坐阻力一定的情况下，可以减小浮动部分的后坐长度，因而可缩短其后坐、复进时间，也就提高了理论射速。

浮动原理具有突出的优点，对解决火炮的威力与机动性，威力与精度的矛盾有显著作用，因而引起人们对它的关注。

早在第一次世界大战前后，国外开始了浮动原理研究。第二次世界大战中浮动原理在小口径自动炮中得到发展。德国 PM18/36 式 37mm 高炮属早期采用浮动原理的自动炮，浮动弹簧的初力可随射角变化进行调整，为首发浮动式自动机。瑞士 5TG 式 20mm 自动炮是厄利空公司第一代浮动式自动机，于 1950 年装备了瑞士、芬兰、奥地利等国。50 年代瑞士又在 MK 353 式 35mm 双管牵引高炮上成功地采用了液体气压式浮动技术。后经不断更新换代，发展到 80 年代它仍以先进的自动火炮著称于世。60 年代中期以来的近 20 多年中，浮动技术得到了迅速发展和广泛应用。先后出现的西德 Rh 202 型 20mm 自动炮、Rh 205 型 25mm 自动炮、毛瑟公司 E 型 25mm 自动炮、F 型 30mm 自动炮均采用了浮动技术。法国 M 693 型 20mm 自动炮及近年来研制的 M 811 型 25mm 自动炮都采用了浮动自动机。当今著名的瑞士 KBA 型、KBB 型 25mm 自动机和 KDB 型 35mm 自动机都是典型的浮动自动机。其主要性能达到了较先进的水平，浮动技术得到很大发展和完善。

我国从 70 年代开始分别在 57mm 高炮自动机、23mm 舰炮自动机及 25mm 高炮自动机上先后进行了研究，并成功地把浮动技术应用到产品上，使产品性能有明显改善。浮动自动机主要性能指标见表 2-4-3。

表 2-4-3 浮动自动机主要性能指标

国 别 型 号	中国	瑞士 KDB	法国 M 693	德国 Rh 202	德国 Rh 205	德国 E	德国 F
口径 $d(\text{mm})$	25	35	20	20	25	25	30
初速 $v_0(\text{m/s})$	1050	1175	1050	1050	1120	1100	1050
射速 $n(r/\text{min})$	600~	550	740	800~	1000	900~	800
弹丸质量 $m(\text{kg})$	0.25	0.55	0.12	0.122	0.187	0.183	0.369
炮口动能 $E_0(\text{J} \times 10^3)$	138	380	66.15	67	115	113	203
炮口功率 $P(\text{W} \times 10^6)$	1.61	3.48	0.816		1.92	1.883	2.7
首发最大后坐力 $R_{\max}(\text{kN})$	14.7	26		7	7	8.5	25.5
连发平均最大后坐力 (kN)	12	14.7	4.5	5.5	5.8	7.5	14.7
最大后坐长 $\lambda_{\max}(\text{mm})$	35	60	40	26	32	35	45
自动机型式	导气式	导气式	导气式	导气式	导气式	导气式	导气式
自动机质量 (kg)	123	430	81	81.5	157	130	141.5

二、浮动自动机的分类

(一) 按浮动部分的不同可分为炮身浮动式、炮箱浮动式和炮闩浮动式 3 种

1. 炮身浮动式自动机 (barrel floating automatic mechanism)

只有炮身浮动, 而其它部分不浮动。这种自动机的循环动作都是在炮身后坐和复进过程中完成。炮身浮动式可应用于炮身后坐式和混合式工作原理的自动机。瑞典 L 70 式 40mm 高炮 (炮身后坐式)、德国 41 式 50 和 37mm 高炮 (混合式) 等都采用炮身浮动式。

2. 炮箱浮动式自动机 (receiver floating automatic mechanism)

炮箱及整个自动机都参加浮动。这种自动机的循环动作都在炮箱后坐和复进过程中完成。由于整个自动机后坐和复进, 因此浮动对自动机的结构影响不大。炮箱浮动式可应用于各种自动机工作原理的自动炮。如德国 PM 18/36 式 37mm 高炮 (炮身短后坐式)、瑞士 KDB 35mm 高炮 (导气式) 和西德 Rh 202 式 20mm 高炮 (导气式) 等都采用炮箱浮动式。

3. 炮闩浮动式自动机 (bolt floating automatic mechanism)

只有炮闩浮动而其它部分不浮动。这种自动机的击发是在炮闩带着炮弹复进过程中进行的, 因此, 这种浮动式仅适用于炮闩后坐式自动机。由于近年来采用炮闩后坐式工作原理的自动机很少, 所以, 炮闩浮动式也较少见。

(二) 按浮动行程利用的情况可分为完全浮动式和局部浮动式二种

1. 完全浮动式自动机 (full floating automatic mechanism)

利用全部浮动行程, 浮动部分在运动过程中不被卡住。连发射击时浮动部分的后坐、复进速度随位移的变化如图 2-4-29 所示。

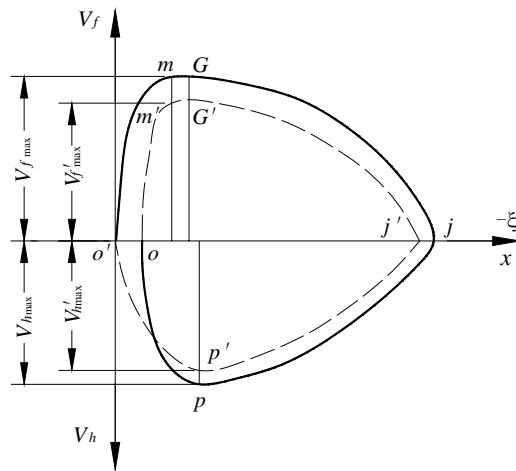


图 2-4-29 完全浮动式自动机连发浮动部分速度曲线

图中, o 点为浮动部分后坐开始点; p 点为后坐最大速度 $V_{h\max}$ 点; j 点为后坐结束、复进开始点; G 点为击发点; m 点为复进最大速度 $V_{f\max}$ 点; o' 点为复进结束、下一发后坐开始点。因为在 m 点的 $V_{f\max}$ 比较大, 复进动量较大, 而火药燃气的后坐冲量是一定的, 因此引起复进结束点即下一发后坐开始点 o' 前移。正因为前一发的复进动量大, 所以消耗的下一发火药燃气后坐冲量也大, 因此, 下一发的最大后坐速度 $V'_{h\max}$ 较 $V_{h\max}$ 小, 后坐长也减小, j 点前移至 j' , 复进速度也小于前一发的, 并在 G' 点击发, m' 点达到最大复进速度 $V'_{f\max}$ 。因为 $V'_{f\max}$ 小于 $V_{f\max}$, 消耗次一发火药燃气的后坐冲量也较小, 所以又出现最大后坐速度增大 (p 点)、后坐长加长, 恢复到点 j , 如此循环。

设计时要注意控制击发点 G 和 G' 及 $V_{f\max}$ 和 $V'_{f\max}$, 不能使其在各发循环时变化过大, 否则会使浮动不稳定。

完全浮动式又可分为首发浮动和首发不浮动二种。

(1) 首发浮动

首发射击前, 先将浮动部分从原始位置拉到后位并被卡锁卡住。射击时, 先解脱卡锁, 浮动机使浮动部分复进并实现在复进过程中击发。以后连发时, 每发的后坐距离都小于到卡锁的距离, 浮动部分均不被卡住, 射击结束时 (最后一发), 后坐部分才停止在前方原始位置。首发浮动的优点是, 最大后坐阻力取决于连发时的最大后坐阻力, 因而作用在炮架上的最大力比首发不浮动的要小。缺点是, 首发时, 人工后拉火炮后坐部分, 因后坐部分质量大, 造成很大困难和麻烦, 费力费时; 瞎火和迟发火会影响火炮复进稳定性, 因此需设计复进到位的缓冲装置; 同时还需设置后拉卡锁, 使结构变得复杂。

图 2-4-30 给出了首发浮动的完全浮动式炮身短后坐式自动机起落式炮闩 (或横动式炮闩) 的速度-时间循环图。

图中, o 点表示解脱输弹弹簧卡锁, 开始强制输弹; 1 点表示强制输弹结束, 开始惯性输弹, 输弹器运动到位, 速度降为零, 同时解脱炮身卡锁, 炮身开始复进, 在复进过程中通过齿轮加速机构使输弹器返回; 2 点表示输弹到位; 3 点表示炮闩闭锁、击发; 4 点表示炮身复进结束并开始后坐, 5 点表示炮身后坐速度达到最大值, 之后进行开闩、抽筒并将药筒从上方或侧后方拐弯抛出; 6 点表示在炮身后坐过程中解脱输弹器卡锁, 使输弹簧伸张, 输弹器开始强制输送下一发炮弹; 7 点表示输弹器强制输弹到位并解脱炮身卡锁; 8 点表示炮身后坐结束并立即复进。在连续射击时, 炮身卡锁被输弹器解脱, 不卡住炮身, 因此是首发浮动的完全浮动式。射击循环时间可从 1 点算到 8 点。

首发浮动的完全浮动式自动机浮动部分的位移随时间变化曲线见图 2-4-31。

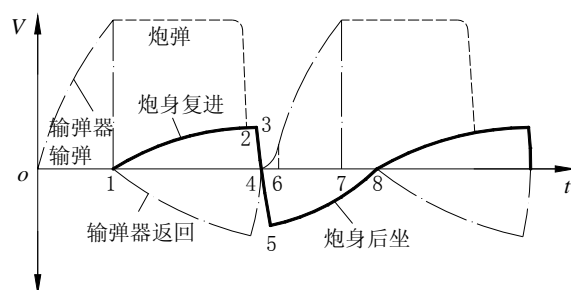


图 2-4-30 首发浮动的完全浮动式炮身短后坐式自动机循环图

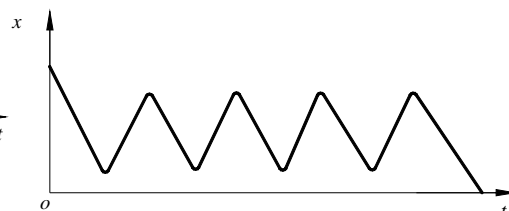


图 2-4-31 首发浮动的完全浮动式自动机浮动部分位移随时间的变化曲线

(2) 首发不浮动

首发不浮动时, 不需要后拉浮动部分, 从原始位置开始后坐, 并在以后的连发中实现浮动。因为首发不浮动, 所以第一发后坐时炮架上的受力与不浮动的自动炮相同。但是, 不必设置卡锁及瞎火和迟发火缓冲装置, 使结构简单, 勤务操作方便, 因此, 小口径浮动自动炮几乎都是首发不浮动的。

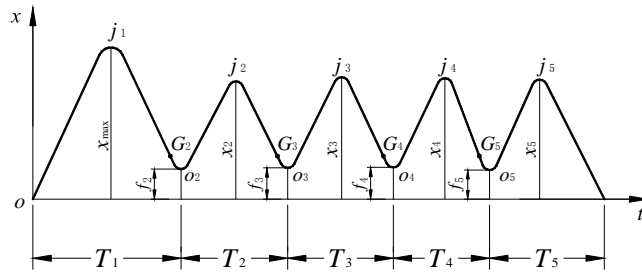


图 2-4-32 首发不浮动的完全浮动式自动机浮动部分位移随时间的变化曲线

首发不浮动的完全浮动式

自动机, 其位移随时间的变化曲线如图 2-4-32 所示。图中给出了五连发浮动曲线, o 点为首发后坐开始的原始位置; j_1 为首发后坐结束点, 此时出现最大后坐位移 x_{\max} 值; G_2 、 G_3 、 G_4 、 G_5 分别为第二、三、四、五发的击发点; o_2 、 o_3 、 o_4 、 o_5 分别为首发、第二、三、四发的复进结束点, 亦即第二、三、四、五发的后坐开始点, 此时距后坐开始位置的距离分别为 f_2 、 f_3 、 f_4 、 f_5 ; j_2 、 j_3 、 j_4 、 j_5 分别为第二、三、四、五发的后坐结束点; x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 分别为连发时的后坐位移; T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5 分别表示首发和第二、三、四、五发的循环时间。由于首发不浮动, 首发循环时间 T_1 大于连发中其它各发的循环时间。因为第五发是射击的最后一发, 所以复进到后坐开始的前方原始位置, T_5 大于 T_2 、 T_3 、 T_4 。计算浮动的平均射速时, 应去掉首发和最后一发, 按其余各发的平均时间计算。设计较好的浮动机应使 o_i 、 j_i ($i=2, 3, \dots$) 的位置变化不大, 以满足浮动稳定性的要求。

2. 局部浮动式自动机 (partial floating automatic mechanism)

只利用部分浮动行程, 在浮动行程的一定位置上卡住浮动部分。局部浮动式自动机的后坐、复进速度随位移的变化曲线如图 2-4-33 所示。

图中, 浮动部分在 k 点被卡在卡锁上, 射击时, 解脱卡锁, 复进, 在 G 点击发, m 点达复进最大速度 $V_{f\max}$, o 点复进结束, 下一发后坐开始, p 点达最大后坐速度 $V_{h\max}$, 直至后坐结束于 j 点, 此时后坐速度等于零, 并立即复进至 k 点被卡锁卡住。局部浮动式自动机每次复进的起始位置都保持不变, 因此, 简称为定点复进。定点复进可以保持复进速度的变化比较稳定, 如果恰当地控制击发时机, 就可以有效地控制后坐和复进。缺点是, 每发都要卡住浮动部分, 限制了射速提高, 同时引起浮动部分与卡锁之间的撞击。为了减小撞击, 在结构上, 要采取一定的措施, 所以结构复杂。

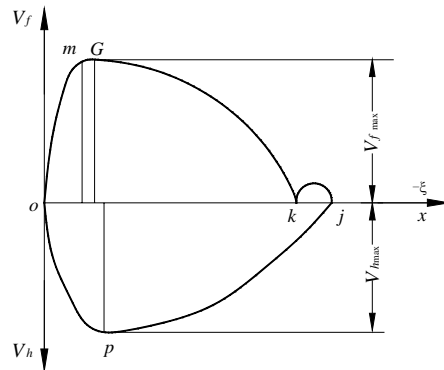


图 2-4-33 局部浮动式自动机速度随位移变化曲线

图 2-4-34 表示局部浮动式自动机的动作原理。图中, A 为击发底火, 射击循环开始; B 为炮身后坐时加速炮闩; C 为炮身加速炮闩结束; D 为炮身后坐结束并被炮身卡锁卡住, 炮闩后坐到位并开始复进; E 为炮闩复进到一定位置时通过杠杆解脱炮身卡锁, 炮身开始复进。在炮身复进的过程中, 炮闩赶上, 闭锁并击发, 开始下一发的射击循环。

(三) 按击发的情况可分为定速击发、定点击发和近似定速定点击发 3 种

1. 定速击发 (specified speed ignition)

浮动部分复进速度达到某一预定值时击发。要实现定速击发需设置定速击发装置, 它由速度传感器和击发装置组成。当复进速度达到预定值时, 速度传感器控制击发机构工作, 击发底火。

2. 定点击发 (specified position ignition)

浮动部分复进到某一预定位置时击发。实现定点击发需要设置定点击发机构。它可由卡板和杠杆系统组成。当浮动部分到达预定位置时, 摇架上的卡板通过杠杆系统解脱击发卡锁, 进行击发。也可由位移传感器控制击发机构工作, 击发底火。

为了实现稳定浮动, 最好能同时实现定速、定点击发。但目前的技术水平还难于完全满足这个要求。目前有些浮动自动机采用近似定速定点击发。

3. 近似定速定点击发 (approximate specified speed position ignition)

不设置专门的定速或定点击发机构, 而通过浮动部分动力学参数匹配使其击发时的速度和位置稳定在较小的范围内, 达到近似的定速定点击发。

有些浮动自动机采用定点击发与炮身定点复进 (局部浮动式) 相配合, 在射角一定的情况下, 达到近似定速定点击发。这是因为采用局部浮动式, 炮身复进的起始位置是确定的, 采用定点击发, 击发点的位置也是确定的, 此时可以认为炮身复进到击发点的速度是近似一定的。但在射角变化时, 还需设计相应的调整机构, 以尽量减小击发时炮身复进速度的变化。对于局部浮动式自动机, 当采用纵动式炮闩时, 为简化机构, 可采用闩体闭锁后立即击发 (非定点击发) 的方案实现近似定速定点击发。为了减小击发位置和击发时复进速度的变化范围, 应设置调整装置, 调整炮身和炮闩的运动速度。

三、浮动稳定性技术

浮动稳定性技术是浮动技术中最核心的关键技术。浮动稳定性不好虽然能实现长连发浮动, 但不能明显地提高火炮射击密集度, 浮动技术的优越性不能得到充分发挥。所以研究浮动稳定性越来越受到人们的重视。

浮动最大的特点是在复进运动中击发。控制或者说实现在一定范围内进行击发的技术称

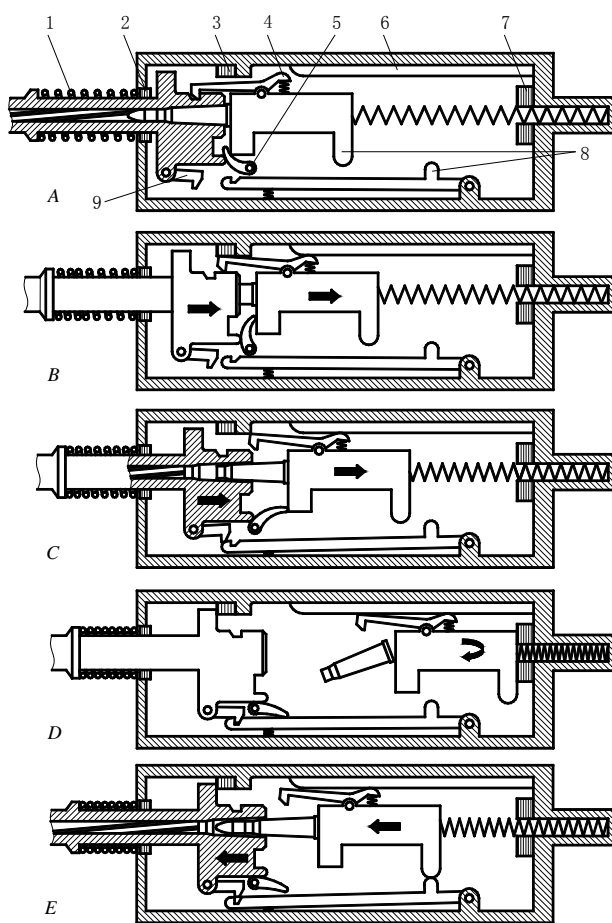


图 2-4-34 局部浮动式自动机动作原理图

- 1-炮身复进簧; 2-炮身复进缓冲器; 3-炮身后坐缓冲器;
4-炮闩的闭锁机构; 5-加速臂; 6-开锁凸轮;
7-炮闩缓冲器; 8-身管卡锁解脱器; 9-炮身卡锁。

为浮动稳定性技术。这个范围变化越小浮动稳定性越高。因此，浮动稳定性是衡量浮动自动机动态性能的重要指标。浮动稳定性判别标准为：

采用长短后坐技术、首发不浮动的浮动机，除首发外，其余各发在射击过程中炮箱（浮动机）一次后坐初始位移 $x_{HO_i} > 0$ ($i=2, 3, \dots, N$ 为弹序)，并用各发 x_{HO_i} 值的均方根偏差 $\sigma_{x_{HO}}$ 作为浮动稳定性的判据。 $\sigma_{x_{HO}}$ 值越小，表明浮动稳定性越好。

当一组射弹为 N 发，浮动发数为 $N-1$ 发，则

$$\sigma_{x_{HO}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^N (x_{HO_i} - \bar{x}_{HO})^2}{N-2}} \quad (N < 30)$$

$$\sigma_{x_{HO}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^N (x_{HO_i} - \bar{x}_{HO})^2}{N-1}} \quad (N \geq 30)$$

式中

$$\bar{x}_{HO} = \frac{\sum_{i=2}^N x_{HO_i}}{N-1}$$

对于炮箱浮动的浮动自动机，把击发后炮箱的后坐称一次后坐。炮箱受基础构件作用后产生的后坐称二次后坐，即在第二冲量作用下的后坐。这就是炮箱浮动曲线在后坐末期产生两个峰值的原因。浮动试验中，常常会遇到以下几种类型的浮动曲线：

1. 叠加型

叠加型浮动曲线见图 2-4-35。这种类型的浮动曲线的主要特点是后坐行程越长打越长，一次后坐起点离复进到位点越来越远，行程叠加，后坐力叠加，浮动不稳定。曲线(a)与曲线(b)表现形式相同，均为叠加型，但产生的原因不相同。前者属炮箱运动与自动机基础构件运动虽匹配，但复进击发速度低而造成叠加。后者属炮箱运动与自动机基础构件运动匹配得不好，炮箱后坐运动过慢，使基础构件后坐到位的第二冲量作用在炮箱后坐运动中，延长了炮箱的后坐行程和时间，带来后一发弹击发点后移，以此类推产生叠加。

曲线不断叠加，使后坐行程过长，带来的主要问题是后坐力波动大，且不断增加，影响火炮受力，影响正常供弹，或发生射击故障，是不允许的非正常现象。

2. 衰减型

衰减型浮动曲线如图 2-4-36 所示。衰减型浮动曲线正好与叠加型相反，也是由炮箱和基础构件运动不匹配而造成的。炮箱后坐运动过快，当复进运动较长时，基础构件的第二冲量才加到炮箱上，使炮箱二次后坐行程减短，复进击发点前移，造成前位击发，叠加

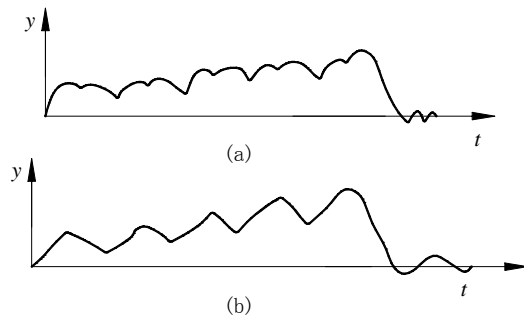


图 2-4-35 叠加型浮动曲线

(a) 复进击发速度低；(b) 炮箱后坐运动过慢。

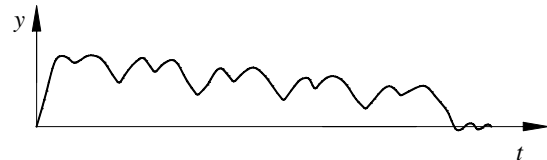


图 2-4-36 衰减型浮动曲线

到一定程度复进到位才击发，即不浮动。这种情况也是非正常的，其结果是不能实现浮动。

3. 正常型

浮动曲线在允许的后坐长度上波动，在一定后坐行程范围内进行一次后坐。曲线不单调发散或收敛，具有自行调节的规律性。

浮动自动机运动受多种因素的影响，浮动曲线有些波动属正常现象。观察一些浮动曲线，往往首发和前三四发有较大起伏，以后逐渐趋于稳定，或浮动曲线中连续有几发不稳定，后边又趋于稳定，均属正常状态。

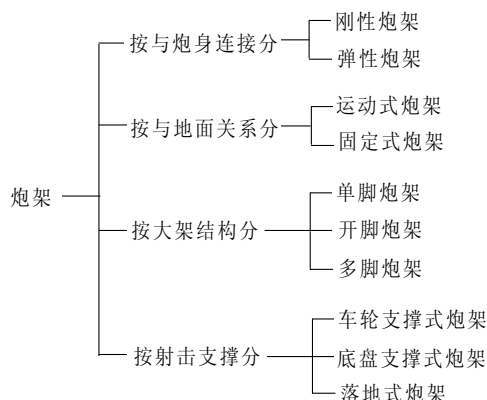
浮动是浮动机运动与自动机基础构件运动的综合。这两部分的运动规律性越好，并匹配得适当，浮动的稳定性就好。实现浮动稳定性的基本途径是稳定自动机基础构件的运动规律、控制浮动机的运动和优选浮动参量、协调第二冲量对浮动部分（炮箱）的作用时机。

第五章 架体

第一节 概述

炮架（carriage）是支撑炮身、赋予火炮不同使用状态的各种机构的总称。其作用是：支撑炮身、赋予炮身一定的射向、承受射击时的作用力和保证射击稳定性，并作为射击和运动时全炮的支架。

炮架的结构随炮种而异。加农炮、榴弹炮的炮架具有代表性。以现代牵引榴弹炮为例，其炮架包括反后坐装置、3 机（高低机、方向机、平衡机）、4 架（摇架、上架、下架、大架）、瞄准具及运行部分（缓冲、调平、制动装置及车轮）及其它辅助装置等。迫击炮只有简单的架体和承受后坐力的座板。无后坐炮的炮架在射击时受力很小，结构简单，质量很轻。固定在地面上的海岸炮如安装于较大基座上的火炮（如高射炮、坦克炮、舰炮、航空炮、自行炮等）的炮架结构与地面炮差别很大。现代火炮的炮架一般分类如下：



最早的炮架极为简单，用槽形木架支撑炮身，15 世纪后期，炮身上采用了炮耳轴，装在基座上或带轮的架体上，可使炮身绕耳轴俯仰以改变射程。这种炮架与炮身通过炮耳轴刚性地连接在一起，二者之间没有相对运动，称为刚性炮架。发射时全部后坐力作用在炮架上，火炮十分笨重。用这种炮架的非固定炮射击时，弹丸向前运动，全炮要向后移动，再次发射时，需将火炮推回原处，发射速度很低。19 世纪末，炮架增设了相当于弹性缓冲件的反后坐装置，使炮架受力减小，这样就可大幅度减轻全炮质量，提高发射速度，从而初步解决了火炮威力提高与机动性下降的矛盾。这是火炮技术上的一次飞跃。这种炮架在现代火炮上广为采用，称为弹性炮架。

现代火炮除迫击炮和无后坐炮外基本上都采用弹性炮架。早期的野战火炮系单脚炮架，靠移动架尾改变方向射界。第一次世界大战以来，炮架由单脚过渡到开脚（两脚），随着方向机、高低机、平衡机和缓冲装置的出现与改进，开脚炮架的结构逐步完善。本世纪 60 年代，美、英等国设计的 105mm 轻型榴弹炮采用了鸟胸骨式和马蹄形架体，与前座盘配合实现了 360° 环射，这是单脚炮架的新发展。此时期，原苏联在 122mm 榴弹炮上采用了具有 360° 方向射界的 3 脚炮架。现代高射炮、坦克炮、航空炮与舰炮，为适应对活动目标射击，炮架上广泛采用了机械、液压和电气技术，使其性能更加完善。

随着火炮性能与威力的不断提高，应设计新的炮架结构，增加炮架的功能，例如，一种炮架能平射、曲射、环射，能牵引、自运、车载、空运等；应不断缩短行军、战斗转换时间；实现操作自动化或半自动化；提高火炮的机动性；同时，应研究新的炮架设计理论，克服依赖古典力学进行计算的局限性质。

第二节 架体

一、摇架

(一) 摇架的作用与组成

摇架 (cradle) 的作用是支撑后坐部分并为炮身的后坐和复进运动提供导轨, 为炮身的俯仰提供枢轴, 与某些部件、构件连接提供支点或连接点, 射击时将载荷传给其他的架体。摇架是起落部分的主体, 它与炮身、反后坐装置和其它有关机构组成火炮的起落部分 (elevating parts) 或称俯仰部分。它与高低机和瞄准具配合赋予炮身高低射角。摇架上还安装有瞄准具、半自动炮门的开门装置或自动机构, 并连接有平衡机、高低齿弧和活动防盾等部件等。

因此, 摇架至少应由以下主要部分组成:

供炮身作直线运动的导向部分;

供炮身作俯仰的回转轴, 一般称其为炮耳轴;

赋予炮身俯仰运动的传动机构, 如高低齿弧等;

为连接或安装其他机构提供支臂或空间。

(二) 摇架的主要技术要求

1. 摇架导向部分的平直度或同心度应符合规定, 以保证射击时炮身顺利滑行。

2. 炮耳轴必须装在一条直线上并垂直于摇架导向部分的对称面, 以保证炮身轴线在铅直面内作俯仰运动。否则, 当改变射角时会引起方向偏差, 影响射击精度。

3. 高低齿弧的节圆中心应在耳轴轴线上, 以保证高低机传动平稳和减小射击时起落部分的振动。

4. 摇架结构工艺性好。摇架本身的强度和刚度要满足射击要求。

(三) 摇架分类

根据摇架本体剖面的概略形状, 摇架一般可分为 3 类。

1. 槽形摇架 (U-type cradle)

槽形摇架本体横剖面呈 U 形, 典型结构见图 2-5-1, 主要由槽形本体框、两条相互平行的长导轨、耳轴托箍、前托箍、高低齿弧和各种支臂组成。两条长导轨与装在炮身上的滑槽配合, 以约束炮身后坐、复进运动的方向, 并承受因弹丸回转力矩引起的扭矩。一般的槽形摇架其槽口向上 (U), 有的火炮为降低火线高, 而将槽口下置 (∩), 如原苏联 D-30 式 122 mm 榴弹炮。

摇架槽内可容纳反后坐装置、变后坐机构和开门机构等, 容易满足各种总体布置的要求, 一般用于较大口径

的地面火炮。这种摇架结构较复杂, 加工平行的长导轨较困难, 架体刚度较差; 射击时易产生振动而影响射击精度。通常采用铸钢毛坯, 并在槽内焊隔板和加强筋, 以提高刚度。

槽形摇架的另一种形式是箱形结构, 其断面呈封闭形, 刚度较高且便于安装自动机的各种机构, 多见于中、小口径自动炮。

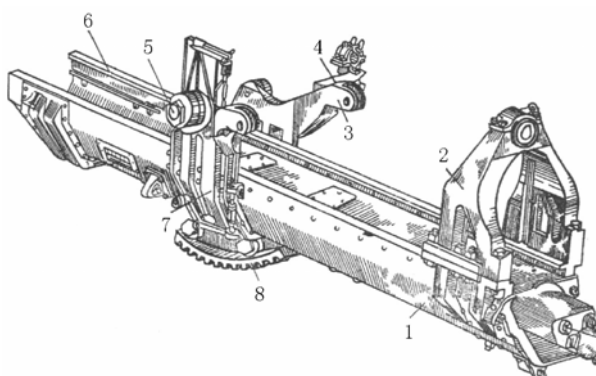


图 2-5-1 槽形摇架

1-摇架框; 2-前托箍; 3-平衡机支臂; 4-瞄准具支臂;
5-耳轴; 6-道轨; 7-耳轴托箍; 8-高低机齿弧。

2. 筒形摇架 (O-type cradle)

其本体横剖面呈圆筒形的摇架, 典型结构见图 2-5-2。主要由长筒形本体、前后铜衬瓦、反后坐装置支座、耳轴、护筒、定向栓室与各种支臂等组成。与筒形摇架相配合的身管外表面呈光滑圆柱形, 由铜衬瓦支承, 后坐、复进时起导向作用。炮尾上的定向栓与定向栓室配合以承受弹丸在膛内运动时弹带作用在膛线上的扭矩。护筒用于保护身管的光滑圆柱部分, 以防止灰尘侵入。筒形摇架的刚度较高, 反后坐装置一般布置在其上方, 有利于降低火线高。除有些加农炮上采用这种摇架外, 由于它外部呈圆形, 便于与炮塔配合, 也常用在坦克炮, 自行火炮和舰炮上。

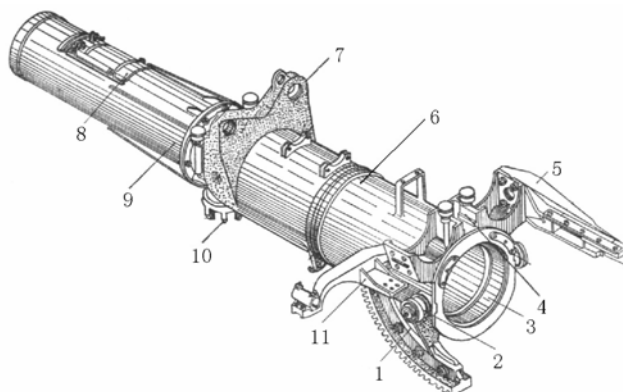


图 2-5-2 筒形摇架

- 1-高低齿弧; 2-炮耳轴; 3-铜衬瓦; 4-定向栓室;
5-开口扳支臂; 6-本体; 7-支座; 8-盖板;
9-护筒; 10-行军固定爪; 11-瞄准具支臂。

另一种形式是采用同心式反后坐装置的筒形摇架。特点是摇架本体圆筒也是制退复进机外筒, 套在身管圆柱部外面形成同心圆柱, 结构紧凑, 但散热条件很差。

3. 混合型摇架 (composite cradle)

又称组合式摇架。它兼有槽形和筒形摇架的结构特点。图 2-5-3 为 54 式 122mm 榴弹炮的摇架, 一般是由槽形摇架部分体部组成后部, 套箍构成筒形组成前部或同时组成后部, 反后坐装置外筒作连接件和槽形框构成中部的组合式结构。优点是质量比槽形和筒形都轻。缺点是各部件间组合不当时, 会造成刚性不足和产生热变形。

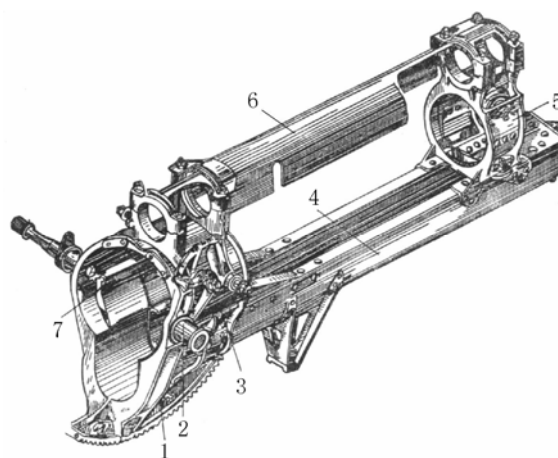


图 2-5-3 混合型摇架

- 1-高低齿弧; 2-炮耳轴; 3-后托箍; 4-槽形框;
5-前托箍; 6-复进机护盖; 7-导轨。

按火炮总体布置的不同, 这种摇架的各部件间有各种结合方法。(1) 利用反后坐装置的外筒将后部槽形摇架本体与前套箍连成一体。炮尾上的镶铜滑板在槽形摇架导轨上滑动, 炮

身上圆柱部分在前套箍内铜套上滑动。59 式 100mm 高射炮摇架即属此种结构(见图 2-5-4)。

(2) 利用复进机和制退机外筒与前后套箍连接, 分别将两筒置于上下方或左右方。此种形式结构由前后套箍的内铜套组成似筒形摇架的部分体部。45mm 高平两用舰炮的摇架即属此种(见图 2-5-5)。这种结构因复进机和制退机外筒均与前后套箍固紧, 受热不同(制退机比复进机温升高), 变形也不同, 易使摇架弯曲, 导致炮膛轴线与瞄准线间的正确位置改变而影响瞄准精度。解决的方案是一个外筒采用活动连接, 但这又会影响刚度。在 54 式 122mm 榴弹炮架上就另加一个槽形板与复进机外筒配合, 作为摇架本体的一部分, 以增强刚度。

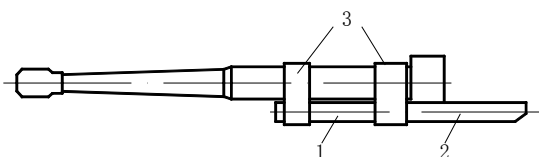


图 2-5-4 100mm 高炮摇架示意图

1-制退复进机；2-槽形框体；3-套箍。

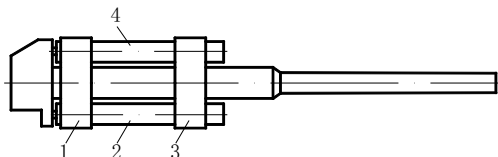


图 2-5-5 45mm 舰炮摇架示意图

1-后套箍；2-制退机；3-前套箍；4-复进机。

采用哪类摇架合适，应由火炮总体设计确定。各类摇架的一般性能之比较如表 2-5-1 所示。

表 2-5-1 摇架性能比较

	槽形摇架	筒形摇架	混合形摇架
1	外廓尺寸较大，质量大	外廓紧凑，质量较轻	外廓紧凑，质量较轻
2	有长滑轨，加工工艺性较差	工艺性较好	一般
3	射击时受力大，刚度较差，滑轨易变形	强度及刚度较好	复进筒承载，改善了本体受力
4	可抗弹丸回转力矩	不能抗弹丸回转力矩，需设定向栓	可抗回转力矩
5	槽中可容纳反后坐装置并起防护作用，便于安装变后坐机构等	不能容纳反后坐装置，但有利于降低火线高	可部分容纳反后坐装置
6	炮身散热较快	炮身散热条件差，需设油箱润滑炮身	炮身散热较快
7	维护保养不难	射击时，摇架内易吸尘土	维护保养较易

（四）摇架上的几个重要构件

1. 后坐标尺（recoil indicator）

又称后坐长度指示器。指示火炮后坐长度的装置。由装在摇架上的刻度尺与游标（或指针）组成。发射时后坐部分带动游标（或指针）同步后坐，复进时游标（或指针）留在后坐最终位置，从刻度尺上可读出火炮后坐长度数值。

2. 防危板（guard plate）

又称防护板。防止后坐部分运动时撞伤炮手的护板。防危板通常置于火炮的左、右侧，刚性固定在摇架本体的支臂上。瞄准手操作时，身体的任何部分均应在防危板的外侧，以防止被炮身后坐和复进时撞伤。由于防危板靠近炮尾，通常其上装有击发操纵机构、复拨器等构件，有的还装有复进机的液量检查表。在坦克内，因战斗室空间较小，防危板后端通常还连接有挡壳板，以挡在发射后高速抛出的药筒，免伤炮手和车内零部件。

3. 炮耳轴（trunnion）

作为起落部分俯仰运动的枢轴并传递后坐力或后坐阻力的重要零件。位于摇架上起落部分质心后方不远处，一般左右对称布置（小口径火炮也有单耳轴的）。设计时，一般要进行弯曲、剪切和压应力的计算。按耳轴直径大小分为：（1）小耳轴（small trunnion）。一般为实心圆柱体，按结构又分为滑动轴承耳轴和滚针轴承耳轴。小耳轴多为锻造的耳轴体，以过盈配合装到摇架耳轴座内焊接后加工而成。一般火炮都采用小耳轴；（2）大耳轴（major trunnion）。直径较大，且为空心，以便于容纳供弹机构，或安装击发传动机构等，如原苏联双管 57mm 自行火炮，海军双管 57mm 高炮的耳轴。这种耳轴结构复杂，应用不广。

在摇架上还固定有高低齿弧，它由高低机主齿轮驱动赋予火炮起落部分的俯仰运动；还有连接平衡机上支点的支臂，安装瞄准具的支臂、半自动开门机构的开门板支臂。

二、上架

（一）上架的作用与组成

上架 (top carriage) 支承着起落部分, 亦是火炮回转部分的基础, 它借助于方向机的作用, 围绕立轴 (基轴) 在下架上回转以赋予火炮方位角。在上架各支臂上连接着高低机、方向机、平衡机和防盾等部件。

坦克炮和自行炮的炮塔 (turret) 起着上架的作用, 高射炮的上架称为托架 (bracket), 海军炮的上架称为回旋架 (含托架与旋回基座)。

通常将起落部分、上架、瞄准机 (高低机和方向机)、瞄准装置、平衡机和防盾等可绕垂直轴转动的部件, 统称为回转部分 (rotating parts)。

根据上架的作用, 上架应由下述部分组成:

撑托摇架的支架 (侧板) 及耳轴室;

供起落部分等件在水平面回转的垂直轴称为立轴 (pintle) 或立轴孔;

连接或容纳其他构件的支臂或空间。

一般, 对上架有下述方面的主要技术要求:

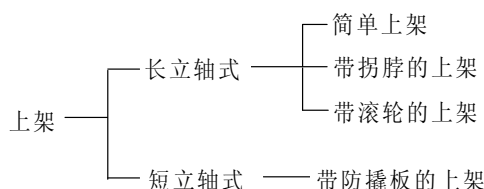
1. 确保耳轴室端面对耳轴室中心线的垂直度及耳轴孔中心线对上架底板平面的平行度。一般, 不垂直度不应大于 0.1mm , 不平行度在 1m 范围内不得大于 0.25mm 。

2. 确保立轴轴线与耳轴孔中心线在垂直面及水平面上垂直度和与底板平面的垂直度。一般, 不垂直度都不应大于 0.2mm 。

3. 确保耳轴孔中心线与高低机主轴线的平行度。一般, 不平行度应在 $0.1\sim 0.2\text{mm}$ 之内。

（二）上架分类

上架一般由左右侧板、底板、立轴 (或拐脖) 和各支臂组成。上架与下架的连接形式对上架的结构有很大关系。所以, 常以该部分的结构特点来区分上架的类型, 常见的类型有长立轴式、短立轴式, 拐脖式、带缓冲装置和带防撬板几种。



1. 简单上架

这种上架是用长立轴与下架连接, 立轴有上下两个轴颈, 分别与下架的上下轴室配合 (图 2-5-6)。此种上架结构简单, 广泛用在中、小口径火炮上。缺点是立轴与上架为一整体, 工艺性较差。

由于现代火炮身管都较长, 回转部分质心多位于回转轴之前 l_{hz} 处, 在回转部分重力 Q_{hz} 作用下, 发射前, 回转部分有前倾的趋势。取回转部分为自由体, 则 Q_{hz} 对立轴中心产生的力矩将由反力 S_1 和 S_2 ($S_1 = S_2$) 形成的力矩平衡。图 2-5-7(a) 所示。

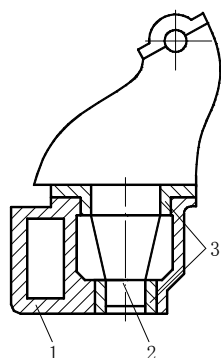
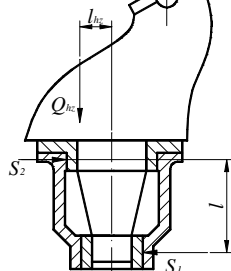
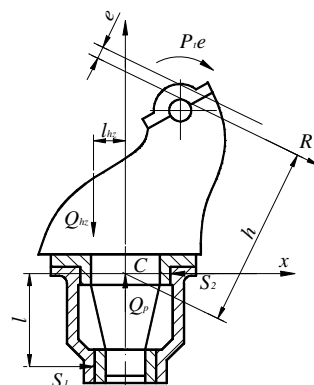


图 2-5-6 简单上架示意图

1-下架；2-上架立轴；3-轴颈。



(a)



(b)

图 2-5-7 简单上架受力图

(a) 发射前；(b) 发射后。

发射时，回转部分上所受的作用力有火炮的动力偶 $P_t \cdot e$ 、合力 R （数值等于后坐阻力）与 Q_{hz} 。在某一射角 φ 下，力 R 对 C 点（ S_2 力与主轴中心线的交点）的力臂为 h 。其平衡方程为：

$$Q_{hz} l_{hz} = S_1 l \quad (2-5-1)$$

$$\begin{aligned} \sum X = 0 \quad R \cos \varphi + S_1 - S_2 &= 0 \\ \sum Y = 0 \quad Q_p - R \sin \varphi - Q_{hz} &= 0 \\ \sum M_c = 0 \quad Rh + P_t \cdot e - Q_{hz} \cdot l_{hz} - S_1 l &= 0 \end{aligned}$$

$$Q_p = R \sin \varphi + Q_{hz}$$

$$\text{得} \quad S_1 = \frac{Rh + P_t \cdot e - Q_{hz} \cdot l_{hz}}{l} \quad (2-5-2)$$

$$S_2 = S_1 + R \cos \varphi$$

根据公式 (2-5-1) 和 (2-5-2) 可知：

(1) 增加立轴长度 l 可以减小 S_1 和 S_2 的反力，从而减小上、下轴承间的摩擦力矩，使方向瞄准操作轻便；

(2) 设计时尽可能使回转部分重心至回转中心的距离减小，以使立轴受力情况改善，保证方向瞄准轻便；

(3) 降低火线高、缩小结构体积，以便减小后坐力 R 的作用力臂，使立轴受力情况得到改善；

(4) 回转部分重心在回转轴心之前，这样在射击时可以减小 S_1 和 S_2 的数值。但由于 $Rh + P_t \cdot e > Q_{hz} \cdot l_{hz}$ ，因此在射击过程中将使立轴颈处的反力 S_1 和 S_2 的方向发生变化，会引起上架微小的晃动，可能影响射击精度。在威力较大的火炮上应采取适当措施加以避免。

2. 带拐脖的上架

这种上架与简单上架明显不同之处是立轴室在上架上。而立轴固定在下架上，同时上架增加一个拐脖。其示意图见图 2-5-8。图 2-5-9 所示为 56 式 85mm 加农炮上架结构图，上架的基板中央有一个立轴室，下方有一轴承支臂（拐脖），支臂的下端装有下列轴室，这种结构形式的上架有如下优点：

(1) 降低了火线高。因为上轴颈的高度有一部分是以上架与底板厚度相重合；

(2) 工艺性好。立轴分上、下两部分，单独加工后再压入下架孔内，焊接固定；

(3) 能减轻手轮力。因为立轴是单独制造的，可以采用较好的材料，轴颈可以减小，上架转动时的摩擦力矩也小，所以可以减轻手轮力。

带拐脖的上架，在大、中口径地面火炮上应用较广泛。

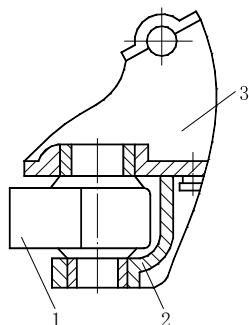


图 2-5-8 带拐脖的上架

1-下架；2-上架拐脖；3-上架。

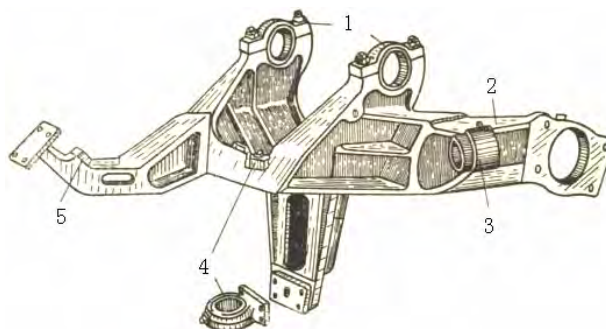


图 2-5-9 85mm 加农炮上架

1-耳轴座；2-高低机支臂；3-方向机支臂；
4-基轴室；5-平衡机支臂。

3. 带滚轮和缓冲装置的上架

这种上架的示意图见图 2-5-10。其结构特点是：

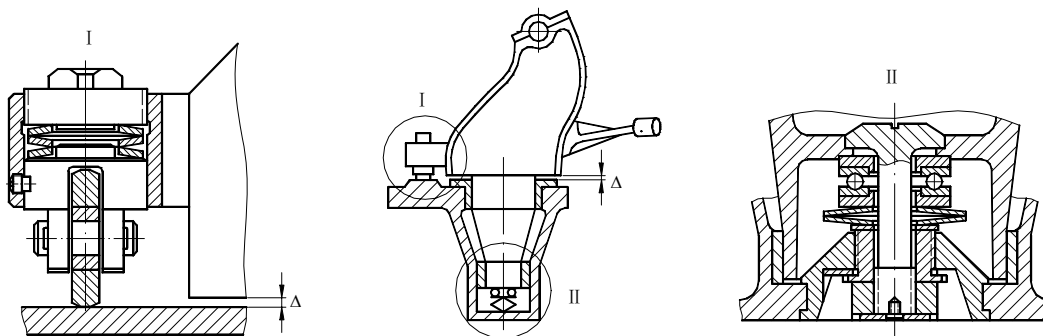


图 2-5-10 带滚轮的上架示意图

I-滚轮组件； II-蝶簧组件。

简单的上架以下架的上端面与上架底板的下端面相配合，支持着回转部分的质量。由于大口径火炮的回转部分较重，上下端面之间的摩擦力矩必然很大，因而方向机手轮力也大。为此，将上下架之间的滑动摩擦代之以滚动摩擦。其方法通常是在长立轴下面加止推轴承和碟形弹簧以支持回转部分，并使上下架端面之间留有一定的间隙 Δ 。发射时，碟形弹簧被压缩，上下架的端面贴合在一起承受发射时的载荷。为了使端面在贴合时不产生很大的冲击，端面间的间隙必须保持很小，一般 $\Delta = 0.20 \sim 0.4 \text{ mm}$ 。

对于威力较大的火炮，为了增大后座长 λ ，并保证在大射角发射时炮尾不碰地，须使炮尾尽量前移。这样回转部分重心与立轴中心就不重合，回转部分质量 Q_{hz} 对立轴中心的力矩使端面之间

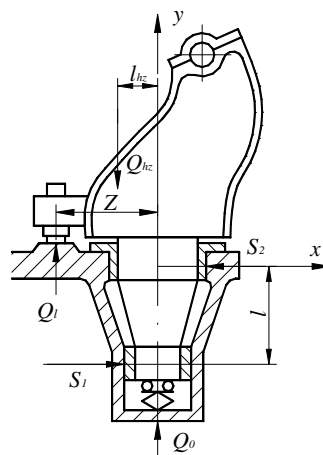


图 2-5-11 带滚轮上架射前受力图

的间隙前后不等, 甚至会有局部接触。为了保持间隙均匀, 减小摩擦力矩, 可在上架前部(回转部分质心之前)加一个或两个滚轮, 滚轮支架上有碟形弹簧, 滚轮压在下架上, 其反力 Q_l 对立轴中心形成一个力矩 $Q_l \cdot Z$, 其方向与回转部分重力矩相反。见图 2-5-11。调整止推轴承下的碟形弹簧和滚轮支架上的碟形弹簧就可使间隙 Δ 在技术条件要求的范围内。由于回转部分质心随高低射角而变化, Δ 也随射角变动, 调整时一般都在某一中间射角进行。例如, 54 式 122mm 榴弹炮规定在 45° 射角时调整 Δ 值。上述结构的滚轮必须支在回转部分质心之前, 如果回转部分质心前移较多, 将使上下架尺寸和质量增大, 故应尽可能使回转部分质心靠近立轴中心。

4. 带防撬板的短立轴上架

在大口径火炮上为了降低火线高, 减小下架厚度, 使全炮结构紧凑, 上架一般采用短立轴。如 59 式 130mm 加农炮的上架。其结构特点是: 立轴很短, 它只起回转枢轴的作用。能抗水平作用力而不能抵抗外力矩。因此, 在上架前面装有防撬板 (antiover turning plate), 用以防止发射时外力矩 ($P_t \cdot e + Rh$) 使架体后翻。为减小摩擦力矩, 在立轴内也装有止推轴承和碟形弹簧, 在上架前装有滚轮及碟形弹簧。使上架下端与下架上面及防撬板与下架之间留有一定的间隙 Δ , 一般 $\Delta = 0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$ 。见图 2-5-12。

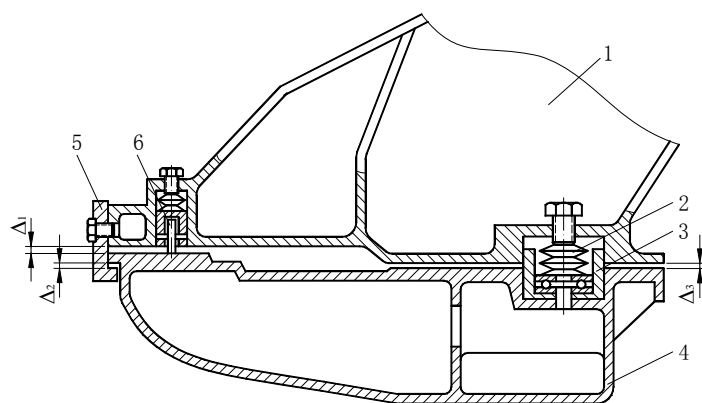


图 2-5-12 短立轴上架与下架连接示意图

1-上架本体; 2-碟簧组件; 3-短立轴; 4-下架; 5-防撬板; 6-滚轮。

发射时, 在外力矩作用下防撬板与下架贴合, 产生反力 Q_f , 上、下架之间后部的间隙

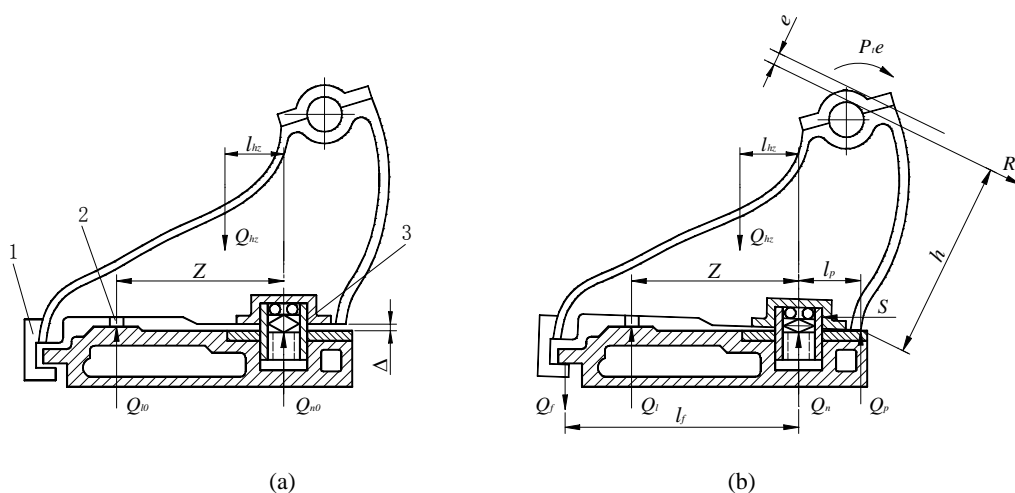


图 2-5-13 短立轴上架受力

(a) 发射前; (b) 发射后。

1-防撬板; 2-滚轮; 3-短立轴。

消失，产生接触反力 Q_p ，因而力矩 $Q_f \cdot l_f$ 与 $Q_p \cdot l_p$ 一起对抗外力矩。见图 2-5-13。

5. 高射炮上架结构

高射炮的上架通常称作托架。托架由上部托架（带炮床踏板）和下部托架组成。上部托架包括托架支座和托架底盘。托架支座由左、右侧板和横筒焊接成一体。左、右侧板上有摇架耳轴托座（耳轴室）。下部托架包括方向齿环、滚珠基座和防尘环。因为高射炮主要是射击空中目标，要求托架在整个圆周内能轻便自由平稳地回转，以获得较快的方向跟踪速度。为实现这一点，托架和炮床之间通常采用滚珠座环。由固定在托架上的活动座环，固定在炮床上的固定座环与中间的滚珠圈构成。

59 式 57mm 高炮托架是一种既能使火炮回转轻便。又能防止射击时火炮回转部分翻转的典型结构，它的内座环成 90° 的 V 形槽，外座由上下对称的，内表面成 45° 斜面的两个环合成。在上下环之间有调整垫片，装配时根据滚珠与座环的配合要求决定垫片的多少（厚薄）。如图 2-5-15 所示。

火炮上架的结构外型比较复杂，一般采用铸造法和焊接法。前者造型较困难，且铸钢毛坯较重，后者多用钢板焊接，质量较轻，目前也有采用混合法制造上架，即将复杂的结构分别铸造，然后再焊接成一体。

三、下架

牵引式地面火炮的下架（under carriage）是支承回转部分和连接大架及运动体等的构件，系整个炮架的基础。高射炮的炮车本体（或炮床）及海军炮上的旋回支撑装置都起着类似下架的作用。下架的结构形式决定于它与上架、大架、运动体的连接方式。下架必须具有供回转部分转动的立轴室或立轴、与大架连接的架头轴或连接耳、有容纳行军缓冲装置或车轴的空间和有关的支座等。

下架的主要技术要求是保证立轴孔（或立轴）本身及其与两个大架连接轴孔的正确位置，保证这 3 个孔中心轴线的平行度以及下架与上架接触面的加工质量等。通常，3 个孔的加工是在一道工序中完成。

根据与其他件连接方式不同，按外观形状，下架一般有 3 种形式。

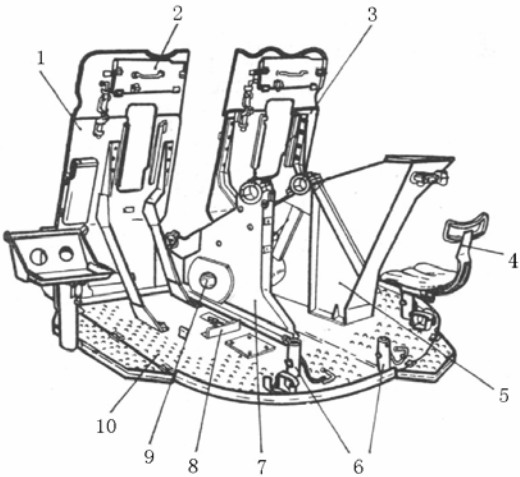


图 2-5-14 57mm 高射炮上部托架

1-左防盾；2-活动盾板；3-右防盾；4-瞄准手座；5-右侧板；
6-支柱；7-左侧板；8-挡铁；9-横筒；10-炮床踏板。

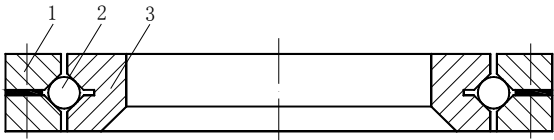


图 2-5-15 57mm 高炮托架示意图

1-上部托架；2-滚珠；3-下部托架。

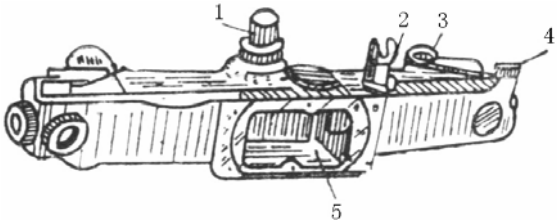


图 2-5-16 长箱形下架

1-上立轴；2-方向机支座；3-架头轴孔；
4-限制凸起；5-齿轮室。

（一）长箱形下架

长箱形下架较典型的结构是 56 式 85mm 加农炮的下架，如图 2-5-16。下架箱形本体为空心钢铸件。中部有上下立轴，上立轴套着铜垫圈，其前面焊有方向限制铁（traversing stopper），以限制上架转动的范围。两端有连接大架的架头轴孔及限制大架转动范围的凸起。左前方有连接方向机的支座，下架体内腔用于安装行军缓冲器。本体正前方有方孔，用于安装缓冲器的齿轮，并被盖板盖住。盖板中央有一个安装调整螺帽的螺孔，本体左方有一卡铁，用于将下方防盾固定成行军状态。

这种下架结构很紧凑，适用于扭杆缓冲器横向布置的火炮。在中口径牵引野战火炮上应用广泛。

（二）碟形下架

其典型结构如图 2-5-17 所示的 54 式 122mm 榴弹炮的下架。下架为铸钢件，中部是立轴室，前面安装车轴与行军缓冲器，后侧有大架驻栓和支撑器，大架驻栓用于将大架固定在开架位置，支撑器用于将摇架和上架固定在行军状态。

这种下架结构较复杂，架体较高，不利于全炮降低火线高。

（三）扁平箱形下架

对于大口径火炮，为了减小火线高，采用了短立轴带防撬板式上架。此时下架演变成扁平箱体，扭杆可作纵向布置，以达到减小辙距的要求。

其典型结构如图 2-5-18 所示的 59 式 130mm 加农炮的下架。下架为钢铸件。为适应短立轴上架和齿弧式方向机的需要，下架本体横向尺寸较大，垂直高度较小，成扁平箱形。本体的上面有前后支撑面，用于射击时支撑上架，前支撑面的前侧是定向凸缘，与上架防撬板配合。本体内部为空心，用以安装行军缓冲器、制动器和储气瓶。本体后方有方向分划板，用于进行方向角的概略瞄准。为防止在夜间行军时碰车，下架本体前端装有指示灯与插座。

这种大架结构复杂。因其上、下架配合的镜面面积大，立轴孔也大，射击时能承受较大的载荷。一般多用于大口径牵引火炮。

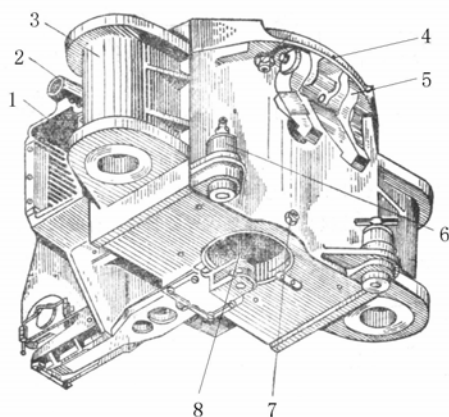


图 2-5-17 碟形下架

1-车轴室；2-方向机支座；3-连接耳；4-指标；
5-行军支撑器；6-大架驻栓；7-注油嘴；8-立轴室。

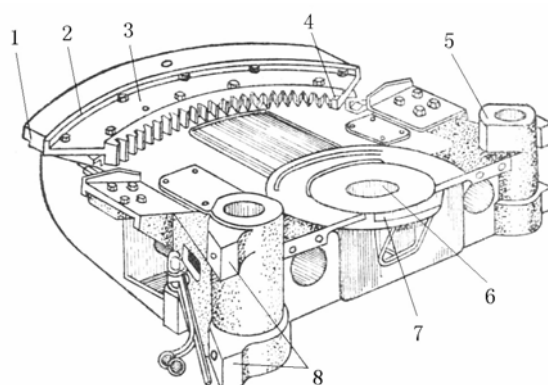


图 2-5-18 扁平箱形下架

1-定向缘；2-定向弧；3-方向齿弧；4-限制板；
5-连接耳；6-立轴孔；7-方向分划板；8-限制铁。

四、大架

发射时在后部支撑火炮以保证射击静止性和稳定性，行军状态下又构成运动体的一部分，起着牵引火炮的作用。一般由板状或管状材料焊接而成。

大架(trail)分单脚式、开脚式和多脚式 3 种。早期的火炮为单脚，方向射界较小($\pm 6^\circ \sim$

$\pm 8^\circ$)。现代牵引式地面火炮多为开脚式，多脚式大架常用于高射炮，近来有些地面火炮也采用了多脚式大架，其目的是将火炮的方向射界增大至 360° ，可进行环形射击，如原苏联 D-30 式 122mm 榴弹炮上采用了 3 脚式大架。

美 M 102 式 105mm 榴弹炮采用鸟胸骨形大架 (bird breast-type trail)，见图 2-5-19。这种大架把上架、下架和大架三者合成一体，从而简化了结构，减轻了全炮的质量。鸟胸骨形大架为箱形铝合金焊接结构，属于单脚式。由于该大架中间成弓形，故在大射角射击时并不妨碍炮身后坐，炮手还可以站在炮尾后面装填。全炮可围绕前座盘的球轴转动，方向射界可达 360° 。英国一种轻型 105mm 榴弹炮也采用了类似的马蹄形大架。

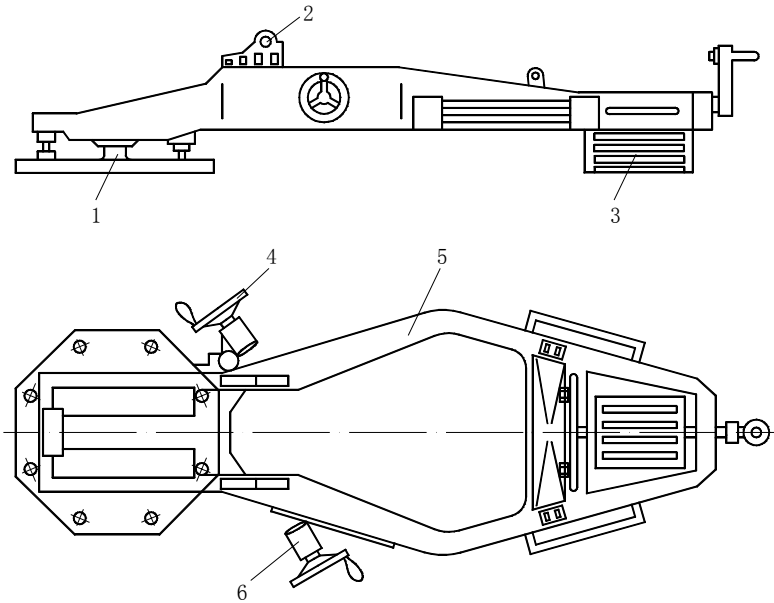


图 2-5-19 美 M102 式 105mm 榴弹炮大架

1-前座盘球轴；2-炮耳轴座；3-滚轮；4-高低机手轮；5-大架本体；6-方向机手轮。

如图 2-5-20 所示，开脚式大架一般由架头、本体和架尾组成。架头有铰链轴孔，由架头轴与下架相连，架头的高度与下架结构、大架剖面尺寸和火炮最低点离地高的要求有关，它同时也应考虑炮手操作的方便性。架尾一般装有驻锄、牵引杆、抬架杠等。大架本体多做成圆形剖面、或矩形剖面。射击时，大架可以看成是架头被固定的悬臂梁，在地面反力的作用下产生弯曲变形，所受弯矩愈向架头则愈大。因此，本体后部的剖面尺寸可以逐渐减小，使其接近等强度梁，大架本体上的

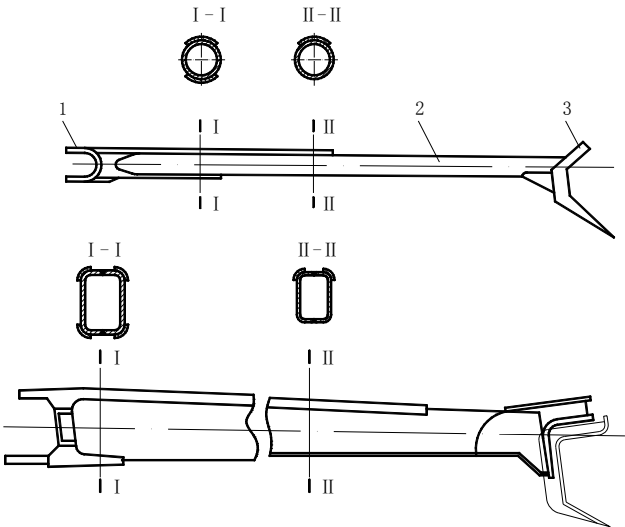


图 2-5-20 开脚式大架

(a) 圆形剖面；(b) 矩形剖面。

1-架头；2-大架本体；3-架尾与驻锄。

加强筋一般也是焊在前端。在壁厚相等的条件下，当承受单向弯矩时，矩形剖面的抗弯性能优于圆形剖面，大架质量相对较轻。本体上还有各种固定座和驻栓，用以固定和安放调架棍、洗把杆或送弹棍、行军固定器、注气和注液双用唧筒等。

驻锄（spade）是用于发射时将作用在炮架上的水平载荷和部分垂直载荷传给地面，限制火炮移动的构件。其面积大小与火炮威力、地面土质的比压有关。按安装方式分为活动式和固定式两种。前者装于架尾，非战斗状态下可拆或折叠起来。后者则

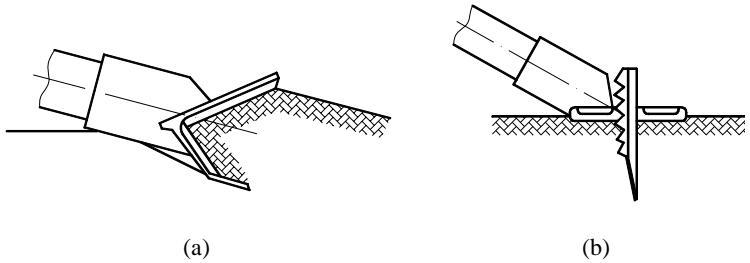


图 2-5-21 驻锄

(a) 插入式； (b) 打入式。

固定在架尾上，按操作方式可分为插入式和打入式（如图 2-5-21 所示）。插入式多固定于架尾，发射前将其插入事先挖好的驻锄坑中，再用土质等进行填实。打入式驻锄也称驻桩，呈独立桩形构件，一般安放在架体的其他部位，发射前，将其从架尾或高炮的十字梁，或坐盘等件的驻桩孔中打入土壤内，它只能抗水平载荷。在战斗使用中，要求迅速、正确地安放驻锄，否则，将直接影响火力的发挥。插入式驻锄坑的斜度和形状须与驻锄一致（如 54 式 122 mm 榴弹炮的驻锄坑斜度为 18° ）。因此驻锄结构应便于修筑工事。有的火炮为适应土壤比压随季节和土质松软程度的变化，专门配有面积不同的两种驻锄。在冬季或土质较硬时用面积较小的一种，称为冬用驻锄（winter spade），在夏季或土质较软时用面积较大的一种，称为夏用驻锄（summer spade），夏用驻锄多为活动式。有些大口径自行火炮，也配有驻锄装置。

架尾轮（trail wheel）又称尾轮，是装于大架尾端作为支撑架尾的一个支点滚轮（如图 2-5-22 所示），主要用于移动火炮位置和变换火炮状态时减小炮手的体力消耗，它并不承受火炮发射时的载荷，只在开、并架及短距离推运火炮时支持架尾使运动轻便。平时及发射时固定在大架一侧。在大架尾部的调架棍和提把，都是在开、并架中供人力抬起大架时用。

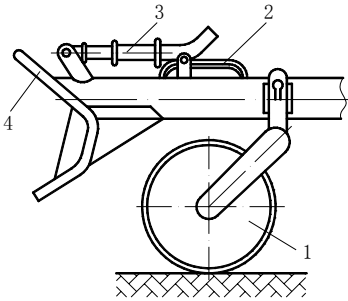


图 2-5-22 架尾轮

1-滚轮；2-提把；3-调架棍；4-驻锄。

五、调平装置

调平装置(leveling mechanism)的作用是使火炮的支点在射击时能够很好地与地面接触，致使下架平面保持水平。这样，耳轴不至于倾斜，有利于保证良好的射击密集度。

双脚式和四脚式炮架有四个支点，射击时必须使四点确实着地，炮架才不会左右摇摆。如地面不平就很难使四支点同时确实着地，故四点着地的火炮必须设有调平装置。

调平装置一般附属于下架，其结构形式与下架和缓冲器的结构形式有关。其调平方式有多种，一般分三点法和螺杆法两种。

（一）三点法调平装置（three-points leveling mechanism）

三点法调平装置是地面火炮广泛采用的一种，它可分为车轮调平、架尾调平和座盘调平三种。从结构形式来看，调平装置有插栓式、齿轮式和球轴式等。

1. 车轮调平 (wheel leveling)

车轮调平是让车轮在一定的限度内适应任意倾斜的地面，两车轮着地的左右支点，通过调平机构转化为支撑炮架的一个支点。这样下架就可不受车轮倾斜的影响，并可保证四点确实着地。

54 式 122mm 榴弹炮采用插栓式车轮调平机构 (wheel leveling with shaft)，如图 2-5-23 所示。它将插栓插入下架与车轴中间，使车轴可绕插栓相对于下架转动，将车轮的两个支点转化为一个支点，这样就保证了四支点确实着地，并且在驻锄水平时，可保持炮耳轴水平。如架尾两支点不在同一水平面上，下架平面仍会倾斜。此种结构插栓一般与车轴联用，目前应用较少。

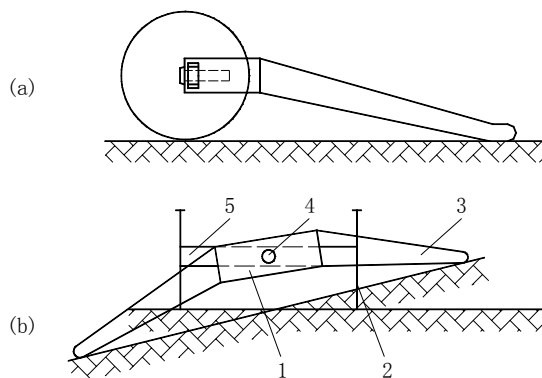


图 2-5-23 54 式 122mm 榴弹炮调平机构

(a) 四点着地下架已平；(b) 四点着地下架没平。

1-下架本体；2-车轮；3-大架；4-插栓；5-车轴。

56 式 85mm 加农炮采用齿轮式调平机构 (wheel leveling with gear)。如图 2-5-24 所示。此种结构多与扭杆式下架缓冲器联合使用，由装在下架本体内的半轴代替了整体车轴，调平动作是由一边的曲臂带动半轴回转，经中间齿轮使另一边的半轴、曲臂转动，此时缓冲装置不起作用。因此当地面不平时，两边的半轴可以相对转动。这种机构在车轮和驻锄处的地面相互倾斜 $5^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 的范围内能自动调整到四点着地。

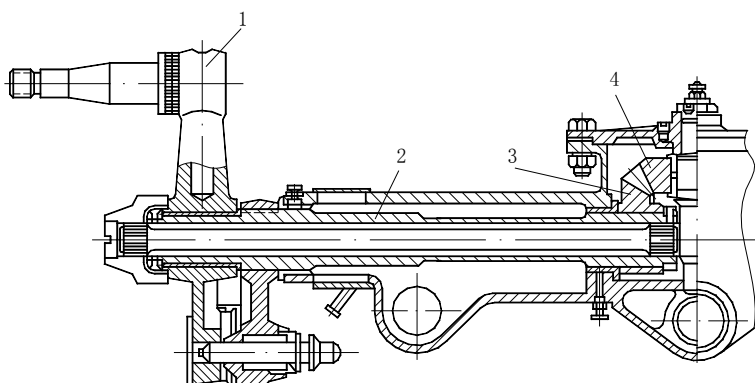


图 2-5-24 56 式 85mm 加农炮调平机构

1-曲臂轮轴；2-半轴；3-锥形齿轮；4-中介锥齿轮。

2. 架尾调平 (trail leveling)

又称连杆式调平机构。100mm 加农炮采用的就是这种机构。其原理图如图 2-5-25。当两架尾处地面不平时，一大架可绕下架回转，通过连杆带动另一大架回转，使两个架尾着地简化成为一点，以达火炮稳定着地。此结构能在调平范围内（大架左右偏转 6° ），使两车轮处于同一水平面内，而两架尾处于高低不平时火炮仍能保持下架水平。此结构操作方便，也有利于改善大架受力情况，在保证连杆强度的前提下，连杆不宜离下架太远，以防射击时或行军时碰弯。

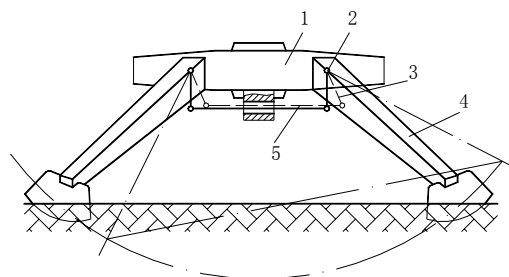


图 2-5-25 架尾调平示意图

1-下架；2-架头插轴；3-摇臂；4-大架；5-连杆。

3. 球轴调平 (socket joint leveling)

具有前座盘（front float）的牵引式地面火炮，射击时底盘着地，底盘与其上的支架以球轴连接，支架支撑着下架，图 2-5-26。车轮被抬起离开地面，自然形成三点着地，不需另设专门的调平机构。这种调平方式有下列优点：

- （1）射击时车轮离地，免除了轮胎的弹性作用，对提高射击稳定性有利。
- （2）射击时车轮不承载，有利于减

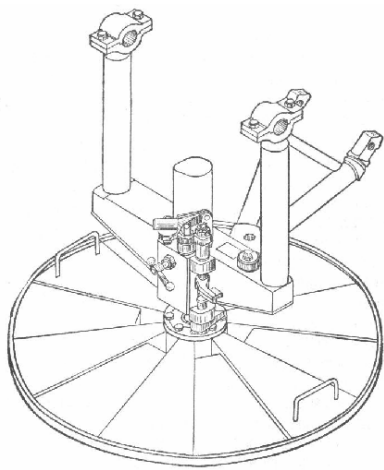


图 2-5-26 60 式 122mm 加农炮底盘

小车轮尺寸和质量。

（3）有利于解决复进稳定性和抬架力之间的矛盾。这是因为，可以将座盘支在车轮的前面，增大了射击时前支点到全炮质心的距离，从而提高了复进稳定性。当车轮着地时，由于车轮靠近全炮质心，因而减小了抬架力。

这种机构的缺点是需用油压千斤顶抬起火炮，才能变换战斗状态与行军状态，转换的时间较长。

（二）螺杆调平（screw leveling）

这种调平方式广泛用在高射炮中。它利用 3~4 个相同的杠起螺杆，在射击时作为火炮的支撑点，各支点均能确实着地，并借助水平仪可调节炮车达到水平，以保持炮耳轴的水平。图 2-5-27 是 59 式 57mm 高射炮的杠起螺杆。杠起螺杆应能自锁，以防火炮自动下落。

螺杆调平操作费力、传动效率较低。目前在大口径高炮上有采用滚珠丝杠结构的杠起螺杆。将丝杠的滑动摩擦变为滚动摩擦，可提高传动效率，操作省力。

（三）自动调平（automatic leveling）

如瑞士 GDF 式 35mm 双管高射炮上装有由电-液控制的支点升降系统，按下调平按钮，火炮可自动调整到水平位置。操作十分方便，但结构比较复杂。

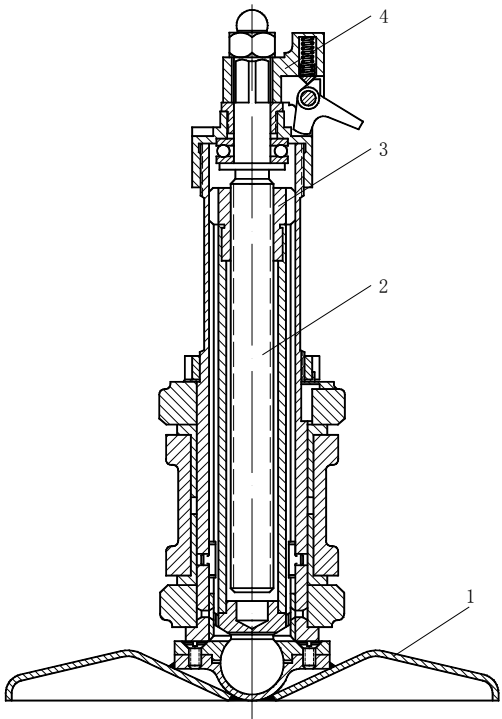


图 2-5-27 螺杆调平

1-座板；2-螺杆；3-螺筒；4-转把。

第三节 瞄准机（laying mechanism）

一、瞄准机的作用及要求

火炮在发射前必须进行瞄准。瞄准（laying aiming）就是赋予炮身轴线在水平面和垂直面上处于正确位置的动作过程，以使射击时弹丸的平均弹道通过预定的目标。在水平面上进

行的瞄准称为方向瞄准，完成此动作的动力传动机构叫方向机（traversing mechanism）；在垂直面内进行的瞄准称为高低瞄准，完成此动作的动力传动机构叫高低机（elevating mechanism）。因此，火炮瞄准机是方向机和高低机的总称，是火炮瞄准系统的一个组成部分。它按照火炮瞄准装置或指挥仪所示出的射击诸元来赋予炮身一定的仰角和方位角。火炮瞄准机的工作性能直接影响到火炮的战斗性能，通常有下述主要要求。

1. 瞄准速度

瞄准速度是指每秒钟炮身回转的角度，单位为度/秒。对于手动瞄准，瞄准速度常用手轮每转一转时炮身的转角表示，单位为度/转。

瞄准操作能否迅速完成，对提高火力机动性有直接意义。瞄准操作是否能迅速完全取决于瞄准速度。火炮瞄准速度高，既可快速逐个瞄准固定目标，也能跟踪快速活动目标。

图 2-5-28 表示对水平飞行的目标跟踪瞄准的情况，图中， V_m 为目标的飞行速度， D 为火炮至目标的距离， β 为火炮方位角， ε 为炮目高低角， P 为航路捷径。

由此火炮跟踪目标所需方向瞄准速度为：

$$\omega_{\beta} = \frac{180V_m \cos \beta}{\pi D \cos \varepsilon} = \frac{180V_m}{\pi P} \cos^2 \beta$$

当 $\beta = 0$ 时，所需的方向瞄准速度最大，即

$$\omega_{\beta_{\max}} = \frac{180V_m}{\pi P}$$

由上式可见，航路捷径 P 越小，所需的瞄准速度越大。对应最小航路捷径 P_{\min} 火炮所需的最大瞄准速度为

$$\omega_{\beta_{\max}} = \frac{180V_m}{\pi P_{\min}}$$

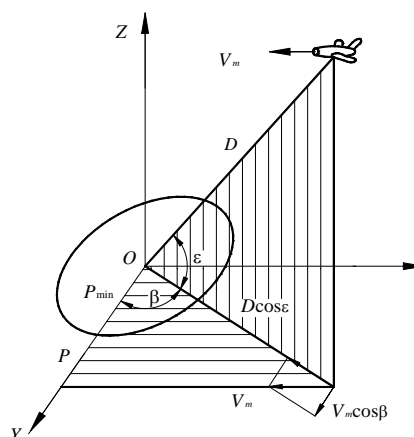


图 2-5-28 对水平飞行目标瞄准示意图

由此可知，当由上式确定的瞄准速度 $\omega_{\beta_{\max}}$ 进行瞄准，对以速度为 V_m 飞行的目标在小于 P_{\min} 以内的区域出现时，火炮将跟踪不上目标。即在以火炮立轴为中心， P_{\min} 为半径作一圆，在此圆内，火炮则无法进行瞄准，此区称为瞄准死区，参见图 2-5-28。设计火炮时，希望尽量提高瞄准速度，缩小死区，但是火炮实际的瞄准速度受到结构条件的限制，如受到火炮起落部分和回转部分转动惯量的限制，同时还受到传动机构的速比的限制（速比 $i = \text{转轮转速} / \text{炮身转速}$ ），后一点对用人力操纵的瞄准机更为突出。

2. 操作要轻便

人力操作时，瞄准的轻便性通常以手轮力 F_s 的大小衡量。一般体力的战士每分钟能转动手轮 120~150 转。发出稳定功率大约 7.5 kgf·m/s (0.1 马力)，如手轮半径为 r ，则功率 N 为：

$$N = \frac{F_s \cdot 2\pi r \cdot n}{60 \times 75} \Rightarrow F_s = 716.2 \frac{N}{r \cdot n}$$

如取 $N = 0.1$ (马力)， $r = 0.15\text{m}$ ， $n = 120\text{r/min}$ ，则 $F_s = 4\text{kgf}$

因此，火炮瞄准机手轮力一般控制在 4 Kg 左右，口径较大的火炮，手轮力可以稍大一些。当然，增大手轮半径 r 可以减小手轮力，但 r 太大，炮手转动手轮时上身会发生摇动，操作不便，影响瞄准。

3. 保证有足够的射界

射界的大小是火炮火力机动性的一个主要标志。但它受到炮架结构的制约，射界越大，炮架越重，这对控制全炮质量不利。由于不同类型火炮对射界的要求不同，因而应根据炮种来确定其必要的射界，以解决火力机动性与全炮质量的矛盾。

一般地面火炮的高低射界，由于在最小射角射击的机会较少，最小射角一般取 $-3^\circ \sim -5^\circ$ ，反坦克炮有在负角射击的机会，最小射角一般取 -10° 左右。最大射角主要随火炮外弹道性能而定，反坦克炮约为 $25^\circ \sim 35^\circ$ ，加农炮常为 $35^\circ \sim 45^\circ$ ，加农榴弹炮为 65° 左右，最近发展的加榴炮则要求 70° 甚至更大。方向射界常为 60° （左、右各 30° ），另有少数地面火炮为了提高火力机动性而将方向射界扩大为 360° 。高射炮的高低射界一般为 $-5^\circ \sim 87^\circ$ 左右，方向射界为 360° 。

4. 瞄准机应有一定的精度，瞄准之后不应变位。

瞄准机结构设计要合理，配合间隙要适当。如将瞄准机传动中的空回量以手轮空回量表示，一般地面火炮手轮空回不允许大于 $1/8$ 至 $1/4$ 转，高炮不允许大于 $1/64$ 转。发射时，火炮在动力偶 $P_t \cdot e$ 、合力 R 及弹丸回转力矩 M_k 的作用下，使起落部分和回转部分有绕自身轴转动的趋势，瞄准线可能变位。

现有火炮的瞄准机中，大都采用蜗轮、蜗杆副作为自锁环节，螺杆式瞄准机，则由螺杆螺母本身进行自锁。为了自锁可靠，一般螺杆和蜗杆的螺旋升角 λ 不应超过 3° （采用滚动轴承）或 5° （采用滑动轴承）。但是 λ 越小，传动效率越低，瞄准时所需的功率越大。为了提高传动效率，有些火炮将 λ 角适当加大，为防止射击时反转传动而另加一个制动器。如图 2-5-29 所示。

制动器的作用原理如下：当火炮射击时，蜗杆受有轴向力 F_z 和切向力 $F_z \tan \lambda$ ，如果切向力 $F_z \tan \lambda$ 对蜗杆轴线的力矩超过蜗杆轴承和齿面间的摩擦力矩时，蜗杆即不能自锁而转动，引起炮身变位。为此有的火炮在蜗杆前端加摩擦盘机构（图 2-5-29），这样蜗杆在轴向

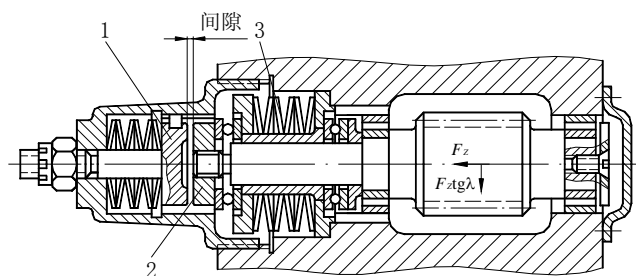


图 2-5-29 制动器原理图

1-摩擦盘；2-螺母；3-碟形弹簧。

力 F_z 的作用下可以压缩弹簧 3 而作轴向移动，蜗杆稍作移动后，即使固定在蜗杆一端螺母 2 的端面和摩擦盘之间的间隙消失而贴合，由于摩擦盘受壳体的限制，只能移动，不能转动，因此在螺母和摩擦盘的贴合面之间产生摩擦力矩，制止蜗杆转动而起到自锁作用。射击后，蜗杆靠弹簧 3 的作用力而恢复原位，螺母与摩擦盘之间的间隙重新出现，这样在瞄准操作时不会受此机构的影响而使手轮力加大。

为提高瞄准机的传动效率，有些火炮采用传动效率较高的滚柱自锁器限制反转传动。

5. 操作、保养和调整方便，不易损坏。

例如，手轮位置应便于操作，机构便于润滑、擦拭、检修拆装和调整。

二、方向机

方向机是驱动火炮回转部分、赋予炮身方位角的机械传动装置。通常由手轮、传动链、自锁器、空回调整器及有关的辅助装置等组成。在有外能源驱动的情况下，还设有手动与机动转换装置及变速装置等。

方向机应设在回转部分与下架之间。其传动链末端构件中有一部分与上架相连，另一部

分应固定在下架上。

根据传动链末端驱动回转部分的构件不同,方向机一般分为:螺杆式、齿弧式和齿圈式。方向机的典型结构简介如下。

1. 螺杆式方向机

这是一种利用螺杆、螺筒相对转动而带动回转部分转动的机构。是方向机中最简单的一种结构形式。

图 2-5-30 为螺杆式方向机原理图。螺杆以叉形接头装在下架本体的 B 点上,螺筒以球形轴装在上架瞄准机支臂 C 点上。螺筒与螺杆相啮合, A 点为基轴中心。转动手轮时,带动螺筒旋转,但螺杆不旋转,只能绕 B 点作方向摆动,故螺筒在螺杆上移动,使 BC 距离变化,迫使上架的 C 点以 A 点为圆心, AC 为半径作弧形运动,从而带动回转部分绕 A 点在水平面上转动,获得所需要的方位角。

为了操作方便,常将螺杆倾斜布置,即 A 、 B 两点不在同一平面内,这也有利于提高瞄准速度。

图 2-5-31 为 85mm 加农炮螺杆式方向机结构图。方向机由传动管、球轴、前、后螺筒、螺杆和护套等组成。

传动管后端固定着手轮,中部装有球轴和两套止推滚珠轴承,前端焊着套筒,球轴通过衬筒、轴承和螺栓固定在上架瞄准机支臂的套箍内,使传动管只能在球轴内转动和摆动,而不能相对于套箍移动。前后螺筒固定在套筒内,其内部的

螺纹与螺杆相啮合,螺纹磨损后,前端的螺筒可以调整空回,它平时被螺帽和垫圈固定着。后端的螺筒焊在套筒内。螺杆的头部焊有座环,用以固定护套,并将其连接耳用连接轴固定在叉形接头上。护套用以保护螺杆和套筒,防止灰尘侵入。

方向机的螺杆和螺筒都是左旋螺纹,使手轮旋转方向与炮尾转动的方向一致,便于操作。前后止推轴承起减小摩擦的作用。

螺杆式方向机构造简单,外形紧凑,广泛用于中、小口径地面火炮上,83 式、54 式 122mm 榴弹炮、60 式 122mm 加农炮皆用此结构。但方向射界较小,且所需手轮力也不均匀。

2. 齿弧式方向机

齿弧式方向机和齿弧式高低机

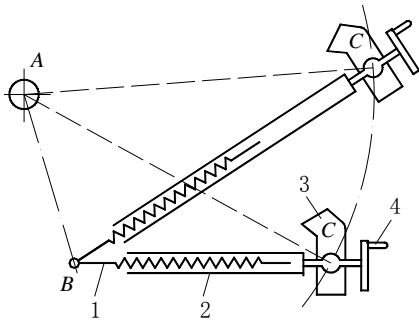


图 2-5-30 螺杆方向机原理图

1-螺杆; 2-螺筒; 3-上架支臂; 4-手轮。

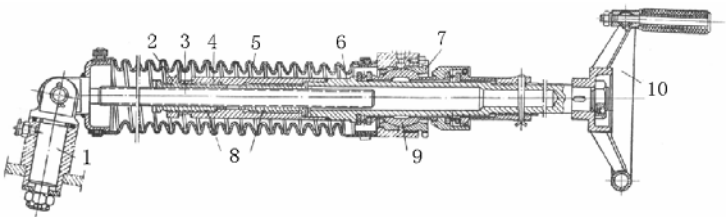


图 2-5-31 螺杆式方向机

1-叉形接头; 2-螺帽; 3-螺杆; 4-套筒; 5-帆布护套;
6-传动管; 7-衬筒; 8-前、后螺筒; 9-球轴; 10-手轮。

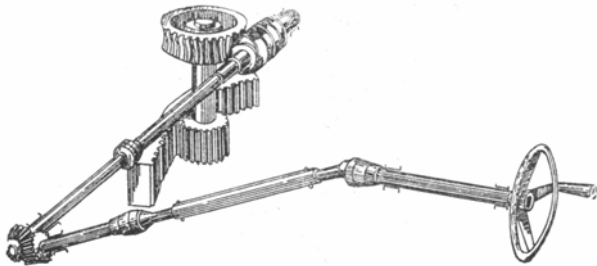


图 2-5-32 齿弧式方向机原理图

的结构和工作原理基本相同。它的最大特点是方向射界不受限制,因此在方向射界要求较大的火炮(特别是方向射界需要 360° 的火炮)上使用较多。缺点是结构较复杂。

图 2-5-32 为齿弧式方向机的基本型式。图中齿弧安装在下架上,其余部分装在上架上随上架转动。转动手轮,通过锥齿轮、蜗杆蜗轮到小齿轮,齿弧不动,小齿轮沿齿弧滚动,带动上架(回转部分)转动,实现方向瞄准。

采用蜗轮蜗杆,结构较紧凑,并起自锁作用。锥齿轮的作用是改变手轮的位置。

齿弧式方向机多用在方向射界较大,回转部分较重且质心距立轴较远,上架尺寸较大的火炮上,例如 59 式 130mm 加农炮与 152mm 加农炮的方向机。

如将齿弧延长成一个齿圈,则方向射界可到 360° ,常用于高射炮、坦克炮及舰炮上。

三、高低机

高低机是驱动火炮起落部分,赋予炮身俯仰角的动力传动装置。通常由手轮、传动链、自锁器及有关辅助装置等组成。在有外能源驱动的情况下,还设有手动与机动转换装置及变速装置等。

高低机应设在起落部分与上架之间。其传动链末端构件中的一部分与摇架相连,另一部分应固定在上架中。

根据传动链末端驱动起落部分的构件不同,高低机可分为:齿弧式高低机、螺母丝杠式高低机、液压式高低机,其典型结构简介如下。

1. 齿弧式高低机

这种高低机在其传动链的末端有齿轮齿弧副。为保证自锁,常采用一对蜗杆蜗轮副,另外,在传动链中,还采用锥齿轮或圆柱齿轮传动,以调整手轮位置,便于炮手操作。采用蜗轮蜗杆传动有其特点:结构简单而能自锁,传动中只能由蜗杆带动蜗轮旋转,而不能反向带动,这样可以使瞄准后炮身的轴线不会自行改变,为保证自锁可靠,蜗杆螺旋角取得较小,一般为 $3^\circ \sim 6^\circ$;蜗轮蜗杆轴交叉 90° 布置,可方便地改变转动方向;但由于保证了自锁性能而使摩擦力增大,传动效率较低。

图 2-5-33 为 85mm 加农炮的高低机传动示意图。蜗轮箱与上架固定,高低齿弧装在摇架侧后方,有利于降低火炮火线高。转动手轮,蜗杆带动蜗轮使高低机主齿轮一起转动,从而拨动高低齿弧使起落部分以耳轴为中心转动,进行高低瞄准。

54 式 122mm 榴弹炮高低机的齿弧固定在摇架的正下方,高低机主齿轮轴装在上架两侧板上,改善了齿轮副的受力状况,但不利于降低火线高,这种高低机还设有蜗杆缓冲器。如图 2-5-34。

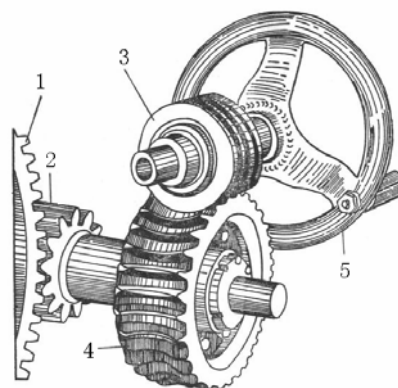


图 2-5-33 齿弧式高低机

1-高低齿弧; 2-主齿轮; 3-蜗杆; 4-蜗轮; 5-手轮。

射击时或行军时,起落部分会发生上、下振动而绕耳轴翻转,若无缓冲器时,主齿轮带动蜗轮刚性冲击蜗杆,会使铜质蜗轮损坏;设置缓冲器时,因有碟形弹簧,蜗杆可在轴向作一定的移动,压缩弹簧避免了刚性撞击。

59 式 130mm 加农炮和 60 式 122mm 加农炮也是齿弧式高低机,其上装有类似的缓冲装置,同时还设有制动器,以制止蜗杆在射击时的转动。

齿弧式高低机传动机构简单,加工较易,维护保养较液压式方便。但传动效率较低(45%)广泛用于现装火炮上。

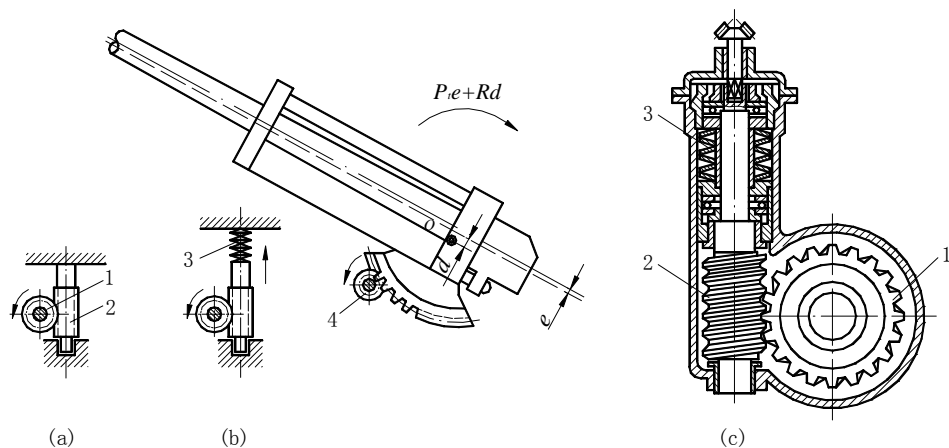


图 2-5-34 带缓冲器的高低机

(a) 无缓冲器时；(b) 有缓冲器的高低机；(c) 缓冲器。

1-蜗轮；2-蜗杆；3-碟形弹簧；4-高低机齿轮。

2. 螺杠式高低机

这种高低机是靠螺杆副的位移来驱动起落部分以进行高低瞄准。它结构简单，能自锁。但传速比不是常数，射界不能太大，实现机械动力操作困难。一般适用于迫击炮和低仰角范围的小口径火炮。

为了提高螺杆式高低机的传动效率和扩大高低射界，现代火炮也有采用多用滚珠丝杆来代替螺母丝杆，为使火炮部件结构紧凑，常将平衡机弹簧套在螺筒外，成为螺杆式高低平衡机。图 2-5-35 系美 M 102 式 105 mm 榴弹炮的高低平衡机传动示意图。

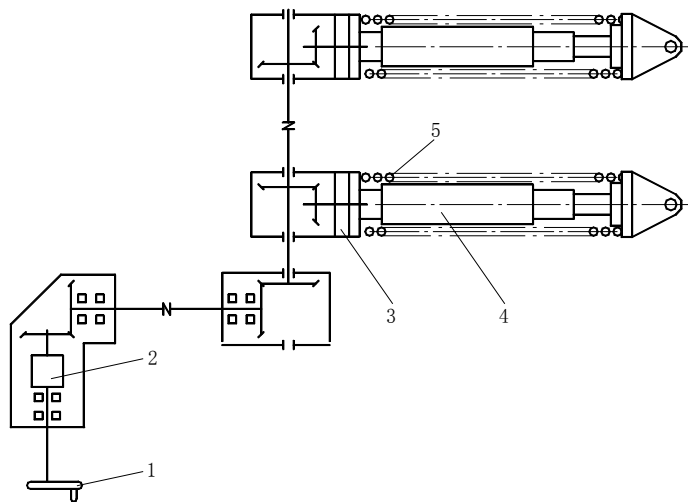


图 2-5-35 高低平衡机传动示意图

1-手轮；2-滑块自锁器；3-楔块自锁器；4-螺筒；5-平衡机弹簧。

滚珠丝杠高低机传动效率高，能增大射角，但不能自锁，使用时必须在传动链中另加自锁机构。为了提高瞄准速度，则增大螺距；为了提高螺纹强度，多采用多头螺纹。

3. 液压式高低机

由液体作介质赋予炮身仰角的装置，见图 2-5-36。适用于坦克炮和自行炮，并可与减震器相结合；也用于地面炮，一般与平衡机相结合而成高

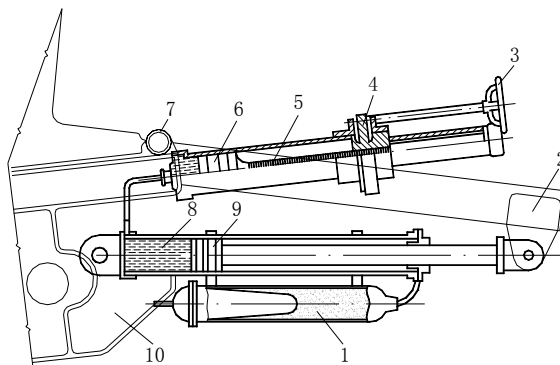


图 2-5-36 液压式高平机

1-压缩气体；2-摇架；3-手轮；4-直齿轮；5-丝杆；6-活塞；7-耳轴；8-油柱；9-活塞；10-上架。

平机。优点是结构紧凑，缺点是可能产生液体或气体泄漏。液压式高低机铰接于上架上，液体注入迫使活塞杆伸出时，带动摇架转动，减小仰角；液体流出时，平衡机内压缩空气将活塞杆压回，带动摇架向下转动，增大仰角。液体的注入流出可由人力转动手轮或以安装在上架（或摇架）上的液压泵驱动。

第四节 平衡机（equilibrator）

一、平衡机的作用原理

随着现代火炮威力的日益提高，炮身增长。为了保证火炮射击稳定性，减小后坐阻力，需要尽量降低火线高，增大后坐长；为了避免大射角时炮尾后坐碰地，以及便于装填炮弹和安装其他机构等。这些都需要将炮耳轴向炮尾附近布置，于是就引起质心前移。

起落部分重力 Q_q 便对炮耳轴形成一个重力矩 $M_q = Q_q \cdot l_q \cos \varphi$ （图 2-5-37，其中 l_q 是射角 $\varphi = 0^\circ$ 时重力 Q_q 至耳轴的距离）。在此情况下，起

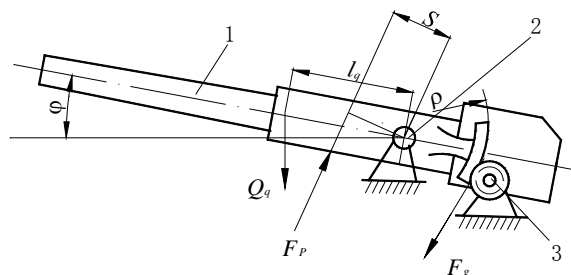


图 2-5-37 起落部分受力

1-起落部分；2-炮耳轴；3-高低机齿轮。

落部分会自然下垂，为了不使其下垂，就要传给高低机齿弧以相当大的力 F_g ，形成力矩 $F_g \cdot \rho$ （ ρ 为耳轴至齿弧节圆的半径）。这样，当需要增加炮身射角时，则十分费力，以至人力不能胜任；而需减小射角时，由于重力矩 M_q 作用，会在高低机齿轮、齿弧间产生猛烈冲击和跳动。为避免上述情况，就必须在耳轴前方（或后方）对起落部分外加一个推力 F_p （或拉力），形成对耳轴的平衡力矩 $M_p = F_p \cdot S$ ，其方向与重力矩相反，使 $M_q = M_p$ ，或者两力矩虽不能完全相等，但差值 ΔM 不大（ $\Delta M = M_q - M_p$ ），从而使 F_g 足够小，以保证操作高低机时，打高轻便，打低平稳。

提供平衡力，一般有两种方式。

1. 配重平衡

在炮耳轴后方，炮尾或摇架上附加适量的金属配重，可用灌铅或者用数块铅板。这种方法简单，易于实现完全平衡（perfect equilibrium）。在火炮安装在车、船上时，车、船的颠簸、摇摆不致影响平衡效果，转动高低机时所施的手轮力也不致变化。因此，配重平衡广泛用在坦克炮、自行炮和舰炮中。其缺点是使起落部分质量增加。

2. 平衡机平衡

用专门设计的平衡装置所产生的拉力（或推力）来达到提供平衡力矩的目的。这种方式与配重平衡相比，平衡机结构紧凑，质量小，但结构较复杂。目前广泛应用于各类火炮。

由此可知平衡机的作用就是产生一个平衡力，形成一个对耳轴的力矩，来平衡起落部分重力对耳轴的力矩，使操作炮身俯仰或动力传动时轻便、平稳。

平衡机的位置应该是在摇架与上架之间。平衡机构有一端铰接于上架或托架上，另一端直接或通过挠性件（如链条、钢缆等）与起落部分连接。射角变化时，平衡机作用在起落部分上平衡力的大小及方向应接近重力矩的变化规律。用一个平衡机时，一般装在上架的一侧；用两个时，则对称装于上架的两侧。

由于起落部分重力矩 $M_q = Q_q \cdot l_q \cos \varphi$ 是随射角的余弦函数而变化，而平衡力矩则与平衡机的种类、结构形式及安装位置有关。如果，在整个射角范围内，任何角度上 $M_q = M_p$ ，

则称此为完全平衡；如果只在某几个射角位置上 $M_q = M_p$ ，而在其他角度上 $M_q \neq M_p$ ，则称为不完全平衡（imperfect equilibrium）。重力矩与平衡力矩之差的绝对值称为不平衡力矩 ΔM 。实践中要设计完全平衡的平衡机是困难的，一般都采用不完全平衡的平衡机，并且应限定不平衡力矩的最大值 ΔM_{\max} 不大于某一规定的值。因为 ΔM_{\max} 直接影响高低机及其传动装置的设计。

二、平衡机分类及典型结构

平衡机的种类较多。一般有如下分类。

（一）按弹性元件分类

1. 弹簧式平衡机（spring-type equilibrator）

常用的是圆柱螺旋弹簧平衡机，如图 2-5-38 所示，平衡机由内筒、外筒、螺杆、弹簧等件组成。弹簧两端顶于内、外筒的盖上，外筒装在上架一支臂上，内筒上的螺杆与摇架相连。射角增大时弹簧伸长，推力减小；射角减小时弹簧压缩，平衡机推力增大。如需调整弹簧的初始力，可拧动内筒盖上的调整螺帽。

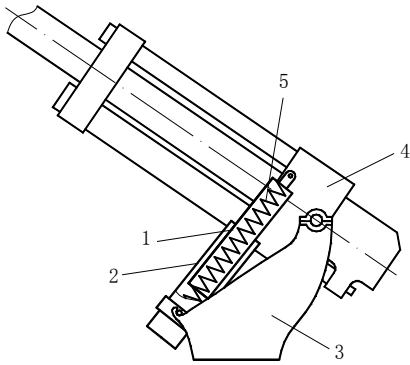


图 2-5-38 螺旋弹簧平衡机

1-内筒；2-外筒；3-上架；4-起落部分；5-弹簧。

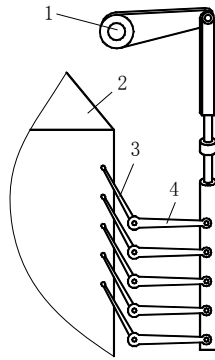


图 2-5-39 扭杆平衡机

1-耳轴；2-上架；3-扭杆；4-扭杆臂。

弹簧式平衡机结构简单，工作性能不受气温变化的影响，便于维修，应用较广。但质量较大，且弹簧易产生疲劳。

其它还有平面螺旋弹簧平衡机，片簧及扭杆平衡机（图 2-5-39）。扭杆平衡机是以一个或一个以上的扭杆代替螺旋弹簧。每根扭杆的远端刚连在上架上，自由端固定在扭转臂上。随着打高射角，扭杆放松，从而减小平衡力矩。相反，当打低射角时，扭紧扭杆而增加平衡力矩。

扭力轴式平衡机结构简单、紧凑，质量轻，扭杆不易疲劳损坏，维修简单，这种结构原理 20 世纪中就有人提出，图示结构是目前正在研制中的一种平衡装置。

2. 气压式平衡机（pneumatic-type equilibrator）

这种平衡机以气体为弹性元件，压缩气体而产生平衡力矩。一般都是推式。图 2-5-40 为 56 式 85mm 加农炮的平衡机。由内、外筒、紧塞装置、开闭器及温度调节器等组成。

内、外筒一端有球轴分别与上架及摇架铰接。筒内装有压缩气体（最大射角时为 $5 \sim 6 \text{ MP}_a$ ）用紧塞装置和少量液体对内、外筒接触处进行密封，起落部分俯仰时，内外筒相对移动，筒内容积和气体压强随射角而改变。气体压力通过外筒铰接点推起落部分，对炮耳轴形成平衡力矩，用以平衡起落部分重力矩。

为充分利用平衡机内筒容积，同时又防止液体流入内筒，在内筒上部焊有细的导管。假如液体流入内筒，则外筒液量减少，就不能保证紧塞气体。

温度调节器是用于防止因环境温度变化使筒内气压改变而影响平衡性能的装置。调节器由连接管与平衡机外筒连通。温度变化时用摇把转动螺杆使活塞移动，借以改变筒内的容积，从而调整气体压力。在温度变化 $\pm 20^\circ\text{C}$ 的范围内通过调整可使平衡机力不致过大或过小，从而使高低机工作正常。这种调节方法称为调容法。

另外，还有下列两种方法。

（1）调压法：当温度变化而影响平衡机内气压大小时，可从平衡机内放出部分气体，或用高压气瓶向平衡机内补充一些气体，来直接改变平衡机力。例如，59 式 130mm 加农炮上的平衡机就备有储气瓶。

（2）调臂长：用专门的机构调整平衡机支点的位置，改变平衡机力至耳轴的距离，以获得要求的平衡力矩，例如 60 式 122mm 加农炮的平衡机。

对于起落部分重力矩较大的火炮，如需采用两个气压式平衡机时，应该用导管将两平衡机连通。以保持压力一致，例如 59 式 130mm 加农炮的平衡机。

由于气压式平衡机难以达到完全平衡，只能采用不完全平衡原理，因此，必须控制其不平衡力矩的最大绝对值 ΔM_{\max} 在一定范围内。可是对于某些射角范围较大的火炮，平衡机在大（或小）射角时能满足 ΔM_{\max} 规定值的要求，而在小（或大）射角时 ΔM_{\max} 就超过要求，影响了高低机手轮力。因此，需要设置专门的辅助平衡装置进行调节，一般称此为平衡机的补偿装置（equilibrium compensation device）。其补偿方法也较简单。例如，59 式 130mm 加农炮在气压式平衡机中只增设了一根小弹簧，如图 2-5-41 所示。小弹簧装在座筒内，一端顶在座筒下端，座筒固定在内筒上，其上有许多小孔，以沟通内外筒，弹簧杆穿过座筒，杆上端有凸缘被小弹簧顶着，下端有螺帽，防止杆在大射角时因弹力作用而脱离座筒。在射角较大时，小弹簧不起作用，当射角减小到 5° 以下时，弹簧杆的凸缘顶在外筒上（图 b），小弹簧被压缩，它对起落部分作用一附加力 F_x ，使平衡性能改善。

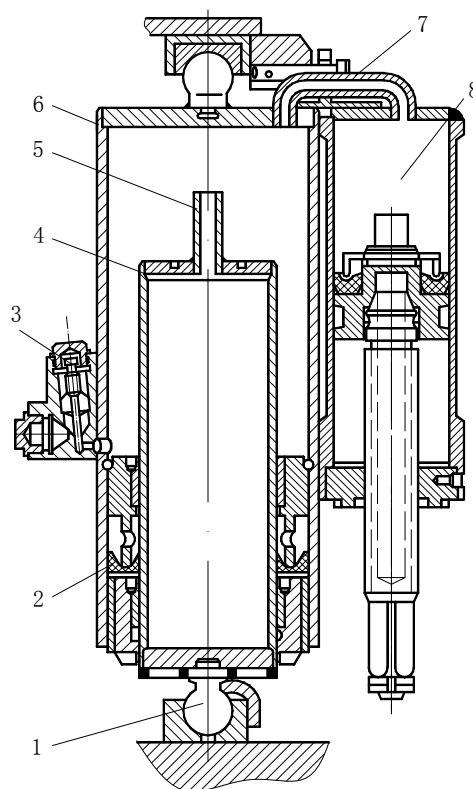


图 2-5-40 气压式平衡机

1-球轴；2-紧塞装置；3-开闭器；4-内筒；
5-导管；6-外筒；7-连接管；8-温度调节器。

气压式平衡机外形尺寸小,质量轻,加工与调整都较容易,广泛用于地面火炮。但其气体压强易受环境温度影响,维护保养比弹簧式复杂。

(二) 按作用力方向分类

1. 拉式平衡机 (pull-type equilibrator)

上拉式平衡机——平衡机拉力作用在耳轴前方。见图 2-5-42(a)。

下拉式平衡机——平衡机拉力作用在耳轴后方。见图 2-5-42(b)。

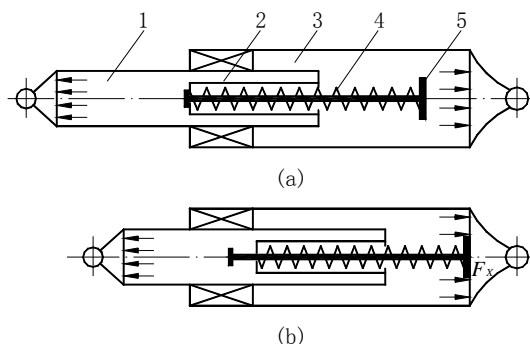


图 2-5-41 补偿装置原理图

(a) 大射角时； (b) 小射角时。

1-内筒； 2-座筒； 3-外筒； 4-小弹簧； 5-弹簧杆。

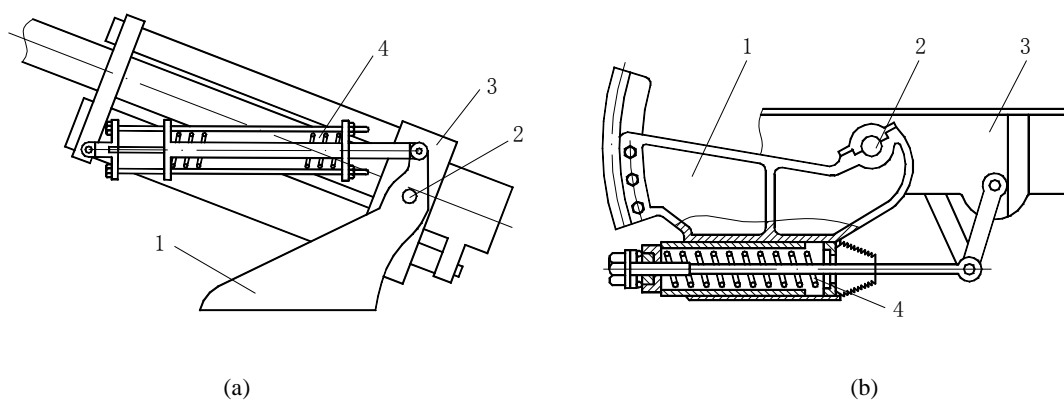


图 2-5-42 拉式平衡机

(a) 上拉式； (b) 下拉式。

1-上架； 2-耳轴； 3-摇架； 4-弹簧。

2. 推式平衡机 (push-type equilibrator)

这种平衡机对起落部分的推力作用在耳轴前方。见图 2-5-38。

(三) 按结构功能可分为：

单一平衡机，即只起平衡重力矩作用的平衡装置

高低平衡机，即同时具有平衡机与高低机功能的装置。是火炮设计中简化机构、提高部件多种功能的一种措施。有机械式和液体气压式两种。

机械式高低平衡机已成功地应用在美 M 102 式 105mm 榴弹炮上。由螺杆或滚珠丝杠高低机与弹簧式平衡机组成。平衡机的螺旋弹簧套在高低机螺杆外面，靠螺杆的伸缩，实现射角变化，由弹簧提供平衡力矩。结构紧凑，作用可靠。

液体气压式目前只用于某些大口径自行炮或牵引火炮上。由储气筒、液压泵、各种控制阀及管路等液压元件组成。结构较复杂，管道较多，维护保养较难，应用不广。

第五节 运行部分

火炮运行部分是牵引炮或自行炮运行机构和承载机构的总称。牵引式高射炮的运行部分称为炮车；自行炮和车载炮的运行部分称为车体或底盘；牵引式地面火炮的运行部分常称为运动体。运动体主要由车轮、车轴、行军缓冲器、减振器、刹车装置等部件组成，对于自运

火炮还包括辅助推进装置。这些部件与火炮的下架、大架连接和牵引车配合拉运全炮。其具体结构则由火炮种类、口径大小来确定。

运动体的性能将直接影响火炮在战场上的运动性，它是火炮机动性的一个重要方面。火炮运动性主要包括火炮的运行速度和行军战斗变换时间。现代战争要求火炮具有良好的运动性，也就是具有在战场上能快速运动并能迅速变换行军战斗状态的性能。一般对火炮运动性有如下要求。

运动轻便——主要设法减小运动阻力，包括减小车轮与车轮轴之间的摩擦阻力和地面对车轮的滚动阻力。对于一般牵引式火炮，运动的轻便性常以火炮在等速运动中所需的总牵引力与全炮质量之比值大小来表示。其值愈小牵引车所耗功率愈小，就可实现快速运动。

能通过各种道路——主要设法使各轮的载荷分布均匀，并能减小车轮对地面的单位面积压力。最低点离地高和火炮外形尺寸应能使火炮通过一般的道路与桥梁。

能高速牵引——主要设法提高运动体的缓冲及减振性能，以保证火炮在高速牵引中能经受不断的冲击，平稳行驶。

使用操作轻便——主要使设计的行军战斗固定装置在行军战斗转换时，操作轻便、迅速而安全。

工作可靠——主要应保证各机构的动作灵活并有足够的强度贮备，耐磨性好，并能有效地防尘。

一、车轮

车轮（wheel）是火炮运动体的主要部件。应尽量选用国家统一标准。根据火炮工作特点，火炮上多采用橡胶车轮，一般分为实胎，海绵胎、和气压胎（普通气压胎与自补气胎）几种。

设计年代较早的火炮有采用实胎的（例如 122mm 加农炮），实胎构造简单，但缓冲性能很差，其它轮胎出现后已不采用。目前地炮和高射炮上采用最广泛的是海绵胎车轮，海绵胎车轮的优点是缓冲性能较实胎车轮大大提高，且不易被弹片、枪弹击中而丧失作用，故其使用寿命长。其缺点是质量大，行军时海绵胎内部摩擦生热多，可能将海绵胎融化；而且在长期受压或高温影响下易失去弹性；超过规定时间就会老化失效。为减少摩擦阻力，这种车轮多用锥形滚柱轴承装在车轮轴上。火炮上左、右车轮构造相同，但不能左、右互换。因为车轮轮盘上的螺栓、螺帽的螺纹旋向是相反的，左车轮上的螺栓、螺帽螺纹为左旋，右车轮上的为右旋，以免行军中突然减速或刹车时连接螺帽松动，所以在轮盘上都按牵引方向注有“左轮”和“右转”的标记。

气压胎车轮体积小，质量轻，缓冲性能好，甚至不用专门的缓冲装置，散热性好。但普通气压胎被弹片击中后易丧失作用。目前发展了一种低压自补气胎，当被弹片、枪弹击中或硬物刺透后能自行修补，延长了使用寿命，西方国家已将其成功地用在自行火炮上，显示了其优于履带车体的性能。自补气胎将会有大的发展。

一般根据每个车轮的允许载荷 $[Q]$ 来确定车轮的数目 n 。 $[Q] \geq (1.12 \sim 1.15)Q/n$ 。 Q 为火炮加在车轮上的总载荷。车轮的直径应根据火线高、最低点离地高等因素决定。车轮直径大，行军阻力小，越野性能好，但质量也大。

二、行军缓冲装置（traveling buffer）

（一）概述

为了提高火炮的牵引速度，必须设法减小炮架在牵引过程中的受力和振动。解决方法是对炮架进行缓冲及减振。缓冲及减振的性质不同，下面分别说明其作用实质。

当火炮在牵引中由于地面不平或碰到石块等障碍时，车轮就要受到冲击。如果炮架与车轮之间为刚性连接（假如车轮也是刚性的），则炮架亦要受到同样大小的冲击。这种冲击的冲击力很大。下面作一简单估算。

假设火炮以 36km/h 的速度前进，当车轮碰到一个高（h）10cm 的障碍物，障碍物起点到最高点的水平距离（s）亦为 10cm，见图 2-5-43(a)。火炮通过障碍物时有向上运动，设此运动为匀加速运动，则可求得加速度值 a 。

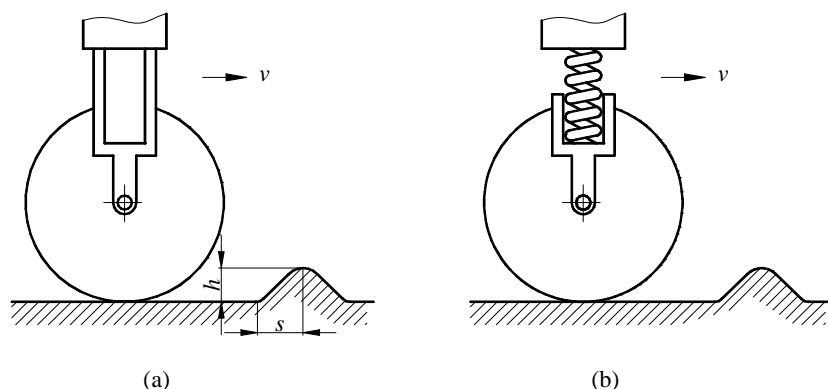


图 2-5-43 炮架与车轮连接的原理图

(a) 刚性连接；(b) 弹性连接。

当车轮从接触障碍物开始到达最高点的时间为 t ，则有： $t = s / v$

根据假设，车轮为匀加速向上运动，则有如下关系式，即

$$h = \frac{1}{2}at^2 \Rightarrow a = \frac{2h}{t^2} = \frac{2hv^2}{s^2} = \frac{2 \times 0.1 \times 10^2}{(0.1)^2} = 2000 \text{ m/s}^2 \approx 200g$$

上式数据说明，火炮上跳的加速度接近重力加速度的 200 倍，因此障碍物引起对炮架的冲击力即为火炮重力（车轮静载荷）的 200 倍。如果不是匀加速运动，瞬时冲击力将更大。可见这种结构的炮架强度则无法保证，或者只能以很小的速度运行。

如果炮架与车轮间通过弹性构件相连，车轮受到的冲击通过弹簧传到炮架上，炮架受力人为减小，它只是弹簧受压后的抗力，图 2-5-43(b)。缓冲作用实质上就是将车轮所受的突然冲击转化为较长时间内赋予炮架较小力的过程。

另外，车轮受冲击后在垂直方向上获得的动能变为弹簧的变形能，一次冲击后弹簧要伸张，它所吸收的能量又变为炮架的动能，造成炮架在垂直方向上的自由振动，因地面的冲击是随机的，有时可能出现共振现象，于是炮架振幅增大，构件相互碰撞使架体冲击加剧。因此，在有些高速行驶的火炮上（尤其在现代坦克上）一般都设有减振装置。其作用就是增大阻尼，衰减并消灭炮架的振动，使炮架在垂直方向因冲击而获得的机械能通过摩擦不可逆地转化为热能散失于空气中。

缓冲是使炮架受力和缓，即减小受力；减振是加大阻尼，衰减炮架的振动。两者的综合作用，其结果是既减小了炮架的受力，又提高了火炮的行驶平顺性，从而提高了火炮高速牵引的性能。

一般在牵引式地面火炮上因行驶速度不算高，除靠车轮或缓冲簧起一定减振作用外，不另设减振器，而只设缓冲器。现代有些牵引炮连缓冲装置也不另设，只是靠车轮的气胎进行缓冲。例如，奥地利 GHN-45 式 155mm 自运榴弹炮。

（二）缓冲器分类

现有的缓冲器有弹簧式、气液式和橡胶式 3 类。气液式多用在坦克炮和自行炮上。地面火炮的缓冲器基本上都采用弹簧式，主要有 3 种类型：扭杆式，叠板簧式及圆柱螺旋弹簧式。现简介如下。

1. 弹簧式

(1) 扭杆式缓冲器

图 2-5-44 为 85mm 加农炮半轴式缓冲器。此缓冲器由构造相同的左右两部分组成，每一部分有扭杆、半轴、杠杆、曲臂、扭杆盖、锥齿轮和开闭器。借中介齿轮将左右两边的锥形齿轮连接起来。扭杆装在管状的半轴内，内端有 41 条刻纹与半轴内的刻纹啮合，外端有 40 条刻纹与扭杆盖刻纹啮合。扭杆盖固定在曲臂上。半轴装在下架本体内部，内端外表面以花键安装锥形齿轮，外端的光滑圆柱部套着曲臂。曲臂可相对于半轴转动，但不能移动。前端焊有轮轴，安装车轮。外侧用螺栓与扭杆盖连接。杠杆以花键与半轴连接，杠杆上设有开闭器用于开闭缓冲器。

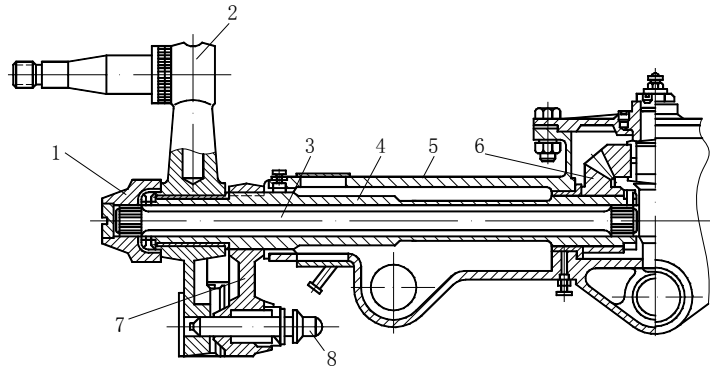


图 2-5-44 扭杆式缓冲器

1-扭杆盖；2-曲臂；3-扭杆；4-半轴；5-下架；6-锥齿轮；7-杠杆；8-开闭器。

扭杆两端刻纹数目不同，是为了在装配、维修时能精确地调整缓冲器，以达到所需的扭杆预扭力和初始缓冲间隙。如果两端的刻纹数目相同，则最小的调整量只能是 $1/40$ 周或 $1/41$ 周的角度（约 9° ），现在两端刻纹数目不同，则调整量可精确到 $(1/40-1/41)$ 周（约 0.22° ）。

火炮处于行军状态，开闭栓从曲臂孔中拔出。当车轮在不平的道路上运动时，相对于下架运动，使曲臂绕半轴摆动，带动扭杆旋转，以扭转变形来缓冲火炮的冲击。

如果车轮遇到较大的凸、凹地势，会剧烈跳动，从机构上如不加以限制，扭杆会扭断，所以在下架上设有限制铁，限制扭杆的最大扭转角。为减小冲击，在限制铁上装有橡胶缓冲垫。

火炮处于战斗状态，如果缓冲器还起作用，则在射击时炮架就会颤动，影响射击精度。因此，杠杆上的开闭栓插入曲臂孔后曲臂就不能相对于杠杆和半轴转动，扭杆不再被扭转，缓冲作用被解除。此时，两边的半轴便可借 3 个齿轮相对转动，而使火炮四点切实着地，并起调平作用。

这种扭杆缓冲器外形简单，便于精加工和强化表面，抗疲劳性能好；能与调平装置结合而置于下架体内；结构紧凑。扭杆可横向布置，也可纵向布置；扭杆刚度较大，内摩擦阻力小，阻尼小，因而减振作用较差，扭杆需合金钢制造，为防止灰尘磨损机件，应注意采用防尘措施。

扭杆式行军缓冲器目前被广泛用于各类牵引炮和自行火炮。

(2) 叠板簧缓冲器

图 2-5-45 为 54 式 122mm 榴弹炮的行军缓冲器。该装置和车轴一起装在下架本体前方的车轴室内，叠板簧两端吊在车轴上。钢板套箍套在叠板簧的中段，插入下架本体，由前、后连接筒插入套箍两侧板的孔中与下架连成一体。行军时，整门火炮上部的重量作用在叠板簧的中部，再经过弹簧两端作用在车轴上，车轮受地面冲击时，车轴相对于架体上下移动，引起钢板弹簧弯曲变形而起缓冲作用。

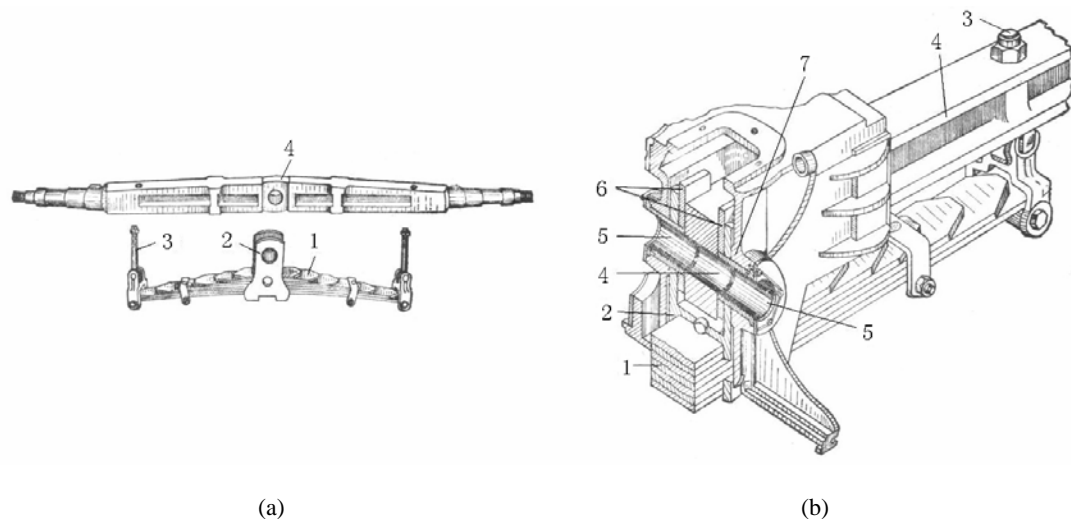


图 2-5-45 叠板簧缓冲器

(a) 车轴与板簧； (b) 车轴、板簧与下架连接

1-板簧； 2-钢板套箍； 3-螺栓； 4-车轴； 5-前、后连接筒； 6-铜滑板； 7-下架。

火炮在战斗状态时，开闭栓通过前、后连接筒的内孔而插入车轴中部的孔内，使下架本体与车轴直接相连，既可起到调平作用，又可关闭缓冲器，以保证射击精度。

叠板弹簧容易制造，但表面疵病不易避免，因此容易折断，质量较大。板簧在工作时，各片之间有相对滑动而产生摩擦，工作时能吸收一部分缓冲能量，故其减振性能较好。但其摩擦力不稳定，而且由于摩擦的存在，相当加大了板簧的刚度，因而降低了缓冲性能。扭杆缓冲器出现后火炮上很少采用此结构。

(3) 圆柱形弹簧缓冲器

图 2-5-46 为 65 式 37mm 高射炮的缓冲器。车轮轴通过缓冲器与车轴连接，行军颠簸时，弹簧受压缩，而起缓冲作用。

这种结构较简单，制造与维修都较容易。由于内摩擦阻力小，故阻尼小，振动衰减慢。其轮廓尺寸随着火炮质量加大而加大，故多用于小口径火炮上。现代火炮采用已较少。

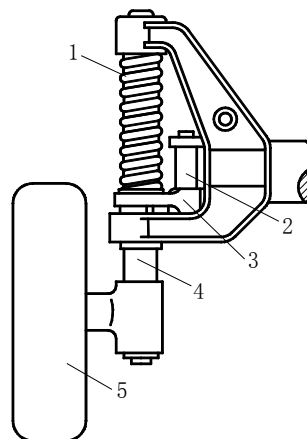


图 2-5-46 圆柱螺旋弹簧缓冲器

1-缓冲簧； 2-定向轴； 3-托板；
4-缓冲器轴； 5-车轮。

2. 橡胶式缓冲器

在有的旧式火炮中曾采用过橡胶式缓冲器，这种缓冲器由于行军速度的提高，早已被弹簧式缓冲器代替了。但由于它结构简单，新型橡胶材料的出现，近来又引起人们的注意，有很多新方案出现。下面是一种有代表性的结构（图 2-5-47），曲臂与被缓冲部分用一个壁厚很厚的橡胶管连接起来。曲臂的半轴、被缓冲部分都与橡胶管用花齿配合，可传递扭矩。在缓冲时，橡胶管受有扭转载荷。

3. 气压式缓冲器

其弹性元件是气体，它有很多优点：首先是解决了弹性元件的疲劳问题，其次，可改变气压来调节缓冲性能，使它符合于不同载荷和不同路面的需要。其结构原理如图 2-5-48 所示。贮气室与气瓶连通，内贮空气，用液体密闭。气压通过活塞作用在车轴上。目前，很多国家都在研究气压式缓冲器。

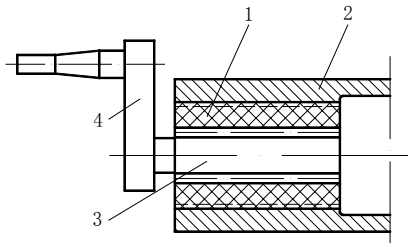


图 2-5-47 橡胶式缓冲器结构原理图

1-橡胶弹簧；2-下架；3-半轴；4-曲臂。

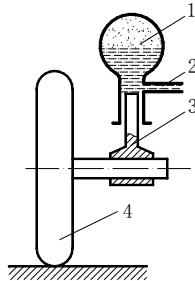


图 2-5-48 气压式缓冲器示意图

1-气室；2-与气瓶连通管；3-活塞；4-车轮。

（三）缓冲性能指标（characteristic parameters of traveling buffer）

缓冲性能指标是设计缓冲器的主要依据。已知作为缓冲器弹性元件的预压力（即静压力）由所承受火炮的质量决定。当车轮受到冲击时，炮架受力则与弹性元件的附加压缩量和刚度有关。因此，决定缓冲性能的主要指标有缓冲行程 H （即不碰限制器的车轮最大跳动量）、动载系数 K （与弹性元件的刚度有关）和缓冲容量 A （与缓冲行程及刚度有关）。

1. 缓冲行程（buffer stroke） H

当弹性元件从初始状态（平衡状态或静止状态）变为极限工作状态（接触限制器）时，车轮相对炮架在铅直方向上运动的距离，即车轮的最大跳动量，称缓冲行程。

对于图 2-5-46 结构型式的螺旋弹簧缓冲器，缓冲行程就等于弹簧的工作行程。对于扭杆缓冲器，则是对应扭杆缓冲扭转角为 φ_h 时车轮在垂直方向的行程，如图 2-5-49 中所示，即

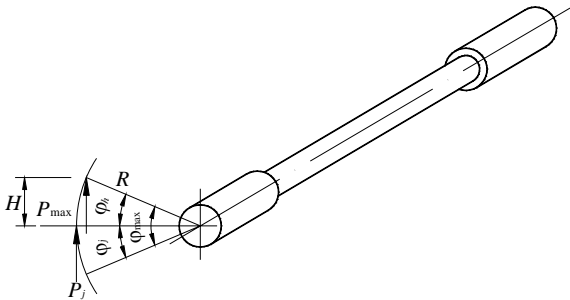


图 2-5-49 扭杆工作原理图

$$\varphi_h = \varphi_{\max} - \varphi_j$$

图中： φ_j ——火炮静止状态时扭杆的扭转角；
 φ_{\max} ——接触限制器时扭杆的扭转角；
 P_j ——火炮静止状态下车轮对炮架支撑力；
 P_{\max} ——极限状态时车轮对炮架支撑力。

缓冲行程不宜过小，否则会使撞击限制器的频率增高，火炮行驶平顺性降低。

2. 动载系数（coefficient of dynamic load） K

当牵引火炮运行部分行军缓冲器处于极限状态时，车轮对炮架支撑力 P_{\max} 与处于静止状态时的支撑力 P_j 之比为火炮动载系数 K 。它是火炮行军缓冲器设计性能指标之一。当行军缓冲行程 H 一定时，动载系数 K 可反映弹性元件刚度 c 的大小。

$$c = \frac{P_{\max} - P_j}{H} = \frac{K - 1}{H} P_j$$

H 一定时, K 越大, 则 c 越大, 弹性元件越硬, 在车轮跳动量相同的条件下, 炮架受力越大。 K 还反映火炮对路面的敏感程度。通常, 火炮的动载系数可以选得比牵引车的动载系数大一些, 因为火炮上不载人, 只要求不损坏火炮零部件。

3. 缓冲能容量 (buffer work capacity) A

在缓冲器弹性元件工作的过程中所能最大限度贮存的能量 A 。一般表达式为

$$A = \frac{1}{2}(K + 1)P_j H$$

缓冲器的缓冲能容量与车轮对炮架的静止支撑力之比称为比缓冲能容量 (specific buffer work capacity) 记为 A_b , 又称相对缓冲能容量。

$$A_b = A / P_j = \frac{1}{2}(K + 1)H$$

火炮快速运动中碰击障碍物时, 车轮、轮轴等构件获得的动能 E 将被缓冲器吸收变为弹性元件的变形能。 $E \leq A$ 时, 不发生撞击; 当 $E > A$ 时, 有剩余动能, 发生撞击。剩余能量越多, 撞击越厉害。所以, 在相同行驶条件下, 提高缓冲器能容量 A 可减小撞击频率和撞击强度, 从而提高火炮行驶平顺性。

三、刹车装置 (brake device)

现代机械牵引的火炮, 行军速度较高。在高速行军中, 当遇到坑洼、障碍、转弯、桥梁或遇到险情时都要降低速度, 因此牵引车制动频繁。从安全考虑, 对于质量较大的火炮应设有与牵引车同步的和独立的手动制动装置。否则, 当牵引车紧急制动时, 火炮则以较大的惯性力顶撞牵引车, 易造成车、炮损坏甚至翻倒的事故。另外, 为保证人力推炮时的安全和射击时的静止性, 火炮上也应有刹车装置。上世纪中期的火炮中尚没有刹车装置或仅有手动刹车装置。56 式 85mm 加农炮, 没有刹车装置, 54 式 122mm 榴弹炮上只有手动而没有气刹车, 都给部队使用增加许多困难。

刹车装置包括车轮制动器和操纵系统两部分。车轮制动器一般是利用机械摩擦使火炮运行时的动能在很短时间内变为摩擦功, 再转化为热能, 从而使火炮减速或停止。火炮上现多采用蹄片式车轮制动器。操纵系统用于控制车轮制动器, 使之产生制动动作, 一般都是牵引车与火炮共用气压式操纵系统, 以保证车、炮同时制动。

通常火炮上应装有手刹车 (manual brake) 和气刹车 (pneumatic brake) 两个操纵系统, 分别控制车轮制动器。手刹车主要用在推炮时及发射时制动车轮。

刹车装置应该结构简单, 能提供足够的制动力矩, 动作要灵活可靠, 既能与牵引车同步刹车, 又能及时解脱, 便于调整与维修, 具有良好的散热性与防尘性。对于手刹车还应有控制左、右车轮同时制动的联动装置和左、右车轮又能独立制动的机构。

四、火炮辅助推进装置

又称辅助动力装置 (auxiliary propulsion unit), 简称 “APU” 系统。可独立驱动火炮作短距离运动并实现部分操作机械化的牵引式大口径地面炮辅助推进装置。有这种装置的火炮称自运炮 (auxiliary propulsion gun), 又称自走炮。火炮需作远距离转移时, 仍由机动车进行牵引。这种火炮机动性、反应能力和生存能力比一般牵引火炮高, 而造价比自行火炮低得多。缺点是比一般牵引式火炮复杂, 行军质量也大一些。

装置主要由原动机、传动部分、操纵部分和控制显示装置等组成。原动机一般选用汽油机或柴油机, 传动部分大多是由液控或电液控制的阀组和液压执行元件组成的液压传动系统。火炮车轮 (驱动轮) 可由轴向柱塞马达经过减速器进行驱动, 或由大扭矩车轮马达直接

驱动。设计时，应将原动机、传动系统等和炮架有机地融合为一体，在保证工作可靠性及维修性的前提下，尽量减小体积，减轻质量，降低成本。这一辅助推进装置在行军战斗转换时，可实现火炮操作的部分机械化，在牵引行军时，还可作为辅助加力装置，协同牵引车使火炮通过难行的地段。因此，西方国家在 70 年代以来研制的新 155mm 牵引榴弹炮多装有此系统。例如，奥地利的 GHN -45 式 155mm 牵引榴弹炮、瑞典 FH -77 式 155mm 榴弹炮，法国和以色列研制的 155mm 榴弹炮等。“APU”系统目前尚处于改进和完善的阶段。

带辅助推进装置 155mm 加榴炮如图 2-5-50 所示。

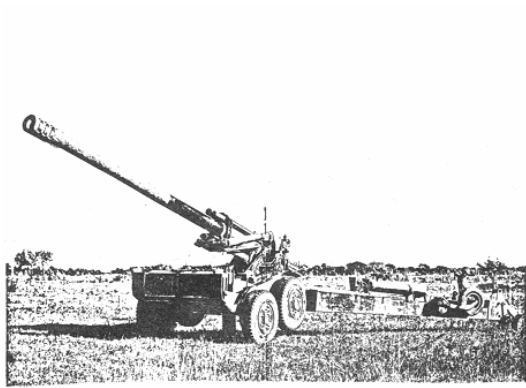


图 2-5-50 带辅助推进装置 155mm 加榴炮



图 2-5-51 法国的恺撒 155mm 车载炮

五、车载炮

带 APU 的火炮不是自行火炮，它本质上仍然是一种牵引火炮，仍然离不开牵引车。所谓车载炮（carrier gun），是指将牵引火炮的回转部分装在相应的军用牵引车上，构成一种车驮炮的结构，并配置供输弹机构、数字化火控系统以达到快速反应能力。由于将火炮和牵引车有机的结合，实现车炮合一，它相对 APU 火炮的优点是可以节省一套动力的质量，而且可以省略一些与车、炮结合相关的勤务操作。车载炮本身就是一种轮式自行火炮，可实现快速的行军战斗转换，其机动性相对 APU 火炮要好得多。因此，世界各国竞相研制 155mm 车载火炮，图 2-5-51 为法国的“恺撒”火炮，它是将 155mm 口径的火炮安装在“奔驰”越野卡车底盘上，瑞典的博福斯公司也将 FH -77 火炮安装在卡车底盘上，设计了 FH -77 D 火炮。表 2-5-2 为车载炮相对装甲自行炮和牵引炮主要性能指标比较。

表 2-5-2 各种类型火炮主要性能指标比较

主要性能指标	装甲自行炮	牵引炮	车载炮
战术机动性	优	差	良
战略机动性	差	优	优
生存能力	优	差	良
行军战斗转换	优	差	优
快速反应能力	优	差	良
列装成本	差	优	优
操作维修性	良	优	优
自主作战能力	优	差	良

第三篇 自行火炮、坦克炮、反坦克炮和牵引火炮

第一章 自行火炮

第一节 自行火炮的定义及其主要特点

自行火炮是一种可以长距离自行机动的火炮，它包括自行野战火炮、自行高炮、自行反坦克炮、自行迫击炮，其主要任务是伴随坦克和机械化部队作战，用于压制反坦克火力、炮兵火力及摧毁各种野战目标。《辞海》称自行火炮是“装在履带式、半履带式或轮胎式车辆上能自行运动的火炮”，而新版《军语》把自行火炮定义为“同车辆底盘构成一体，靠自身动力机动并能按指令发射的火炮”，GJB把自行火炮定义为“自行火炮是一种同履带车或轮式车底盘构成一体，可长距离运行的火炮”。

自行火炮按行驶方式可分为轮式和履带式两种；按装甲防护程度可分为全装甲式、半装甲式和敞开式；按火炮类型可分为自行加农榴弹炮、自行榴弹炮、自行反坦克炮、自行火箭炮、自行迫击炮和自行高炮等。

自行火炮主要由武器系统、底盘、防护系统、电气设备、通信设备组成。武器系统包括火炮、机枪和火力控制系统等，底盘通常采用坦克、装甲车或自行火炮通用的底盘。从构造上说，自行火炮通常分为炮塔与底盘两部分。无炮塔的自行火炮，火炮通常安装在底盘的战斗室部分，多为敞开式战斗室，此类自行火炮通常分为武器系统与底盘两部分。

自行炮兵是炮兵机动作战的骨干力量，在合成军队中具有非常重要的地位和作用。自行火炮的主要作战任务是在战斗中直接伴随坦克和机械化步兵进行炮火支援，压制敌有生力量，摧毁敌多种火器，破坏敌工事及建筑物等。战斗中，自行火炮分队有4种使用方式：一是编入炮兵群或单独以营为单位作为支援炮兵使用；二是配属坦克、机械化步兵分队作为随伴炮兵使用；三是编入反坦克预备队（反装甲队）行动；四是编入机动炮队行动。它尤其适用于仓促情况下进行各种火力打击。进攻战斗自行炮兵将参加先期炮火打击、开进的炮火掩护、冲击的炮火准备、突破和纵深攻击的炮火支援；防御战斗主要是在装甲机械化部队的编成内，侧重机动防御和攻势行动。总体上可区分为近距离随伴火力支援和远距离间瞄火力支援。近距离随伴火力支援主要由自行反坦克炮担任，通常在可视距离内以直瞄、半直瞄射击方式，打击我坦克直射距离以远的敌前沿及浅近纵深内的坦克、装甲车辆、火力点、观察（指挥）所、工事障碍等小幅员目标。担任随伴支援任务的自行线膛炮，通常应占领遮蔽阵地以间瞄射击为主，必要时也可以实施放列观察射击或半直瞄射击，一般只在自卫条件下才实施直瞄射击。远距离间瞄火力支援主要由大口径自行线膛炮和自行火箭炮担任，打击战斗全纵深内敌支撑点、运动（集结）兵力和装备、C³I系统、炮兵阵地、制导武器平台、后勤补给系统等大幅员集群目标。

在行进间受领任务并展开射击，是自行火炮机动作战的重要样式。近距离打击的机动作战样式：一是当编入反坦克预备队时，按集结地域——配置地域——展开地区逐次展开，主要特点是机动、近战、速决；二是在步坦战斗编成内担负随伴支援任务时，采用“随伴跃进、短停快打”的动态火力支援方式。远距离打击的机动作战样式：一种是在行进间直接展开占领阵地射击；一种是预有准备经待机地域占领阵地射击。

自行火炮在现代战争条件下，较牵引式火炮有以下特点：

(1) 机动性能好。自行火炮具有与坦克相同的机动性，自行火炮的行驶速度一般为 30~70km/h，最大行程一般为 250~700km，具有极好的越野能力（有些自行火炮还有江河浮渡功能），可以伴随坦克及机械化部队作战，并进行有效的火力支援。自行火炮行军战斗转换快，能迅速占领、撤出阵地和跟随机械化部队开进，方向射界一般为 360°，便于实施兵力和火力机动。

(2) 自动化程度高。广泛采用火控系统，可实施半自动或自动操瞄、装填。例如，国产 155mm 自行加榴炮武器系统实现了从测定目标到调炮瞄准到位的全程自动化运作。

(3) 火力及持续作战能力强。自行火炮大多能发射普通弹、子母弹、末制导炮弹或炮射导弹，爆发射速较高，最大射程较远，能实施全方位、大纵深、快速高效的火力突击。自行火炮与坦克配套形成装甲武器系统，在战场上可密切协同和发挥系统的整体能力。使用数辆自行火炮便可迅速形成防空、反坦克和对地面攻击的合理而有效的火力配备系统，可根据目标的不同，最大程度地发挥综合性火力。自行火炮的车体空间可携带一定数量的弹药（30~80 发，小口径自行高炮携带的弹药数更多），使自行火炮有较好的持续作战能力。

(4) 防护能力强。自行火炮吸收了坦克装甲防护好的优点，车体装甲厚度一般为 10~50mm。多数自行火炮具有密封型炮塔、高平两用机枪、集体三防（防原子、防化学、防生物）装置、自动灭火抑爆装置和烟幕发射装置。

(5) 自行火炮自重重大，结构强度好，提高了火炮射击稳定性和静止性。

(6) 通信能力强。炮内装有自行火炮专用通信系统，可在静止、运动中实施有效的数字和语音通信，通信距离一般为 20~25km。还有车内乘员间的通话系统，以克服车内噪音的干扰。

(7) 对技术保障和后勤保障的要求高、依赖性强，组织较复杂。

经过几十年的发展和装备，自行火炮已成为压制兵器中的重要组成部分，也是大口径野战火炮的重要发展方向之一，在战争中起到牵引式火炮无法起到的作用，其地位、作用在现代战争条件下越来越突出，成为炮兵的重要组成部分和机动作战的火力骨干。

第二节 自行火炮的发展简史及发展趋势

自行火炮的发展可以追溯到坦克发展的初期。第一次世界大战导致了坦克及其它多种履带式战斗车辆的发展，同时也促成了自行火炮的诞生。第一辆坦克实际上也就是带装甲的自行火炮，可以说坦克和自行火炮是一对孪生兄弟。1914 年，俄国制造出了世界上第一门安装在卡车底盘上的不需外力牵引而自行运动的 76mm 自行高射炮。1916 年至 1917 年，英国制造了第一辆“运载火炮坦克”，该炮以 I 型坦克为基础，运载一门口径为 152mm 的榴弹炮，火炮可在车上射击，也可下车射击。法国也于 1918 年制造出了 6 辆自行火炮样车，分别以“雷诺”轻型坦克、“圣沙蒙”坦克和“施奈德”坦克的底盘为基础，装有口径从 75mm 至 220mm 的多种火炮。

第一次世界大战以后，法国炮兵负责人曾设想，除了重型远程火炮外，其余的火炮都应自行化。但是，这一设想遭到了反对，其主要理由是：自行火炮的动力装置一旦失效，整个武器系统就不能使用了。美国也发展了口径从 75mm 至 240mm 的自行火炮。1922 年以后，由于和法国同样的原因，中止了自行火炮的发展，而倾向于使用履带式拖拉机牵引火炮。整个 20 年代，虽然一些国家开展了炮兵自行化和装甲化的工作，但是，其发展的速度远远落后于坦克。一方面是一些技术问题尚未解决，另一方面，炮兵在当时的情况下并未完全认识到对自行火炮的战术需要。而当时装甲兵只致力于发展坦克，因此，自行火炮的发展受到较大的影响。

第二次世界大战前后的 20 年，各国坦克数量的迅速增长极大地刺激了反坦克战斗车辆

及其它压制性自行火炮的发展。同时，第二次世界大战催化了装甲兵战术的长足发展，“闪击战”等作战理论牵引着对炮兵装备机械化、装甲化、自行化的趋势，使得自行火炮进入了大发展时期。30年代，德国为了充分发挥反坦克炮兵在机动作战中的作用，强调了反坦克炮兵的自行化。当第二次世界大战爆发时，他们在“Pzkwf1”坦克底盘上改装了47mm自行反坦克炮。1940年至1941年，法国、英国也分别装备了47mm和40mm轮式自行反坦克炮。美国也在这时期装备了以轮式车辆底盘和坦克底盘改装的自行反坦克炮。如M6式37mm自行反坦克炮、M3式75mm自行反坦克炮、M36式90mm自行反坦克炮等。美国是第二次世界大战中最早使装甲师的炮兵实行机械化的国家。在战前，美军还认为牵引火炮就能满足作战需要了。但是，当德军以“闪击战”侵入法国后，美国改变了观点，迅速发展了自行火炮。1941年6月，美国设计制造了M7式105mm自行榴弹炮，成为美军装甲师及一些英军装甲师的制式装备。后来，又相继研制和发展了M12式155mm自行榴弹炮、M40式155mm自行榴弹炮、M43式203mm自行榴弹炮等。1942年，德国在加厚装甲的“Pzkwf3”轻型坦克的前装甲处安装了高初速的75mm反坦克火炮，用于支援步兵反坦克作战。随着战争中苏德双方新型坦克的大量使用，需要威力更强大的自行反坦克炮。德国在1943年研制出了以“Pzkwf2”坦克底盘改装的“黄蜂”105mm自行榴弹炮和以“Pzkwf4”坦克底盘改装的“野蜂”105mm自行榴弹炮。1944年至1945年间，德国自行反坦克炮的口径达到了88~128mm。到1945年时，德军中自行反坦克炮的数量超过了坦克的数量。前苏联在1943年以后也大规模发展自行反坦克炮，并将其编入到坦克兵的编制内。第二次世界大战中，前苏联在3年时间内，就生产了31000辆自行反坦克炮，在战争中发挥了重要作用。苏军在战时积累了丰富的自行火炮作战经验，他们用轻型的Cy-57自行火炮和Cy-76自行火炮随伴步兵；中型的Cy-85自行火炮、Cy-100自行火炮和Cy-122自行火炮随伴中型坦克；重型的ИCy-122自行火炮、Cy-152自行火炮和ИCy-152自行火炮随伴重型坦克。一方面，自行火炮满足了坦克兵的随伴火力支援要求；另一方面，自行火炮弥补了坦克火力的不足。正如苏军元帅罗特米斯特夫所说的那样，“自行火炮像坦克的影子一样，一面支援它，一面跟随着前进。当敌坦克实施反冲击时，它能把敌火力吸引到自己这里来，并从原地向反冲击之敌开火，使己方坦克能实施机动和向敌翼侧、后方冲击。”

从二次世界大战期间发展起来的、早期的自行火炮，一般是由同类野战火炮的发射部分和部分炮架安装在坦克底盘上构成的，但没有活动的炮塔。由坦克底盘改装成的自行火炮，使得威力较大的野战火炮获得了良好的机动性能，成为坦克的伴随火炮，能进行有效的火力支援，同时也能使在快速进攻战斗中的步兵得到及时的火力支援。由于坦克底盘空间结构的局限性，这样的自行火炮的方向射界较小（一般不超过60°）。

二战后至今，自行火炮有取代牵引火炮的趋势。世界上许多国家的陆军先后进行并完成了从摩托化向机械化和装甲化的转型，使炮兵的自行化、机械化程度大大提高，自行火炮在质量上和品种上得到大发展，出现了重点转移、品种增多、更新换代加快的新局面。二十世纪六十年代，随着战术核武器的发展以及陆军机械化程度的提高，许多国家普遍重视了自行火炮的发展，这一时期有了专门设计的轻型自行火炮底盘和大型密封炮塔，克服了通用坦克底盘带给自行火炮方向射界小、重量大、不能浮渡和空运等特点。从着重发展自行反坦克炮转到发展自行榴弹炮、自行加榴炮、自行火箭炮、自行迫击炮方向上。战后已发展了三代自行榴弹炮。第一代自行榴弹炮出现在50年代，以美国的M52式105mm自行榴弹炮、M53式155mm自行榴弹炮、M55式203mm自行榴弹炮为代表。它们分别以M41轻型坦克、M48中型坦克底盘为基础，采用动力/传动装置前置的布局方案，使车辆后部有宽敞的战斗室，便于安装威力较大的火炮，并获得较大的方向射界，全炮战斗重量在24.2~42t之间。其基本特点是利用现成的成熟技术，将牵引火炮与坦克底盘结合在一起。第二代自行榴弹炮出现在60至70年代，典型的有美国的M109式155mm自行榴弹炮，M110式203mm自行

榴弹炮，日本的 75 式 155mm 自行榴弹炮，前苏联的 2C1 式 122mm 自行榴弹炮、2C3 式 152mm 自行榴弹炮。这一代自行榴弹炮的特点是重量减轻，体积减小，以便使其具有水陆两栖及空运能力。为此，多采用以装甲输送车为基础的轻型底盘，有的还采用铝装甲（如美国的 M109 式 155mm 自行榴弹炮）。多数自行榴弹炮采用自动装填机构，使射速提高到 10 发/min 以上，装有专门的可作 360° 旋转的炮塔，具有夜视夜瞄、集体“三防”等能力。第三代自行榴弹炮出现在 80 至 90 年代，其中以美国的 M109 A6 式 155mm 榴弹炮、英国的 A S-90 式 155mm 自行榴弹炮、法国的 G C T 155mm 自行榴弹炮、南非的 G 6 式 155mm 自行榴弹炮、意大利的“帕尔玛瑞”155mm 自行榴弹炮最为典型。其特点是都采用了专为自行火炮设计的底盘，具有较好的加速性、越野性（克服水障碍）、空运性等，与坦克、步兵战车、装甲输送车的机动能力相当；采用全封闭的装甲炮塔，加强了防护；采用了“三防”装置；增大了最大射程；采用新弹种提高了杀伤力。1996 年初，德国开始研制被称为自行装甲榴弹炮的 PzH2000，它的 155mm 炮弹、自动装填结构、射击控制装置代表了火炮界最新的潮流。车体前方左部为发动机室，右部为驾驶室，车体后部为战斗室，并装有巨型炮塔。这种布局能够获得宽大的空间。PzH2000 的主要性能归纳为：

（1）防护能力强。车体采用了与坦克相同的防弹钢板全焊接结构，并在炮塔上面新增加了装甲组合板，由厚度为 20cm 左右的几十个装甲钢板组成，炮塔和车体有附加内衬，加强了塔顶的保护，以抵御对顶部的攻击，保护炮塔内的乘员和弹药舱免受炮弹和反坦克导弹的攻击。它的自卫装备包括安装在炮塔上面的 7.62mm 机枪和炮塔前后的烟雾发射装置；

（2）火炮性能好，发射速度快。借助自动装填装置，在 10s 内发射 3 发，在 60s 内发射 10 发。战斗全重小于 55330kg，单位功率 13.4kw/t，高低射界-2.5° ~ +65°，方向射界 360°；

（3）有效射程增加。身管长为 52 倍口径，发射北约标准弹，射程为 30km，发射增程弹，射程达 40km。射击精度高，散布小；

（4）携弹量大。PzH2000 的弹药舱内装有 60 发炮弹，自动装填装置的弹匣中装有 32 发供随时发射的炮弹；

（5）高度自主化。具有自动导航和火控装置。车载混合导航系统（onboard hybrid navigation system）能够独立地确定朝北方向、车体坐标轴，包括海拔高度以及炮身的特定位置。车载弹道计算机对弹药数据、目标数据以及射击数据进行自动管理。每一辆 PzH2000 均为能够独立使用的武器系统，并能够随时独立地投入战斗。另外，PzH2000 通过无线电数据传递，与上级指挥和火控系统相联，该系统通过菜单控制显示器（menu-controlled displays）来操作管理。PzH2000 装有主战坦克级的战斗瞄准系统，能够在夜间作战；

（6）机动性强。由于炮塔位于底盘的后部，因此，身管外伸小，有利于越野机动性，同时，总体结构尺寸小也有利于铁路运输。PzH2000 道路行驶速度大于 61km/h，越野行驶速度大于 45km/h，行程大于 420km，具备了主战坦克级的机动能力；

（7）实战条件下耐久性高（high endurance and survivability under combat conditions）。车载火控系统结合混合导航系统、高机动性和高度自动化使 PzH2000 具有出色的打了就跑的能力（shoot-and-scoot capability）。在行进中接受发射任务，PzH2000 在不到 2min 的时间内就可完成行军战斗转换；

（8）乘员采用 3+2 模式（车长、炮手、驾驶员、两名弹药手），只需 3 人就可完成全部操作，2 名弹药手通过自动装填装置在 11min 之内就可完成全部 60 发弹、药（总质量约 3400kg）的续弹工作。PzH2000 装有专为 155mm 榴弹炮研制的模块推进装药系统，自动装填装置使用电动系统，操作人员只要按动控制电钮，就可以自动装填炮弹，并能自动选弹；

（9）后勤保障有力及时。为了能使实战时在时间、成本、风险等诸方面的因素降低到最小程度，从工业部门到使用部门，无论是平时的训练、技术文件的制定，还是零部件、专

用工具、试验设备的配备，PzH2000 为德军发展了新的后勤保障概念；

（10）综合作战效能强。一辆 PzH2000 能够替代 3 辆现有的 M109A3G 155mm 自行榴弹炮完成相应的作战任务。

二战后发展的其它类型的压制性自行火炮如比利时 LAU97 式 70mm 自行多管火箭炮，美国 MLRS 式 227mm 自行多管火箭炮，日本 75 式 130mm 自行多管火箭炮和 60 式 106mm 双管自行无后坐力炮，瑞士“厄利康”RWK-014 式 81mm 自行多管火箭炮，前苏联的 2C9 式 120mm 自行迫击炮、2C4 式 240mm 自行迫击炮、ACY-57 式 57mm 空降自行火炮和 ACY-85 式 85mm 空降自行火炮，以色列 LAR160mm 自行多管火箭炮，中国台湾省的“工蜂”4 式自行多管火箭炮，以及瑞典的 Bandkanon1A155mm 自行加农炮，使得自行炮兵的压制火力具有更大的覆盖面和更大的杀伤威力，能够采取直瞄射击与间瞄射击、点目标摧毁与面目标杀伤相结合的方法，以各种火力形式覆盖整个战斗地幅。

80 年代以来，我军陆续装备的自行研制的自行火炮主要有：PLZ83 式 152mm 自行加榴炮、PLZ89 式 122mm 自行榴弹炮、PHZ89 式 122mm 自行火箭炮、PTZ89 式 120mm 自行反坦克炮、PHZ83 式 273mm 自行火箭炮等。目前主要装备在装甲机械化部队和快速反应部队，采用 6 门制连编制，并将逐步增大其在火炮总数中的比重。我军现装备自行线膛炮的性能虽然与当今世界上发达国家的水平差距较大，但是通过使用 GPS 定位系统、指挥自动化系统、数字通信设备等高新技术积极改进现装备，已在相当程度上提高了战斗力，缩小了与外军先进水平的差距。我国自行研制的 PLZ45—155mm 自行加榴炮武器系统，已接近或具有世界先进水平。

为了提高武器的机动性并有效地歼灭目标，越来越多的武器被安装在诸如坦克、装甲运输车、飞机、武装直升机、军舰等运动体上。随着战术、技术的发展，各军事强国普遍把具有快速反应的装甲机械化部队的组建及装备建设摆在了非常突出的地位。由于自行火炮的承载底盘具有较宽敞的空间，能够提供液压源、电源和高压气源，适应新技术设备安装，是理想的火炮发射平台。自行火炮是陆战场上的火力骨干，其生命力十分旺盛。现代自行火炮已发展成机械化与数字化合一的高技术武器系统平台，最具代表性的有美国的 M109A6 式 155mm 自行榴弹炮和英国 AS90 式 155mm 自行榴弹炮。

自行火炮伴随坦克、步兵战车作战，为了增大压制纵深和及时提供猛烈的火力支援，对其性能的主要要求是增大射程、提高射速和缩短反应时间。自行火炮的发展趋势表现在以下几个方面：

（1）在机动能力方面主要是通过增加发动机功率，改善“传行操”（即传动、行走、操作）部件性能，向提高越野能力，加大行程储备，并具有空运、水陆两用等性能方向发展；

（2）在防护能力方面主要采用全封闭式装甲炮塔，普遍采用“三防”装置和防二次效应的装甲衬里，增加自卫武器、烟幕发射装置等方法，具备“信息战”的作战能力，向提高战场生存能力方向发展；

（3）在火炮性能方面，主要采用新的火炮制造技术和新弹种，向增大射程，增强杀伤威力方向发展；

（4）在装备配套、形成整体优势方面，主要通过研制、生产与主炮配套的弹药运输车、营（连）指挥车、营（连）侦察车、侦察雷达、气象雷达、抢救牵引车、平板运输车、维修工程车等，向整体配套方向发展；

（5）在提高自动化指挥和快速反应能力方面，通过 C³I（Command，Control，Communications & Intelligence，即指挥，控制，通信与情报）系统将野战炮兵部（分）队编成内的各配套车辆、作战单元联接成一个完整的自行火炮武器系统，利用 GPS 等先进的定位手段和弹道计算机、数字通信装置、导航装置、自动化炮控装置，实现射击指挥全过程的自动化。充分发挥计算机的作用，使车载计算机不仅是火控的核心，而且是全车信息系统的

核心, C³I 向 C⁴I (Command, Control, Communications, Computers & Intelligence, 即指挥, 控制, 通信, 电脑与情报) 发展, 向“数字化”方向发展, 进一步还向自主作战发展, 把功能扩展到对目标进行探测、跟踪, 对威胁与作战效果评估等领域;

(6) 在技术保障方面, 采用自行火炮通用底盘, 各型底盘和装备之间增加通用化组件, 并相应加强维修力量, 向提高自行火炮武器系统的可靠性、通用性和可维修性方向发展。

在自行火炮编配、使用方面, 152mm 及 155mm 自行榴弹炮是坦克(机械化步兵)师的主力火炮。前苏联及东欧国家坦克(机械化步兵)的师级主力火炮口径大多为 152mm, 美国及其它西方国家则大多采用 155mm 作为师级主力火炮口径。坦克(机械化步兵)师各炮兵武器的编制数量有增加的趋势, 同时, 降低大口径自行火炮编配等级的趋势也很明显。另外, 也有将自行榴弹炮与自行火箭炮、自行迫击炮、自行高炮、自行防空及反坦克导弹发射车混编, 履带式自行火炮与轮式自行火炮混编的趋势。

在观察、研究自行炮发展的历程时, 似乎有两点值得特别关注。其一是, 当车辆技术的发展还不够先进, 使得性能、维修存在较多问题, 影响部队装备的积极性, 表现在陆军从徒步作战到摩托化、机械化之前, 火炮从骡马牵引发展到汽车、拖拉机牵引, 足以满足指挥员的要求; 其二是, 如果自行火炮的价位与国家的经济实力差距较大, 性能再好, 经济实力达不到也只能舍弃。当然不能把冷战时两大阵营不顾一切进行军事竞赛作为普遍规律。当一个国家的车辆技术发展到既成熟又相对经济时, 国家的经济发展到可以承受装备这类产品时, 反过来就会促进它的进一步甚至是快速的发展。50 年代各国在争论是否更多地发展自行炮时, 所列举的优缺点已经发生了许多变化, 是更有利于自行炮的发展的。特别是技术发展使战争的样式、战场的模式发生了巨大变化的今天, 更是如此。

第三节 国产新型自行火炮简介

一、PLZ45-155mm 自行加榴炮武器系统简介

(一) PLZ45-155mm 自行加榴炮武器系统概况

从武器平台来说, 该武器系统由营连指挥车、侦察车、气象雷达、炮位侦察与校射雷达(简称侦校雷达)、自行火炮、弹药车、抢救车、维修方舱等战斗单元组成。除气象雷达、侦校雷达和维修方舱是轮式平台外, 其余均为装甲履带式平台(详见表 3-1-1)。从功能上划分, 该系统由指挥自动化系统、火力执行系统、防护系统、运行系统、后技保障系统等五个分系统组成(详见表 3-1-2)。

1. 指挥自动化系统

以营(连)指挥车为核心, 由营(连)指挥车、侦察车、侦校雷达、气象雷达、定位定向设备、炮位终端显示器、火炮弹道计算机、炮口测速雷达和无线电通信网组成。通过射击指挥计算机、各终端信息机及通信系统, 将所有战斗单元联结成整体, 具有全部射击指挥功能和部分战术指挥功能。

营(连)指挥车: 采用装甲底盘, 装有指挥计算机、GPS 定位装置、电台、打印机、图板等。

侦察车: 配有激光测距机、红外夜视仪、电视摄像仪、指挥计算机、电台、定位定向设备等, 可确定目标位置, 捕捉我方炸点。

侦校雷达: 采用先进的相控阵电扫描体制, 可捕捉敌方弹道并推算其发射阵地坐标, 或捕捉我方弹丸轨迹外推落点坐标。

气象雷达: 配有气球跟踪与测量雷达、测量风速的电子组件、无线探测器接收机、数据自动处理系统、打印机和电台等。能探测高空气象, 自动编拟和输出各类气象通报。

无线电通信网: 可进行话务和数据通信。

定位定向设备：主要战斗单元均装有定位定向设备。由定向导航、GPS 卫星定位等装置组成，自行火炮还装有射向保持装置，可在射击过程中逐发自动复位。

2. 火力执行系统

以火炮为核心，利用火控计算机、自动操瞄和随动系统，能对 360° 方位内的目标，发射底凹榴弹、底排榴弹、底排子母弹、照明弹、发烟弹、黄磷弹等，并配以着发引信、时间引信或无线电近炸引信等，完成各种火力突击任务。其主要战技指标见表 3-1-3。

3. 防护系统

以 15 至 25mm 厚的装甲为防护主体，加上三防装置、灭火抑爆装置、空调、高平两用机枪等，能完成主要战斗单元的整体防护和人员的个体防护，并具有一定的近距离作战和防空能力。

4. 运行系统

以各种底盘（含发动机、油箱、传动装置、运动体等）为主体，加上辅助电机系统、电瓶供电系统等，能进行越野机动，并保证各战斗单元野战用电需要。

表 3-1-1 PLZ45-155mm 自行加榴炮武器系统的战斗单元及组成

序号	单元	组成	
1	火炮	炮塔	(1)发射装置：身管，炮门，输弹机，击发装置；(2)火控装置：火控计算机，传感器（高低、方向、纵倾、横倾）；(3)操瞄装置：自动，半自动，手动（瞄准装置，高低方向转轮）；(4)随动伺服装置：方向，高低；(5)诸元装置：弹道计算机；(6)定位定向导航设备：GPS，SIGMA；(7)炮位显示装置：炮长，瞄准手，装填手等；(8)弹药仓；(9)弹药，引信，底火；(10)炮口测速雷达；(11)通信设备：电台，通话器；(12)观察装置：夜视仪，潜望镜；(13)防护：三防装置，抑爆瓶，12.7 机枪，装甲防护体，空调；(14)身管固定器
		底盘	(1)发动机；(2)传动装置；(3)运动体；(4)减振装置；(5)油箱；(6)辅助电机；(7)驻锄装置；(8)电瓶
2	指挥车	(1)射击指挥计算机：主机，彩显，键盘，打印机，电瓶；(2)通信控制器；(3)通信设备：电台，有线；(4)定位装置；(5)防护：三防装置，防火抑爆瓶，空调，装甲车体；(6)底盘：组成基本同 1	
3	侦察车	(1)射击指挥计算机：主机，彩显，电瓶；(2)光电观测仪：车载（激光、红外、电视），便携（激光、红外）；(3)侦察显示屏；(4)定位定向装置；(5)电台；(6)防护：同 2；(7)车内观察装置；(8)底盘：同 2	
4	气象雷达	(1)探空雷达及计算机；(2)探空仪；(3)反射靶；(4)制氢设备及气球；(5)电站；(6)信息机；(7)电台；(8)轮式底盘：发动机，传动装置，空气压缩机	
5	704-1 侦校雷达	(1)定位雷达（计算机）；(2)电力装置；(3)定位定向装置；(4)信息机；(5)电台；(6)轮式底盘	
6	弹药输送车	(1)储弹及输弹装置；(2)吊车；(3)辅助动力装置；(4)防护：同 1；(5)通信设备：同 1；(6)底盘：同 1	
7	W653A 抢救车	(1)刚性牵引设备；(2)推土铲；(3)起吊设备；(4)绞盘：主，付；(5)电力装置；(6)电台；(7)防护：同 1；(8)底盘：同 1	
8	维修方舱	若干车辆底盘拖载集装箱式方舱组成 (1)机械方舱；(2)电子方舱；(3)雷达方舱	

5. 后技保障系统

含弹药车、抢救车和维修方舱等。

弹药输送由弹药车按与自行火炮 1:1 的比例组成，采用与自行火炮相同的底盘。携带 90 发全备弹。供弹速度为 6~8 发/min。

抢救车：由坦克底盘改装而成，具有牵引、拖救、起吊等功能。

机械和电子维修方舱：类似目前在编的修理工程车，由若干车辆底盘拖载集装箱式方舱组成，可对自行火炮武器系统内各类履带、轮胎车辆，各种武器装备，各型仪器设备进行检查、测试、校调、故障排除，并进行初级换件修理。

就单门火炮而言，155mm 自行加榴炮装有自动操瞄系统、定位定向导航设备、弹道解算计算机、炮口测速雷达等。瞄准装置采用带数码显示的独立瞄准线摆式瞄准具，装有数码显示的周视瞄准镜和光学直瞄镜、标定器。155mm 自行加榴炮装有集体三防装置、自动灭火抑爆装置、车载电台，战斗转换时间≤60s。

表 3-1-2 PLZ45-155mm 自行加榴炮武器系统组成

子系统	分系统及其组成	
指挥自动化系统	1	信息收集与侦察：侦察车，气象雷达，侦察雷达，测速雷达，GPS 定位和定向导航设备，火炮观察（夜视）装置。
	2	指挥决策：指挥车、侦察车的指挥计算机。
	3	火炮弹道计算机和炮位显示装置
	4	通信：无线（车载电台，车内通话器）、有线。
火力执行系统	5	发射：身管，炮闩，输弹机，击发装置。
	6	火控：火控计算机，传感器（高低、方向、横倾、纵横）。
	7	操瞄：自动，半自动，手动（瞄准装置，高低、方向转轮）。
	8	随动：方向电伺服，高低电液伺服。
	9	弹药：底凹榴弹，底排榴弹，底排子母弹，发烟弹，黄磷弹，照明弹。机械触发，机械时间和电子 3 种。7 个装药号。底火。
防护系统	10	装甲车体
	11	三防（原子、化学、生物）装置
	12	灭火抑爆装置
	13	车载机枪等轻武器
	14	空调设备
运行系统	15	辅助电机
	16	电瓶
	17	底盘：发动机，油箱，传动装置，运动体，减振装置。
后技保障系统	18	弹药输送车
	19	抢救车
	20	维修方舱：2 个机械方舱，1 个电子方舱，1 个雷达方舱。

表 3-1-3 PLZ45-155mm 自行加榴炮战术技术性能

诸元名称	初速(m/s)		弹丸重 (kg)		距离散布		方向散布 (mil)	最大射程(km)	战斗全重 (t)	携弹量 (发)
	底凹弹	底排弹	底凹弹	底排弹	底凹弹	底排弹				
诸元值	897	903	45.54	58	$\frac{1}{220}$	$\frac{1}{180}$	1	39	32	30
诸元名称	高低射界	方向射界	火线高 (m)	发射速度(发 / min)	调炮精度 (mil)	发动机功率 (kW)	最大行驶速度 (km/h)	公路最大行程 (km)	最大爬坡度 (°)	乘员 (人)
诸元值	-3° ~ +72°	基准左右 30°，应急 360°	2.6	4，持续 2	1	381	55	450	30	5

（二）PLZ45-155 自行加榴炮武器系统技术特点

由于广泛采用高新技术，PLZ45-155 自行加榴炮武器系统无论在总体设计上，还是在射程、精度、机动性、战场生存能力、火力反应等具体指标上都有一系列重大突破，是集机械技术、电子技术、数控技术于一体的高技术武器平台。PLZ45-155 自行加榴炮武器系统技术特点主要体现在以下几方面：

（1）火炮射程增大为 39km。内膛结构符合北约弹道标准，可发射北约同口径制式弹丸。适应了现代战争范围扩大的趋势，提高了远战能力；

（2）各子系统之间采用数据传输与话务通信相结合的新技术，实现了全程自动化，具有“数字化炮兵部队”特征；

（3）全系统功能齐全，形成封闭的独立体系。平时可进行教育训练、行政管理等；战时能协调指挥系统内各单位作战，实现了训练、作战一体化，减少因临时加强、配属形成的“磨合”过程；

（4）全系统以指挥车为协调、解算、指挥中心，采用侦察车、侦察雷达、气象雷达等收集信息，抢救、维修等作保障，各火力单元随动的运作模式，大大减少了人工操作，提高了反应速度和作业精度；

（5）主要子系统有相互替代功能和节点抗损伤能力，并有一定的系统自修复能力。由于指挥计算机和指挥软件为通用化产品，营、连指挥车可相互替代，侦察车也可部分或全部替代营、连指挥车实施射击指挥。当系统内部分功能毁伤后，仍可“降级”使用，继续遂行作战任务。

二、83-152 自行加榴炮简介

（一）83-152mm 自行加榴炮武器系统概况

83 式 152mm 自行加榴炮于 1983 年设计定型，主要用于对敌炮兵作战，压制敌火器，歼灭敌有生力量和集群坦克，摧毁敌防御设施，以火力支援坦克、机械化步兵及一线作战的炮兵的战斗行动。83 式 152 自行加榴炮由战斗部分和中型履带式自行火炮通用底盘（简称底盘）组成。战斗部分由火炮和炮塔组成。83 式 152mm 自行加榴炮采取战斗部分后置，动力传动前置，发动机纵放和车体后部开门的总体布置方式。战斗室在车后部，适合自行火炮的特点和需要，战斗室较宽敞，乘员操作活动方便。车体后部和炮塔两侧开门，乘员上下车和输送炮弹方便，机动性好，便于及时转移阵地。本炮威力大，射程较远，能 360° 环射，炮弹采用分装式变装药，杀伤爆破榴弹共有 7 个装药号，其弹道性能见表 3-1-4，弹道选择较灵活。本炮还可发射发烟弹等。本炮装有液压链式半自动装填机构，结构简单，使用方便。采用挂胶履带板，上公路行驶不破坏路面。

表 3-1-4 83-152mm 自行加榴炮杀伤爆破榴弹装药号及其弹道性能

装药号	初速（m/s）	最大射程（m）	最小射程（m）
全装药	655	17230	800
1 号装药	606	15850	700
2 号装药	511	13210	600
3 号装药	427	11080	500
4 号装药	380	10040	400
5 号装药	335	8760	400
6 号装药	282	6710	350

83-152 自行加榴炮的电源为蓄电池组（65 式蓄电池 4 块串并联），其额定电压为 24V，额定容量为 280Ah。发电机为 ZFC3000 直流发电机，其额定电压为 28V，额定功率为 3kW。通信依靠 1 部 889 D 型电台（具有小功率档），频率范围为 20~49.975MHz，波道数为 1200

个，天线为 28m（两节）杆状天线。发射机输出功率为 25W 时，通信距离为 20~25km；发射机输出功率为 0.2W 时，通信距离为 1~2km。另外，备有 1 套 8302 A-1 型车内通话器。

武器系统的主炮由 1966 年式 152mm 加榴炮改进而成，弹药通用。本炮由炮身、炮门、反后坐装置、摇架、高低机、平衡机、半自动装填机构、液压系统、瞄准装置及方向机等部件组成。瞄准装置包括：84 式数码周视瞄准镜、58 式标定器、66-1 式直接瞄准镜，既能间接瞄准射击，又可直接瞄准射击。

传动装置为机械式。传动部件包括：传动箱、多金属片干式主离合器、二级行星式转向机构、一级外啮合侧传动。操纵装置为机械式，转向操纵有液压助力。行动部分采用双轮缘小直径负重轮（6 对）和托带轮（3 对）的型式，单销干式挂胶履带和复式悬挂。4 个筒式液力减振器除起缓冲减振作用外，必要时还可以闭锁悬挂装置。

车体后部设有 800×800（mm）的后门。炮塔两侧开有 600×800（mm）的侧门，门上各装有一块潜望式观察镜和一个带球型射击装置的射击孔，供装填手使用。

83-152mm 自行加榴炮的人机环境如图 3-1-1 所示，左侧全貌图、纵剖图、横剖图分别如图 3-1-2、图 3-1-3、图 3-1-4 所示。

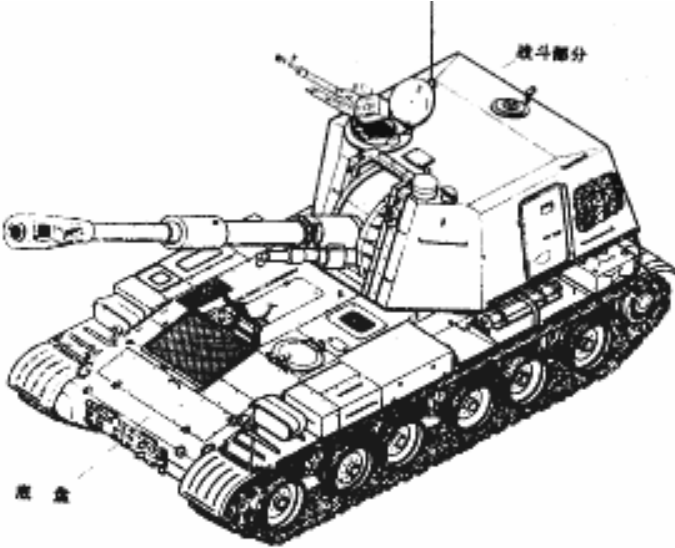
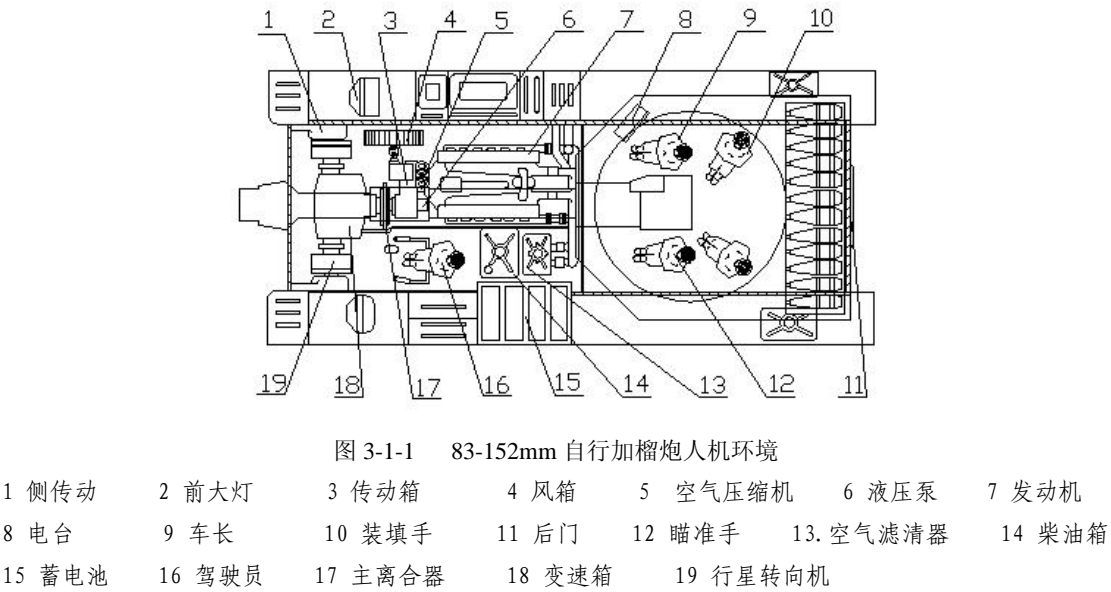


图 3-1-2 83-152 自行加榴炮左侧全貌

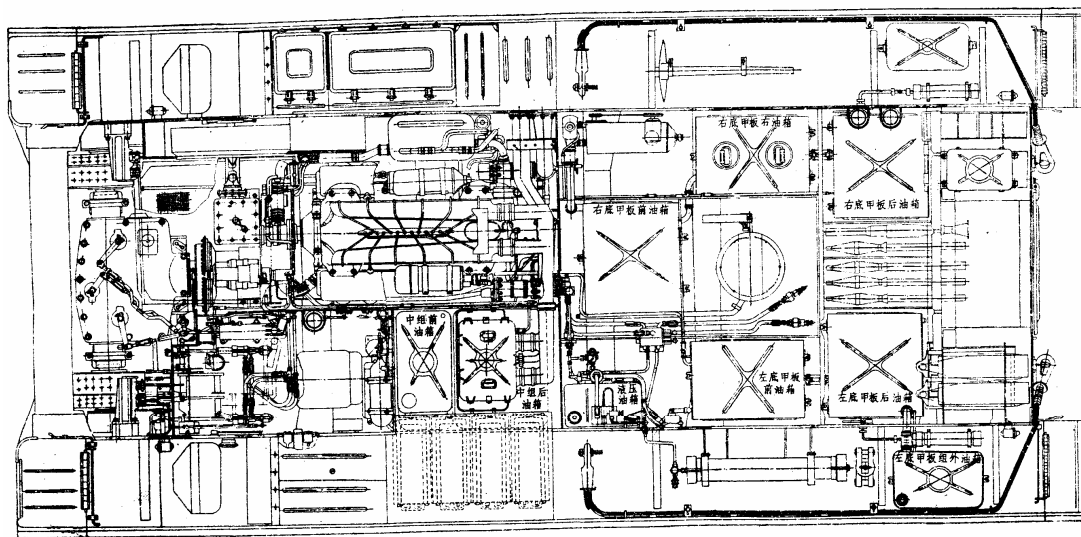
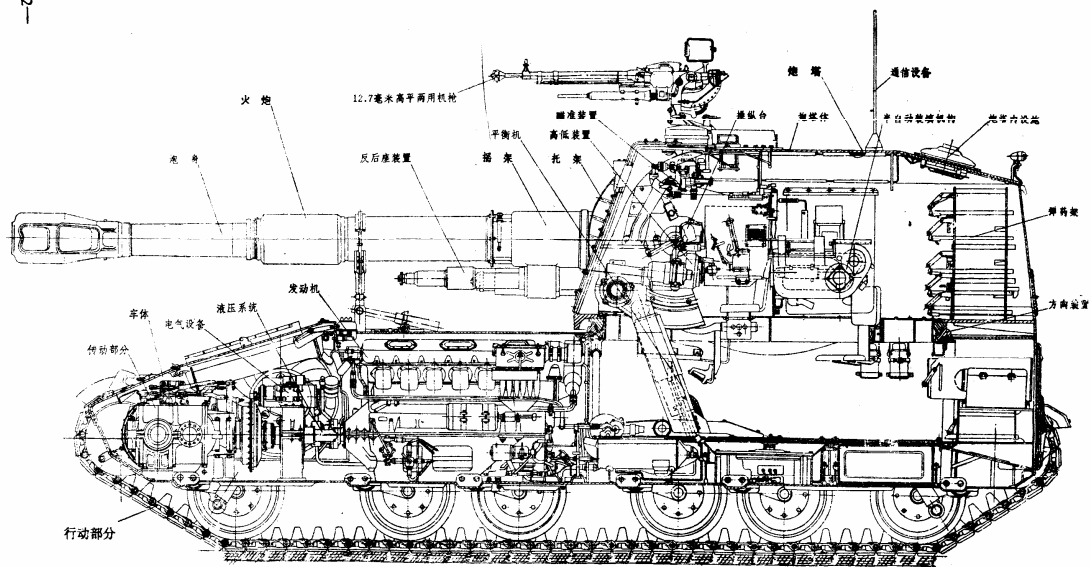


图 3-1-4 83-152 自行加榴炮横剖图

83-152 自行加榴炮的主要战斗技术性能见表 3-1-5。

表 3-1-5 83-152 自行加榴炮的主要战斗技术性能

一般数据	战斗全重	乘员	单位功率	单位压力		车长		
						炮向前	炮向后	不计炮
	30t	5 人	12.93 kw / t	0.679kgf / cm ²		7330mm	9960mm	6882mm
	车体长	车宽	车底距地高	车高		履带着地长	履带中心距	履带宽
				高射机枪成水平状态	炮塔顶			
	6415mm	3236mm	450mm	3502 mm	2680mm	4610mm	2620mm	480mm
火力	火炮口径	火炮类型	炮弹基数	配用弹种	初速 (全装药)	药筒重	弹丸重	火线高
	152.4mm	加榴炮	30 发	杀伤爆破榴弹	655m/s	15.7kg	43.56kg	2080mm
	车内装填高	正常后坐长	极限后坐长		方向射界	最大仰角	最大俯角	战斗射速
	1320mm	680~760mm	800mm		左右各 180°	65°	-5°	4 发/min
	最大射程 (全装药)	最小射程 (6 号装药)	地面密集度		电传动调炮速度		行军战斗转换时间	辅助武器
			距离	方向	高低向	水平向		12.7mm 坦克高射机枪 高射机枪弹
	17230m	350m	1/243	12m	0.05~10° /s	0.05~10° /s	1min	1 挺 650 发
机动性	发动机(型号 12150L 型柴油机)					最大速度	平均速度	
	额定功率	额定转速	最大扭矩	最大扭矩转速			公路	土路
	388kW	2000 转/min	230kg.m	1200~1300 转/min		56km/h	40~42 km/h	30~32 km/h
	最大行程	最大爬坡度	最大侧倾行驶坡度	越壕宽	过垂直墙高	涉水深	百千米耗油量	
	450km	32°	25°	2.7m	0.7m	1.3m	燃油	润滑油
							160~180 l	5.6 l
防护	车体装甲厚度 / 倾角							
	车首前甲板	车首上甲板	车首下甲板	侧甲板	前顶甲板	后顶甲板	尾甲板	前底甲板 后底甲板
	15mm /rad	10mm /16°	15mm /32°	15mm /90°	10mm /0°	20mm /0°	10mm /90°	15mm /0° 10mm /0°
	炮塔装甲厚度				灭火装置			
	防盾	前部	侧部	后部	顶部	型式	灭火瓶数量	手提灭火器
	25mm	20mm	15mm	10mm	10mm	自动和半自动	3 个	1 个

（二）83-152 自行炮主要特点

（1）机动性好。由于全炮装在履带式底盘上，有较好的机动性能，最大公路行驶速度为 55km/h，可迅速占领和撤出阵地，便于机动，速战速决。能进行环射，高低射界较大，便于火力机动；

（2）射击精度好。发射时，因为火炮装在履带式车底盘上，底盘较重，与地面附着力较大，射击稳定性较好。因此，直瞄或间瞄射击有较好的射击精度，能以少量的弹药获得较满意的射击效果；

（3）有半自动装填机构，输弹机能解决任意角的输弹，既可减小战士的体力消耗，又可达达到较快的发射速度。自带 30 发炮弹，在弹药车跟不上时，也能投入战斗；

（4）有一定的防护能力。射击时，因为炮手在炮塔内操作，可防止弹片的伤害；

（5）初速较大，射程较远，使用变装药，共 7 个装药号。可在同一个阵地射击不同距离目标，便于以火力支援步兵及坦克作战。

（三）炮塔的一般构造

炮塔是战斗部分方向转动的主体，内部是战斗室，额定乘员 4 名。炮塔由炮塔体、12.7mm 高平两用机枪、弹药架和炮塔内设施等四部分组成。

炮塔体是一个由前甲板、前侧甲板、左右侧甲板、后甲板、顶甲板、裙板及其它附件焊接组成的多面体。各面的装甲厚度与倾斜度都不相同，有一定的防弹能力。其中左右两个侧甲板上安有侧门；后甲板上安有带活动门板的续弹门；顶甲板上安有炮长指挥塔和天线基座；左部有瞄准手用潜望镜和带有标灯座的周视瞄准镜护盖，标灯座用于晚上标定时，连接标灯；在中部有 1 个盖板，用于分解炮门时，打开此板，从炮塔内取出门体；在后部装有 1 台风扇。

炮塔体四周的甲板上焊有吊钩和登车握把，左右两侧甲板上分别挂有炮衣和伪装网。炮塔体内左侧的裙板上装有炮塔行军固定器。

（1）侧门（图 3-1-5）供乘员进出炮塔。左右两个侧门的结构是一致的，门上装有闭锁装置、碰锁装置、潜望观察镜和冲锋枪的射击孔装置等。闭锁装置由门外闭锁把、门内闭锁把及固定螺和螺钉等组成。碰锁装置位于门中央，由握把、弹簧和锁臂等组成。冲锋枪射击孔装置供 7.62mm 冲锋枪向外射击用。由球形座、活动枪座、枪夹和盖板及握把等组成。

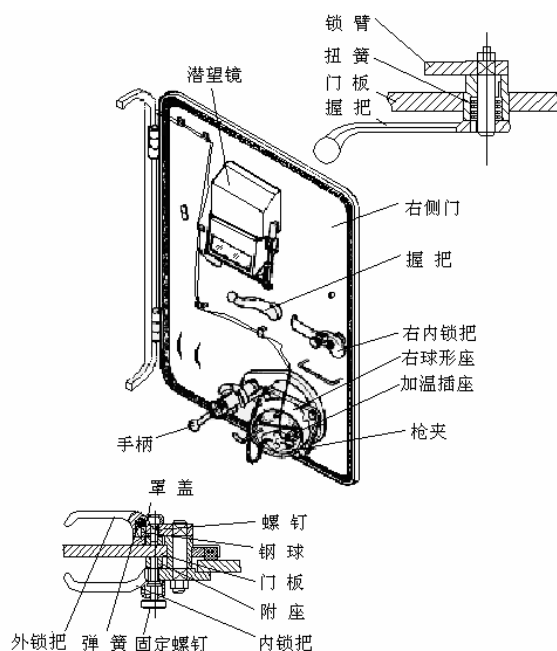


图 3-1-5 侧门

(2) 续弹门用于车外向炮塔内续弹，位于炮塔后甲板上。门上有闭锁装置和碰锁装置。打开门板，里面就是弹药架。车外供弹时，就从续弹门口往弹药架底层的车外供弹通道上分别往里输送弹丸和药筒。续弹门的开闭要用专用扳手。

(3) 炮长指挥塔用于炮长观察战场情况，指挥战斗，也供高射机枪射击时使用。它由底座、座圈、高射机枪架座及门盖等组成。高射机枪架座和座圈是铸为一体的。门盖装在座圈上。座圈上装有方向固定器，用于将座圈固定在行军位置上。座圈能在底座上转动。底座上装有托叉固定器，用于固定机枪架的托叉在行军位置上。底座用螺钉固定在炮塔顶上，其四周装有 5 块电加热防霜潜望镜。门盖内表面有闭锁装置的握把和把手，外表面有门锁眼和提把，供在塔外用钥匙开闭门盖用，锁眼内平时应填满润滑油，以润滑闭锁装置。

(4) 弹药架用于存放弹丸和药筒。它由炮塔弹药架和车体弹药架组成（图 3-1-6、图 3-1-7）。炮塔弹药架里装 26 发炮弹，车体弹药架里装 4 发炮弹。图中表有“T”字的为装弹丸位置，其它的为装药筒位置。装弹时，药筒口朝里，弹丸头朝外。炮塔弹药架以行军方向分为左弹架和右弹架。车体弹药架也分为左弹架和右弹架。炮塔左弹架底层有两个孔为车外供弹通道，车外供弹时，通过此两孔分别输入弹丸和药筒。具体位置见图示。行军时此两孔携带弹丸和药筒各一个。在左炮塔弹药架后上方装有照明灯和开关，便于夜间操作。

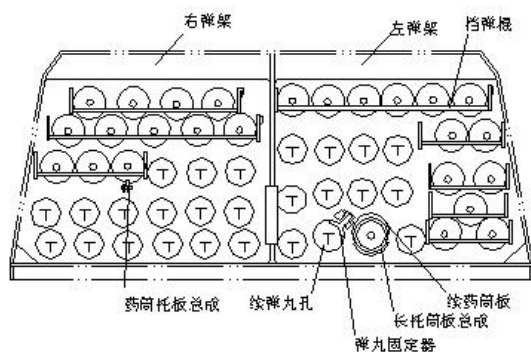


图 3-1-6 炮塔弹药架

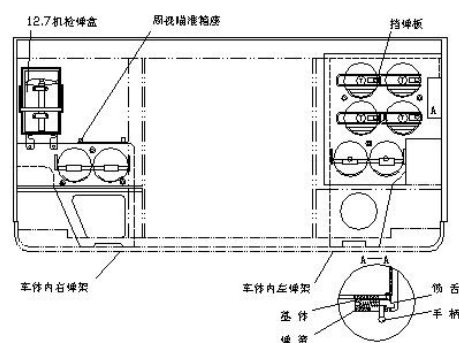


图 3-1-7 车体弹药架

为确保射击和行军时炮弹不被震出，采取了不同的保险装置。在药筒底部有挡弹棍装置和挡弹齿装置。在弹丸头部有弹丸固定器。在续药筒孔前方有折扣装置。在炮塔弹药架中部下方有一支架，上面安装有缓冲垫，用于小射角射击时，防止炮尾后坐过长或药筒自动退出时撞击弹药架上的弹丸。

挡弹棍装置（图 3-1-8）用于行军时，加强对药筒的固定。挡弹棍装置有两种，挡 4 个药筒以上的装有挂簧，否则没有挂簧。取药前先要抬起挡弹棍，当挡弹棍向上转过水平面后，在挂簧作用下，挡弹棍向上翻转并限制在上方。当需要加强对药筒固定时，向下翻转挡弹棍，当转过水平面后，在挂簧作用下挡弹棍被向后拉紧，紧贴在药筒底部。挡弹棍上的胶管用于保护底火。操作没有挂簧的挡弹棍时，左、右两手的拇指向上顶起挡弹棍，同时用其它手指底缘向外抽出即可。

挡弹齿装置（图 3-1-9）用于挡在药筒底缘部，防止药筒受震而窜出。它由挡弹齿、挡齿扳手、扭簧、弹簧及销轴等组成。

弹丸固定器（图 3-1-10）用于卡住弹丸的弹头部，防止弹丸受震而窜出。它由卡环、基座、扭簧、限制轴、固定轴、杠杆及弹簧等组成。

折扣装置：用于行军时固定药筒。使用时，右手握住折扣，左手握住挂钩向上拉出，然后通过药筒上方使折扣扣紧在挂钩上。在车外供弹前需要把折扣和挂钩推回到卡环里。

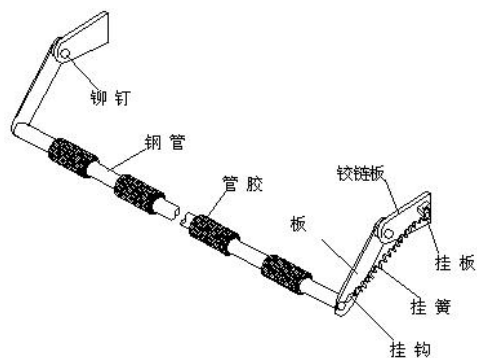


图 3-1-8 挡弹棍装置

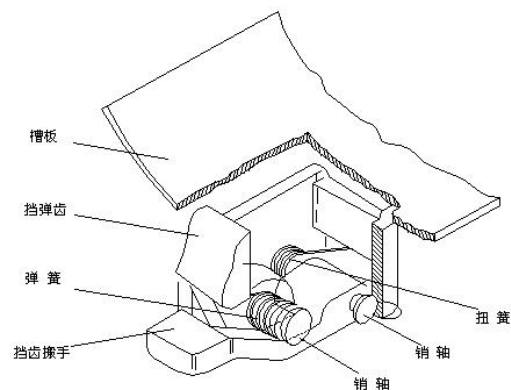


图 3-1-9 挡弹齿装置

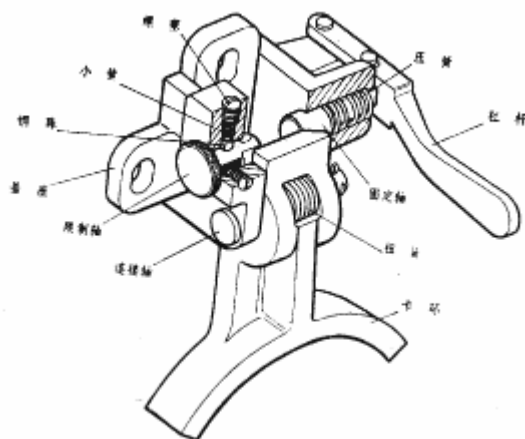


图 3-1-10 弹丸固定器

（四）炮塔内设施

炮塔内有许多设施，其中主要有潜望观察镜、通信设备、风扇、照明灯、座椅、机枪弹箱、引信盒及急救箱、暖壶和手提式灭火机等。另外在战斗室右后下方的车体上固定了一个瞄准镜箱，用于存放周视瞄准镜和标定器。

潜望观察镜由上下镜体、上下棱镜、上下结合盘、活动棱镜、俯仰固定螺钉、方向固定螺钉、握把、护额垫和锁等组成。炮塔上有 1 具 WG102 潜望观察镜和 7 块 WG501 电加热防霜潜望观察镜。WG102 潜望观察镜（如图 3-1-11 所示）供瞄准手观察，安装在瞄准手左前方。其主要性能：放大率 1 倍，高低射界 7° ，方向视界 19° ，方向转动角 360° ，俯仰转动角 $-9.5^{\circ} \sim 16^{\circ}$ 。7 块 WG501 电加热防霜潜望观察镜中有 5 块装在炮长指挥塔四周，供炮长在塔内观察战场，另两块分别装在炮塔两侧的门上，供一、二炮手向外观察。7 块电加热防霜潜望观察镜的性能和结构都是一样的。其倍率为 1 倍，视界 98° ，潜望高 170mm。使用时握住镜子下方的握把就能操纵棱镜的俯仰而便于观察。棱镜上都装有电加热装置，防止冬季玻璃上结霜而影响观察。潜望镜上都有电加热装置的插头。安装时，将连接控制盒的插座与潜望镜上的插头连接好。潜望观察镜加温的温度在 $+15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 之间，如果气温高于 20° ，即使接通电源潜望镜也不再加温。需加温时，打开控制盒（位于炮长右侧）的电源开关，此时指示灯亮，即表示正常。加热潜望镜的控制盒上有“上”、“总”、“下”3 个位置，需加热哪一部分，把加热开关扳到相应位置即可。“上”即炮长指挥塔四周的 5 块观察镜；“下”即两个侧门上的观察镜。使用潜望观察镜时，松开方向和俯仰固定螺钉，潜望镜便可左右和俯仰转动。向前观察时，应将活动棱镜推到上方。向后观察时，应将活动棱镜拉到下方，并握住握把将潜望镜转动 180° 。

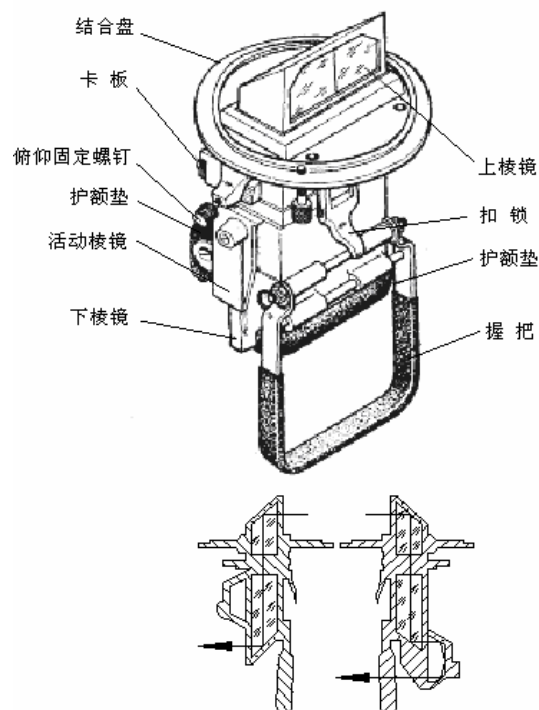


图 3-1-11 WG102 潜望观察镜

通信设备是 CWT — 167 D 电台一部和 86 式单炮通话器一套，设置在炮长右侧。

炮塔内有两个电风扇，供战斗室通风排烟，一个位于弹药架上方的炮塔顶甲板上，其旁有开关；另一个位于战斗室前下方底盘的隔板上，其开关在炮塔右侧门下方的底盘侧壁上。

炮塔内顶板上有 3 个照明灯，供炮塔内照明。其开关均在灯的附近。在右侧门内上方有一个炮塔后标高灯开关。在左炮塔弹药架后上方装有照明灯和开关供夜间续弹操作。

炮塔内有 4 把椅子。其中两把是固定的但椅子的高度和前后位置能调整，分别供炮长和瞄准手用。另两把是活动的，挂在底盘的椅座钩上，在行军时供一、二炮手使用。

炮塔内携带 13 盒 12.7mm 高平两用机枪弹箱，共有子弹 650 发。在炮塔左侧门右侧有一个引信盒，内存放 30 个榴-4 引信，在使用车内弹射击时用。在引信盒下放有一个急救箱，内有急救包等药品。

第二章 坦克炮

第一节 坦克炮的定义及其主要特点

一、坦克及坦克炮

坦克，是英文“Tank”的音译，是一种把强大直射火力、高度越野机动性和坚强装甲防护能力集于一身的重型陆战武器。在自坦克出现以来的地面战争中，坦克一直具有极为重要的作用，充当陆军的主要突击力量，同时也是最好的反坦克武器。20 世纪 60 年代前，坦克通常按战斗全重、火炮口径，可分为轻型、中型、重型 3 种。通常轻型坦克重约 10~20t，火炮口径不超过 85mm，主要用于侦察、警戒，也可用于特定条件下作战；中型坦克重约 20~40t，火炮口径最大为 105mm，用于遂行装甲兵的主要作战任务；重型坦克重约 40~60t，火炮口径一般不大于 125mm，主要用于支援中型坦克作战。20 世纪 60 年代以来，多数国家按用途把坦克分为主战坦克和特种坦克。主战坦克用于完成多种作战任务，是现代装甲兵的主要战斗兵器。特种坦克是担负专门任务的坦克，如侦察、空降、水陆两用和喷火坦克等。坦克在现代战争中具有突出地位，因而较其它常规武器发展更快，性能提高也更显著。

坦克主要在近距离作战，坦克炮是坦克的主要武器，也是坦克火力的象征，通常安装在旋转炮塔内，用以歼灭敌人的坦克和其它装甲目标，消灭敌有生力量及火器，摧毁敌防御工事。坦克炮在 1500~2500m 距离上的射效高，使用可靠。坦克炮发射破甲弹、穿甲弹、碎甲弹和榴弹等。坦克炮的主要诸元有口径、穿甲弹的初速、全装药杀伤爆破榴弹和减装药杀伤爆破榴弹的初速、破甲弹的初速、发射速度、高低射界、方向射界、炮弹质量和弹药基数（按规定标准一次所携带的各种弹药的数量）等。坦克炮和反坦克炮属于直瞄武器（炮距目标的距离为 2000m 至 3000m，用瞄准镜直接对准目标），由于采用了以电子弹道计算机为中心的火控系统，结合使用火炮及瞄准线的稳定装置、激光测距仪、火炮自动操纵系统，并用各种传感器以自动修正影响弹道的因素，使得火炮的射击精度特别是首发命中率大大提高，在 1500m 距离上行进间射击运动目标命中率可达 65% 以上，原地对固定目标射击命中率可达 85% 以上。

坦克是矛与盾的完美结合体，矛即指坦克炮，盾就是坦克的装甲。坦克炮的主要作用是毁伤敌方的坦克装甲，而装甲的主要作用在于抵抗敌方的火炮射击。坦克在原地、短时间和行进间，坦克炮都可以射击。坦克炮的威力与坦克的快速运动相结合，使坦克具有“陆战之王”、“铁甲骑兵”之称。有人认为，一辆坦克能够摧毁其它坦克的能力仍然是衡量其存在价值的指标。因此，这两种装甲与反装甲的技术一直是竞相发展的。为了对付日益进步的装甲技术，各国都在积极发展坦克炮技术，如用新技术改进现有坦克炮和发展新概念坦克炮等，以不断提高坦克自身的反坦克能力。

二、坦克炮的组成

1. 一般组成

坦克炮是由地面炮演变而来的，坦克炮一般是由炮身、炮闩、摇架、反后坐装置、高低机、方向机、发射装置、防危板和平衡机等组成。有的坦克炮还使用自动装弹机。

炮身在火药气体的作用下，赋予弹丸初速和方向。火炮身管借助螺纹联结器与炮尾相连，以便于拆卸。炮闩用来闭锁炮膛、击发炮弹、抽出药筒，开闩和关门可自动进行。摇架用其两个耳轴把火炮装在地面支架上。炮尾上装有由驻退机和复进机组成的反后坐装置，用以消耗火炮后坐动能，使后坐部分回到原位，并在任何仰角上都能使火炮处于最前方位置，保证火炮正常工作。发射装置用来使击发装置击发。防危板用于击发时保护乘员安全。平衡机用

来平衡火炮起落部份的不平衡力矩，使火炮操纵轻便，仰俯平衡。

2. 抽气装置

抽气装置（bore evacuator）是将射击后残留在炮膛内的火药燃气及残渣从炮口排除的装置。在弹丸出膛后，膛内残存的火药燃气或燃烧不完全的火药分解物有相当一部分随着开闩而向后冲出膛外，使炮手周围或封闭式的战斗室中出现 CO 等有毒气体，有时遇氧后还会继续燃烧，发射后的药筒内也带有一定的燃气。当室内 CO 浓度大于 0.2mg/L 时，就会危害炮手健康，并影响战斗。为此，在坦克炮、带封闭炮塔的大中口径自行榴炮或舰炮上多采用炮膛抽气装置，或与电风扇配合，用以降低战斗室内有害气体的浓度。

抽气装置由储气筒和身管上的斜通气孔组成。储气筒两端有密封圈，用螺帽固定在身管外面。发射后，膛压升高，弹丸向前运动。当弹丸经由斜通气孔向前时，高压火药燃气通过这些斜通气孔进入储气筒内。弹丸继续向前运动时，膛压下降，待膛内压力低于储气筒内气体压力时，储气筒内的高压气体通过向炮口倾斜的喷口喷射出来，直到弹丸飞离炮口后，由储气筒排出的气体在膛内形成一股强有力的气流冲出炮口，同时，连同炮膛后部的火药残渣和火药气体一并抽出膛外，使有害气体和未烬物不能进入战斗室内影响乘员操作。抽气装置储气筒的尺寸连同喷口的斜角和大小必须设计得使抽气过程在炮闩被打开之前就开始，以尽可能减少当火炮开闩时进入封闭车体内的烟量。抽气装置的工作原理如图 3-2-1 所示。

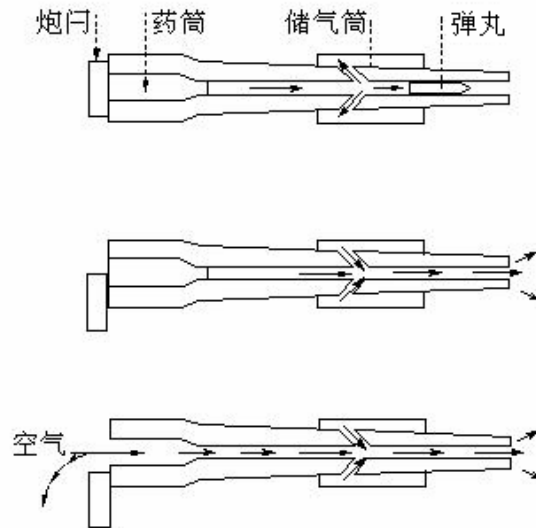


图 3-2-1 抽气装置的工作原理

3. 热护套

热护套（thermal jacket）是一种为了减少身管热弯曲变形而装在身管外表的由绝热材料或导热材料制作的筒形包覆物。火炮的身管管壁受太阳辐射、雨淋、风吹等外界气候的影响，引起身管沿周向温度分布很不均匀，照射面和阴面存在温差，从而产生热弯曲变形，对于长身管则更为严重。这种热弯曲变形导致炮口角变化，直接影响坦克炮的首发命中精度。试验表明，在夏季烈日正射下，身管温度不均匀产生的变形可使炮口倾角变化 1.5mil；而在连续射击后突然淋雨的身管变形更明显，可使炮口倾角变化达 10mil 以上。

可用“防护效率” E_1 或 E_2 来评价身管热护套的热防护性能。其定义为

$$E_1 = (\text{裸管炮口挠度} - \text{热护套身管炮口挠度}) / \text{裸管炮口挠度}$$

$$E_2 = (\text{裸管炮口倾角} - \text{热护套身管炮口倾角}) / \text{裸管炮口倾角}$$

三、坦克炮的主要特点

坦克炮分线膛炮和滑膛炮两种。滑膛坦克炮既可以充分利用发射药能量又可以克服破甲弹因旋转而造成破甲射流能量衰减的弊端。从弹道特性来看,坦克炮一般均属于加农炮系列,其身管较长,主要以直接瞄准方式射击,攻击装甲和其它目标。现代坦克炮口径一般为105~125mm,炮弹初速高达1800m/s。

坦克炮与一般的地面炮虽有共同点,但由于其工作条件的特殊性,在结构性能方面有其独特之处。

(1) 坦克炮威力大。坦克炮具有膛压高(有的达500~700MPa甚至更高)、初速大、弹道低伸、射击精度高、结构紧凑、后坐距离短、操作简便等特点,能远距离穿甲,仍然是重要的反坦克武器。前苏联T-72坦克125mm火炮在2000m距离上可击穿140mm/60°的靶板,也就是穿透将近一尺厚的钢板。前西德豹II坦克120mm火炮发射初速为1650m/s的长杆式动能弹时,在2200m距离上可击穿厚度为350mm的垂直装甲。

为了能适应高膛压的需要,各国现在均将新工艺、新材料应用于炮身的制造。例如,德国的滑膛炮采用了真空重熔钢,英国的120mm炮采用了电渣重熔钢,不仅提高了强度,也大幅度提高了炮钢的韧性和疲劳寿命。在发射装药中添加缓蚀剂和炮膛镀铬以降低大装药量、高膛压、弹丸高速运动对炮身寿命的不利影响。此外,当前各国的坦克炮炮身均采用了自紧工艺。计算表明,在膛压不变的条件下,自紧身管的质量可下降60%;在身管壁厚不变、质量相同的条件下,自紧身管承受的膛压可提高一倍。

由于坦克的装甲车体坚固,稳定性好,所以可装载大口径的火炮。当然,口径并不是越大越好。因为火炮口径太大,则在其它条件相同情况下,整个火炮、炮塔座圈、炮塔都要加大,因而会使坦克加宽加重,不便于机动和铁路运输。并且,大口径炮弹不易实现自动装填,人工装弹困难,坦克运动中装弹几乎不可能,炮弹发射后空金属药筒不易处理,因而直接影响发射速度。此外,口径大往往会导致弹药基数的减少。所以,现代坦克炮的口径一般为85~125mm。主战坦克的火炮口径为120~125mm,已被一些专家认为达到了极限。

(2) 坦克炮的身管长、质量大。能够发射象脱壳穿甲弹及尾翼稳定式脱壳穿甲弹的火炮需要在弹丸飞离炮口前,赋予弹丸尽可能多的动能,使弹丸以其能达到的最高初速飞离炮口,这就要求弹丸在膛内运动时期要么增大其加速度,要么延长其膛内运动时间。增大弹丸膛内运动时期加速度受火炮膛压的限制,因此加长身管,相应地也就延长了弹丸膛内运动时间是提高其初速的有效途径。坦克炮与口径相当的榴弹炮相比,前者的身管比后者的长三分之一。现代坦克炮的炮身属于长身管加农炮类型,身管长一般为口径的50~60倍。长身管炮与短身管炮相比,射出的弹丸初速大,动能大,射角小(不超过45°),弹道低伸(即弹丸在空中飞行时的轨迹比较平直),便于直接瞄准,射击精度高,能远距离穿甲,适于平射打坦克、装甲车等活动目标和突出地面的单个垂直目标。坦克炮身管的质量是口径相当的榴弹炮身管的两倍多。质量增加的原因很多:部分是由于身管长了;部分是由于身管“厚”了;部分是由于加装了抽气装置;部分是由于坦克车内空间有限,增加质量可以吸收某些后坐能量。由于坦克车内空间有限,坦克炮具有后坐短、炮身前抽的特点。

(3) 现代主战坦克大多采用滑膛炮。如前苏联T-72坦克、前西德豹II坦克和美国后期的M-1坦克等。大多采用滑膛炮的主要原因是:

1) 滑膛炮不存在膛线烧蚀问题,膛内阻力小,管壁较厚,使用寿命较长;

2) 炮弹无滑动弹带,减轻了弹重;

3) 滑膛炮发射破甲弹时,由于弹丸不靠膛线稳定,因而无离心力对聚能射流的有害影响,破甲能力可以提高。可以提高尾翼稳定脱壳穿甲弹的穿甲能力。俄罗斯T-80主战坦克的125mm滑膛炮发射的钨弹芯的尾翼稳定脱壳穿甲弹可击穿法线角为60°的230mm厚的轧制钢装甲。美国M1A1坦克的120mm滑膛炮发射的M-829E1尾翼稳定脱壳穿甲弹可击穿

650mm 厚的装甲。英国在“百人队长”坦克上试验的 140mm 火炮可贯穿 1000mm 厚的装甲；

4) 适于发射多种弹，如小型导弹、火箭增程弹等。但是滑膛炮只能发射尾翼稳定弹，而且射击距离远时，由于弹丸尾翼受外界因素的影响，射击精度较低。

(4) 炮塔的旋转是通过操纵台或人手借助动力传动装置或电动液压传动装置来实现的，可使坦克炮有 360° 的方向射界，即可进行圆周射击和迅速射击，因而火力机动性好。

(5) 具有完善的、先进的炮膛轴线和瞄准线的稳定系统、火控系统、昼夜观瞄系统、随动系统。

第二节 坦克炮的发展简史及发展趋势

随着坦克性能尤其是装甲防护能力的提高，坦克炮经历了口径由小到大，技术不断改进，弹药的穿、破甲性能明显提高的发展过程。尤其是近几十年来，科学技术的不断进步促使坦克炮技术有了新的发展，坦克炮的威力有了显著提高，新型坦克炮也接连不断地问世并投入使用。高技术的发展与应用，将极大地提高坦克炮在地面战争中的地位。

一、发展简史

(一) 坦克的发展概况

第一次世界大战期间，受英国陆军的战地记者 E.D.斯温顿上校的启发，英国海军依照海上巡洋舰的模样，设计了一种攻防兼备的新型武器——“陆上巡洋舰”。后来，斯温顿根据美国履带式农耕牵引机的启示，提出了一种新的设计。根据这一设计，英国海军在 1915 年 9 月制造出了世界上第一辆坦克“马克 I”。1916 年 6 月起，英军组建世界上的第一支坦克部队并开始进行简单的训练。同年 9 月 15 日，英军首次把 49 辆 I 型坦克用于索姆河战役。第一次世界大战后至第二次世界大战初期，是轻型坦克盛行时期。通常以机枪为主要武器，有的轻型坦克上还安装了 37mm 或 47mm 火炮。第二次世界大战中期至 20 世纪 50 年代，是中型坦克主导时期。这个时期的中型坦克普遍采用焊接车体和铸造炮塔，开始注意增大装甲倾角，改善坦克外形，有的坦克还采用烟幕装置和灭火技术，提高了坦克的防护力和生存力。推广应用了次口径脱壳穿甲弹和碎甲弹，破甲弹的破甲厚度提高到 300~350mm，有的坦克开始采用光学测距仪、机械模拟式弹道计算机、双向稳定器和主动红外夜视仪等。有的坦克挂装了侧裙板，提高了防空心装药破甲弹的能力，三防装置在有些坦克上得到了应用。机动性能也达到了较高的水平，一些坦克还装备了潜渡装置，提高了克服水障碍的能力。20 世纪 60 年代进入主战坦克时期，战术核武器装备部队对装甲兵的运用和装甲兵技术的发展产生了深刻影响。核效应试验表明，装甲兵是最适于在使用核武器条件下作战的兵种。一些军事大国，相继加快了陆军机械化、装甲化的进程。为了使坦克能更好地适应核武器条件下作战，并减小反坦克武器特别是大量使用的反坦克导弹的威胁，坦克不仅需要威力更大、射程更远的直射火力，同时需要更有效的防护和更高的机动性能。因此，许多国家在发展新型坦克时，十分强调火力、机动性和防护能力三要素的综合平衡。高速柴油机增压技术、红外技术、自动控制技术、钢铁冶炼技术和机械制造工艺的迅速发展以及新材料的发展为全面提高坦克及其它装甲车辆性能创造了条件。

(二) 坦克炮的发展概况

初期的坦克炮并不是专用的，威力也比较小。第一次世界大战中，坦克上面就装有火炮和机枪。但当时的坦克炮仅仅是现成的海军炮或地面火炮，而且只被用作机枪的辅助武器。火炮初速较低，为 450~550m/s，口径也小，英国“大游民”坦克装有 57mm 火炮，法国“圣沙蒙”坦克装有 75mm 火炮，它们主要发射榴弹。坦克炮的主要任务是消灭敌有生力量，摧毁机枪火力点和土木工事，是战场上一个活动的碉堡。

第二次世界大战前夕，欧洲和美国普遍装备了 37mm 和 47mm 火炮，将初速提高到 610~850m/s，这两种炮能摧毁 450m 距离上的 40~60mm 厚的装甲。尽管当时已经意识到坦

克炮的主要任务是对付坦克，因其口径太小，仍然难以实施反坦克作战。

真正的坦克炮实际上问世于第二次世界大战期间。第二次世界大战期间，苏联在 T-34 上装备了 76mm 坦克炮，1943 年改用 85mm 坦克炮；德国在 T-IV 坦克上把短身管坦克炮换成了 75mm 长身管炮；英国和美国分别研制了 75mm、77mm 和 90mm 坦克炮。战争后期，德国 T-VI “虎式”重型坦克的 88mm 线膛炮首先使用了旋转稳定空心装药破甲弹，破甲威力为 90mm。IC-2 重型坦克的 122mm 炮是当时威力最大的坦克炮，但由于它过于笨重，导致车体行动缓慢，没有发挥重大作用。大战后期，各国把坦克火力性能指标作为研制坦克的首要目标，坦克炮得到了进一步发展，出现了专为坦克设计制造的坦克炮，身管上大都安装了抽气装置。

50 和 60 年代，发展了两代坦克，坦克炮的发展达到了成熟期。东西方在坦克炮口径方面开展了竞争，一般均将口径增至 100~120mm，有的身管上还安装了热护套。期间，美国发展了 152mm 两用炮，英国先后推出了 L7 式 105mm 和 L11 式 120mm 线膛坦克炮，前苏联为 T-62 坦克研制了 115mm 滑膛坦克炮。

70 年代至今，坦克技术取得了前所未有的飞速发展，一批新型主战坦克相继问世，如前苏联 T-64、T-72、T-80，德国“豹”2，美国 M1，日本 74、90 式，英国“挑战者”，以色列“梅卡瓦”等等。坦克发展到第三代，坦克炮发展到了一个新的水平，主战坦克火炮的口径普遍增至 120~125mm，身管上大多装备热护套，有的配备了自动装弹机，发射的主要弹种是尾翼稳定脱壳穿甲弹。最新式坦克上装备的主炮包括德国 RH-120 坦克炮、法国 120 滑膛炮、独联体 125 滑膛炮和意大利 120 滑膛炮等。

德国的 88mm 炮可能是第二次世界大战中最有名的反坦克炮，自那以后最成功的坦克炮要属英国的 105mm 炮，大多数西方坦克都装备这种炮，包括英国的“逊丘伦”坦克、美国的 M60 式坦克及西德的“豹”I 和美国的 XM1 式坦克。以色列把这种炮装于他们缴获的 T54 式及 T62 式苏制坦克上。这种炮可以发射旋转稳定式脱壳穿甲弹、榴弹、碎甲弹、烟幕弹及蜂窝式杀伤榴霰弹。

前苏联在 T55 式坦克上装备 100mm 线膛坦克炮之后，又开始发展滑膛炮，在 T62 式坦克上装 115mm 滑膛炮，在 T72 式坦克上装 125mm 滑膛炮。滑膛炮的优点是其制造比线膛炮简单，更重要的是其重量相当轻并以很高的初速发射尾翼稳定式脱壳穿甲弹。西德在其“豹”II 式坦克上采用了 120mm 滑膛炮，美国在 XM1 式坦克上装 120mm 滑膛炮代替原来的 105mm 线膛炮。英国则愿意在其“奇伏坦”坦克及新型“挑战者”坦克上仍用 120mm 线膛炮，他们认为这样伸缩性更大，既能发射旋转稳定式的碎甲弹，又能发射尾翼稳定式脱壳穿甲弹及空心装药破甲弹。

现代坦克炮主要由前苏联、英和德 3 个国家生产的占统治地位，即：前苏联的滑膛坦克炮，其口径有 115mm、125mm 两种，比西方的同类型炮大 10 或 5mm；英国的线膛坦克炮，其口径有 105 和 120mm 两种；德国的 120mm 口径滑膛炮。

二、发展特点

现代坦克炮的发展特点主要有如下几个：

(1) 坦克炮的口径一直呈增大趋势

自第一次世界大战以来，西方各国坦克炮的口径从 90mm 增大到 105mm、120mm，前苏联坦克炮口径从 85mm 增大到 100mm、115mm、125mm，而且，东西方两大阵营的主战坦克主炮口径相同时期内是以 5mm 或 10mm 之差交替领先的。几乎每出现一代新坦克炮，火炮口径就增加 15mm。

(2) 炮口初速均在 1700m/s 左右

英国 L7 式 105mm 炮为 1700m/s，前苏联的 115mm 滑膛炮为 1680m/s，德国 RH-120 滑膛炮为 1650m/s，前苏联 125mm 滑膛炮为 1700m/s。

(3) 新型主战坦克大多采用滑膛坦克炮

虽然线膛炮和滑膛炮都得到了发展,但进行了由线膛炮为主向滑膛炮为主的转变。随着德国莱茵金属公司 Rh-120 滑膛炮的推广,各国新型主战坦克大部分采用了该炮或类似的滑膛炮,例如美国 M1A1、德国“豹”2 和法国“勒克莱尔”坦克均采用 120mm 滑膛炮,独联体 T-80 坦克装备了 125mm 滑膛炮,仅英国仍坚持使用线膛炮,其原因大概是由于英国是使用 120 线膛炮的先驱的缘故。滑膛炮比线膛炮的优点多:因无膛线阻力,故初速高;穿甲能力大,直射距离远;不存在膛线烧蚀问题,炮管寿命长;炮管和炮弹加工简单等。

(4) 现代坦克炮普遍安装了身管热护套

这可使身管周围温度均匀,减少身管弯曲,从而可以改善弹着点偏差,提高命中精度。英制 L7 式 105mm 线膛坦克炮,德制 120mm 滑膛坦克炮及独联体 125mm 滑膛坦克炮等均安装了热护套,现在未采用热护套的坦克炮很少。

(5) 现代坦克炮普遍取消了炮口制退器

理由大概是:炮口制退器易在发射过程中引起炮口振动,影响射击精度,特别对尾翼稳定脱壳穿甲弹影响更大;由于冲击波的作用,在坦克前沿阵地会产生很大的烟幕,从而影响射击瞄准的视界与射击精度。另外,炮口冲击波对外挂和暴露的仪器设备及乘员有不利影响。

(6) 装填方式不断完善

随着火炮口径的增大,要保持和提高射击频率,增加了乘员装填炮弹的劳动强度,难于维持持久的战斗射击,因而对炮弹装填的自动化的要求也迫切了。坦克炮逐渐采用了自动装弹机或半自动装弹机。自动装弹机的采用既可提高射速,又能减少坦克乘员,这也是提高坦克生存能力的一个重要措施。法国“勒克莱尔”、瑞典“S”、日本 90 和独联体 T-64、T-72、T-80 主战坦克均采用了自动装弹机。

(7) 身管普遍采用了新工艺

电渣重熔或真空冶炼技术以及自紧和镀铬等方法的应用,提高了身管的实用强度和疲劳寿命,减轻了身管质量。德国 Rh-120 式 120mm 滑膛坦克炮的身管为自紧身管,由铬、钼、镍电渣重熔钢制成,英国 L1 式 120mm 线膛坦克炮,意大利 120mm 滑膛坦克炮也均用电渣重熔钢制成。现代坦克炮身管的制造技术和工艺已达到了十分先进的程度,膛内压力由 300MP_a 提高到 500MP_a 左右,有的甚至达到 700MP_a。

(8) 配用弹种较多

现代坦克炮可以发射脱壳穿甲弹、尾翼稳定脱壳穿甲弹、碎甲弹、破甲弹、杀爆弹、多用途破甲弹等多种炮弹,并且每类弹中还包括许多新型和先进弹种。尤其是其中的动能弹,不仅种类多,而且威力越来越大,所以很受各国的重视。俄罗斯在发展坦克炮时,始终坚持既能发射普通炮弹又能发射反坦克导弹的做法,以使坦克炮在反坦克作战中发挥更大的作用。

(9) 新型坦克炮普遍配备了现代化的综合火控系统

这种火控系统以数字式计算机为中心,将火炮稳定器、昼夜观瞄镜、测距仪等组成为自动化程度较高的火力控制系统。将各种传感器自动测量的或人工装定的弹道修正参数输入计算机,计算机进行计算和修正,提高了行进间射击稳定性和命中精度。

三、发展趋势

为适应新的战场环境,进一步解决好诸兵种的协同作战,满足未来战争纵深突击、空地一体和快速反应的要求,装甲兵武器装备将朝着功能齐全、装备结构合理、整体作战能力强的方向发展。精确制导武器及武装直升机的出现和日益发展,将对装甲兵技术的发展产生深远的影响。主战坦克仍将是各国发展的重点,力求通过总体优化设计,达到体积质量较小、效能费用比更高的目的。将可能出现新结构形式的坦克。主战坦克的火力、机动性和防护力将在一个更高的水平上达到平衡。将在通用化、系列化、组合化的基础上发展新的车辆型谱。

近年来,装甲武器的发展明显出现了两种趋势,一是为了提高现装备武器的性能,用高新技术改造传统火炮和弹药,尽量延长这些武器的服役期;二是为了适应未来战争的需要,积极研制能击毁目标的非传统武器。坦克炮的发展趋势主要表现在如下4个方面:

(1) 现有坦克炮的性能将得到进一步改善

世界军事强国高度重视现役坦克的改进,设法提高其主要武器的火力性能。特别是西方几个军事强国采取加长身管、采用更高强度的炮钢和改进发射药等方法,充分挖掘现在装备的坦克炮的潜力。信息技术对未来装甲兵技术的发展有重大的影响。信息的接收、传递、处理和控制技术,使未来坦克及其它装甲车辆向自动化、智能化的方向发展。坦克武器系统将可能采用自动跟踪式火控,也可能应用智能弹药。坦克在战场上的快速反应能力、精确射击能力、机动能力、防御能力和全天候作战能力将得到全面的提高。

(2) 身管式坦克炮的口径有可能继续增大

目前,坦克上广泛采用先进的复合装甲等结构,这种结构能使采用细长弹芯的穿甲弹的弹芯受到横向力和弯曲应力的影响,为了提高毁伤效应,要求弹芯具有更强的横向强度,即需要增大直径,因此,要求火炮的口径进一步增大。北约的4个主要成员国(美、英、法、德)确定下一代主战坦克将共同采用140mm滑膛坦克炮,发射尾翼稳定脱壳穿甲弹。美国开展了XM291型140mm坦克炮的研制;英国用140mm样炮进行了初步试验,该炮发射尾翼稳定脱壳穿甲弹时的穿甲能力比120mm炮提高40%;德国和瑞士分别将新研制的140mm坦克炮安装在“豹”II坦克上,并已进行了试验。

(3) 非传统型坦克炮有可能问世

传统的坦克炮其性能的提高和改善几乎达到了极限。要使主战坦克真正能在高新技术战争条件下仍然保持其核心兵器的地位,必须另辟蹊径,发展更加先进的坦克炮。80年代以后,世界各国在发展新型坦克炮方面作了很大的努力。新材料、新能源和能量控制方式将推动坦克炮技术的发展。高强度耐热陶瓷材料、复合材料的发展将导致新型坦克炮的问世,新能源和能量控制方式也将为坦克炮技术提供新的发展潜力。高燃速、高能量发射药,使用新能源的动力装置等,一旦技术上有所突破,都有可能使坦克炮上得到应用。各国潜心研究的非传统型坦克炮主要有液体发射药坦克炮、电热化学炮、电磁炮等。德国在制订发展电磁炮计划时,提出了可具备在3000m距离上击毁现代主战坦克的能力的要求。这些炮进入实用阶段可能还需要较长的时间。

(4) 自动装弹机的采用势在必行

随着装甲与反装甲技术的不断进步,自动装弹机将可能得到更加广泛的应用。采用自动装弹机是使用大口径炮弹的需要。目前,西方各国使用的标准坦克炮口径是120mm,采用半可燃药筒的120mm炮弹的重量和尺寸已是装填手在战斗条件下进行装填的极限。发展大口径坦克炮,势必采用自动装弹机。采用自动装弹机可以缩小战斗室空间,减少车重,也是提高坦克总体防护能力的重要途径。自动装弹机也为改变主战坦克的常规结构创造了条件,如有可能使坦克炮变成顶置式或外置式。再说,未来战争是技术程度更高、作战条件更加恶劣的战争,不论是坦克还是其它作战武器,为了尽量减少人员伤亡,实现机器人化也是兵器发展的一个方向,采用自动装弹机可看作在坦克上实现机器人化的第一步。实际上,瑞典的S、独联体的T-64/T-72/T-80、法国的“勒克莱尔”、日本的90式坦克及美XM8轻型坦克等都已安装了自动装弹机,实战证明自动装弹机具有相当大的作用,有着广阔的发展和运用前景。

第三节 国产坦克炮简介

一、69 式 100mm 滑膛坦克炮

70 年代初，我国开展了滑膛坦克炮的设计工作。为适应高膛压的要求，攻克了加强身管强度的关键技术，研制并在中国坦克上首次安装了能保持高低和水平两个方向稳定的双向稳定器，加上计算机的控制，提高了射击精度。100mm 滑膛坦克炮于 1974 年设计定型，命名为 1969 年式 100mm 滑膛坦克炮。69 坦克改用滑膛坦克炮作为其主炮的目的是为了发射长杆式脱壳穿甲弹，在英国人发明滑动弹带以前，当时的线膛坦克炮不能发射长杆式脱壳穿甲弹。

69 式 100mm 滑膛坦克炮主要由炮身、炮门、摇架、防危板、反后坐装置、平衡机、高低机及方向机（在车体上）等部件组成。除炮身系新设计和高低机、摇架、防危板有局部修改外，其它部件均与 59 式 100mm 坦克炮的部件通用。身管内膛改为滑膛并加长 100mm，身管长达 5450mm（55 倍口径），身管中段有抽气装置。最大射速为 7 发/min。配套产品有 1973 年式 100mm 滑膛反坦克炮脱壳穿甲弹，1969 年式 100mm 滑膛坦克炮钨芯脱壳穿甲弹，59 式坦克炮、69 式滑膛坦克炮、73 式滑膛反坦克炮 100mm 通用破甲弹，1973 年式 100mm 滑膛反坦克炮杀伤爆破榴弹。

表 3-2-1 69 式 100mm 滑膛坦克炮主要诸元和/或战术技术性能

诸元名称	初速 (全装药) (m/s)			最大膛压 (MPa)		直射距离 (目标高 2 m) (m)		战斗射速 (发 / min)	高低射界	方向射界
	脱壳穿甲弹	破甲弹	榴弹 (全装药)	脱壳穿甲弹	榴弹 (全装药)	脱壳穿甲弹	破甲弹			
诸元值	1490	1000	890	330	300	1730	1000	7	—5° ~ +18°	360°
诸元名称	射击精度				炮身長 (mm)	身管长 (mm)	滑膛部分长 (mm)	药室长 (mm)	药室容积 (dm ³)	火炮全重 (kg)
	脱壳穿甲弹 (1000m 距离立靶)	破甲弹 (1000m 距离立靶)	榴弹 (地面密集度)							
			距离	方向						
诸元值	0.4×0.4 (m)	0.4×0.4 (m)	≤ 1/175	≤ 17m	5705	5450	4747	703	7.73	1980
诸元名称	最大射程 (m)	穿甲弹弹丸重 (kg)	榴弹弹丸重 (kg)	穿甲厚度 (距离 1000m, 60° 着角) (mm)	最大后坐阻力 (kg)	平均后坐阻力 (kg)	正常后坐长 (mm)		极限后坐长 (mm)	
诸元值	11800 (榴弹)	4.7	15	100	34011	24110	490~550		570	

我国从 60 年代末期开始大力发展新型反坦克弹药，先后研制了 85、100、120mm 等 3 种口径、9 种型号的超速脱壳穿甲弹。命名为 1973 年式 100mm 滑膛反坦克炮脱壳穿甲弹是我国第一代超速脱壳穿甲弹。这种穿甲弹为长杆式弹体，细长比为 13.3，带尾翼稳定装置，

直射距离 1730m。100mm 滑膛反坦克炮超速脱壳穿甲弹和通用破甲弹的问世，标志着当时中国反坦克炮弹的研究和制造技术达到了新的水平。不过今天看来，69 式 100mm 滑膛坦克炮使用的脱壳穿甲弹采用前苏联的设计，穿甲威力大但精度和远距离威力不佳，没有发展前途，所以已经停产。

69 式 100mm 滑膛坦克炮主要诸元和/或战术技术性能如表 3-2-1 所示。

二、105mm 线膛坦克炮

1980 年代初，我国在 59 式中型坦克上用从西方引进的采用特种冶炼工艺及自紧身管的 105mm 线膛炮代替 100mm 线膛炮，该炮膛压高、初速大、使用寿命长。配备了新型的尾翼稳定脱壳穿甲弹、破甲弹和碎甲弹，能在 2000m 的距离上击穿 150mm/30°的均质钢装甲板，大大增强了 59 式中型坦克的火力。该坦克炮命名为 81 式 105mm 坦克炮，坦克弹药基数为 38 发。后来又改进定型了 83 式 105mm 坦克炮，装备 79 式和 80 式坦克，本炮身管上装有轻型热护套。该炮可以与 59 式 100mm 线膛坦克炮炮管互换，身管采用了可由防盾口向前抽出的结构，在坦克使用修理时，很容易从防盾口抽出身管，更换一门炮的身管只需几分钟，这对战时抢修意义重大。

国产 105mm 线膛坦克炮也可发射符合北约标准的所有 105mm 同口径坦克炮弹。该炮配备的弹药有尾翼稳定脱壳穿甲弹、破甲弹和碎甲弹。碎甲弹是一种反坦克弹药，靠弹丸装药爆炸产生的应力波，使装甲内表面崩落，从内部毁伤装甲车辆，也可用于攻击混凝土工事、设施。新型坦克使用屏蔽装甲或复合装甲，使碎甲弹威力大大削弱，我国曾经研制并设计定型了几种碎甲弹，因故均未投产。105mm 线膛坦克炮穿甲弹全重 18.7kg，穿甲厚度（距离 1000m，65°着角）为 150mm；碎甲弹全重 21.2kg，碎甲厚度（距离 1000m，60°着角）为 120mm。炮弹安置为前组油箱弹架 19 发，中组弹架 18 发，右侧甲板 4 发，左侧甲板 1 发，炮塔内 2 发，总共 44 发。

105mm 线膛坦克炮除身管是新设计的（105mm、线膛）外，其余部件都采用原 59、69 式坦克炮的部件。炮尾只作局部修改以适应与新身管连接。因本炮炮弹用电底火，炮也作局部修改以采用电发火装置。本炮装有应急发射装置，主要部件是一个手摇发电机，装在防危板的底座上，其握把露在炮长的右前方，在坦克供电不正常时，可使电发火装置继续工作，相当于手发射装置的作用。

105mm 线膛坦克炮配属产品为 69-3 式中型坦克。105mm 线膛坦克炮战术技术性能如表 3-2-2 所示。

表 3-2-2 105mm 线膛坦克炮主要诸元和/或战术技术性能

诸元名称	初速 (m/s)			最大膛压 (MPa)		直射距离(m) (目标高 2 m)			高低射界	方向射界
	尾翼稳定脱壳穿甲弹	破甲弹	碎甲弹	破甲弹 (药温 52℃)	尾翼稳定脱壳穿甲弹 (药温 21℃)	脱壳穿甲弹	破甲弹	碎甲弹		
诸元值	1455	1173.5	731.5	526	440	1850	1275	816	-4.5° ~ +18°	360°
诸元名称	射击精度 (m) (1000m 距离立靶)				炮身長 (mm)	身管長 (mm)	药室長 (mm)	药室容积 (dm ³)	火炮全重 (kg)	身管重 (kg)
	脱壳穿甲弹	破甲弹	碎甲弹	碎甲弹						
诸元值	0.2×0.2	0.23×0.23	0.2×0.2	0.2×0.2	5602	5346	622.3	7.135	约 1950	787
诸元名称	最大射程(m)			战斗射速(发 / min)	膛线缠度	膛线部分長 (mm)	膛线数 (条)	最大后坐阻力 (kg)	正常后坐長 (mm)	极限后坐長 (mm)
	尾翼稳定脱壳穿甲弹	破甲弹	碎甲弹							
诸元值	6000	8200	9500	7	20 倍口径	4725	28	29000	470~530	570

第三章 反坦克炮

第一节 反坦克炮的定义及其主要特点

反坦克炮是在坦克的发展中应运而生的，是反坦克武器家族中的重要成员，主要用于打击坦克和其它装甲目标，执行各种火力突击和支援等任务。它的炮身長、弹道低伸、初速大、直射距离远、发射速度快、穿甲效力强、近距离精度好、反应灵活，大多属加农炮或无后坐力炮类型，一般对目标进行直接瞄准射击。

现代反坦克炮大多由坦克炮改装而成。从运载型式来看，到目前为止各国主要发展了两种反坦克炮，即自行反坦克炮和牵引反坦克炮。自行反坦克炮的运用比较普遍，它具有与主战坦克同等的火力和良好的机动能力，价格比坦克便宜，质量也比坦克轻，可为机动和快速反应部队提供强有力的反坦克火力。

反坦克炮的发展道路是比较起伏的，各国重视的程度也不相同。前苏联发展的反坦克炮种类最多，西方国家曾一度放弃了发展，80年代各国尤其是意大利和联邦德国又重新重视反坦克炮的发展，特别是轮式自行反坦克炮的发展十分引人注目，在短短几年内，先后有德国、瑞士、意大利、巴西和法国等国研制了各种不同型号的轮式自行反坦克炮。由于坦克武器及其它反坦克武器发展速度很快，专用反坦克炮的发展和运用可能会受到一定的影响。

反坦克炮与坦克炮使用的弹药基本是相通的，主要弹种有动能弹、化学能弹和榴弹，其中越来越受重视的是动能弹。动能弹中的佼佼者是比较密度大的穿甲弹。

第二节 反坦克炮的发展简史及发展趋势

一、发展简史

反坦克炮的发展比坦克晚。1916年世界上第一辆坦克出现时，还没有专门对付坦克的反坦克炮。当时，第一批坦克投入战场之后，在各国军队中引起极大的震动，它们纷纷研究自己的坦克和各种反坦克武器。不久，法国制造出了世界上第一种反坦克炮，起名为“乐天号”。“乐天号”反坦克炮可视为加农炮的同族兄弟，它的特点是身管较长，膛压较大，其实心的穿甲弹炮口动能较大，最早的坦克装甲厚度仅有6~18mm，该反坦克炮具有足够穿透坦克装甲的能力。

第一次世界大战之后，随着坦克的普遍使用，各国专用反坦克炮相继问世。第二次世界大战期间，可谓是反坦克炮发展的黄金时期，某些中型和重型坦克的装甲厚度已达70~100mm。同时，反坦克炮的口径也从20mm加大至57~100mm，而次口径钨芯超速穿甲弹、钝头穿甲弹和空心装药破甲弹等穿甲、破甲威力更大的弹种的诞生，也使反坦克炮的性能得到提高。1941年德国研制了一种28mm锥膛反坦克炮，发射变口径的钨芯穿甲弹，初速为1402m/s，穿甲能力强。由于坦克的装甲不断加厚，反坦克炮的口径也迅速增大，配用钢芯和钨芯两种穿甲弹的德国75mm反坦克炮和美国的76mm反坦克炮被广泛使用。1943年德国装备了威力惊人的88mm反坦克炮，因为初速高、射程远，该炮是德军当时唯一能击毁前苏联重型坦克的反坦克炮。前苏联于1944年制造了100mm反坦克炮，它能在450m距离上击穿200mm厚的装甲，是此时期口径最大的反坦克炮。在大战中反坦克炮功不可没，据说当时德军损坏的坦克有60%是被反坦克炮击毁的。战争中后期，前苏联的新式坦克在火力、防护能力等方面超过了德国坦克，而德国一时难以研制和生产出在性能与数量上与苏军相抗衡的坦克，于是将一些大口径反坦克炮安装在坦克底盘上，变牵引式反坦克炮为自行反坦克炮，并加以较厚的防护装甲，它当时被称为“强击炮”，可以打击坦克等装甲目标，也可以象坦克一样以直射火力打击步兵、掩蔽部等地面目标。

二战后，各国积极发展了几代坦克，特别是现代主战坦克的火力有了前所未有的改进和

发展,使得在第二次世界大战期间那种急于用大口径火炮改装成自行反坦克炮的需求减弱了。除了德国、日本、前苏联等国少量研制、装备了一些自行反坦克炮以外(如德国的 JPZ4-5 式 90mm 自行反坦克炮、奥地利“骑士”SK105 坦克歼击车、巴西“苏利里”EE-18 坦克歼击车),多数国家没有大规模发展自行反坦克炮。另一方面,随着导弹技术的发展,各国不约而同地大力发展射程较远、命中精度较高、破甲效果较好的自行反坦克导弹发射车。到 60 年代,随着反坦克武器的多样化,特别是反坦克导弹的迅速发展,许多西方国家放弃了反坦克炮的发展,从编制中取消了牵引式反坦克炮。只有前苏联不同,先后推出了 57、85、100mm 口径反坦克炮系列。联邦德国也装备了 90mm 自行和牵引式反坦克炮。进入 70 年代以后,由于安装在装甲车辆底盘上的自行反坦克炮的成本只有坦克的 1/3 左右,其机动性又远胜过其它反坦克兵器,所以又重新得到各国的重视和发展。自行反坦克炮外形与坦克很相似,但不象坦克那样注重对步兵进行火力支持的能力,而强调反坦克能力,因而在某些国家它又被称作“歼击坦克”,它与第二次世界大战期间的“强击炮”又有区别。“歼击坦克”火炮口径与坦克相近,装甲厚度和总重量一般比坦克大,炮塔多为固定式,比较笨重。80 年代,由于世界军事战略重点的转移,局部战争的不断发生,一些国家开始将 105mm 等坦克炮改造为反坦克炮。例如:意大利 105mm 轮式反坦克炮、联邦德国 105mm 高膛压低后坐力反坦克炮和 120mm 滑膛反坦克炮及奥地利 105mm 牵引式反坦克炮。独联体发展了专用的 125mm 反坦克炮。

二、发展特点

(1) 反坦克炮大都由坦克炮改制而成,反坦克炮和坦克炮身管结构基本相同,从内膛结构上也可划分为线膛炮和滑膛炮两大类。反坦克炮的发展速度比较缓慢,一个重要原因是反坦克导弹及坦克炮有了长足的发展;

(2) 反坦克炮在运动方式上有自行式和牵引式两种。自行式使用坦克、装甲输送车或自行炮专用的底盘,装有旋转或固定炮塔,根据行走方式又分为履带式和轮式两种。在牵引式反坦克炮中,有的配有辅助推进装置,以便于进入和撤出阵地。轮式自行反坦克炮大都装备低后坐力炮,便于空运,具有良好的机动性,如法国 70 年代推出的 GIATF2(梅卡)式 105mm 轮式自行反坦克炮,瑞士“鲨鱼”8×8 自行反坦克炮,美国 1985 年研制出的“突击队员”V-600 自行反坦克炮等;

(3) 反坦克炮使用的弹药大多数由同时代的坦克炮使用的弹药改装而成。如德国的 120mm 超低后坐力滑膛反坦克炮能够发射豹 2 坦克配用的弹药;

(4) 自行反坦克炮的综合性能远远逊色于坦克。自行反坦克炮外形颇像坦克,区别之处是装甲防护和火控/炮控系统不如主战坦克,通常采取停车射击。为了提高首发命中率和夜间战斗能力,现代反坦克炮配有激光测距仪、电子计算机和微光夜视或红外热成像仪,但综合战斗能力无法与现代主战坦克相比。由于它价位低,战术使用的特点与坦克不同,故仍有一定的发展空间。

三、发展趋势

未来战场范围的扩大以及主要坦克生产国家的军队人数与装备量的裁减趋势,要求发展更高质量的坦克及反坦克武器系统,以能够在更远距离上打击敌装甲目标。根据这种现实,世界各国都非常重视未来装甲与反装甲武器的发展,特别是一些发达国家表现得更为积极。为了适应未来战场对反坦克炮武器系统越来越高的要求,反坦克炮武器系统与其它类型的火炮系统一样,可能也需要在以下几个方面进一步得到发展:

(1) 提高精确打击能力和武器系统的整体作战效能;

(2) 提高机动快速作战能力和发射速度;

(3) 高度灵活与准确的射击指挥形成机电综合系统并向火炮的自动化、自主化与智能化方向发展;

- (4) 弹炮结合，可完成多功能作战任务；
- (5) 提高火炮射程的要求，可能促使非传统型反坦克炮的问世。

第三节 几个国家反坦克炮的结构性能

目前世界各国装备的反坦克炮主要有独联体的 85mm、100mm、125mm 和西方国家的 90mm、105mm 几种口径。独联体是装备反坦克炮最多的国家。东欧国家也普遍装备反坦克炮，美国及其它许多西方国家中，反坦克炮已从编制中撤消，换装为反坦克导弹。德国除了现装备 JPZ4-5 自行反坦克炮之外，还装备 120mm 自行反坦克炮。

一、前苏联生产的两种反坦克炮

1. 牵引式 100mm 滑膛反坦克炮

这种反坦克炮分为两种型式，一种是 T-12 型（2A19 式）100mm 反坦克炮，另一种是 MT-12 型（2A29 式）100mm 反坦克炮。T-12 型（2A19 式）100mm 反坦克炮 1959 年研制，1960 年开始装备部队，它采用带弹簧式半自动装置的立楔式炮闩，炮弹为定装式，炮架为 Д-48 式 85mm 反坦克炮使用的炮架，由 MT-11 制式牵引车牵引。

MT-12 型（2A29 式）100mm 反坦克炮系 T-12 的改进型。炮架为反坦克炮专用的两腿式炮架。齿弧式高低机和螺杆式方向机位于炮身左侧，拉式弹簧平衡机位于炮身右侧。该牵引式反坦克炮采用扭力杆式缓冲器和液力减振器，由 MT-11Б 制式牵引车牵引。

2. 2A-45M 式“章鱼”Б125mm 滑膛反坦克炮

该反坦克炮是前苏联于 80 年代末推出的，采用了 3 架腿式炮架。炮身是在 Д-81 式（Т-80 坦克的火炮）的基础上设计的，由身管、炮口制退器、炮尾和被筒组成，采用带机械式半自动装置的立楔式炮闩。炮弹为药筒分装式，驻退机为节制杆式，复进机为气压式。该反坦克炮配有由液压千斤顶和液压缸组成的机械系统，供行军和战斗状态转换时使用。行军状态转换为战斗状态需 1.5min，战斗状态转换为行军状态需 2min。“章鱼”反坦克炮由乌拉尔 4320 型卡车或 MT-11Б 履带车牵引。

此外，“章鱼”反坦克炮还有供自运用的辅助动力装置，自运时的土路最大速度为 10km/h，携带弹药量为 6 发，燃料的行程储备达 50km。直接瞄准射击时，使用 ОЛ4М-48А 昼间光学瞄准镜和带有 ЛП-1М 周视瞄准镜的 2У33 夜间瞄准镜。

二、比利时生产的两种反坦克炮

比利时的反坦克炮主要有两种，即“凯纳加”90mm 滑膛炮和 MK 系列 90mm 低膛压线膛炮。“凯纳加”90mm 滑膛炮 80 年代初开始研制，1985 年交付使用，可配装“蝎”式侦察车、“锯脂鲤”装甲输送车和“突击队员”V-150 装甲车等。“凯纳加”90mm 滑膛炮采用最新的弹道设计，可发射动能弹。身管用高强度真空除气合金钢制成，具有极佳的可延展性及 40℃时的抗断裂特性。炮身较短，有利于减小炮口下垂、身管颤动、身管翘曲。该炮有效射程为 2000m，全炮重 582kg，身管重 245.5kg，膛压为 280~290MPa，最大射速为 10 发/min。MK 系列 90mm 低膛压线膛炮 1974 年问世，先后生产了 MK1~7 等型号，供中、轻型装甲车辆使用。

三、法国生产的两种反坦克炮

GIAT105/57 式 105mm 自行线膛反坦克炮是 CN105F1 的改进型，专为出口研制。该炮采用横楔式炮闩，装有炮口制退器、反后坐装置、热护套，击发装置为机械式，全炮重 1210kg，后坐部分重 1065kg，身管长 4622mm，最大炮口初速 800m/s，膛压为 245MPa，后坐距离为 368mm，安装在 FL-12 轻型炮塔中，用 SK105 坦克歼击车作底盘。

GIAT F2（梅卡）式 105mm 轮式自行反坦克炮身管带浅膛线，装有双隔板炮口制退器及炮口校正装置，采用半自动立楔式炮闩和电击发装置，全炮重 720kg，后坐部分重 560kg，

身管长 5040mm，有效射程为 1650m，膛压为 210MPa，采用 AMX10RC 装甲侦察车底盘，方向射界为 360°，高低射界为 -8° ~ +20°。

四、瑞典生产的两种反坦克炮

KV90S73 式 90mm 自行低膛压线膛反坦克炮 1965 年开始研制，采用横楔式炮闩，驻退机和复进机安装在炮尾下方，装有热护套和抽气装置，未安装炮口制退器。击发装置为电动式，并备有手动击发机构。全炮重 692kg，身管重 330kg，炮身长 5080mm，身管长 4860mm。直射距离为 1500m，最大炮口初速为 940m/s，后坐距离为 400mm。火炮采用 Pbv302 装甲输送车底盘，可以水陆两用，方向射界为 360°，高低射界为 -10° ~ +20°。

IKV91-105 式 105mm 自行线膛反坦克炮是上一种的改进型，采用德国 Rh105~20LR 式低后坐力炮，同时装有综合式火控系统和先进夜视设备。该炮减小后坐冲量的主要措施是加装效率为 35% 的圆柱型多侧孔式的炮口制退器及加长后坐行程。火炮装有热护套和抽气装置。IKV91-105 式 105mm 线膛自行反坦克炮身管长 5355mm，最大炮口初速为 1465m/s，后坐距离为 540~580mm，后坐阻力为 196.13kN。火炮方向射界为 360°，高低射界为 -10° ~ +20°，射速为 6~8 发/min。

五、奥地利生产的两种反坦克炮

SK105 式 105mm 自行反坦克炮于 1965 年开始研制，采用法国 CN-105-57 式 105mm 线膛炮，身管长 4620mm，有效射程为 2700m，最大炮口初速为 800m/s，后坐距离为 500mm，后坐阻力为 160kN。采用“绍勒尔”4K 装甲输送车底盘，方向射界为 360°，高低射界为 -8° ~ +20°，射速为 6 发/min。

牵引式 ATGN 式 105mm 反坦克炮 1983 年开始研制，身管炮尾及反后坐装置均与英 L7 式相同。该炮安装在带开脚大架的单轴两轮炮架上，钢板焊接结构的箱形架腿装有固定驻锄。行军状态时，身管可回转 180°，折叠到架腿上方。身管长 5890mm，最大炮口初速为 1485m/s，后坐距离为 590~610mm，后坐阻力为 150~200kN。

六、我国生产的 PTZ89 式 120mm 自行反坦克炮

PTZ89 式 120mm 自行反坦克炮（简称 89 式 120 反坦克炮）装备于集团军、机械化师和预备炮兵，主要用于击毁敌坦克、装甲车辆和自行火炮，破坏敌野战工事和永备防御工事，压制或歼灭敌有生力量和火器，歼灭敌空降或登陆的装甲目标。该产品曾荣获国家科技进步一等奖，1999 年国庆 50 周年在天安门广场接受了党和国家领导人的检阅。

PTZ89 式 120mm 自行反坦克炮具有下列特点：

（1）威力大。能有效遏止敌方装甲部队的进攻，实施防御作战，封锁突破口，为陆军提供直接火力支援；

（2）机动性好。该炮能适时实施机动，迅速占领和撤出阵地。能进行环行射击。有良好的兵力机动性和火力机动性；

（3）射击精度高。该炮能对装甲目标给予精确打击。激光测距精度高。能自动装定距离和方向提前量；底盘重，地面附着力大，射击稳定性好。穿甲弹着发命中率对 2.3m×2.3m 固定正面坦克靶在 1500m 距离上为 70%，在 2000m 距离上为 50%，对 2.3m×2.3m 纵向运动坦克靶（时速 20~30km/h），在 1500m 距离上为 55%，对 2.3m×4.6m 横向运动坦克靶（时速 20~30km/h），在 2000m 距离上为 55%；

（4）发射速度快。半自动供弹机可以定点供弹，装填炮弹省力，提高了发射速度。

PTZ89 式 120mm 自行反坦克炮主要战术技术性能如表 3-3-1 所示，其大部组成如表 3-3-2 所示。

表 3-3-1 PTZ89 式 120mm 自行反坦克炮战术技术性能

诸元名称	初速(m/s)		直射距离 (最大弹道高为 2m) (m)		榴弹最大射程 (m)	穿甲弹发射速度 (用供弹机 6~8 发/min)				
	半钢套钨合金脱壳穿甲弹	榴弹	半钢套钨合金脱壳穿甲弹	榴弹	大于 10000	对运动目标射击时		应急射击时		
诸元值	1740	900	大于 2000	大于 1000		3 发/20s		5 发/20s		
诸元名称	威力		立靶密集度 (1000m 公算偏差 高低×方向)		榴弹地面密集度 (最大射程时)		弹重 (kg)		携弹量 (发)	
	半钢套钨合金脱壳穿甲弹	榴弹	半钢套钨合金脱壳穿甲弹	榴弹	距离散布	方向散布	半钢套钨合金脱壳穿甲弹	榴弹	半钢套钨合金脱壳穿甲弹	榴弹
诸元值	在 2000m 距离上可击穿 550mm 均质装甲钢板	大于 100 加榴炮的威力	0.28m×0.28m	0.30m×0.30m	$\frac{1}{150}$	10m	7.05	19.5	22	8
诸元名称	射界		火线高 (mm)	战斗全重 (t)	乘员 (人)	几何尺寸 (mm)				
	高低	方向				长	宽	高 (至炮塔顶)	履带中心距	车底最小离地高
诸元值	-5° ~ +18°	360°	1926	≈ 30	4	8600	3236	2420	2620	375
诸元名称	单位功率 (kw/t)	最大速度 (km/h)	最大行程 (km)	最大爬坡度 (°)	越壕宽 (m)	涉水深 (m)	行军战斗转换时间 (不含穿、脱炮衣和伪装网) (s)		激光测距机测距范围 (m)	
诸元值	不小于 12.72	55	450	31	2.6	1.3	15		250~5000	

表 3-3-2 PTZ89 式 120mm 自行反坦克炮武器系统大部组成

子系统	组 成
火力系统	火炮（炮身、炮闩、摇架、托架、反后坐装置、高低机、方向机、双向稳定器、供弹机）、机枪（12.7 高平两用机枪）、炮弹
火控系统	激光测距瞄准镜、中央主控箱（含弹道计算机）、目标水平角速度传感器、炮耳轴倾斜传感器、装填手弹种显示器、瞄准手微光瞄准镜、炮长昼夜观察镜及辅助器材
防护系统	炮塔、装甲车体、自动灭火抑爆装置
底盘 （运行系统）	车体、发动机装置、传动装置、行走部分、电器设备、液压系统、推土铲、微光驾驶仪、榴弹弹药架
通信设备	889D 型电台、单炮通话器

自动灭火抑爆装置由光学探测器（3 个）、控制盒、紧急开关、1301 灭火瓶（4 个）、电缆等组成，可完成两次抑爆或四次灭火。光学探测器是一个对火敏感的装置，在战斗操作时，3 个光学探测器从分布的位置上不间断地监视各角落内的火情，当发生火情时（或明火引爆油雾时），便将信息传到控制盒，控制盒中的晶体管自动控制线路将火警电信号自动转换为灯光指示信号和喇叭警报信号，并指令相应的部件启动和停止工作（如：启动熄火装置使发动机熄火，同时使风扇停止工作等）。同时打开相应的灭火瓶使之达到快速高效灭火。而当来自感受器的火警信号消失后，控制盒也能自动转换成各种相应的安全信号，同时自动启动风扇抽出车内的污染空气，保证乘员的安全和战斗力。紧急开关组件是一个涂有红色的手控开关盒，平时不准按动，只有当发生火情时，人工按动紧急开关，通过控制盒启动灭火瓶灭火。1301 灭火瓶是一种新型高效低毒灭火装置，内装 2.7kg 高压三氟一溴甲烷（简称 1301）和氮气。

为了减少身管热弯曲变形，PTZ89 式 120mm 自行反坦克炮安装了以合金铝薄板作导热材料、以空气层作隔热材料组成的复合型热护套，它有内、外两层合金铝薄板，内外层之间、内层与身管外表面之间衬有一条耐高温的硅橡胶垫环，形成两个隔热空气夹层。另外，在外层的外表面喷涂 T-411 反射太阳能的涂料，减少导热层吸收的太阳辐射热，增强其均热效果。依据身管外形尺寸的变化，身管热护套沿纵向分为若干段，各段热护套借助连接鼻及螺栓装在身管上，通过钢带拉紧固定。该复合型热护套具有较好的均热和隔热效能，其防护效率 E_1 和 E_2 分别达到 73.9% 和 79.6%。

为了减小火炮在崎岖不平的路面行进间、车体摇摆带来的对火炮瞄准的困难和提高火炮行进间射击的命中率，PTZ89 式 120mm 自行反坦克炮安装了双向稳定器。稳定器（Stabilizator）是一种使火炮的炮膛轴线或瞄准线不随车体摇摆及其行驶状态而改变的装置。在俯仰上，驱动和稳定的对象是火炮，在水平方向驱动和稳定的对象是炮塔。双向稳定器起下列作用：

- （1）在火炮行进间能自动地将火炮稳定在预先装定的对地的高低瞄准角和水平方位角上；
- （2）供瞄准手轻便灵活、精确均匀地操纵火炮修正瞄准点或改变瞄准点，以实施精确瞄准目标或迅速地转移火力；
- （3）供炮长以最大的调炮速度超越瞄准手操纵火炮高低和方向转动，为瞄准手指示目标。

第四章 牵引火炮

第一节 牵引火炮的定义及其主要特点

牵引炮（towed artillery）是行军时用机动车辆拖动或骡马挽曳的火炮。长度和质量受道路和桥梁的限制。牵引炮的运行部分一般应具有刹车装置。早期的牵引炮多用骡马挽曳。现代牵引炮一般用轮式或履带式车辆牵引，有架尾牵引和炮口牵引两种方式。为了提高阵地机动性，有些大口径牵引炮还加设了辅助推进装置。

牵引火炮作为炮兵装备的主要压制火炮，主要包括牵引榴弹炮、牵引加榴炮、牵引迫击炮和牵引高炮等，它是陆军地面战争中实施进攻或防御的火力支柱。牵引火炮由于数量极大、性能灵活可靠、经济有效，在历次战争中发挥过重大作用，因而获得了“战争之王”和“战争之神”的佳誉。近十几年来，随着新技术的应用，身管火炮发展相当迅速，性能和威力大幅度提高。因此，牵引火炮作为传统的身管火炮，仍将在未来战场上继续占有重要的地位。

从 1917 年法国军队首次使用自行火炮开始，在以后短短的几十年中，自行火炮的发展曾一度超过了牵引火炮。许多国家认为牵引火炮过时了，不再适合战场的需要，牵引火炮应由战术机动能力强、装甲防护性能好的自行火炮所替代。然而，在不断发生的局部战争中，人们认识到即便自行火炮具有牵引火炮所没有的众多特点，但现代战争仍然需要牵引火炮，牵引火炮不可能被自行火炮或其它现代武器所完全替代，牵引火炮将在世界各国长期存在和使用下去。这是因为牵引火炮自身具有一些自行火炮所没有的特点。

1. 自行火炮的研制、购买、使用和维修费用都比牵引火炮要高很多，成本也比同类牵引火炮高几倍。因此，自行火炮的装备数量在各国部队都受到限制，并且将原有自行火炮改进也是既费时又费资金。而牵引火炮不仅研制、生产、使用、维修费用低，而且容易改进，利于不断提高性能。

2. 自行火炮虽然战斗性能高于牵引火炮，但结构却比牵引火炮复杂得多，战场上一旦出现故障就不易修理，甚至会使火炮失去战斗力，牵引火炮则坚固耐用，故障率极小，维修也极为方便。还有，牵引火炮的服役期一般都比较长，也是自行火炮所不能及的，牵引火炮报废是由于其不能满足战术上对射程和弹道的要求，而自行火炮的运动部分总是先于火炮损坏，由于自行火炮的底盘和发动机一旦损坏且从经济意义上考虑不易修复时，往往就按报废处理。牵引火炮的另一个优点就在于容易提高性能，即当作战要求变换时，可以用性能更好的炮身取代旧炮身，而原有的炮架仍可作为新炮的载体。当然，自行火炮也可以更换炮身，但其车体部分对新炮身有许多限制。

3. 自行火炮通常具有全封闭的装甲炮塔，战场生存能力强，战术机动能力好。但是，由于自行火炮的重量大（如德国的 PHZ2000 式 155mm 自行榴弹炮的重量高达 60t），因此自行火炮的战役、战略机动能力差（长距离机动时须用专用的拖车运输），牵引火炮与自行火炮相比，重量轻，战役、战略机动能力强（可由直升机吊运或固定翼飞机空运），特别适宜于空降部队、海军陆战队等快速反应部队的战略机动。

由于牵引火炮结构简单，可靠性好，造价低，使用维护方便，作战费用低等特点，牵引火炮的发展倍受世界各国（尤其是发展中国家）的重视。

第二节 牵引火炮的发展简史及发展趋势

火炮的发展，可以说源远流长。早期火炮多用于攻守城堡与海防战斗，运动性差，靠人力进行移动。15 世纪最后几年出现了可运动的野战火炮，青铜铸造的火炮装在马拉的两轮车上。后来机动车辆出现了，除了铁道炮直接在铁轨上运动外，野战火炮在采用畜力拉曳的

同时,逐渐采用了机动车牵引。第二次世界大战以来,出现了带辅助推进装置的自运式牵引火炮,使火炮在短途内可以自行转移,提高了牵引火炮快速反应能力。

十九世纪之前,火炮炮架通常为刚性炮架。火炮十分笨重,发射速度也很低,火炮威力和机动性受到限制。十九世纪末,火炮上采用了反后坐装置(弹性缓冲装置),通过它将炮架与炮身连接起来,炮架受力大减,因而大幅度减轻了全炮质量,同时也提高了发射速度。这是火炮技术上的一次飞跃。

到20世纪初,牵引火炮有了重大发展。一般75mm野战火炮的射程为6500m,105mm榴弹炮射程为6000m,150mm榴弹炮射程为7000m,150mm加农炮射程为10000m。特别是在第一次世界大战中,许多国家竞相装备和使用榴弹炮。当时榴弹炮的身管长为15~22倍口径,最大射程达14200m。

20世纪30年代,火炮性能进一步得到改善。通过改进弹药、加长身管和采用开脚式大架等途径提高了火炮射程和机动性。比如,榴弹炮射程增大到15000m左右,150mm加农炮射程增大到20000~25000m。

为适应战术上的要求,有些国家研究加农炮和榴弹炮合一的加农榴弹炮。前苏联1937年就研制成了МП-20式152mm加农榴弹炮,身管长32.3倍口径,初速为655m/s,最大射程17230m。

40年代,各国火炮发展很快,新的火炮不断出现,火炮性能也有明显提高。比如,美国研制出了M101式105mm榴弹炮和M114式155mm榴弹炮、M8式75mm加农炮、M36式90mm加农炮。前苏联也研制出M1938式122mm榴弹炮等。在第二次世界大战期间,榴弹炮的身管长已达20~30倍口径,初速达635m/s,最大射程为18100m,最大射角为+65°。在此之前,加农炮口径在105~180mm之间,身管长为30~52倍口径,初速为880m/s,最大射程达30000m。

50年代,美国及其他西方各国为了适应核大战的需要,美国在火炮研究方面首先考虑加农炮发射核炮弹的问题,即一方面发展新型火炮,另一方面研究老炮配用核炮弹。1953年装备使用的T-131式280mm加农炮,既能发射普通榴弹,又可发射核炮弹,射程达30000m左右。前苏联在这段时期,先后研制和装备了1955式152mm加农榴弹炮、C-23式180mm加农炮、M46式130mm加农炮。其中,M46式加农炮最为著名,被认为是一种设计合理、结构紧凑、性能可靠的野战火炮,射程可达27000m。

在此期间,前苏联及西方国家对牵引式榴弹炮也进行了改进和发展,普遍采用可360°回转的射击座盘,配用炮口制退器和增加弹种,比如美国的M102式105mm榴弹炮、法国的50式155mm榴弹炮、意大利的M56式105mm榴弹炮、苏联的D-20式152mm加农榴弹炮。

60年代,美国等西方国家在既打核大战又打常规战的战略思想指导下,加强了地面压制火炮,尤其是155mm火炮的发展,在北约组织1963年规定155mm为师级火炮的标准口径之后更为明显。在此期间,美国特别强调减轻火炮重量,以便提高战略机动性。

牵引火炮发展中的重大变化表现在近30年来研制和装备的多种新式155mm火炮,并在这段时间里出现了四个发展高潮:第一个是在70年代末和80年代初期研制成功并装备的39倍口径155mm火炮,如美国的M198式155mm火炮和瑞典的FH77B式155mm火炮;第二个是在80年代初期和中期研制并装备的45倍口径155mm火炮,如比利时的GC45式155mm火炮;第三个是在80年代后期根据北约新的“四国弹道协议”开始研制的52倍口径155mm火炮;第四个在80年代末开始研制的轻型155mm火炮。这四类155mm火炮的出现是牵引火炮发展的主要标志。

自90年代起,世界战略格局发生了巨大变化,中低强度的局部战争成为现代战争的主要模式,各国为了维护自己的利益,纷纷组建以空运为战略机动方式的快速部队,这样的部

队需要比 105mm 火炮性能更好并且能够空运的火炮，因而以美国为首的西方国家提出发展轻型 155mm 牵引火炮。其中，最具代表性的是“超轻型野战榴弹炮”(UFH)和“轻型牵引榴弹炮”(LTH)。UFH 大量采用了新型和轻型材料，基本构件都用钛合金制成，而且每个部件都有两个以上功能，因此大大减轻了火炮重量，该炮采用 39 倍口径身管，全重只有 3679 公斤。LTH 大量采用复合材料，有些部件也是用钛合金制成，该炮还采用了模块式结构，可根据用户的不同要求进行改装，能安装不同长度的身管。这两种火炮既能用运输机空运，又能用直升机吊运。

火炮战斗全重减轻后，带来了射击稳定性问题。LTH155 采用了曲线后坐新原理，解决射击稳定性问题。UFH155 采取常规的降低火线高的方法增加射击稳定性。

我国在 20 世纪 90 年代加强对轻型牵引 155mm 榴弹炮的研究，先后研制出基于炮架综合技术、二维后坐技术的轻型牵引 155mm 榴弹炮。

加农榴弹炮由于具有提高火炮通用性、一炮多用、可减少火炮品种型号等优点，使加农炮的发展受到影响。因此，西方国家没有专门研究新的加农炮，而是更加注重加农榴弹炮的发展。

加农榴弹炮是一种兼有加农炮和榴弹炮弹道特性的火炮。用大号发射装药和小射角射击时，弹道低伸，可执行加农炮的射击任务；用小号发射装药和大射角射击时，弹道较弯曲，可执行榴弹炮的射击任务。因此，20 世纪 60 年代以来，许多国家新发展的榴弹炮，特别是 155mm 榴弹炮，身管长均已由 24 倍口径增加到 39 和 45 倍口径，甚至达 52 倍口径，从而提高了火炮初速，增大了射程和射击范围，使榴弹炮兼有加农炮的性能。这样，加农炮和榴弹炮的界线已不明显，两者趋于一致。表 3-4-1 为国内外主要牵引式榴弹炮（加榴炮）性能对比表。

随着现代技术的进步和现代战争的发展，火炮正经历着革命性的变化。这必然会促进榴弹炮、加农炮和加农榴弹炮的迅速发展。从目前来看，其发展趋势主要表现在以下几个方面。

1. 增大射程

为了适应未来战场纵深攻击的需要，各国都在致力于进一步提高火炮的射程，这也是近年来新研制火炮的一个最突出的特点。

增大射程的主要技术措施：

一是加长身管。新研制的 155mm 火炮身管长已由 39 倍口径加大到 45 倍口径，最大射程由 24000m 增加到 30000m（榴弹）和 39000m（底部排气弹）。近年火炮身管又有向 45 倍以上口径增长的趋势。

二是改进弹药。除了继续发展高效能发射药（包括单元模块发射药）、增加发射药量、改进弹体结构和外形或采用底部排气技术外，今后可能在弹上采用冲压发动机，增大助推力。美国在 203mm 榴弹上加装冲压发动机，射程可达 70000m。再有就是采用液体发射药取代固体发射药，以增加火炮射程。

2. 提高反应能力

为提高火炮的反应能力，主要是提高火炮自动化程度，即在火炮上采用自动定位定向、自动计算射击诸元、自动装填炮弹等，以适应现代战场的需要。

3. 提高机动性

提高火炮机动性至关重要，主要措施：一是在牵引火炮上配装体积小、功率大的辅助推进装置，使火炮能迅速进入和撤出阵地；二是在火炮上更多地采用铝、钛等轻合金和复合材料，或者采用新结构、新原理以减轻火炮重量，便于空运和直升机吊运。

4. 提高炮弹杀伤力

提高杀伤力，除了弹丸多装炸药，装填高能炸药，发展预制破片弹、子母弹和子母雷弹外，今后主要是向末制导炮弹和末敏弹方向发展。特别是末敏弹的应用，将使榴弹炮和加农

表 3-4-1 国内外牵引式榴弹炮（加榴炮）主要性能对比表

国 别	美国	原苏联	中国	美国	英、意、 联邦德国	瑞典	法国	比利时	南非
型 号	M102	D30	1966 式	M198	FH70	FH77A	TRF1	GC45	G5
口 径(mm)	105	122	152	155	155	155	155	155	155
身管长(口径倍数)	31.8	32.7	27.9	40	39	38	40	45	45
初 速(m/s)	494	690	655	826	827	774	830	897	897
最大膛压(MPa)		250.0	230.5	325.5	340.0	350.0	265	343.0	350.0
榴弹弹丸质量(kg)	15	21.76	43.56	46.5	43.5	43	43.25	45.5	45.5
最大射程 (m)	11500	15300	17230	22600	24000	21700	24000		
	15100			30000	30000	30000	30000		
								39000	37500
								30000	30000
射 速					3/18	3/18	3/18		
		6~8	6~8	4	6		6	4	3
				2	2	6	2	2	2
射 界	高	-5°~75°	-5°~65°	-5°~70°	-5.5°~70°	-3°~50°	-5°~66°	-5°~69°	-3°~75°
	低								
	方 向	360°	左 30° 右 28°	360°	±27.5°	±30°	左 25° 右 38°	±40°	±32.5°
身 管 寿 命(发)	5000			1750	2500	4000		2500	
行军战斗转换时间(min)	2~4	1.5~2.5	2.5	4	1.5~2	2	5		2
全炮质量(kg)	1496	3200	5720	7059	9300	11450	10300	8222	
炮班组成(人)	8	7	9	11	8	6	8	8	5
装 备 时 间	1965 年	1960 年	1966 年	1979 年	1978 年	1978 年	1984 年		1980 年
装 备 级 别	空降师、空中突击师	师、团	师、团	军、师			步兵师		

炮既能有效地杀伤面目标和软目标，又能有效地毁伤点目标和硬目标。

5. 采用新技术

由于高科技的发展，火炮技术也有了新的飞跃，产生了液体发射药技术、电磁推进技术、机器人和人工智能技术等。新技术将在火炮上得到应用和发展。

展望未来，榴弹炮和加农炮以及加农榴弹炮必将以更大的威力、更好的机动性和更强的生存力出现在战场上。

第三节 典型牵引火炮简介

一、1966 式 152mm 加榴炮

(一) 概述

152mm 加榴炮是一种大口径压制火炮，主要用于压制敌人炮兵，摧毁远距离目标，反击坦克和歼灭敌人活动目标。

该炮根据前苏联 D-20 式 152mm 加农榴弹炮仿制而成，于 1966 年生产定型，其炮架与 1960 年式 122mm 加农炮炮架完全相同。为扩大火炮使用范围，提高火炮战术技术性能，后来又对火炮进行了改进，最大仰角由 45° 改为 65°，反后坐装置、高低机、平衡机等重要部件也进行了较大变动。改进型火炮 1986 年通过国家靶场鉴定，并生产出样炮。

该炮具有较大的初速，射程较远，弹丸威力大，射击精度好，是一种较为轻便的牵引式大口径野战火炮（见图 3-4-1）。



图 3-4-1 1966 式 152mm 加榴炮

(二) 性能、结构特点

152mm 加榴炮（原苏联 D-20）与 122mm 加农炮（原苏联 D-74）为通用炮架火炮。两种炮的弹道性能不同（见表 3-4-2），在结构上除炮身，制退机和瞄准装置有所不同而外，其它完全相同，炮架通用。

表 3-4-2 通用炮架火炮弹道性能比较

诸 元	152mm 加榴炮	122mm 加农炮
口 径(mm)	152.4	121.92
初 速(m/s)	655	885
弹丸质量(kg)	43.56	27.3
最大膛压(MPa)	235	315
最大射程(m)	17200	24000
全炮质量(kg)	5620	5720

从表 3-4-2 中可见, 152mm 加榴炮弹丸重, 初速低, 射程较近; 122mm 加农炮弹丸轻, 初速大, 射程较远。两种炮的性能各有特色。但二者炮口动能基本一致, 后坐部分动能也较为接近。因此, 只是对制退机节制杆, 制退杆加以变换, 两种不同弹道性能的火炮便可通用同一种炮架。通用炮架火炮, 简化了生产线, 降低了产品造价, 也显著的提高了武器装备的费效比。

炮身为单筒结构。由身管, 炮尾和炮口制退器组成, 身管后端用螺纹直接与炮尾连接, 这种连接方式, 有利于减小炮尾横向结构尺寸。炮闩为半自动立楔式炮闩。发射速度可达 6~8 发/min。152mm 加榴炮采用 50% 高效率双室冲击式炮口制退器。

制退机为带沟槽式复进节制器的节制杆式液压制退机。复进机为液体气压式。

摇架为筒形摇架, 由前、后两段焊接而成。齿弧固定在后本体的下方。

上架为长立轴式, 并带有缓冲器。对于大威力火炮, 为使方向瞄准轻便, 发射前, 上、下架之间通过缓冲器保持一定间隙。射击时缓冲器被压缩, 上、下架接触, 以保证较大的承力面积。

下架本体为一钢铸件。本体前方用钢板焊成曲臂座, 使下架成一丁字形。下架曲臂座上有扭转杆孔及支承座盘耳轴, 分别安装扭力缓冲轴及支承座板。

方向机为螺杆式, 并带有缓冲器, 用于缓冲因瞄准突然停止或射击时产生的冲击, 防止造成方向机零件的损坏。

高低机为齿弧齿轮式, 并带有缓冲器, 对于大威力火炮, 为缓冲因射击或突然停止瞄准时所产生的高低机零件间的撞击, 通常配有缓冲器。缓冲器也可起到防止蜗杆转动及手轮错位的作用。

平衡机为液体气压式, 并有调整装置, 该平衡机补偿弹簧在大射角起作用。当射角从 35°~45° 时, 从气压推力中减去弹簧力, 使平衡机推力减少。调整器通过调整平衡机的容积和力臂来补偿温度影响。

炮架带有液压起重机的支承座盘, 用于在射击时代替车轮作为火炮的前支点, 以增大战斗状态火炮质心到前支点的距离, 提高火炮的复进稳定性。座盘支承射击时, 车轮抬起, 火线高降低, 座盘刚度比轮胎大得多, 也提高了火炮后坐稳定性, 有利于提高射击精度。

大口径火炮抬架力和复进稳定性问题都比较突出。如果无支承座盘, 若将车轮靠近火炮质心位置, 抬架力可减小, 但对复进稳定性不利, 而将车轮远离火炮, 质心前移, 对复进稳定有利, 但抬架力会增大。有了支承座盘, 火炮行军战斗转换的开架与火炮射击, 便可分别以座盘和车轮支承, 从而使火炮抬架力与复进稳定性都有所改善。

该炮配用杀伤爆破榴弹等。炮弹为药筒分装式, 装药有全变装药和减变装药两种。

二、前苏联 D-30 式 122mm 榴弹炮

(一) 概述

D-30 式 122mm 牵引榴弹炮是原苏联 1960 年装备部队的, 主要配备在摩步师和空降师。该炮除原华约国家军队装备外, 在中东及北非国家也有装备。我国也能生产该炮。

该炮设计合理、体积较小、结构紧凑, 具有良好的战术技术性能; 能环形射击, 便于伪装和隐蔽, 还能实施机降和伞降。在原苏联的空降兵中也有装备。

(二) 性能、结构特点

该炮主要特点在于采用 3 条大架结构, 可在一定射角下进行 360° 环射, 除此之外, 为提高射击稳定性, 采取了一系列措施降低火线高。结构具有明显的特色。

采用单筒身管, 炮身长 4875mm, 带有冲击式多气室炮口制退器, 效率较高, 为 54%。在炮口制退器下方安装有牵引环。炮闩为立楔式半自动炮闩, 闩室导弹槽上装有挡弹板。

制退机和液体气压式复进机并列置于身管上方, 位于倒扣式槽形摇架之内。采取这种结构及布置的目的是降低火线高。同时也有利于保护反后坐装置免受弹片破坏。

高低机为单侧齿弧式，位于炮身左侧；平衡机只有一个气压式，位于炮身右侧，其下支点在车轮轴的曲臂上，用于平衡两个炮车轮重，减小行军战斗转换时的车轮翻转起落力。方向机在大方向调转时可解脱，用人工推转火炮回转。



图 3-4-2 前苏联 D-30 式 122mm 榴弹炮

该炮运动体的车轮轴装在上架上，上架由下架支撑可作水平旋转。火炮运动体由轮轴、扭力杆式缓冲器组成。下架的中心孔有千斤顶，在行军战斗转换时，用于起落火炮。千斤顶由旋转底盘、螺杆、齿轮和两个折叠手柄构成。大架为 3 脚式，行军时合并在一起。

采用 3 个大架和座盘，能赋予火炮圆周射界。战斗时 3 个大架之间成 120° ，保持射击稳定性。

采用千斤顶，可升降火炮。射击时，轮式运动体在大架上方；瞄准时，轮式运动体与火炮起落部分一起转动，可降低火线高，有利于对坦克进行直瞄射击。

炮身可回转 180° ，行军时炮身与大架在同一方向，缩短了行军长度。该炮可空运。

火炮有两种瞄准装置：一是带周视瞄准镜的瞄准具，用于从遮蔽发射阵地射击；二是直接瞄准镜，用于直接瞄准射击。

火炮配备杀伤爆破榴弹、尾翼稳定破甲弹、旋转稳定破甲弹、照明弹。

三、美国 M198 式 155mm 榴弹炮

（一）概述

为了能与华约国部队的第二梯队作战，取代当时已沿用 20 多年的 M114A1 式 155mm 榴弹炮，美陆军提出发展可用 CH-47 直升机吊运、具有战略机动性的新型 155mm 榴弹炮，并要求其发射火箭增程弹的射程应能达到 30000m。

1968 年 9 月开始研制，1969 年制造出一门发展型样炮，称为 XM198 式。1970 年 4 月进行样炮的系统鉴定，同年 10 月完成设计工作。1972 年 4~5 月交付了 10 门样炮，1972 年 10 月至 1975 年初进行可靠性试验。试验期间针对炮尾发生炸裂问题改进了发射装药结构，并将原来的楔式炮门改为螺式炮门。1975 年 2 月到 1976 年 10 月制造出 4~9 号改进型样炮，进行第二阶段研制与使用试验。1976 年 12 月正式定型为 M198 式 155mm 榴弹炮。1979 年 4 月该炮开始正式装备步兵师、空降师、空中机动师和海军陆战队。

（二）性能、结构特点

该炮采用传统结构，由 M199 式炮身、M45 式反后坐装置、瞄准装置和 M39 式炮架四大部分组成。由于大量采用轻金属，上架、



图 3-4-3 美国 M198 式 155mm 榴弹炮

大架和座盘都用铝合金制造，使全炮重量减轻。它比性能相同的 FH70 式同口径炮轻 1t 多。

火炮采用 M199 式炮身。身管自紧镀铬，当量全装药寿命为 1750 发。采用双室炮口制退器，效率为 17%。螺式炮闩装有 M53 式击发机构和制式紧塞垫及紧塞环。炮尾装有一个用 3 种颜色表示炮管受热情况的警报器，炮手可根据颜色情况调节发射速度，避免身管过热。当身管温度超过 350℃时，发出警报，此时应立即停止射击。

行军时，炮身需向后回转 180°，固定在大架上，以缩短行军长度。

M45 式反后坐装置由两个制退机和一个复进机组成，为液体气压式，可变后坐长。复进筒固定在后炮箍上，位于身管上方，由浮动活塞、节制杆、调节器组成。两个制退筒也固定在后炮箍上，分别位于身管两侧。

M39 式炮架用铝合金和 A710 高强度钢制成。铝合金焊接上架，用螺栓固定在下架上部的环形轴承上。大架为铝合金焊接的箱形结构。牵引环装在左大架上，两个驻锄可以拆卸，平时分别安装在两个大架侧面。下架下方有圆形铝合金座盘，射击时用球形座连接在下架下面，行军时可卸下固定在大架上。

下架前方装有手动液压泵，射击时通过液压泵抬起炮车，使炮车轮离地 180mm，火炮坐落在座盘上。

方向机和高低机安装在上架，齿弧均是密闭式的。两个平衡机为气压式。

瞄准装置包括 M137 式周视瞄准镜，M138 式肘形瞄准镜和 M17、M18 式高低象限仪。为了便于夜间作战使用，所有瞄准装置中的数字刻度，均用氚光源照明。

M198 榴弹炮可发射 M107 式榴弹、M795 式新式榴弹、M549A1 式火箭增程弹、M449 式杀伤子母弹、M483A1 式反装甲杀伤子母弹、M864 式底部排气子母弹、M712 式铜斑蛇激光制导炮弹、M692 / M731 式反步兵布雷弹、M718 / M741 式反坦克布雷弹、M454 式核炮弹、M825 式黄磷发烟弹、M110 系列黄磷发烟弹、M116 系列发烟弹、M485 系列照明弹、M118 系列照明弹、M110 式芥子化学弹、M121 式 VX 和沙林弹、M631 式催泪弹和 M687 式二元化学弹。

第四篇 舰炮、航炮、特种炮和新概念火炮

第一章 舰炮

第一节 概述

舰炮是装备在舰艇上用于射击水面、空中和岸上目标的海军炮，是舰艇的必备武器之一。舰炮按口径区分，有大、中、小口径舰炮；按炮管数区分，有单管、双管和多管联装舰炮；按防护结构区分，有炮塔舰炮、护板舰炮和敞开式舰炮；按自动化程度区分，有全自动舰炮、半自动舰炮和非自动舰炮；按射击对象区分，有平射舰炮和平高两用舰炮。

舰炮是海军最古老的传统型舰载武器，作为中小口径舰炮主要用于对空、对海射击的高平两射。作为大口径舰炮，主要用来攻击敌方的战列舰、巡洋舰和岸炮部队。随着飞机用于海战，舰船上又开始装备高射炮。俄军在 1915 年装备的 76mm 高射炮，就是当时一种较先进的舰用高射炮。

第一次世界大战后，各国海军装备的舰炮口径较大，最大达 460 mm，射程达 20~45km。这一时期，舰炮主要向提高大、中口径炮管的使用寿命、射速和威力发展，研制中口径高平两用炮和小口径舰用高射炮。

第二次世界大战期间，各种舰艇都广泛装备不同口径系列的火炮。例如，当时美国海军“依华”号战列舰，装有 407mm 大口径舰炮 9 门，中口径 127mm 舰炮 20 门，小口径舰炮数十门。其它一些国家主要舰艇上也大量装备各种口径的舰炮。舰艇作战任务，除一部分由鱼雷负担外，主要是由舰炮来完成，舰面空间大部分为火炮所占据，舰炮成为舰艇的主要作战武器。

二次世界大战后，由于航空技术和舰载飞机的发展，舰炮地位有所下降。20 世纪 60 年代，又由于导弹技术的发展和舰载导弹大量装备，使舰炮的地位进一步下降，在一些西方国家，一度以舰载导弹全面取代了舰炮。舰炮的发展与装备处于低谷之中。

然而，由于舰炮的强大穿甲和爆破能力，在登陆前的火力准备过程中，舰炮的作用还是很重要的。海湾战争中，美国海军两艘战列舰各装有 9 门 406mm 的舰炮，射程达 40 多千米，能穿透 9m 厚的混凝土工事。另外，导弹能够打击数十、数百千米以外的舰船等目标，特别是迅速发展和大量使用的巡航导弹，要求舰炮反导系统能够满足对付近距离海上和空中多种目标的需要。近年来发展的速射炮，其反应时间只有 3~10s，多管射速高达 6000~9000 发/min，可在目标正面形成一道弹幕和火墙，在射程 2.5km 和 1km 时，其命中精度可分别达 70%和 90%，能够弥补导弹武器的不足，成为舰艇最后一道反导的屏障，特别与近程反导导弹相结合，效果更佳。加之近程舰炮，使现代舰炮的作用和地位得到了复苏。

20 世纪 80 年代以来，新型舰艇的武器配备呈现出多元化的特点。除导弹外，通常配有自动化程度较高的中口径舰炮，以及数套小口径舰炮反导系统。此外还配备了先进的指挥控制系统。轻型、自动化、高射速以及增大威力和射程是舰炮的发展方向。

作为海军战斗舰艇主炮系统的大中口径舰炮，其首要作战任务是：海上水面火力支援、对岸轰击。具体包括：压制敌海岸防御阵地；摧毁敌海港舰群、军事通信与电子侦察设施；对两栖登陆及机动突防提供火力支援。要求大中口径舰炮具有超视距、多模式、多目标、大纵深精确打击的能力，多弹药选择能力以及全天候快速反应和自身防护的能力。

美国海军正计划发展 155mm 的“先进舰炮系统”，射程达 185km，射速为 12 发/min；法国也准备研制新型 155mm 舰炮，最大射程为 34km 以攻击装甲车辆，或最大射程为 65~80km 以打击内陆高价值点目标；意大利正研制 127mm/54 轻型舰炮，射速达 35 发/min，射程为

70~100km, 还计划研制一种制导炮弹, 射程达 120km 以上。

经过半个多世纪的发展, 中国海军所装备的各种舰载火炮和从前相比, 无论是在性能还是威力方面都有了很大改进。尤其是近十多年来, 我国积极发展舰载火炮技术, 坚持走自行研制的道路, 开发了许多新型舰载火炮。当前我国海军装备的多种型号的火炮都已经接近或达到了世界先进水平。我国先后装备部队的舰炮主要有: 61 式 25mm 双管舰炮, 69 式 30mm 双管舰炮, 61 式 37mm 双管舰炮, 76 式 37mm 双管舰炮, 76A 式 37mm 双管舰炮, 76F 式 37mm 双管舰炮, 66 式 57mm 双管舰炮, 76 式 57mm 双管舰炮, 79 式 100mm 双管舰炮, 新型 100mm 双管舰炮, 76 式 130mm 双管舰炮等。

第二节 舰炮武器系统的特点

舰炮具有一般火炮的共性, 但其特定的工作环境也使现代舰炮武器系统具有下述几方面的特点:

(1) 供弹与装填系统自动化程度较高

由于舰船上相对有足够的能源、较大的空间和承载能力, 因此, 舰炮的弹药储备量大, 供弹与装填过程基本都可实现自动化。小口径舰炮一般多为弹链供弹方式。用于反导系统的小口径舰炮, 由于弹药消耗量增多, 供弹方式多为长弹链式, 并在火炮起落部分或迴转部分上配有容量较大的弹仓。

(2) 持续射击时间长, 抗腐蚀, 抗腐蚀, 自然平衡, 高平两用

舰炮炮管通常有较完备的炮管冷却系统, 用以在火炮快速、连续射击过程中, 不致使炮管过热。

舰炮上设有炮膛排空器, 其工作原理和作用与坦克炮的抽气装置相同。

舰炮的起落部分质心在耳轴部位, 对耳轴保持自然平衡。由于舰炮是配置于起落摇摆的舰船上, 随机因素很多, 不适于采用平衡机。为保持自然平衡, 通常在舰炮摇架后加有配重。

舰炮回转部分承载的负荷较大。在托架上部是火炮主要部件, 而在托架下部, 通常配置有随回转部分一齐转动的弹仓。

舰炮的后坐行程一般较短。在舰炮上为了使炮塔结构紧凑, 获得较高的发射速度, 多采用短后坐式制退机, 虽然炮架受力会有所增加, 但对于庞大的船体是可以承受的。

(3) 舰炮火控系统完备, 对电磁环境兼容能力强

目前在舰艇上, 各种口径系列的舰炮火力系统都配备有较完善的火控系统, 绝大部分舰炮都实现了瞄准、装填、射击指挥自动化。而火控系统具有多种配置和工作方式, 如雷达、激光、红外和电视跟踪等。

舰炮火控系统在性能上, 不仅可全天候工作, 而且一般都具有对多种目标实施自动瞄准与跟踪射击的能力。

对于近程舰炮反导系统, 火控系统与火力系统的一体化更使舰炮系统具有较高的快速反应能力。

第三节 典型舰炮简介

一、OT0 紧凑型 127mm 舰炮

从 20 世纪 60 年代开始, 意大利奥托·梅莱拉公司对中口径舰炮开展了预研工作, 到 20 世纪 60 年代中期, 完成了多个中口径舰炮的预研工作。其中, 包括 OT0 紧凑型 127mm 舰炮原理样机。从 1966 年 3 月开始, 在该原理样机的基础上, 对 OT0 紧凑型 127mm 舰炮提出了设计和生产要求, 此后, 奥托·梅莱拉公司根据所提要求对紧凑样机开始了实用研制工作。到 1969 年 5 月, 该型样炮研制完成。1971 年 2 月, 进行了陆上射击试验, 1971 年 12 月,

在意大利海军驱逐舰上进行了海上试验。1972 年，OTO 紧凑型 127mm 舰炮（如图 4-1-1）正式在意大利海军舰艇上服役。



图 4-1-1 OTO 紧凑型 127mm 舰炮

目前，OTO 紧凑型 127mm 舰炮已被 8 个国家的海军舰艇列装，它们是：阿根廷“布朗海军上将”级驱逐舰，加拿大“易洛魁人”级驱逐舰，意大利“阿尼莫索”级驱逐舰、“大胆”级驱逐舰、“西北风”级护卫舰和“狼”级护卫舰，日本“宙斯盾”级驱逐舰，尼日利亚“阿拉杜”级护卫舰，委内瑞拉“马里斯卡尔·苏克雷”级护卫舰。

1. 技术特点

结构紧凑便于安装，便于维护保养；发射速度不低于 45 发/min，并能调节到最低 10 发/min；炮弹鼓储弹量大，可在无需重新补弹的情况下连续发射；能自动选择不同弹种；可靠性高、可维修性好；炮塔能防气浪、防水和防核辐射。

2. 结构特点

① OTO 紧凑型 127mm 舰炮炮身身管带有冷却水套，靠淡水冷却。身管上还装有一套吹气装置用于吹净炮管内火药燃烧后的残渣。炮口处装有炮口制退器。炮闩为立楔式炮闩，后坐部分通过液压式后坐制退器和气体复进机与摇架相联。

② 供弹系统由下扬弹机、上扬弹机、3 个供弹鼓、转弹机、摆弹臂、输弹器组成。两个下扬弹机安装在转运间和弹药库之间，供弹时由 4~8 名装弹手分别从两个下扬弹机的补弹口向下扬弹机补弹，分装式的弹丸和药筒从下补弹口通过提升筒上扬被合二为一，合装后的炮弹作为一个整体通过供弹盘装入到弹鼓中，3 个弹鼓能装满 66 发弹，弹种可在装入弹鼓之前选择确定。上扬弹机将下进弹口对准相应的弹鼓，弹鼓中的炮弹通过上扬弹机垂直提升至炮塔内的出弹口，再由转弹机交替向左、右两个摆弹臂转交，摆弹臂在向俯仰部分摆弹的过程中完成引信测合。当一个摆弹臂将炮弹摆到俯仰部分时，另一个正好从转弹机上接过炮弹。俯仰部分上的弹托也交替地从摆弹臂上接过炮弹后向内翻弹，使炮弹与炮膛在同一轴线上，最后由输弹器输弹上膛。整个供弹过程可在不需人工装填的情况下将 3 种类型的全部 66 发炮弹自动连续供给火炮发射。

③ 随动系统由可控硅控制。高低驱动电机由 3 个型号相同的直流电机并联而成，它们使用一个减速箱。方向驱动由两组共 8 个型号相同的直流电机并联而成，使用两个减速箱。

④ 炮架采用铝合金材料，炮塔由玻璃钢制成，重量轻，具有三防性能。

⑤ 舰炮遥控台和主配电箱安装在甲板下的舱室里。遥控台由炮长操纵，负责火炮电源动力和液压机组的启动、炮管冷却系统操作、炮塔内通风、除冰装置开关以及供弹、退弹、射击等操作。主配电箱负责将舰上电站的电力向火炮、液压机组和遥控台进行分配和控制。此外，该炮还有障碍曲线避让装置、危险射界限自动装置和反向回转装置以及误差角自动停射装置。

3. 战术技术指标

OTO 紧凑型 127mm 舰炮主要战术技术指标如表 4-1-1 所示。

表 4-1-1 OTO 紧凑型 127mm 舰炮主要战术技术指标

诸元名称	口径	身管长	初速 (m/s)	发射速度 (发/min)	瞄准速度 (° /s)		瞄准加速度 (° /s ²)	
					方向	高低	方向	高低
诸元值	127	54 倍口径	808	45	40	30	45	40
诸元名称	高低射界	方向射界	炮重 (不带弹药) (t)	炮弹重 (kg)	最大射程 (km)	最大射高 (km)	弹箱贮量 (发)	人员 (人)
诸元值	-15° ~ +83°	330°	37.5	31.7	16	11.9	69	5

二、法国 100mm 紧凑型舰炮

法国 70 年代中期在原有 100mm 舰炮基础上改进和发展的舰炮，1984 年完成研制工作，用于攻击海上目标和防空，也可反导弹和执行对岸轰击任务。

采用活动身管炮身，被筒套在身管后部，炮闩为立楔式炮闩。初速 870m/s，身管长 5500mm，射速 10~90 发/min，对海上目标的最大射程 17500m，有效射程 12000m；对空目标的最大射程 8000m，有效射程 6000m；炮重 17000kg。具有结构紧凑、重量轻、射速高、反应时间短等优点。

三、美国 MK45 型 127mm 舰炮

美国 FMC 公司北方军械部于 1964 年在 MK42 型 127mm 舰炮的基础上开始改进研制 MK45 型 127mm 舰炮。当时，研制该型舰炮的出发点是扬长避短。虽然舰炮在射程和命中精度等方面已明显不及导弹，但是较大口径的舰炮在两栖登陆战中，是较有效的对岸火力支援武器，它具有长时间连续射击、投弹量大等优点，能有力地炮轰岸防的固定面目标。因此，考虑到 MK42 型舰炮存在重量笨重、自动化程度低、可靠性尚不高等缺点，不能满足新的作战需求，在设计 MK45 型时，重点是减轻重量、提高可靠性、易于维修、减少操作人员。研制成功的 MK45 型舰炮重量仅有 22.5t，操作人员减少到 6 人，机械结构也有所简化，提高了可靠性，更便于维修。但发射速度则降低到 20 发/min。

MK45 型 127mm 舰炮（如图 4-1-2）已成为美国海军大、中型水面舰艇上的重要装备。在服役期间，MK45 型 127mm 舰炮经历了多次技术改进，发展有 MK45-0、MK45-1、MK45-2 型多种型号。

为增强舰船炮火支援能力，最新改进的型号是 Mk45-4 型。主要改进项目包括：炮管长度从 54 倍口径增至 62 倍口径；采用三基亚硝酸胺高级固体发射药；采用新型炮管降磨损部件；研究新型炮尾、炮尾运行机构及新型空弹壳盘；摇架的改进，如炮管外套加固、后坐长度增加等；炮耳应力集中处加固或换用新材料。

同时，新型弹药及应用技术使 MK45 型 127mm 舰炮作战性能进一步提高。正在开发的新型弹药有：低成本竞争型弹药（LCCM）、BestBuy 弹药、Scramshell 高性能炮弹、增程制导炮弹（ERGM）、Mk172 新型子母炮弹及其高能发射装药。应用技术有：新型高能材料、末段

寻的技术、信号处理与计算机技术等。



图 4-1-2 MK45 型 127mm 舰炮

目前，MK45 型 127mm 舰炮除了装备于美国海军“提康德罗加”、“弗吉尼亚”、“加利福尼亚”级巡洋舰，“阿里·伯克”、“斯普鲁恩斯”、“基德”级驱逐舰、“搭拉瓦”级两栖攻击舰外。还包括澳大利亚海军“ANZAC”级护卫舰（MK45-2）、巴西海军“Porto Esperanca”级巡逻艇（MK45-1）、希腊海军“MEKO 200HN”级护卫舰（MK45-2）、新西兰海军“ANZAC”级护卫舰（MK45-2）。

MK45-1 型 127mm 舰炮战术技术指标如表 4-1-2 所示。

表 4-1-2 MK45-1 型 127mm 舰炮战术技术指标

诸元名称	口径	身管长	初速 (m/s)	发射速度 (发/min)	瞄准速度 (° /s)		
					方向	高低	
诸元值	127	54 倍口径	807	16~20	30	20	
诸元名称	高低角	方向角	炮重（不包括下扬弹机） (t)	炮弹重 (kg)	射程 (km)	射高 (km)	人员 (人)
诸元值	-15° ~+65°	±170°	22	31.75	23	15	6

四、俄罗斯 AK130 双管 130mm 舰炮

130mm 口径舰炮一直是前苏联大中型水面舰艇上的主要装备，先后共发展了三代产品。第三代产品 AK130 双管 130mm 舰炮（如图 4-1-3 所示）于 1980 年开始装备部队，主要作为驱逐舰与巡洋舰等现代大中型水面舰艇的主炮，是俄罗斯海军目前最先进的现代化舰炮。该炮身管长度为 70 倍口径，因此具有较高的初速（950m/s）和较大的炮口动能。射速高（2×40

发/min)。射程远（最大射程是 29 500m），比意大利 OT0127mm 舰炮和美国 MK45-127mm 舰炮的射程约远 6000m，特别有利于对岸作战。其高低角、方向角分别为 $-15^{\circ} \sim +85^{\circ}$ 和 360° 。AK-130 双管 130mm 舰炮配有“鸢鸣”雷达火控系统，炮塔内还配有光电控制系统，作为主控方式的备用与应急系统。一般情况下，一套火控系统可以控制 2 座 AK-130 型双管 130mm 炮。一旦需要进行分火射击，其中一座舰炮仍由主控系统管理外，另一座舰炮则由本炮塔内的光电系统予以控制。在应急情况下或主控系统不能正常工作时，也可使用塔内光电系统进行控制。另外，AK-130 双管 130mm 舰炮采用炮管外部水冷却系统，更有利于提高舰炮的持续射击能力和延长身管的使用寿命。

虽然 AK-130 双管 130mm 舰炮采用的是双管结构，但其炮重只有 35t，同比意大利 OT0127mm 单管舰炮，重量轻 2t 多。



图 4-1-3 AK130 双管 130mm 舰炮

五、美国 Mk75 型单管 76mm 舰炮

Mk75 型单管 76mm 舰炮（身管长为 62 倍口径）是 1976 年开始生产的。装备于美国的小型作战舰艇，如护卫舰、导弹水翼艇等；日本的“黑米”级训练支援舰；台湾的海军作战舰艇，如“康定”级护卫舰、租用美国的“诺克斯”级驱逐舰等。

1. 技术特点

① 自动化程度较高，炮上无人操作，实行遥控，由供弹到发射、退壳全部自动化运作，操作人员仅有 4 人。

② 反应迅速、火力强、使用灵活。发射率可调，能实施变速射击对付不同目标。最大发射速度为 85 发/min。高低角、方向角分别为 $-15^{\circ} \sim +87^{\circ}$ 和 360° ，高低瞄准速度、方向瞄准速度分别为 $35^{\circ}/s$ 和 $60^{\circ}/s$ 。最大射程、最大射高分别为 19 200m 和 11 900m。

③ 射击精度高。静态误差小于 $7'$ ，跟踪误差 2mrad，空回 $2'$ 。

④ 结构设计合理、紧凑，重量轻，占用空间小，带有炮塔，具有三防能力。

2. 结构特点

① 身管由内管、外管构成，外管套在内管后部，内外管间有冷却水，炮闩为楔形炮闩，装有炮口制退器。摇架为铝合金框架结构，配装有装填装置。反后坐部分包括液压制退机和气体复进机。

炮架由滚珠基座、旋回平台和托架组成，滚珠基座是由两个铝座圈组成，其中滚珠基座、旋回平台和托架都是铝合金，托架用于支撑炮耳轴。炮塔采用增强玻璃、玻璃纤维聚树脂制成的，具有较好水密性和高弹度。

② 供弹系统包括旋转弹鼓，螺旋扬弹机、摆弹臂、装弹装置及液压动力装置。旋转弹鼓是个环绕火炮中心轴的环状弹鼓，内装两排炮弹（共 70 发），它由液压装置驱动其旋转，自动将炮弹供给螺旋扬弹机。摇弹臂也有两个，交替上下摇动，将扬弹机内的炮弹送给装弹

装置。装弹装置有 6 个弹槽，当炮弹送至槽内时再转交给装填槽后卷入炮膛内。

③ 随动系统由同步机、放大器、功率控制组件和执行电机等组成。同步机为读数自整角机，它来自火控系统的信号传输给控制放大器，信号经放大后，向功率控制器提供精确控制信号，再由控制器通过执行电机，控制火炮运动。Mk75 型单管 76mm 舰炮的障碍消除装置用来在旋转范围遇到障碍物时，射击自动中断。

六、“迈达斯”近程武器系统

“迈达斯”(MADAS)近程武器系统是德国为增强导弹快艇的防空反导能力而研制的。采用了弹炮合一的配置方式，在近程不同距离上能有效拦截不同类型的各种目标。火炮武器采用的是“毛瑟”公司研制的四管 27mm 炮，其射击循环采用气动转膛炮机理，无需另设驱动电机之类设备。开火后，即能达到 7200 发/min 的最高射速。初速为 1150m/s。高低角、方向角分别为 $-15^{\circ} \sim +80^{\circ}$ 和 360° 。方向、高低最大瞄准速度为 3.05rad/s，最大瞄准加速度为 6.11rad/s²。备用弹数/寿命为 1440 发。另外，该炮的炮尾结构简单紧凑，供弹系统不穿透甲板，由配备在火炮装置上的 4 个弹药箱分别供弹，因此可大大减轻整个系统重量，火炮重（不带弹药）4000kg。

“迈达斯”(MADAS)近程武器系统能与多种火控系统对接，适装性好。德国海军已计划将“毛瑟”4 管 27mm 火炮或系统改装到现役 143/148 型导弹快艇、扫雷艇和许多辅助舰船上。此外，“迈达斯”(MADAS)系统还准备装备在德国海军新造的其他中、小型军舰上。

第四节 舰炮发展若干趋势

作为在海战中的起主导作用的支援武器及对舰攻击和远距离防空武器，舰炮将让位于各种舰载导弹，但在对岸火力支援、近程防空反导作战中，仍具有相当大的优势和潜力，对于小型战舰以及近距离作战，它仍是重要武器。更重要的是，随着新技术的不断应用，传统的舰炮从结构、材料到弹药都将发生显著的变化。

21 世纪初期，舰炮的发展趋势主要是为满足变化了的新的战术使命，进一步提高射程、精度和反应能力，从总体结构上实现隐身轻型化，具备快速跟踪能力；具有可靠的弹药选择、输送与发射能力；具有发射穿透硬目标能力；具备能精确制导增程弹、近炸高杀伤破片弹和带有数十个子弹药的灵巧弹药的能力，并在改进传统技术的同时开发新技术。

(1) 提高舰炮的有效射程

从舰炮本身来看，以增加身管口径倍数来提高有效射程是可行的。如美国海军 MK45-1 型的口径倍数已提高到 62 倍，其标准榴弹的最大射程可达 30km。从弹药来看，行之有效的增程措施是大力改进弹药结构。美国海军采取最佳空气动力特性重新设计的 127mm 半主动激光制导炮弹和采用火箭助推技术运送 56 枚 M46 子弹药的自动寻的炮弹，射程都可达到 55.6km。从新发射原理和发射能源来看，美国海军正研制液体发射药和电热发射等先进技术，使 127mm 舰炮的射程可能突破 100km，203mm 舰炮射程达到 185.3km。

(2) 具有最佳突击射速和持续射速

舰炮发射速度是一个非常重要的战术技术指标。在一定的时间内，如舰炮射弹过少难以形成火力密度，而射弹过多又会造成不必要的弹药消耗。因此，要确定最佳突击射速范围。持续射击主要是对宽正面陆岸固定目标和纵深活动目标攻击的一种技术使用，为保持较长的持续作战时间，也必须保持最佳的持续射速。未来的舰炮将从战术和总体化结构上来分别确定最佳突击射速和持续射速这两种指标。

(3) 一炮多用

大、中口径舰炮的战术使用范围决定其应该具有一炮多用、一弹多用的能力。未来大、中口径舰炮所使用的弹药，除常规的高爆榴弹外，还将备有新型高能杀伤破片弹、半主动激

光制导弹、火箭助推自寻的弹（带子弹药），以及起干扰作用的照明弹、箔条弹、烟幕弹等。因此，未来舰炮必须具有自动选择弹种和自动测合引信的能力。为此，舰炮基座以下部分，即转运间中储存的不同弹药的自动化弹鼓必须进行合理配置，应急弹鼓能够根据目标信息，使弹药转换和引信装定都是在高度自动化状态下进行的程序化操作。

（4）开发新的弹药

开发新的弹药是增强舰炮作战威力的重要途径之一。由于飞机和导弹的威胁与抗毁能力的增大，对舰炮炮弹的毁伤能力将提出更高的要求。舰炮的不同战术使用，需要不同的炮弹。因此，超压高能炮弹、高破片合金钢弹、近炸引信的预制破片弹、复合穿甲弹、多用途弹、生物弹、化学弹等多种不同的炮弹都应运而生，并将用于海上实战之中。特别是红外、激光、毫米波制导炮弹的应用，将使舰炮的射击精度大大提高。

（5）增加 GPS/INS 制导系统

在作战中，全球卫星定位系统/惯性导航系统（GPS/INS）在炮弹发射领域存在许多突出的特性。依靠 GPS 系统来校准和制导。当发射后，GPS 系统感应器迅速接收至少 4 颗卫星信息来确定增程制导炮弹的位置和速度。INS 系统通过接受弹体感应器提供的角速度和加速度来帮助 GPS 系统感应器完成这个程序。一旦建立了 GPS 定位系统的识别物和运行轨迹，INS 惯性制导系统就能够通过航行数据与 GPS 定位系统感应器对比校准。

第二章 航炮

第一节 航空自动武器发展概况

一、二次世界大战以前

1903 年 12 月 17 日, 美国莱特兄弟把靠动力飞行的飞机送上天后, 很快飞机便被用于战争。1911 年在墨西哥革命战争中, 革命军的一架寇蒂斯式飞机与政府军的一架侦察机在空中遭遇, 驾驶员用手枪互相射击, 开创了人类历史上的首次空战, 手枪便成为最早用于航空射击武器。后来, 人们又将陆军用的步枪和机枪搬上飞机, 以提高空中射击的威力。1912 年 6 月 7 日, 美国飞行员昌德勒上尉在著名的机械设计师路易斯少校的帮助下, 把路易斯机枪安装在飞机上, 这种机枪就成为世界上最早的航空自动武器。

第一次世界大战期间所用的航空自动武器, 都是由地面用的机枪改装到飞机上去的。当时的飞机都采用螺旋桨发动机。装在飞机头部的机枪所射出的子弹必须通过螺旋桨旋转面, 子弹如击中螺旋桨的叶片是非常危险的。为了解决这一问题, 设计了协调装置, 使机枪的射击受螺旋桨的控制, 以便使每发子弹都正好从转动的螺旋桨的叶面之间射出, 提高了从飞机上射击的安全性。

航空自动武器作为一种专用武器是在第一次世界大战后才普遍发展起来的。随着航空技术的发展, 军用飞机的速度逐渐提高, 飞机的结构也不断加强, 用步兵自动武器改装成的航空机枪已不能满足空战的要求。为了提高对高速飞机的命中率, 要求增大武器的射速; 为了提高对装甲飞机的击毁率, 要求增大武器的口径。前苏联在三十年代初设计出了 7.62mm 口径的 LLKAC 高射速航空自动机枪, 其射速达 1800 发/min。1936 年前苏联又在此基础上设计了口径 20mm 的 LLIBAK 航空机炮 (简称航炮); 前苏联在四十年代初还研制了口径为 23mm 的 BR-23 航炮以及口径为 37mm 的 HC-37 航炮。。与此同时美国、英国和德国也都相继研制了各种类型的航空机枪和航炮, 装备本国的空军。

二、第二次世界大战至 20 世纪 50 年代

第二次世界大战期间, 战争的急需加速了航空自动武器的更新。武器性能的改善仍集中在提高射速与加大口径方面, 此外, 伴随着口径的加大迫切需要降低武器体积和质量。1945 年, 前苏联以 HC-23 航炮代替了 BR-23 航炮。在口径相同, 初速和射速相当的情况下, 航炮质量有 66kg 减低为 36.6kg; 战争末期, 前苏联还研制了口径 20mm 的 B-20 航炮, 起初速和射速指标和 20mm 的 LLIBAK 航炮基本相同, 质量却减轻了进一半。美国和英国在战争期间也都相继使用了大口径的航空自动武器, 如美国使用了 37mm 口径的 M-4 航炮, 英国使用了口径 20mm 的依斯班诺航炮与口径 40mm 的维克斯航炮。德国着重发展了 20~30mm 口径的航炮, 如 MG-151、MK-108 及 MK-103 航炮等。

第二次世界大战以后的十多年, 航空自动武器的发展仍很快, 由于喷气式飞机的出现, 要求武器的射速大幅度提高, 以增加对高速机动飞机的命中率。早在 40 年代初期, 各国就已开始致力于提高航空射度的研制工作, 如德国于第二次世界大战末期所研制的 MG-213 型转膛炮就取得了很大的进展。战后, 美、英、法瑞士等国分别获得了 MG-213 型航炮的技术资料。在此基础上, 这些国家于 50 年代初期相继研制成功类似的转膛炮, 其中较为突出的是美国的 M39 型 (口径 20mm)、英国的“阿顿”型和法国的“德法”型 (口径皆为 30mm) 单管转膛炮。法国的“德法”型转膛炮经过不断的改进、发展了多种型号, 至今仍装备与各种飞机上被广泛地应用着。美国从 1946 年开始致力于多管旋转式航炮的研制工作, 它利用早期的“格林”式步兵机枪射击原理, 使航炮的射速成倍的提高, 航炮的威力显著增加。经过十年的研制, 口径 20mm 的 M61 型六管旋转式航炮于 1965 年问世。此后美国以它为制式航炮, 普遍装备于各种飞机上。美国并在此基础上, 发展了多管旋转式武器的系列产品, 除

用作各种口径的航空自动武器外，还广泛的用于陆军和海军的各种武器装备中。

在为提高航空自动武器的射速而不断探索各种新原理的同时，前苏联则致力于从旧式原理航炮中挖掘提高射速的潜力，并收到了较好的效果。40 年代末期，前苏联研制出 HP-23 航炮，其射速相当于口径 23mm 的 HC-23 航炮的一倍半。50 年代，前苏联又先后研制出两种新航炮，一种是口径 23mm 的 AM-23 型航炮，一种是口径 30mm 的 HP-30 型航炮。AM-23 型航炮把口径 23mm 武器的射速从 HP-23 型航炮的水平上又提高了一半，达到 1200 发/min 以上；HP-30 型航炮则把口径 30mm 的武器射速提高到了口径 23mm（HP-23）航炮的水平，即 850 发/min 以上。

三、20 世纪 60 年代以后

50 年代末，随着导弹技术的发展和运用，西方国家过高的估计了导弹的作用，一度曾出现“空中格斗过时”论、“航空自动武器无用论”的论点。航空自动武器曾面临被淘汰的危险，因此航空自动武器的研制也一度停止，装备在一些战斗机上的航炮被取消。

60 年代几次局部战争的经验证明：空空导弹固然是一种先进的武器，但它远不是尽善尽美的，其成功率还很低。进距离格斗仍不可避免，而航空自动武器则是有效的近战武器。许多战例说明，装备航炮的飞机与带导弹的敌机进行格斗，双方都曾取得胜利。这样，空战中格斗的战术又受到重视，航空自动武器和近距离导弹都得到了发展。美国在原来没有航炮的 F-4E 和 F-111A 等新式战斗机上又重新加装了航炮，新型航空自动武器的研制也再度加强了。航空自动武器这一发展过程中的变化，从飞机装备航空自动武器的情况可以得到反映。

70 年代中，西方航空自动武器主要仍以发展单管转膛和多管旋转原理为主。根据现代战争所提出的控制对地面直接支援的战术，把打击敌方坦克也列为战斗机的一项重要任务。中东战争证明口径 30mm 的航炮是主要的反坦克武器之一。因此 70 年代以来发展的新航炮，基于反坦克的要求都注意适当的选择口径和提高初速的指标。同时，致力于研究新弹种以加强反坦克的效果。典型的代表是美国为 A-10 攻击机研制的一种新型口径的 30mm 的 GAU-8/A 型七管旋转式航炮，射速可达 2100~4200 发/min，初速 1021m/s，有效射程 1220m，配有硬合金穿甲弹和贫铀弹丸，从而提高了穿甲的能力，能有效地摧毁坦克。该炮已于 1977 年装备部队。与此同时瑞士也研制出了口径 30mm 的 KCA 型单管转膛航炮，其特点除保持射速较高（1350 发/min）以外，初速比已有的单管转膛航炮也提高很多（1030m/s），加上弹丸质量大，对装甲目标的破坏力较强。西德于 80 年代初也开始装备一种口径 27mm 的毛瑟型单管转膛航炮，它与 KCA 型航炮有相似的特点。

前苏联于 60 年代末研制出了一种新型航炮即口径 23mm 的 FLLI-23 型。它所采用的新原理创造了提高武器射速的另一途径。该炮在前苏联的新式飞机上得到了广泛的应用。值得提出的是，在多管旋转式航炮问世约 20 年后，前苏联也于 70 年代中期研制了多管旋转式航空自动武器——口径 23mm 和 30mm 的多管旋转式航炮，装备了各种新式战斗机，多管旋转式航炮除初速指标较低外，其他指标与美国同类产品相当，上述事实说明外能源驱动的多管旋转式航空自动武器基于它独特的优点，具有强大的生命力。

在 70 年代，前苏联为了适应以新一代战斗机的作战需要，研制了 30mm 口径的单管 ГШ301 航炮、双管联动 ГШ30 航炮、六管内能源转管 ГШ630 航炮等，其中 ГШ301 创造了现役各种小口径自动炮单管射速最高的纪录，达到了 1500~1800 发/min，装备在苏-27、苏-30 等战斗机上。

20 世纪 70 年代以后，武装直升机在现代战争中有着越来越重要的作用，武装直升机专用航炮成为航炮发展的一个重要方向。美国配装在 AH-64 “阿帕奇”型直升机上的 M230A1 就要一种典型的武装直升机专用航炮。

我国的航空工业是由仿制开始的，从 50 年代末期已逐步向自行设计过渡，现在已能研制各种先进性能的战斗机。与此相适应，我国的航空自动武器工业也已从仿制阶段过度到自

行设计阶段，它随着兵器工业的发展水平逐步提高。60 年代以来我国从改进仿纸产品、测绘研制国外引进的武器，至自行研制符合我国装备需要的各种航空自动武器开展了很多的工作，已先后研制出口径 30mm 单管转膛 30-2 航炮、23mm 六管转管 623 型航炮、23mm 双管联动 23-3 型航炮，30mm 的 30-4 航炮等，它们的性能先进，有些已配置在我国自行设计的战斗机上，装备了部队。

四、航空自动武器进期的发展及其在现代战争中的地位

近代的各种局部战争说明，武装直升机已成为现代战争中不可缺少的武器装备，特别是由于它在反坦克作战方面的显著效果，受到世界许多国家的重视并得以迅速发展。武装直升机由于作战任务的复杂性，要携带多种不同类型的武器，航空自动武器无论是对于战场近距离空中支援或反坦克作战乃至反直升机作战都是不可缺少的。而且根据不同的攻击对象从航空机枪到口径 30mm 的航炮都有可能被选用。但武装直升机用的航空自动武器由于载机和作战对象的特点需要具备一些新的性能，如武器的后坐力应很小，大口径的航炮也不能超过 10kN；射速不要过高，最好分高低两挡可调，以便根据不同目标而选择不同射速，随着武装直升机的发展，出现了专门为武装直升机研制的航空自动武器，如美国的多管式旋转航空机枪以及口径 20mm 的三管 M197 型航炮；特别是 70 年代初期，美国休斯公司为其 AH-64 式武装直升机专门研制的口径 30mm 的 XM-230 型链式炮，创造了一种新的自动机工作原理，为外能源式武器开辟了一个新的途径。前苏联在武装直升机用航空自动武器反面也有一些新的发展，如研制出来口径 12.7mm 的自身能源式四管机枪。装备于米-24 式武装直升机上。

现代战争的复杂性要求军用飞机向多用途的方向发展，因此，飞机应具有多种武器的装备方案以满足不同作战任务的要求。近年来航空自动武器在飞机上的安装普遍采用吊装方式，吊舱内装有包含弹药、供排弹装置及操纵装置等完整的武器射击系统，可外挂于飞机的挂架上，它不但节省了飞机内部发空间，便于使用维护且便于武器的更换，满足飞机多用途的作战要求。典型的航空自动武器吊舱有：美国的 SUU11B/A 机枪吊舱，装有 M134 型口径 7.62mm 六管旋转机枪一挺；GPU-5/A 型口径 20mm 轻型航炮吊舱，装有 M197 型口径 20mm 三管旋转式航炮一门（见图 4-2-1）；SUU-16/A 及 SUU-23/A 航炮吊舱，各装备有 M61A1 型六管旋转式航炮一门；GEPOD30 型航炮吊舱，装有“德法”型口径 30mm 单管转膛航炮一门。前苏联的 YIIK-23-250 型航炮吊舱，FIII-23 型双管航炮一门。

航空自动武器的发展，特别是高射速的多管旋转式航空自动武器的出现，要求供排弹系统高速可靠地进弹及排壳，这导致长期以来一直使用的弹链供弹方式的更新。无弹链供弹系统研制出来后逐渐得到广泛的应用，且多配在各种外能源式的航空自动武器上。这种供弹方式对于航空自动武器的吊舱也是比较适用的。

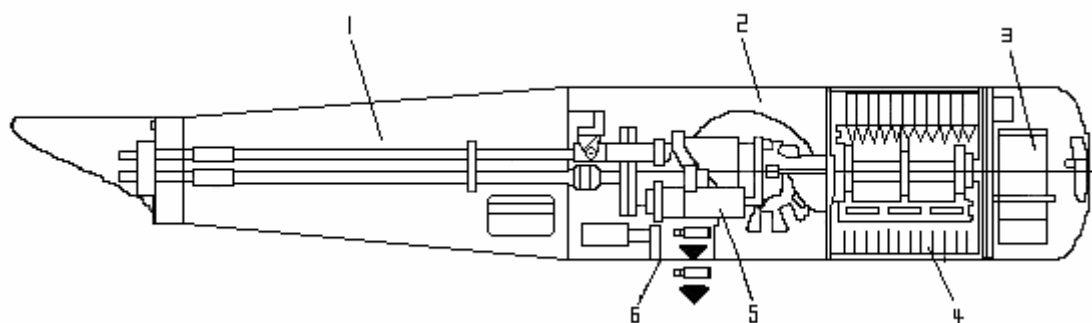


图 4-2-1 航炮吊舱

1-M197 型 20mm 航炮；2-输弹导引；3-电池组；4-无链自动供弹系统；5-马达；6-抛壳口

航空自动武器具有很多其它武器所无法替代的优点。如近距离命中目标的准确性高、工

作可靠、不受外界干扰；造价便宜且可多次使用；既可对空也可对地射击，使用灵活；对其它设备的依赖性小等。在目前，航空自动武器仍然是空战中主要的格斗武器。同时在对坦克作战中也已成为不可缺少的手段。预见未来，航空自动武器不可能被其它武器（包括正在积极发展中的格斗导弹和反坦克导弹）所取代，这是由于导弹造价昂贵、易受干扰，不能多次使用和不具备多用途等缺点。但是导弹射程远、威力大、可自动跟踪目标及后坐力小等优点，却可弥补航空自动武器的不足。因此两者只能混合装备，互相取长补短以适应不同作战对象和战术的要求。

航空自动武器的发展方向除在已有原理的基础上继续挖掘潜力和努力改善各项性能外，还要不断创新的工作原理，以便大幅度提高其战术技术指标，如射速、初速、后坐力及工作可靠性等。与此同时，不断研制新的弹药不但可以提高单项威力指标，也有助于改善整个武器系统的某些性能，如减轻质量、提高寿命等。

第二节 航空自动武器的分类

航空自动武器是在地面自动武器的基础上发展起来的。多个半世纪以来，世界上出现了150多种型号的航空自动武器。许多新的自动工作原理都首先出现在航空自动武器上，有些后来则以其特有的优点和先进的性能逐步推广到其他自动武器上。航空自动武器的发展丰富了自动武器的品种和类别；某些地面自动武器的原理（如机枪后坐式）因不适应航空自动武器的性能要求，则未（极少）用在航空自动武器上。所以航空自动武器的分类有别于整个自动武器的分类。

对航空自动武器进行分类的目的是科学地分析和综合地研究武器自动机构的特点，比较其优劣，以便设计选型。从发展航空自动武器的设计理论和方法出发，对它们进行科学的分类也便于航空自动武器的计算机辅助设计。航空自动武器目前存在着多种自动工作原理和多种结构形式的互相结合。用一种方法很难把各种航空自动武器的特征明确地表示出来，所以应分别着眼于其原理和结构特点，提出多种分类方法。

一、按口径分类

随着航空自动武器的发展，口径从小到大，出现过从7.62mm至57mm之间的多种口径，同陆用自动武器所用的口径很多都相同。陆用自动武器按口径的大小划分为枪和炮，航空自动武器沿袭这种分类方法，也按口径大小分为航空机枪和航空机炮（简称航炮），而且同样以20mm为界。口径小于20mm的航空自动武器称为航空机枪；口径等于和大于20mm的航空自动武器称为航炮。航空自动武器的发展初期，装备航空机枪的较多，随着飞机性能的提高，为改善武器的杀伤效率，飞机逐渐只装备口径适中的航炮了。目前除武装直升机还装备一些航空机枪外，其他都装备航炮。尚存的航空机枪也多为大口径（通常为12.7mm）的。

二、按自动工作利用能量的方式分类

自动武器的自动工作都是利用某种能量驱动自动机构来完成的，航空自动武器也不例外。根据自动工作能量来源及能量的利用方式对自动武器进行分类是传统的、基本的方法。现对尚在使用的航空自动武器按上述方法进行以下的分类：

1. 管退式航空自动武器

这种武器的自动工作原理是：武器在射击后，身管及其相连接的闭锁本体零件（航炮称为炮管匣）等，在开锁以前，利用膛内的火药其他压力作用在弹壳底部的冲量后坐。同时，管制退复进机构缓冲；后坐一定行程后，又靠制退复进机构在身管后坐过程中储存能量驱动它复进。就在身管后坐及复进运动中，带动其他机构完成一系列自动工作。

按照自动武器的传统分类法，还根据身管行程相对纵向运动的闭锁机（机心组）行程大小，在分为身管长后坐（行程）与身管短后坐（行程）式武器。前者指身管行程与闭锁机行程相等，且在身管复进时开锁的武器。这类武器射速受其原理的限制（身管行程长，自动工

作循环时间长)不能提高,满足不了现代空战的要求,故目前的航空自动武器已很少采用这种形式。但因它构造比较简单,后坐力小,对于射速要求不高而后坐力要求很小的武器,例如武装直升机用的航炮还是可以利用的。身管长后坐式武器结构原理见图 4-2-2。

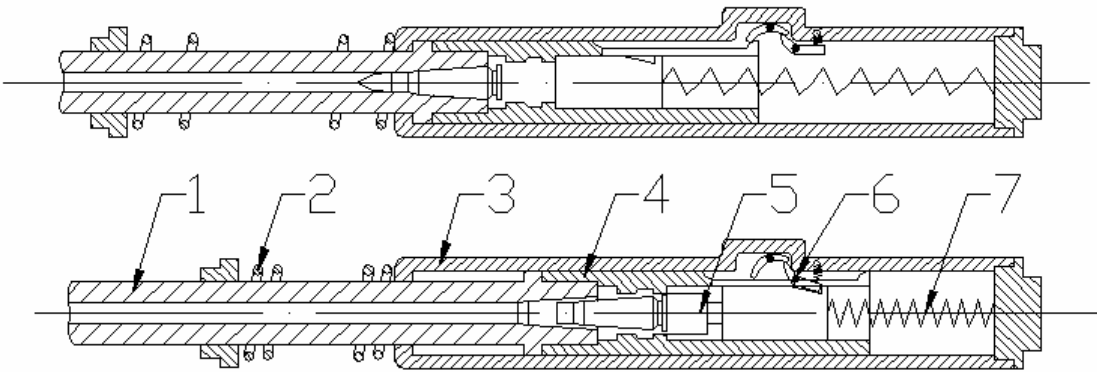


图 4-2-2 身管长后坐式武器（航炮）原理图

1-身管（炮管）；2-炮管簧；3-炮箱；4-炮管尾；5-机心组；6—自动扣机；7—机心复进

身管短后坐的原理对于闭锁机纵向运动的武器，身管的行程就比闭锁机的行程小，一般靠后退加速机构使闭锁机加速后退完成开锁、抽壳工作（图 4-2-3）。

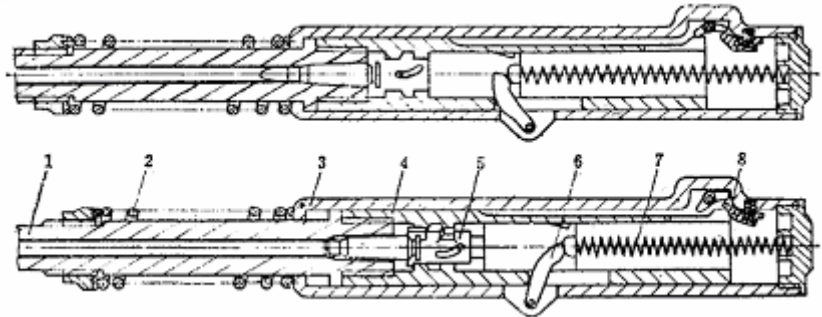


图 4-2-3 身管短后坐式武器（航炮）原理图

1-身管（炮管）；2-炮管簧；3-炮箱；4-炮管匣；5-机心组；6-加速臂；7-复进簧；8-自动扣机。

身管短后坐式武器的射速虽比身管长后坐式武器易得到提高,但是由于基本运动构件仍是身管等一组质量较大的部件,欲进一步提高射速仍受到限制,所以现代航炮已较少应用这种原理。

身管短后坐武器比身管长后坐式武器的后坐力大。因管退式航空自动武器的后坐力受制于制退复进机构（行程），即与武器的射速相关,故很难独立调节。在解决高射速航空自动武器的连发后坐力问题上,管退式原理的航炮有难以克服的矛盾。

2. 导气式航空自动武器

这是在自动武器中应用最为普遍的一种原理,从步兵自动武器到小口径高炮、舰炮以至航炮上都大量可见。

导气式武器的工作原理是:从身管壁上的导气孔导出火药气体到导气装置中,通过活塞推动自动机构进行工作。对于闭锁机纵向(或横向)运动式的结构,一般有一个基本构件(传动滑板或传动框)与活塞相连,通过它再带动其他构件工作(图 4-2-4),也有活塞直接推动闭锁机构工作的。

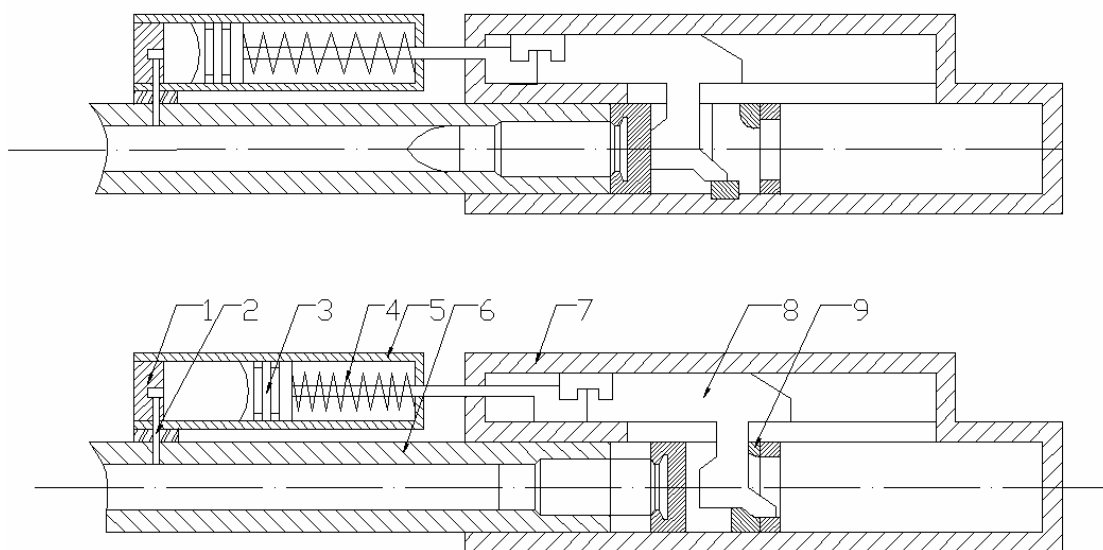


图 4-2-4 导气式武器原理图

1-气量调节器；2-气孔；3-活塞；4-复进簧；5-气筒；6-身管；7-炮箱；8-滑板；9-机心锁

导气式原理之所以应用较广，除武器构造比较简单外，还由于其活动构件质量可以较小，且能通过调整导气孔的大小来改变火药气体作用在活动件上的冲量，从而调节射速。对于射速要求较高的航空自动武器在结构上也比较易实现。另外，从身管中导出火药气体驱动武器自动机构工作，方法灵活、简便，也便于采用新式自动工作原理。

导气式自动武器的缺点是：机件易被火药气体熏脏，给武器维护带来不便，另外，武器装机必须有缓冲装置，以便降低武器的后坐力。

3. 外能源式航空自动武器

航空自动武器的发展要求大幅度提高射速，并根本改善工作可靠性。利用武器发射中产生的火药气体作为自动工作的能源满足不了这样的要求，因此外能源式航空自动武器就应运而生。这是一种完全不同于传统自动武器的工作原理，它以一般机械常用的动力，如电机或液压马达甚至气动马达来驱动武器的机构进行自动工作。因此也称这类武器为机械式武器。

机械式武器的突出优点是工作可靠。由于是靠外部能源进行自动工作的，与火药气体无关，首先它消除了传统式武器由于“瞎火”弹而引起停射的故障；其次，这类武器各机件的运动完全处于强制状态，不利用任何惯性运动，可保证自动机构有完善的协调性，所以工作十分可靠。另外，由于武器用外部能源驱动，也便于调节射速。最后，武器不导出火药气体进行自动工作，维护擦洗时省去了很多麻烦。

机械式武器必须有稳定的外部能源和相应的传动装置，这相对于传统式武器来说是复杂了，也可看成是其缺点。特别对于装在飞机上的武器；外部能源只能来源于飞机，这就意味着在武器发射时，要占用飞机上的部分功率。此外，武器若按正常发火时间设计开锁时机，一旦炮弹迟发火，就会发生事故。为此，武器必须有相应的安全措施。

三、按自动工作主要特征分类

航空自动武器发展到今天，种类繁多，新原理层出不穷，仅靠自动武器传统的分类法已很难表明某些新型武器的特征。现提供一种按武器自动工作的主要特征分类的方法，以弥补传统的，按能量利用方式分类法的不足。

1. 滑动机心式航空自动武器

这类武器的自动工作以闭锁机的主要构件——机心的纵向或横向滑动为主要特征。较老

式的航空自动武器都采用这种自动工作方式，尤以机心的纵向滑动居多。图 4-2-2 至图 4-2-4 所示的管退式及导气式武器都属于这类。这类武器结构一般较为简单，特别是纵向滑动机心集闭锁、击发、抽壳、推弹工作于一身，零件小，工作可靠。对于采用导气式原理的这类武器，上述这些优点更为突出。但是，这类武器射速的提高受到零件运动速度的限制。

2. 转膛式航空自动武器

这类武器自动工作的特征是：具有一个与身管分离的、由多个弹膛构成的、作旋转运动的转鼓——转膛。采用转膛的目的在于为自动工作提供多“工位”同时工作的可能性。借以较大幅度地提高射速。图 4-2-5 所示为转膛式武器的工作原理。

转膛式武器弹膛数目一般为 4~5 个。图示四膛结构的分工是：a 膛及 b 膛装弹，c 膛击发，d 膛抽壳。四膛同时工作，每击一发，回转 90°，换位后继续工作。换位的同时就完成了开、闭锁。

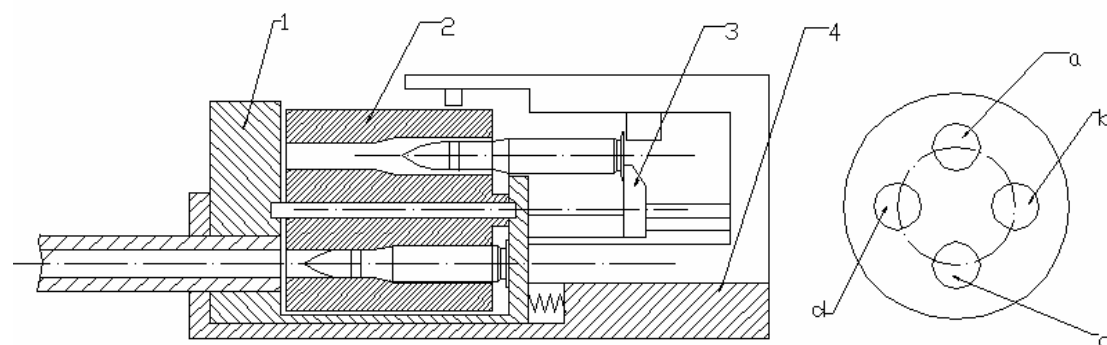


图 4-2-5 转膛式武器的工作原理图

1-转膛座；2-转膛；3-推弹器；4-炮箱

转膛式武器的优点是显而易见的，它可以较大幅度地提高射速。武器的体积和质量虽比滑动机心式略有增加，但不十分明显。转膛式武器的弱点是转膛与身管线膛的结合处的密封问题不好解决，漏气时易熏脏和烧蚀机件。

转膛式武器可以是管退式也可以是导气式，后者应用较多；转膛式武器可以是单管也可以是双管，单管使用最广，且主要用于航炮。

3. 多管旋转式航空自动武器

这类武器自动工作的特征是：多根身管在圆周上均匀排列，并固定在一个机心匣上，每根身管配有一套机心（闭锁机），但共用一个进弹机和抛壳器。工作时，身管和机心匣由外部能源或自身能源带动进行旋转，机心上有滚轮与箱体上之内螺旋槽相啮合，把机心、机心匣的旋转运动变为使机心沿机心匣导轨的前后运动，借以完成装填、闭锁、击发、抽壳等自动工作。各身管旋转到某一位置时轮流发射弹丸，使这类武器的射速得以大幅度提高（图 4-2-6）。

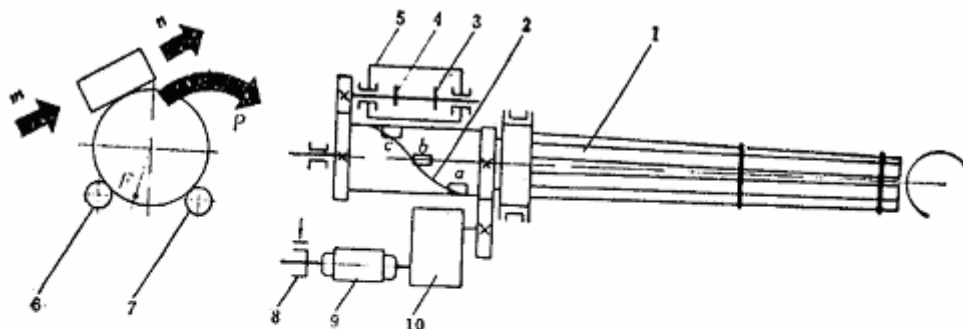


图 4-2-6 多管式旋转武器原理图

1—身管；2—箱体上的曲线槽；3—前拨齿轮；4—后拨齿轮；5—进弹机构；

6、7—缓冲器；8—制动器；9—电机；10—齿轮件速箱。

a—闭锁击发位置；b—中间位置；c—进弹位置；m—进弹方向；n—除链方向；P—抛壳方向；F—击发位置

多管式旋转武器的管数可以从三到七根不等，口径也可以从小（7.62mm）到大（30mm），驱动身管旋转的能量可以是外部能源（电机或液压马达），也可以是自身能源（火药气体），以前者为多。

多管式旋转武器的优点除射速高以外，还有利于提高武器寿命，因为每根管子的射速较低，工作条件较好，温升较慢而使寿命提高。

4. 链式航空自动武器

这类武器同样具有纵向运动的闭锁机（机心组），它靠电机驱动的链条带动。该链条由四个链轮张成长方形，其上装有滑块，与机心组上的 T 型槽相配合。滑块随链条在长方形路线上移动时，带动机心组作纵向往复运动，完成装弹、击发抽壳等动作（图 4-2-7）。进弹工作也靠电机驱动拨弹轮来完成。靠外部能源通过链条驱动滑动机心完成自动工作是链式航空自动武器的特征。

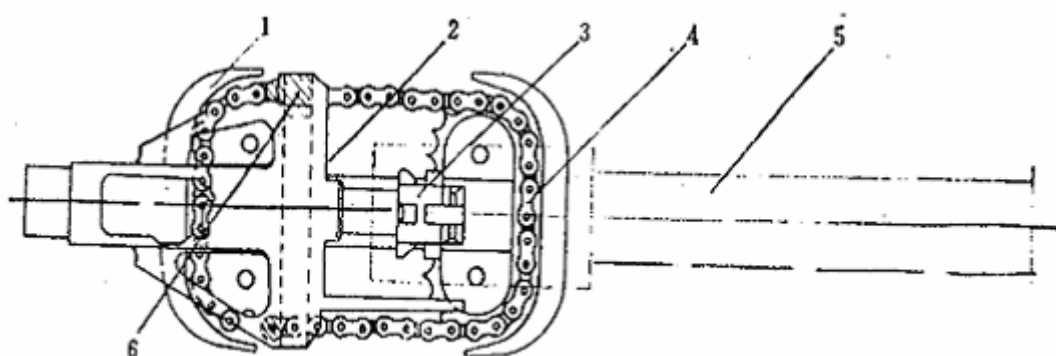


图 4-2-7 链式武器原理图

1—导槽；2—闭锁机支架；3—机心头；4—链条；5—身管；6—滑块

链式武器的优点主要是结构简单、工作可靠。目前，链式武器只应用在射速要求不高的武器上，如武装直升机上的航炮。我国自行研制出的 23mm 链式航炮如图 4-2-8 所示。



图 4-2-8 我国研制出的 23mm 链式航炮

综合以上各种分类方法再加上武器的身管数量,对于一种航空自动武器所属类别的完整表达顺序是:能源方式、身管数量、自动工作特征、枪或炮。如管退式单管转膛航炮、导气式双管滑动机心航炮、导气式四管旋转航空机枪及外能源式单管链式航炮等等,如再冠以口径尺寸则表达更为全面,如 20mm 管退式双管转膛航炮(MK-11 型)。

第三节 23-2航炮

一、概述

23-2 型航炮是一种闭锁机横向运动的武器。根据飞机配套的需要,航炮可以选用长炮口装置(23-2K 型)。也可以不用炮口装置直接装在飞机上。

23-2 型航炮分为右进弹、左进弹和双面进弹三种。左右进弹的航炮不能更换进弹方向,双面进弹的航炮,改变进弹方向时,必须按规定更换有关零、部件。

23-2 型航炮是仿照前苏联 AM-23 型航炮试制和生产的,AM-23 型是在前苏联 A12.7 航空机枪的基础上进行设计和改进的。改进后,虽然口径增大到 23mm 而射速反而提高了(见表 4-2-1)。

表 4-2-1

性能 武器型号	口径 mm	射速 发/分	初速 m/s	质量 kg	后坐力 N	武器后 坐量 mm	武器前 冲量 mm	基本构件 后坐量 mm	弹全 长 mm	弹丸 质量 kg	使用 寿命 (发)	故障 率 %
23-2 航炮	23	1200	705	*43	** 25497	15	6	164.5	200	0.174	6000	0.15
A-12. 7 航空 机枪	12.7	800~1 100	785~8 20	*28	13729	14	8	136	147	0.044	4000	0.15

* 均为不带弹簧减振器和炮口装置时的质量

** 后坐力测试条件：连发、炮架刚度为 5884N/mm，常温。

23-2 型航炮由炮管、炮箱、进弹套、炮箱盖、机心、冷气筒、传动器体、炮管楔、后挡盖、电发火机、弹簧减振器 11 种部件和 7 个总装零件共 211 种零件组成。其中互换零件 59 种，仅占全部零件品种的 28%。该炮用压缩空气操纵装退弹，用电发火机操纵射击。图 4-2-9 为 23-2K 型航炮剖面图。

23-2 型航炮的炮管部件主要由炮管、瓦斯筒、瓦斯传导器等零件组成，如图 4-2-10 所示。

23-2 型航炮的炮箱部件主要由进弹滑板、进弹滑筒、炮弹定位器、自动扣机等机构以及炮箱、除壳引导器、弹链引导器等零件组成。炮箱部件如图 4-2-11 所示。

23-2 型航炮的传动器体部件主要由推弹臂部件、传动器体、活塞杆、活塞扁销和加速臂轴等零件组成，如图 4-2-12 所示。

二、基本工作原理

如图 4-2-5-1 所示，射击后，传动器体在活塞的推动下向后运动 6~8mm（自由行程），以便其内壁两侧开锁斜面操纵机心下落，进行开锁。图 4-2-13（a）中 D 是开锁斜面，半径 $r=10$ 是开锁圆弧，斜角 α 为 $45^\circ 30'$ ；C 是闭锁斜面，半径 $R=33$ 是闭锁圆弧。图 4-2-13（b）是自动扣机扣住撞击筒的情况，图 4-2-13（c）是机心凸起操纵自动扣机释放撞击筒时情况。

由于该炮采用楔式闭锁机构，开锁行程、闭锁行程短，机心质量轻，因而使武器容易获得较高的射速。当传动器体后坐至 78mm 时，瓦斯筒出气开始放气，传动器体靠惯性继续后坐完成抽壳动作。见图 4-2-14。

传动器体后坐 2mm 后就开始带动与其相连的进弹滑筒，通过螺旋传动操纵进弹滑板，使进弹滑板沿炮箱的弧形导槽滑动。见图 4-2-15。

装在进弹滑板上的送链齿将弹带送进一个链距，使下一发炮弹从卡链齿下滑过，到达炮箱进弹口的中央。此时，推弹臂顶额已处于炮弹底缘的后面，为推弹入膛作好准备。

传动器体在后坐过程，通过进弹滑筒压缩滑筒弹簧以及装在冷气筒部件内的复进簧，存储复进能量。

传动器体后坐到位，在后挡盖内火药气体压力、复进簧和滑筒簧作用下开始向前复进，推弹臂的顶额推动炮弹向前。开始时，推弹臂以传动器体的运动速度推动炮弹。传动器体继续向前运动，加速臂在后限位器凸轮的作用下产生旋转，于是加速了其相连可推弹臂的复进速度，把炮弹加速推入膛内。见图 4-2-16。

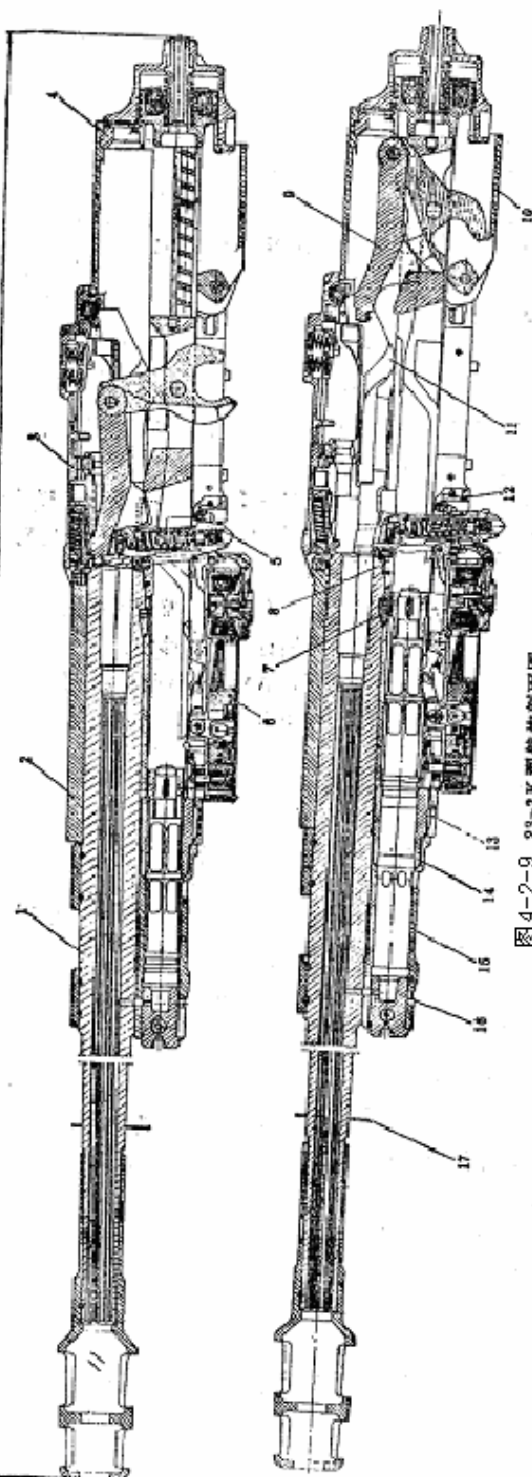


图4-2-9 23-2K型发动机剖视图

1—进气导管, 2—进气阀, 3—进气门, 4—进气门座, 5—进气门弹簧, 6—进气门密封垫, 7—进气门密封垫圈, 8—进气门密封垫圈, 9—进气门密封垫圈 (基本活动零件), 10—进气门密封垫圈, 11—进气门密封垫圈, 12—进气门密封垫圈, 13—进气门密封垫圈, 14—进气门密封垫圈, 15—进气门密封垫圈, 16—进气门密封垫圈, 17—进气门密封垫圈。

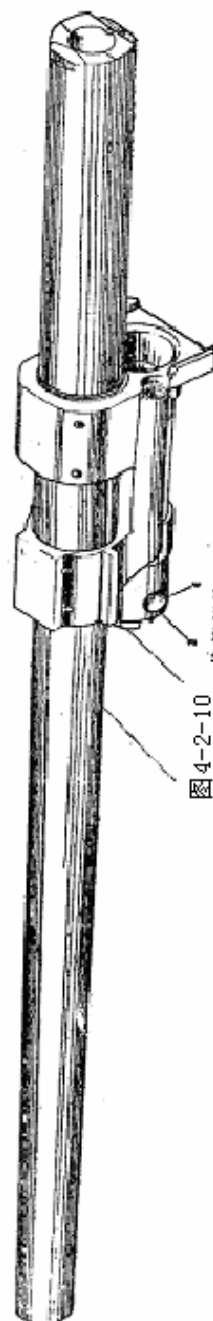


图4-2-10

1—进气导管, 2—进气阀, 3—进气门, 4—进气门座, 5—进气门弹簧, 6—进气门密封垫, 7—进气门密封垫圈, 8—进气门密封垫圈, 9—进气门密封垫圈 (基本活动零件), 10—进气门密封垫圈, 11—进气门密封垫圈, 12—进气门密封垫圈, 13—进气门密封垫圈, 14—进气门密封垫圈, 15—进气门密封垫圈, 16—进气门密封垫圈, 17—进气门密封垫圈。

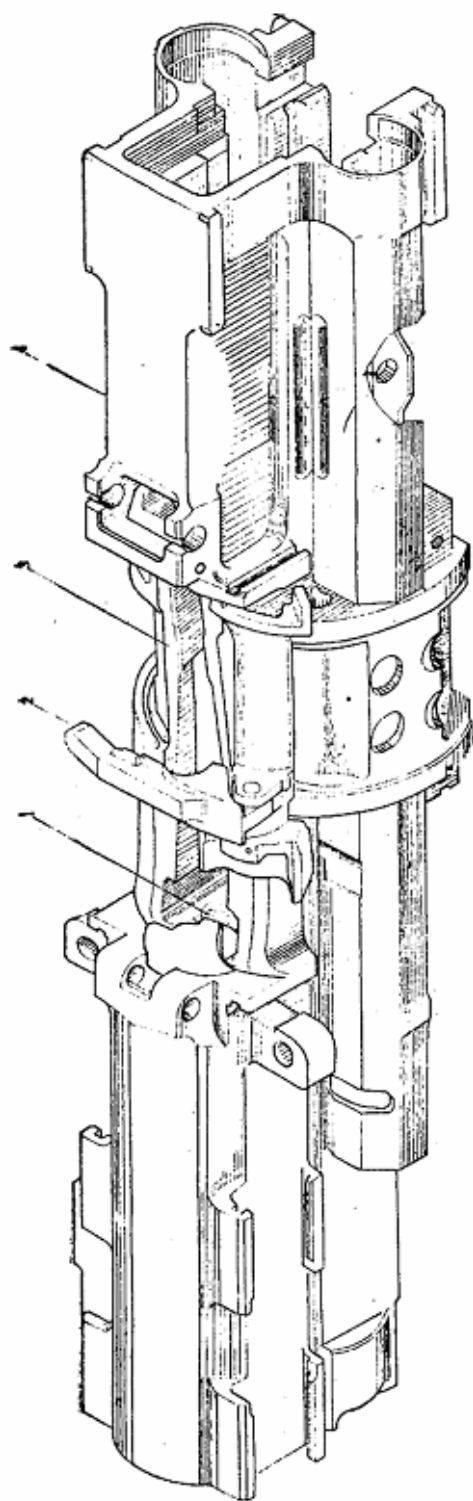


图 4-2-11 炮箱部件

1—炮筒定位器, 2—两膛引导器, 3—除壳引导器, 4—炮箱。

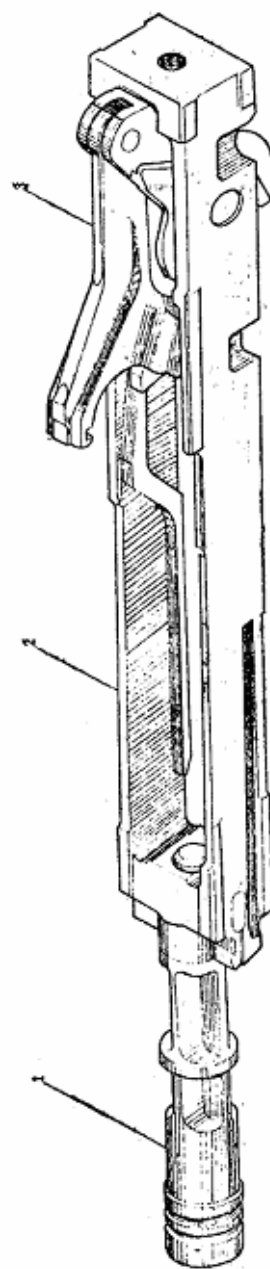


图 4-2-12 转移器体部件

1—筒基杆, 2—传动器体, 3—推弹臂。

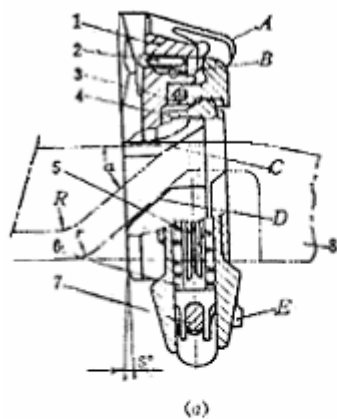


图 4-2-13 机心部件工作原理

1-机心；2-击针；3-击针杠杆；4-撞击筒；5-撞击簧导杆；6-撞击簧；7-撞击筒扁销；8-传动器体；9-自动扣机；A-凸角；B-排气孔；C-闭锁斜面；D-开锁斜面；E-操纵自动扣机凸起。

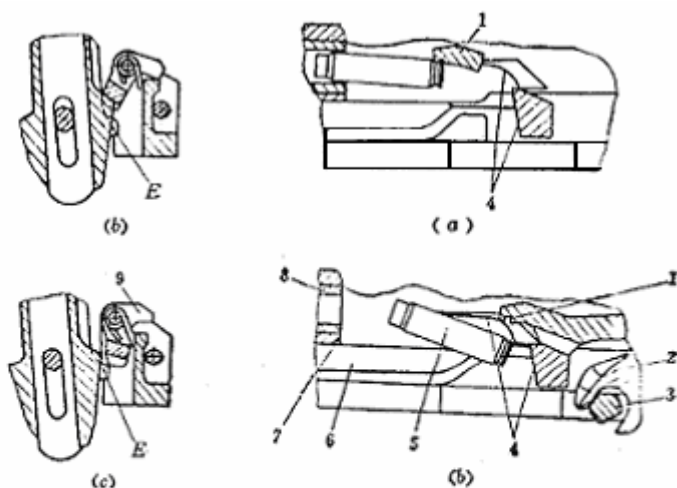


图 4-2-14 推弹臂抛壳原理

(a) 抓手钩住弹壳；(b) 弹壳脱离抓手抛出
1-推弹臂抓手；2-加速臂；3-后限止器凸轮；4-抛壳引导面；5-被抛弹壳；6-冲动器体；7-炮箱；8-炮管。

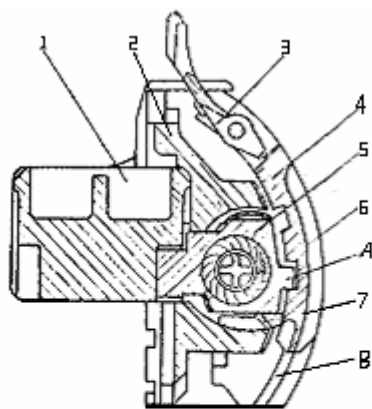


图 4-2-15 传动器体与进弹滑筒、滑板的传动关系

1-传动器体；2-炮箱；3-送弹齿（左、右）；4-进弹滑板（左、右）；进弹滑筒（左、右）；6-滑筒簧；7-进弹滑筒衬板（左、右）；A-进弹滑筒凸部（与进弹滑板螺旋槽配合）；B-炮箱弧型导槽

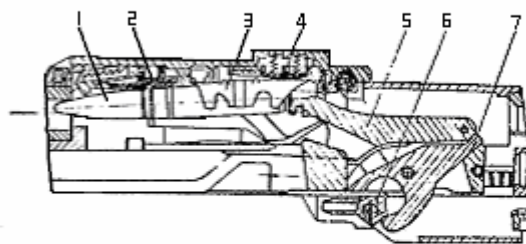


图 4-2-16 推弹臂推弹工作原理

1-待推弹进膛的炮弹；2-衬板体；3-弹链；4-压弹板；5-推弹臂；6-后限止器凸轮；加速臂

在推弹入膛过程中，炮弹定位器被炮弹压下，随后在定位器簧的作用下，炮弹定位器卡入炮弹底缘环槽内，防止炮弹在弹膛内惯性移动而使机心的凸起不能顺利卡入弹底缘环槽妨碍闭锁。因此，炮弹定位器的作用是对炮弹的定位，保证航炮可靠闭锁和击发。

当传动器体复进到接近最前位置时，撞击反跳锁，消耗传动器体复进到位时的部分能量，与此同时反跳锁的钩形凸起部锁住传动器体的左右两个凸起，以防止传动器体反跳，详见后面所述。

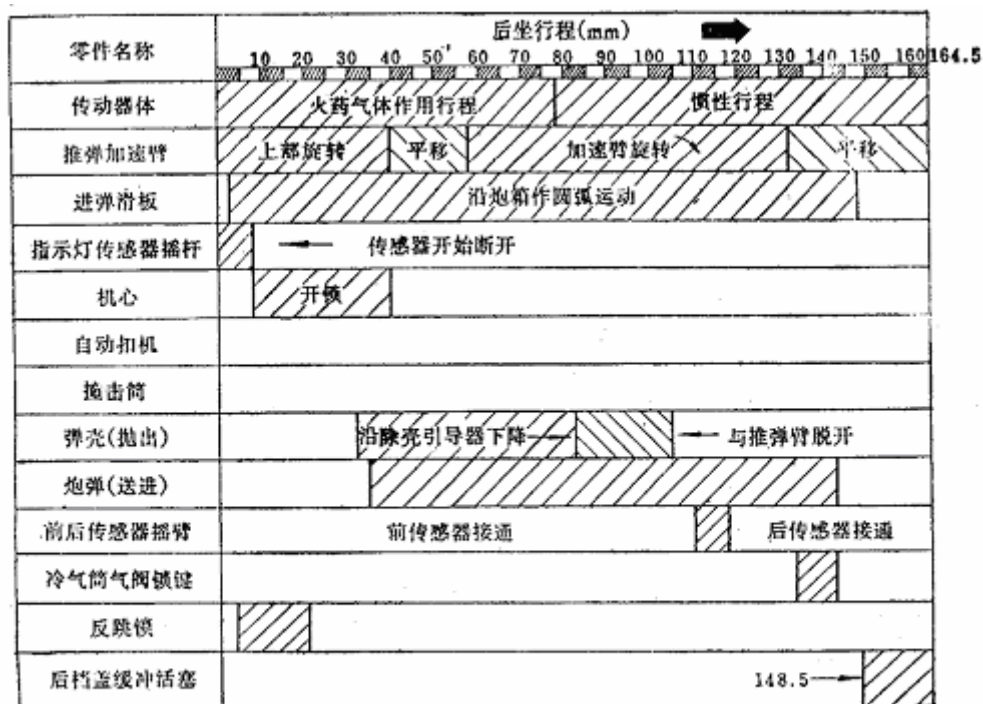


图 4-2-17 23-2 型航炮基本构件后坐工作循环图

机心在传动器体的作用下闭锁弹膛，机心头上锁膛时，撞击筒被自动扣机扣住，停在下方位置，撞击簧处于压缩状态。当机心头距最上方 1~1.5mm 时，其下部凸起弧面 E 压回自动扣机，释放撞击筒，撞击筒在撞击簧作用下，通过击针杠杆撞击击针，击发炮弹底火，参看图 4-2-13 (c)。

23-2 型航炮基本构件后坐与复进自动工作循环图 4-2-17 与图 4-2-18 所示，基本构件的运动曲线详见图 4-2-19。

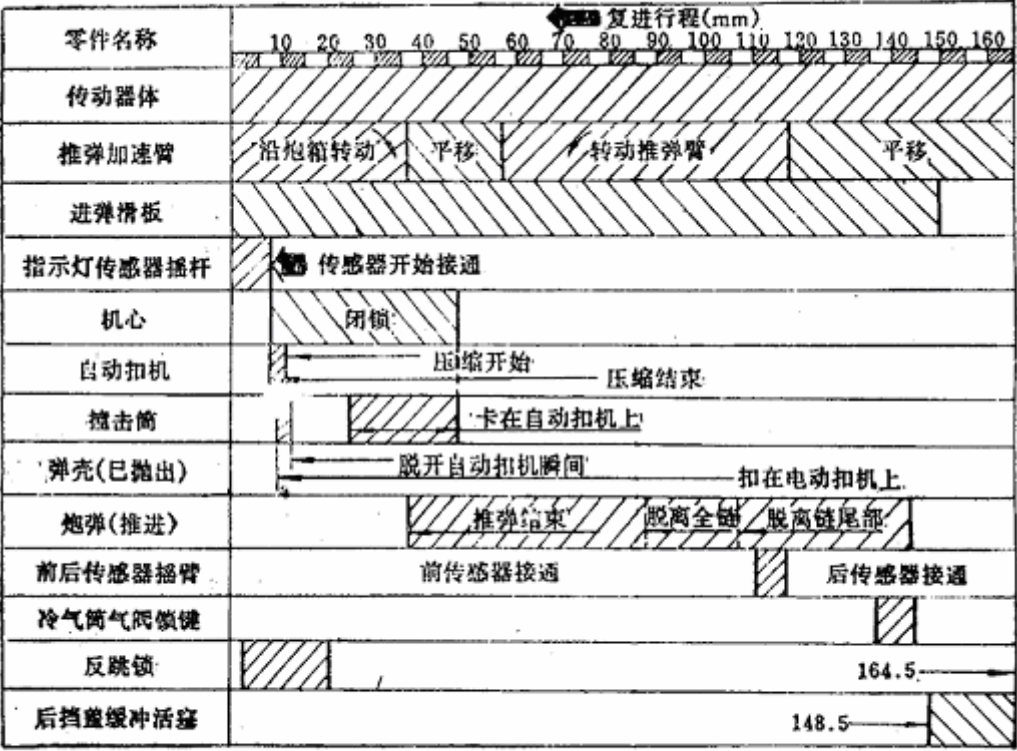


图 4-2-18 23-2 型航炮基本构件复进工作循环图

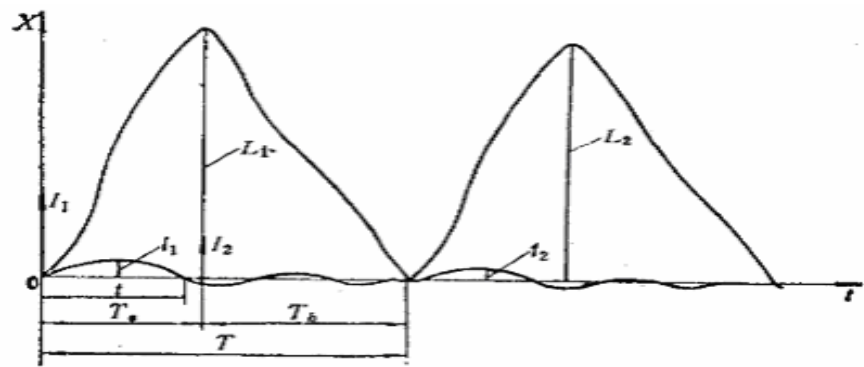


图 4-2-19 23-2 型航炮基本构件运动曲线

L1-第一发传动器体后坐最大距离；L2-第二发传动器体后坐最大距离；

I1-第一发全炮后坐最大距离；I2-第二发全炮后坐最大距离；t-第一发全炮后坐复进运动周期；

Ta-第一发传动器体后坐到位时间；Tb-第一发传动器体复进到位时间；T-第一发传动器体工作周期；

I1-火药气体作用于武器体部的冲量；I2-传动器体部件后坐到位的冲量。

三、设计特点

1. 采取有利措施提高射速

由于采用加速机构，使基本构件的行程大大短于弹长，因而保证了基本构件运动时间大为缩短；传动器体复进时有足够的动力——受两个分置于两侧的多股簧（复进簧及滑筒簧）和后挡盖内腔火药气体压力的共同作用。以上两个措施从设计上满足该炮提高射速的要求。

2. 保证安全抽壳

由于航炮射速高，为保证安全抽壳采用了预抽壳的措施：当机心头开锁向下运动时，凸

角 A 作用于推弹臂凸部 B，使之缓慢后移一段距离预抽壳约 2.5~4.5mm，防止快速抽壳时把弹壳拉断（图 4-2-20）。

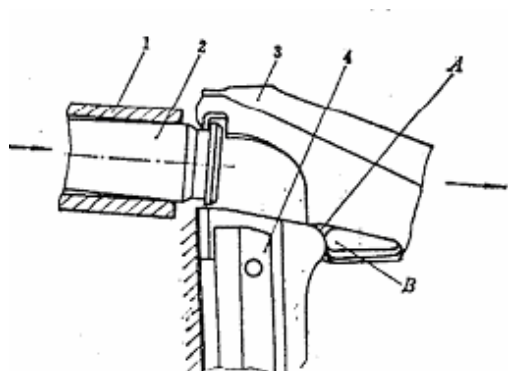


图 4-2-20 预抽壳的作用原理

1-炮管；2-弹壳；3-推弹臂；4-机心头；
A-机心头凸角；B-推弹臂凸部。

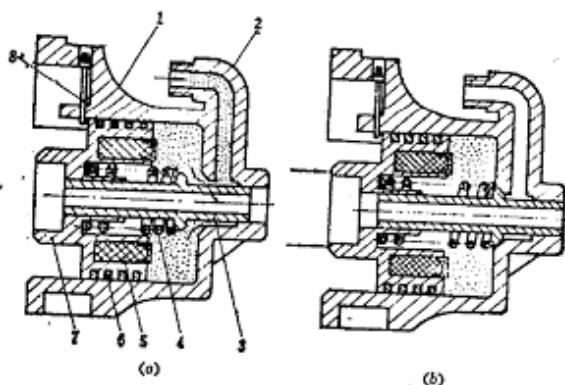


图 4-2-21 后挡盖气体缓冲工作原理

(a) 火药气体进入活塞腔内的情况；

(b) 传动器体撞击缓冲器活塞时情况。

1-后挡盖；2-接嘴；3-进气活门；4-活门簧；5-缓冲垫；6-缓冲活塞胀圈；7-缓冲活塞；8-限止销。

3. 进弹机构动作平稳

23-2 型航炮的基本构件在全部后坐行程中，都带动进弹机构工作，而且合理地安排了运动件的速度与能量分配，因而工作平稳、速度较低，提高了进弹机构的工作可靠性。

4. 采用火药气体缓冲

23-2 型航炮后盖采用火药气体缓冲原理，在设计上是独特的。它对提高武器性能（提高射速、减轻质量等），起很大作用。

射击后，火药气体经过炮管上的第一个孔（距炮尾端面 377.5mm 处，直径为 4mm），通过导气室上的侧孔、导气孔、导气管、导管，推开进气活门，压缩活门簧，充满后挡盖内腔，如图 4-2-21 (a) 所示。炮管内火药气体压力下降时，在活门簧的作用下，进气活门关闭气路，防止后挡盖内腔的火药气体回流。当传动器体后坐至 148mm 时开始撞击缓冲活塞，压缩后挡盖内的火药气体起到缓冲作用，如图 4-2-21 (b) 所示。传动器体后退至 164.5mm 时后坐终止。接着火炮气体开始膨胀，通过缓冲活塞推动传动器体复进，基本构件在复进簧、滑筒簧以及火药气体三者共同作用下，获得较高的起始复进速度，以便可靠地推弹脱链和提高航炮射速。

5. 机构动作可靠

23-2 型航炮的自动机构设计特别注意保证各种动作可靠，例如：

(1) 推弹臂推弹动作可靠

作为航炮主要传动构件的传动器体——加速臂——推弹臂加速系统，虽然进行复杂的平面运动，但是后坐和复进中的每一步动作都是强制运动，从而保证了动作的可靠。如复进到位时推弹臂推弹到位，传动器体继续复进，加速臂在转动时其上的菱形块 B 在炮箱的斜面 C 上滚动，使推弹臂尾部以一定运动速度上抬，与此同时，推弹臂的肩形凸起 A 便进入炮箱支撑面 D 的前方，以便锁住推弹臂，防止其自由后退（图 4-2-22）。

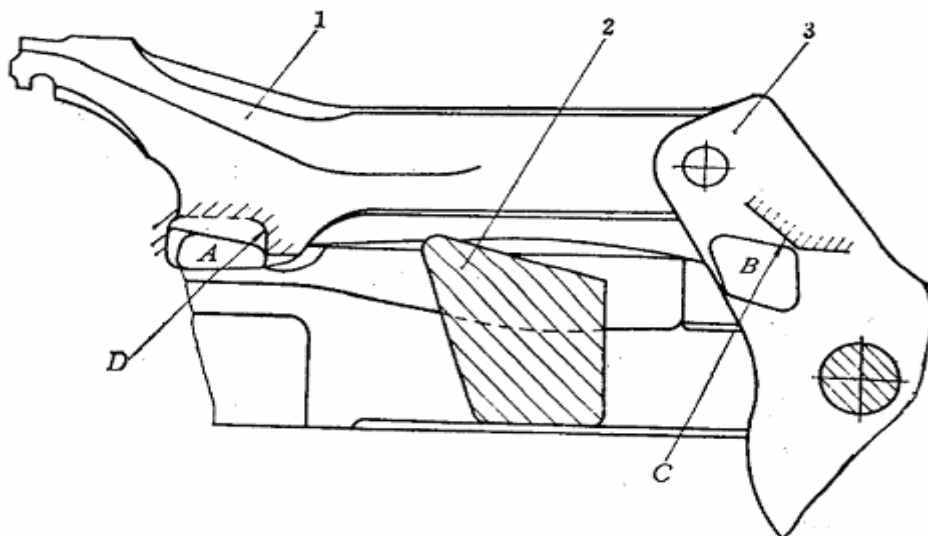


图 4-2-22 推弹加速臂与炮箱作用示意图

1-推弹臂；2-传动器体；3-加速臂；4-推弹臂肩形突起；B-加速臂菱形突起；C-炮箱滚动斜面（当后退时 B 在 C 上面滚动，迫使 A 向下脱离 D）；D-炮箱支持面。

（2）推弹臂抽壳动作可靠

推弹臂推弹到位后由弹底后方进入到抓壳状态，通过推弹臂锁键保证其动作的准确性。推弹臂在推弹到位前先以其顶额压缩锁键簧，推弹如入膛后推弹臂的顶额沿炮弹底面向上滑动并继续移动锁键，如图 4-2-23（a）所示。当其斜面碰上炮尾端斜面 B 时（如图 4-2-23（b）所示），锁键被迫上抬，锁键从推弹臂顶额滑出，其制动面触在炮管平面 A 上而推弹臂抓手在抽壳就落入炮弹环形槽中，随后锁键向后方返回以其制动面压住推弹臂，防止推弹臂抓手在抽壳时脱出（如图 4-2-23（c）所示）。

为使抽壳可靠，在炮管弹膛上方（在锁膛后机心头上方半圆缺口对应处）局部未镀铬，如图 4-2-23D 所示。其作用是在发射时增加弹壳与弹膛间的摩擦，防止弹壳尾端出现裂纹和抽壳时断裂。

（3）反跳锁机构动作可靠

23-2 型航炮基本构件的反跳装置设计构思新颖。反跳锁的作用是，吸收传动器体在复进到位时的部分能量，减轻撞击，并防止传动器体反跳而造成的提前开锁。

当传动器体复进到接近前位时，传动器体前端叉形凸齿撞击反跳锁的钩形凸部，使反跳锁绕本身的轴线旋转，从而消耗传动器体到位的部分能量。传动器体到位的部分能量。传动器体继续复进，其叉形凸齿进入反跳锁的凹部，与旋转着的反跳锁在斜面上产生地二次碰撞。使反跳锁方向旋转，当旋转完毕时，其钩形凸部锁住传动器体的叉形凸齿，防止传动器体反跳（如图 4-2-24 所示）。反跳锁与传动器体多次撞击，产生往复旋转运动，靠其旋转惯性，达到防止反跳目的，称为惯性式反跳结构。

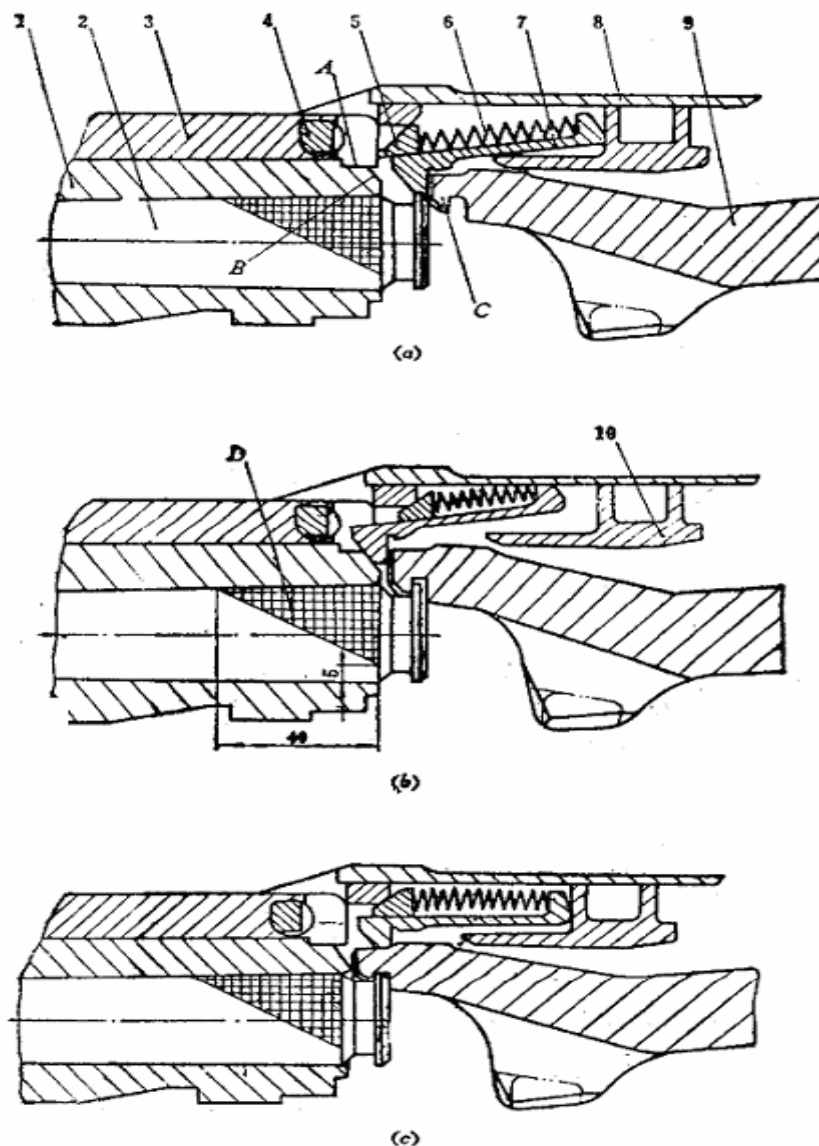


图 4-2-23 推弹臂锁键工作原理图

(a) 推弹臂推弹入膛, 开始压缩推弹臂锁键时状况; (b) 推弹臂锁键受压缩向前与炮管斜面作用开始上抬时状况; (c) 推弹臂抓手抓住弹壳底缘后, 推弹臂锁键压缩顶额时状况。

1-炮管; 2-炮弹; 3-炮箱; 4-炮箱盖轴; 5-锁键压板; 6-推弹臂锁键簧; 7-推弹臂锁键; 8-炮箱盖; 9-衬板体; A-炮管尾部平台; B-炮管尾端斜面; C-推弹臂抓手; D-网状区表示非镀铬区。

6. 首发炮弹发射快

发射前, 炮弹已推进弹膛, 机心处于闭锁状态。发射时, 撞击筒在撞击簧的簧力的作用下仅需移动很小一段距离 (10mm 左右), 即可撞击击针杠杆而发火, 大大缩短了发射首发炮弹所需的时间, 提高了武器射击的首发命中率。

7. 结构紧凑, 便于装拆

23-2 型航炮, 由于基本构件行程短, 并采用横向楔式闭锁机构和圆弧形进弹滑板引导槽等, 从而横、纵向尺寸较小, 结构紧凑, 且便于按大部件分解和结合。机炮外形比较符合流线型, 因此, 在轰炸机活动炮塔上安装时空气阻力较小。

8. 零件形状复杂、加工困难, 材料利用率较低

由于零件形状复杂，工艺性差，其工装系数是目前列装航炮中最大的。各种专用工艺装置数量大 9000 余种。其总装工序较管退式 30-1 型航炮多一倍以上。主要零件如炮箱机加工序达 200 余道，材料利用率仅 13%。

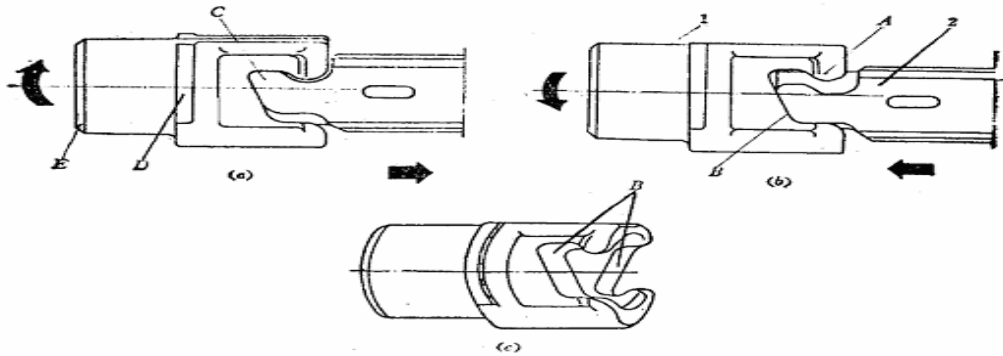


图 4-2-24 惯性防反跳动作原理

(a) 反跳锁旋转完毕与传动器体叉形凸齿啮合的状况；
(b) 传递器体与反跳锁斜面开始撞击时的状况；(c) 反跳锁斜视图外形。
1-反跳锁；2-传动器体；A-反跳锁钩形凸部；B-反跳锁与传动器体碰撞的斜面；
C-传动器体叉形凸齿；D-与炮箱配合的限位凸棱；E-与瓦斯筒响应锥面配合的限位锥面。

第四节 30-1航炮

一、概述

属于管退式单管滑动机心航空自动武器的有我国的 23-1、30-1 和 37-1 型等航炮。

30-1 型航炮具有纵向运动的闭锁机，为炮管短行程后坐式航炮。为了便于分析，现列出三种管退式航炮的重要性能如表 4-2-2，及工作循环曲线图 4-2-25，图 4-2-26 和图 4-2-27。

表 4-2-2

序号	武器型号	23-1	30-1	37-1
	性能			
1	口径 (mm)	23	30	37
2	射速(发/min)	800	>850	400
3	初速(m/s)	680	780	690
4	全炮质量(kg)	39	66.5	103
5	后坐力(N)	25497	58840	53937
6	炮管后坐距离(mm)	85	100	190
7	机心后退距离(mm)	234	302	340
8	炮弹长(mm)	197.9~201.26	264.15~267.84	284.47~287.62
9	弹丸质量(kg)	0.194	0.41	0.735
10	使用寿命 (发)	6000	2000	2000
11	故障率 (%)	0.1	0.2	0.1

注：后坐力测试条件：单发、炮架刚度为 5884N/mm，常温。

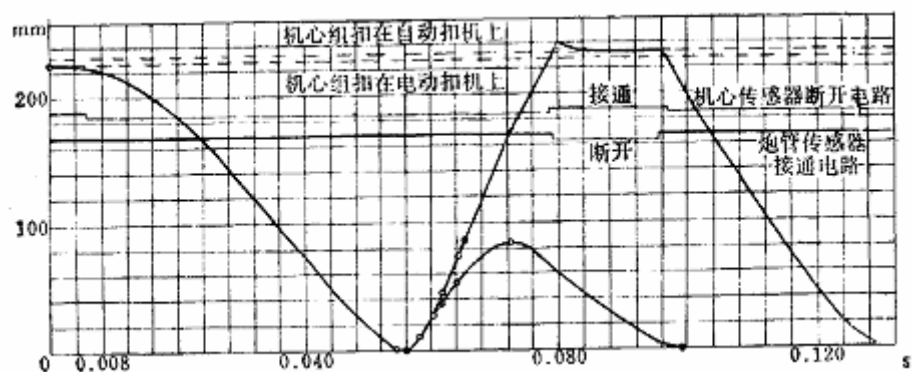


图 4-2-25 23-1 型航炮工作循环

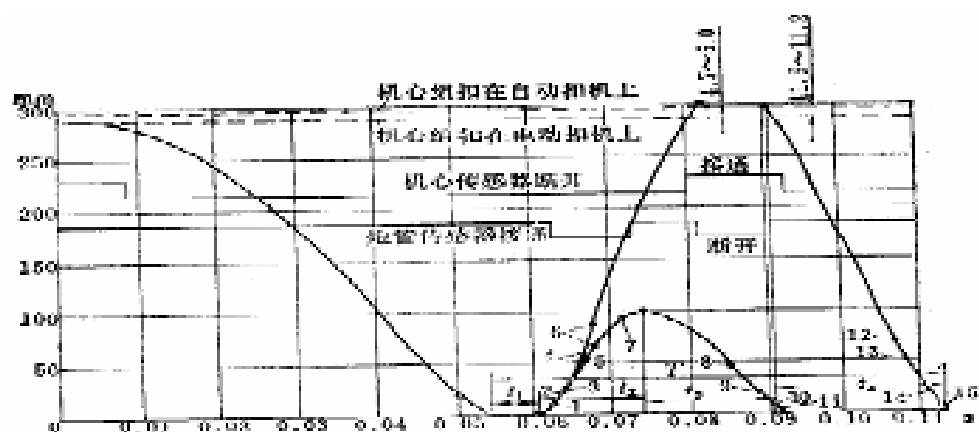


图 4-2-26 30-1 型航炮工作循环曲线

T-射击周期；t1-打火使劲；t2-炮管后退时间；t3-炮管接触到复进加速臂以前的复进时间；t4-机心复进时间；1-反跳锁键开始压缩；2-反跳锁键完全压缩；3-后退加速臂开始加速机心；4-机心组开始旋转开膛；5-炮管闭气孔关闭；6-机心组旋转开膛完毕；7-后退加速臂工作完毕；8-炮弹开始进入机心抓手；9-反跳锁键开始弹回；10-复进加速臂开始工作；11-反跳锁键完全弹回；12-开始撞开反跳锁键；13-完全撞开反跳锁键；14-开始闭锁；15-反跳锁键锁住撞击器。

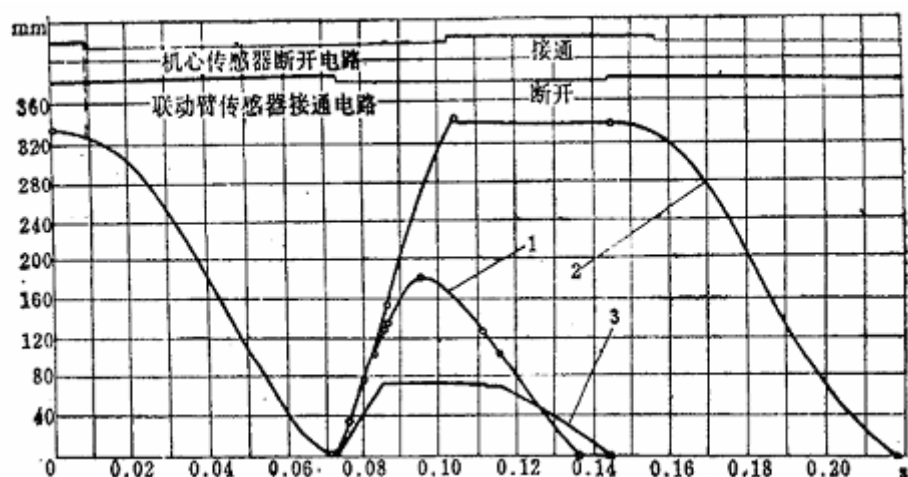


图 4-2-27 37-1 型航炮工作循环曲线

1-炮管组运动曲线；2-机心组运动曲线；3-联动臂运动曲线（联动臂是进弹机的一个传动件）。

二、基本工作原理

航炮射击后，基本构件炮管组与处于闭锁位置的机心组一起向后运动。由于炮管匣作用于加速器并通过加速板带动机心组中的撞击器，使撞击器相对炮管加速后退同时操纵机心头回转开锁，并完成抽壳动作，当运动到最后位置被自动扣机扣住，在下一发炮弹完全压入机心头抓手前，机心组将一直停留在该位置上。另外，炮管组后坐时，还通过传送杠杆带动进弹机构工作，拨动弹带移动 $2/3$ 个链距。

炮管组在后坐过程中，除带动机心组和进弹机构消耗部分能量外，期余的动能转化为瓦斯筒气体的内能。炮管组后坐到位后，在瓦斯筒内气体膨胀的作用下复进。在炮管组复进初期，进弹机构继续拨弹直到弹带走完一个链距。炮管组复进后期，带动拨弹机将下一发炮弹压到机心头抓手里。同时把已经击发的前一发弹壳抛出航炮体外，完成抛壳动作。当炮管组复进到接近前位时，炮管匣尾部横梁顶起自动机，释放机心组并操纵复进加速机构使机心组加速复进。机心组复进到位后，利用撞击器所具有的动能使机心头回转闭锁并操纵击发机构撞击下一发炮弹的底火完成自动射击动作。

该炮用压缩空气操纵装退弹，用 26V 直流电操纵射击。在电发火机里装有两个电传感器，即炮管传感器和机心头传感器。它们分别输出信号表明武器已作好发射准备，并供余弹计数器工作之用（图 4-2-28）。30-1 型航炮的工作循环图如图 4-2-29 所示。

三、设计特点

1. 射速高

由于电动扣机的合理设计（详见后面所述）使机心组尺寸缩短。（参看图 4-2-30 30-1 型航炮剖面图）。23-1 型航炮机心组长 297mm，30-1 型航炮机心组长 202 mm，比前者缩短了 95 mm，因而使机心组和炮管匣的等活动件的质量大大减轻。该炮采用了前后加速机构使机心组运动速度加快，这些措施都达到了提高射速的目的。特别是采用了复进加速器后，复进时间由平均 0.054s（第一发不加速的复进时间）减小到 0.024s，使射速约提高 300 发/min（图 4-2-26）。

2. 采用双行程进弹机构

炮管在后坐、复进时都带动进弹机工作，使进弹时间增长，降低了进弹速度，减小

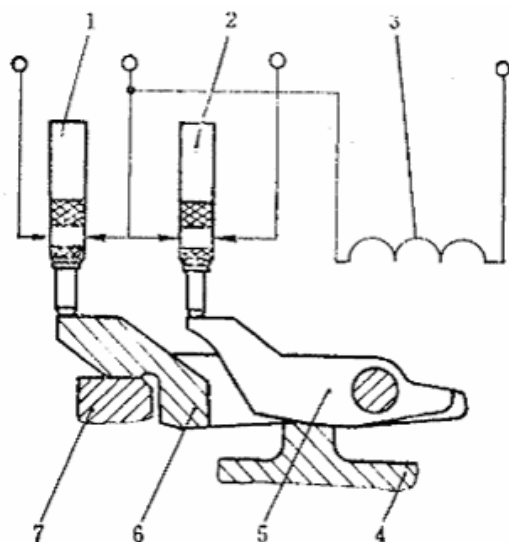


图 4-2-28 炮管和机心头传感器工作原理图（待击发状态）
1-炮管传感器；2-机心头传感器；3-电发火机；4-机心头（在后位）；5-摇臂；
6-自动扣机（收起位置）；7-炮管匣（在前位）。



在曲线 上位置	零部件名称	动作特征	行程(mm)																
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100							
	炮管组	后坐 	0-100																
1	反跳锁键	开始压缩	10																
2	反跳锁键	完全压缩	20																
3	机心组	开始加速后退	25																
4	机心组	开始旋转(开锁)	50																
5	炮管 (进气瓦斯孔)	被遮住	55																
6	机心组	旋转(开锁)完	67																
7	加速器	作用完毕	82																
	炮管组	复进 	100-0																
8	机心头(抓手)	炮弹开始 进入抓手	46																
9	反跳锁键	开始张开 解脱炮箱	20																
10	复进加速器	开始工作	7.5~7.3																
11	反跳锁键	完全张开 脱离炮箱	1.1~0.8																
12	机心组(撞击器)	开始撞开反跳锁	65																
13	机心组(撞击器)	完全撞开反跳锁	50																
14	机心组	开始旋转闭锁	20																
15	机心组(撞击器)	被反跳锁键锁住	5.0~4.7																

图 4-2-29 30-1 型航炮工作循环图

了弹带阻力，从而减小了进弹系统故障，提高了工作可靠性。

3. 自动扣机和电动机设计合理

自动扣机改进后的特点是增大机心组的扣住面积，以保证射度提高后能经受住较大的撞击力，避免提前损坏（图 4-2-31）。

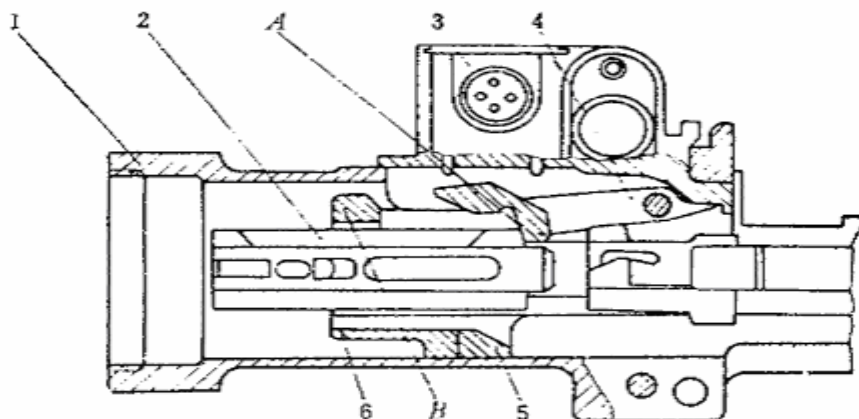


图 4-2-31 自动扣机扣住机心组时的工作情况

1-炮箱；2-机心组；3-电发火机；4-自动扣机；5-复进加速衬块；6-炮管匣；
A-自动扣机与机心组扣住面；B-炮管匣作用自动扣机的横梁。

30-1 型航炮的电动扣机与电发火机是分别安装在炮管匣和炮箱上的分离结构，电磁铁心不直接操纵电动扣机，而是通过击发杠杆顶杆和击发杠杆来操纵电动扣机的动作，控制机炮射击或停止射击。连发时，电动扣机始终处于收起位置，减小了机心组往复运动室对它的摩擦，有利于提高射速（图 4-2-32）。

同时由于 30-1 型航炮采用分离式电动扣机，它的“闭锁”与“释放”由基本构件（炮管匣）操纵，并由基本构件的位置决定，而不需要象 23-1 型航炮那样由机心组作为辅助支撑，用来防止由于机心组在前位操纵臂锁住扣机时发生机心组后退将扣机撞坏的问题。因而

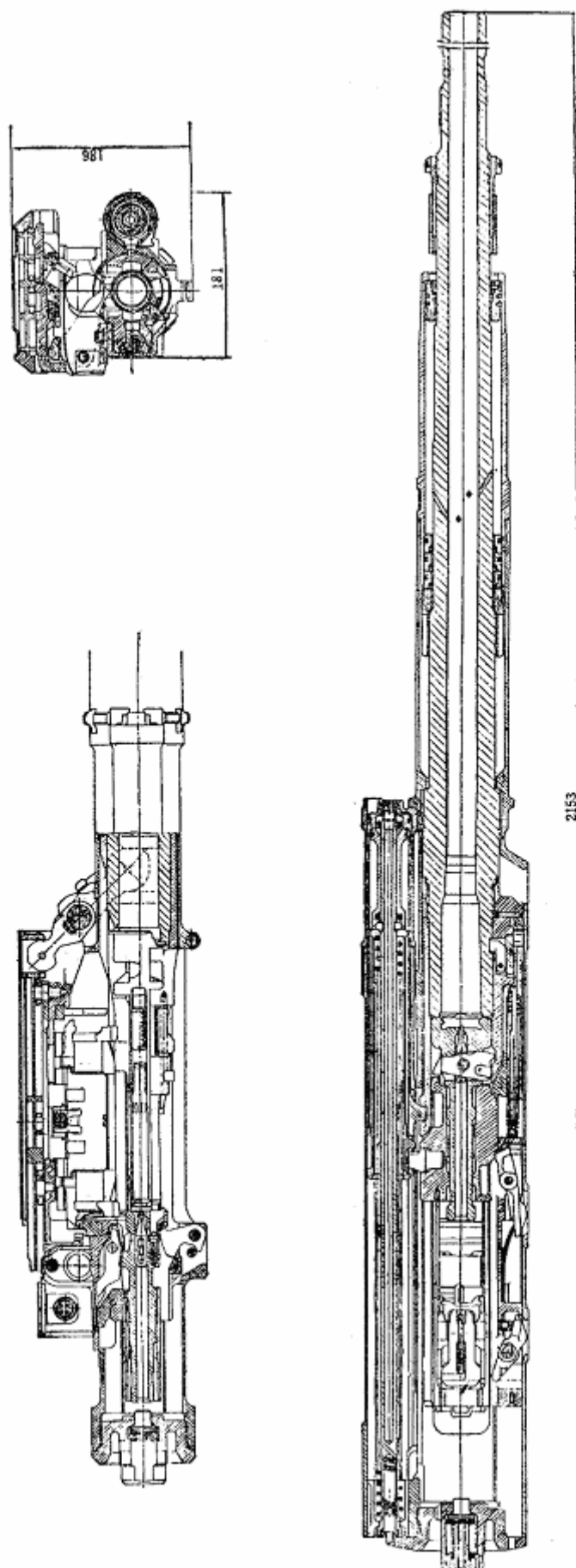


图4-2-30 30-1型航炮剖面图

在设计上可以使 30-1 型航炮比 23-1 型航炮的机心组尺寸大为缩短（图 4-2-33）。

23-1 型航炮电动扣机的回转轴是沿水平方向设置的，在飞机起飞或降落受到强烈震动时产生的惯性力，有可能使电动扣机自行开放而走火。30-1 型航炮电动扣机回转轴是沿垂直方向设置的（图 4-2-33），因震动而产生的惯性力不能形成使它自行开放的力矩，所以克服了 23-1 型航炮的缺点。当机心组在复进簧力作用下电动扣机上时，其作用力矩使电动扣机转向锁紧方向，使电动扣机能牢靠地靠扣住机心组（图 4-2-33）。

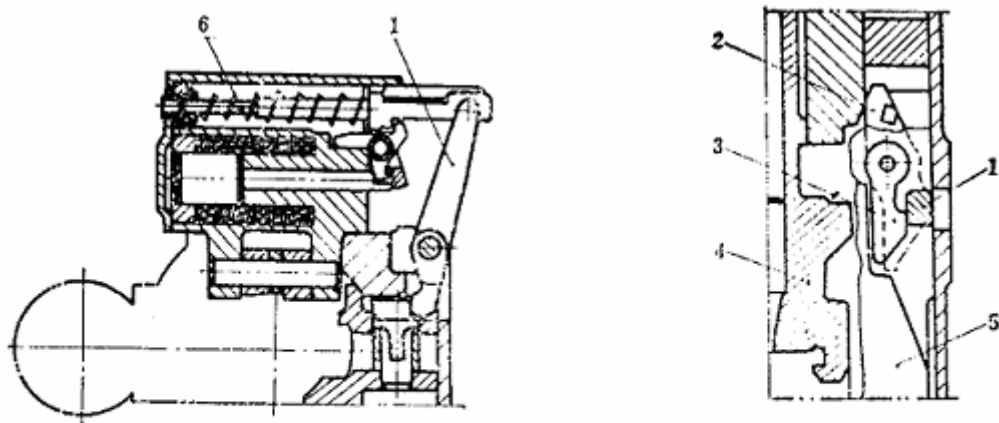


图 4-2-32 连发时电动扣机收起位置

1-击发杠杆；2-电动扣机；3-电动扣机轴；4-机心组；5-炮管匣操纵击发杠杆的凸部；
6-击发杠杆顶杆。

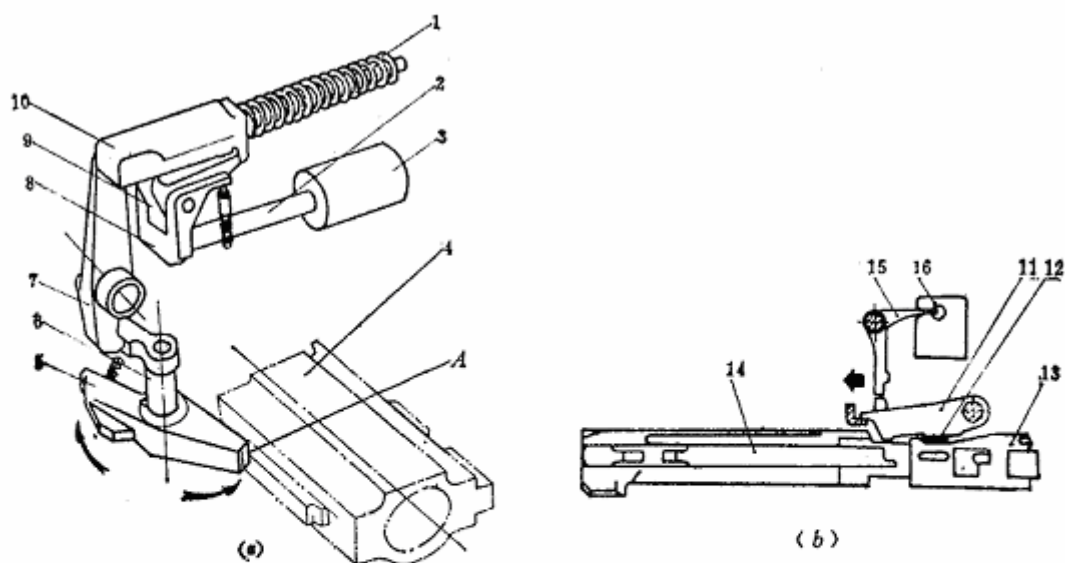


图 4-2-33 电动扣机工作原理图

(a) 30-1 型航炮的电动扣机工作情况；(b) 23-1 型航炮的电动扣机工作情况。

1—顶杆弹簧（大小各一）；2—铁心顶杆；3—铁心；4—机心组（撞击器部分）；5—电动扣机；
6—电动扣机轴；7—击发杠杆；8—顶杆扣机支架；9—顶杆扣机；10—击发杠杆顶杆；11—
23-1 型航炮减摩筒；13—23-1 型航炮机心组；14—23-1 型航炮撞击器；15—23-1 型航炮操
纵臂；16—23-1 型航炮铁心；A—电动扣机与机心组的扣住面。

4. 用瓦斯筒代替弹簧式制退复进装置

30-1 型航炮应用瓦斯筒对基本构件进行制退和使之复进。瓦斯筒是利用发射时进入筒内的火药气体来吸收炮管组的后坐能量，并利用该能量推动炮管组复进。瓦斯筒用支撑螺帽与炮箱连接。瓦斯筒的后部装有三套带有密封装置的座圈，前部装有可在炮管上滑动的活塞。

射击时，炮管组后坐，弹丸向前运动，当弹丸越过炮管的导气孔时，火药气体便流入瓦斯筒的工作室内（图 4-2-34a）。导气孔是 10 个直径 3mm、倾斜 30° 的通孔，分两排沿圆周方向上均匀分布，两排孔中心距 25mm，前排孔中心线距炮尾端面 525mm。炮管组自由后退 30~45mm 时，与炮管螺帽连接的螺帽套筒开始推动活塞，压缩火药气体，使其压力迅速增高而存储能量，同时阻滞炮管后坐（图 4-2-34）。

炮管组继续后坐约 55mm 时，炮管的导气孔被密封圈封闭，瓦斯筒的工作室与外界隔绝（图 4-2-34c）。当炮管组后坐到约 99.15~100mm 时，炮管螺帽限位面撞击瓦斯筒的前端面，炮管组后坐遂停止（图 4-2-35a）。

炮管后坐运动停止后，瓦斯筒工作室内被压缩的气体立即膨胀做功，推动炮管组复进。当炮管组向前运动到距前位约 55mm 时，瓦斯筒工作室重新与炮膛相通，火药气体经导气孔反流入炮管（图 4-2-35b）。炮管组继续复进至距前位 30~45mm 以后，瓦斯筒活塞与螺帽套筒脱离接触，此后炮管组就靠惯性复进到位。炮管组向前运动到距前位 6mm 以后，炮管上的排气槽将瓦斯筒工作室与大气联通，使残余的火药气体迅速排于炮外（图 4-2-35c）。

炮管组初始自由后坐的距离 l （图 4-2-34a）可在一定范围内调整，以控制炮管组保持适当的后坐速度。安排炮管组自由后坐一段行程，可缩短炮管组整个后坐时间，以利于提高航炮的射速。

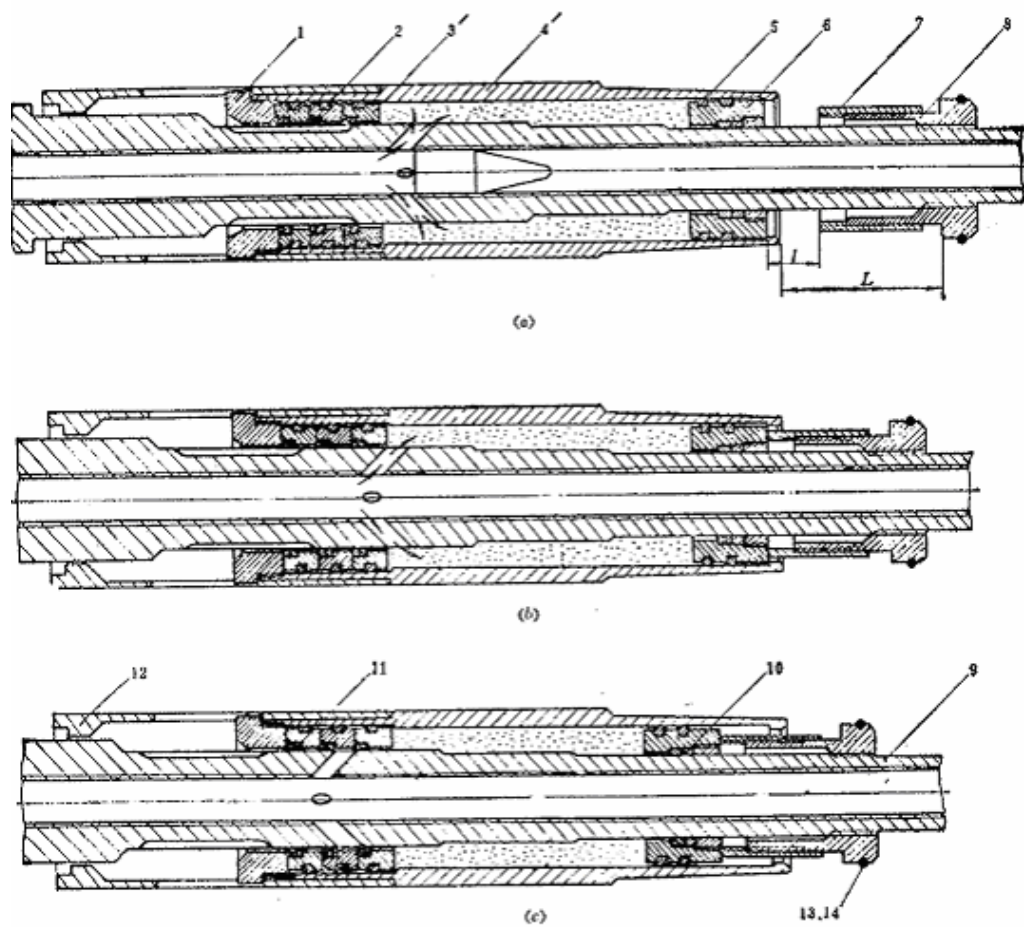


图 4-2-34 炮管后坐时瓦斯筒工作原理图

1-支持萝帽；2-后涨圈；3-座圈；4-瓦斯筒；5-活塞涨圈；6-瓦斯筒活塞；7-螺帽套筒；
8-炮管螺帽；9-炮管；10-活塞密封圈；11-炮管密封圈；12-炮箱；13-弹簧圈；14-固定销；
 L -炮管后坐行程； l -自由后坐行程。

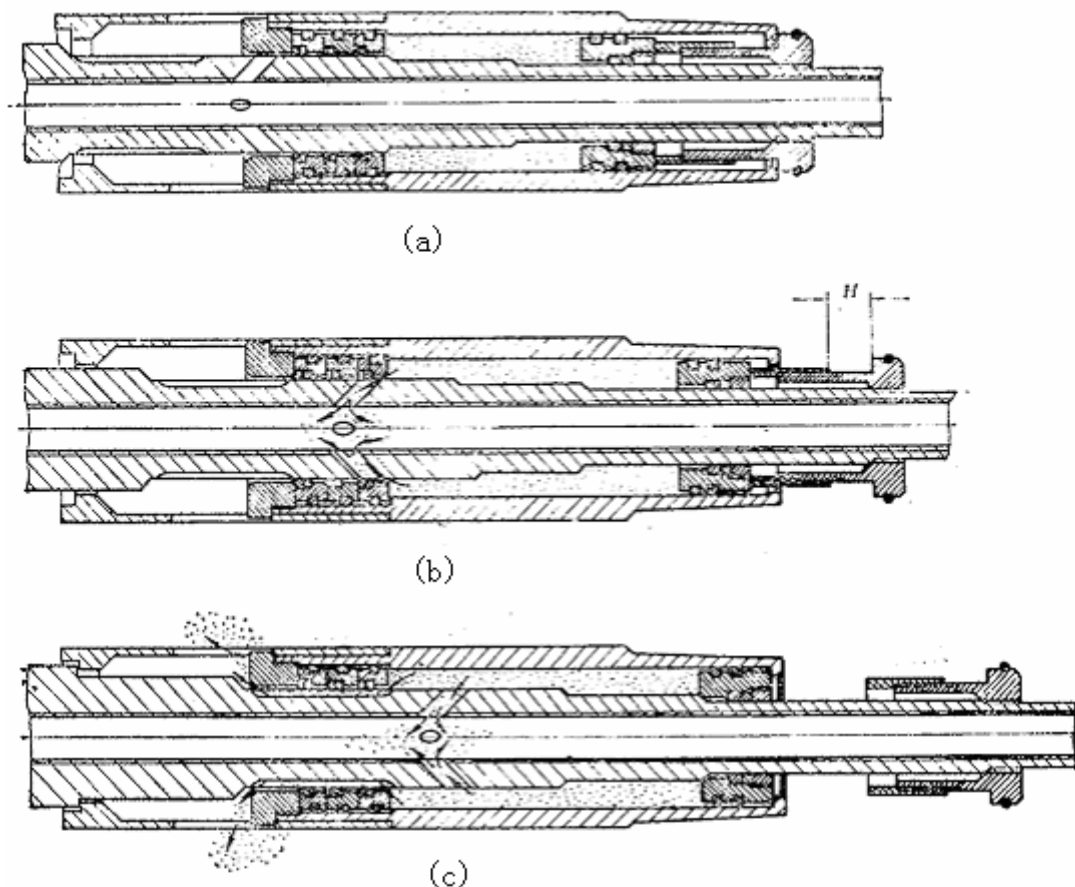


图 4-2-35 炮管复进时瓦斯筒工作原理
H-试射时为了保证炮管组后坐速度的调整尺寸

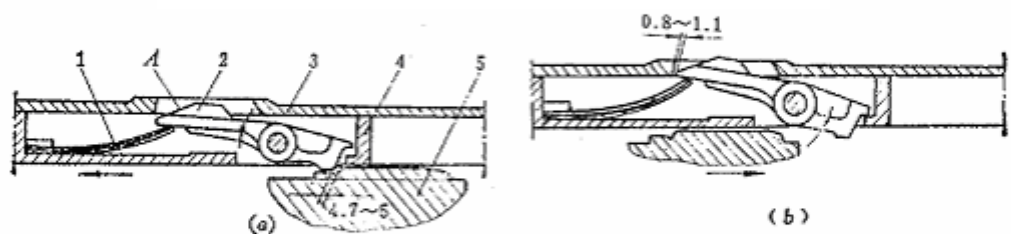


图 4-2-36 反跳锁键工作原理

(a) 反跳锁键作用与机心组；(b) 反跳锁键作用于 炮管匣。

1-片簧；2-反跳锁键；3-炮箱；4-炮管匣；5-机心组部件中的撞击器；A-反跳锁键工作斜面。

5. 设计了两用反跳锁键

管退式航空自动武器一般都设有反跳锁键。其功能是防止机心组在闭锁时撞击炮管尾端面后因反跳而提前开锁，造成膛炸事故。30-1 型航炮在机心组复进到距最前面位置还有 4.7~5mm 时，反跳锁键在片簧的簧力作用下，其前端沉入炮管匣的导槽内防止机心组反跳后退（图 4-2-36a）。

30-1 型航炮因为没有炮管簧，所以反跳锁键除了防止机心组反跳外，还要防止炮管匣复进到最前位置撞击炮箱时的反跳。当炮管匣复进到距最前位置 0.8~1mm 时，反跳锁键的

后端在片簧的簧力作用下，快速张开到炮箱窗口中防止炮管匣反跳后退。保证闭锁击发时炮管匣处于最前位置（图 4-2-36b）。

30-1 型航炮处于战斗待发状态时，基本构件在最前位置，机心组在后方位置，由于飞机空战时要做机动动作，所以武器的基本构件会受到很大的惯性力，如果没有反跳锁键，该惯性力就会改变炮管匣（基本构件）的原始位置。所以，反跳锁键还有定位的作用。

按下射击按钮后，电动扣机释放机心组，在复进簧作用下，机心组复进，当距最前位置还有 65mm 时，机心组撞击器左侧凸起部边作用于反跳锁键的前端，使反跳锁键转动（图 4-2-36b 沿箭头方向）脱离炮箱解脱炮管匣。当击发后，炮管匣后坐至 20mm 时，反跳锁键转动至下方（图 4-2-36a 沿箭头方向）从而解脱机心组。

6. 对 30-1 型航炮的总体评价

（1）30-1 型航炮因后坐力较大使武器本体（炮箱）在连发射击时前后窜动剧烈，进弹系统与输弹导接口处对准性差，从而降低了进弹系统工作的可靠性。

（2）30-1 型航炮由炮管组、进弹机、冷气装弹机构、炮箱组、机心组、电发火机和总装零件共六种部件、163 种零件（其中总装零件 22 种）组成。是我国目前现有航炮中零件品种最少的一种航炮，因此，它结构简单，装拆方便。

（3）30-1 型航炮中互换零件 78 种，占总零件数的 48%（23-2 型航炮 28%），专用件较少，便于维修。

（4）30-1 型航炮由于采用了瓦斯筒结构，故在使用维护中，清除瓦斯筒内的火药残渣较麻烦。

（5）30-1 型航炮由于采用管退式工作原理，基本构件和运动件的质量占全炮质量比例大（约 50%），加上运动件速度高，所以零件所受的撞击力较大，零件易于破损。为此，在设计上采用了增加零备件的方法来弥补。

第三章 特种炮

第一节 迫击炮

迫击炮是一种结构简单、机动性良好的火炮，与同口径其它地面火炮相比，具有体积小、质量轻、弹道弯曲、威力大、使用和携带方便等优点。在国内外历次战争，特别是山地、丛林、水网地区作战中，曾发挥了重要作用。当前，世界各国研制、装备的迫击炮的主要战技性能均不断提高。

一、迫击炮发展概况

迫击炮产生于日俄战争，当时守备旅顺的俄军为打击日军，用海军炮改制成了迫击炮，轻便适用，无射击死角，杀伤效果良好。随着座钣、双腿架和缓冲机的出现，迫击炮的射击稳定性和射击精度得到了提高。第一次世界大战中，堑壕战的发展使迫击炮成为主要的近战武器。

第二次世界大战期间和战后，应战场上部队高速机动的需要，出现了自行迫击炮。如美国 M21 式 81mm 自行迫击炮，M4 式 81mm 自行迫击炮，M84 式 107mm 自行迫击炮；法国的 VP90 式 81mm 自行迫击炮；日本 1960 式 81mm 自行迫击炮和 107mm 自行迫击炮；德国的 M113 式 120mm 自行迫击炮等。

20 世纪 70 年代以来，随着新技术的进步，尤其是火控系统和弹药的发展，现代迫击炮在命中精度、杀伤力等方面都有了很大的提高。

奥地利 SM-4 式 120mm 车载迫击炮是奥地利研制的四管齐射迫击炮。四个滑膛炮管并列安装在一个大型座钣上，行军时，由卡车运载，发射前，靠车上两个独立的液压系统将炮身和座钣从车上卸到地面，并使火炮转入发射状态。运载车上配有观察器材、射击诸元计算机和通信器材，并携带 60 发弹。最大初速 518m/s，弹重 14.5kg，最大射程 11500m，战斗全重 7t，炮班人数 3 人。

俄罗斯 2C9 式 120mm 自行迫击炮具有加农炮、榴弹炮和迫击炮的弹道性能，能担负多种战斗任务。车体采用改进的 BMJ 空降战车底盘，全炮可空运或伞降。车底距地高可调节，适于在沙地、雪地和沼泽地通行。榴弹重 16kg，最大射速 8 发/min，最大射程 8800m（榴弹）、12800m（火箭增程弹），战斗全重 8t，最大行驶速度 60km/h，最大行程 500km，炮班人数 4 人。

俄罗斯 2K21 式 82mm 速射迫击炮武器系统的主要特点是射速快，威力大，射击稳定性好，机动性强，操作方便等。最大安全射速 40 发/min，弹重 3.1kg，有效直射距离 400m，最大射程 4270m，战斗全重 622kg。

法国 MO-120-RT-61 式 120mm 迫击炮于 20 世纪 70 年代中期装备法国等国家军队，是一种设计独特、构造复杂的现代迫击炮。其最大初速 240m/s，弹重 18.7kg，最大射速 20 发/min，最大射程 8135m（PR14 旋转弹）、13000m（火箭增程弹）、战斗全重 565kg，炮班人数 6 人。

法国 VPX40M120mm 自行迫击炮于 20 世纪 80 年代中期研制，由 RT61 式 120mm 迫击炮和轻型装甲车组合而成。发射时，将车底板降到地面作为迫击炮座钣，炮管指向车体后方。借助车上的液压气动支架，对火炮进行调整和定向。可用直升机吊运，进行短距离机动，也可用大型运输机空运。其最大初速 365m/s，弹重 18.6kg，最大射速 12 发/min，最大射程 8135m（PR 旋转弹），13000m（火箭增程弹），战斗全重 4.7t，最大行驶速度 100km/h，最大行程 600km，炮班人数 4 人。

美国 81mm M252 式迫击炮于 1987 年装备美军。该炮在英国 81mm L14 式迫击炮上加装了炮口超压衰减装置。该炮初速（L15A3 式榴弹）为 250m/s，最大射程（L15A3 式榴弹）

5660m，最小射程 180m，最大射速 30 发/min，持续射速 15 发/min，炮重 36.48kg。

美国 M-224 式迫击炮是 1982 年起装备部队的 60mm 轻型迫击炮，用以取代 M-29A1 式 60mm 迫击炮，装备步兵连、空中机动连、空降连的迫击炮分排。本炮配备激光测距仪和迫击炮弹道计算器，矩形座钣，无支架，单兵便可携带操作。

北欧 AMOS 迫击炮，AMOS 炮塔由双管 120mm 迫击炮组成，配有自动化弹药处理、电子目标打击和射击系统。AMOS 使用现有各种弹药，而且与未来 120mm 迫击炮弹兼容。AMOS 可集成于多种轮式和履带式车辆，以及快速战船。

英国 RO2003 式 120mm 自行迫击炮是英国新研制的自行迫击炮，以 RO2001 式装甲车体为底盘，火炮为滑膛，采用炮尾装填，炮上有液压气动式缓冲机和复进机。车内配有计算机火控系统和导航定位系统。驾驶员配有潜望镜和夜视仪，适于夜间战斗。车上有装甲防护和三防系统。其最大射速 6 发/min，最大射程 9000m（榴弹）、13000m（火箭增程弹）、战斗全重 18T，最大行驶速度 55km/h，炮班人数 3 人。

美国“龙火”（Mobile Dragon）120mm 遥控线膛迫击炮属于自主式迫击炮，可以自动完成目标观测、瞄准、装填和通信，所需人员较少，也可以避免人员暴露，可以在舰艇、直升机或其它平台上遥控自主作战。主炮为 2R2M 式 120mm 迫击炮，最大射程 13000m。

在我国，自 20 世纪五十年代以来，迫击炮的发展经历了仿制、改进、自行设计、研制更新的历程，逐步形成了我国的迫击炮系列产品：

60mm 口径：63 式、63-1 式、W83 式、W85 式、PP89 式、W90 式和 PP93 式 60mm 迫击炮。

81mm 口径：W87 式和 W91 式 81mm 迫击炮。

82mm 口径：53 式（仿制）、67 式、83-I 型、83-II 型、74 式、84 式和 PP87 式 82mm 迫击炮。

100mm 口径：71 式、80 式和 PP89 式 100mm 迫击炮。

120mm 口径：55 式（仿制）、64 式和 W86 式 120mm 迫击炮。

自行迫击炮：W83 式 82mm 和 W86 式 120mm 自行迫击炮。

大口径迫击炮：56 式 160mm 迫击炮（仿制）、W76 式 140mm 迫击炮和 240mm 迫击炮

图 4-3-1~图 4-3-4 分别为我国装备的 W1990 年式 60mm 迫击炮、PP87 式 82mm 迫击炮、PP89 式 100mm 迫击炮和 W1986 年式 120mm 迫击炮。



图 4-3-1 WW1990 年式 60mm 迫击炮



图 4-3-2 PP87 式 82mm 迫击炮



图 4-3-3 PP89 式 100mm 迫击炮

80 式 100mm 迫击炮 1980 年设计定型，主要装备空降部队。该炮身管采用高强度钢制造；炮箍槽为 1 个，适于空投和人力搬运；炮架部分零件用超硬铝合金制成，铝合金零部件表面经硬质阳极氧化处理，提高耐磨性；座钣改用钛合金材料。该炮的结构特点与 71 式 100mm 迫击炮相同，配有电控手推式空投车，火炮和弹药可同时装车空投，空投后用小车和人力搬运。

W85 式 60mm 迫击炮是 63-1 式 60mm 迫击炮的改进型，1985 年设计定型。该炮在 63-1 式 60mm 迫击炮的基础上加长了身管和炮架长度，采用窗式座钣，螺旋挤压成型炮管等一系列新技术，并改进了弹形和发射装药。



图 4-3-4 W1986 年式 120mm 迫击炮

W86 式 120mm 迫击炮于 1986 年设计定型，该炮是一种团属火炮，用于取代 20 世纪 70 年代前生产和装备的 120mm 迫击炮。该炮采用套筒式缓冲机、自锁高低机、胀胎式击针机构、带扭杆缓冲器的轻便炮车以及全新的弹药系统。

PP87 式 82mm 迫击炮 1987 年设计定型，用于取代 1967 年式 82mm 迫击炮。该炮的炮身由炮尾、身管和缓冲机套筒组成，身管采用合金钢制成；缓冲机采用我国首创的套筒式缓冲机，安装在身管的中部附近，与身管同心，套筒内有缓冲簧，保证火炮在射击时，套筒沿炮管上、下滑动，无论是后座还是复进，都不发生刚性撞击。这种设计结构紧凑，射击时稳定性好，有助于提高射击精度；炮架用铝合金制成，高低机位于脚架中间，采用螺母螺杆结构，方向机在脚架上方、有套箍与炮身连接，也采用螺母螺杆结构，另外炮架上还有调平机构；炮架上装有 53 式 82mm 迫击炮瞄准镜，夜间射击时，配有二极管发光照明具；火炮的底钣用合金钢冲压而成，呈圆形或三角形。

W1987 式 81mm 迫击炮于 1987 年定型。其技术与结构特点与 PP87 式 82mm 迫击炮相同，采用套筒式缓冲机，结构简单，有助于提高射击精度。初速 312m/s，最大射程 5700m，最小射程 120m，射速 30 发/min，可背负或肩扛，也可车载。

PP89 式 100mm 迫击炮 1989 年设计定型并投入批量生产，该炮是一种团属火炮，用于取代 1971 年式 100mm 迫击炮。该炮采用套筒式缓冲机、自锁高低机和胀胎式击针机构；弹药系统选用合理弹形、闭气环、全保险型引信和小粒发射药。

W90 式 60mm 迫击炮的炮身由炮尾、身管和缓冲机套筒组成，身管采用高强度钢制成的薄壁圆管，缓冲机套筒安装在身管的中部附近，与身管同心，套筒内有缓冲簧，保证火炮在射击时，无论是后坐还是复进，都不发生刚性撞击，这种设计结构紧凑，射击时稳定性好；炮架用钢管或铝合金制成，高低机位于脚架中间，采用螺母螺杆结构，有自锁装置，方向机在脚架上方、有套箍与炮身连接，也采用螺母螺杆结构，另外炮架上还有调平机构；炮架上装有瞄准镜，夜间射击时，配有二极管发光照明具；火炮的底钣呈圆形。

W99 式 82mm 速射迫击炮是我国新研制的牵引式迫击炮。该炮重 650kg，初速 272m/s，最小射程 800m，最大射程为 4270m。方向角为左右 30°，射角-1°~+85°。可从炮尾装填，也可从炮口装填。

随着高新技术的发展和应用，迫击炮系统的整体技术性能在不断提高。从近年来的科索

沃战争、阿富汗反恐战争和海湾美伊战争，可以想象，迫击炮在未来战场上仍将发挥重要的作用。

二、迫击炮分类

迫击炮常见的分类方法有以下三种：

1.按配属和战斗任务分类

（1）随伴迫击炮

随伴迫击炮是配属步兵连和步兵营的轻型迫击炮，其战斗任务是在各种地形条件下以不间断的火力随伴步兵作战，主要用以杀伤暴露的生动力量和火器，也可破坏战场上轻型的野战工事，并可压制敌连营属迫击炮阵地。如连属 60mm 迫击炮，营属 82mm 迫击炮，山地步兵营属远射程 60mm 迫击炮等。

（2）支援迫击炮

支援迫击炮是配属步兵团的迫击炮，其战斗任务是摧毁敌人的指挥观察所和野战工事，在障碍物和布雷区开辟通路，杀伤敌有生力量，压制敌团以下迫击炮阵地和反坦克导弹阵地。如团属 120mm 迫击炮和 100mm 迫击炮等。

（3）加强迫击炮

加强迫击炮是配属步兵师的迫击炮，它的使命是在质量上和数量上加强师炮兵群。其战斗任务是摧毁敌坚固的野战工事、指挥所，在障碍物和布雷区中开辟通路，压制特别重要的地段与目标，摧毁敌迫击炮阵地，杀伤敌有生力量。如师属 140mm 和 160mm 迫击炮等。

2.按火炮口径分类

（1）小口径迫击炮

口径小于等于 60mm 的迫击炮为小口径迫击炮。如 50mm 迫击炮和 60mm 迫击炮等

（2）中口径轻型迫击炮

口径小于 82mm，大于 70mm 的迫击炮为中口径轻型迫击炮，如 70mm 迫击炮，81mm 迫击炮和 82mm 迫击炮等。

（3）中口径重型迫击炮

口径小于 120mm，大于 90mm 的迫击炮属于中口径重型迫击炮。目前各国装备最多的是 120mm 迫击炮。

（4）大口径迫击炮

口径大于 140mm 的迫击炮为大口径迫击炮，如 140mm、160mm、210mm、240mm、300mm 迫击炮等。大口径迫击炮装备数量较少。

3.按运动方式分类

（1）便携式迫击炮

便携式迫击炮结构简单，如英国 L9A1 式 51mm 迫击炮、以色列“索尔塔姆”60mm 迫击炮

（2）车载式和牵引式迫击炮

（3）自行迫击炮

三、迫击炮特点

（1）弹道弯曲

迫击炮由于初速小，可以进行大射角射击，弹道比榴弹更加弯曲，炮弹落角大。这种特性使得其战术使用十分方便，主要体现在：

1）选择发射阵地容易

迫击炮阵地可配置在山丘、建筑物后，或坑壕、谷地，同时可进行隐蔽的超越射击。

2）可以消除射击死角

由于迫击炮弹落角大，可以射击反斜面、深谷地内及起伏地段上目标。

3) 迫击炮落角大，不易产生弹跳

对于水平目标射击时，能得到有利的命中角，使弹丸破片飞散。炮弹杀伤效能高、面积大。

4) 弯曲的弹道，为配用攻击坦克顶装甲的反坦克子母弹提供了条件。

(2) 初速小，膛压低

迫击炮的膛压低，初速小，因此在发射时，炮口火焰小，声响较低，便于隐蔽。同时由于膛压低，炮弹壁较薄，可容纳较多炸药。得到同样爆破效果，用迫击炮较用其它火炮射击好，弹体材料性能的要求也低，经济性好。

(3) 结构简单，射速高，机动性好

1) 迫击炮结构简单，便于制造，成本低.使用维护方便，适于大量生产和装备。

2) 由于结构简单，装填发射容易，发射速度高，火力猛。一般中小口径迫击炮发射速度都不低于 25~30 发/min。

3) 中小口径迫击炮，一般均可迅速分解成单件，由单兵背运.因此，适应于各种地形条件下伴随步兵机动作战。并可配备各种快速反应部队，适于各种运输与机动方式。

四、迫击炮结构

迫击炮通常由炮身、炮架、座钣、瞄准装置和附件组成。

1. 炮身

迫击炮的炮身是由身管、炮尾组成的，有的炮尾上装有击发机构，有的炮身上还有防重装保险器。

炮身是迫击炮的重要部件。按装填方式分，迫击炮炮身可分为炮口装填的前装式炮身，炮尾装填的后装式炮身和中间装填的分段式炮身。

中小口径迫击炮普遍采用前装式炮身，其结构简单，装填方便，射速高。大口径迫击炮由于射程远，炮身长，炮弹重，故采用后装式炮身，如 1956 式 160mm 迫击炮。我国 W76 式 140mm 迫击炮，采用了分段炮身中间装填的结构，以利于提高射速。

按炮膛结构分，迫击炮炮身可分为滑膛炮身和线膛炮身。

绝大多数的迫击炮炮身都采用滑膛结构，滑膛身管的迫击炮弹为尾翼稳定的，其最大射角可达 85°，飞行弹道十分弯曲，弹道机动性优良。也有迫击炮炮身采用线膛结构的，如美国 M30 式 107mm 迫击炮，法国 M0120RT 型 120mm 迫击炮，美国 XM193 型 105mm 迫榴炮等。

(1) 身管

迫击炮膛压低，管壁薄。如 PP89 式 60mm 迫击炮的身管，最大壁厚（以螺纹中径算最大外径）只有 3.38mm。为了改善身管散热和提高持续射击能力，其身管外表面呈螺纹形。

为了方便装填炮弹，滑膛身管内膛的炮口部有一内锥形面。身管尾部以螺纹与炮尾连接。身管中部联结炮箍环。

身管外刻有校瞄用的白标线，白标线在装配时用来校正瞄准镜的零位零线，以及火炮维修后的校瞄；中小口径迫击炮实施简便射击时，用此线目测赋予射向；便携式迫击炮也是用白标线赋予射向的，有的便携式迫击炮不刻白标线。

小口径迫击炮炮箍环上方连接胶木提把，用以提炮。提把是可折叠式的，行军时可转到与炮身平行的位置上，以利人背肩扛。

(2) 炮尾

炮尾用来连接身管与座钣并容纳发火装置，以螺纹与身管连接，炮尾的尾球与座钣驻臼连接。

双腿架式迫击炮的炮尾与身管和座钣的连接情况如图 4-3-5 所示。

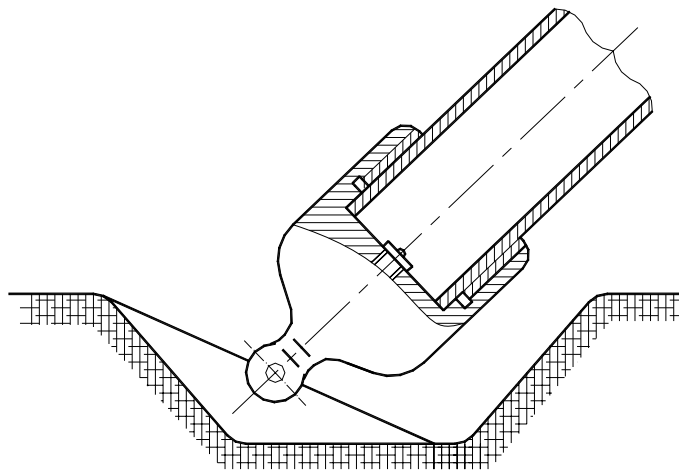


图 4-3-5 炮尾与身管和座钣的连接

炮尾的外形和尺寸决定于它与身管、座钣的连接条件和安装在炮尾内的各机构，决定于炮膛合力和炮尾材料的比例极限。

(3) 击发装置

迫击炮是通过击针撞击底火引燃发射药发射的，一旦击发机构失灵，将贻误战机或造成意外伤亡事故。因此，击发机构是迫击炮的关键零部件之一，要求击发动作确实可靠、经久耐用。

一般小口径（82mm 以下）迫击炮多采用固定式击针进行迫发射击。固定式击针用螺纹与炮尾连接，如图 4-3-6 所示。该装置故障少，使用、维护、保养方便，如遇瞎火，只能采取倒弹处理。我国研制生产的 60mm 迫击炮和部分 82（81）mm 迫击炮采用的是固定式击针。

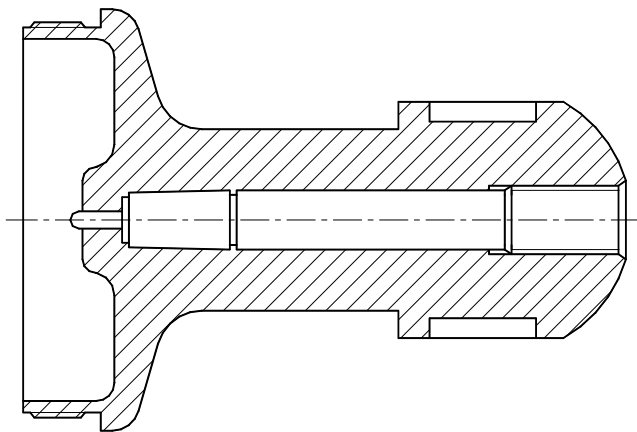


图 4-3-6 后装式固定击针与炮尾的连接

中大口径（82mm 以上）迫击炮多采用“拉”、“迫”发两用的击发机构进行“拉发”或“迫发”射击。该击发机构一般由活动式击针机、击发机和拉迫发转换机组成。典型的是 1971 年式 100mm 迫击炮的击发机构，如图所示，图 4-3-7 是击发机的拉发状态，图 4-3-8 是击发机的迫发状态。

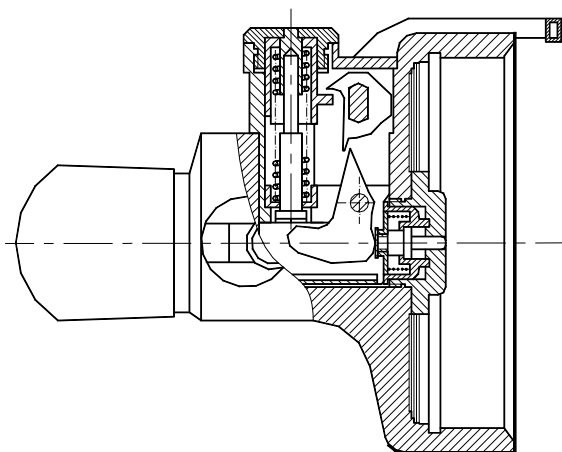


图 4-3-7 1971 年式 100mm 击发机拉发状态

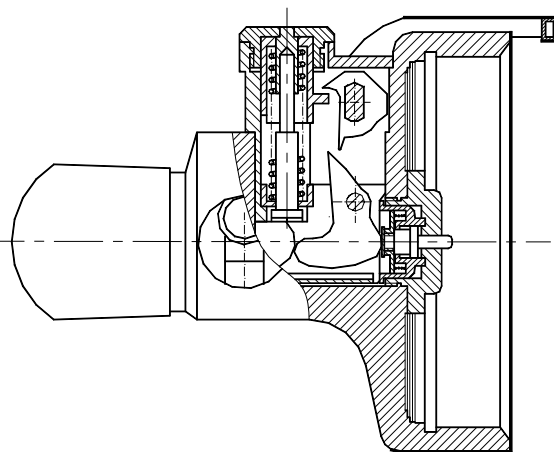


图 4-3-8 1971 年式 100mm 击发机迫发状态

击发机是由击发机体、击锤簧、击锤等组成。装配后，形成一个单独组件，一般情况下不进行分解。

拉迫发转换机由转换轴和转换柄等组成。转换轴中间一段是半圆柱面。在炮尾上刻有“拉”、“迫”、“取”三个位置标志。

拉发射击前，需要拔出驻栓帽，将转换柄沿顺时针方向转至炮尾上的“拉”字位置。此时，转换轴半圆柱面的平面部分向上对向击锤杆，击锤便可绕击锤轴转动，呈拉发状态。拉火时，拨爪随拉火柄一起转动，此时，拨爪的上齿带动上套筒向下压缩击锤簧；拨爪的下齿拨动击锤，推动击杆和下套筒，向上压缩击锤簧。当拉火柄转到一定位置时，拨爪的下齿与击锤脱离啮合，在击锤簧的作用下击锤迅速转动，并锤击击针尾部，使击针向上，撞击底火击发。击发后，抬起拉火柄，上套筒在击锤簧的作用下向上运动，使拨爪和拉柄回到原位。

迫发射击前，要拔出驻栓帽，将转换柄沿顺时针方向转至“迫”字位置。此时，转换轴半圆柱面的圆弧面向前顶着击锤。由击锤顶住击针，使击针尖突出于击针机盖，构成迫发状态。

拉迫兼用击发机构的击针机运动间隙处易被高温、高压、高速的火药燃气冲刷、烧蚀，或被尘土、火药残渣等堵塞而卡滞失灵。

为此，W86 式 120mm 迫击炮采用了胀胎式击针机，如图 4-3-9 所示。

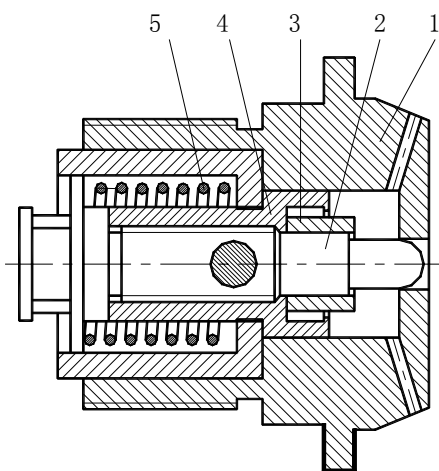


图 4-3-9 W86 式 120mm 迫击炮的胀胎式击针机

1-击针机盖 2-击针 3-衬套 4-胀胎 5-回针簧

胀胎式击针机利用火药燃气压力使胀胎径向弹性变形，堵塞了火药燃气外泄通道，从而

防止了火药燃气对击针机的冲刷和烧蚀。胀胎式击针机的使用效果较好，也推广应用于 PP89 式 100mm 迫击炮。

对于大口径迫击炮，一般采用后装填或中间装填，无拉迫发转换机构，只能拉发射击。

(4) 防重装保险器

在激烈的战斗中，迫击炮常以较高的速度发射，并且战场上火光冲天，爆炸声此起彼伏，战士在疲劳和紧张的条件作战对发射声难以分辨，而又机械式的进行快速装填，所以，由于瞎火、迟发火等各种原因常会造成二次装弹（重装弹）现象。故障发生后，轻则影响正常的发射速度，贻误战机；严重时会发生膛炸，炮毁人亡。

防重装保险器就是为了防止出现二次装弹现象而设置的。目前，出现了机械式、电磁式和光电式防重装保险器。

机械式重装保险器是利用发射炮弹的火药燃气的压力或运动的弹丸前面的气流压力或炮身加速后坐产生的惯性力来驱动保险机构工作，以实施允许或阻止下一发炮弹的装填。主要有下面几种形式：

1) 利用炮身加速后坐产生的惯性力来实现机构的动作，原理上是可行的，但由土壤性质及迫击炮装药范围变化较大，从而使炮身的后坐加速度亦在较大范围内变化，给保险机构的设计与动作的可靠实施带来较大的困难。

2) 利用运动的弹丸前面的气体冲开挡弹片的重装保险器，要求在任何装药发射的情况下，弹前气体的压力均能开启挡弹片，确保弹丸的正常发射。其结构见图。杠杆与挡弹片由挡弹片轴连接，装弹时，弹尾压杠杆使杠杆与挡弹片转动 30° ，挡弹片就可阻止第二发弹入膛，杠杆在转动的同时在扭簧的作用下向侧方移动并卡于保险器身的凸起内，发射后，挡弹片与杠杆又恢复原位。如图 4-3-10 所示。

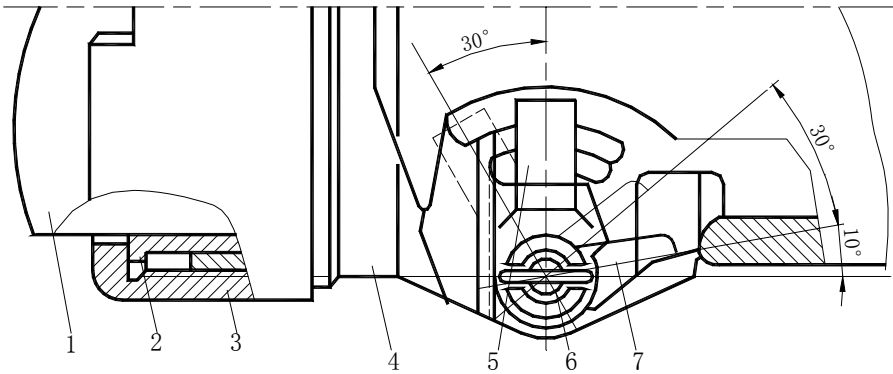


图 4-3-10 机械式防重装保险器

1-身管 2-夹圈 3-连接螺帽 4-保险器体 5-杠杆 6-挡弹片轴 7-挡弹片

3) 利用发射弹丸的火药燃气压力的重装保险器，要求小号装药低膛压也能及时准确地开启保险机构，而在大号装药高膛压下机构又不会损坏，以及导气管与气孔的锈蚀、堵塞等问题。

机械式防重装保险器优点是可自动阻止炮弹的重装，不足之处是机构工作的可靠性差。

光电式重装保险显示器是利用光电信号显示膛内有无弹丸的一种重装弹显示装置。分为两类：一类由光电转换装置和显示器组成，光电转换装置安装在炮口上，用导线与指示器连接；另一类是由触发电源开关和显示器组成，触发电源开关安放在炮身上。该重装保险器的优点是对迫击炮结构不进行大的改动，不影响迫击炮原主要性能（射程、精度等）。不足之处是需要随时观察显示器再来控制装填，在激烈的战斗中很难保证不出现失误。因此，其可靠性仍难于保证。此外，电子器件不宜在高温、高压、冲击震动的环境下工作，否则寿命降低，可靠性亦受影响。

我国工作者采用电磁感应原理，先后研制出三代电磁式重装显示器。第一代是应用传感器检测，采用发光二极管显示报警的重装显示器，由于该方案改变了击针结构，因而难于实现。第二代显示器是用电磁感应原理在炮身外部实施对膛内有无炮弹的检测，研制出用灯光和蜂鸣报警的重装显示器，缺点是不能实现炮弹卡在炮膛任意位置上均能报警。第三代重装报警显示器可解决炮弹滞留在膛内任意位置上的报警。

2. 炮架

迫击炮炮架一般由方向机、高低机、缓冲机、概略水平调整机及托架组成。托架用来安装方向机、瞄准镜固定器，连接缓冲机和承托炮身。

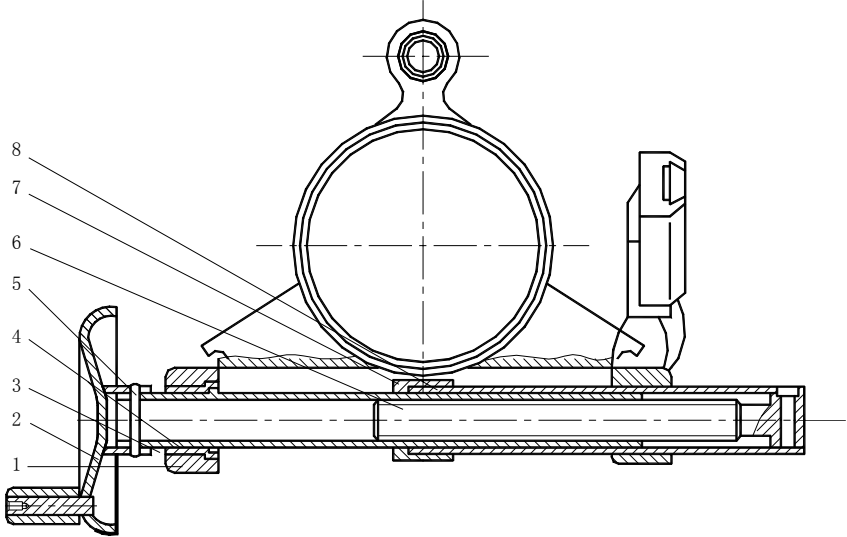


图 4-3-11 PP89 式 60mm 迫击炮方向机

1-托架 2-手轮 3-中筒 4-耳套 5-销 6-螺杆 7-方向螺母 8-外筒

(1) 方向机

方向机用以赋予火炮射击时的方向角。

图 4-3-11 是 PP89 式 60mm 迫击炮的方向机，由炮箍、方向手轮、方向螺杆、中筒、外筒、方向螺母等零件组成。

转动手轮，中筒随之转动，中筒的深孔内螺纹迫使螺杆作直线运动；螺杆与外筒销接，外筒端部结合有方向螺母（它和高低机中筒固接）。所以，在阵地上架炮后，外筒和螺杆是不能移动的；手轮转动时是筒带着托架在螺杆上作往复直线运动，由于身管套在托架的炮箍中，从而给火炮赋予了方向角。

炮箍是一个结构复杂的精密铸造铸钢件。其下部结构是托架，内部安装方向机；其上部安装缓冲机管；其左侧为瞄准具插座。

当炮架不动时，射角 45° 时的方向角为 $\pm 3.5^\circ$ 。

(2) 高低机

高低机用以精确地赋予火炮射角。

图 4-3-12 是 PP89 式 60mm 迫击炮的高低机，由外筒、中筒、螺杆等组成。

摇动高低机手轮，通过一对圆锥齿轮带转长螺杆，中筒下端的内螺纹和螺杆啮合，中筒上端固连在方向螺母上，此螺母又连在方向机外筒上，因此高低机中筒是无法转动的。所以，高低机螺杆的旋转，将推动中筒作往复直线运动，赋予射角。

牙包上部与概略调平机的连杆相铰接。外筒中部有双腿架的转动叉轴，其上有螺盖和套筒，作为中筒的上导向。

(3) 缓冲机

缓冲机是使迫击炮炮身和炮架弹性连接，减小炮身后坐和复进时对炮架的作用力，避免刚性撞击的重要部件。

1) 缓冲机的作用

缓冲机是炮身和炮架之间的弹性缓冲构件，如图 4-3-13 所示。其作用是：

①发射时，在炮弹飞出炮口以前，允许炮身和炮架之间的相对位移，保证炮身能沿着射角所定的炮膛轴线方向后坐，以提高射击密集度；

②发射时，在火炮后坐和复进的过程中，使后坐部分对炮架不产生刚性冲击，以减小作用在炮架和瞄准镜上的力；

③发射后，保证炮身和炮架能静止在一个确定的相对位置上，以提高发射速度和射击密集度。如图 4-3-14 所示。

2) 设计缓冲机的基本要求

① 能在全部射角范围内可靠地消除随遇平衡；

随遇平衡即缓冲杆相对于缓冲机筒没有一个确定的位置，可以平衡在某一随遇的区间内。迫击炮发射时，炮身通过炮箍带动缓冲机筒一起后坐，缓冲杆和双腿架由于惯性基本未动，后坐缓冲簧压缩。在炮弹飞出炮口后，炮架将向后坐方向回转。后坐之后，在土壤弹性恢复力的作用下，炮身和座钣开始复进，后坐弹簧伸张，接着复进缓冲簧压缩，双腿架向复进方向回转。复进到位后，缓冲杆和双腿架做几次阻尼振动。在振动过程中，缓冲杆所受摩擦力的方向在不断变化，导致了平衡（静止）时的缓冲簧的受力的不一致，相应地，在每次发射后炮尾尾球到缓冲杆的长度是可以变动的，从而出现随遇平衡问题。随遇平衡问题将引起迫击炮射击时的射角的变化，影响射击精度。

② 总体布置合理，以提高火炮的射击密集度；

③ 缓冲性能良好，在各种不同的发射阵地上有足够的缓冲行程，后坐缓冲簧和复进缓冲簧不产生刚性撞击；

④ 缓冲簧有良好的疲劳寿命和保持弹簧力稳定的性能；

⑤ 缓冲机工作灵活、可靠，结构简单、紧凑，活动零件的耐磨性好；

⑥ 工艺性好，装配和维修方便；

⑦ 满足急行军的要求；

⑧ 口径 100mm 以下的迫击炮，其缓冲机的配置不能妨碍中小口径迫击炮简便射击的操炮动作，不允许夹伤战士的手和炮身后坐时砸伤战士的膝部。

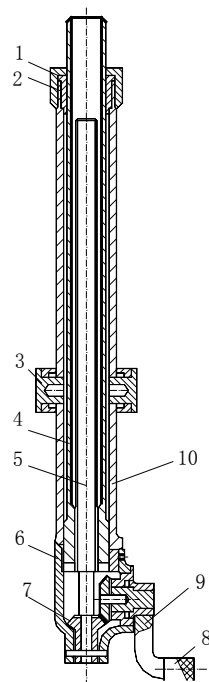


图 4-3-12 PP89 式 60mm 迫击炮高低机

1-螺盖 2-套筒 3-转动叉轴 4-中筒
5-螺杆 6-牙包 7-锥齿轮 8-手轮
9-大锥齿轮 10-外筒

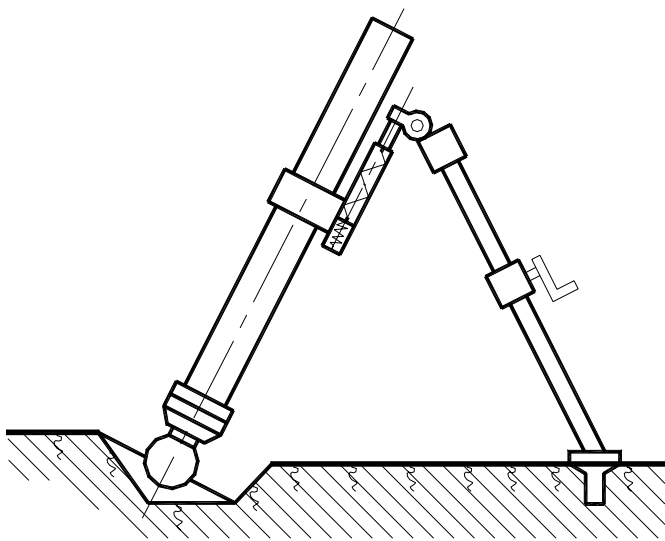


图 4-3-13 炮身和炮架的弹性连接

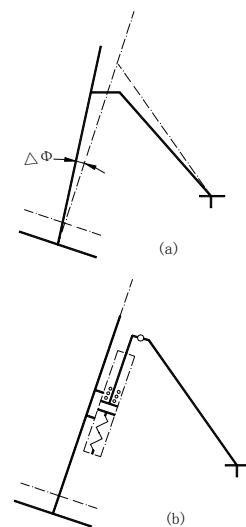


图 4-3-14 缓冲机的作用原理
(a) 刚性连接 (b) 弹性连接

3) 缓冲机的结构和特点

① 短杆双簧式缓冲机

1953 年式 82mm 迫击炮采用了这种缓冲机。其缓冲筒固定在炮箍上，发射时缓冲筒随炮身一起后坐。如图 4-3-15 所示。

这种缓冲机的优点是：结构简单，缓冲比较平稳，防尘性能好。缺点是存在随遇平衡的问题。

后坐时，复进缓冲簧伸张，这对复进缓冲的平稳是有利的。但是，为了减小随遇平衡范围，复进缓冲簧的刚度设计得很大，这对复进缓冲的平稳又是不利的。后坐时，缓冲杆两个导向面之间的距离越来越小，导向性能也不够好。

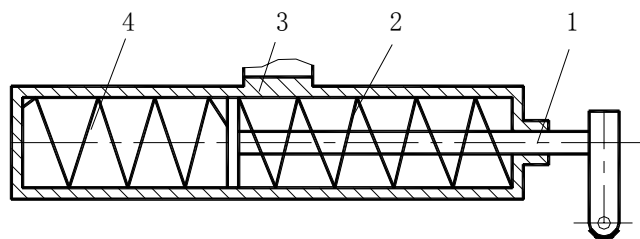


图 4-3-15 短杆双簧式缓冲机

1-缓冲杆 2-后坐缓冲簧 3-缓冲筒 4-复进缓冲簧

② 改良短杆双簧式缓冲机

PP89 式 60mm 迫击炮上采用了这种结构的缓冲机，见图 4-3-16。其缓冲杆连在与身管螺纹连接的炮箍环上，发射时随炮身一起后坐，称之为杆后坐。

复进缓冲簧由一活动垫片固定压缩在缓冲筒内，当两根弹簧力的初压力值满足了能确实消除随遇平衡的要求后，就可以消除随遇平衡。

这种缓冲机的优点是：结构简单，防尘性能好，能消除随遇平衡。缺点是：后坐时只有后坐缓冲簧起缓冲作用，复进时只有复进缓冲簧起缓冲作用，因此，其纵向结构尺寸较长；后坐时，导向性能也不够好。

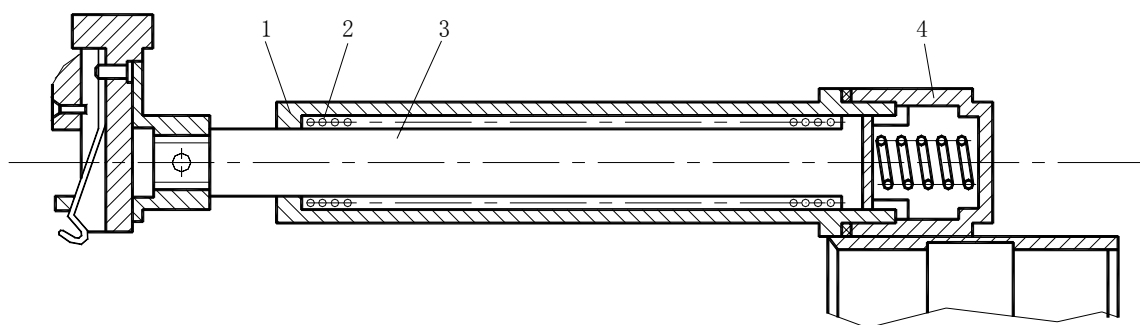


图 4-3-16 改良短杆双簧式缓冲机

1-缓冲筒 2-后坐缓冲簧 3-缓冲杆 4-端盖

③ 并联式改良短杆双簧式缓冲机

我国的 63-1 式 60mm 迫击炮采用了这种缓冲机。如图 4-3-17 所示。其后坐缓冲簧、复进缓冲簧均为固定压缩，当弹簧初压力值足够大时，就可以消除随遇平衡。

炮身带着缓冲杆后坐时，只有后坐缓冲簧受压缩，小缓冲簧长度不变。万一在松软土上仓促架炮（如遭遇战时），首发射击时后坐量一定很大，活塞筒的端面将与橡皮垫产生弹性撞击，这时后坐缓冲簧尚未固合，避免了刚性撞击。

复进时，大缓冲簧和小缓冲簧并联工作。活塞筒的内腔是一个密闭的气缸，复进时筒内空气被压缩也起了一定的缓冲作用，可避免复进过猛时产生刚性撞击。

本缓冲机的优点是：由于后坐缓冲簧和小弹簧并联布置，缓冲机纵向尺寸较小；可消除随遇平衡和避免后坐、复进过程中产生刚性撞击。缺点是：结构复杂，零件多；由于大弹簧套着小弹簧，所以缓冲筒较粗（横向尺寸大）。

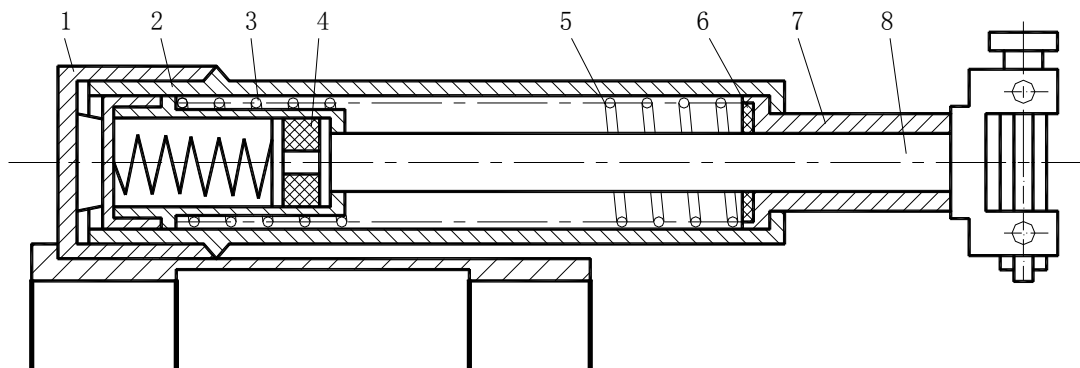


图 4-3-17 并联式改良短杆双簧式缓冲机

1-垫片 2-活塞筒 3-复进缓冲簧 4-密封圈 5-后坐缓冲簧 6-橡皮垫 7-压套 8-缓冲杆

④ 改良长杆双簧式缓冲机

这种缓冲机的复进缓冲簧固定压缩在缓冲杆上，后坐时大、小弹簧串联工作，因此，在后坐缓冲行程的长度相同时，其纵向的结构尺寸较小。如图 4-3-18 所示。

其优点是：后坐过程中，导向基线的大小不变，导向性能好；结构简单；可消除随遇平衡；缓冲机筒的纵向尺寸小。缺点是：后坐时复进缓冲簧不伸张，复进缓冲不够平稳。

1967 年式 82mm 迫击炮采用了这种缓冲机。

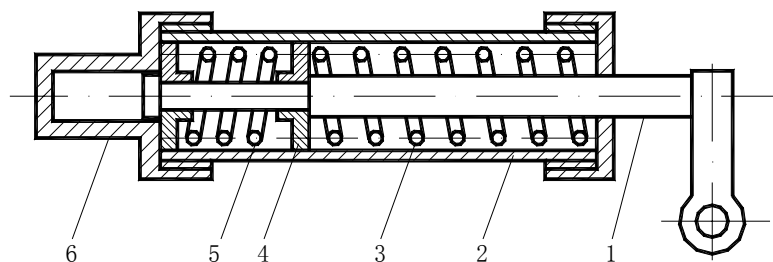


图 4-3-18 改良长杆双簧式缓冲机

1—环冲机 2—缓冲筒 3—后坐缓冲簧 4—活动簧座 5—复进缓冲簧 6—护罩

⑤ 带别氏簧的改良长杆双簧式缓冲机

1964 年式 120mm 迫击炮采用了这种缓冲机，见图 4-3-19 a)。1971 年式 100mm 迫击炮也采用了这种结构的缓冲机，见图 4-3-19 b)。

图 4-3-19 a) 的缓冲机，在缓冲筒的前端装有 28 片别氏簧。当松软土上用大号装药首发射击时，万一后坐量过大，在串联弹簧的簧圈产生刚性撞击前，缓冲杆中部的凸起与上垫片相撞，由别氏簧的变形吸收了撞击能量，防止了弹簧的刚性撞击。其复进缓冲簧固定压缩在缓冲杆上，当两根弹簧的初压力满足一定值时，即可消除随遇平衡。此外，它是用缓冲筒内表面导向的，因此缓冲杆的纵向尺寸大大减小，用一个很小的护罩就把缓冲杆保护得很好，防尘性能良好。

这种缓冲机的缺点是：结构较复杂，别氏簧数量太多，给生产、装配、维修、保养带来了诸多不便；缓冲筒内表面加工精度、表面粗糙度也要求较高。

如果设计时要求这种缓冲机在复进过于强烈时，复进缓冲簧不产生刚性撞击，只要图中的尺寸等于复进缓冲行程即可。这样，在复进缓冲簧产生刚性撞击前，托架已和活动轴承的端部相撞，别氏簧变形，吸收了撞击能量。

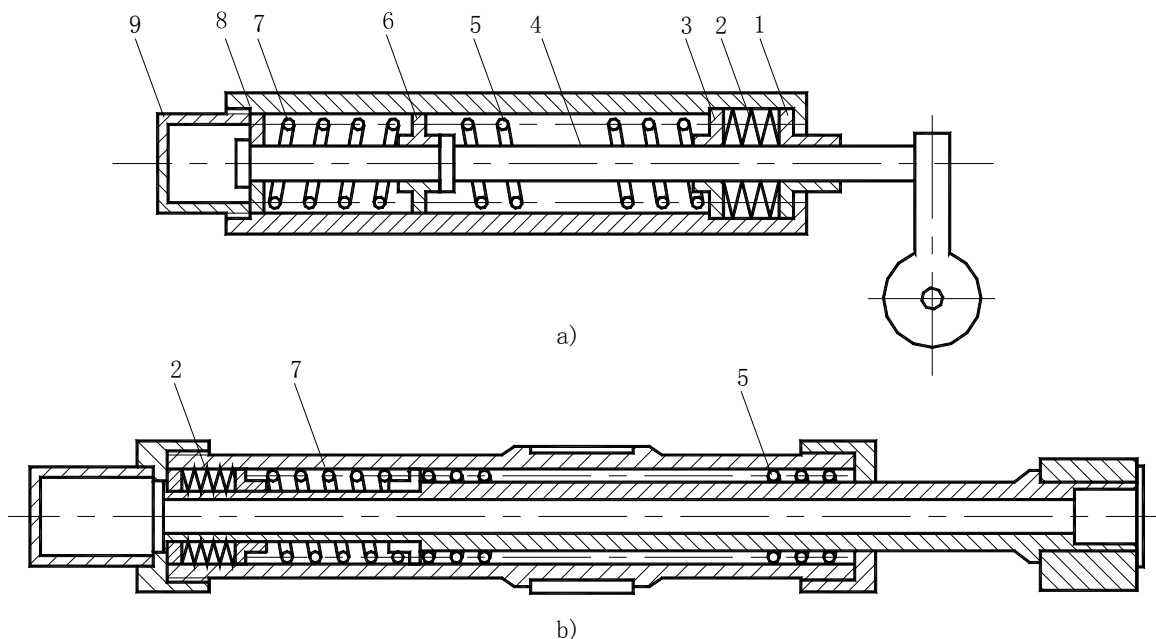


图 4-3-19 带别氏簧的改良长杆双簧式缓冲机

1—活塞套 2—别氏簧 3—上簧座 4—缓冲杆 5—活塞缓冲杆

6—中间簧座 7—复进缓冲簧 8—垫片 9—护罩

图 4-3-19 b) 的缓冲机，在缓冲杆的后端装了 37 片别氏簧。它也是筒后坐的，后坐时大、小弹簧串联工作。当后坐过于猛烈，两根弹簧刚性撞击时，别氏簧起了缓冲作用，防止

了弹簧的断裂、失效和瞄准镜的损坏。

由于别氏簧的刚度比缓冲簧大得多，因此，复进缓冲时，只有复进缓冲簧固合（撞击）时，别氏簧才起缓冲作用。

⑥ 单簧式缓冲机

我国 W76 式 140mm 迫击炮采用了这种缓冲机，如图 4-3-20 所示。由于缓冲杆未贯穿筒底故也称为短杆单簧式缓冲机。它是筒后坐的，后坐和复进时由同一根弹簧起缓冲。

其优点是：结构简单，防尘性能好，可消除随遇平衡；由于后坐缓冲行程，复进缓冲行程靠一根弹簧提供。因此，其纵向结构尺寸较小。缺点是：后坐时，缓冲杆的两导向面距离越来越小，影响导向性能。

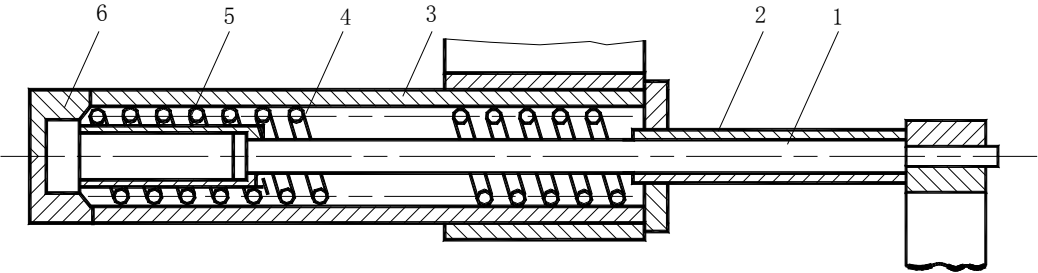


图 4-3-20 单簧式缓冲机

1-缓冲杆 2-压套 3-缓冲套 4-缓冲簧 5-定位套 6-端盖

⑦ 气压式缓冲机

气压缓冲机以气压缓冲代替复进缓冲簧缓冲，其结构如图 4-3-21 所示。

由图可见，它只有一根后坐缓冲簧。后坐时，缓冲杆拉活塞皮碗向后运动，后坐缓冲簧压缩，活塞左方的缓冲筒空间加大，气压降低，外部的空气经橡胶缓冲垫上的小孔进入活塞腔内；复进时，活塞压缩活塞腔内的空气，气压升高，橡胶缓冲垫被挤压变形，其上的小孔受挤孔径变小。复进速度越大，孔径越小，复进缓冲的阻力越高。因此，活塞腔相当于刚度自动调节的复进缓冲簧。活塞复进到位后的剩余能量，由橡胶缓冲垫缓冲。这种缓冲机在尘土飞扬的环境中工作，易吸入砂尘，活塞筒和活塞易磨损，摩擦阻力会增大。

美国 T62 式 81mm 迫击炮采用了气压式缓冲机。

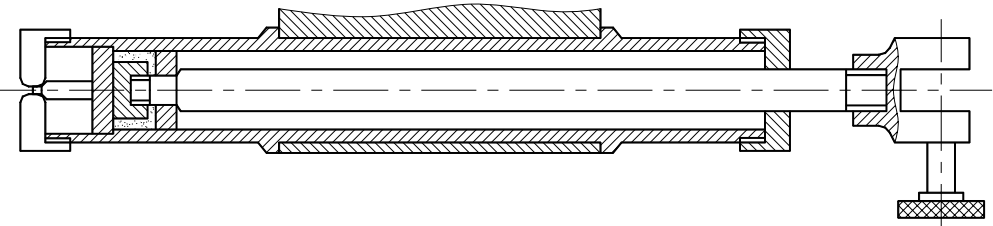


图 4-3-21 气压缓冲机

⑧ 固定杆式缓冲机

1956 年式 160mm 迫击炮采用了这种缓冲机，见图 4-3-22。它是杆后坐的。

由图可见，它的复进缓冲簧固定压缩在杆上，当两根弹簧的初压力满足一定值时，即可消除随遇平衡范围，而且结构简单，紧凑，工艺性好。缺点是缓冲杆、缓冲簧暴露在空气中，防尘性能差。

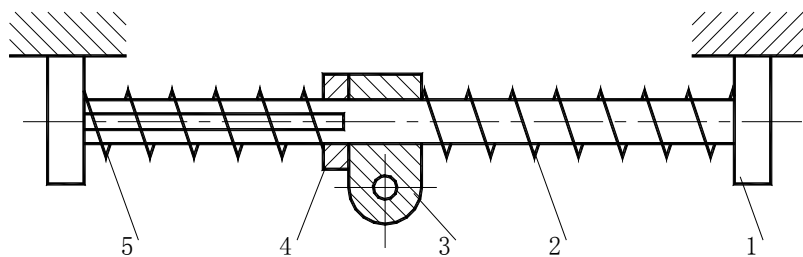


图 4-3-22 固定杆式缓冲机

1-缓冲杆 2-后坐缓冲簧 3-托架 4-活动垫片 5-复进缓冲簧

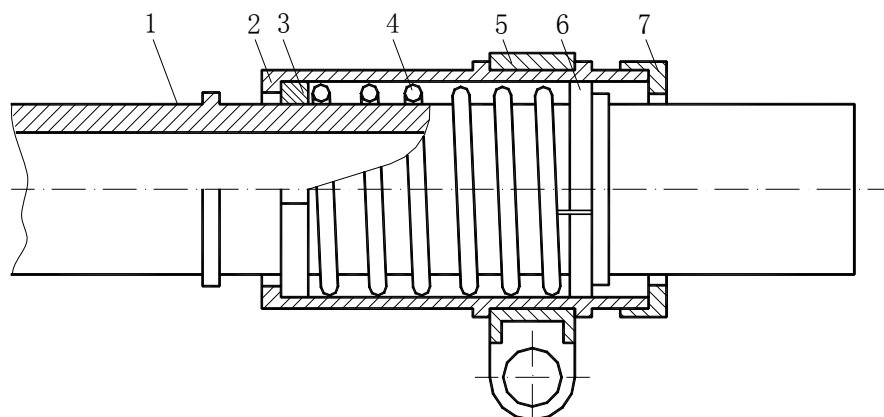


图 4-3-23 套筒式缓冲机

1-身管 2-套筒 3-滑套 4-缓冲簧 5-炮箍 6-滑套 7-螺盖

⑨ 套筒式缓冲机

PP93 式远射程 60mm 迫击炮上采用了这种缓冲机，如图 4-3-23 所示。

套筒式缓冲机的缓冲簧套在身管上，缓冲筒又套在弹簧的外面，身管起了缓冲杆的作用。后坐缓冲和复进缓冲均由一根弹簧完成。后坐时，身管上的凸肩带动前定位环压缩缓冲簧；复进时，身管上的后凸肩带动后定位环压缩缓冲簧。

这种缓冲机的缓冲簧力作用在炮膛轴线上，有利于减小炮弹飞出炮口以前身管的回转运动，对提高射弹密集度有所裨益，而且结构简单、零件少、维护保养方便。缺点是：炮身的横向尺寸较大。

总结以上各类型缓冲机，其结构特点见表 4-3-1。

表 4-3-1 几种缓冲机的结构特点

序号	类型	结构特点
1	短杆双簧式缓冲机	射击时，缓冲筒随炮身后坐，后坐缓冲簧压缩，复进簧放松，结构简单，复进比较平稳，缺点是不能消除随遇平衡问题。
2	改良短杆双簧式缓冲机	射击时，缓冲杆随炮身后坐，后坐和复进弹簧分别起作用，复进簧被固定压缩，可以消除随遇平衡问题，但结构较长，复进缓冲不够平稳。
3	并联式改良短杆双簧式缓冲机	后坐和复进弹簧均被固定压缩，可以消除随遇平衡问题，活塞筒内有一密闭气缸，可以避免复进刚性撞击，缺点是结构复杂。
4	改良长杆双簧式缓冲机	后坐和复进弹簧均被固定压缩在缓冲杆上，可以消除随遇平衡问题，后坐时两簧串联工作，能较好的满足后坐行程要求，复进时仅复进簧其缓冲作用。
5	带别氏簧的改良长杆双簧式缓冲机	与长杆双簧式缓冲机相同，增加一组碟片簧，当后坐缓冲簧固合时，由碟片簧起缓冲作用，缓冲簧外露，防尘性差。
6	单簧式缓冲机	同一根弹簧起后坐和复进缓冲作用，结构简单，有良好的防尘性能，可以消除随遇平衡问题，后坐缓冲平稳，有利于提高射击精度。
7	气压式缓冲机	只有一根后坐缓冲簧，气压缓冲代替复进缓冲簧缓冲，易吸入砂尘
8	固定杆式缓冲机	复进缓冲簧固定压缩在杆上，复进缓冲很平稳，结构简单，紧凑，工艺性好。缺点是缓冲杆和缓冲簧暴露在空气中，防尘性能差。
9	套筒式缓冲机	缓冲簧和缓冲筒均套在身管上，身管代替缓冲杆，弹簧力与炮身轴线重合，有利于提高射击精度，简化炮架结构，使用方便。炮身的横向尺寸较大。

（4）概略水平调整机

在发射阵地上架炮后，希望方向机螺杆的轴线是基本水平的。由于阵地本身不可能修成水平，因此架炮后方向螺杆有个初始倾斜角。概略水平调整就是用来修正阵地的不平度，把方向机螺杆轴线调整到概略水平状态。PP89 式 60mm 迫击炮的概略水平调整如图 4-3-24 所示。

连杆与左脚管由弹性夹头固定。它靠一根双头螺杆控制夹紧和放松。此螺杆一头是右旋螺纹，另一头是左旋螺纹。双头螺杆的转动用与它固联在一起的月牙形手柄操纵。

图 4-3-24 上是手柄使弹性夹头夹紧的位置，需要对方向机概略调平时，把手柄向外扳动即可，操作十分方便，动作确实可靠。而弹性夹头只是一个开口圆管，开口两侧安上左旋和右旋螺母。调平时弹性夹头在左架腿上往复滑动，时间长了必有磨损。为了调整夹紧力，弹性夹头上设计成二个棘齿轮的可调结构。弹性夹头本体的两支耳上有二小螺钉孔。棘齿轮放入支耳孔中的圆周方向定位，是用两个小螺钉拧入，卡住齿轮而实现的。棘齿轮内孔有螺纹，因此一个棘齿轮是左旋螺母，另一个棘齿轮是右旋螺母，双头螺杆与这二个螺母结合。

要调整夹紧力，可以松开小螺钉，转动棘齿轮。

通过概略水平调整机，方向机螺杆轴线是被概略调平了，但是插板式瞄准镜的横向水准气泡还是倾斜的。为了准确地赋予火炮的射角和方向角，必须把横向气泡调平，这就是精确

水平调整机的任务，如图 4-3-25 所示。

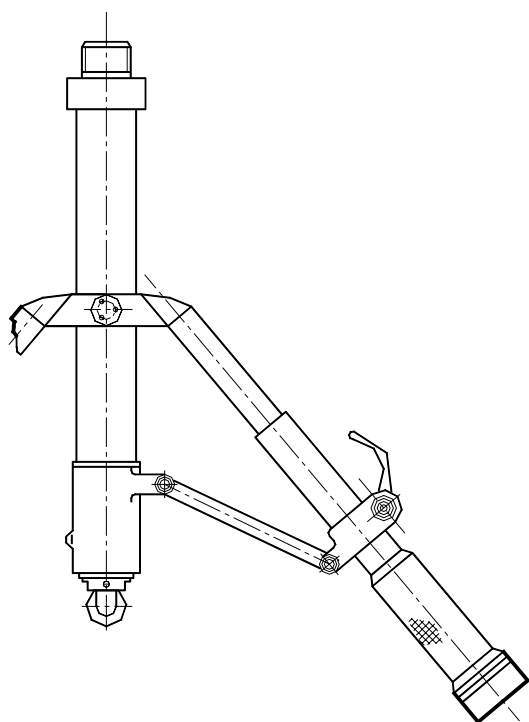


图 4-3-24 PP89 式 60mm 迫击炮的概略水平调整机

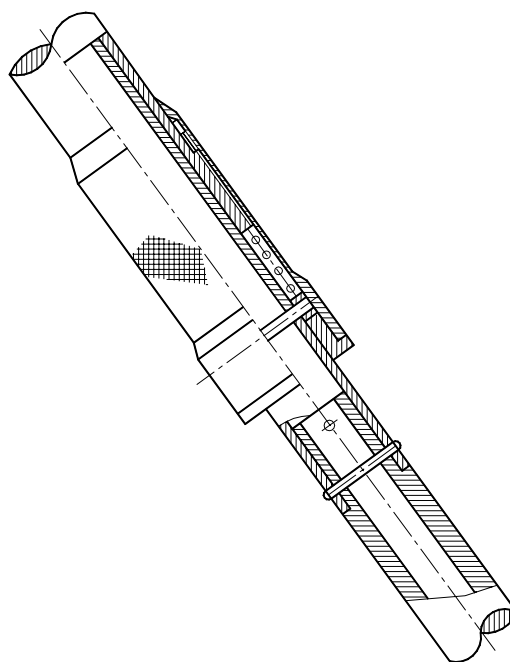


图 4-3-25 PP89 式 60mm 迫击炮的精确调平机

精确调平机上的螺环拧到螺套上以后，需点铆固定成一体。微调螺杆的内孔套在左脚管下，可上下滑动。此螺杆与螺套的内螺纹啮合，微调螺杆与定位环之间有一弹簧，用以消除精确水平高速机的空回量，使精确调平确实可靠。为了装配和维修的方便，本调平机下面的左脚管是可分解为两段的。

调平时，战士手握螺套，并旋转之，微调螺杆被概略水平调整机弹性夹头夹紧了，无法旋转。因此，螺套的旋转将推动微调螺杆沿着左脚管上下滑动，从而带动概略水平调整机的弹性夹头一起上下移动。这样，通过概略水平调整机的连杆，使高低机外筒左右摆动，于是方向机螺杆轴线被精确地调到了水平位置，瞄准镜横向水准气泡被精确地调平了。

3. 座钣

(1) 作用和要求

座钣是双腿架式迫击炮特有的重要部件。它和炮架一起把炮身支持在一确定的空间位置上。火炮后坐时，通过座钣压缩土壤，土壤受力后产生弹性变形和塑性变形，塑性变形消耗了火炮后坐的大部分能量，弹性变形的能量被土壤吸收存储，在复进过程中，土壤存储的弹性变形能量释放出来，从而推动迫击炮炮身复进。因此，可以说座钣相当于一个以土壤为工作介质的特殊的反后坐装置。

所以，座钣的主要作用是：通过控制土壤，保证迫击炮有良好的后坐稳定性和复进稳定性、良好的连续射击能力以及良好的射击精度和射击密集度。

对座钣的基本要求是：

- 1) 座钣必须有足够的强度和刚度；
- 2) 座钣的结构必须保证迫击炮有良好的后坐稳定性和复进稳定性；
- 3) 座钣必须有良好的勤务使用性能，构筑工事简便，进入战斗快，连续射击数十发后，应能迅速地从座钣坑中拉出座钣，且贴土面基本不带土，转移阵地快，在紧急情况下应能不构筑工事，平放在地面上射击；
- 4) 中小口径迫击炮的座钣在必要时可进行圆周射击；

5) 重量要轻, 工艺性要好。

为此, 设计了形形色色的座钣, 归纳起来, 主要有: 膜状座钣、拱形座钣、三角形座钣、梯形座钣、窗式座钣、V 型筋钣的圆形窗式座钣、W 型上翻边圆形窗式座钣、棱锥形座钣、圆锥形座钣和组合座钣等。

(2) 结构特点

1) 膜状座钣

膜状座钣是迫击炮座钣中最早出现的构形, 通常为长方形, 在冲压成型的矩形主钣的下面焊有一组片状的加强筋钣和驻锄, 结构十分简单, 如图 4-3-26 所示。

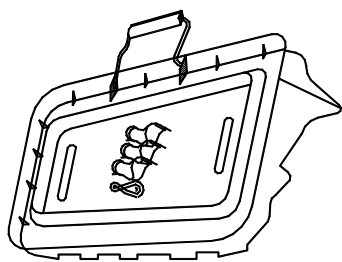


图 4-3-26 膜状座钣

为了加强座钣的刚度, 在矩形主钣上冲压有一些加强肋, 座钣边缘有加强翻边, 其驻白在主钣平面上方, 而且有三个驻白位置, 用以战斗中座钣出现大的转角时调整座钣的倾斜姿态。也有的座钣加强筋焊在正面。

膜状座钣的优点是结构简单、制造容易。缺点是: 刚度差; 转移阵地时蜂

窝状筋钣中的积土难以清除, 勤务性能差; 片状筋钣易破坏基土, 复进稳定性不良; 驻白通常都在主钣上方, 后坐稳定性也不够好。

1945 年以前设计的迫击炮, 很多是采用膜状座钣的。

2) 三角形座钣

三角形座钣的主钣是一块中央冲压有圆锥形盆的三角形钣, 周边有加强翻边; 主钣下面焊有三对尖劈状筋钣和加强筋, 起加强及驻锄的作用; 锥形盆的底圆中心焊有驻白, 形成一组封闭的箱形结构。见图 4-3-27。

其优点是: 复进稳定性特别好; 刚度好, 且近似地为一等强度板壳体, 材料使用合理;

射击后取出座钣和清除筋钣上的积土十分方便; 总体构形设计良好的三角形座钣后坐稳定性好; 工事构筑简便, 可以平放射击; 由于是等边三角形, 有的驻白上配有旋转体, 可 360° 圆周射击, 战术性能较好。

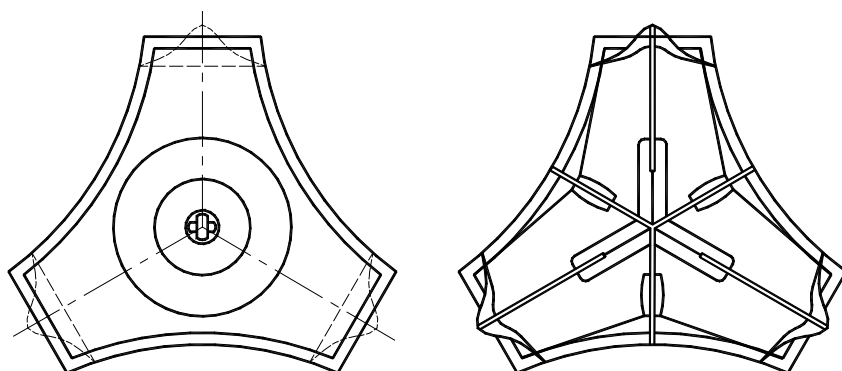


图 4-3-27 三角形座钣

3) 拱形座钣

拱形座钣的结构比较复杂, 如图 4-3-28 所示, 拱形座钣在主钣上冲压有五个很深的拱形凹坑, 拱形坑与拱形坑之间由尖劈状的圆弧凸棱相连, 棱脊上焊有片状驻筋, 座钣后方大拱形坑的两棱脊上焊有驻锄。在主钣正面五个拱形鼓包之间焊有盖钣, 构成几个封闭的箱形体, 在钣中心的深凹坑内焊有驻白垫钣和驻白。拱形座钣通常是圆形的。驻白中心在圆心的

前方，有个偏心距。如 1955 年式 120mm 迫击炮，偏心距为 48mm，驻臼中心低于主板上平面 174mm。

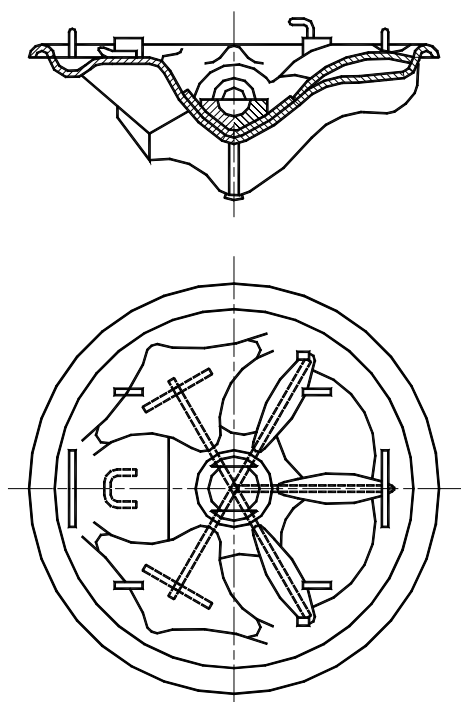


图 4-3-28 拱形座钣

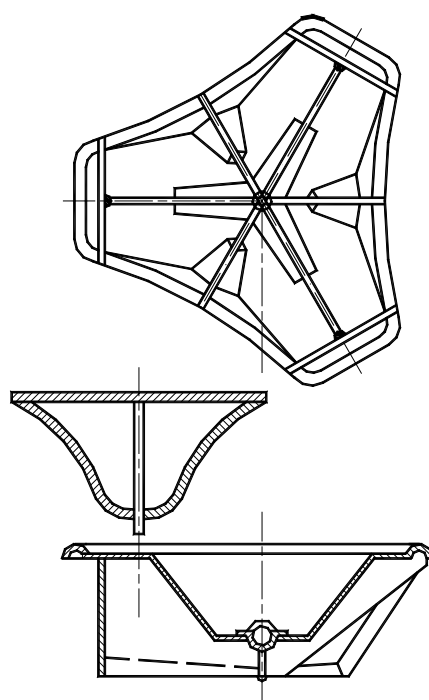


图 4-3-29 梯形座钣

发射时土壤紧紧地挤入五个拱形坑内，形成五个土包，有助于基土整体不受破坏；复进时尖劈状凸棱也能提供一定的摩擦阻力。但是其拱形坑附近土壤内的气体在高速后坐时难以排出，就象膜状座钣蜂窝腔附近土壤的空气难以排出一样，增大了座钣复进反跳的能量，所以复进稳定性较差。在干燥的含气丰富的土壤上射击时，基本上是每发射弹都要反跳，座钣难以得到稳定。

拱形座钣的优点是刚度好、转移阵地时清除积土方便，后坐稳定性较好。缺点是：制造复杂，主钣冲压需强大的压力机，大口径迫击炮座钣的生产尤为困难；复进稳定性较差；不能放下就打（平放在地面上射击），战斗时必须构筑座钣工事，而且工事的形状复杂；在水泥地等硬地面上是无法架炮射击的，勤务使用性能欠佳。

4) 梯形座钣

梯形座钣是我国 20 世纪 60 年代综合了三角形座钣和拱形座钣的优点设计的一种新结构座钣，我国的 1967 年式 82mm 迫击炮、1987 年式 82mm 迫击炮和 W76 式 140mm 迫击炮上广泛地采用了这种结构，如图 4-3-29 所示。

梯形座钣其主钣为一轮廓略成梯形的中间有锥形盆的薄钣，周边有加强翻边；锥形盆的中心焊有驻臼；贴土面的筋钣结构与三角形座钣类同。射击时宽而短的一角在前，稍狭而长的两角在后，驻臼中心偏在座钣正投影面的形心的前方。如 1971 年式 100mm 迫击炮，座钣正投影面积为 3800cm^2 ，驻臼中心的偏心距为 27.6mm。

后坐时，座钣贴土面的三组包筋把土壤挤向两侧，土壤沿包筋面向上流动，土层中的气体易于排出，基土层的土型不会被剪断，整体性好；复进时紧贴在包筋钣上的土壤能提供较大的摩擦阻力。由于驻臼在锥形盆的底部，因此其质心、形心和臼心的相对位置易于调整，所以梯形座钣射击稳定性好。

其优点和三角形座钣是一样的，后坐稳定性更易得到保证，但由于三个角不对称，无法进行圆周射击。缺点是：焊接装配时手工修磨的工作量大；当正投影面积相同时，它比圆形

座钣的轮廓尺寸大，不利于背运。

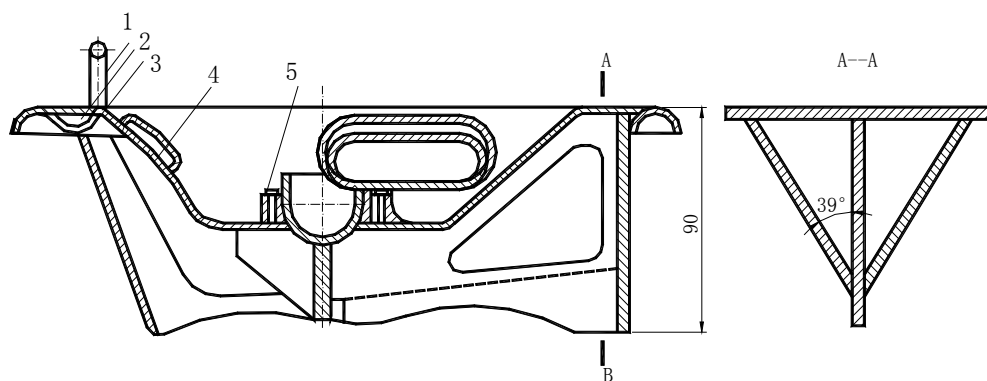
5) 窗式座钣

窗式座钣的主钣上开有几个通孔，发射时座钣下面的土壤可以从此孔中溢出。其锥形盆非常浅，驻臼中心略低于座钣上平面，贴土面有 4 片带一定锻模锥度的片筋和浅裙边，靠四支点可平放在地面上射击，也可进行圆周射击。发射时，座钣高速后坐，座钣下土壤内的气体从孔中迅速排出，所以复进稳定性好，但是其后坐稳定性欠佳。射击后取出座钣清除少量积土较方便。

英国 1961 年装备的 L1A1 式 81mm 迫击炮、美国 1970 年装备的 M29A1 式 81mm 迫击炮，奥地利为外贸研制的 M82/224 式 82mm 迫击炮上都采用了圆形窗式座钣。

6) V 型筋钣的圆形窗式座钣

座钣的主钣是一块中间冲压有深锥形坑的圆形薄钣，主钣边缘冲压有加强用的向下翻边，在锥形坑的底圆中心焊有驻臼。主钣下面焊有三组三角形座钣的 V 型包筋和起驻锄作用的梯形筋，组成 3 个封闭的箱形结构。包筋之间的主钣下平面上还焊有 3 个加强肋。驻臼旋转体可保证火炮实现 360° 的圆周射击。



1-提把 2-加强筋 3-主钣 4-窗边加强筋 5-驻臼旋转体

图 4-3-30 V 型筋钣的圆形窗式座钣

V 型筋钣窗式座钣的优点是：刚度好，基本做到了等强度设计，材料利用充分；后坐稳定性和复进稳定性均优良。后坐时座钣下方土壤中的气体受到高速压缩，3 个窗孔为气体提供了最短的排气通道，土壤紧紧地挤在包筋钣上，因此复进时土壤对包筋钣的摩擦阻力和附着力较大，所以射击稳定性特别好。如需紧急转移阵地，战士用手拉提把即可取出座钣，而且贴土面基本不带积土，转移阵地快，勤务性能好。

在紧急情况下，座钣能放下就打，平放在地面上射击，并可环 360° 的圆周射击，战术性能好。座钣的主钣是圆形锥钣，其冲模可在普通车床上加工，工艺性也好。

圆形座钣外廓尺寸小，背运面光滑，利于战士背运。

V 型筋钣的圆形窗式座钣应用于我国 PP89 式 60mm 迫击炮，如图 4-3-30 所示。

7) W 式上翻边圆形窗式座钣

从侧面看，这种座钣的筋钣的外形象英文的 W，如图 4-3-31 所示，所以在水泥地、石板、风化岩石表面和冻土上平放射击时，三支点离座钣中点的力臂短了，极大地减小了座钣的应力值。

一般座钣的主钣周边是向下翻边的，本座钣采用了上翻边的结构，为了提高翻边的刚度，在主钣上方焊了九个小蛤蟆筋。这种上翻边结构对座钣在卵石地面上的强度大为有益。连续射击时，座钣下沉，坚硬的卵石沿包筋、主钣和上翻边滑动。如果是向下的翻边，必将阻挡卵石的运动，造成主钣边缘的局部大变形和撕裂。这种座钣其它部分的结构和 V 型筋钣的窗式座钣是同类的。

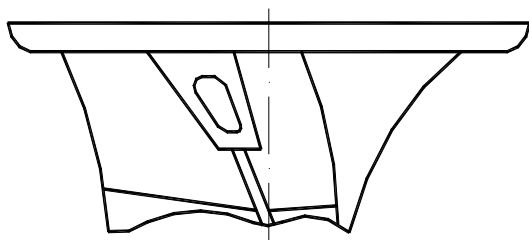


图 4-3-31 W 式上翻边圆形窗式座钣

W 式的构形使座钣有了更好的射击稳定性。其工事构筑十分简单，只需挖一倾角 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 的斜面即可。座钣平放在此斜面上，用最大号装药射击，第一发射弹即把座钣稳稳地扎入土中，且越打越稳定，3 发射弹后就基本不反跳了。连续射击数十发弹后，座钣已深陷入中硬土中，通常战士用单手即可从土中拉出座钣，且贴土面基本不带土，座钣下土壤保持了整体性，勤务性能好。

紧急情况下可平放射击，放下就打，并可行 360° 圆周射击，战术使用性能优良。

W 式上翻边圆形窗式座钣应用于我国 PP93 式远射程 60mm 迫击炮，如图 4-3-31 所示。

8) 棱锥形座钣

该座钣和土壤贴合的一面呈六棱锥形。六个棱锥面焊在支承筋之间，驻臼上方还焊有加强圆锥，形成了封闭的箱形结构。

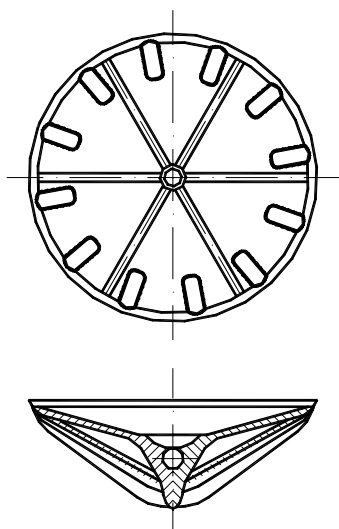


图 4-3-32 棱锥形座钣

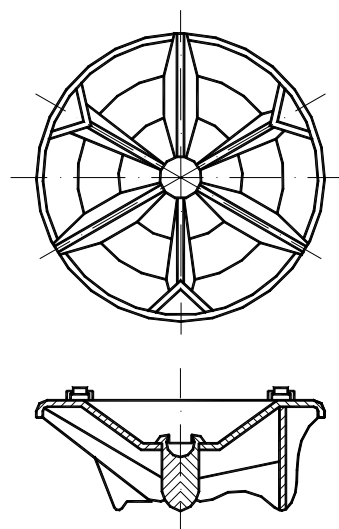


图 4-3-33 圆锥形座钣

其优点是：不需要大的冲压设备，制造简单；驻臼深陷在座钣上平面的下方，后坐稳定性良好；复进虽有反跳，但均能落回原座钣坑中，棱锥面保证了发射时炮身位置的稳定性，射击密集度良好。

经验表明，采用这种座钣的迫击炮，第一发射弹即可用所需要的装药发射，而不必先用小号装药稳炮，因为这种座钣即使在冻土上射击，也能迅速地稳定下来。但不能平放射击、放下就打，所以主要用于大口径迫击炮。如图 4-3-32 所示。

9) 圆锥形座钣

如图 4-3-33 所示，座钣圆形主钣的中央冲成圆锥盆形，主钣下方焊有 4~6 个尖劈状的筋钣，起加强及驻锄作用，锥盆底圆中心焊有驻臼。

这种座钣的优点是：工艺简单；可平放射击。缺点是：复进稳定性欠佳，基土易被破坏，虽然驻臼深陷在主钣上平面的下方，后坐稳定性也得不到保证。

10) 组合座钣

组合座钣就是把一个座钣分成几块小座钣，战斗时组合起来使用。它又可分为平面组合和立体组合两类，以解决背运的重量问题。美国 M29 式和 T62 式 81mm 迫击炮采用了平面组合座钣，座钣由内、外两圈组成。如图 4-3-34 所示。

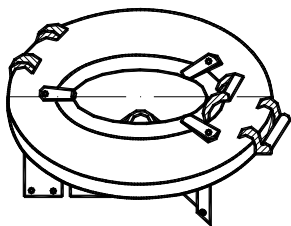


图 4-3-34 平面组合座钣

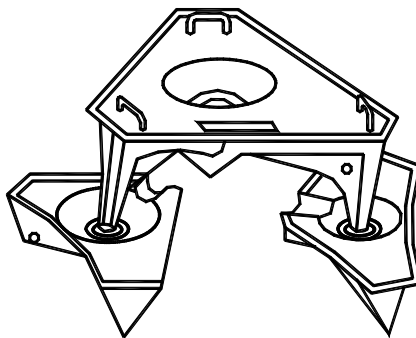


图 4-3-35 立体组合座钣

T62 式的座钣重 22.5kg，内圈重 11.5kg，外圈重 11kg，其目的是减轻座钣的单件重量，利于战士背运。其稳定性与圆锥形座钣相近。M29 式的分圈组合座钣，后改成了铝合金整体锻压座钣，仅重 11.36kg，其强度、刚度、工艺性能比分圈结构优越。

美国 M30 式 107mm 迫击炮也采用了分圈组合座钣。其内圈重 53kg，外圈重 46.4kg，全炮重 295kg，射程 5650m。

平面组合座钣结构复杂，刚强度差，稳定性水平也不高，只是其设计思想有可取之处。

1965 年我国在 120mm 迫击炮上采用了积木式立体组合座钣，如图 4-3-35 所示。座钣接土部分是 3 个小梯形座钣，上层的中心三角形座钣通过 3 个球铰与之组成一个完整的立体组合座钣。炮身的尾球安在中心钣的驻臼中。这种双层组合座钣进行了多次实弹射击，稳定性是好的，但中心钣的受力情况严峻。把一个座钣分成四块，主要是为了解决高原山地战斗中团属 120mm 迫击炮的背运问题。3 个接土的小梯形座钣，每个重 15kg，中心钣重 20kg，分解结合方便。

4. 瞄准装置

瞄准镜是用来装定射击诸元的，并与高低机、方向机相配合进行瞄准操作。通常由瞄准镜本体、镜头、方向分划装置和表尺分划装置等四部分所组成的，并配有夜间射击照明具。

目前，传统的瞄准装置正在或已经被先进的火控系统所取代，以实现精确打击和快速射击。

第二节 无后坐炮

无后坐炮是利用射击过程中火药燃气后喷或向后抛射平衡体来消除炮身后坐，使之达到基本平衡的火炮。主要作为直接火力支援的随伴火炮，可对坦克、步兵战车和装甲车辆射击，也可杀伤暴露的生动目标、摧毁轻型野战工事和兵器。

一、无后坐炮发展概况

早在 20 世纪 20 年代，就有人提出用没有炮闩的火炮进行射击，以达到炮身不后坐，改善炮架受力和减轻火炮重量的目的。当时美国人克莱藏·戴维斯发明了向前发射弹丸向后推出配重体的火炮并成为最早的无后坐炮。但这种结构火药耗量太大，且弹丸初速难以提高。

1936 年俄国公布了 76.2mm 带喷管的无后坐炮。采用带有喷孔的新型炮闩，经喷管后喷的气流流速有了显著提高，减少了火药消耗量，弹丸初速也得到提高。通过喷孔设计实现了发射系统的动量平衡。

第二次世界大战中，在德国才开始装备无后坐炮。同时发明了空心装药破甲弹，无后坐炮配用了这种初速要求低的破甲弹如虎添翼，得到广泛的装备和使用。

20 世纪 50 年代前后，美国先后研制有 57mm、75mm、90mm、106mm、120mm 和 155mm

口径系列无后坐炮。俄国先后研制了 82 和 107mm 口径系列及增程系列无后坐炮。

我国从 20 世纪 40 年代以来,先后制造和研制了 57mm、75mm 和 82mm 无后坐炮,以及 105mm 自行无后坐炮等。还包括以下几种无后坐炮。

(1) 1980 年式 95mm 无后坐炮

为减小无后坐炮的质量,1968 年开始研制了 95mm 无后坐炮,1979 年完成设计定型,命名为 1980 年式 95mm 无后坐炮。

(2) 无后坐炮

1959 年,开始研制了无后坐、无扩大药室的无后坐炮,后来改为 82mm 口径。1966 年完成工厂鉴定试验,但因多种原因而告终。

(3) 82mm 无后坐转膛炮

20 世纪 70 年代初研制了 82mm 无后坐转膛炮,利用导气式气缸实现连发,最大射速 16 发/min。由于装备问题难以解决,于 1976 年整理归档,作为储备产品。

(4) 1966 年式舰用双管 75mm 无后坐炮

1966 年式舰用双管 75mm 无后坐炮,由于批量太小,于 1970 年停产。

(5) 70mm 连发无后坐炮

1970 年开始研制了连发无后坐机关炮,技术指标要求自动装填且射速不小于 20 发/min。制成试验样炮后,终因技术指标脱离现实可能性,于 1972 年告终。

由于后喷火焰极易暴露自己而战场生存能力很低,且装甲目标防护能力显著提高,无后坐炮反坦克作用受到限制,发展变得迟缓,又由于制导技术的发展,在反坦克方面呈现出被更轻便的反坦克导弹代替的趋势。

火箭筒与无后坐炮都属于无后坐武器。火箭筒的筒身仅是火箭弹的导向装置,弹丸的运动动能靠火箭弹的火箭发动机提供。我国先后研制了 1956 年式、1956-1 式、1969 年式、1969-1 式 40mm 火箭筒,以及 57mm 防空火箭筒和 60mm 反坦克火箭筒。

国产新型 PF98 式 120mm 反坦克火箭筒于 1999 年装备部队,该武器系统是我国自行研制的新一代步兵反坦克武器,主要装备我军步兵作战分队,用于攻击敌坦克,装甲车辆,自行火炮,歼灭和压制敌暴露的有生力量及火器。

二、无后坐炮分类

1.按炮膛结构形式分类

(1) 线膛无后坐炮:身管内膛有膛线,大多发射旋转稳定弹,也可发射空气动力稳定弹。

(2) 滑膛无后坐炮:身管内膛无膛线,只发射空气动力稳定弹。

2.按配属关系分类

(1) 单兵无后坐炮:由一人操作使用,因此,炮弹药总质量要尽量轻。

(2) 连营无后坐炮:一般随伴步兵在前沿阵地作战,要求这种无后坐炮轻便、能由一人携带。

(3) 团属无后坐炮:用于支援步兵分队,在战斗中要伴随步兵转移,故要求质量轻、机动性好,通常应配备榴弹。其射程应能支援步兵。

(4) 师属无后坐炮:要求有较大的射程和威力,火炮质量可相对重,可采用牵引或自行的运动方式。

3.按射击方式分类

(1) 肩射无后坐炮:以肩部依托为主要射击方式的无后坐炮,要求后坐力小,有的无后坐炮并不以肩射作为主要射击方式,在仓促遭遇敌人时,也可以肩射实行简便射击。这种无后坐炮不是肩射炮,但有肩射性能。

(2) 架射无后坐炮:以炮架依托为主要射击方式的无后坐炮。这种无后坐炮的后坐力

虽较肩射炮为大，但必须保证火炮射击稳定性和炮架强度。

(3) 车载和自行无后坐炮：这种无后坐炮大多是大口径、大威力无后坐炮。这种无后坐炮可在车上射击，也可在地面上射击。

4.按装填方式分类

(1) 前装式无后坐炮：炮身无炮门，炮弹由炮身口部装填，大多用于发射超口径炮弹。这种炮弹战斗部直径不受炮膛直径的限制，能够适当地增大威力，但是由于炮弹较长，装填困难，影响发射速度。

(2) 后装式无后坐炮：炮弹从炮尾装填，装填方便迅速，对提高发射速度有利。

5.按性能和使用要求不同分类

(1) 迫无炮：又称曲平两用炮。这是兼有迫击炮和无后坐炮两种性能和两种战术用途的火炮，即同时具有弯曲弹道压制武器的性能和低伸弹道反坦克武器的性能。迫无炮可实现两种转换，即火炮内膛结构应满足发射两种炮弹，达到各自弹道性能要求和炮架结构应能满足曲射、平射的转换。

(2) 半无后坐炮：这是部分利用无后坐原理的火炮。这种无后坐炮的后坐力介于后膛炮和无后坐炮之间。目的是使火炮质量比一般后膛炮大大减小，同时也使后喷气体危害因素减小，此外还可提高射程。这种火炮利用控制喷管喷喉面积来控制后坐力的大小。半无后坐炮必要时也可采用反后坐装置或炮口装置。

(3) 高低压无后坐炮：其结构特点是火炮内膛具有高压室和低压室两部分。目的是提高火药利用率、提高初速，减小喷管烧蚀、改善内弹道稳定性以提高射击精度。

6.按消除炮身后坐方式分类

(1) 喷管型：火药燃气经半密闭药筒小孔流入药室（低压腔），推动弹丸运动，并从喷管喷出。其特点是膛压低，弹丸炸药量大、破甲威力高，炮身较轻；药筒内压力高，点火与燃烧好，初速稳定性好，但初速小。

(2) 戴维斯型：发射药置于身管中部，弹丸与其等重的配重体分别置于发射药前后。发射时，弹丸射向目标；配重体向后飞离炮管，散落地面。这类炮无喷管和炮门，后喷火焰小，火炮重量轻。

(3) 弓弩型：在弹丸、配重体与发射药之间分别置有一个活塞，发射时，燃气经活塞使弹丸和配重体飞离炮管，此时活塞被炮管两端的制动环卡住、燃气逐渐逸出炮管。发射时无焰、无光、噪声低。

三、无后坐原理

无后坐原理就是动量守恒定律在火炮上的具体应用。以喷管型无后坐炮为例，其无后坐原理如图 4-3-36 所示。

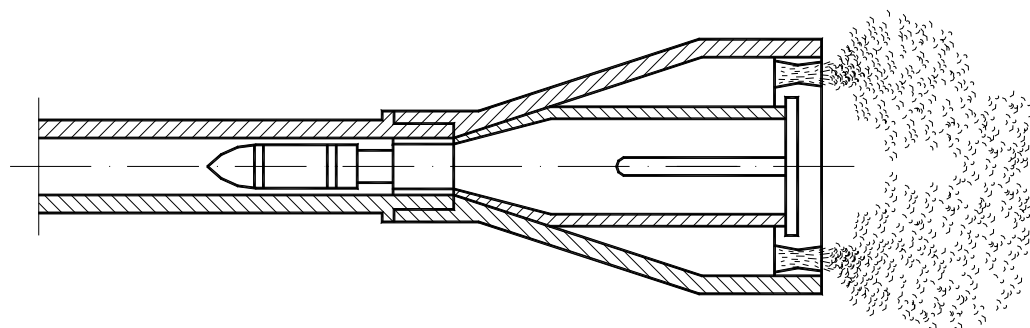


图 4-3-36 喷管型无后坐炮工作原理

发射前，炮身、弹丸、发射药等可看成是一组静止质点系，总动量为 0。

发射时，一部分火药燃气向前运动，并推动弹丸向前运动。设这部分火药燃气的动量为

$m_1 \dot{v}_1$ ，弹丸动量为 mv 。另一部分火药燃气经由无后坐炮的炮尾和闩体之间的喷管，向炮尾后方喷出，其动量为 $m_2 \dot{v}_2$ 。又设炮身后坐动量为 MV 。

假设炮身轴线方向无外力作用，由动量守恒定律，可得：

$$mv + m_1 \dot{v}_1 - m_2 \dot{v}_2 - MV = 0$$

或
$$MV = mv + m_1 \dot{v}_1 - m_2 \dot{v}_2$$

由上式可知，只要适当选择喷管结构尺寸，控制后喷火药燃气的动量，就可使无后坐炮后坐动量等于 0（ $MV = 0$ ），即达到火炮消除后坐的目的。

值得说明的是，在实践中，由于种种原因很难保证无后坐炮在整个射击过程中的每一瞬时都绝对平衡，但是射击时间很短，在射击过程中炮身部分的冲量很小，通过火炮设计能够控制在战术技术要求允许的范围内。

四、无后坐炮特点

基于无后坐炮特殊的发射原理，它具有以下性能特点：

（1）结构简单、操作使用方便

通常无后坐炮由炮身和炮架两部分组成，无需配装反后坐装置和庞大的炮架。因此结构大为简化，操作使用十分方便可靠。

（2）质量小，便于携行和机动

小口径无后坐炮的质量仅有几千克，可手持或肩扛射击，便于单兵携行；中口径无后坐炮，全炮质量在 10-20kg 左右，借助于简单的脚架便可射击。通常可以分解成几个部件人背马驮；100mm 以上的大口径无后坐炮，全炮质量在 110-210kg 左右，可牵引、车载，也可自行化。

（3）形体较小、适应性强

无后坐炮系火炮中形体较小、射角大、射界宽、弹道低伸、适应能力较强的直射武器。适用山地和复杂地形使用，可直接伴随步兵作战。

（4）制造容易，造价低廉

喷管型无后坐炮由于药室底部有喷管，存在以下不足：

（1）膛压较低、初速不高，射程较小；

（2）火药利用率低；

（3）由于膛压低，线膛无后坐炮炮弹的弹带需刻槽，因此影响装填和发射速度。

（4）药筒上有许多孔，不利于火药的密封和保管。

（5）无后坐炮有一个很大的扇形危险区，选择阵地受一定限制，并且射击后容易暴露阵地。

五、无后坐炮结构

下面以典型的架射无后坐炮为例，简要说明无后坐炮的结构。图 4-3-37 所示为 1978 年式 82mm 无后坐炮，属架射无后坐炮。



图 4-3-37 1978 年式 82mm 无后坐炮

架射无后坐炮主要由身管、炮尾、炮门、瞄准机（方向机和高低机）、炮架、瞄准装置等组成。

1. 身管

身管的主要作用是承受火药燃气压力和导引弹丸运动。无后坐炮身管内膛有线膛和滑膛两种。身管包含了固定准星机构、表尺机构、前击发机、瞄准镜固定器、高低机连接座、提把座和护板座等。

2. 炮尾和炮门

炮尾和炮门用来闭锁炮膛、击发底火、射击时保持平衡等，包括闭锁装置、喷管装置、击发装置、保险装置、定位装置，有的还设有抽筒装置和挡弹装置等。

（1）闭锁装置

闭锁装置按开闭动作分为两次转动式和一次转动式，按闭锁方式可分为断隔螺（单层直面齿、多层螺旋齿）式和闭锁杆式。

两次转动式闭锁装置，通常采用断隔齿闭锁，采用这种闭锁装置的炮门称为两次转动式炮门，典型结构见图 4-3-38。通常由开关闭手柄、闭臂轴、接闭臂、闭体和炮尾上的断隔齿等组成，用周向对称分布的断隔齿闭锁炮膛。开闭时首先使闭体绕自身轴线旋转，待断隔齿解脱后，再绕闭臂轴旋转，使闭体离开炮膛。关闭时，动作相反。由此可看出，开关闭动作由两次转动完成，操作时间加长，这对直射武器是不利的。其次，开闭时，炮尾与炮门上的断隔齿的啮合面有相对转动，在连续射击时，会因火炮温度升高、火药残渣增多，造成开关闭力增大甚至开闭困难。然而，这种类型的闭锁装置也有许多优点：首先，火药燃气作用在炮门上的力是通过周向对称分布的断隔齿传递给炮尾的，故受力均匀，对炮尾炮门本体的强度、刚度是有利的，从而缩小炮尾炮门的径向尺寸，相应地可减轻其重量；其次，击发装置和关闭到位保险等机构也较简单。

断隔螺式一般需用两次转动，但当采用某种中间传动件时，也能实现一次转动完成断隔齿闭锁结构的开关闭动作。如图 4-3-39 所示的闭锁装置，在固定手柄轴的拨动子与闭体之间增加了闭板。开闭时，转动手柄使拨动子转动带闭板移动，闭板上的两条曲线槽通过固定在闭体上的拨动销使闭体转动而开锁，继续转动手柄时，闭板不再移动而迫使闭体脱离炮尾。这样以手柄一次连续转动可完成闭体两次转动的动作。

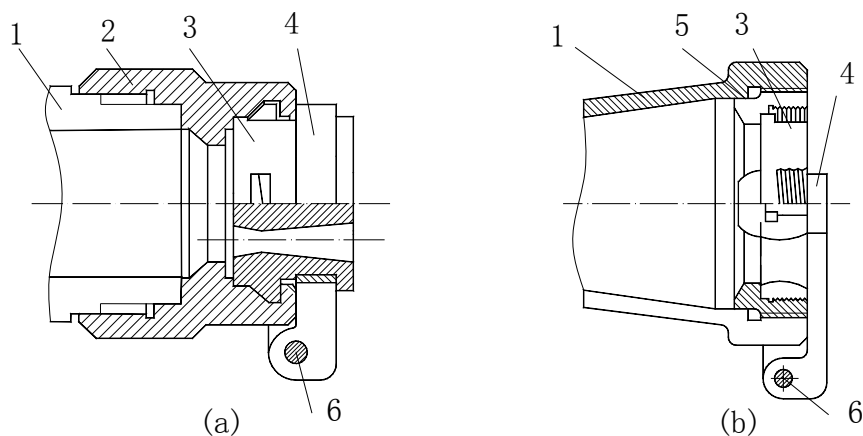


图 4-3-38 两次转动式炮门

(a) 单层直面齿 (b) 双层螺纹齿

1-药室 2-炮尾 3-门体 4-接门臂 5-门座 6-门臂轴

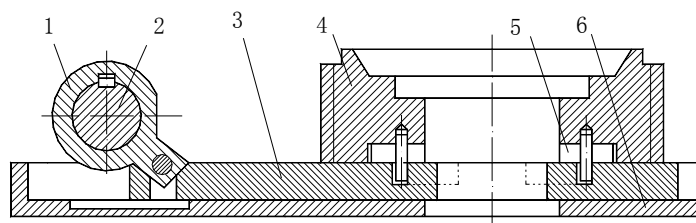


图 4-3-39 带门板的断隔螺式闭锁装置

1-拨动子 2-手柄轴 3-门板 4-门体 5-拨动板 6-接门臂

一次转动式闭锁装置，又称摆动式闭锁装置（炮门），通常采用闭锁杆式。采用这种闭锁装置的炮门称为一次转动式炮门，典型结构见图 4-3-40。

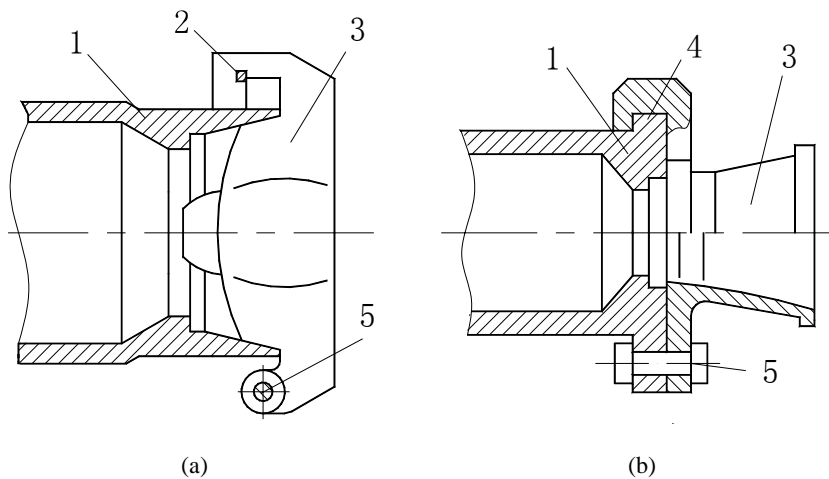


图 4-3-40 一次转动式炮门

(a) 门轴轴线垂直于炮膛轴线 (b) 门轴轴线平行于炮膛轴线

1-炮尾 2-闭锁铁 3-炮门 4-闭锁凸起 5-门轴

一次转动式闭锁装置通常由开关门手柄、门轴、闭锁杆（或闭锁凸起）、门体上的闭锁杆支臂和炮尾上的闭锁齿组成。它利用门轴和闭锁杆闭锁炮膛。开门时，先将闭锁杆压下，使闭锁杆脱离炮尾闭锁齿，然后使门体绕门轴转动即可使炮门离开炮膛。故这种闭锁装置操作简单，所需时间较短。在开门过程中，炮尾和炮门的啮合面逐渐离开，啮合面无相对滑动，

故开关动作灵活可靠，这一点对于药包式或可燃药筒的装药结构尤为有利。然而这种闭锁装置也存在一些缺点：击发装置、保险装置的结构较复杂，炮尾炮门的横向尺寸较大；火药燃气作用在炮门上的力是通过两侧的闩轴和闭锁杆传递给炮尾的，故受力不均匀，对炮尾炮门本体的强度、刚度不利，这样势必增加炮尾炮门的质量，从而不利于炮身质心位置的调整。有的闩轴轴线垂直于炮膛轴线，见图 4-3-40 (a)，有的闩轴轴线平行于炮膛轴线，见图 4-3-40 (b)。

除了上述两种类型的闭锁装置外，有些无后坐炮采用从炮口装填炮弹的前装填形式，也有的采用带喷孔的药筒或弹性喷管结构，因此都可取消闭锁装置，这样会使全炮结构简化，操作简便。

(2) 击发装置

根据击发形式，击发装置分中心击发式和侧击发式。中心击发式击发装置安装在闩体的中心部位，其结构形式见图 4-3-41 a)。侧击发式击发装置的喷管大多采用中心喷孔形式，因此其击发机不得不安装在炮身侧方，其结构见图 4-3-41 b)。

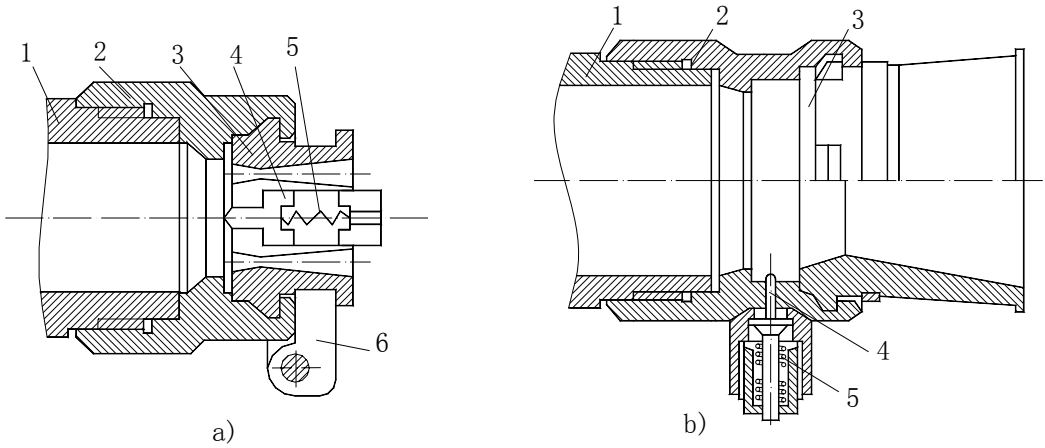


图 4-3-41 中心击发式击发装置

(a) 中心击发式 (b) 侧击发式

1-药室 2-炮尾 3-闩体 4-击针 5-击针簧 6-闩臂

根据工作原理，击发装置可分为机械击发装置与电击发装置两类。机械击发装置是靠击针撞击底火而击发。它结构简单，工作可靠，容易维护保养。但机构零件通常置于炮门本体内部，使闩体结构及形状复杂。电击发装置是利用电流的热效应激发电底火。它结构紧凑，能安装在方便操作的任意部位。但其工作可靠性和安全性易受电路和电源的影响，电源保障也有困难。电击发装置通常使用在需遥控发射的或多管连发的大口径无后坐炮上。因为前者火炮较重，往往用牵引车甚至直接装在运载车上，故电源的容量、防护和保养等容易解决，后者仅用一次发射，就容易实现紧凑的结构和一次发射的可靠性和安全性。对于中小口径无后坐炮，由于电击发装置的缺点，目前基本上没有采用，一般都采用机械击发装置。

机械击发装置按照结构形式可分为击针式和击锤式两种。

击针式击发装置，如图 4-3-42 所示。这种结构的击针在击针簧的直接作用下获得击发底火所需的能量。它结构紧凑，所需击针簧力较小，发射时对火炮的不对称扰动也较小，有利于减小炮口扰动。但由于击针簧装在闩体中心，火炮连续射击时，容易使击针簧因温度升高而失效，长喷管结构的炮门散热条件差，问题尤为突出。这种击针式击发装置通常适用于短闩体中心击发的炮门结构。

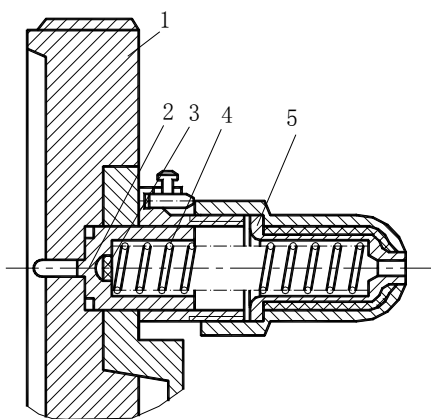


图 4-3-42 击针式击发装置图

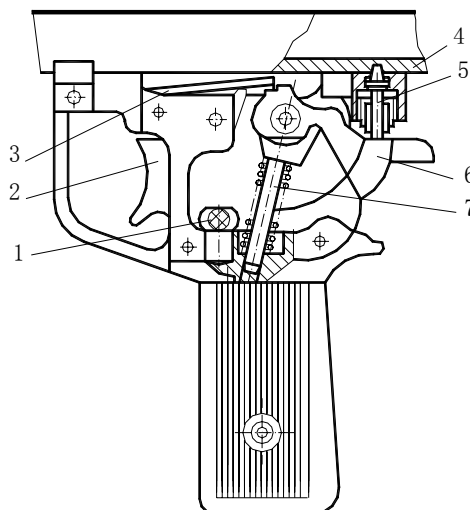


图 4-3-43 击锤式击发装置（侧击发）

1-扣机保险 2-扣机 3-阻铁 4-炮身 5-击针 6-击锤 7-击锤簧

击锤式击发装置的击针在击锤簧作用的击锤打击下，获得击发底火所需的能量。它结构较复杂，横向尺寸大，要求的击锤簧力也较大，击发时对火炮有不对称的扰动。它的优点是可将击锤簧安置在基本上不受高温火药燃气影响的部位，确保工作的可靠性。这种击发装置通常适用于侧击发的炮门。如图 4-3-43 所示。

（3）喷管装置

无后坐炮喷管的主要功能是控制火药燃气的流量与流速，以获得火炮良好的平衡性能和内弹道性能。为此对喷管的要求主要是：

- 1) 火炮在整个寿命期间有良好的平衡性能。由于火药燃气对喷管烧蚀冲刷可能破坏火炮平衡性能，因此要求喷管设计应考虑耐烧蚀或可更换。
- 2) 在保证火炮平衡性能的同时，通过喷管应获得良好的内弹道性能和内弹道稳定性。
- 3) 喷管效率要高，以减小气流在喷管中流动的各种损失，如摩擦损失、热损失、气流扩散损失、气流分离损失及二相流损失等。
- 4) 喷管要有足够的刚度和强度，结构紧凑，质量小。
- 5) 发射时噪声和危险区要尽可能小。
- 6) 有良好的工艺性和经济性。喷管结构形状较为复杂，设计时应考虑其工艺性和经济性。

喷管结构形式有多种多样，但常见的基本形式有以下几种：

1) 中心喷管

这是一种单孔的轴对称的典型拉瓦尔喷管，其结构如图 4-3-44 所示。它的主要特点是结构简单、质量小、相对而言效率高。然而这类喷管也有明显的缺点：火药燃气及未燃完药粒容易从中心喷孔中流失，内弹道性能较差；由于中心喷管的喷孔对炮身轴线具有轴对称性，如果发射旋转稳定弹，无法产生一个转矩来补偿弹丸旋转作用，因此此类喷管通常与尾翼稳定弹相适应；中心喷管无法实现中心击发，因而一般要采用侧击发装置。

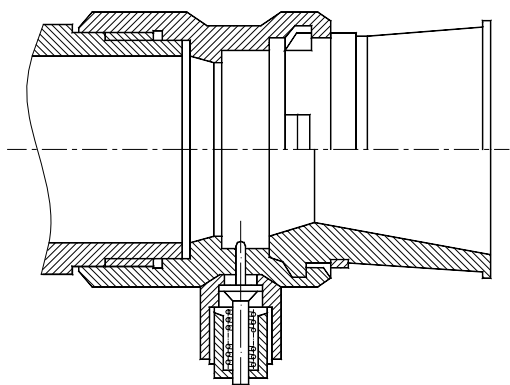


图 4-3-44 中心喷管

2) 横筋式喷管

横筋式喷管是在中心喷管上加一条横筋，以容纳击发装置，从而实现中心击发。带有横筋的闷体与炮尾一起构成喷管。横筋式喷管结构形状见图 4-3-45 所示。其结构特点决定它具有中心喷管类似的优缺点。此外，横筋易受火药燃气的烧蚀，且击发装置内易进入火药残渣，影响机构动作。

3) 弧形喷管

弧形喷管又称肾状喷管。这种喷管的特点是由两个或四个肾状喷管组成喷管。每一个喷孔都是拉法尔喷管。其结构形式如图 4-3-46 所示。由于弧形喷管的中心是实体，能够容纳击发装置，可以实现中心击发。另一个优点是能够补偿膛线造成的旋转力矩。肾状喷管的缺点是结构复杂、制造加工困难、尺寸大、质量大。实验表明，肾状喷管比中心喷管效率低。

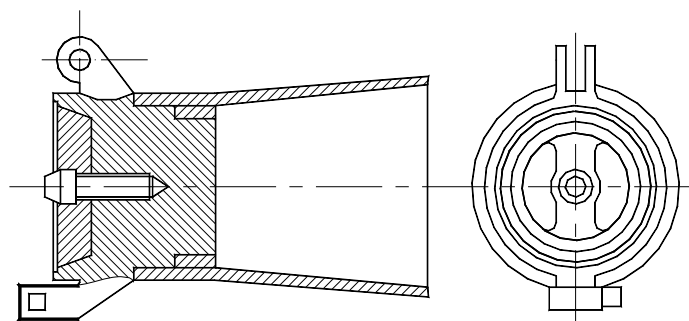


图 4-3-45 横筋式喷管

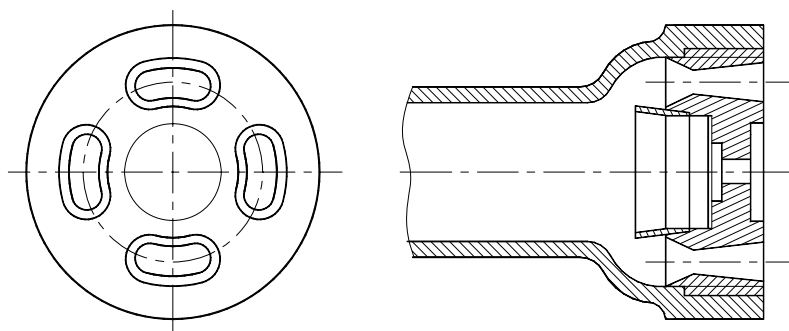


图 4-3-46 弧形喷管

以上三种是最常见的典型喷管结构，除此之外还有两侧式喷管、等膛径喷管等。

(3) 保险装置

保险装置主要是闭锁不到位不能扣动扳机的到位保险，以及在开锁过程中，由于非正常操作或磨损等意外原因，使击针或击锤滑脱时，或在闭锁未到位而且闭锁到位保险万一失灵时，防止击发底火的滑机保险。

1) 闭锁到位保险

如图 4-3-47 所示，当闭锁不到位时，利用保险驻栓将阻铁杆卡住，而保险驻栓又直接与闭锁到位动作有关的接门臂联系。当闭锁到位时，接门臂顶保险驻栓，使其脱离阻铁杆，此时推动击发头，才可拉动阻铁杆而击发。

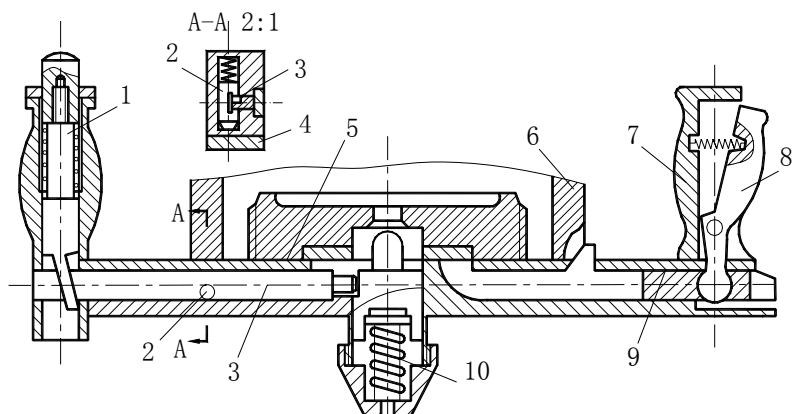


图 4-3-47 卡住击发阻铁杆的闭锁到位保险

1-击发头 2-保险驻栓 3-阻铁杆 4-接门臂 5-门体 6-炮尾 7-手柄 8-杠杆 9-关门定位杆
10-击针

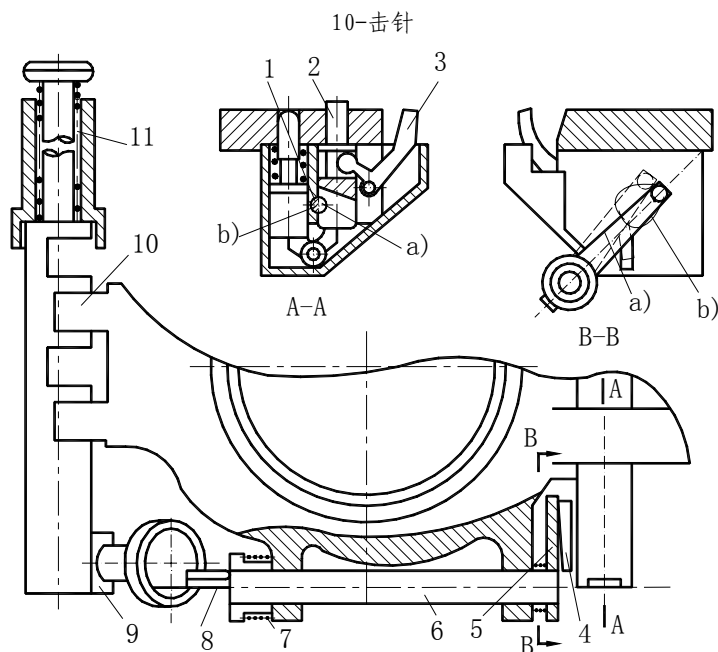


图 4-3-48 卡住击发驻栓的闭锁到位保险

1-保险栓 2-击发驻栓 3-击发杠杆 4-保险板 5-长杠杆 6-连杆
7-保险扭簧 8-短杠杆 9-闭锁杆 10-闭锁齿 11-闭锁弹簧

图 4-3-48 所示的是另一种闭锁到位保险装置。它利用保险栓卡住击发驻栓，击发驻栓卡住击锤，使击锤始终处于待发状态。保险栓是通过保险板、长杠杆、连杆、短杠杆等间接地与闭锁到位有关的闭锁杆联系。当闭锁到位时，闭锁杆间接地使保险栓转动而解脱击发驻栓，使击锤处于击发状态。

2) 滑机保险

滑机保险的作用是保证在开门过程中，当击针或击锤从待发状态意外解脱（即滑机）时，不能击发底火，或当闭锁不到位，且闭锁到位保险失灵时，保证击发后不能击发底火。如在上述两种情况下能使炮弹发火，就可能因未闭锁或闭锁强度不足而自动开门，造成事故。要实现滑机保险，须在闭锁不到位时，挡住击针（击锤）或者使击针孔与底火错位。

对于利用开锁过程收回击针的断隔螺式炮闩，当发生前面提到的两种情况时，通常击针是被闩体上的螺旋凸起挡住（参看图 4-3-38），因此不需另设滑机保险装置。

对于闭锁杆式炮闩，以及除上述情况以外的断隔螺式炮闩，一般应另设滑机保险装置。

有的炮闩结构中，当开锁时，闭锁杆向下迫使推杆向前，带动闩臂杠杆转动，然后压保险楔向下。当出现上述两种情况时，保险楔挡住击针，起到滑机保险作用。

（4）定位装置

定位装置用来保证在射击过程中不自动打开炮闩和在开闩后便于装填炮弹。定位装置包括关门定位装置和开门定位装置。

关门定位装置多数装在手柄上，由定位件和弹簧等组成。关门到位时，定位件借助簧力将炮闩与炮尾锁住在关门状态。当需开闩时，定位件借助于手柄上的杠杆或凸轮等机构解脱。有的关门定位装置直接利用闭锁零件。有的机构能同时起到关门定位和开门定位的作用。

图 4-3-49 所示的开门定位装置，安装在接闩臂内，由定位驻柄、弹簧和固定套筒组成。固定套筒将闩轴固定并且容纳定位驻栓和弹簧。当开闩到位时，安装在炮尾下面的定位驻栓在簧力作用下卡入闩体闩轴耳下平面的定位坑中，将闩体固定在开闩状态。

图 4-3-50 所示的开门定位装置是利用抽筒子兼作开门定位件。在闩体转动 45° 且将闩体打开时，抽筒子借簧力卡入闩体缺口中，将闩体固定在开闩状态。

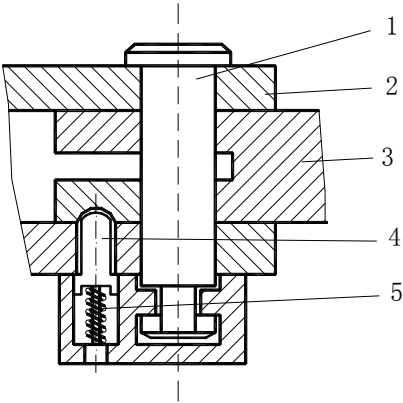


图 4-3-49 开门定位装置

1-闩轴 2-炮尾 3-闩体 4-定位驻栓 5-弹簧

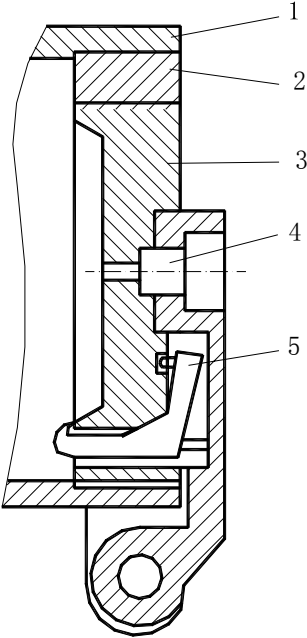


图 4-3-50 抽筒定位的开关闩定位装置

1-炮尾 2-闩体座 3-闩体 4-接闩臂 5-抽筒子

（5）抽筒装置

抽筒装置的作用是射击后抽出药筒或不发火时抽出炮弹。对于无后坐炮，由于炮闩尺寸小，结构较复杂，开闩力也不宜过大，故抽筒装置只能将药筒抽出一小段距离，整个药筒还须炮手用力（带隔热手套）取出。

抽筒装置通常由抽筒子和抽筒子簧组成。图 4-3-51 a) 和 b) 所示的抽筒子装在闩体或接闩臂内，利用开闩过程，边开闩边抽筒。

图 4-3-51c) 所示的抽筒子装在炮尾内，利用开闩到位时的撞击将药筒抽出。

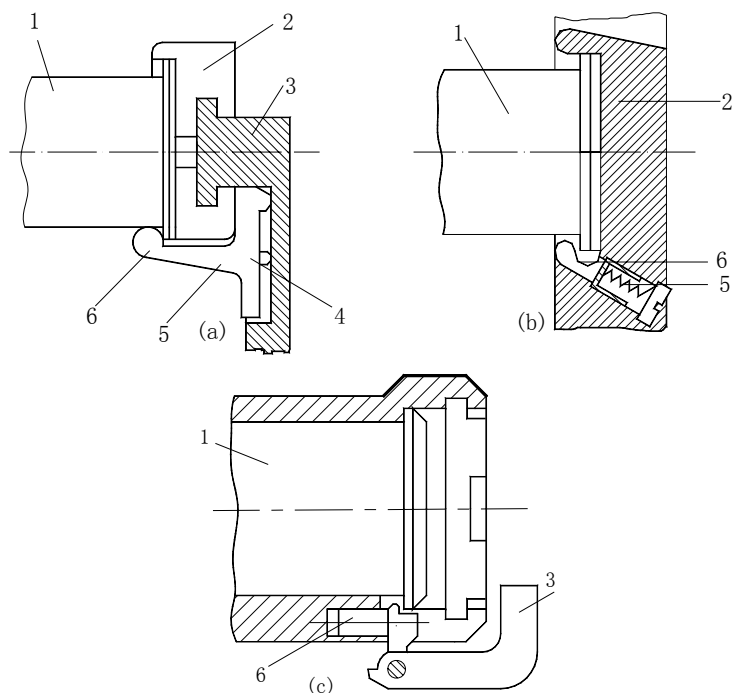


图 4-3-51 抽筒装置

(a) 装在接门臂内 (b) 装在门体内 (c) 装在炮尾内

1-药筒 2-门体 3-接门臂 4-顶销 5-抽筒子簧 6-抽筒子

3. 瞄准机

瞄准机主要有螺杆式和轮式两大类。轮式瞄准机又有蜗轮式、行星齿轮式、行星摩擦轮式等几种。

(1) 螺杆式瞄准机

图 4-3-52 为一种常见的螺杆式方向机。图 4-3-53 为常见的螺杆式高低机。

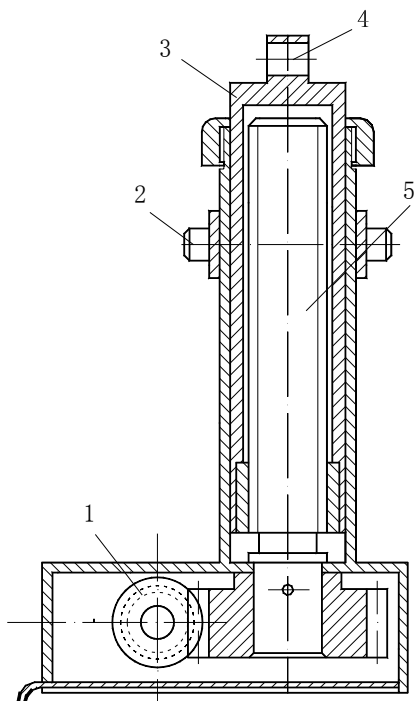


图 4-3-53 螺杆式高低机

1-齿轮 2-上架连接点 3-螺套

4-炮身连接点 5-螺杆

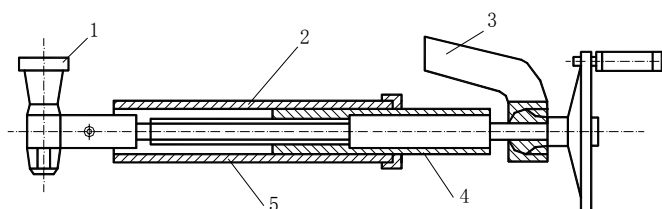


图 4-3-52 螺杆式方向机

1-下架 2-护筒 3-上架支臂 4-螺筒 5-螺杆

螺杆式瞄准机的主要零件为螺筒和螺杆。高低机的两端用铰链与炮身和上架连接；方向机的两端铰链与上架和下架连接。在螺杆或螺筒的一端，直接连接手轮或通过斜齿轮连接手轮。转动手轮时，螺杆与螺筒相对运动，改变两铰链点间的距离，从而带动炮身转动。螺杆式瞄准机结构简单，但射界有限，传动比为变数，螺杆刚度较差。

高低机用卡箍与上架连接，松开卡箍，整个高低机可在箍内滑动，从而能快速改变高低射角；锁紧卡箍，转动手轮，使螺套在壳体内移

动，从而以一定传速比俯仰炮身。

2) 蜗轮式瞄准机

蜗轮式方向机的蜗轮蜗杆分别与上架和下架连接。蜗杆的一端常直接连接手轮，蜗轮与炮身连接，转动手轮，蜗轮绕轴转动，从而转动炮身。

蜗轮式瞄准机传动比为常数，射界大（方向射界可达 360^0 ），但较重。

3) 行星摩擦轮式瞄准机

图 4-3-54 所示为行星摩擦轮式方向机。方向机的上下摩擦环分别与炮身、上架连接，内摩擦环与手轮相连。转动手轮，内摩擦环靠摩擦带动滚珠在下摩擦环上滚动（下摩擦环固定不动），从而带动上摩擦环，使炮身转动。

行星摩擦轮式方向机射界大，可达 360^0 ，结构紧凑，封闭性好，传动无空回，但结构复杂，对材料性能、加工精度及装配调试等的要求较高，否则，摩擦件会相对滑动，得不到定常的传动比，或摩擦力太大，得不到合适的手轮力。

4) 行星齿轮式瞄准机

行星齿轮式高低机的主要零件有中心齿圈、系杆和行星齿轮。定中心齿圈与上架相连，动中心齿圈与炮身相连，装有行星齿轮的系杆与大手轮相连。粗略瞄准时，转动大手轮，动中心齿圈相对于大手轮按一定的传动比转动。精确瞄准时，转动小手轮，动中心齿圈相对于小手轮按另一较大的传动比转动。

行星齿轮式瞄准机射界大，可达 360^0 ，结构紧凑，封闭性好，但结构较复杂，对装配和制造要求较高。

4. 炮架

根据不同的使用方式，无后坐炮炮架基本上可分为三类。

(1) 小架腿式

小架腿式炮架适合于肩托射击。这种射击方式只能用于直接瞄准射击。它的作用是使炮手瞄准时有依托，腿架作为肩托射击的前支承，便于瞄准、射击和赋予一定的高低、方向射角。常见的结构有位于炮身下方的可调单腿架和可折叠的双腿架。

(2) 三脚炮架

适用于地面架炮射击，架炮射击时既能用于直接瞄准，也能用于间接瞄准。三脚炮架直接与炮身刚性连接，且能赋予炮身方向射角和高低射角。通常炮身和炮架能迅速分解结合，便于行军时分件携带。架腿可根据需要张开、收缩或折叠，以改变火线高和适应不同地形，行军时能收拢，以便炮手携带。这种炮架广泛用于中型无后坐炮及要求能进行间接瞄准射击的轻型无后坐炮上。

(3) 轮式炮架

把三脚架中的一条或两条架腿用轮子代替，或在三条架腿外，附加两个轮子的炮架。它能使火炮在短距离上机动。这类炮架可牵引或拉曳，从而能提高火炮的机动性。但结构较复杂，质量较大，放列时较费时，故主要用于重型和一些中型无后坐炮上。

另外，为了适应现代战争的需要，有些中、大口径无后坐炮，不仅能装在地面炮架上射击，而且还能装在车辆上射击。这种类型的无后坐炮大大提高了机动性。

无后坐炮炮架主要由上架、下架、架腿（或架轮）组成。

上架是连接炮身和下架的中间构件，和炮身一起构成火炮的回转部分。常见的上架结构

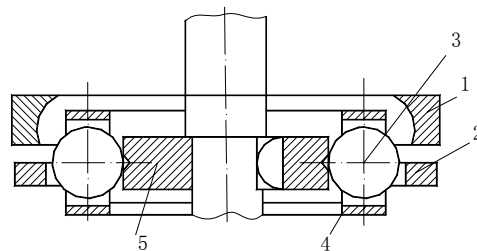


图 4-3-54 行星摩擦轮式瞄准机

1-上摩擦环 2-下摩擦环 3-滚珠

4-滚珠架 5-内摩擦环

有图 4-3-55 和图 4-3-56 所示两种。

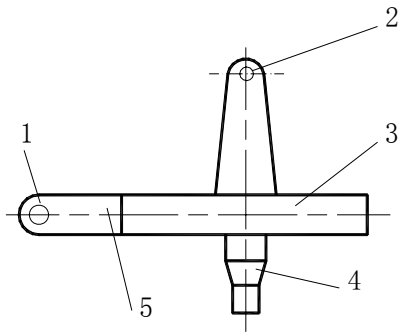


图 4-3-55 配螺杆式高低机的上架

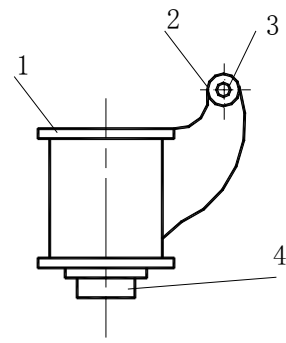


图 4-3-56 配齿轮式瞄准机的上架

1-高低机铰链 2-耳轴室 3-方向机座 4-立轴 5-高低机支臂 1-方向机座 2-高低机座 3-耳轴室 4-立轴

图 4-3-55 所示的上架，适用于采用螺杆式高低机和蜗轮蜗杆式方向机。图 4-3-56 所示的上架，适用于采用齿轮式或摩擦轮式的高低机和方向机。其中高低机的从动轮与炮耳轴共轴，方向机的从动轮与立轴共轴。这两种上架的立轴均可与下架的立轴室互易。

耳轴是炮身俯仰的转轴，常见的耳轴结构如图 4-3-57 a) 和 b) 所示。图 4-3-57a) 所示的耳轴，其轴线在炮膛轴线的下方，耳轴和耳轴室都设在上架上，用燕尾插入耳轴座，耳轴座与炮身连接。图 4-3-57b) 所示的耳轴，其轴线与炮膛轴线位于同一平面内，左右两耳轴固连在接架箍上，在装入上架的耳轴室后，用定位柱锁住。牵引炮或车载炮，一般不要求炮身与炮架快速分解结合。其耳轴室可采用一般火炮常用的如图 4-3-57 c) 所示的轴瓦结构。

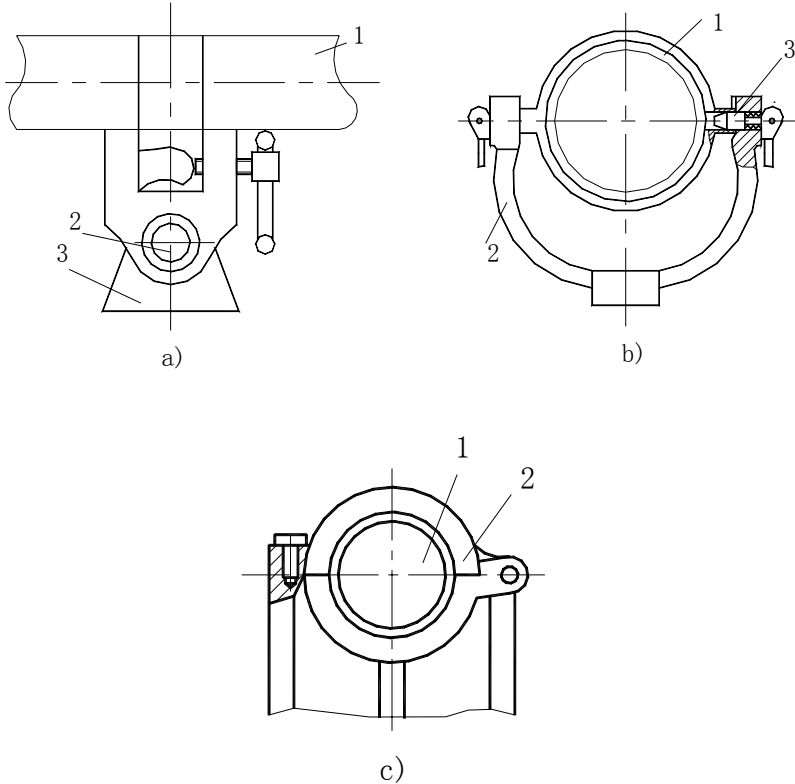


图 4-3-57 耳轴的结构形式

(a) 在炮膛轴线下方的耳轴 (b) 与炮膛轴线同平面的耳轴 (c) 不要求快速分解结合的耳轴

1-身管 2-耳轴 3-上架

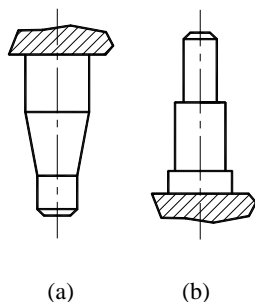


图 4-3-58 立轴

立轴是炮身回转时的转轴，一般有上下两轴颈。图4-3-58(a)为设在上架上的立轴，图4-3-58(b)为设在下架上的立轴。

下架支承火炮的回转部分，主要由架体和架腿组成。轻型三脚炮架多用圆管作架腿，大口径炮的炮架多用焊接的变截面矩形架腿。架腿一般在下端焊有驻锄，上端焊有接头。接头与架体为齿板啮合，并用手柄锁紧或松开，使两者迅速连接并使架腿能张开不同角度。架体形状较复杂，上面有立轴或立轴室，本体上还有方向机支臂和

连接架腿用的支臂和紧定装置。

5. 合膛结构

所谓合膛结构是指火炮内膛、弹丸和装药所构成相互协调、相互配合的总体结构。在火炮火力系统的总体设计中，必须要在弹丸、装药（定装式为炮弹）和炮膛初步设计后以及完成工程设计时，进行合膛图的绘制，以检查各单体设计的正确性和结合后的正确性。

由于无后坐炮在射击过程中火药燃气膛内运动比较复杂，一部分推动弹丸并跟随弹丸向前运动，另一部分从喷管向后流出。膛内气流运动受炮弹药诸多因素的影响，也即受合膛结构的影响。膛内气流状况对于内弹道性能、火炮平衡性能都十分敏感，因此无后坐炮合膛结构对无后坐炮性能至关重要。

无后坐炮合膛结构按装药结构特点可分为两类。

(1) 药包式装药的合膛结构

这种合膛结构见图 4-3-59 所示。其特点是：火炮内膛一般是滑膛，采用圆柱形扩大药室，单个或多个喷孔，大多在炮闩上；采用定位板作密封元件；弹丸大多采用带尾杆的尾翼弹，为防止火药流失，有的尾翼后方带有涡轮结构；采用药包式装药，带状或环状双基发射药，用经过硝化的绸布或纸筒盛装。

这种合膛结构质量轻，体积小，射击后无须退出药筒。其缺点是在火炮发射速度较高，且连续发射时，膛内温度将会急骤升高到 200℃ 以上，此时若药包或药条与炮膛内壁直接接触时，装药易引起自燃。此外，这种合膛结构火药易流失，内弹道稳定性也较难满足。

原苏式无后坐炮多数采用这种合膛结构。

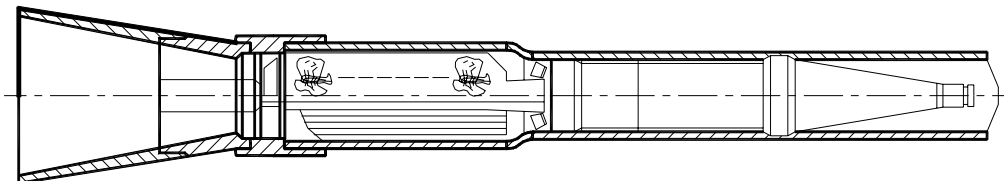


图 4-3-59 药包式装药的合膛结构

(2) 药筒式装药的合膛结构

这种合膛结构见图 4-3-60 所示。其特点是：火炮内膛多数为线膛，药室为前小后大的圆锥形，闩座用螺纹连接在药室体上，炮闩以断隔螺与闩座啮合，闭锁炮膛并构成四个肾状喷孔；弹丸有弹带，为不使膛压骤增，弹带上预先刻制膛线槽与身管膛线相吻合；药筒与弹丸压合成整装弹，其拔弹力较小，药筒壁有数百个排气小孔，火药燃气通过小孔进入药室；带底火的传火管旋接在药筒底部；粒状单基发射药盛装在药筒中，装配时有衬纸密封药筒排气小孔，射击时火药燃气冲破衬纸流入药室。

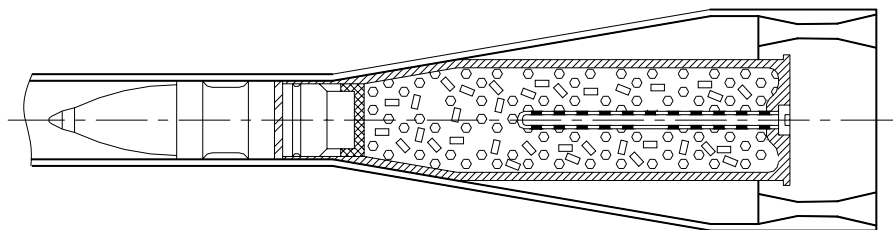


图 4-3-60 药筒式装药的合膛结构

这种合膛结构，由于有药筒，减少火药流失，有利于弹道稳定；连续快速射击时，装药不易在膛内自燃。缺点是药室尾端结构尺寸较大，质量集中，药室和炮门占炮身质量的 50%，射后要抽筒；弹药成本高、质量重。

美、英等国家的无后坐炮多数采用这种形式的合膛结构。

还有一种药筒式装药合膛结构见图 4-3-61。其特点是：金属药筒仅起盛装发射药、防潮和连接弹丸的作用，在射击中不挡药，故称之为无挡药装置药筒式合膛结构。药筒壁与药室内壁贴紧，可承受部分膛压。药筒内腔自由容积即药室容积。筒底是开口的，装配好的全弹用封口板堵住筒底的大孔，射击时火药气体冲开封口板由此逸出。这种合膛结构的密封性好，装药不易自燃，但弹药较重，成本较高，射后需退壳。

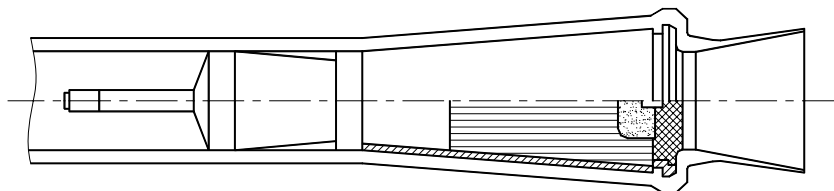


图 4-3-61 无挡药装置药筒式合膛结构

无论哪种合膛结构，都应具有以下 5 个主要组成部分：火炮内膛结构、弹丸结构、装药结构、点火结构和密封元件。其中无后坐炮内膛结构如图 4-3-62 所示。

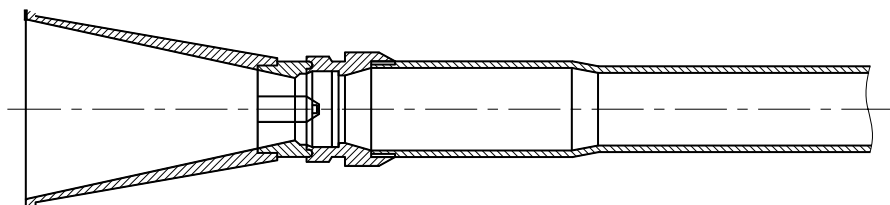


图 4-3-62 无后坐炮内膛结构

第四章 新概念火炮

第一节 概述

一、常规火炮的发展及其局限性

火炮的发展是与战争分不开的,火炮的发展应适应未来战争的需要。未来的战争将具有以下特征:

(1) 武器装备体系的对抗。未来战场两军交战不再是简单的线性化战场上的攻防武器的较量,而是在更为广阔的战场上武器装备体系(各种武器系统、支援保障系统及作战管理系统的有机结合)间的对抗。武器装备体系间的整体作战效能的较量对战争的胜负有着重大的影响,而体系中的任何薄弱环节都将可能产生极其严重的后果。

(2) 武器和军队的信息化。未来的武器装备都将是信息化的作战平台,装有大量的电子设备,其中包括通信设备、探测设备、武器控制设备等。

(3) 超越传统的攻防思维。未来战争中,由于先进的探测、火控、指控、制导技术的发展,极大地提高了纵深侦察、远距离通信、精确打击及远程突击能力,作战行动将突破固定的战场和阵地的限制,在整个作战空间同时进行。这样,传统战争的前后方界线模糊了,相对稳定的正面和固定的战场将不复存在,进攻行动和防御行动的界限由于战场的高度流动性和不确定性呈现出一种非线性状态。由此全新的作战理论将取代传统的相对稳定战线和攻防的作战理论。

(4) 战场空间的扩大,战争节奏的加快,战斗力度的加大。战场空间扩大,不仅表现在正面和纵深的加大,太空的利用使得战场成为海、陆、空、天的四维战场。未来战争将是快节奏的,精确制导武器的摧毁能力往往是一发奏效,不需很长时间。在战斗中,简化了指挥控制程序,加强了各军兵种的协同,加快了战斗行动的速度。

(5) 远距离的精确打击,贯穿始终的信息战。作战武器的使用距离将大大超过目视距离,火力压制纵深不断增大。信息战,特别是电子战将贯穿于战争的始终,信息的获取反获取、干扰反干扰、压制反压制、欺骗反欺骗、隐身反隐身将是作战的重要方式,信息已构成了一种重要的威慑力量。夺取电磁频谱控制权是掌握四维战场主动权的基本保证,攻击和保卫C⁴I系统成为军事斗争的焦点。

(6) 空中威胁的进一步增大。军事技术的发展,致使来自空中的威胁日趋增大,这种威胁来自两个方面,一是空袭的突然性增大,二是攻击的准确性大大提高。固定翼飞机、武装直升机、巡航导弹以及各种空-地、地-地导弹,均构成来自空中的威胁,为远距离、大纵深摧毁敌方重要目标提供了有效手段。空袭飞机小编队,多批次,多方向及多层次的饱和和攻击、远距离发射的精确制导武器(特别是巡航导弹)的攻击和临空轰炸,增大了空袭的隐蔽性、突然性和准确性。有效的防空体系和制空权是遂行各种战斗任务的必要保证。

面对未来的战场环境,要打赢一场现代技术特别是高技术条件下的局部战争,军队建设将必须由规模数量型转向质量效能型,由人力密集型转向科技密集型。

矛盾之间的抗衡与发展,是战争的两个方面。随着战场和基本作战样式的变化,对兵器技术的主要需求也发生了明显的变化:

(1) 低空区域的防空反导技术。反空袭作战是关系打赢高技术局部战争的关键问题之一。低空区域防空是防空体系建设的基础,也是反空袭作战的最后一道屏障。

(2) 战场监视和野战数字化信息系统技术。随着现代战场纵深的加大和作战空间的延伸,及时、准确、全面的情报侦察和信息获取已成为现代高技术战争的先决和前提条件。

(3) 应急机动作战部队的快速机动突击能力。现代战争突发性强,战场流动性大,战况瞬息多变,武装冲突和局部战争多在复杂地形和天候下进行。为适应不同规模的武装冲突

和局部战争的需求,加强应急机动作战部队的合成装备建设已成为新时期军队建设的优先发展领域。

(4) 火力体系的纵深精确打击技术。随着现代火力体系的压制纵深、覆盖面积、命中精度和毁伤威力的显著提高,火力攻击尤其是火力优势对战争进程和结局的影响大大提高。火力体系的发展趋势是提高对战场全纵深火力压制和对作战体系关键环节的精确打击。

未来战争是在多维空间进行的激烈角逐,各空间的作战紧密联系,相互制约。但是,在诸战场中,陆战场在高技术战争中仍是主战场。战争主因源于地面,最终以强有力的陆战实现战争目的的情况没有改变。在陆军兵种中,炮兵是陆军中以火炮和导弹为主要武器装备,以火力遂行任务的战斗兵种。无论是过去、现在,还是将来,炮兵在陆战场上都占有极为重要的地位。炮兵火力从火力的猛烈性和持续性;反应时间的迅速性;对付目标的多样性;作战指挥与联合的便捷性;全天候、全时辰作战的可靠性等诸多方面具有其它军兵种不可比拟的火力优势,是综合火力的主体。炮兵在未来战争中,仍是地面战场火力打击的骨干、联合火力战中综合火力的主体、登岛作战直接火力准备的基础、上陆随伴支援火力的主力、山地作战决定战役胜负的关键。

火炮作为炮兵的主要武器装备,其作战任务是压制、歼灭、破坏和拦阻,即压制和歼灭敌人的有生力量及兵器,破坏敌人的指挥和控制中心、通讯枢纽、防御工事、重要设施和基地,设置拦阻火力网,拦截空中、地面、水上来袭目标。火炮在未来战争中对付的主要目标是远程目标、快速机动目标、具有防护能力的目标,如坦克、自行火炮、固定翼飞机、武装直升机、导弹等。

为了提高坦克在战场上的生存力,已研制出和正在研制多种型式的坦克装甲防护系统。比如:均质钢装甲、间隔装甲、屏蔽装甲、复合装甲、贫铀装甲、反应装甲、电磁装甲、灵巧装甲等。现在国际上三代坦克一般都采用了复合装甲,使抗穿甲弹和破甲弹的能力大大加强,是传统均质装甲钢的2~3倍。而且,还外挂了各式各样的装甲,大大提高了坦克的防护能力。研制出的新一代主动和被动装甲,能够大大提高坦克对各种专用反坦克武器的防护。为了戳穿坚固的盾,必然要研制更尖锐的矛,即必须发展威力更大的火炮。

在未来防空战场将面临的空中威胁和战场环境更加复杂、多变,防空作战模式、范围、节奏都将发生重大变化。要取得未来战争的主动权,仅凭一两种即使是性能十分先进的武器也是不行的,只有充分发挥各兵器的作战效能才能取得战争的全面胜利。对导弹的防御一般可分两个阶段实施:在导弹尚未发射之时,摧毁或干扰导弹的发射平台;一旦发射导弹,就摧毁或干扰来袭导弹。由于在实战中不一定能及时摧毁发射平台,而且干扰发射平台往往比干扰导弹的制导系统困难得多,因此,自卫反导的重点应放在摧毁或干扰来袭导弹本身上。自卫反导的主要措施是在目标探测与预警技术支持下,对导弹实施干扰(软杀伤)或毁伤(硬杀伤)。采取软杀伤手段对付导弹尚存在一些不足之处,如即使使用最先进的干扰和诱饵系统也不能保证一定成功,而到发现没有成功就为时太晚了;用射频、红外或其它辐射能量的设备去干扰敌人,有时可能使自己成为敌方寻的制导武器的目标;现在有许多种制导系统及作战方式,要设计一种“万能”的干扰系统,来“欺骗”所有的或是某几种制导系统几乎是不可能的。尤其是对要地防空反导,必须发展硬杀伤技术,即毁伤技术。未来战争的空袭将以小编队、多批次、多方向、多层次的饱和攻击为主,从而要求高炮具有很强的快速反应能力和持续作战能力,要求反应时间短,发射速度高,转移火力迅速,携弹量大。

为适应未来战场环境和作战需求,火炮作为炮兵的主要武器装备,其发展趋势将是提高防空反导能力、对装甲目标与中远程地面目标的精确打击能力和快速反应与快速机动能力。其中包括高初速发射技术、高射速技术、火炮新结构与总体技术等。

常规火炮发射,是以固体发射药为发射能源,利用火药在管形内膛燃烧所产生的高温高压燃气膨胀做功,发射弹丸。由于常规火炮发射过程中自身的固有局限性,使得常规火炮在

进一步提高射程、射速、机动性、生存能力和后勤支援能力等综合性能方面,遇到很大困难,主要包括如下几个方面:

(1) 从内弹道角度来看,为提高弹丸的出炮口速度,常规火炮主要是通过增加装药量来实现。由于高能固体发射药的爆温高(2500K~3000K),增加装药量,伴随而来的就是高膛压。但是,身管所能承受的压力有限,并且膛压的增大直接导致后坐力的增大,因此膛压的增大将导致火炮的强度下降、体积和重量增加、机动性下降,以及身管烧蚀严重,寿命降低等问题。以增高膛压来提高弹丸初速,终非良策。高装填密度,将伴随着危险压力波的威胁,甚至可能出现炸膛等灾难性事故。理论与实践表明,装药质量与弹丸质量之比大于5时,速度已无明显提高。利用增加装药质量来提高弹丸初速也是有限的。随着装药量增加,实现自动装填越来越困难,不利于射速的提高。

(2) 常规火炮的弹丸是在膛内受到火药燃气的压力作用而加速。由于火药燃气本身有质量,火药燃气膨胀速度受到发射药特性的限制,炮膛压力充满度系数小,尤其是高速情况下,能量利用率低,所以弹丸的出炮口速度受到限制,通常弹丸的速度不会超过火药燃气的滞止声速(一般小于0.5倍声速),也即弹丸初速存在一个理论上的极限速度。由分析计算可知,现有火药燃气的滞止声速在1.6~3.3km/s之间。采用新型火药,降低火药燃气的分子量,火药燃气的滞止声速会有提高,但实际上弹丸的出炮口速度很难超过2km/s。如果在结构设计上采用加长炮管尺寸等办法延长火药燃气压力的作用时间,也不会使弹丸初速跨越这一极限。

火箭速度虽然不受滞止声速的限制,但这种发射装置仍有许多不足。首先,火箭发射的有效载荷仅为火箭自重的1%左右。而不断反方向喷射的高速工质实际上是一种浪费,其推进效率也很低。其次,火箭要求高级的推进剂,每次发射成本很高,而且化学反应一旦开始,便失去控制。此外,火箭的加速度很小,需经过足够长的时间才能达到高速度。因此,实际使用中常采用多级火箭。由于火箭技术上的复杂性,一般很难达到超高速。

(3) 随着威力的提高,火炮的体积和质量急剧增加,即威力与机动性之间存在尖锐的矛盾。

(4) 固体发射药的易毁性和易损性,是常规火炮系统的薄弱环节。固体发射药的易毁性,严重降低了火炮系统的生存能力。固体发射药的易损性,给弹药的包装、运输、储存、使用,带来一系列后勤支援问题。

正是由于常规火炮在其发展中遇到难以克服的困难,尽管人们采用不同的推进剂(固体的、液体的、乃至低分子量的)和不同的结构,但由于原理上的局限性,已难取得突破性的进展,促使人们另辟蹊径,从概念上突破,去探索和寻找新的发射能源、新的发射原理、新的发射方式,从根本上变革常规火炮在发射原理上的发展思维和模式,以期解脱常规火炮发展所面临的困境。为了提高火炮的性能,积极寻求新的发射原理是火炮主要研究方向之一。

促使人们去探索、寻找和发展新概念火炮,从根本上变革常规火炮的发展思维和模式,以期解脱常规火炮发展所面临的困境。为了提高火炮系统的性能,积极发展新概念火炮是火炮主要研究方向之一。

二、新概念火炮

新概念火炮永远是一个热门话题,尽管新概念火炮的概念至今尚没有科学、统一的定义,但这一概念在国内的使用频率很高。人们通常习惯把运用新原理、新能源、新结构、新材料、新工艺、新设计而推出的、有别于传统火炮系统概念并可大幅度提高作战效能的新式火炮,统称为新概念火炮。因此,各种新概念火炮的形成和推出是创新的结果,既包括突破传统火炮系统概念的创新,也包括在现有制式火炮基础上利用现代高新技术与总体优化技术进行改造而使火炮性能大幅度提高所取得的创新和突破。新概念火炮主要是从发射能源、发射原理、发射方式等方面取得的创新和突破。而一般发射能源和发射方式等方面的创新和突破,同时

伴随着发射原理的创新和突破。

新发射原理是相对常规发射原理而言的，顾名思义，就是常规发射原理以外的其它发射原理。从某种意义上说，新发射原理只是广义上的发射原理，已经拓宽了发射原理的原始概念。现在一般所说的新发射原理主要指液体发射药火炮发射原理、电磁发射原理、等离子体发射原理、定向能发射原理等。随着科学技术的发展和进步，新发射原理还将不断增添新的成员。

新发射原理火炮是采用高新技术的武器，它应用新的发射原理，在技术上有重大突破与创新，在作战方式和作战效能上与传统武器有明显不同，它对未来的战争将产生革命性的影响。目前研制中的新发射原理火炮主要包括液体发射药火炮、电炮、激光炮等。新发射原理火炮的潜在作战效能和应用前景已引起了主要军事大国的重视。在未来战争中，新发射原理火炮将引起作战方式的改变，为防空、反导等领域提供新的作战手段，将对现代战争产生深刻的影响。

目前，以美国为代表的各军事大国纷纷投入大量人力、物力，进行新发射原理火炮的开发研究。其中有些系统已拥有关键技术储备，有些系统已完成分系统和总体演示验证试验，有些系统甚至已进入工程制造阶段，并准备装备部队。

三、新概念火炮的发展

在二次大战结束以来的半个世纪里，世界范围内科学和技术的蓬勃发展，各种先进高新技术在军事领域广泛应用，已经使常规火炮的初速、射程和杀伤力几乎达到它们的极限。那么，未来要靠什么来夺取军事技术优势？其答案，一是利用种种途径在现有火炮系统和技术基础上搞挖潜和创新，争取大幅度提高性能水平；二是另辟蹊径，利用新原理、新能源、新结构、新材料开发全新的火炮系统。这从需求上牵引和推动着新概念火炮的发展。世界各军事技术大国都从本国情况出发，重视依靠技术进步，在不同的领域开展新概念火炮的研究，尤其是美国，为了全面夺取军事技术优势，正以别的国家无可比拟的广度和深度开展各种各样的新概念火炮及其技术的研究。

研究也表明，有不少的新概念火炮在不同程度上突破了常规火炮初速、射程和杀伤能力的极限，例如，一门液体发射药火炮的威力可以抵得上一个常规火炮炮兵连的火力；电磁炮发射的弹丸初速是现有火炮的两倍；激光炮（武器）能够以高能激光攻击目标，实施软、硬杀伤，瞬间摧毁目标或使之失去战斗力……。这些火炮一旦研制成功，将极大地提高部队的战斗力，前景诱人，吸引人们对它们作深入的研究。所以，对各类新概念火炮及其技术的开发研究，现已成为军事大国夺取未来军事技术优势而展开的科技竞争的一个重要内容。

国外探索和研究的新概念武器种类繁多。下面简单介绍几种应用前景看好并不久能实现武器化的新概念武器。

为了克服常规火炮发射时火药燃气运动惯性造成的炮膛内弹后压力梯度大的缺点，提高火炮初速，人们研制了轻气炮，即采用轻质工质（如惰性气体等）来推动弹丸。由于一般情况轻质工质不是在像火药燃气那样高压下工作，要使弹丸获得高速，要求身管足够长，采用压力逐级放大方法，如图 4-4-1 所示。轻气炮的特点是采用了分子量远比火药燃气分子量小的工质，从而大大提高了气体分子的“极限速度”，摆脱了传统火炮初速极限的限制，如英国研制的 96 倍口径轻气炮，初速 11300m/s，但结构庞大。轻气炮还不能成为武器装备，而主要是作为一种超高速发射实验装置。

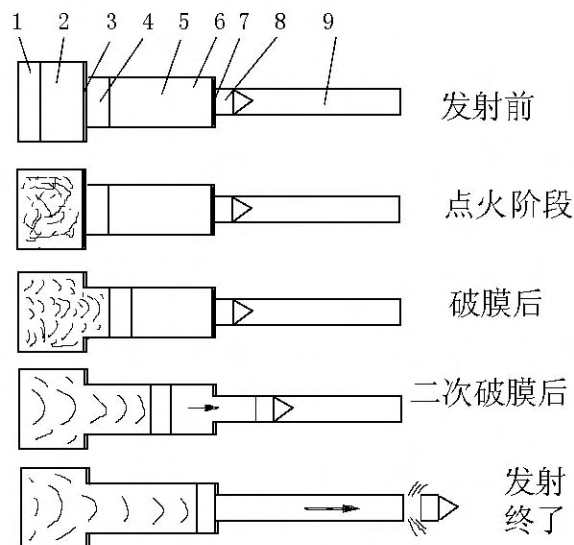


图 4-4-1 轻气炮工作原理

1-火药；2-燃烧室；3-膜片；4-活塞；5-轻质气体；
6-高压室；7-膜片；8-弹丸；9-发射管

为了克服常规火炮发射时火药燃气运动带来的弹后压力降低和膛压变化大的缺点，提高火炮初速，人们研制了随行装药火炮，即将部分发射药装填在炮弹的尾部，点火后，随着弹丸一起运动的弹后发射药不断燃烧，产生火药燃气，减少弹后压力降低和膛压变化，利用火药燃气压力推动弹丸。要使弹丸获得高速，在不增加身管长度时，采用合理控制火药燃气生成速率的方法，来提高膛压曲线充满度，如图 4-4-2 所示，这就要求火药的燃烧速率应该满足速燃要求。随行装药火炮的特点是可以获得较大初速，但有效质量小。

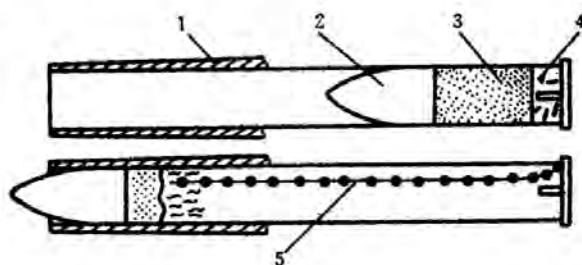


图 4-4-2 随行装药火炮工作原理

1-身管；2-弹丸；3-随行装药；4-常规装药；5-压力曲线

控制膛内压力变化，主要是通过控制发射药的燃烧来实现的。为了能更好地控制膛内压力变化，人们总是希望发射药能按照自己的意愿燃烧。对固体发射药而言，控制膛内压力变化，主要是通过装药设计来实现的。一旦设计好了装药，发射药的燃烧规律以及膛内压力变化也就基本确定。液体的易流动特性，便于控制。用液体发射药来发射炮弹，肯定比固体发射药容易控制。利用液体发射药作为发射能源的火炮就是液体发射药火炮。液体发射药火炮是利用液体发射药，通过点火、燃烧，产生高温高压火药燃气，对弹丸做功，从而把液体发射药的化学能转变为弹丸的动能。液体发射药大致分为单元药和双元药两大类，目前，广泛采用的是以美国 70 年代研制的硝酸羟铵 (HAN) 为基的单元液体发射药。在火炮结构上有整装式、外喷式、再生式三种。整装式将液体发射药连同弹丸一起装入火炮药室，结构简单，装填方便，但不易控制内弹道规律，膛压与初速跳动严重。外喷式需要一个外部高压辅助机构

完成液体发射药的喷注。膛压非常高，要将液体发射药喷注到膛内，外压必须高于膛压，这对外部高压辅助机构来说是非常困难的。再生式依靠差动活塞使液体发射药压力增加，并将液体发射药从贮存室喷射到燃烧室进行燃烧，差动活塞可以重复使用，实现发射循环。液体发射药火炮的军事价值主要表现在发射药的流动特性上：液体可以连续不断地泵入燃烧室，建立和保持膛内压力平台，控制火炮内弹道过程，从而提高火炮初速；发射药直接注入火炮，可以简化装填机构，能大幅度提高射速；可准确控制装药量，理论上实现无级变（初）速，便于提高火力机动性，甚至实现多发同时弹着；弹药成本低等等。液体发射药火炮的发展目前正处在关键时刻，若可在短时间内攻克关键技术难题，并向其他类型火炮方面发展，前途自不待言。

从广义上说，火炮是一个瞬时大功率热机，它将发射药的化学能转变成机械能，但是其转变效率比较低。电能易于控制，并且电能的应用技术成熟，自然人们会想到利用电能来发射炮弹。以电能为动力的、采用电发射技术推动弹丸的装置称为电炮。美国、俄罗斯、澳大利亚、英国、荷兰、法国、德国、以色列以及日本都在这方面开展研究。美国的研究进展最快，处于世界领先地位。电发射技术主要包括以电磁力推动弹丸的电磁发射技术和以高温等离子体推动弹丸的电热发射技术，相应的发射装置简称为电磁炮与电热炮。将电热发射技术与传统火炮发射技术有机结合又形成了电热化学发射技术，相应的发射装置简称为电热化学炮。电磁炮利用流经火炮轨道的电流感应磁场加速弹丸，发射的弹丸初速可能是现有火炮的两倍，达 3000m/s 以上。弹丸可在坦克的反应装甲装药爆炸之前穿透装甲，将坦克摧毁。作为武器系统，电磁炮目前大部分处于原理样机研究阶段。美国陆军计划投资 1.19 亿美元研究电磁炮，预计到 2005 年时电磁炮的脉冲电源能将 3.5kg 的弹丸加速到 2500m/s。国外近年还提出用于天基反导、地面反装甲和防空、舰载、机载武器系统的电磁炮模型和设想。电热化学炮发射的弹丸初速高，所需电能低，膛内压力可控，结构与常规火炮接近，可实现自动装弹，因此，适于作为陆基或舰载武器系统。电热化学舰炮已经问世，预计电热化学坦克炮将在今后 3~5 年内推出。

长期以来，在战争的追求中，人们一直在期待着实现其设想——以光束投射能量，把光作为武器。人们所期望的这样一个梦想，可以追溯到古希腊。阿基米德在古希腊锡拉丘兹保卫战中，建议士兵用数百块手持的盾牌来反射太阳光点燃了入侵的罗马舰队。在我国古代神话小说“封神演义”中也有过关于照妖镜和番天印之类的朴素光武器的描述。尽管这些只是神话，但它们确是最早利用光作为武器的设想。随着人们在科学技术领域中的执着研究开发并不断地开拓、创新，终于在本世纪 60 年代初发明了激光器。由于激光具有能量集中，传输速度快，作用距离远等显著特点，即刻使敏感的人们联想到古希腊的神话和我国“封神演义”中所描述的番天印等用光所作的武器，可否用 60 年代发明的激光来制作武器——激光武器，并且从此开始了对它的不屈不挠的全力追求。目前，软杀伤激光武器已研制出多种类型的产品，如激光枪以及各种车载、舰载和机载的软杀伤激光武器，有个别已实战应用。在硬杀伤激光武器研究方面，国外正在研制从车载、舰载、机载到星载的硬杀伤激光武器。美国 and 以色列按照“鸚鵡螺”合作研究计划，研制车载硬杀伤激光武器。1996 年 2 月曾利用先进的红外化学激光器在白沙导弹试验场成功地摧毁过飞行中的 БМ-21 火箭。接着，美、以两国又进行战术高能激光武器系统技术演示研究。整个战术高能激光系统安装在 6 辆拖车上，可全自动、半自动或手动操作，射程 7km~10km。若进展顺利，美国陆军希望在 2003~2005 年用其取代“毒刺”防空导弹系统。美国与荷兰联合研制舰载近程硬杀伤激光武器系统，用其取代现役的“密集阵”和“守门员”近程武器系统，装备 SC-21 水面舰船等。美国海军和 TBW 公司探讨采用 DF 化学激光器和光束定向器的舰载高能激光武器系统方案。拟装备“宙斯盾”级巡洋舰和驱逐舰，对付高速、掠海飞行的巡航导弹。1996 年，美国波音公司按空军的合同研制机载激光武器，拟安装在波音 747 之类的大型飞机上，携带足够交战

40 次的激光燃料，可在 12000m 高空拦截助推段飞行的战区弹道导弹，射程在 250km 以上，计划在 2002 年进行拦截战区导弹试验，2008 年装备 7 架飞机，形成作战能力。美国正研究部署在空间轨道卫星上的星载硬杀伤激光武器，作为常规弹道导弹防御系统的补充，用于击毁敌方弹道导弹弹头。美国计划每年投入的研究资金达 0.8~0.9 亿美元，并计划部署 12 具星载激光器。

此外，美国、俄罗斯正大力研究高功率微波武器。根据报道，目前研制中的微波武器主要有微波弹、压制防空用微波武器和防空用高功率微波武器等。在 1991 年的海湾战争中，美海军向伊拉克发射的“战斧”-116 舰射巡航导弹的头部装有微波弹头。前苏联在这一领域的研究水平可能略高于美国。1995 年，美空军着手用于压制敌防空系统的高功率微波实验系统的研制工作，试图利用高功率、窄带宽的射频源攻击敌综合防空系统。这种武器能在敌防区外发射，可以对敌方的射频威胁系统造成永久性电子损伤，并具有发射后不管的能力，能单次发射杀伤大量目标。俄罗斯已研制出用于防空的陆基型高功率微波武器样机，并已进行外场试验。该系统重约 13t，主要用于保护重要的军事设施和指挥中心，它不仅能使敌方武器系统的电子设备失效，杀伤操作人员，而且具有抗反辐射导弹攻击的能力。

这些新概念武器虽然与传统武器有很大差别，但是与传统武器又有一定的继承性和联系，尤其是液体发射药火炮、电炮、激光武器。

第二节 液体发射药火炮

目前火炮用的发射药都是固体火药。弹丸和发射药组装在一起，即所谓的炮弹。固体发射药是一种具有固定形状、燃烧速度很快、均相化学物质，而液体发射药是一种没有固定形状、燃烧速度很快的化学物质。液体发射药可分为单元液体发射药和二元液体发射药。单元液体发射药为均相化学物质，而二元液体发射药为氧化剂和燃烧剂两种成分的混合物。二元液体发射药又分为自燃型和非自燃型。当自燃型二元液体发射药的氧化剂和燃烧剂两种成分一接触就立即着火，而非自燃型二元液体发射药的氧化剂和燃烧剂两种成分接触时反应很慢，必须设置点火装置进行点火。单元液体发射药只有在一定的压力和温度环境下才能着火，也必须设置点火装置进行点火。

液体发射药火炮（LPG）是使用液体发射药（LP）作为发射能源的火炮。平时可以将发射药与弹丸分开保存，发射时同时装填。研制中的液体发射药火炮有外喷式、整装式和再生式三种形式。

整装式液体发射药火炮（BLPG，如图 4-4-3 所示），与常规药筒定装式固体发射药火炮类似，液体发射药装填在固定容积的药筒内，经点火后整体燃烧。整装式液体发射药火炮采用的是单元液体发射药。整装式液体发射药火炮，结构简单，装填方便，但液体发射药整体燃烧的稳定性较差，内弹道重复性不好保证，现在已很少采用。有人采用固定燃烧架的措施，来提高弹道一致性。

外喷式液体发射药火炮，是依靠外力在发射时适时地将液体发射药喷射到燃烧室进行燃烧，如图 4-4-4 所示。外喷式液体发射药火炮通常采用的是二元液体发射

药。对外喷式液体发射药火炮，外喷压力必须大于膛内压力。由于膛内压力很高，所以外喷压力很大，因此需要一个外部高压伺服机构来完成液体发射药的喷射。并且，该外部高压伺服机构相当复杂，控制困难。因此，现在正在研制的液体发射药火炮已经不再采用外喷式。

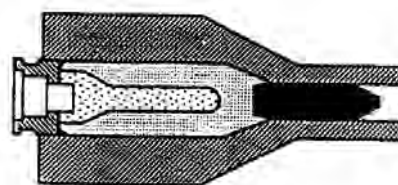


图 4-4-3 整装式液体发射药火炮

再生式液体发射药火炮 (RLPG)，的工作原理如图 4-4-5 所示。在发射前，液体发射药被注入贮液室。点火具点火，点火腔内的点火药（固态或液态）燃烧，生成的高温高压气体由点火具孔喷入燃烧室中，使得燃烧室内压力升高，推动再生喷射活塞并挤压贮液室中的液体发射药。由于差动活塞的压力放大作用，使得贮液室内液体压力大于燃烧室内气体压力，迫使贮液室中的液体发射药经再生喷射活塞喷孔喷入燃烧室，在燃烧室中迅速雾化，被点燃并不断燃烧，使燃烧室压力进一步上升，继续推动活塞并挤压贮液室中的液体发射药，使其不断喷入燃烧室，同时推动弹丸沿炮管高速运动，形成再生喷射循环，直到贮液室中的液体发射药喷完为止。可以通过控制液体发射药的流量，来控制内弹道循环。

1946 年，美国开创性地进行了液体发射药火炮技术的研究，随后各主要军事大国也相继不同程度的开展了研究工作。美国军方十分重视液体发射药火炮技术的发展，投入了大量的人力物力，在技术上始终领先于其他国家。以美国为例，液体发射药火炮技术的发展可归纳为五个阶段：

（1）液体发射药火炮原理探索

阶段：1946 年～1950 年，美国首先在 12.7mm 口径的武器上对三种方案，即整装式液体发射药火炮、外喷式液体发射药火炮及再生式液体发射药火炮进行了实验。这时期除用二元液体发射药之外，还出现了单元发射药（胺，硝酸胺及水的混合物）。

（2）液体发射药火炮的多种原理及液体发射药的探索阶段：1950 年～1969 年，对整装式液体发射药火炮和再生式液体发射药火炮继续进行研究，但主要进行整装式液体发射药火炮的研究，在 90mm 坦克炮上用胍基单元药，初速达到 1524M/S。朝鲜战争结束后，美军兴趣转向火箭、导弹方面，液体发射药火炮的研究几乎停止。二十世纪 60 年代初中期，液体发射药火炮研究处于低潮，仅对整装式液体发射药火炮做了一些试验。二十世纪 60 年代后期，美国从越南战争觉悟到火箭、导弹取代不了火炮。此时，海军率先开展的液体发射药研究取得进展，发展了 HAN 基液体发射药。液体发射药火炮又重新引起美国的重视。

（3）整装式液体发射药火炮为重点的液体发射药火炮技术研究阶段：1970 年～1976 年，研究的重点仍在整装式液体发射药火炮上，特别是美国 DARPA 为轻型装甲车研制了 75mm 整装式液体发射药火炮，并进行了试验。整装式液体发射药火炮在燃烧过程中的泰勒-瑞利不稳定性，弹道稳定性很差。在 1976 年的试验中连续两次发生灾难性事故，终于导致政府资助的液体发射药火炮发展计划全部暂停。

（4）再生式液体发射药火炮为重点的液体发射药火炮技术飞速发展阶段：1978 年新的 HAN 基液体发射药（LP1845、LP1846）和快速 30mm 再生式液体发射药火炮的出现，使美国军

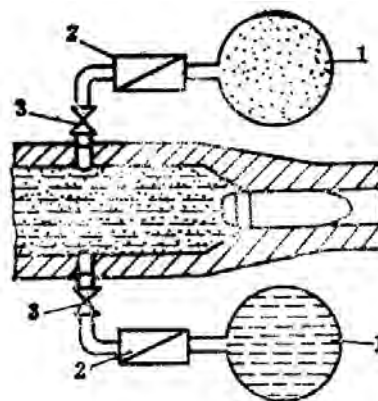


图 4-4-4 外喷式液体发射药火炮

1-液体发射药；2-泵；3-阀门

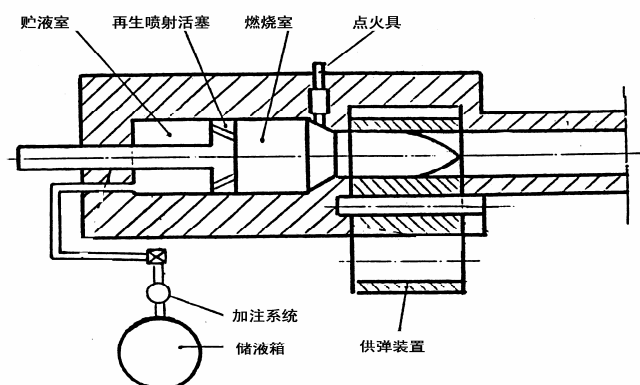


图 4-4-5 再生式液体发射药火炮工作原理图

方对液体发射药火炮又产生了极大的兴趣,并把液体发射药火炮技术研究重点从整装式液体发射药火炮转向了再生式液体发射药火炮方面。1978年~1987年,美国通用电气公司(GE)利用 OTTO II, LP1845, LP1846, N/M 等单元液体发射药在 25mm, 30mm, 105mm 等火炮上成功地对各种类型的再生喷射结构进行了大量的射击试验研究,在液体发射药、再生喷射结构及喷射过程控制的稳定性、防回火技术、内弹道预测、液体发射药喷射雾化机理及工程应用的一些相关技术等方面都取得了突破性的令人鼓舞的成果。初速标准差也达到了 0.35%,实现了良好的内弹道稳定性和再现性。这时期发展的 LP1846 型 HAN 基液体发射药已接近工程应用,研究的 VIC 型再生喷射结构也具有良好的工程应用前景,为液体发射药火炮工程化应用打下了基础。但是,对液体发射药火炮技术工程应用中的一些关键性问题,如压力振荡问题、点火稳定性及弹道控制的可靠性问题、液体发射药与喷射结构材料的相容性问题等都没有得到根本解决。

(5) 液体发射药火炮技术的工程应用阶段:在液体发射药火炮技术研究取得令人振奋的成果的二十世纪 80 年代末期,正赶上美国陆军为 21 世纪选择先进火炮系统而提出发展 155mm 先进野战火炮系统(AFAS)的计划。AFAS 计划要求火炮战术技术性能上有一个突破性的进展。当时有三种设计方案参加竞争性评价,即:液体发射药火炮、电热炮、单元模块式固体发射药(MACS)火炮。要求在 52 倍口径炮身上 M549 弹丸的射程达到 40km,新弹达到 50km 以上,突击射速 4 发/12s,持续射速 4 发/min~6 发/min,最大射程精度高。要求射程远,火力强且要发射药体积小,补充弹药工作量少。三种方案都进行了论证研究。为此,GE 公司在 1988 年开始进行 155mm 再生式液体发射药火炮 1 号炮和 2 号炮的试验研究。由于 GE 公司液体发射药火炮方案达到的性能全面超过军方要求,于是 1991 年 10 月陆军决定 AFAS 选用液体发射药火炮方案。从此美国正式开始了液体发射药火炮技术的工程化应用研究。1992 年完成了液体发射药的试验研究定名为型号装药 XM46,紧接着对 AFAS 的液体发射药火炮样炮进行装炮试验。结果:射程达 44km,比要求高出 10%。射速达 5 发/min~7 发/min,能在 8km~36km 射程范围内实现多发同时弹着,若采用 17 升药室预计射程可达到 60km。可减少 1 名炮手,炮塔尺寸大大减小,主要性能超过军方要求的指标。另一方面,在 AFAS 的液体发射药火炮样炮射击试验过程也出过几次事故。特别是 1994 年 5 月,在 Malta 基地试验中出现爆炸事故之后,引发了国会与军方的争论,经过两年的调查分析和争论,终于在 1996 年 3 月 11 日,陆军科学委员会提出报告,认为液体发射药火炮技术尚不成熟,决定放弃液体发射药火炮作为“十字军战士”的主方案,而改用 MACS 技术。分析液体发射药火炮尚不成熟的主要问题是压力振荡没有得到有效抑制,燃烧不稳定,液体发射药对炮膛腐蚀严重等,认为将它继续作为“十字军战士”的主方案在技术、费用和进度方面都会有很大风险。争论的各方都一致承认液体发射药火炮技术给 AFAS 带来了极高的性能,虽然决定把液体发射药火炮从 AFAS 的主方案退下来,但还是决定每年拨款 2 千万美元做进一步的研究,以便决定 1999 年之后液体发射药火炮的发展前景。在这时期,美国陆军也开展了液体发射药火炮技术用于坦克炮的论证工作。并以 M1A1 坦克为对象进行了论证,并认为应用前景良好。

英国和德国也在二十世纪 50 年代开始研究液体发射药火炮,但由于政府投资研究经费较少,主要进行小规模的基础预研工作。俄罗斯的液体发射药火炮研究进展缓慢,由于经费不足而停止。据称他们发展的硝酰胺系列的中性液体发射药腐蚀性较低。从现有的资料及德国学者多次讲学中了解到,德国目前研究重点是再生式液体发射药火炮的压力振荡问题,他们在 28mm、30mm、40mm 小口径火炮上,对不同的发射药(如 LP1846, OTTO II 不同比例的 N/M)、不同的点火能量、不同的喷孔面积、不同的喷孔结构及不同的流体通道条件等进行了大量对比实验。从资料上看,德国在压力振荡方面的研究比美国要细致和深入。同时,他们也进行了液体发射药的微量添加剂对压力振荡影响的研究工作。

经过 50 多年的不懈努力,液体发射药火炮技术取得长足进展。发射药的研究在工程应

用方面取得突破性进展,如美国基本定型的 XM46 型液体发射药,在发射性能方面是良好的,不足之处是与其他材料的相容性还不能满足工程应用的要求。液体发射药火炮的发射技术方面的成果是非常明显的,各国在多种口径火炮上用不同的液体发射药(如: OTTO II, LP1485, LP1846, N/M 及二元液体发射药)对整装式液体发射药火炮及再生式液体发射药火炮和外喷式液体发射药火炮进行全面的实验研究,已经实现最大初速 2000m/s 以上,标准差约 0.3%。再生喷射循环控制技术作为再生式液体发射药火炮技术中的关键技术,其研究取得显著成果。在各种结构参数及动力学参数对喷射循环影响的规律方面已积累了大批数据,为再生喷射结构设计提供了较成熟的技术。弹道预测模拟技术方面,通过由浅入深地理论建模和实验修正,取得可实用性成果。初速预测误差小于 2%,膛压预测误差小于 5%。液体发射药的大批量生产工艺、密封技术、加注技术、变装药技术、点火技术及点火具,多发同时弹着技术等取得了许多有意义的成果。完成了对自行炮、坦克炮、反坦克炮、大口径海炮及防空炮的评估工作等。

再生式液体发射药火炮是目前发展最快、最接近实用的液体发射药火炮。

再生式液体发射药火炮的典型膛压曲线如图 4-4-6 所示,由此可以看出,再生式液体发射药火炮的再生喷射过程,大致可分为如下五个阶段:

(1) 点火阶段: 点火具点火后, 点火燃气进入燃烧室, 使其增压;

(2) 点火延迟及液体发射药初始堆积阶段: 点火燃气压力逐渐上升, 推动喷射活塞移动而挤压贮液室中的液体发射药, 使其喷射到燃烧室并被加热, 由于此时燃烧室中环境不足以使液体发射药着火, 而形成燃烧室中液体发射药的初始堆积;

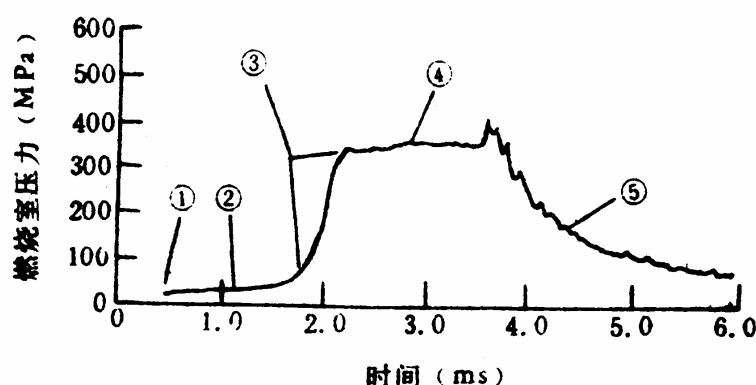


图 4-4-6 典型的再生式液体发射药火炮膛压曲线

(3) 液体发射药着火阶段: 经一定的延迟时间之后, 当燃烧室中的压力和温度达到一定值时, 堆积在燃烧室中的液体发射药着火, 随着压力增高, 燃速增大, 堆积在燃烧室内的和继续喷入的液体发射药迅速燃烧, 形成压力陡增, 压力上升到一定值时, 弹丸开始启动;

(4) 压力平台阶段: 燃烧室中液体发射药燃烧的增压作用与弹丸和喷射活塞运动的减压作用达到准稳态平衡, 从而保持燃烧室中压力基本不变, 形成压力曲线的平台现象;

(5) 燃气膨胀阶段: 喷射活塞运动到位, 液体发射药喷射结束并燃尽, 依靠燃气膨胀做功, 推动弹丸继续运动。

再生式液体发射药火炮与常规固体发射药火炮相比, 尽管再生式液体发射药火炮由于改变了发射药的形态并带来了一些变化, 但是与固体发射药火炮总体上有较大的继承性。再生式液体发射药火炮本身的结构特点有: 炮身的药室改变为结构较为复杂的再生喷射装置; 炮弹没有药筒或药包, 供输弹系统结构简单, 只需保证弹丸装填, 且液体发射药加注与供输弹可以并行进行, 从而可以大幅度提高发射速度; 击发机构由点火系统取代, 炮尾、炮门及其闭锁机构与再生喷射装置构成一个整体; 液体发射药储存空间(容积)具有很大的随意性,

可以合理地利用载体空间；需配备故障测控系统等。尽管再生式液体发射药火炮较固体发射药火炮复杂得多，然而再生式液体发射药火炮具有更为优良的综合性能。再生式液体发射药火炮的优势有的是潜在的，有的在试验样炮上已经实现，是目前任何常规固体发射药火炮远远达不到的。主要表现在如下几个方面：

（1）提高火炮威力

再生式液体发射药火炮，可以通过控制喷入燃烧室的液体发射药流量来控制燃烧，即控制发射药能量的释放，实现膛压曲线的压力平台，提高膛压的充满度，以及液体发射药火炮的装填密度大，可以较大幅度提高火炮弹丸初速，穿甲厚度可提高 30%。可以大幅度增大射程，如美国研制的 155mm 再生式液体发射药火炮，用 52 倍口径炮身，常规弹丸 M549 实现射程 44km，而同样的弹丸 M109 155mm 固体发射药火炮仅为 30km，即使采用先进的模块化固体装药也只能使射程达到 39.6km，而且还需将炮身由 52 倍口径加长到 54 倍口径，再生式液体发射药火炮技术若采用新弹和 17 升药室，预计射程可达 60km。

液体发射药直接注入火炮，液体发射药装填的独立性，可以简化弹药装填，缩短弹药装填时间，从而大大提高发射速度。再生式液体发射药火炮 155mm 火炮设计射速为 8 发/min~10 发/min。

液体发射药的流动性，可以实现注入量的随意控制，调节射程，提高武器系统的火力机动性，特别是单炮多发弹同时弹着目标的能力。155mm 再生式液体发射药火炮使用 M549 式弹，52 倍口径炮身，射程可达 44km，并在 8km~36km 射程内可实现了多发同时弹着。

由以上的优越特性估计，一门 155mm 再生式液体发射药火炮相当于现今一个炮兵连的火力。

（2）提高火炮系统的生存能力

再生式液体发射药火炮，可以控制发射药能量的释放，提高膛压的充满度，在初速不变时可以大幅度减低压力峰值，减轻火炮质量。

目前再生式液体发射药火炮所采用的单元液体发射药，只有在一定的压力和温度环境下才能着火，对撞击和振动不敏感，在常压下不燃烧，受枪击不易引爆，大大降低了易毁性。

由于再生式液体发射药火炮的液体发射药以雾滴形式燃烧，所以发射药燃烧充分，炮口的火焰、烟雾较少，声音小，不易暴露，降低了被发现的可能性。

液体发射药形状的不固定性，使得贮存方便，可以充分利用各种形状的贮存空间，有利于武器系统合理布局，大大减小车体外形尺寸。

液体发射药可以如意控制装药量，可增加携弹量，可提高单炮作战时间。

由于供弹系统的简化及装药的自动化，可减少 1 名炮手，从而可减小炮塔尺寸和重量，提高机动能力和减小被击中的面积。

再生式液体发射药火炮的这些特点，有利于火炮的安全，可提高系统生存能力，和武器系统综合作战能力。

（3）简化和提高后勤补给效率

液体发射药的包装、运输、储存类似于石油，因此一切操作都简单，弹药补充也简便快捷，可用泵直接注入炮内储箱，时间比固体发射药可减少 3~4 倍。弹药供弹车带弹量可提高 50%~100%。

现在采用的单元液体发射药，以硝酸羟胺为基，以水为溶剂和稀释剂，以硝酸羟胺为氧化剂，以三乙醇胺硝酸盐为燃烧剂，其毒性小。对液体发射药的处理较简单，费用低，无公害。HAN 基液体发射药可以生物降解，直接进入土壤，无危险无公害。有利于火炮的后勤保证，明显改善战场后勤供应条件，简化处理装备，提高后勤补给效率。

（4）良好的经济性

液体发射药能量释放的低烧蚀性（液体发射药的爆温只有 1700⁰K~2500⁰K），可缓解对身

管的烧蚀，可以提高身管寿命。

液体发射药批量生产工艺简单，成本低廉，具有良好的经济性。据美国在 1989 年测算，液体发射药与固体发射药相比，发射药/弹药系统的费用可节省 75%。人员费用节省 50%。后勤支持费用节省 60%，发射药生产费用节省 90%。

液体发射药可以实现发射药品种和品号的单一化。不需特殊原料，生产过程无环境污染的副产品。

液体发射药的这些特性，可减低火炮全寿命周期费用。

再生式液体发射药火炮样炮实弹发射试验表明，试验炮的性能非常好，但也反映出再生式液体发射药火炮工程应用中还存在一些技术难题，如压力震荡、弹道控制、点火、液体发射药与火炮材料的相容性、液体发射药加注与泄液、液量计量、防漏、气泡的防止与排除、变装药等等。要攻克这些难关，需要时间和研制经费。

典型的再生式液体发射药火炮试验压力曲线都存在的严重压力振荡(见图 4-4-7)，虽然也进行了诸多的分析，但一直没有找到有效抑制它的措施。

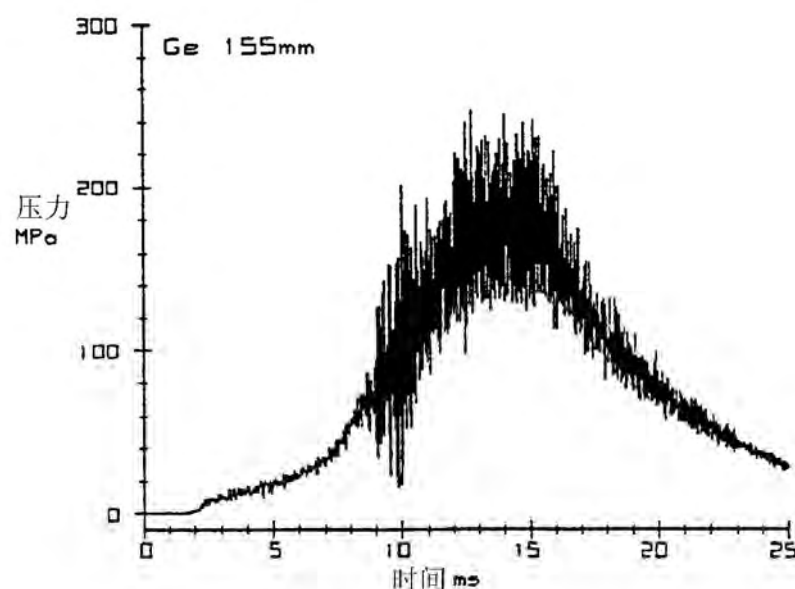


图 4-4-7 压力振荡

点火的稳定性及液体发射药喷射燃烧控制的可靠性还没有得到很好的解决，这实质上是一个系统的优化耦合问题。优化耦合设计的核心是控制着内弹道性能的再生喷射结构与液体发射药优化耦合。从美国“AFAS”的实验情况可以看出，虽然实现了战术指标，但可靠性并没有达到要求。而可靠性差就差在再生喷射循环过程上，即再生喷射结构与液体发射药不是优化耦合的设计。美国的再生喷射结构是一个放大压力振荡的结构。

与常规固体发射药火炮工作过程相比，再生式液体发射药火炮工作过程包含了液体发射药喷射、破碎、雾化、燃烧、以及弹丸和再生喷射活塞的运动等更为复杂的物理化学过程。与一般工程燃烧问题相比，再生式液体发射药火炮的再生喷射循环过程处于超高压高温状态下，燃气工质状态已远离理想气体状态，且燃烧反应流动区域具有两个运动边界，液体喷射过程与活塞机械运动及燃烧反应过程高度耦合，使得控制再生喷射燃烧过程的参数很多，其动力学过程十分复杂。

再生式液体发射药火炮的特点就是利用液体发射药燃烧时产生的燃气压力实现自反馈式的再生喷射循环过程。当液体发射药确定之后，决定再生式液体发射药火炮性能的关键技术，就是通过结构设计，实现对液体发射药的喷射、破碎、雾化、燃烧、以及弹丸和再生喷射活塞的运动等整个再生喷射循环过程的控制。研究再生喷射循环过程的控制技术，对提高再生

式液体发射药火炮性能和提高再生式液体发射药火炮实用性具有重要意义。

再生式液体发射药火炮再生喷射过程是利用高速运动的喷射活塞(最大速度为 $60\text{m/s} \sim 70\text{m/s}$, 最大加速度高达 10000g 以上), 在极短时间内(整个喷射过程不到 10ms), 将液体发射药以超音速(射流速度达 500m/s 以上)、大流率(质量流率高达 20kg/s), 向高温(约 3000°K)、超高压(300MPa 以上)环境中喷射并燃烧的过程, 压力上升时间短、压力上升速率极大。对这种复杂的物理化学过程进行实时控制, 具有很高的难度。

再生式液体发射药火炮利用自身结构内的液体发射药燃烧能量推动再生喷射活塞(差动活塞)实现液体发射药的连续喷射和补充, 其试验装置的再生喷射结构形式多种多样。用于早期研究的多数为采用自燃二元液体发射药, 再生喷射结构为多活塞式再生喷射结构(如图 4-4-8 所示), 该试验装置的复杂性及所用发射药的性能缺陷严格限制了试验的进行, 目前这种装置结构已基本淘汰。随着单元液体发射药的研制成功, 出现了直筒式再生喷射活塞结构(如图 4-4-9 所示), 该结构非常简单, 但喷射孔面积不变, 弹道不易控制。为了克服直筒式活塞喷射孔面积不变的缺点, 设计了空心再生喷射活塞(如图 4-4-10 所示), 它采用双重控制, 由差动活塞来控制的喷射压力, 由燃烧室压力和起气垫作用的浮动阀来控制喷孔面积的变化, 但该结构强度和刚度较差, 浮动阀的振动可能会成为燃烧不稳定的激励源, 故可靠性较差。相对较好的结构为具有环形喷孔的喷射结构, 该喷射结构又有两种形式, 一种是外环式结构(如图 4-4-11 所示), 另一种是内环式结构(如图 4-4-12 所示), 其特点是可通过优化活塞行程和环形喷孔面积来控制喷射规律和内弹道过程, 该结构设计灵活, 加工性好, 具有一定的实用价值。图 4-4-13 和图 4-4-14 所示结构为内环式结构的改进型, 它们不依赖于非均匀芯杆来调节喷射面积, 而是通过喷射活塞与可动控制杆运动之间的合理匹配, 可更为灵敏地控制喷射规律, 但是, 控制环节过多, 对扰动非常敏感, 极易诱发压力振荡。此外, 还有反向式再生喷射装置(如图 4-4-15 所示), 在该结构中, 活塞环绕炮管安装, 朝与弹丸相同的方向运动, 发射药从贮液室喷进副燃烧室, 随后燃气和部分未燃发射药经通孔进入弹后主燃烧室。

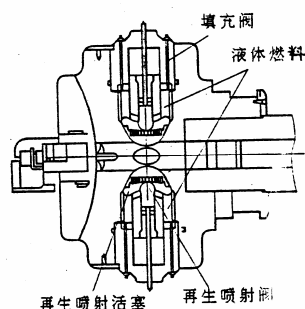


图 4-4-8 多活塞式再生喷射结构

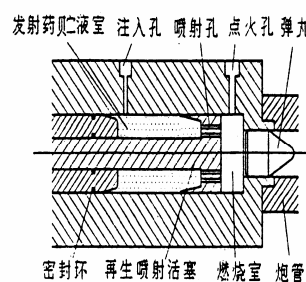


图 4-4-9 直筒式再生喷射结构

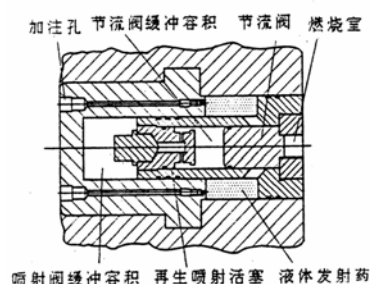


图 4-4-10 空心活塞式再生喷射结构

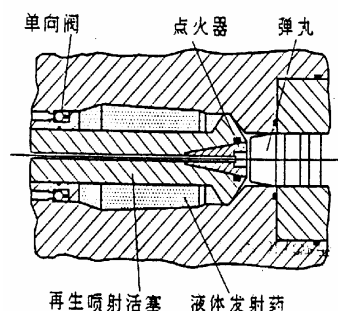


图 4-4-11 外环式再生喷射结构

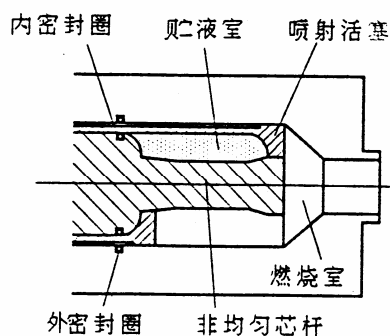


图 4-4-12 内环式再生喷射结构

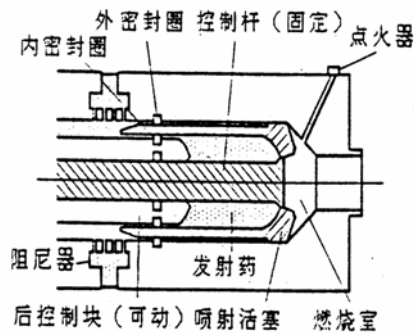


图 4-4-13 内环式 VIA 型再生喷射结构

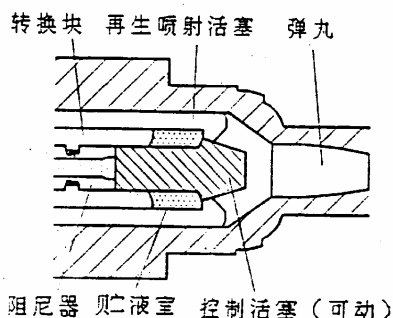


图 4-4-14 内环式 VIC 型再生喷射结构

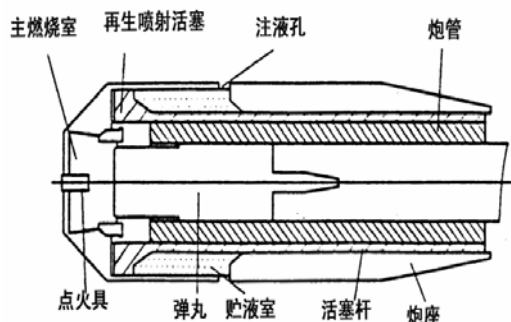


图 4-4-15 反向式再生喷射结构

液体发射药火炮经历了 50 多年的发展, 取得了巨大成就, 也遭受到各种挫折, 尤其是美国在工程化的进程中受挫, 给液体发射药火炮技术发展蒙上一层阴影。液体发射药火炮技术发展, 主要是解决工程化问题, 如再生喷射结构与发射药的优化耦合、压力振荡的抑制、发射药的加注等。

目前液体发射药火炮技术发展的另一个方向是避开液体发射药火炮中暂时难以解决的难题, 将液体发射药火炮技术与其他发射技术有机结合, 形成新的发射技术, 如液体随行装药发射技术、液体辅助药室发射技术、液体电热化学发射技术等。

第三节 电炮

电炮是使用电能代替或者辅助化学推进剂发射弹丸的发射装置。正在研制中的电炮有电磁炮 (EML) 和电热炮 (ET)。电磁炮完全依靠电磁能来发射弹丸。电热炮是全部或部分地利用电能加热工质并产生等离子体来发射弹丸。

电炮能够驱动弹丸以高速飞行, 速度大大超过 1.8km/s 。由于电炮炮弹比常规有更高的速度, 因此它具有足够的动能对要攻击的目标造成灾难性的破坏, 能更有效地摧毁硬目标。

一、电磁炮

磁场的主要特征之一是对载流导体能产生作用力, 称为电磁力。载流导体在磁场中所受的作用力与导体中的电流、导体在磁场中的长度、磁感强度以及导体和磁场方向之间夹角的正弦值成正比。当导体与磁场方向垂直时, 导体所受的力最大。当导体与磁场方向平行时, 则导体不受力的作用。

电磁炮是电炮家族的重要成员。电磁炮是完全依靠电磁能发射弹丸的一类新型超高速发射装置, 又称作电磁发射器。电磁炮正是基于这一基本的物理原理而提出并进行研制的, 即

电磁炮是利用运动电荷或载流导体在磁场中受到的电磁力(通常称它为洛伦兹力)去加速弹丸的。根据工作原理的不同,电磁炮又分为导轨炮和线圈炮两种。

导轨炮的工作原理如图 4-4-16 所示。导轨炮是由一对平行的导轨和夹在其间可移动的电枢(弹丸)以及开关和电源等组成。开关接通后,当一股很大的电流从一根导轨经炮弹底部的电枢流向另一根导轨时,在两根导轨之间形成强磁场,磁场与流经电枢的电流相互作用,产生强大的电磁力(洛伦兹力),推动载流电枢(弹丸)从导轨之间发射出去,按目前的工程条件,理论上初速可达 $6000\text{m/s} \sim 8000\text{m/s}$ 。

导轨炮的磁场强度和电流越大,电磁力也就越大。电路长度是由弹丸大小决定的,它的变化不会很大,主要影响的因素是电流和磁场。例如要将质量为 1kg 的弹丸加速到 5000m/s ,如果假定加速度不变,加速的时间是 0.002 秒,那么需要 $2.5 \times 10^6\text{N}$ 的力。如在弹丸上的电行程(即弹丸大小)为 0.05m ,磁场强度为 20T (它是通过超导线圈所能达到的最大值),那么所必须的电流强度为 $2.5 \times 10^6\text{A}$ 。弹丸能获得的动能为 $12.5 \times 10^6\text{J}$,把贮能转换成动能的时间是几个毫秒,即上述的加速时间为 0.002s ,那么其功率为 $6.25 \times 10^9\text{W}$ 。这里的计算,假定整个过程中没有损耗,效率为 100% 。实际上,能量损耗是很大的,这里只是为了提供一个所需能量的量级上的概念。

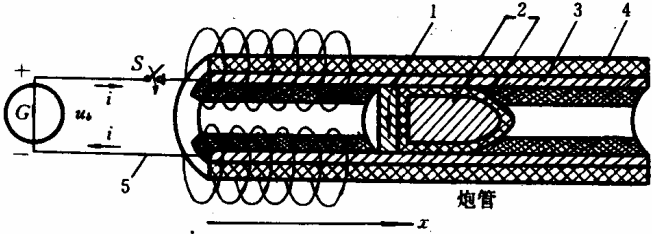


图 4-4-16 导轨炮的工作原理图

G-高功率脉冲电源; S-开关; 1-电枢; 2-弹丸; 3-导轨; 4-绝级筒; 5-馈电母线

正在研究中的导轨炮可以有单一、串联、并联和多层等不同形式,并根据导轨的形式可选用方形、圆形或椭圆形等多种炮口切面。电枢的种类主要有:固态金属电枢、等离子体电枢和混合型电枢等。提供脉冲功率的能源,目前主要有电容器组、高性能蓄电池、各种单极发电机、脉冲变压器、补偿型脉冲发电机(即强制发电机)和爆炸发电机,以及以后将会使用的超导储能系统等。这些不同的脉冲功率能源各有利弊,目前尚难断言哪种更好。

线圈炮工作原理如图 4-4-17 所示。线圈炮主要由感应耦合的固定线圈和可动线圈以及储能器、开关等组成。许多个同口径同轴固定线圈相当于炮身,可动线圈相当于弹丸(实际上是弹丸上嵌有线圈)。当向炮管的第一个线圈输送强电流时形成磁场,弹丸上的线圈感应产生电流,固定线圈产生的磁场与可动线圈上的感应电流相互作用产生推力(洛伦兹力),推动可动弹丸线圈加速;当炮弹到达第二个线圈时,向第二个线圈供电,又推动炮弹前进,然后经第三个、第四个线圈……直至最后一个线圈,逐级把炮弹加速到很高的速度。

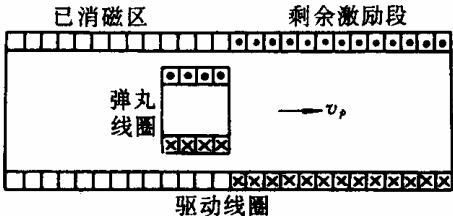


图 4-4-17 线圈炮的工作原理图

加速弹丸的推力(洛伦兹力)正比于固定线圈中的电流强度和弹丸线圈中的电流强度及

固定与可动线圈的互感梯度。

线圈炮的结构有同轴式、扁平式、滑动接触式、磁性加速体式等。

另外还有由多级上、下长方形同轴线圈组成的重接炮。发射体在两方线圈间隙作加速运动。重接炮被认为是未来先进天基电磁炮的结构形式，但是，目前对它只做了一些初步的理论与试验研究。据说，当初之所以起名为重接炮，是因为每级线圈磁场要重接到电枢上。

电磁炮在原理上主要有导轨炮和线圈炮两种，但是在结构上采用多种混合方式。

现代战场的威胁分析表明，新的武器系统必须增加射程和提高射击效果。可是近百年来袭用的火炮，由于受火药气体热参数的限制，其性能已接近于极限。而采用电磁推进原理的电磁炮完全可以突破常规火炮的性能极限，因此，近十多年来电磁炮技术的研究受到了格外的重视，并取得了举世瞩目的进展。

电磁炮有以下主要特点。

(1) 初速高。火炮炮弹速度一般不超过 2km/s 。虽然通过改进火药和提高燃烧效率等办法，其炮口动能还可以再提高 $10\%\sim 20\%$ 左右，但是不免会带来增加火炮质量、体积和后坐力等反效应。因此，即使是像“艾布拉姆斯”这样的美国新型主战坦克，也难以通过进一步增加炮口动能来对付苏式 FST 系列坦克。但是，电磁炮采用电磁发射，突破了常规火炮的初速限制，可以获得很高初速，从而可以缩短交战时间，增加对付快速目标的有效性，提高命中率，可以具有更大的炮弹动能，增加对目标的破坏力。

(2) 电磁炮发射能源为电能，弹丸初速和射程可以通过改变电流大小进行控制，不易受偶然因素的影响，而且操作使用简便，有利于改变射程，工作稳定、重复性好。

(3) 电磁炮几乎全部发射重量都是有效载荷，附加重量小；炮管形状、弹丸形状以及弹丸质量都不受限制；加速均匀，弹丸的平均加速度和峰值加速度的比值小；弹丸质量(或体积)可以很小，既容易实现装填自动化，也便于减轻后勤供应的负担。

(4) 电磁炮靠电磁力发射弹丸，几乎没有火焰、烟雾、响声和后坐力，有利于隐蔽作战和安全操作。

(5) 电磁炮主能源一般是采用低级燃料的燃气轮机或柴油机，电磁发射的能量转换效率也相对较高，使得单位能量的成本较低，仅为火炮能量成本的 1% 。加上电磁炮弹丸价格低，而且几乎全部发射能量都用于有效载荷，因此总的效费比较高。

(6) 电磁炮的瞄准射击精度要求较低，而且以较大的动能直接撞击目标，因此破坏效果较好，且易于判定是否击中。

采用电磁发射原理的电磁炮完全可以突破常规火炮的性能极限，因此，近十多年来电磁炮技术的研究受到了格外的重视，并取得了举世瞩目的进展。电磁炮目前尚处于研究阶段，离实战要求还有相当的距离。电磁炮技术由其独特的优点，决定了它有广泛的应用领域和重要的应用价值。

电磁炮技术具有广泛而重要的军用价值，涉及到从常规到尖端的各种武器：既有进攻武器，又有防御武器；既有战略武器，又有战术武器；既有陆、海、空基武器，又有天基武器；既有制导武器，又有非制导武器等。目前考虑和研究中的电磁炮技术的主要军事应用有以下几方面。

(1) 电磁大炮。电磁炮初速高，动能大，可以在很大的射程内杀伤目标。目前已计划研制把近百公斤弹丸、以大于 2km/s 的速度发射到火炮所不及的 $50\text{km}\sim 100\text{km}$ 以上距离的增程电磁大炮；有的计划甚至研究射程数百千米的大口径超远程电磁炮。

(2) 防空反导电磁炮。电磁炮初速快，射速高，交战时间短，不怕电子干扰，因此命中率高，效费比好，适用于防空和反战术导弹。电磁炮弹丸速度在大气中可达 $4\text{km/s}\sim 6\text{km/s}$ ，是飞机和战术导弹等目标速度的 $2\sim 15$ 倍。电磁炮可以用百克级的炮弹，以小于 5km/s 的速度，击毁几百米到几十千米范围内的飞行目标。例如，发挥超高速、高射速的优势，在 $5\text{km}\sim$

10km 的距离上, 以很高的杀伤概率摧毁带核弹头的来袭巡航导弹。

(3) 反航天兵器 / 战略导弹电磁炮。天基的或陆基的电磁炮可用于反航天兵器和反战略导弹, 在空间或飞行弹道的各阶段对它们进行拦截。美国 SDI 计划曾研究这方面的应用。

(4) 装甲 / 反装甲电磁炮。电磁炮速度快, 动能大, 穿甲能力强, 可作为坦克炮和舰 / 反舰炮。电磁炮弹由于速度快, 因此它已成为破坏装甲的一条新途径。目前, 坦克 / 反坦克炮和舰炮其炮口动能基本上在 7MJ~9MJ 范围内, 有的重型舰炮动能超过 10MJ。国外已研制出炮口动能 9MJ 的实验型单射电磁炮, 并在实验室内已达到 8.6MJ 的动能, 现正进一步提高炮口动能, 同时进行连射实验。据报道, 电磁炮已可击穿模拟的 T-72、T-80 坦克装甲。15MJ 甚至更高动能的电磁炮还将能够击毁火炮所不能击毁的未来坦克, 其威力无疑地还将超过重型舰炮的威力。电磁炮技术还可用于电磁装甲的研究。电源放电产生磁场, 在与弹丸运动相反的方向上产生洛伦兹力, 阻止或捕获来袭弹头。

(5) 飞机电磁发射器。用电磁炮发射飞机, 由于加速均匀而且快, 可以缩短滑行距离和发射时间。还可以减少对地面的要求, 减少噪声公害和空气污染。发射小型无人机、侦察机, 仅需一辆吉普车固定的单极发电机提供动力。电磁炮还可用作航母上的飞机弹射器, 取代以往的蒸汽弹射器。电磁弹射器代替蒸汽弹射器有如下优点: 省去建立汽压的等待时间, 可以提高发射率; 去掉了高压蒸汽, 其能量可全部用于推进系统, 提高动力的利用率。

(6) 航天器电磁发射器。电磁炮可用于发射卫星、航天飞机、空间平台和空间探测器等各种航天器。据国外研究, 电磁炮发射的数千克质量的低阻炮弹(航天器)能以 10km/s~15 km/s 的速度穿越大气层而不被烧蚀和减速损坏。如果炮弹阻力系数为 0.1, 炮口速度超过 9.5km/s, 则穿过大气层后可达到 8.8 km/s 的速度, 并可以改变弹道, 保持在地球轨道上; 如果低阻炮弹以 14.8km/s 的速度发射, 则穿过大气层后可达到 11.8km/s 的太阳系逃逸速度。利用电磁炮发射航天器, 具有以下优点:

1) 可降低发射费用。在初期, 由于发射系统费用高, 发射成本会高一些, 但是, 由于电磁炮可以重复发射使用, 而且发射的几乎是全部有效载荷, 无需携带运载火箭那样的发动机、电源、反应物质等很多寄生质量, 因此可降低发射费用。据估计, 在重复发射 2000 次后, 其发射费用甚至可降低到火箭发射的 1%。

2) 不受能量和体积、重量的严格限制。电磁炮不受化学材料所遇到的能量极限的制约, 而且由于大部分推进设备不发射上天, 因而不像化学火箭发动机那样要受质量和体积的严格限制, 有利于结构的简化。

3) 提供高可控性和安全性。电磁炮的发射速度容易控制, 而且由于不使用爆炸化学材料, 因此可以提供化学推进系统难以达到的高可控性和安全可靠。

4) 使用灵活和方便。发射系统中的大部分设备留在地面, 它不像化学推进系统那样需要临时加注, 另外发射率也较高, 在战时可以应急发射小型航空、航天器或探测器、拦截器等, 而且操作使用和支援、维护方便。

电磁炮技术在军事上还可用于机载武器、鱼雷发射器、声纳浮标发射器、救生逃逸系统、舰船推进系统以及研究载人特性的载人模拟发射器等。当然, 电磁炮技术的军事应用远不止这些。

除军用外, 电磁炮技术还能够民用, 主要有如下几个方面:

(1) 电磁炮可作为碰撞核聚变研究的能源。据初步计算机表明, 电磁炮可将质量为 0.1 克的弹丸加速到可以点燃聚变用核燃料所需要的超高速(50km/s~200km/s)。据说, 1 克氘被加速至 100km/s 后再互相碰撞, 即可以产生核聚变。

(2) 电磁炮可用于新型材料的研制。利用电磁炮弹丸撞击挡壁时产生的超高压大于地心压力(约 360kMPa), 可以合成人造金刚石和研制新型的陶瓷材料。据说, 截面积同为 20cm²~30cm² 的铅、铁、钨三种金属弹丸均以 10km/s 的速度撞击挡壁, 可分别产生 300kMPa~

400kPa、500kPa~700kPa、1000kPa。

(3) 电磁炮脉冲功率源可作为起动电源。据说,电磁炮的脉冲功率源,如磁通压缩(MC)型爆炸发电机可以产生 10MW 的超大功率电脉冲(相当于全日本峰值发电功率的 10 倍);磁流体动力学(MHD)型爆炸发电机可以产生 10kW 的脉冲功率,而且能够连续运转。如能制成廉价的小型爆炸发电机,它便可作为大量运输工具和工业设备的起动电源,以大大减少正常运行所需的功率,这将为全国的节能带来显著的经济效益。

(4) 电磁炮用于核废料、空间货物的发射和空间垃圾的清理。放射性核废料的处置是件大事。除了目前采用的将核废料再处理回收利用和向地下、海底“深葬”等办法之外,利用电磁炮将其发射到太阳系之外的宇宙空间,也是一种可行的解决办法。电磁炮还可用来为空间站和月球基地输送空间货物。主要空间货物包括:生活保障所需的水、食物和氧气,空间站维护所需的约 1/3 备用品,人员平时所需的服装、保健卫生等用品,研究、生产、处理所需的用品与材料,以及舱外活动支持用品等。电磁炮亦可为清除返地轨道上对空间站的长期部署造成严重威胁的空间垃圾做出贡献。

此外,电磁炮及其有关功率源技术可在航天轨道变换用的反冲力发动机、石油和煤矿勘探的震源机、碎石机、钻孔机以及烧结技术和焊接技术等国民经济许多领域获得应用。

就电磁炮的研制来讲,至少涉及到以下两个关键部分:研制能加速弹丸高速的加速装置(相当于常规炮的炮管)和研究能量的储存与传输。

在任何电磁加速装置中,都需要形成强大磁场的强大电流。加速装置能量需要量是以兆焦为单位来计算的,这个能量估计不仅反映了对贮能器的根本要求,而且也是在研制上要解决的一个重要的技术问题。

对武器研制中使用的贮能器有如下要求(这些要求是受武器使用性能制约的):

- (1) 能量容量尽可能大;
- (2) 能量密度要大,所使用的蓄电池的体积要小,能装进战斗车辆或军舰内;
- (3) 比能要大。

现在一般采用像蓄电器和蓄电池那样的贮能器。但最近由于固体材料的发展,蓄电池能量密度进一步增大,因而高效率的蓄电池有更大的容量。这样,不久的将来将有可能达到 MJ/g 级的能量和 100MJ / m³ 级的能量密度。

单极发电机是产生强大电流的电源,本世纪初期就有了。可是,它并没有达到使用的地步,最近,单极发电机的技术水平已有很大提高。单极发电机的工作原理是,金属圆盘在对称的磁场中垂直于旋转轴进行旋转,由于金属圆盘旋转而产生磁通量的变化,并按照感应原理产生感应电压。感应电压可引出消耗电流。金属圆盘电阻很小,所以能产生 10MA 以上的强大电流。与感应电压在分离阶段呈现波状的双极发电机不同,单极发电机在金属圆盘上的感应电压就像一根导线所具有的一定电压。最近研制成一种液体金属接触的新式轴型单极发电机,电流不是呈放射状流动,而是呈轴向流动。在以前的很长时间里影响此种方式实现的主要原因是没有良好的接触机构,而在本装置上采用的接触材料是铟水银、钠和钾等的液态合金。作为电磁力推进用的贮能器,此种方式比其他方式好得多。

另一个重要问题是输出功率传导问题。输出功率传导要求在很短的时间内释放大电流并使用电池或电容器,能迅速地降低高电压。控制和传导 MA 级强大电流,需要投入相当多的技术开发力量,特别要求做到以下几点:

- (1) 持续时间要特别短(ms 时间);
- (2) 电流量要大(MA 级);
- (3) 电压要高(达到 50kV)(特别是使用叠层电容器放电时);
- (4) 为了尽可能降低所需要的全部能量,要减少连接损耗;
- (5) 为了避免加速度达到最高点,应平滑地制动放电电流。

1979 年,在美国加利福尼亚州的罗伦茨·利弗莫尔国立研究所研制的爆发磁通压缩轨道炮,已使质量 1g~3g 的弹丸加速到 7000m/s~9000m/s 的最大速度。

1978 年以来,麻省理工学院研制了同轴线圈质量驱动装置和部分轨道加速装置和火药推进和电磁力推进的混合加速系统。

威斯汀豪斯公司从 1979 年开始研制电磁炮,使 300g 重的弹丸加速到 3000m/s。另外,还使用 15MJ 的单极发电机作为电磁炮的贮能器。

1981 年通用动力公司研制并试验了电磁力轨道加速装置使用的“法兰克斯”型特种穿甲弹。

美国新墨西哥州 JAYCOR 研究所研制等离子压缩加速装置,研制目的是通过对等离子体的压缩以实现更高的加速。

为了研制供给加速装置能源的单极发电机,得克萨斯州奥斯汀电子机械研究所试制了 15MJ 的发电机;沃特公司正在研制 100MJ 蓄电器;威斯汀豪斯公司受美国国防部国防高级研究计划局和陆军研究与发展局的委托试制了脉冲单极发电机,它的最大脉冲输出功率为 3GW。

美国国防部计划优先进行以上各项研究。据国防高级研究计划局和陆军研究与发展局报告,从 1978 年到 1985 年预计投资 2500 万美元进行研制。

有关电磁力质量加速装置的研制,根据物理数据和已研制出的装置的信息以及计划试验的信息可得出结论,电磁力质量加速装置是满足物理原理要求的。但是,该装置的研制工作尚处于初级阶段,目前达不到使用的程度。美国还在进行用电磁炮发射卫星和用作舰载飞机起飞的弹射装置的研究。

二、电热炮

电热炮是电炮家族的重要成员。电热炮是全部或部分地利用电能加热工质产生等离子体来推进弹丸的发射装置。一般地说,电热发射有两个含义:一是完全依靠电能工作,使用特定的高功率脉冲电源向某些分子量小的惰性第一工质(如聚乙烯或金属丝/箔等)放电,把工质加热而转变成高温高压等离子体状态,利用含有热能和动能的等离子体直接推进弹丸运动;二是先利用高功率脉冲电源放电产生高温高压等离子体,然后再利用加热第一工质产生的等离子体去加热其它更多质量的低分子量的第二工质,使第二工质气化或离解和燃烧、加热,产生高温高压燃气,借助高温高压燃气的热膨胀做功来推进弹丸。第二工质的初始状态可以是固体、液体、浆糊状的胶滞体或气体,如碳氢化合物燃料加过氧化氢氧化剂,铝、钛与水组成的膏剂,固态化学物质等,但其分子量一般都比常规火炮用的固体发射药分子量低得多。也可以直接用等离子体加热发射药,使其化学反应,变成含少量等离子体的高温高压燃气来推动弹丸。因此,从工作方式上,电热炮可以分为两大类:用等离子体直接推进弹丸的,称为直热式电热炮或单热式电热炮;用电能产生的等离子体再加热其它更多质量轻工质成气体而推进弹丸的,称为间热式电热炮或复热式电热炮。从能源和工作机理方面考虑,直热式电热炮是全部利用电能来推进弹丸的,它们是一类“纯”电热炮,故也称为纯电热炮;而绝大多数间热式电热炮,发射弹丸既使用电能又使用化学能(发射能量约 20%来自电能,80%来自化学反应),因此它们是一类电热“化学”炮,故也称为电热化学炮。

电热炮是利用放电方法产生的等离子体推动弹丸的。这种等离子体属低温等离子体,又称电弧等离子体,故此早期的电热炮称“电弧炮”。电弧等离子是在机械、热和磁的三种压缩机制作用下产生的,它的能量密度比一般电弧(如真空放电电弧)大 10 倍以上,温度高 5 倍多。电热炮中的等离子体产生及其做功过程是在封闭的放电管或炮膛内进行,又都是脉冲式工作的,所以早先人们也曾把电热炮称作脉冲等离子体加速器或等离子体炮。

根据等离子体注入方式不同,有后注入式电热炮和侧注入式电热炮两类。前者从后膛注入,后者从炮膛周围侧面注入。

依据放电加热机构不同,有药室放电式和管放电式之分。药室放电是指在较大体积的药室内装有推进剂和电极,电极放电加热推进剂,这是一些电热化学炮常用的方案。管放电式电热炮有专门设计的放电管(或等离子体产生器),放电加热在放电管内进行,即在放电管内产生等离子体,供直热式或间热式两种电热炮用。

按放电管直径(或体积)的差别,有粗管和细管电热炮之分。粗管电热炮使用的放电管比较粗,体积比较大,产生的等离子体密度相对较小,推进弹丸的压力主要由Z箍缩机制产生,这便是所说的Z箍缩直热式电热炮。所谓细管电热炮是使用细直径的放电管,放电管直径通常为几毫米($\leq 10\text{mm}$);放电产生的等离子体密度较高,等离子体处于高温高压状态,对弹丸的推力主要是膨胀、热压力(Z箍缩作用在此很次要),放电管的直径通常为 $1\text{mm}\sim 2\text{mm}$,故又称为毛细管。

细管注入直热式电热炮是一种经典细管直热式电热炮,由电源、毛细放电管、电极、身管和弹丸等组成。有时在阴、阳极间连接金属丝(或箔)构成电爆炸导体。这种电热炮分两类:一是弹丸直径与细放电管内径相等,称作同径型;另一种是它们的直径不等,称作非同径型。其工作原理如图4-4-18所示。

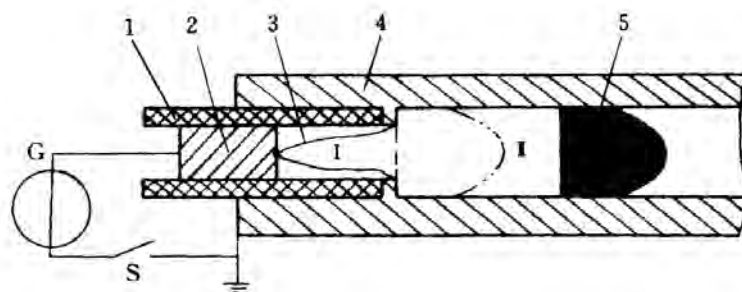


图 4-4-18 直热式电热炮工作原理

G-电源; S-开关; 1-毛细放电管; 2-电极; 3-爆炸导体; 4-身管(兼阴极); 5-弹丸

高功率脉冲电源的高电压脉冲通过开关加在炮的两电极间(一电极为炮身管并接地),在轻质(如聚乙烯)绝缘材料制成的毛细放电管内表面发生沿面电击穿(或爆炸导体电爆炸),首先形成空气物质(或金属物质)的等离子体。此高温等离子体向管壁热辐射,烧蚀下来的管壁材料进入等离子体内,再被电离以补充等离子体质量。电流继续通过等离子体并对之欧姆加热,管内等离子体继续热辐射烧蚀管壁材料,使其继续变为等离子体。管内的高温高压等离子体的温度达 $10^4\text{K}\sim 10^5\text{K}$,压力达 $100\text{MPa}\sim 1000\text{MPa}$ 。这些过程均在I区内进行并完成。高温高压等离子体进入到II区后,等离子体迅速膨胀并做功推动弹丸前进,达到较高的炮口速度。沉积到放电管的能量约有30%转变为弹丸动能。调节放电功率可改善膛压曲线,使炮具有更佳的内弹道性能。

这类直热式电热炮(或纯电热炮)具有许多优点。它相对简单;既能加速金属弹丸又能加速电介质弹丸;它仅在小范围局部放电,不像导轨炮那样跟随弹丸放电;等离子体表面热辐射完成了两个重要作用,即补偿等离子体质量和建立起加速压力;通过改变放电管间隙电阻,便能把放电电路与等离子体源匹配,从而获得高效率;可以产生轻质等离子体气体作加速弹丸的工质,把小弹丸推进到 10km/s 或更高的速度。细管后注入直热式电热炮主要用作电磁炮或其他电热炮的前级注入器,也可作某些冲压加速器的前级注入器;用它把小弹丸加速到超高速可进行高压物理实验和模拟宇宙物体与陨石的相互作用;若能将它加速到 200km/s 的超高速,它将是实现碰撞聚变的重要手段;产生等离子体作导轨炮的等离子体电极和侧注入到药室以加热电热化学炮的化学工质,在某些特殊情况下,亦可直接作为杀伤武器用。

为了便于装填和提高射速,把电极、放电管和弹丸组合成整装结构,相当于火炮的一发带药筒的炮弹,称为单细管“药筒”型直热式电热炮。将此“弹药”装入电热炮后,闭合电

源开关开始射击，高电压加到前后电极之间。前电极和后电极上的突出碳棒之间电弧放电，管内表面及球状充填物被电弧热辐射而电离成等离子体。等离子体射流通过管前端喇叭形喷嘴和环形电极，射到弹底上。射流通过喷嘴时开始膨胀和冷却，同时推动弹丸沿炮膛向前运动。控制电源放电电流或输入到炮的能量，有可能使弹底压力保持恒定。在毛细管内形成的等离子体具有电阻，故可被放电电流欧姆加热到 $3 \times 10^3 \text{K} \sim 5 \times 10^5 \text{K}$ 的高温，这比常规火炮的燃气温度 ($3 \times 10^3 \text{K}$) 高得多。但常规发射药的成分是氮、氧、碳和氢，平均分子量较高。这里使用轻质工质，等离子体源仅是碳、氢的离子和电子。由于高温以及低原子量元素的混合，等离子体压力占用了等离子体的大部分能量，因此等离子体能有效地将能量转变为弹丸的动能。由于这些低原子量元素的等离子体的音速比火炮发射药的高得多，弹丸在膛内可被等离子体推进到超高速。等离子体提供的能量在弹底产生的压力可高达 1000MPa。

通常所说的电热化学炮，主要是指一种使用固体推进剂或液体推进剂的电热化学炮。除由高功率脉冲电源和闭合开关组成的电源系统和毛细放电管(等离子体产生器)外，很像常规火炮，只不过它的第二级推进剂多采用低分子量的“燃料”。基本工作原理，如图 4-4-19 所示。当闭合开关后，高功率脉冲电源把高电压加在毛细放电管两端的电极上使之放电，大电流加热放电管内的介质(第一介质)；所用的电压为 5~25kV 不等，电流在 100kA~1MA 范围内。高电功率在毛细放电管内产生低原子量、高温、高压的等离子体，并以高速度注入燃烧室(反应区)，在其内等离子体与推进剂(第二工质)及其燃气相互作用，向推进剂提供外加的能量，使推进剂气体快速膨胀做功，推动弹丸沿炮管向前运动。

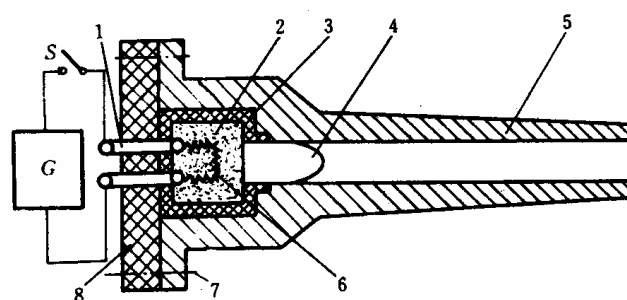


图 4-4-19 电热化学炮工作原理图

G-电源；S-开关；1-电极；2-第二工质；3-药筒；
4-弹丸；5-炮管；6-第一工质；7-连接件；8-盖板

目前研制的电热化学炮主要分两类。一类是采用固体推进剂(含发射药)的电热化学炮，简称作固体电热化学炮(SPETCG)；另一类是采用流体推进剂(工作流体)的电热化学炮，简称其为流体电热化学炮(LPETCG)。

在固体电热化学炮中需采用新颖的推进剂组分配方，以便发挥高体积密度和低分子量气体产物的优势。固体电热化学炮有两种工作模式。一种是把等离子体注入到燃烧室的固体推进剂中，或采用药室内电极放电，对固态推进剂直接用等离子体点火和电加热。另一种工作模式的概念是：开始，把固体推进剂像常规火炮那样点火、燃烧；当燃烧室压力达到最大并刚开始下降，展宽压力曲线，出现“平台”效应，从而提高内弹道性能。

由此可见，等离子体在固体电热化学炮中的功能有二：一是点火和燃烧固体工质(如固体发射药)，起点火和帮助燃烧的作用；二是作为一附加能源，只向推进剂燃气补充能量，以增大弹丸的炮口动能。

液体电热化学炮也是一种间热式电热炮，起初人们称它为燃烧增强等离子体(CAP)炮。从目前看，这种电热炮较有前途，许多国家对它进行着广泛而深入地研究，以致通常不加以限制地所说的“电热炮”或“电热化学炮”就是指的这种液体电热化学炮。

液体电热化学炮只是所用工质是液体推进剂,称作工作流体。工作流体可以是惰性的,也可以是活性的;放在燃烧室内的工作流体装药型式,可以是实芯的,也可以是中间带有腔道的。所用的工作流体可以是单质的推进剂,也可以是双组元推进剂。在典型液体电热化学炮中,它的前部(炮管、炮膛和弹丸)与常规火炮无异,只是在炮尾部分有所不同。弹后除有药室(兼燃烧室)外,还应在燃烧室后置一毛细放电管。毛细放电管包括入电电极、毛细管和等离子体工质。显然,高功率脉冲电源和闭合开关是不可缺少的。毛细放电管有三种型式:一种是毛细管内不装填任何其他物质(其内仅存在空气),此时电击穿发生在管内表面(沿面放电)或击穿空气放电,放电电弧烧蚀管内壁材料(如聚乙烯)以形成更多的等离子体;另一种是毛细管内装有待产生等离子体的工质(如聚乙烯球状物),此时将沿空气间隙或管内表面发生穿放电,形成电弧,烧蚀球状等离子体工质和管壁材料进入电弧内,以形成更多的等离子体;还有一种情况是在毛细管内两电极间连接爆炸导体,脉冲大电流首先将小截面的导体电爆炸成等离子体,然后烧蚀管壁材料,以形成更多的等离子体。所用的小截面电爆炸导体可以是细金属丝或箔,但因一般良导体金属的原子量较大,不利于改进内弹道性能,一般认为把轻金属锂或碳镀(涂)在管的内表面可能会收到好效果。

液体电热化学炮虽然也是利用等离子体工作,但和推进剂工质的耦合方式不同。当射击开始,即闭合开关,电源把高电压(5kV~20kV)加在高压电极和接地电极之间,依据上述三种不同情况之一的毛细管放电,大电流(100kA~1MA)通过毛细管,把相关物质加热、离解和电离而形成较高温度的等离子体(10⁴K左右),其压力因毛细管体积小而异常的高。等离子体通过接地电极的环孔冲破工质的后封膜而进入燃烧室的工作流体内,使工作流体分解成高温气体,气体膨胀压力做功,冲破前封膜,和常规火炮一样,推动弹丸前进。

等离子体射流的能量来自电源的电能,它以几千米每秒的速度射入工作流体,与工作流体扰动混合,形成异常大的有效接触面积,把能量传给工作流体(同时本身温度低),使工作流体发生化学反应,分解成高温气体,推动弹丸运动,这样就把电能通过等离子体的热能最终转变为弹丸的部分动能。此外,推进剂的化学能也部分地转变为弹丸动能。因此,弹底动力有可能提高数倍。如果对毛细放电管几何形状、工质(推进剂)材料、输入电压或电流波形等进行优化设计和选择,无疑可得到良好的压力平台和恒定的加速度,并使炮口速度有显著的提高。

显然,分装弹药结构不能满足战场上的高射速要求,因此设计整装弹药势在必行,其中一种整装弹药,能实现快速装填,以便使液体电热化学炮能高重复率地发射。

在液体电热化学炮中,等离子体是由外部电源建立的,因此原则上可把工作流体加热到任意高的能量密度,这样,关于对常规火炮发射速度的限制就不再存在了。此外,若保持传递到炮管上的热量和常规火炮的相当时,将需要用大量的工作流体冲淡等离子体能量。

目前广泛研究的是细管两级工质的间热式电热炮,并已取得显著的进展。1993年美国国防核武器局已制成炮口动能为18MJ的127mm舰炮样炮,把25kg的弹丸加速到1.2km/s的初速;陆军武器发展中心委托食品机械公司(FMC)研制的120mm反坦克炮已能把弹丸加速到3km/s。近年来又开展了使用固体推进剂(含发射药)作工质的电热化学炮研究。可以预料,电热炮将有可能成为最先使用的电炮装置。

电热炮的主要优点有:

- (1) 由于电热炮主要采用等离子体发射,突破了常规火炮的初速限制,可以获得很高初速;
- (2) 电热炮内弹道可控性好;
- (3) 电热炮发射能源为电能和普通化学能,能源简易;
- (4) 电热炮主要采用等离子体发射弹丸,火焰、烟雾、响声小,有利于隐蔽作战和安全操作;

(5) 电热炮发射能源部分为电能, 弹丸初速和射程可以通过改变电流大小进行控制, 有利于改变射程。

电热炮首先要解决能量密度高的脉冲电源小型化问题, 其次要有能承受 MA 级强电流的材料和结构, 以及其它武器化的工程问题。电热化学炮是在常规火炮技术基础上共同应用电能和化学能实现火炮性能的大幅度提高, 发展前景比较乐观。目前, 电热化学炮是发展最快、最有希望的电炮。

第四节 激光武器

长期以来, 在战争的追求中, 人们一直在期待着实现其设想——以光束投射能量, 把光作为武器。人们所期望的这样一个梦想, 可以追溯到古希腊。阿基米德在古希腊锡拉丘兹保卫战中, 建议士兵用数百块手持的盾牌来反射太阳光点燃了入侵的罗马舰队。在我国古代神话小说“封神演义”中也有过关于照妖镜和番天印之类的朴素光武器的描述。尽管这些只是神话, 但它们却是最早利用光作为武器的设想。

激光是二十世纪 60 年代出现的重大科学技术成就之一。它的出现深化了人们对光的认识, 扩展了光为人类服务的天地, 产生了对传统光源的技术革命, 标志着人类掌握和利用光进入了一个崭新的阶段。由于激光具有能量集中, 传输速度快, 作用距离远等显著特点, 即刻使敏感的人们联想到古希腊的神话和我国“封神演义”中所描述的番天印等用光所作的武器, 可否用激光来制作武器——激光武器, 并且从此开始了对它的不屈不挠的全力追求。

激光武器是利用定向发射的激光束, 以光速传输电磁能, 直接毁伤目标或使之失效的光束武器。由于激光武器的主要部件——激光发射器一般是圆筒状, 貌似传统火炮的炮身, 一般人们将激光武器简称为激光炮。

激光对目标的破坏作用大致分为硬破坏与软破坏两种。硬破坏是指用激光破坏敌空中目标的金属或非金属等结构件。硬破坏主要表现为, 对目标造成明显的破坏, 甚至将其完全摧毁。作用机理主要是热破坏和冲击破坏。软破坏是指用激光破坏导弹和制导炸弹等精确制导武器的导引头等易损部件, 或暂时致盲作战人员或卫星上的光学传感器。对软破坏而言, 激光武器对目标的作用与影响可分为迷惑(用激光直接照射目标或者间接地将激光反射到目标上, 使之受到骚扰, 引起慌乱, 或者被诱骗至其他方向, 偏离轨道)、致眩(利用激光可使敌方飞行驾驶员、高炮射手等关键军事人员的眼睛短时间内眩晕而暂时失去跟踪目标的能力, 为己方的作战行动提供有利时机)、致盲(用激光使人眼或光电装置完全失去观测能力)。激光反传感器武器技术较为成熟, 是当前的发展重点。现代飞机、导弹等武器装备中有多种电子和光电探测设备, 如制导系统、导航仪、夜视仪、红外探测器等, 这些设备很精密, 也很脆弱, 只需较小的能量就可进行干扰或破坏, 使整个武器装备失控或失效。目前, 美、俄、英、法、德、日等国都在积极发展激光致盲武器, 有的已经装备使用。例如, 美国陆军发展的“肛鱼”激光致盲武器已于 1991 年 7 月进入全面工程研制, 1995 年通过美国陆军的定型鉴定。试验表明, 它可破坏 8km 内的光电传感器。

根据激光功率的大小和武器用途的不同, 激光武器可分为激光干扰与致盲武器、战术激光武器、战区激光武器和战略激光武器。前者是低能激光武器, 后三者为高能激光武器。

低能激光器即激光干扰与致盲武器, 是重要的光电对抗装备。它仅需采用中、小功率器件, 技术较简单, 现已开始装备部队使用。这种武器能干扰、致盲甚至破坏导引头, 例如, 跟踪器、目标指示器、测距机、观瞄设备等, 并可损伤人眼, 在战场上起到扰乱、封锁、阻遏或压制作用。目前各国均在积极发展此类激光器用于高价值飞机的自卫。

高能激光武器包括: 战略防御激光武器、战区防御激光武器和战术防空激光武器等三种。

战略防御激光武器, 作战目标为助推段的战略弹道导弹、军用卫星平台和高级传感器等。可用于反卫星(ASAT), 并能在全球范围内拦截助推段的战略弹道导弹, 遏制由携带核、生、

化弹头的弹道导弹造成的威胁。地基反卫星激光武器用于反低地球轨道(LEO)卫星,能干扰、致盲和摧毁敌方低地球轨道军用卫星。战略激光武器可用于反卫星和反战略导弹,但技术难度较大,短时间难以实现。

战区防御机载激光武器,主要用于从远距离上(远达 600km)对战区弹道导弹进行助推段拦截,从而使携带核、生、化弹头的弹头碎片落在敌方区域,迫使攻击者放弃自己的行动,起到有效的遏制作用。

战术防空激光武器,主要用于攻击战术目标,可通过毁伤壳体、制导系统、燃料箱、天线、整流罩等方式拦截大量入侵的精确制导武器和非制导武器,射程在 10km 以内。将激光武器综合到现有的导弹火炮系统中去,可弥补弹炮系统的不足,发挥其独特的作用。这种弹炮光结合的综合防空体系,可用于保卫指挥中心、舰船、机场、及其他重要设施等小型的面目标和点目标。

与火炮、导弹相比,激光武器具有许多独特的优异技术性能,主要有如下几个方面。

(1) 反应迅速,能从远距离以光束输送电磁能子弹并以直线攻击目标。激光以 $30 \times 10^4 \text{ km/s}$ 的速度传输,打击目标不须计算射击提前量,因而省却了为获取目标运动要素所需要的数据及对数据进行处理所需的时间,激光对目标的攻击是按直线“射击”,无需测定和调整提前量和瞄准角。因而它能够拦截它所能看到的任何目标,而且几乎是在发现目标的瞬间,以光束“弹药”即发即中目标。作战使用时,激光器本身及武器系统均处于静止状态,只有轻质反射镜或反射镜系统进行运动,以瞄准和跟踪目标。因此,可大大缩短武器系统的瞄准时间。

(2) 可在电子战环境中工作。激光传输不受外界电磁波的干扰,因而被攻击的目标难以利用电磁干扰手段避开激光武器的攻击。

(3) 发射时无后坐力,转移火力快。由于光束本身无惯性,所以射击时不存在常规弹丸射击时存在的后坐力问题,从而降低了对载体结构上的要求。又由于激光可连续射击,因此可进行 360° 的全方位射击,实施平射和陡射的瞄准时间极短,命中率高,且可实现几乎同时地拦截多个目标。

(4) 作战使用效费比高。激光武器具有一个“很大的弹仓”,这取决于激光器的能源(化学贮罐、电源等)。也就是说,激光武器在必须重新装载或补给之前可以拦截大量目标,所消耗的弹药(即光子)比较便宜,而昂贵的武器系统可以继续使用,因而具有良好的成本与杀伤力的效费比。

(5) 借助高分辨率光学传感器,对成像、监视、远距离探测实现协同。

激光武器的上述特点使得它发展成为反精确制导武器的重点手段,在武器对抗中显示出独特的威力,而且还使得当前不可能实行的许多新任务又可能实现它的使用,必将使未来战场的态势发生深刻的变化,并将引起一场新的武器对抗技术的革命。当然,没有缺点和问题的武器系统是不现实的,激光武器系统也存在以下一些不足之处。

(1) 目前的激光武器能量有限,难以击毁装甲目标。

(2) 随着射程增加,落在目标上的光斑增大,能量密度降低,破坏力减弱,有效作用距离因此受到限制。

(3) 大气对激光有较强的衰减作用,不良天气(尤其是雨雪天和雾天)、战场烟尘、人造烟幕等对激光的衰减作用更大,大气的折射和扰动也会给瞄准目标带来困难,不具备全天候作战能力。

(4) 在战斗中视线有阻挡时,如何使其具有最高的瞄准和跟踪精度,是一个尚待研究解决的问题。

(5) 在野战条件下,光学系统要求复杂。

(6) 激光器的能量转换效率较低,需要有充足的能源供应,因此在目前技术条件下激

光武器的体积和重量较大，限制了它的使用。

鉴于激光武器的上述特点，它在拦截大量入侵的低空飞机、战斗导弹、巡航导弹和在反卫星、反空间武器站、反战略导弹以及干扰、破坏光电传感器方面，可发挥独特的使用。但它也不是万能的，它也不能取代现有的各种武器系统，而只能与现有各种武器配合使用相得益彰，弥补现有武器系统性能上的不完善以及火力配置上的空缺，增强现有武器系统的火力网。通过将其综合到未来的防御系统中去，组成一个多层次、多功能、多位一体的新体系，那么就有可能实现由多种武器组成的新体系综合防御系统，这是武器系统的未来发展趋势，它可以实现体系与体系的对抗，能满足未来战争发展的需求。体系中各武器系统的取长补短，充分发挥各自的作战效能，就可有效地拦截来袭目标，实现最佳效果的防御作战。

激光武器系统可以采用机载、舰载、车载、地基、空间平台等多种形式的“平台”进行部署，除了与指挥控制系统等连接外，主要由高能激光器和光束定向器两大硬件构成，其中光束定向器又由大口径发射系统和精密跟踪瞄准系统两部分构成。激光武器系统的主要组成如图 4-4-20 所示。

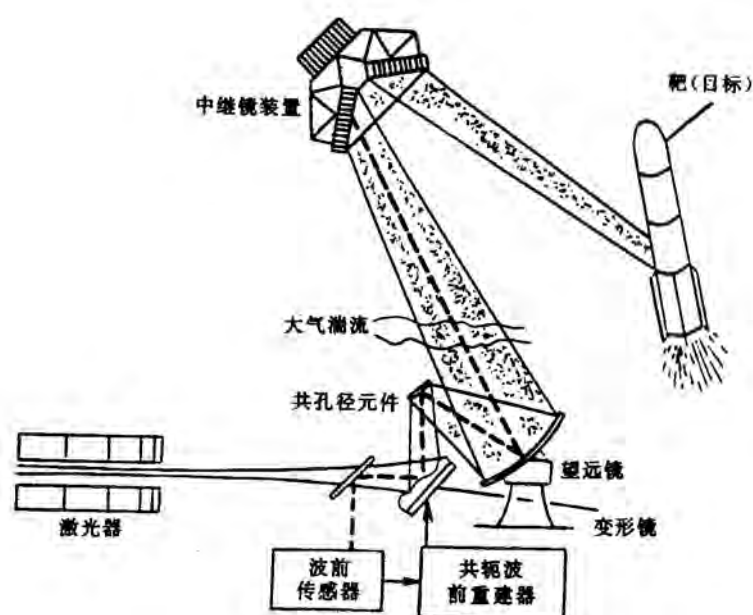


图 4-4-20 激光武器系统的主要组成示意图

激光武器的研究涉及的关键技术主要有：高能激光器、大口径发射系统、精密跟踪瞄准系统、激光大气传输及其补偿、激光破坏机理、激光总体技术等。高能激光器是激光武器的核心部件。研制紧凑型、高输出功率、高光束质量、大气传输性能佳、破坏靶材能力强、适于作战使用的高能激光器，是实现激光武器的关键，也是各国长期研究的目标。光束定向器是激光武器的两大硬件之一，是与激光器匹配的重要部件。它由大口径发射系统和精密跟踪瞄准系统组成。发射系统相当于雷达的天线，用于把激光束发射到远场，并汇聚到目标上，形成功率密度尽可能高的光斑，以便在尽量短的时间内破坏目标。跟踪瞄准系统用于使发射望远镜始终地跟踪瞄准飞行中的目标，并使光斑锁定在目标上的某一固定部位，从而有效地摧毁或破坏来袭目标。激光束在大气中传输时，会受到大气分子和气溶胶的吸收与散射，其强度将受到衰减。由于大气湍流的影响，将导致目标上的光斑扩大。当激光功率足够大时，还会产生非线性的热晕现象。这些效应将会使目标上的激光功率密度下降，影响激光对目标的破坏效果。为补偿激光大气传输时受到湍流等的影响，可采用自适应光学技术和非线性光学技术进行大气补偿。

经过 20 多年的研究与发展，制造激光武器所需的各项技术已有长足的进步，成功地进

行了一系列的激光打靶试验，证明激光武器是可实现的。

低功率激光干扰致盲武器，采用重复频率，平均功率在万瓦级以下，可有限地调谐频率，对付一些简单的对抗措施。在战场上，用它来迷惑、欺骗、扰乱、致眩或致盲光电部件和人眼，可起到干扰、压制和攻击等作用，并给敌方造成强烈的心理威慑。这类装置在技术上已基本成熟，并有样机装备部队，已成为一种有效的光电对抗手段。目前世界上有能力制造这类武器的国家近 10 个。其技术发展的主要动向包括：装置小型化，大量采用便携式，并能有限地改变频率；定向红外干扰系统等。

高能激光武器一直是激光武器技术发展的重点，其研究工作已历经 30 余年。几经曲折之后，终于探索出一条切实可行的发展道路。目前，研制中的高能激光武器主要采用化学激光器，而且波长大部分处于红外波段。战术高能激光武器是一类较为简单、技术风险较低和发展较成熟的高能激光武器。它主要用于攻击战术目标，拦截入侵的精确制导武器或非制导武器。其射程一般不超过 10km，可完成对空中来袭目标的软、硬破坏。近年来，战术激光武器的研制已引起美国等主要发达国家尤其是以色列的高度重视。战术高能激光武器实现武器化的关键是系统的小型化，能适合在作战平台上使用，并能保持有足够的和有效的功率来杀伤目标。这些都是制约激光武器走向战场的技术难关。进入 90 年代后，在研制的几种武器系统已经基本解决了上述问题。如正在研制的高能激光武器系统有的可安装在 Mk45 型 127mm 舰炮所占的空间里，其重量比舰炮要减少 15%。有的可安装在轮式或履带式装甲车辆上，有效重量只有几吨。这些系统一般都具有软、硬杀伤能力，它们的激光输出功率在兆瓦或几十万瓦的量级，而对于 10km 左右的作战距离，针对导弹导引头、整流罩等部件的软破坏所需的激光功率为 100kW 以上，针对导弹壳体的硬破坏所需的激光功率为兆瓦级。因此，它们完全有可能在几千米的距离上对目标实施硬杀伤，在更远的距离上实施软杀伤。

海湾战争之后，战区弹道导弹的威胁引起了世界各国的不安。美国一方面大力宣扬其“爱国者”防空导弹的卓越性能，另一方面也深知战区弹道导弹防御的必要性和紧迫性。以战区导弹防御为主要目标的美国空军机载激光武器 (ABL) 计划就是在这一背景下提出来的。按照美空军提出的目标，ABL 系统将主要用于战区弹道导弹防御，以求在导弹的助推段将其摧毁。同时它还具有攻击低轨道卫星、敌方战斗机、巡航导弹等目标的能力。整套武器系统将安装在波音 747-400F 飞机上，飞机将在战区友邻部队的上空飞行，飞行高度为 12km。从能对单个战区提供弹道导弹防御的能力要求考虑，预计使用 7 架飞机装载 ABL，才能组成一个完整的机群，从而实施战区弹道导弹的有效防御。

第五篇 炮用弹药和火控系统

第一章 炮用弹药

弹药(ammunition),其英文词是从法文“军需品”一词演变而来,广义地是指投向敌人或预定目标区的各种抛射、非抛射物体及其发射药、底火和引信等。例如枪弹、炮弹、手榴弹,鱼雷、地雷、火箭弹、航空炸弹及导弹等。有时还指照明、发信号、鸣礼炮、训练、体育运动所用的烟火剂及炸药装置等。狭义地是指枪械、火炮所发射的全备弹及炸弹、手榴弹等。本章主要讲述与炮用弹药有关的基本知识。

狭义地讲,炮用弹药即指炮弹。炮弹一般是指口径等于或大于 20mm 的,利用火炮将其发射至敌方,以完成毁伤作用或其他战术目的的弹药总称。通常由引信,弹丸、药筒(或药包),发射药及点火具等组成,除金属药筒外,其他部分只供火炮一次使用。炮弹各部分相互位置如图 5-1-1 所示。

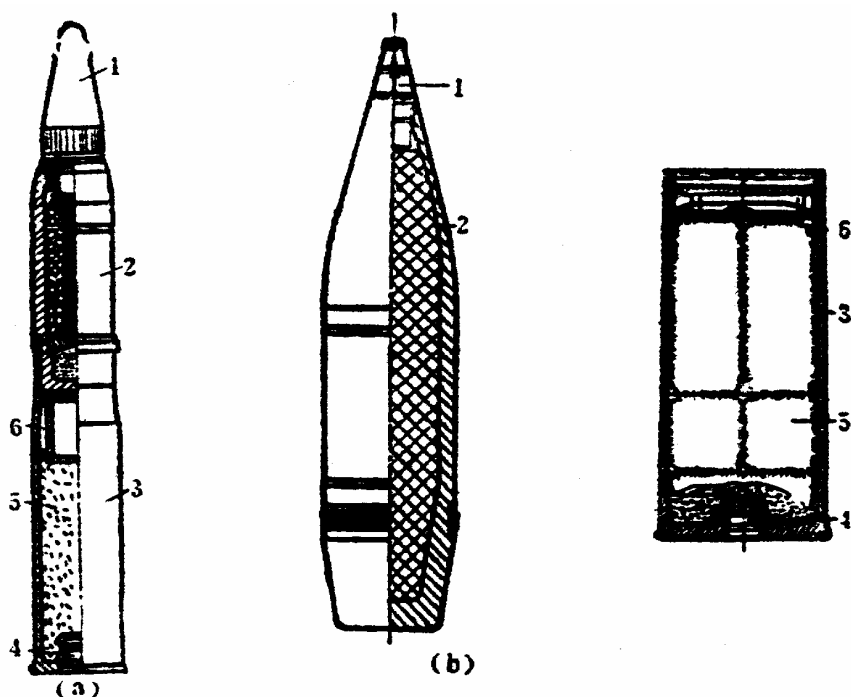


图 5-1-1 炮弹的组成

(a) 整装式 (b) 分装式

1-引信 2-弹丸 3-药筒 4-底火 5-发射药 6-辅助元件

结合炮用弹药的组成并从其作用来看,其大体可分为三大部分。首先是将完成战斗任务的炮弹部件发射到作战区域的发射部分,即火炮装药;其二就是直接完成战斗任务的炮弹部件,即弹丸;其三就是控制弹丸作用时机的部件,即引信。下面即对此三部分分别进行简单的阐述。

第一节 火炮装药

火炮装药是指用来进行一次发射的、保证火炮内弹道性能和其它战术技术要求而具有特定形状尺寸的定量火药及所有其它有关元件。

一、火炮装药的元件及其作用

现代火炮的装药元件及其作用大致如下：

(1) 火药 它是武器的能源，是装药中最主要的元件。它的种类、质量、形状、尺寸及其在药筒或药室中的配置形式对火炮的内弹道性能起着决定性的作用。装药设计的中心环节和主要任务就在于解决火药使用的方式和条件问题。因此，有时把火药称为主装药。

(2) 点火药 它是点燃主装药的热源。对于口径比较大的火炮，由于装药量较大，除了底火外，还需外加点火药来加强底火火焰，保证瞬时全面地点燃主装药，所以，它又叫做传火药或辅助点火药。一般使用黑火药(在我国弹药中，通常把底火或击发门管称作基本点火具。它不包括在装药元件范围内，但对主装药的点火有强烈影响)。装药设计中要解决其种类、用量及配置结构的问题。

(3) 护膛剂 它是防止高温高压火药燃气对炮膛烧蚀的元件，是威力较大的火炮装药必不可少的元件。以前用的是浸渍在卷烟纸上的腊剂，现在又出现了新型的有机和无机的高效护膛剂。射击时发生物理化学变化，吸收大量的热，并在内膛表面形成冷却保护层以保护内膛。

(4) 消焰剂 它是消除火药燃气在炮口和炮尾处与空气中的氧发生进一步燃烧(二次燃烧)而产生的火焰的一种元件。它用来避免夜间暴露目标和使射手眼花。常用的消焰剂是硫酸钾。

(5) 除铜剂 它是消除铜质弹带在运动过程中粘附在膛壁上的挂铜的一种元件，是所有使用铜质弹带的弹丸的不可缺少的元件(枪弹除外)。积铜的存在会妨碍甚至阻滞弹丸的正常运动。

(6) 紧塞具 它是一种厚纸制的纸具，常有一个孟形盖和数量不等的纸筒、纸垫等，用于药筒装药。其作用在于：平时特别是运输、传递时用以固定装药，防止装药窜动或各个元件间相互错动，保护药粒免遭损坏；装填时防止装药元件向前窜动；射击时在起始阶段能阻止火药燃气泄漏，帮助药筒口部迅速贴紧药室。所有这些都有利于装药的良好点火与燃烧，保证弹道的稳定性。

(7) 密封盖 它也是一种厚纸制的孟形盖，上面系有提带，浇有粘稠的油脂，用以密封装药，防止受潮。密封盖只在药筒分装式装药才具备，射击前应取出。它并不是装药元件。

由此看来，装药元件是多种多样的。但随着武器种类的不同和武器的发展会发生变化。比如，轻武器和一些小口径自动炮就没有辅助点火药；一些威力较小的榴弹炮和追击炮就没有护膛剂和消焰剂；一些滑膛炮和非铜质弹带的弹丸就不装除铜剂；有些装药中就没有药布袋；粒状装药中却配用管状中心传火管；现在又发展了可燃(或半可燃)药筒和可燃底火等等。

二、火炮性能和装药的关系及其对装药的要求

(一) 火炮性能和装药的关系

装药和火炮性能之间的关系非常密切。首先，装药研究的是火药的使用问题。不但火药

的能量和燃烧性质,甚至火药的物理性质(如相态、密度,导热性等)和加工工艺对火炮性能都会有很大的影响。同时,装药又是实现内弹道方案的物质手段。在武器的总体设计中,要先行确定火药种类和弹道特征量,并在弹道设计确定的装填条件下,设计出合理的装药结构。此外,装药与火炮系统的其它部分也有密切的关系。如火炮内膛特别是药室结构影响装药结构;弹丸,不但其弹种、弹重与装药的弹道方案有关,而且其弹尾结构对主装药结构、点火系统结构影响也很大;药筒(有无药筒,金属药筒还是可燃或可消失药筒,形状尺寸等等)和火工品(如底火和击发门管的引发方式、点火冲量,是否可燃等)也对装药有相当的影响。总起来说,装药与火炮性能之间的关系归纳起来有以下诸方面:

火炮的威力(初速、膛压、初速分级等)与装药有关。实用上可以选择不同能量的火药、药量,改变药形、装药结构来达到目的。然而,膛压比初速增加快得多,所以,威力的提高常常引起其它性能的恶化。

火炮身管寿命和其它射击有害现象(焰、烟、炮口冲波及噪声等)与装药有关。它取决于火药的热值、形状尺寸、装药量和装药附件的使用。

火炮的弹道稳定性和射击精度与装药有关。火药的形状、尺寸、成分(如挥发分、附加组分等)及装药在药室中装填的均匀性、点火系统结构的合理性是导致压力波动、初速跳动和射弹散布增大的主要因素。

火炮机动性也与装药有关。较高的膛压和装药较大的燃速温度系数都将使火炮身管加厚,反后座装置复杂、炮架和全炮加重,而膛压则取决于火药的成分、形状尺寸和药量。

因此,人们通常在整个武器系统结构相对固定的情况下,通过装药条件的改变在一定程度上调节各种性能要求之间的矛盾,满足综合使用要求。装药较之武器系统其它部分是一个易于改变的积极能动的因素。但是,装药工作至今还缺乏成熟的理论指导,在很大程度上还依赖于经验、依赖于对已有装药的模拟和射击试验,而且由于对于武器性能所要求的特有的严格性,往往要经过漫长和复杂的试验才能够定型。

(二) 火炮对装药的要求

火炮性能和装药的关系如此密切,火炮对装药的具体要求也就是一个装药方案好坏的判别标准。这些要求可以归纳如下:

1. 弹道要求

(1) 满足设计任务书中所提出的标准温度(15 或 20℃)下的初速、初速或然误差、平均膛压、单发最大膛压,对于变装药还给出了各级初速分级和最小膛压。一般希望在容许的压力下用尽量小的装药量来达到所要求的初速。

应该注意,要尽量减少初速、膛压的跳动,以保证弹道性能的稳定。关于跳动的允许范围在任务书或有关的技术文件中都有规定。

(2) 保证高温(如+50℃)和低温(如-40℃)的弹道性能在规定的范围内,尽量降低弹道性能对温度的依赖关系,要求在高、低温下没有反常压力。

(3) 火药装药要尽量在膛内燃完。

2. 战术技术要求

(1) 尽量降低内膛烧蚀,提高武器寿命。

(2) 消灭炮尾焰,减弱炮口焰。

- (3) 少烟。
- (4) 结构简单, 使用安全简便, 不易出差错。
- (5) 标记简明易懂。

3. 生产经济要求

- (1) 易于大批量生产, 装药结构简单, 能机械化和连续化。
- (2) 成本低廉。
- (3) 原料应广泛易得, 并立足于国内。
- (4) 所有的装药元件都应能顺利地装入药室和药筒, 不应当容纳不下。
- (5) 牢固密封, 各元件不易窜动和变质。

应该注意, 上述要求应与对火药的要求结合起来, 火药所达到的要求是实现装药要求的基础。对火药的要求包括能量性质、燃烧性质、焰、烟、烧蚀、强度、密度、安定性, 原料来源及生产的可能性等等。装药是火药对具体兵器配用的结构形式, 所以, 又有明确的弹道指标和其它一些新的要求, 两者既有联系又互相区别、互为补充。选择火药就是考虑装药要求的开始。另外, 这些要求常常彼此矛盾, 应该区别情况, 突出重点, 统筹兼顾。

三、火药装药的类型

目前国内外武器装备中对线膛武器实际使用的装药有两种类型: 一是粒状装药用传火管点火的结构; 一是粒状药加长管药或全部为长管药而以点火药包点火的结构。但有时一个装药同时含有传火管和点火药包, 这就成了混合结构。低膛压特种武器(追击炮、无后坐炮)一般都使用传火管结构。

根据弹道要求所确定的构造特征与装填方式, 一般的炮用装药可分为以下几种。

(一) 药筒定装式装药

这种装药适用于各种中小口径加农炮、自动炮和射速较高的火炮。因为口径较大, 初速较高, 所以, 装药设计不能只考虑弹道性能, 还应考虑防止其它的有害现象的产生: 因为药室较长, 装填密度较高, 为了保证传火顺利, 应尽量使所有药粒全面瞬时着火; 还要使药粒在药室(药筒)全长上均匀分布(特别是装填密度过大或药量过少时), 防止可能引起的压力波动。具体措施如下:

1. 广泛采用单基粒状药, 随着口径的增大, 部份采用管状药或全部采用管状药(单基或双基)。多数为一种牌号火药, 有时也使用两种牌号的火药。如图 5-1-2 所示。

多孔粒状药装填密度大, 具有燃烧增面性, 用一种牌号就能广泛适应多种火炮的需要, 而且药粒加工容易, 装药简单, 但排列混乱以致传火困难(药室越长, 装填密度越大越严重, 药室长至 500mm 时, 远距点火药的一端就有迟点燃的现象)。管状药有利于传火, 特别有利于低温下的引燃稳定性。所以, 小口径的火炮可以全部采用粒状药, 如航炮(23, 30, 37mm), 舰炮(25, 30, 37, 76mm), 高炮(37, 57mm)和坦克炮(57mm, ……)。口径较大时就部分改用管状药, 一般重量占 12%~20%, 如 85 加农炮, 药筒全长 558mm, 大于 500mm, 其榴弹全装药由 14 / 7 和 18 / 1 构成, 其中 18 / 1 管状药占 12%; 榴弹减装药和各种穿甲弹装药也是粒状药与管状药混装。85 高炮情况与此相同。口径更大时, 全部采用管状药。如 59 式 100 高, 药筒全长 607mm, 榴弹全装药采用双芳—3 18 / 1。苏 44 式 100 加榴弹全装药也是双芳—3 18 / 1。

2. 药粒可以散装,也可以制成药包和药束装入药筒。小口径火炮都是粒状药直接散装于药筒,但要加以振动并以量具检查装药高度,以保证装药的均匀性,防止弹尾挤碎药粒,实践表明:装药高控制不好,各发射弹之间压力差异可达几十兆帕。口径较大,装填密度较高时,可以不用药包。如 56 式 85 加全装药在 1963 年后取消了原有的药包,将 12% 的 18 / 1-42 管状药捆成药束插于 14 / 7 粒状药中间。但也有的使用药包,如 56 年 85 加穿甲弹的粒状药加管状传火药束组成装药。全部采用管状药时,常先捆一个基本药束放于药筒下部,周围和上部再沿轴向插入散状药条,如 59 年式 100 高和 44 年式 100 加榴弹全装药便是这样,对于装填密度较小的装药,为使其沿筒长均匀分布,一般都制成药包,如 56 年式 85 加榴弹减装药和苏 44 年式 100 加榴弹减装药都是瓶形药袋,装入粒状药后,再装入扎好的管状药束。经验表明,装药高度大于药筒全长的 $2/3$ 就能避免压力激波的产生。

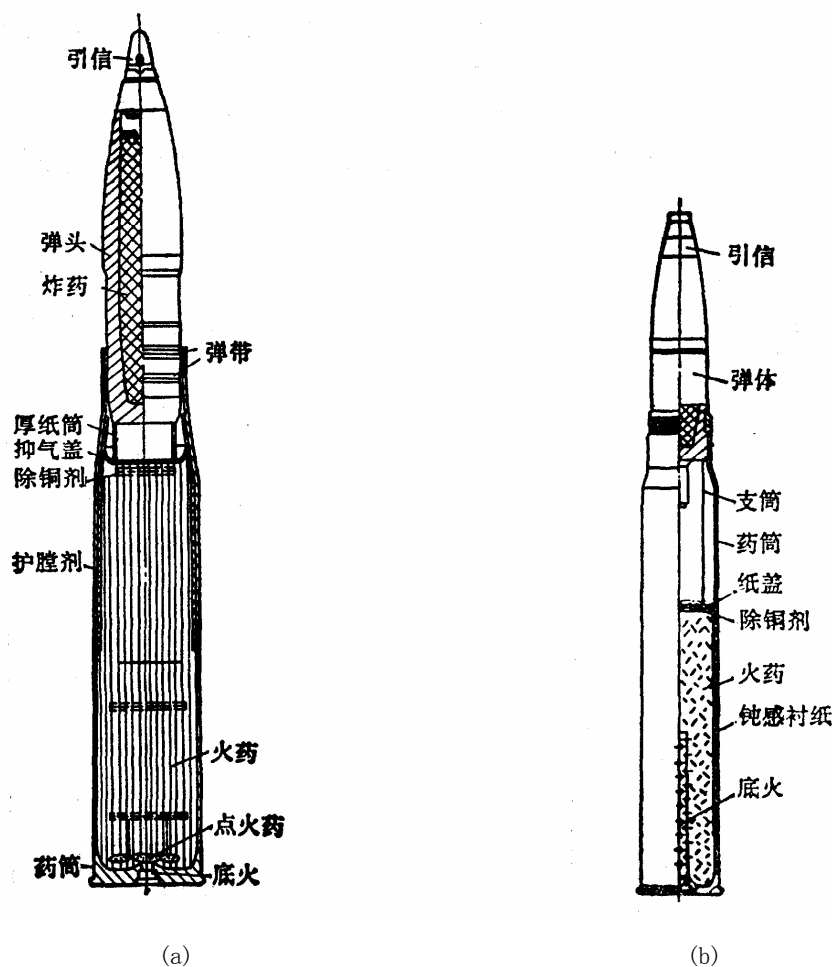


图 5-1-2 药筒定装式装药结构

(a) 59 式 100mm 高射炮装药结构 (b) 76.2mm 岸舰炮榴弹火药装药结构

使用药包或药束的另一目的是固定点火药。当散装粒状药装填密度较大时,可将点火药包紧压在底火上;全用管状药时,点火药包可捆扎于下药束底端;如在装药量较少或粒状—管状混装时,点火药包会移向一边,所以,常缝在主装药包(束)下端,否则应另行设法解决点火药包的固定问题。如 56 年式 85 加榴弹全装药点火药包,在取消了药包后,就缝在孟形赛璐珞片上,片中心有一圆孔,使药筒底的凸台插入此孔而固定之。

3. 装药元件比轻武器多, 装药结构和点传火结构更加复杂。

(1) 除了一些小口径火炮(如 23 航空炮, 双 25 舰炮等)单独用底火点火外, 都增加了辅助点火药包。点火药包对正压在底火台上。装药量更多时, 点火药包要分成几包, 分放在装药的底部、中部甚至上部, 进行接力点火。

(2) 使用杆状点火具: 点火杆内装黑药, 旋接在底火上并深入装药内部, 侧壁开孔传火。如 76.2mm 岸舰炮(见图 5-1-2)。

(3) 使用管状药帮助传火。这是粒状药中配合使用管状药和口径较大的火炮使用管状药的主要原因。

(4) 其它元件的安置:

①护膛剂 除了一些口径极小的火炮(各种航炮和小口径舰炮)外, 对各种定装式线膛炮(如 37mm 以上)都必不可少。威力越大, 用量越大, 型式也更为复杂。放置的位置多围贴于药筒内壁前半部。

②除铜剂 各种口径使用铜质弹带的弹药都必不可少。放在紧塞具下面或扣在瓶形药包颈部。

③消焰剂 只用于某些火炮和配备于一定数量的炮弹中, 依需要(如夜间)用于射击。如口径较大的火炮(85 加, 85 高等)的某些弹种且装药量较大(如为全装药)时。而装配方式一般是制成环状药包放在底火台周围。

④紧塞具 每一种炮弹都具备, 置于药筒口部紧贴弹底, 但依口径和弹种的不同, 型式和件数有别。小口径弹常常只有一个纸垫, 口径较大药量较小时, 可有两个纸垫一个纸筒。它的作用前面已经述及, 对弹道稳定性有好处, 但会增加射击时的烟雾, 所以要注意质量和用量。

(二) 药筒分装式装药

这种装药多用于大、中口径榴弹炮, 加农榴弹炮和加农炮, 最近装备部队的 125mm 口径的坦克炮也采用药筒分装式装药。装药量多数按初速分级改变, 射击时临时变换药包数, 多属变装药(亦有装药量不变的)。弹丸与药筒分两次装填。装药元件除火药以外, 其它附件与定装药装药基本相同。这种装药的特点是:

1. 装药多数使用两种以上牌号的火药, 少数使用一种牌号的火药。通常, 加农炮与加农榴弹炮的全变装药由一种牌号的双基管状药制成, 装药号数不多; 减变装药由两种牌号的火药—管状药加粒状药制成, 两者的压力全冲量不同, 装药号数较多。如 60—122 加, 59—130 加, 59—152 加和 66—152 加榴。榴弹炮是由不同压力全冲量的粒状药组成的混合装药, 装药号数更多。如 54—122 榴就由 4 / 1+9 / 7 组成 9 级装药, 56—152 榴由 4 / 1+12 / 7 组成 9 级装药。典型的装药见图 5-1-3 与图 5-1-4。之所以要用两种牌号的火药是由于整个装药根据初速分级的要求由基本药包和附加药包两部份组成, 前者, 用薄火药制成, 以保证弹丸达到规定的初速而膛压又必须能解脱引信保险; 后者由厚火药制成, 它与基本药包一起产生的膛压不得高于身管强度的允许值而初速又要达到规定的指标。

有时初速分级这样多, 以致必须分成全变装药和减变装药两组变装才能满足要求, 全变装药弧厚较大, 减变装药弧厚较薄, 且经常为两种牌号。

2. 药包或药束是个基本元件, 这是初速分级变换装药所必需的。对药包的质量要求参

见药包分装式装药部分。药包的放置应该均匀结实，不妨碍正常传火，变换号数方便可靠，不易出错。

一般药包不宜采用圆盘状层层叠置的形式。如原苏 1910 / 30 年 122 榴弹炮的装药基本药包与附加药包共计 6 只，都是扁圆状，一个个重叠放置，底部的点火药燃烧产物要穿过十几层药包布和很厚的药粒层才能到达装药的顶端，传火条件恶劣，弹道性能不稳定，故已被淘汰。现在我国的 54 式 122 榴、56 式 152 榴都采用上下两层，每层由若干个等重附加药包沿药筒轴向并列放置的结构。对于减变装药，因为药筒较长，药量较少，基本药包采用缩颈瓶形，附加药包套于其上，使装药在药筒全长上分布较匀，为了减少粒状药的传火阻力，还常插入管状药。如 60 式 122 加，59 式 130 加和 37 式 152 加榴便是如此。

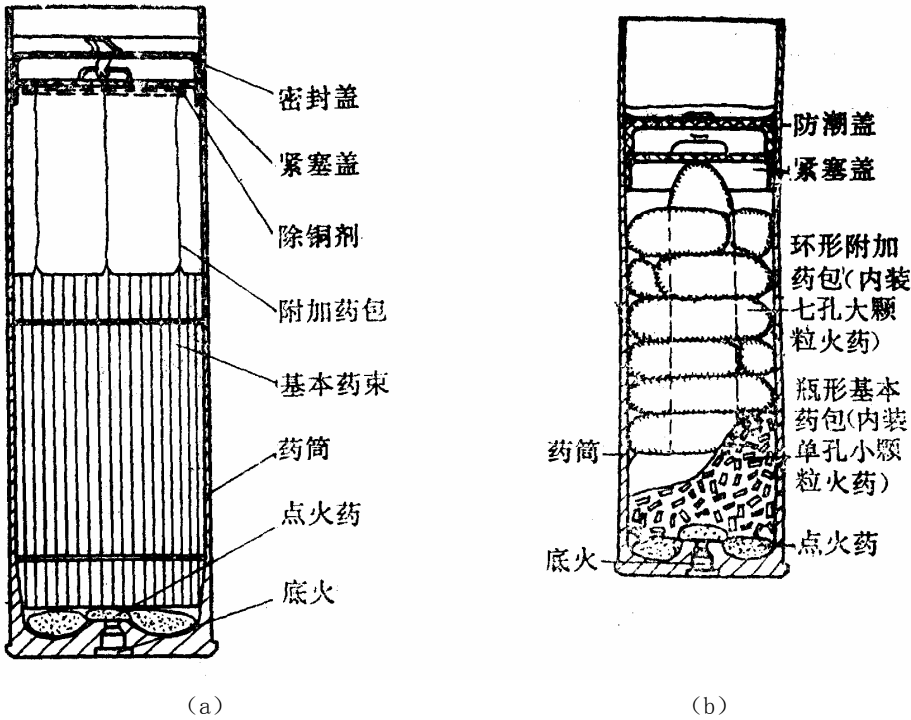


图 5-1-3 152mm 加农榴弹炮装药
(a) 全变装药 (b) 减变装药

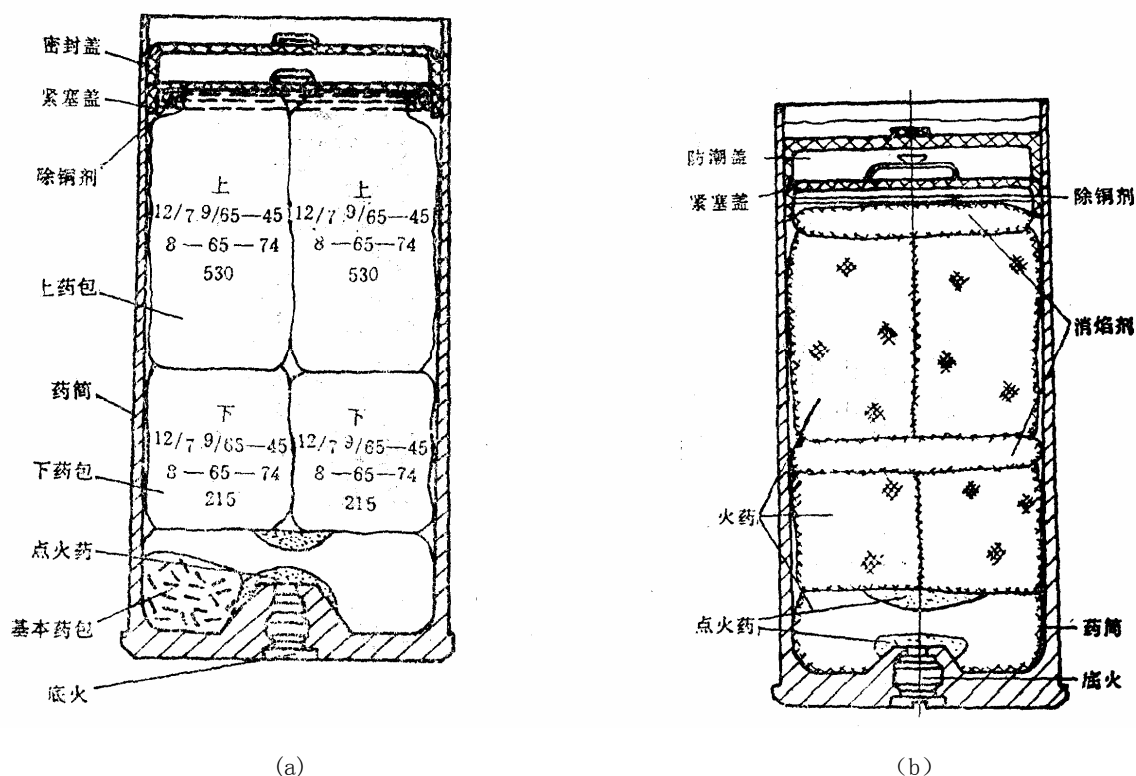


图 5-1-4 152mm 榴弹炮全装药
(a) 不带消焰剂 (b) 带消焰剂

3. 为了加强传火，点火药包可分放几处。如 60 式 122 加、59 式 130 加的全变装药，点火药包分放于管状药底部和两束药中间。又如 56 式 152 榴就在 4 / 1 基本药包上下部缝制了点火药包，而 54 式 122 榴因为其药室容积较小，虽装药结构与 152 榴相似，但只有一个点火药包。

4. 药形原则上仍同于药筒定装式装药。但必须指出，榴弹炮装药及所有火炮减变装药的附加药包都采用多孔或单孔粒状药如 54 式 122 榴、56 式 152 榴基本药包皆用 4 / 1 火药。这样既适应了弹道要求，又便于射击时进行装药号的变换。对于全变装药(包括仅有一种变装药的情况，如 31 / 37 式 122 加)和减变装药基本药包中均使用管状传火药。

5. 大威力火炮的变装药中都有护膛剂，小威力火炮中没有护膛剂，如 54 式 122 榴、56 式 152 榴都无护膛剂，而加农炮都用护膛剂且剂量较大。装配时一般围于筒壁，其中较厚实的部份(多为刻纹状)置于筒口，称为基本护膛衬纸；较薄的平片状围于装药下半部，称为消焰护膛衬纸(因为它还起到消除射击时的火焰的作用)。此外，有的装药其护膛衬纸装于药包中，如 60 式 122 加的减变装药的附加药包就是这样。

6. 其它元件：所有使用铜弹带的弹丸都装有除铜剂；紧塞具装于筒口，通常为 1~2 个孟形盖。分装式装药因为没有使弹丸紧固的拔弹力，所以，它起的作用比药筒定装式装药更为重要；密封盖和密封油脂置于紧塞盖外，以防装药受潮；消焰剂仅用于某些火炮的特定弹丸，一般小口径榴弹炮不用，加农炮和加榴炮多应用，如 60 式 122 加榴炮，66 式 152 加榴炮榴弹和海双 130 半穿甲弹都配有专门的松钾消焰药。

（三）药包分装式装药

药包分装式装药的结构原理与药筒分装式装药相同，但不用药筒，直接将药包结合装入药室，并用特殊的击发门管引发。

这种装药的基本特点是属变装药，可以是一组变装药，也可以是全变装药与减变装药两组变装药。药体可以是粒状的或是管状的，一般都具有两种以上的牌号。

其它元件：有辅助点火药；对大威力火炮有护膛剂；多数火炮都有除铜剂。

采用药包分装式装药时，由于取消了药筒，从而降低了使用费用；但其发射时药室的闭气问题就显得尤为突出，因而在采用药包分装式装药时，在火炮中均需同时采用可靠的闭气装置。现在我军使用的制式药包分装式装药中只有海军 130 / 50 岸舰炮采用这种结构，在外贸 155 中也采用了药包分装式装药。海军 130 岸舰炮为刚性装药，其药形是 27 / 1-51+27 / 1-23，装在粗丝制药包内，护膛衬纸包在药包周围，传火药为 6 棱形 7 孔黑药柱，40g，捆在管状药束的中心凹穴内，点火具为 Y T 3-6 式击发门管(见图 5-1-5)。

对于这种药包分装式装药，药包是必不可少的元件，且药包附件比药筒分装式多，有许多带子和圈套等。

目前，国际上普遍流行的模块装药与药包分装式装药非常相似，不同的是在模块装药中没有药包，而是将发射药制成具有一定刚强度的装药模块。在每个装药模块中，根据需要分别含有其他相应的装药元件。发射时根据发射指令的不同的发射装药号而将不同数量及规格的装药模块装填进炮膛。

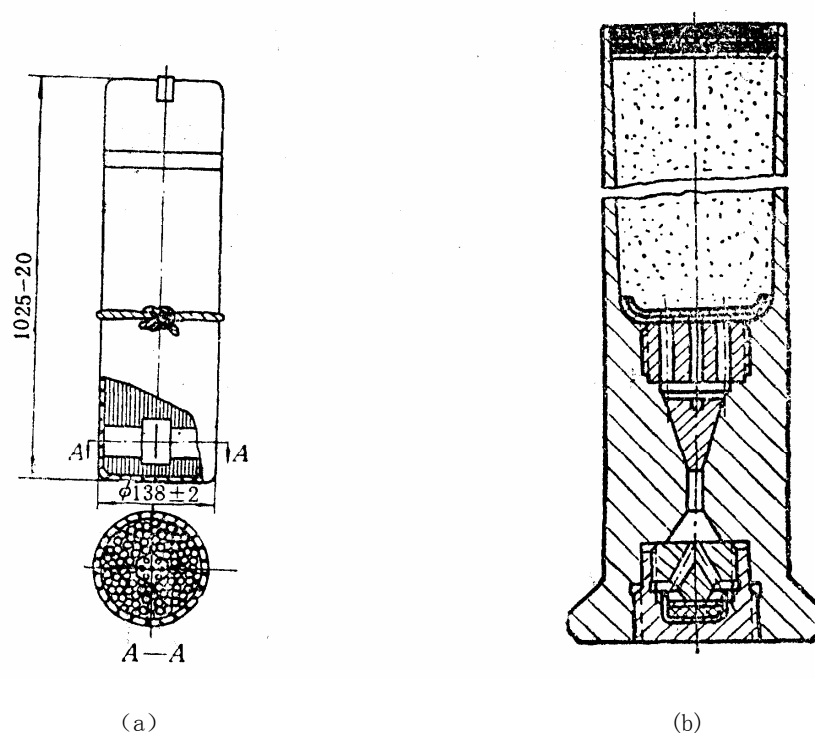


图 5-1-5 130/50 岸舰炮用药包装填式装药
(a) 装填药包; (b) 击发门管

(四) 迫击炮装药

迫击炮主要是用来对付近距离的隐蔽目标, 其装药的弹道特性是低膛压、低初速、变初速(少时 0~3 级, 多时 0~6 级)、身管较短、药室较大; 射击中有气体流失; 热散失大。迫击炮弹多数是尾翼稳定并由炮口装填(前装弹)的滑膛炮弹, 只有极少数是由弹带和膛线导引旋转稳定的炮弹(如美 107 化学迫击炮弹)和后装弹(如大口径的 120、160 迫击炮弹)。因此, 装药上所要考虑的主要问题就是点火和燃烧的稳定。因为有初速分级, 要按需要调整装药量, 所以也属变装药。迫击炮弹在火药装药上的特点是:

1. 在装药的总体结构方面, 由基本药管和附加药包两部分组成。基本药管装于弹丸尾管内; 附加药包固定在稳定尾管外面, 见图 5-1-6。基本药管装药一方面必须满足迫击炮最小装药的膛压、初速的要求; 另一方面必须保证对附加装药良好的点火作用。附加装药制成若干等重药包, 能按初速分级进行调整。基本药管装药只有一种药形尺寸。附加装药与基本装药组成的全装药必须满足规定的最大初速和膛压。附加装药可用一种规格的火药制成, 各药包等重, 在基本药管的基础上加一个药包构成一号装药, 加两个药包构成二号装药, 其余类推。最大号者为全装药; 也可用两种不同规格的火药制成, 每种药包各自等重, 各号装药以一种或二种药包搭配而成。如 64 式 120 迫附加装药即有 6 个 4/1 石等重附加药包和 2 个 3/1 石等重附加药包组成, 与基本药管共同构成 0~6 号装药。这两种形式的附加药包比较起来, 前者变换迅速可靠, 生产简单, 多用于射速较大的小口径迫击炮中; 后者能获得优良的弹道性能, 全装药膛压低、初速高, 而小号装药弧厚薄, 低压下也易燃完, 初速膛压跳动小, 弹道性能稳定, 但变换装药不便, 易出差错。

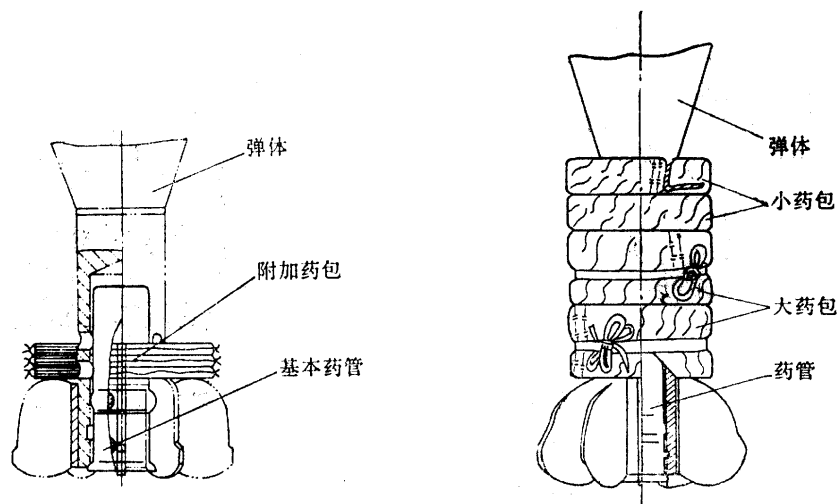


图 5-1-6 迫击炮装药

(a) 60mm 迫击炮火药装药与弹丸的装配情况 (b) 120 迫击炮杀爆弹装药

2. 在火药种类和药形的选择方面, 为了保证装药的速燃性, 多采用高爆热、薄弧厚、燃烧减面性大、燃速快、形状简单的双基药。亦有基本药管用高热值双基药、附加装药用高氮量小尺寸的单基药的。现在我国有的基本药管与附加药包已均采用球形药和小粒药。

基本装药与附加装药的牌号不同, 基本装药多用带状药、螺旋状药。我国制式迫击炮中全为带状药, 同时弧厚较薄, 以保证最小号装药获得解除引信保险所需的膛压, 并能可靠地引燃附加装药(一般口径越小, 弧度越薄)。至于宽度则兼顾燃烧性能与加工性能, 一般以 2~5mm 为宜。宽度越小, 在药管内的分布越均匀, 有利于传火, 燃烧性能就越稳定, 但生产中良品率降低。药长应与药管内纸管上口至火药隔片间的距离相等, 在塞垫封口后能确实固定。附加装药一般用环状药、方片药和带状药, 亦有用单基粒状药的。经验表明, 环状药弹道性能最稳定。对于单基药要注意密封包装, 以免吸湿。火药药形尺寸不同, 各部的尺寸比例也就不同, 如宽度小的带状药比宽度大的带状药可厚些, 环状药比方片药要薄些等等。关于药量, 必须同时保证全装药的弹道性能、零号装药的弹道性能及中间号装药的燃烧完全性, 但这三者之间常有矛盾, 因此, 须与药形弧厚一起考虑调整和配合。

3. 在基本药管方面, 基本药管产生的燃气必须保证达到消除引信保险所需要的压力和达到最小射程所需要的初速。基本药管的传火孔打开压力应能保证附加装药的全面瞬时点燃, 减少各大号装药的初速或然误差, 同时, 它还影响到最大装药的膛压, 从而对身管强度产生影响。

对于传火管, 首先是传火孔的结构。主要指的是传火孔的面积、孔径、孔数与分布。传火孔应打开迅速, 均匀一致, 能使附加药包立即全部暴露于基本装药的火焰中。传火孔一般都集中于尾管下端尾翅上方, 分几排交错排列(要考虑尾管强度), 具体结构由仿造及试验确定。传火管的管壳其基体是硬纸制管, 由套在一起的内外纸管组成。下端齐平, 上端内管短于外管。管壳下端内装一中心带孟形孔的小塞垫, 然后插入中心带孔的铜座内。铜座由内外两个铜壳相套组成。铜座与塞垫的孔中可压入底火。管壳上端内纸管口可放封口垫收口, 紧挨铜座的部位有涨包, 借过盈配合固定于炮弹尾管内。管壳应有足够的强度, 以保证能承受很高的尾管压力而不炸裂, 连接的各元件不松脱; 有良好的开孔性能, 以保证必要的开孔压

力和均匀一致的开孔；有确实的驻退作用，以保证纸管迅速胀紧于尾管腔和铜座确实胀入膨胀槽，从而防止药管后退和留膛。

底火应该提供必要的点火冲量。底火应紧压于铜座孔中，防止射击中后退、留膛和炸裂。点火药一般采用小粒黑药，可以不同方式装入药管。

4. 在附加装药方面，它决定于初速分级和全装药的允许膛压、最大射程所需的初速，属于变装药类型。所以，所有的药粒都装于若干等重的药袋中，由一种或两种牌号构成，其形状决定于火药单体的形状及迫击炮弹尾部的结构特点。附加装药一般都套在或捆在尾管上，对准传火孔。

迫击炮一般没有护膛剂、消焰剂、除铜剂等元件。

（五）无后坐炮装药

无后坐炮是炮膛后端有气流流出的低膛压、低初速轻型火炮。主要是用来对付坦克等目标。一般可分两种类型：一是线膛无后坐炮，用多孔药筒装火药，弹丸旋转稳定；另一是滑膛无后坐炮，不用药筒，弹丸类似滴状迫击炮弹丸，由尾管带尾翅来稳定，火药装药装于尾管部，见图 5-1-7。实际上，线膛无后坐炮也能发射尾翼稳定的弹丸，但目前多向滑膛炮发展。基于有气流流出这个基本特点，必然反映在装药结构上有一些特殊要求。其中主要的是：

1. 具有特定的控制喷口打开压力的结构。该结构只允许达到一定的压力时才将喷口打开，从而保证装药点火的一致性和充分燃烧，避免燃气的逃逸和药粒碎裂、流失，提高弹道稳定性。

对于有药筒的线膛弹，喷口就是药筒上的小孔。药筒内衬以牛皮纸筒，火药装在纸筒内。如图 5-1-7 所示的 75 无后坐炮，药筒内装 9 / 14 高钾粒状药，杆状点火具旋接在底火上，伸入药粒中间点火。筒内装填密度与一般火炮相近。燃烧达到必要的压力时筒孔打开，燃烧产物流入药室。流动过程中相当部分的碎药被药筒留住，避免进入药室经喷管流失。筒孔打开压力与孔数，孔径、纸层强度，药形和药量等有关。

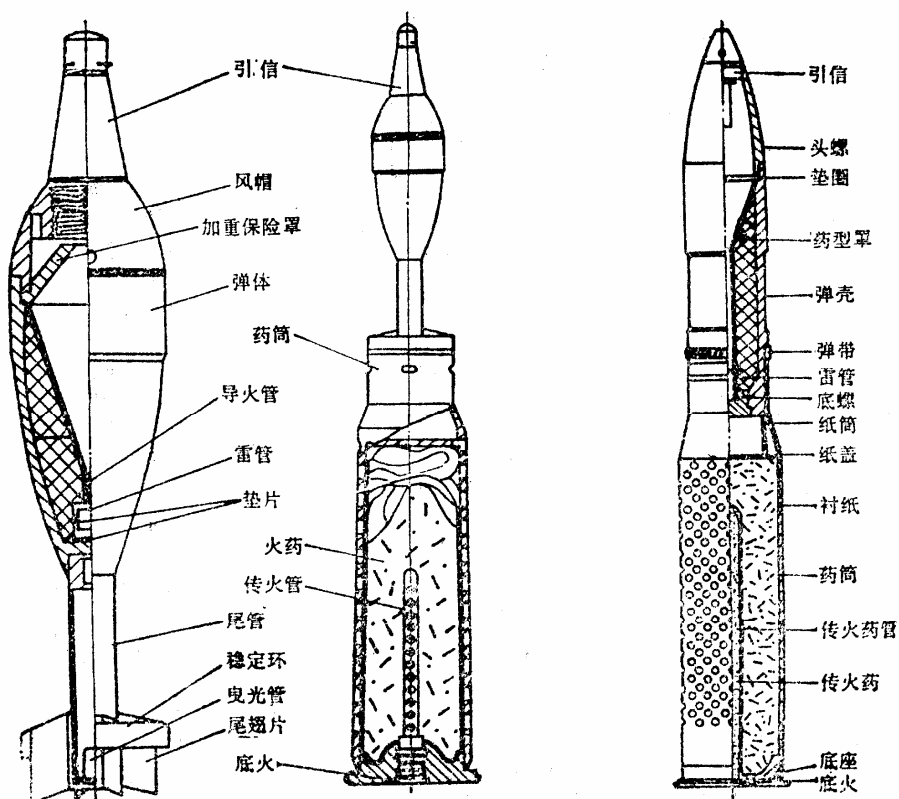


图 5-1-7 75mm 无后坐炮装药

(a) 尾翼空心装药破甲弹 (b) 旋转式破甲弹

对于无药筒的尾翼稳定光膛弹，稳定尾杆内装管状点火具(只含黑药，没有发射用火药)，壁上布有传火孔，尾杆外围捆以主装药。点火药燃烧产物通过传火孔点燃主装药。在尾翼与药室喷口贴合处装有一多孔或无孔的圆板，将喷口封闭。主装药燃气达到一定的压力时将此板打碎而冲出。压力与板的强度和厚度等有关。

这两种结构比较起来，前者弹道性能稳定，装药燃烧条件好，药粒流失小，但药室庞大；后者药室结构紧凑，火炮更轻便，但弹道性能不够稳定。

喷口打开压力还影响到无后坐炮的平衡状态，它必须与弹丸起动压力(有药筒者即拔弹力)相一致，否则火炮易于前冲或后倾。

2. 装药量大。药量比同初速的一般线膛炮约多两倍，以弥补气流和药粒的流失所导致的能量损失。

3. 点火系统复杂。点火药量比一般线膛炮多，而且需制成专门的点火药管。

4. 在火药的选择方面，无后坐炮装药属定装药，只用一种牌号的高热速燃火药，如高氮量的多孔粒状硝化棉火药或高热值双基带状药(56 式 75 无用 9 / 14 高钾，65 式轻 82 用双带 42-5×150，52 / 36 式 57 无用 4 / 1 高，56—1 式 40 用双 40-5×60)。前者多用于带多孔药筒者，后者多用于无药筒者。

这类火炮通常没有护膛剂和消烟剂，火药本身往往带有消烟成分。对于膛线导转的刻槽弹带弹丸有时则添加除铜剂。

第二节 弹丸

一、弹丸的组成及其主要作用

弹丸是直接完成战斗任务包括引信在内的炮弹部件，也即炮弹的战斗部，由引信、弹体、弹带，装填物、稳定装置(采用尾翼稳定的弹丸)等组成。其各个组成部分的作用如下：

1. 引信 它是使弹体内装填物适时作用的敏感元件。其结构形式、要求与作用方式等将在下一部分介绍。

2. 弹体 其作用是连接弹丸各部件，赋予弹丸最有利的外形，使其在飞行中具有最小的空气阻力，盛装装填物(炸药、燃烧剂、发烟剂、照明剂等)；保证发射时的安全并正确地飞向目标，以其自身强度和动能碰击和侵彻目标或在炸药爆炸时产生大量的有效毁伤元，杀伤敌方有生力量或破坏、摧毁敌之装备与工事。

3. 弹带 对于旋转稳定的弹丸，弹带的作用是发射过程紧塞火药气体不先弹丸向前逸出；嵌入火炮膛线赋予弹丸高速旋转，保证弹丸出炮口后稳定飞行。

4. 装填物 它是毁伤目标或完成其它战斗任务的能源和毁伤元。用来直接毁伤目标的弹丸，如榴弹，一般装填炸药(个别为抛射药或其他特殊物质)。

5. 稳定装置 对于非旋转稳定的弹丸都装有稳定装置，以保证弹丸出炮口后的飞行稳定(如迫击炮弹的尾翼)。

二、弹丸的分类

弹丸是指直径在 20mm 以上，利用火炮将其发射出去，以完成杀伤、爆破、穿甲或其它战斗目的的战斗部，往往与炮弹混用。炮弹的种类很多，为了科研、设计、生产、保管及使用的方便，从下列几个方面对炮弹进行分类：

1. 按用途分类

(1) 主用弹 供直接杀伤敌人有生力量和摧毁非生命目标的弹药统称为主用弹。

用以杀伤敌方人员、马匹，破坏敌人的土木工事、铁丝网、障碍物、车辆、建筑物时，一般采用榴弹。其中侧重于杀伤敌人的，称为杀伤榴弹，侧重于爆破作用的，称为爆破榴弹；两者兼顾的，称为杀伤爆破榴弹；用于对付空中目标的，称为高射榴弹；用于迫击炮射击的，称为迫击炮榴弹。

为了对付坦克装甲车辆等装甲目标，一般采用穿甲弹、成型装药破甲弹和碎甲弹，这是三种不同作用原理的反坦克炮弹。穿甲弹按其结构又有普通穿甲弹、次口径穿甲弹和脱壳穿甲弹之分；成型装药破甲弹按使用火炮和有无火箭增程，又分为加农炮、榴弹炮和无后坐力炮用成型装药破甲弹及火箭增程成型装药破甲弹等。

此外，为了对付混凝土工事，有混凝土破坏弹；对付敌人舰艇，有半穿甲弹等。

(2) 特种弹 供完成某些特殊战斗任务用的弹药称为特种弹。如照明弹、燃烧弹、烟幕弹、宣传弹、曳光弹、信号弹和化学弹等。

(3) 辅助弹 供靶场试验和部队训练使用的弹药。如验收用弹、教练弹、训练弹等。

2. 按弹丸与装药药筒(药包)之间的装配关系分类

(1) 定装式炮弹 弹丸和装药药筒结合为一个整体。射击时一次装入炮膛，因此发射速度快。这类炮弹的直径一般不大于 105mm。

(2) 药筒分装式炮弹 弹丸和装药药筒不为一体。发射时先装弹丸，再装装药药筒，因此发射速度较慢；但药筒内的发射药量可以根据需要而变换。通常这类炮弹直径大于122mm。

(3) 药包分装式炮弹 弹丸、药包和点火门管分三次进行装填，没有药筒，用炮闩来密闭火药气体。一般在口径较大的火炮中使用，其射速较慢。

3. 按发射时装填方式分类

(1) 后膛炮弹(后装式炮弹) 炮弹从炮尾装入炮膛，关闭炮闩后发射。这类炮弹在发射时膛压较高，后坐较大，但射程较远。

(2) 前膛炮弹(前装式炮弹) 炮弹从炮口装入炮膛发射。发射这种弹丸的火炮一般没有膛线，弹丸采用尾翼稳定方式。

4. 按获得速度的方法分类

(1) 一般炮弹 弹丸的速度由火炮发射时获得。弹丸出炮口时的初速即为最大速度。

(2) 火箭增程弹 弹丸的速度不仅在火炮发射时获得，当弹丸出炮口后火箭增程发动机工作，弹丸速度还可增加。增程发动机工作结束时的速度为最大速度。

5. 按口径分类

(1) 小口径炮弹 地面炮为 20~70mm，高射炮为 20~60mm。

(2) 中口径炮弹 地面炮为 70—155mm，高射炮为 60~100mm。

(3) 大口径炮弹 地面炮为 155mm 以上，高射炮为 100mm 以上。

6. 按稳定方式分类

(1) 旋转稳定式炮弹 弹丸依靠火炮膛线获得高速旋转，按照陀螺稳定原理使其在飞行中保持稳定。由于转速受一定的限制，所以弹丸不能太长，一般全长小于 5.5 倍弹丸直径。

(2) 尾翼稳定式炮弹 弹丸不旋转或低速旋转。依靠弹丸尾部的尾翼来保持飞行稳定。尾翼使全弹阻力中心移至质心之后，不论弹丸如何摆动，均产生一个稳定力矩，使弹丸轴线与弹道切线一致。大多数迫击炮弹、成型装药破甲弹以及滑膛炮发射的弹丸均采用这种稳定方式。

7. 按弹丸直径与火炮口径之间的关系分类

(1) 适于口径炮弹 弹径与火炮直径相同。大多数炮弹均属这一类。

(2) 次口径炮弹 弹径小于火炮直径，便于提高初速。如各种脱壳穿甲弹属于这一类。

(3) 超口径炮弹 弹径大于火炮直径，弹丸威力较大。如迫击炮长榴弹，某些火箭增程破甲弹属于这一类。

三、对弹丸的要求

战争中，需要大量的炮弹来对付各种性质不同的目标。为了顺利、及时地完成这些战斗使命，它必须满足各项战术技术要求和生产工艺性要求。

1. 在生产、勤务处理和射击时要确保安全

安全问题是一个非常严肃的问题。炮弹不能确保安全，将会贻误战机，伤害我方人员，甚至炮毁人亡，这一点必须引起设计人员的高度重视。当安全性与炮弹的其它性能要求相互矛盾时，设计者必须首先确保所设计产品具有足够的安全性。在设计时应注意以下问题：

- (1) 内弹道性能稳定，膛压不超过允许值；
- (2) 弹丸在发射时的强度满足要求，药筒作用可靠；
- (3) 引信保险机构确实可靠，确保平时和射击时安全；
- (4) 火工品和炸药在平时和射击时安全。

2. 威力

弹丸的威力是指弹丸对目标毁伤作用的大小。由于各种弹丸用途不同，所以对其也有着不同的要求。如杀伤榴弹，要求杀伤半径及杀伤面积大，成型装药破甲弹、穿甲弹要求穿孔深；二次毁伤性能好；照明弹要求照度大，作用时间长等。

完成同样战斗任务时，增大弹丸威力可相应减少弹药的消耗量或所需火炮的数量，缩短完成战斗任务的时间。为了提高弹丸的威力，必须研究各种弹丸的作用原理，寻求提高威力的新途径。

3. 射程

由于现代战争中战场的正面和纵深都明显加大，所以要求火炮具有比较远的射程。其意义是：

- (1) 射程远才能对敌纵深的重要目标(司令部、指挥中心、集结地区、交通枢纽等)进行射击；
- (2) 可以实施火力机动，即集中大量炮火用于最重要的目标上；
- (3) 可以在不变换发射阵地的情况下，不间断地给步兵以火力支援；
- (4) 射程远有利于对敌炮兵作战；
- (5) 便于炮兵作纵深梯次配备，以提高防御的稳固性。

4. 射击密度

弹丸射击密度是以火炮固定射击时，弹丸散布的中间误差来表示的。包括

- (1) 距离中间误差 E_x 或 $1 / (X / E_x)$ ，其中 X 为最大射程；
- (2) 高低中间误差 E_y ；
- (3) 方向中间误差 E_z 。

地面火炮发射的弹丸通常用地面距离中间误差 B_x (或 $1 / (X / E_x)$ 、 X 为最大射程)，方向中间误差 E_z 表示其密度。反坦克炮和高射火炮发射的弹丸通常用立靶密度 E_y 和 E_z 表示其密度。

由于生产中存在加工误差，所以弹丸的质量各不相同。为了防止因弹丸质量差别太大，影响散布，而采用了质量分级的办法。质量符号共分九级，见表 5-1-1。

根据表 5-1-1 来确定每一发弹的质量符号，符号应写在弹体上。射击前，必须根据质量符号对表尺进行修正，修正值均可在对应的火炮射表中查到。质量超过四个“+”的弹丸可以在规定的部位切削掉部分金属来修复，质量低于四个“-”的弹丸为废品。

为了保证射击密度，在射击前还应该对气温、气压、空气湿度、药室容积、装药温度，风力大小等进行必要的修正。

表 5-1-1 质量分级符号表

弹丸质量符号	与标准弹质量的差值
++++	$+2\frac{1}{3} \text{---} +3\%$
+++	$+1\frac{2}{3} \text{---} +2\frac{1}{3}\%$
++	$+1 \text{---} +1\frac{2}{3}\%$
+	$+\frac{1}{3} \text{---} +1\%$
± (或 H)	$\pm \frac{1}{3}\%$
-	$-\frac{1}{3} \text{---} -1\%$
--	$-1 \text{---} -1\frac{2}{3}\%$
---	$-1\frac{2}{3} \text{---} -2\frac{1}{3}\%$
----	$-2\frac{1}{3} \text{---} -3\%$

5. 在长期储存中性能安定

战时弹药的需要量很大,平时必须生产一定数量的弹药,保持必要而又充分的储备。所以要求平时生产的弹药能储存 15~20 年不变质。具体的要求是:

- (1)弹丸、药筒不腐蚀生锈;
- (2)发射装药密封可靠,不受潮、不分解;
- (3)火工品不失效;
- (4)炸药不分解变质。

为了满足上述要求,除认真研究火药、炸药、火工品的性能外,还必须认真研究炮弹的密封包装和零部件的表面防腐处理。

6. 工艺性与生产经济性

战时炮弹的消耗量非常大,所以各零部件的设计,要求在满足性能的前提下,应结构简单、可靠、工艺性好。在制造过程中,尽量采用精度高、性能好、效率高的新工艺,缩短生产时间,降低生产成本。

四、几种常用的弹种

(一) 榴弹

通常将起杀伤和爆破作用的弹丸统称为榴弹。榴弹有地面和高射两种,地面榴弹主要用于毁伤地面目标,如破坏敌土木工事;杀伤有生力量;摧毁建筑物和车辆等。高射榴弹主要对付空中目标。在各类弹丸中,榴弹的用途广泛,其结构与作用具有一定的代表性。

线膛火炮配用的榴弹都是靠旋转稳定。滑膛炮有的也配备榴弹，它是靠尾翼稳定。目前有人主张取消“榴弹”一词，而直接命名为杀伤弹、爆破弹、杀伤爆破弹等。

1. 榴弹的一般构造

图 5-1-8 为地面榴弹的构造简图，其外形分为弹头部、圆柱部和弹尾部。弹体内腔盛炸药。

(1) 弹丸全长

从弹丸顶端到弹底切面的长度称为弹丸全长，其值是在已知弹丸质量(重量)后确定的，它影响弹丸飞行时所受的阻力、弹丸威力和弹体强度，旋转稳定的弹丸全长约为 2.3~5.6 倍口径，其上限受飞行稳定性限制，下限则必须满足弹丸威力和强度要求。

(2) 弹头部

弹头部是母线为圆弧的旋转体，旋转弧线的半径 ρ 值为 1~1.5 倍口径，远射弹的 ρ 值较大，弹头部尖锐，以减小空气阻力。头部全长约为 1~3.5 倍口径。弹顶作成小圆角或不大的小平顶形，其尺寸根据初速大小由经验值选取。当弹丸配用弹头引信时，弹顶形状就是引信的外形；如弹丸配用弹底引信，其弹顶就是弹体顶部的形状。

(3) 圆柱部

圆柱部是指上定心部至弹带间的距离，其长度影响炸药量及飞行稳定性，长度约为 1.2~3 倍口径。

圆柱部也称导引部，有上、下定心部和 1~2 条弹带，它们能使弹丸在膛内沿轴向正确运动。为便于装填炮弹，定心部的外径较口径略小 0.1~0.25mm，其宽度对小口径弹丸约为 0.15~0.4 倍口径，大口径弹丸约为 0.1~0.2 倍口径。圆柱部除弹带与定心部外，其他部分的外径比定心部外径小，只需粗加工。

弹带的用途是发射时在膛内传递扭矩，使弹丸获得旋转运动，同时密闭火药燃气。对于无下定心部的弹丸，在装填时，弹带还起定心作用。对于分装式炮弹，装填中弹带有固定弹丸位置的作用。

弹带一般由紫铜制成，其宽度由强度条件确定，通常小口径炮弹的弹带宽为 10mm，中口径为 15mm，大口径为 25mm，如强度不够，可增加弹带条数，弹带直径应大于炮膛阴线直径，两者之差称为弹带强制量“ e ”。 e 约为 0.009~0.012 倍口径，强制量的作用是发射时密闭火药燃气，发射初期使弹带挤入膛线时具有一定的压力，此压力称为挤进压力。一般火炮约为 30MPa，它对发射药的迅速点火和正常燃烧具有重要作用。

弹带的剖面形状有锥形和柱形两种。一般情况多采用柱形，为便于弹带嵌入膛线和减少空气阻力，其前方有与火炮坡膛锥度相对应的斜面，后方也有斜面，用来存放在嵌入膛线时被切下的金属，防止形成毛刺，其倾斜角 β 为 45°、60°或圆角。见图 5-1-9 所示。

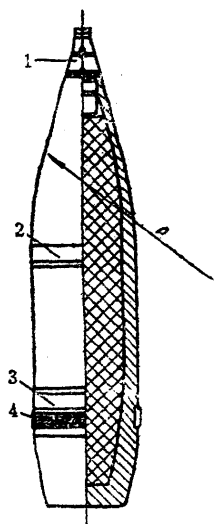


图 5-1-8 榴弹简图

1-引信；2-上定心部；
3-下定心部；4-弹带。

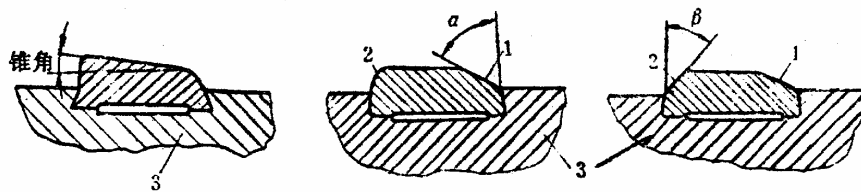


图 5-1-9 弹带剖面

1-弹带前斜面 2-弹带后斜面 3-弹体

在高初速的大口径火炮中,为延长炮膛的使用寿命,将弹带做成具有大强制量的凸起部,当弹丸在已磨损和烧蚀的炮膛中运动时,弹带仍能起定位和密闭火药燃气的作用,在凸起部的后面有矩形或梯形的环形沟槽,以容纳嵌入膛线时凸起部被切下的金属,例如 130mm 加农炮榴弹的弹带,图 5-1-10。

弹带材料对炮膛寿命有一定影响,据美国陆军 Welewiet 兵工厂研究的结果,认为更换弹带材料是减轻炮膛磨损行之有效的一种方法。铜合金弹带因受膛内摩擦热的作用,会在膛壁上留下一层液态金属,对膛壁有腐蚀作用,采用铁质弹带或非金属弹带可避免一上述缺点,还可节约有色金属。性能先进的瑞士厄利空 35mm 双管高射炮的炮弹就是采用的软铁弹带。

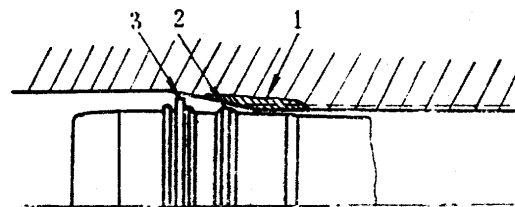


图 5-1-10 带凸起的弹带

1-膛线被磨损 2-正常定位处 3-膛线磨损后定位

(4) 弹尾部

弹尾部一般呈船尾形,以适应飞行时空气环流的形状而减小尾部的涡流阻力。弹尾部长度约为 0.6~1.1 倍口径,船尾的半锥角约为 $6^{\circ}\sim 9^{\circ}$,高初速弹丸锥角可以小些,甚至可制成圆柱形。对定装式弹丸,为与药筒可靠连接,有时还在尾部加 1~2 条紧口沟槽。

(5) 弹体药室和炸药

弹体内腔有药室,药室壁厚应满足强度要求,愈靠近弹底壁厚愈大。药室内装猛炸药,榴弹的爆破威力与所装的炸药量和炸药性能有关。杀伤威力则与许多因素有关,它取决于弹丸爆炸后破片的大小、数量和速度等因素。

2. 榴弹的作用

榴弹依靠炸药爆炸后气体的膨胀功和弹丸破片的动能来毁伤目标。前者称为爆破作用,后者称为杀伤作用。弹丸利用其动能侵入各种介质进行毁伤的功能称为侵彻作用。

通常所称的杀伤榴弹,爆破榴弹和杀伤爆破榴弹,在它们之间并无严格区别,只是偏重于杀伤作用和偏重于爆破作用或二者作用兼而有之。一般小口径榴弹因所装炸药量较少,偏重于杀伤作用,而大口径榴弹多偏重于爆破作用或杀伤爆破作用。

(1) 侵彻作用

弹丸利用其动能侵入介质的过程,对于爆破弹和杀伤爆破弹都具有十分重要的意义,例如,弹丸击中某土木工事后,并不立即爆炸而是迅速侵入土壤或障碍物中一定深度,引信才开始引爆炸药,爆炸时产生高温高压气体和冲击波,猛烈冲击周围的介质,并把上部的工事

掀掉，炸出一个大坑，在此过程中，弹丸要完成侵彻与爆破作用，破坏工事主要靠爆破作用，而侵彻是为了发挥更大的爆破效果，如图 5-1-11。

侵彻作用的大小，一般以侵彻行程或侵彻深度来衡量。

(2) 爆破作用

弹丸在爆炸瞬间，产生高温高压的爆轰产物，猛烈地向四周膨胀，除使弹体破裂形成碎片以一定速度飞散外，此爆轰产物还用于周围介质或目标本身，使目标受到破坏，此即弹丸的爆破作用。

当弹丸在岩土中爆炸时，其破坏情况可分为 3 个区域，见图 5-1-12。

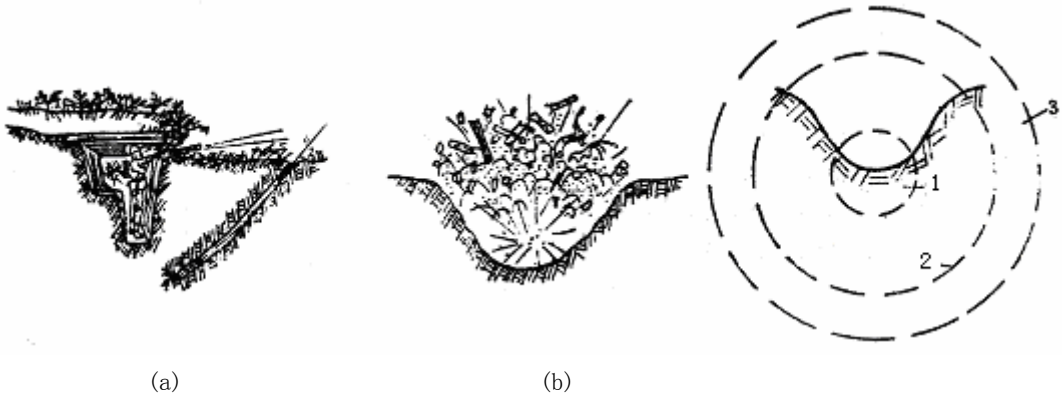


图 5-1-11 榴弹对工事的破坏区
(a) 侵入土地一定深度 (b) 弹丸爆炸

图 5-1-12 爆炸时榴弹的破坏情况
1-压缩区 2-破坏区 3-震撼区

压缩区：介质受到爆炸气体压力直接作用，此压力可达几十万大气压，介质受强烈压缩移向四周，遭到完全破坏。

破坏区：介质被压垮粉碎，一部分被抛出形成漏斗坑，此区域比压缩区大 2~4 倍，在此区内的建筑物可被完全破坏。

震撼区：爆炸压力波在介质中继续传播，其速度迅速减弱，由冲击波变为弹性波，在此区域内的建筑物会受到一定程度的破坏。

3 个区域的作用半径，一般由经验公式确定。

54 式 122mm 榴弹其爆破坑深度约为 1.3m，直径为 3.5m。

弹丸在空中爆炸时其爆轰产物猛烈膨胀，压缩周围空气，出现冲击波，此波的强度一般用超压值 ΔP_m 表示，超压值愈大，其破坏作用也愈大。

(3) 杀伤作用

弹丸杀伤作用的大小主要取决于弹丸形成破片的数量和破片飞散速度的大小及其方向，即其有效破片的数量。当炸药量和炸药猛度提高时，破片数将增多，弹体金属强度极限和延伸率增加时，破片将减少。因此，为形成更多的有效破片数量，弹体金属的力学性能应与弹丸内装炸药的猛度相匹配。榴弹的破片速度一般为 600~1000m/s，据经验统计，利用破片动能杀伤人员

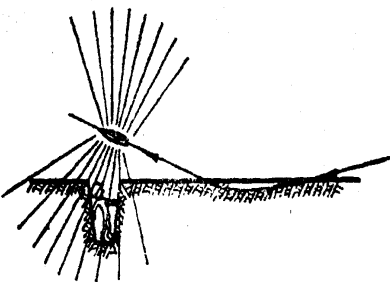


图 5-1-13 跳弹

时需 58~98J；杀伤马匹需 118~196J；破坏飞机需 980~1961J。

122mm 榴弹炮杀伤破片约 1000 块以上，弹片飞散速度约 1000m / s。

为了有效地杀伤隐蔽在战壕内的敌人，可采用小射角的跳弹射击法，跳弹是指飞行中的弹丸钻入障碍物表层后又飞出来，在空中继续运动的现象，射角小，弹丸的落角也小，当落角小于 20° 时，就会产生跳弹，此时弹丸在地面上滑过一条沟而跳飞起来，在空中爆炸，即可杀伤隐蔽之敌，如图 5-1-13 所示。实施跳弹射击，引信必须装定成“延期”，在空中爆炸可使杀伤效果提高一倍以上。同时，爆炸音响对敌人的震撼作用也大。

122mm 榴弹实施跳弹射击的有利炸高约为 5~10m。

3. 新近发展的几种榴弹

近 20 多年以来，火炮系统威力有了很大的提高，技术上的措施一般分为两方面，一是对火炮结构本身的改进，再者就是对弹药系统性能的提高。目前，先进的弹药系统是其中最活跃且贡献最大的一个分系统。作为火炮专业的技术人员，应当了解当前弹药发展的情况，这有利于促进火炮本身的改进和设计，也有利于同弹药系统的设计者进行协调与配合。

当前榴弹设计上较为突出的进展是：在外弹道上采用减阻技术和加速技术，以提高射程；在弹丸的内部结构上采用高能炸药，应用薄壳与可控破片技术以提高威力；采用末段制导和匹配新型引信以提高射击精度。

下面介绍几种新型榴弹。

(1) 底凹弹

底凹弹是 60 年代初由美国、法国开始采用的新式榴弹，这是一种比普通榴弹长 1~1.5 倍口径，并在弹底部加工成空心的凹裙形的榴弹，底凹有“长底凹”和“短底凹”之分，其深度在 0.2~1 倍口径之间，有时还在底凹壁上对称地加工几个导气孔。见图 5-1-14。

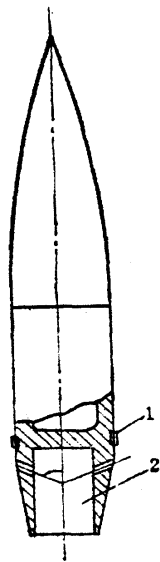


图 5-1-14 底凹弹

1-弹带 2-底凹

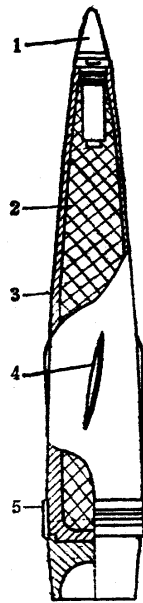


图 5-1-15 枣核弹

1-引信 2-炸药 3-弹体 4-定心块 5-弹带

底凹弹的特点是：

(1) 因有底凹，特别是有导气孔的底凹结构，可以使飞行中弹底处涡流强度减弱，弹后空间能及时被周围空气填充，提高弹底压强，使弹头部及弹尾部的压力差减小，从而减小了

空气阻力，使射程增加；

(2) 因有底凹，使弹丸质心前移，阻力中心相对靠后，使翻倒力矩较小，有利于飞行稳定及改善弹丸的散布；

(3) 弹带设在隔板处，强度容易保证，与普通平底弹相比，可使弹壁减薄从而炸药量也可增加；

(4) 底凹弹在亚音速和跨音速区域飞行可比平底弹的涡流阻力减 30% 左右，从全弹道看，如弹丸飞行的大部分时间是处在此区域内，则有利于提高射程；

(5) 底凹弹结构简单，在其他弹种上(如发烟弹，照明弹等)也可采用，对火炮内膛结构无特殊要求，所以有些国家已按制式弹种装备部队。

(2) 枣核弹(ERFB)

英文原意是空气动力优化弹丸，是指外形象枣核，飞行阻力小，射程远的弹丸，该弹特点是弹体无圆柱部，弹带与定心块一起组成膛内支撑面，弹体呈流线型，弹形系数小。全弹由尖拱弧形部和船尾部组成。尾部有底凹。见图 5-1-15。

定心块一般有 4 个，焊在尖拱弧形部，其形状和安装位置需精心设计。应具有良好的空气动力学特性。由于无圆柱部，所装炸药量会比普通榴弹约少 10%~15%；因其弹形系数小($i_{43} \approx 0.7$)，且有底凹，从而减小了波动阻力与涡流阻力，缩短了飞行时间，减少了气象条件对弹道的影响，比制式榴弹可增加射程约 20%，但是该弹成本也比普通榴弹高。

枣核弹目前有两种形式，一种是适口径弹，一种是次口径弹，又称远程次膛弹(弹径小于火炮口径)。次口径枣核弹一般采用可脱落的塑料弹带，前后塑料定心环，和内外两个闭气环，也有采用定心块而不另设定心环，因塑料弹带等出炮口后即脱落，使弹形进一步得到改善，所以其射程比适口径枣核弹还远，见图 5-1-16。

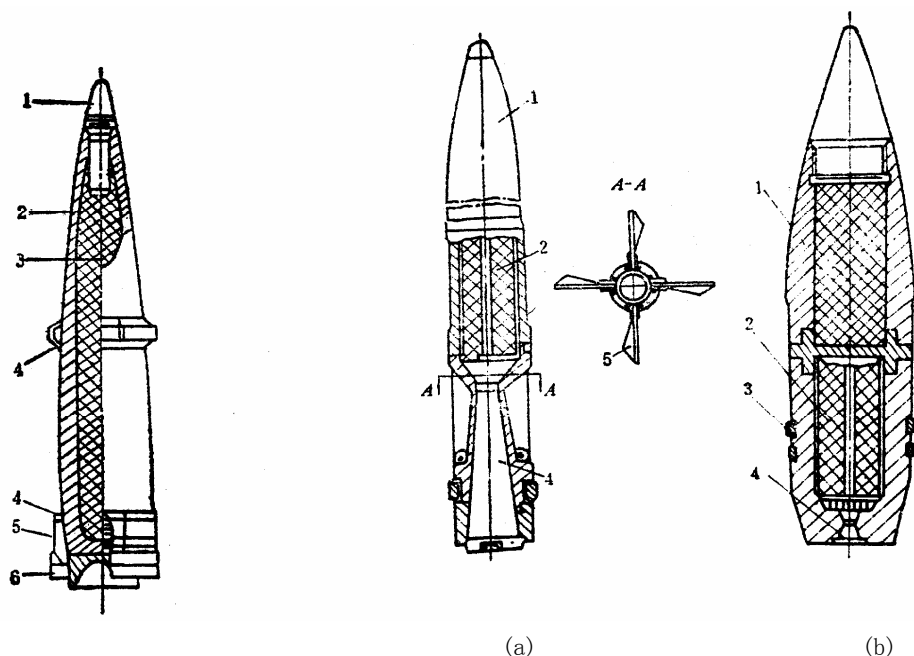


图 5-1-16 次口径枣核弹

1-引信 2-弹体 3-炸药
4-前后定心环 5-弹带 6-闭气环

图 5-1-17 火箭增程弹

(a) 尾翼稳定 (b) 旋转稳定

1-弹体 2-火箭燃料 3-弹带 4-喷管 5-尾翼

(3) 火箭增程弹

火箭增程弹是在常规弹丸尾部装一固体燃料火箭发动机，仍由身管火炮将其发射。弹丸飞出炮口一段行程后，火箭发动机点火，赋予弹丸新的推力，使弹丸射程提高。一般比普通榴弹可增程 20%~30%。发动机的最佳点火时间应由外弹道设计确定。

火箭增程弹有旋转稳定和尾翼稳定式两种，如图 5-1-17，其喷管有单喷管式和多喷管式。

(4) 底部排气弹

底部排气弹是指在弹丸尾部装有排气装置，用于减少飞行中的底阻以增加射程的炮弹，这种弹不是火箭弹，对飞行的弹丸不提供推力，而是通过排气装置内装的可燃物质(称为底排药)，在低压下燃烧，排出的气体填充因弹丸运动所形成的弹底低压区，提高了该区的压力。有的底排药燃后还产生富油贫氧气体，此气体喷到弹后涡流区时就燃烧起来，使弹底区域压力局部增大，可使作用到弹丸上的底阻减小 50%~80%。比制式普通榴弹增程 13%~30%，比火箭增程弹的增程效果好。例如 155mm 弹丸要获得同样的增程效果，火箭所需要的推进剂为 2.6kg，而底排弹只需要 1.2kg，图 5-1-18 为底排装置结构示意图。

底排弹的结构比火箭增程弹简单，损失的有效载荷也较小，图 5-1-19 为意大利两种 P3 式 155mm 榴弹的剖面图，底排弹内装 B 炸药 11.7kg，火箭增程弹装 B 炸药 8kg，比前者少 30%以上，又因底排弹底部排气速变较低，提高了底部压力，减小了空气阻力，在距离一定的条件下，缩短了弹丸在空中飞行的时间，减小了扰动因素对弹道散布的影响。

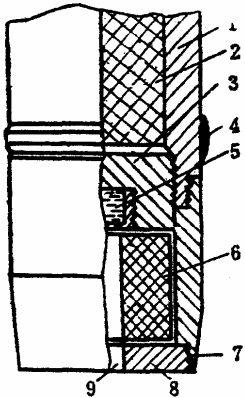


图 5-1-18 底排装置结构示意图

1-弹体 2-炸药 3-底螺 4-弹带 5-点火药
6-底排药 7-闭气环 8-底盖 9-喷口

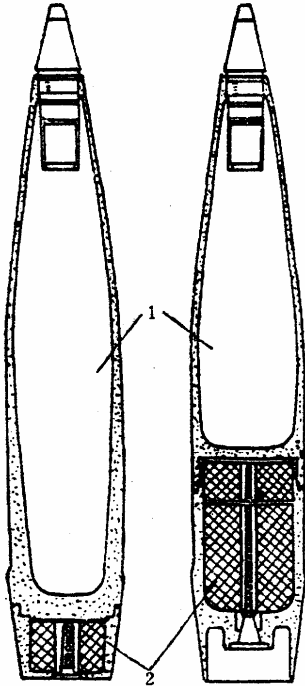


图 5-1-19 意 155mm 榴弹

(a) 底排弹 (b) 火箭增程弹
1-B 炸药 2-燃料

底排弹适用于底阻占整个空气阻力比例较大的大口径弹丸。它不需要靠提高火炮膛压就可获得较为明显的增程效果。枣核适口径弹的底阻几乎与波阻相等，在该弹上采用底排原理，

效果会更好。

底排弹结构较简单，便于生产，成本较低，是一种性能较好的远程榴弹。现已受到国内外广泛重视。但是，由于底部排气装置的点火、燃烧与排气过程要受一系列随机因素的影响，从而影响射弹散布。因此，弹药界正在努力寻求更好的途径以造出密集度良好的底排弹。

（二）穿甲弹

穿甲弹(AP)是在与装甲目标矛盾斗争中发展起来的一种弹种。它主要是依靠本身的动能和坚硬的弹头来破坏装甲目标，弹丸内装的炸药量较少或者不装炸药，前者称为“含药穿甲弹”，后者称为“实心穿甲弹”。

对穿甲弹的主要要求是：

（1）比动能大。弹丸碰击装甲时的动能与弹丸横剖面面积之比，称为比动能，比动能愈大，穿甲能力愈强。弹丸的着速、质量和弹径直接影响比动能值。

（2）弹体强度应大，穿甲时弹体不应先破坏。通常都用合金钢制造，新式穿甲弹体还采用高密度钨合金甚至铀合金制造。当然采用钨、铀合金不仅提高了弹体强度，更主要的是其有利于提高其比动能。

（3）射弹密集度要好。穿甲弹是靠直接命中目标来完成战斗任务的，其射弹密集度至关重要。通常用一定距离上的立靶密集度表示。

（4）直射距离应大。穿甲弹必须具有高初速、低伸弹道能及时、有效地摧毁机动灵活的坦克目标。直射距离越大，弹道越低伸，表示穿甲弹的性能越好。

（5）对火炮的机动性影响小。要满足穿甲弹的威力、直射距离等性能的要求，必然导致弹丸初速的提高、质量的增大，这将直接影响火炮的机动性能。但在战争中，火炮的机动性是非常重要的。弹丸炮口动能的大小，直接影响着火炮的质量。因此，在确定弹丸的初速和弹丸质量时，必须综合考虑，以解决威力和机动性的矛盾。

一般对穿甲弹提出的威力指标常写成：装甲厚 / 着角-有效穿透距离。例如 120mm / 65-1000m，即表示穿甲弹能以 65° 着角击穿 1000m 处 120mm 厚的钢装甲。着角是指弹丸着靶时其速度矢量与靶板法线之间的夹角。着角与命中角互为余角，命中角愈大，弹丸穿透同等厚度的钢甲所经行程愈短，当弹丸垂直射入钢甲时(命中角为 90°)，穿甲作用最大，当命中角很小时，还易产生跳弹，不能起穿甲作用。

现简单介绍常用的两类穿甲弹。

1. 普通穿甲弹

普通穿甲弹的结构形式很多，其主要区别在头部结构上，常见的普通穿甲弹有：尖头曳光穿甲弹，钝头曳光穿甲弹，带风帽和被帽的曳光穿甲弹。

普通穿甲弹，一般都由弹体、炸药、弹底引信和曳光管组成，有的还在弹头上配有风帽和被帽，其结构示意图 5-1-20。

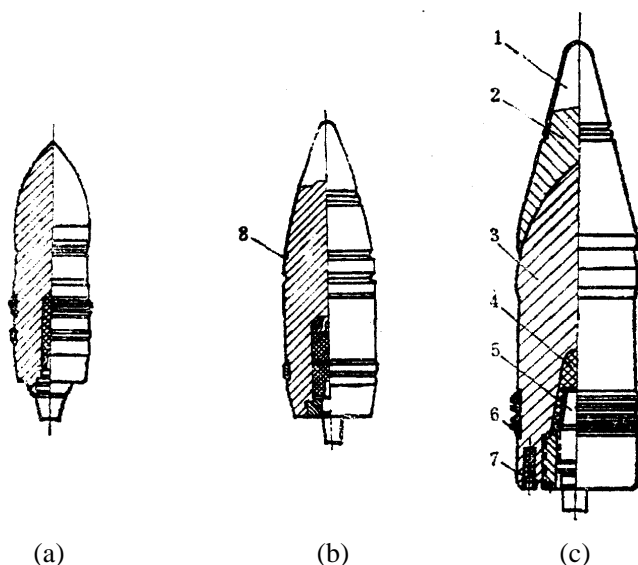


图 5-1-20 穿甲弹

(a) 尖头穿甲弹

(b) 钝头穿甲弹

(c) 被帽穿甲弹

1-风帽 2-被帽 3-弹体 4-炸药 5-引信 6-弹带 7-曳光管 8-断裂槽

弹体由合金钢制造，并要经过热处理，以保证弹丸有足够的碰击强度，为保证强度，弹体壁较厚，因而药室很小，为获得较好的杀伤和爆破作用，必须装填威力和猛度较大的炸药，为了控制在碰击时弹体头部的破碎范围，保证弹体其他部位的完整性，使药室不因弹丸碎裂而暴露。因此，在定心部附近的适当位置上都制有 1~2 条环形断裂槽，以牺牲弹头部的强度而保全药室部的完整，使其能最终击穿钢甲在车内爆炸。穿甲弹一般配用固定延期或自动调整延期的弹底引信。被帽是在尖头弹的头部焊接一个钝头的壳盖，用与弹体材料相当的合金钢制成，经热处理其韧性应比弹头部高。被帽的作用是改善撞击钢甲时弹头部的受力状况及撞击倾斜装甲时减少跳弹。它相当于一个预制得很好的断裂槽，撞击时它先破坏，也将钢甲表面破坏，通过它传到弹头部的压力大为减小，便于弹丸侵彻钢甲。因此，被帽对付非均质钢甲较为有利。为了减小钝头和被帽穿甲弹的飞行阻力，使其具有较好的空气动力外形，一般都采用了流线型或锥形薄壳风帽。风帽用薄钢板冲压而成，以滚压法与弹体或被帽连接。为了观察和修正弹道，差不多所有的穿甲弹都装有曳光管。曳光多用红色，白天和夜间均可见到清晰的弹道。

普通穿甲弹丸的全长，一般不超过 3.6 倍弹径。

尖头穿甲弹侵彻钢甲时阻力较小，适于对付硬度较低，韧性较好的均质钢甲。但对高硬度钢甲或倾斜钢甲射击时，头部易碎且易产生跳弹。这种弹目前已处于被淘汰的地位。

钝头穿甲弹碰击钢甲时，由于接触面积大，碰击应力小，头部不易碎，便于产生冲孔式破坏，也不易跳弹，适用于对付硬度较高的钢甲。

2. 超速脱壳穿甲弹

超速脱壳穿甲弹 (HVPDS) 是随着复合装甲的发展而产生的一个新弹种。由于它的初速很高，直射距离大，穿甲性能好，它是目前反坦克火炮重点发展的弹种之一。

先从理论上简单分析，这种弹丸为何因脱壳而获得高速呢？从弹丸在膛内运动的情况可知：

$$v_0 = \sqrt{\frac{2S}{\phi m} \int_0^l p dl}$$

初速与弹丸结构和发射药燃烧状况有关,在发射药与炮膛结构一定的情况下,当 $m/S=Q$ 值小时 (Q 称为弹丸的断面比重),则初速会相应地增大。

弹丸在空中飞行,空气阻力对其影响很大。空气阻力减小,弹丸的速度消耗则降低,可获得较大的着速,才能增加对钢甲的浸彻力。为此,必须减小空气阻力加速度,从外弹道学知,空气阻力 F_ω 的公式为:

$$F_\omega = \frac{1}{2} C_\omega \cdot \rho \cdot v^2 \cdot s$$

式中 v ——弹丸速度; C ——阻力系数; ρ ——空气密度。

则弹丸的空气阻力加速度 a 为:

$$a = \frac{C_\omega \rho v^2 s}{2m} = \frac{C_\omega \rho v^2}{2Q}$$

由上式知,在 C_ω 、 ρ 、 v 等因素相对不变的情况下, $Q=m/S$ 增大, a 值即可下降。

从弹丸在膛内、膛外的运动情况看,如能设计一种质量和直径能随膛内、外运动而改变的弹丸,便能获得较大的初速和落速,这种构思导致了脱壳穿甲弹的产生。

超速脱壳穿甲弹有两种类型,一种是旋转稳定的,用于线膛炮;一种是尾翼稳定的,用于滑膛炮。

旋转稳定的脱壳穿甲弹,其穿甲威力受到弹长的限制,穿甲性能难以大幅度提高。

尾翼稳定超速脱壳穿甲弹(HVAPFSDS)又称杆式穿甲弹。它由弹托和飞行杆式弹体两大部分组成。弹托分环形卡瓣式和马鞍式,使弹丸在膛内具有较小的断面比重;飞行弹体有整体式或分段组合式,长径比可达 12~20,膛外断面比重大,因而这种穿甲弹可获得高初速和大的着速。大大提高了穿透复合装甲的威力,缩短了飞行时间,提高了命中概率。加之杆式穿甲弹在穿甲过程中是一方面穿甲,一方面破碎,破碎的弹体和钢甲材料将沿弹坑反向飞溅,形成大于弹径的穿孔,弹体和钢甲碎片飞入装甲车体内,后效作用很大。因此,这种弹目前已被世界公认为是一种最有效的反坦克弹种,并得到较快的发展。

图 5-1-21 为我国 100mm 滑膛反坦克炮的长杆穿甲弹结构示意图。

飞行弹体包括弹杆、风帽、被帽、尾翼、曳光管和压螺等。弹杆由 35CrNiMo 合金制成整体结构。杆中部制有环状锯齿形槽以便与弹托连接。尾翼由精密铸造或焊接而成,除保证飞行稳定外,在膛内还起定心作用,尾翼在碰击钢甲时也全部破碎。

弹托由 3 块呈 120° 的扇形卡瓣和闭气环组成。卡瓣上有锯齿形凸起与弹体配合,卡瓣上共有六个对称布置的斜漏气孔和一定形状的弧形凹槽,用以减轻质量和便于脱壳。弹丸在炮膛内,火药燃气从卡瓣上 6 个斜孔喷出,使弹托旋转,靠摩擦力作用带动弹体也作微旋运动,弹丸飞出炮口后,在离心力和火药燃气冲击下,使卡瓣产生向外分离的力,后效期之后,弹丸遇到迎面高速气流的冲击,气流遇卡瓣时受阻。向外扩散,这些都使卡瓣获得足够的侧向速度而脱离弹体。由于脱壳较顺利,弹丸飞行稳定性较好,加之初速高,所以有较高的射击密集度。

图 5-1-22 为以色列 105mm 线膛坦克炮用的马鞍形弹托杆式穿甲弹结构示意图。

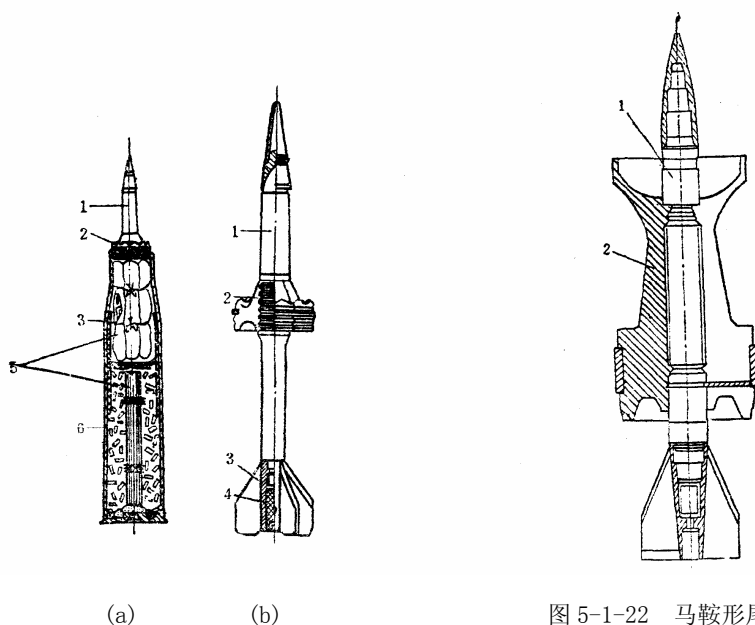


图 5-1-21 卡瓣式尾翼穿甲弹

(a) 杆式穿甲弹药 (b) 飞行弹体

1-弹体 2-卡瓣 3-尾翼 4-曳光管 5-发射药 6-药筒

尾翼稳定脱壳穿甲弹目前存在的较大问题是：

(1) 弹托脱落后飞行不规则，易误伤我方人员，试验证明在离炮口 20~1000m 范围内都可拾到弹托。

(2) 发射时因闭气不良，对炮膛烧蚀较严重，影响火炮寿命。

目前，穿甲弹的发展方向关键仍在于提高弹丸初速，减小飞行中的速度降，增加弹体强度和采用高密度的金属材料，采用减阻和增速技术等。

(三) 成型装药破甲弹

穿甲弹与破甲弹 (HEAT) 对目标的破坏作用方式有本质的区别，穿甲弹是依靠弹丸的动能来击穿钢甲，只有高初速的火炮才能配用，而破甲弹则是依靠弹内炸药起爆后形成的高温、高速、高密度的金属射流冲击钢甲来达到破甲的目的，它并不需要弹丸有很高的初速，对于初速较低的无后坐炮、反坦克火箭筒，反坦克导弹，甚至在枪榴弹、手榴弹和地雷上都得到应用，目前几乎所有的反坦克导弹都是采用成型装药战斗部。另外，在民用工程爆破中，聚能爆破也得到广泛使用。加之，成型装药破甲弹加工设备简单，无需特殊工艺，所以它是一种有发展前途的弹种。

破甲弹和穿甲弹一样，需要直接命中目标才能起作用，因此要求它具有一定的射击精度，其威力指标一般也是以穿透一定倾角的钢甲及钢甲厚度的形式表示。

成型装药破甲弹的破甲原理是利用装药的聚能效应，现简述如下。

由一般的爆轰理论可知，圆柱形装药作用在钢板上有效能量只有很小一部分，且因装药底面积大，能量密度小，只能炸出较浅的坑；带锥形孔的装药引爆后，爆发产物沿药面法线飞散在轴线处汇合，形成一股高温、高速、高密度的气体流，因而对钢板的作用面积小，能量密度很高，能将钢板炸出深孔。当配有金属罩时，便形成高能量的金属射流，射流的头部

速度可达 7000~10000m / s，当它与钢甲碰撞时，在碰撞点处将会产生很高的压力(约 2×10^{11} Pa)，局部温度上升到 5000K，以此高温的能量对钢甲进行侵彻，它象高压水龙冲击稀粘土一样，将钢甲冲击出一个漏斗形破孔。

金属射流有一个汇聚最佳距离，称为炸高，在汇聚点上可以获得横截面积最小，能量密度最高的射流，这种利用锥形装药使能量集中的现象称之为“聚能效应”或称“空心效应”。成型装药破甲弹就是根据这种聚能原理而制作的。而该弹有利炸高的选择，也就是基于使射流在破甲过程中有一合适的长度。射流太短，对破甲不利，但拉得太长又会使射流断裂也影响破甲效能。

破甲弹的结构种类很多，有尾翼稳定式和旋转稳定式。其破甲原理都一样，主要组成有引信、弹体、头螺、药形罩、炸药、光管等，如图 5-1-23(a)、(b)。

弹体一般为圆柱形，其长度与壁厚、炸药威力、装药结构和引信配置有关，一般用合金钢制造。

头螺外形有圆锥形和瓶颈形，根据弹丸的着速，药形罩的形状和引信作用时间来确定最

有利的炸高。长鼻式破甲弹就是为了有效地控制炸高，当然鼻长也有利于飞行稳定性。

药型罩是形成金属射流的关键零件。常用紫铜做成圆锥形，也有截锥形，喇叭形或扇形错位形，药形罩对破甲性能影响很大。

引信：破甲弹目前多配用压电引信，压电机构在引信头部。碰击目标时利用压电陶瓷的作用产生高电压(近万伏)供给引信底部电雷管起爆所需之电能，引信头、底部之间用导线(或由弹体)相连，压电引信起爆瞬发度高，碰到软目标也能作用，这样空心破甲效应与爆炸效应都可同时发生，所以西方国家的坦克配备破甲弹时一般不另配榴弹。

弹内装药采用猛度大的高能炸药，以获得高的射流速度，通常选用梯 / 黑，铝黑等混合炸药。

弹丸的高速旋转运动将破坏金属射流的稳定性，使破甲威力降低。例如，中口径破甲弹，当转速为 20000r / min 时，破甲深度会下降 30%~60%。，因此，近年来许多国家采用滑膛炮发射不旋转或微旋转的尾翼稳定破甲弹。对于由线膛炮发射的旋转稳定式弹丸，都采用了许

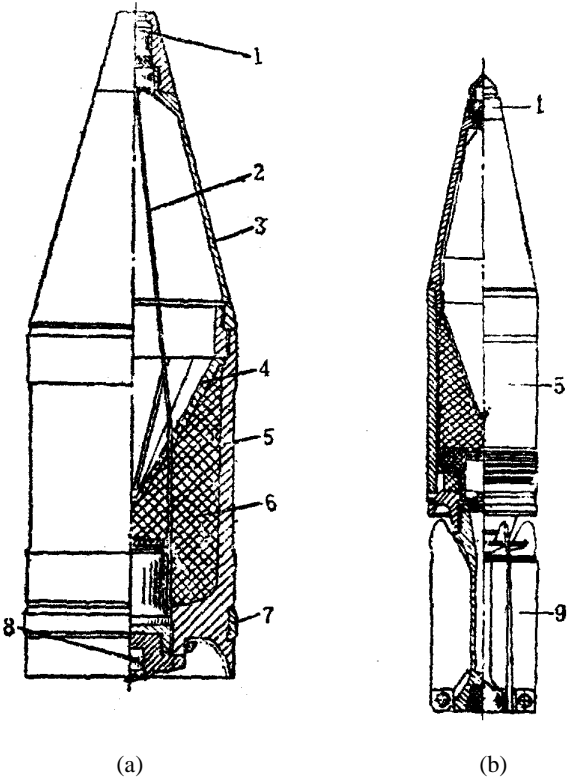


图 5-1-23 破甲弹

(a) 旋转稳定式 (b) 尾翼稳定式

1-压电引信头 2-导线 3-头螺 4-抗旋药形罩
5-弹体 6-炸药 7-弹带 8-曳光管 9-尾翼片

多抗旋结构，以减少对破甲的影响。

成型装药破甲弹对于均质钢甲，其破甲威力较大，

破甲弹成本比穿甲弹低。但是，它对于复合装甲，其破甲威力则显著下降。

成型装药战斗部的出现促进了反应式装甲的产生与发展。反应式装甲是一种防御成型装药破甲弹的爆炸式装甲，属于被动式装甲。它是在两层钢板中间夹一层炸药的“三明治”式的爆炸块，以一定的方式（大多是披挂）安装到坦克或装甲车的主装甲上。当这种装甲被成型装药破甲弹击中后，随即被射流引爆，爆炸块的前后钢板沿其法线方向高速飞行，对成型装药射流产生干扰和削弱作用，从而保护了坦克车装甲。以色列在 1982 年入侵黎巴嫩的战争中最先在较老的 M60、M48 等坦克上采用此技术，提高了坦克生存力，而坦克的机动性几乎不受影响，此举引起了各国高度重视并相继研制了多种各具特色的反应式装甲。

为了对付反应式装甲，近 10 年来，又导致了各种串联装药战斗部的产生，例如，两个破甲弹串联；破甲与穿甲结合；穿甲与穿甲串联等。其共同的战术特点就是：首先击毁附加的爆炸式装甲，然后侵彻坦克的主装甲。

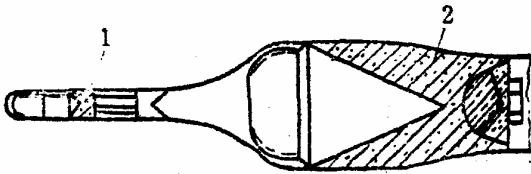


图 5-1-24 破/破式串联战斗部示意图
1-第一级成型装药 2-第二级成型装药

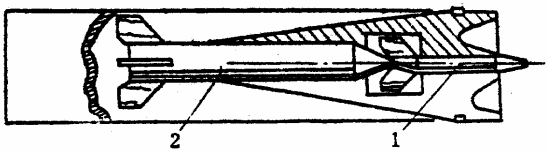


图 5-1-25 穿/穿式串联战斗部示意图
1-第一级穿甲弹 2-第二级穿甲弹

图 5-1-24 为两个成型装药构成的串联战斗部。利用第一组装药的聚能射流起爆爆炸块内的炸药，使爆炸块的金属板飞离主装甲，然后，第二级成型装药射流侵彻坦克主装甲。

图 5-1-25 为两枚穿甲弹构成的串联式战斗部。第一级次口径弹丸质量小于第二级主弹丸的质量，前者用以击毁爆炸式装甲，后者以足够的动能穿透主装甲。

预计串联式战斗部将向着穿 / 破，破 / 穿、穿 / 穿的方向发展，并会以重金属碳化钨或贫铀作为弹芯或药型罩的材料。

（四）碎甲弹

碎甲弹(HEP)是 60 年代出现的一个新型反坦克弹种，在英国称其为“碎头弹”。因这种弹具有许多独特之处，一出现就引起了各国的关注。

1. 碎甲弹的基本原理

碎甲弹的作用原理和穿甲弹、破甲弹又不同。它既不是靠弹丸的动能击穿钢甲，也不尽靠金属射流穿透钢甲。而是将炸药的能量直接以冲量的形式作用于钢甲上，使钢甲板的内部产生应力波，在碎甲弹着点的另一侧(背面)造成“崩落”效应。崩落的碎片以相当大的动能在装甲车体内进行杀伤和破坏，因此，碎甲弹并不穿透钢甲。

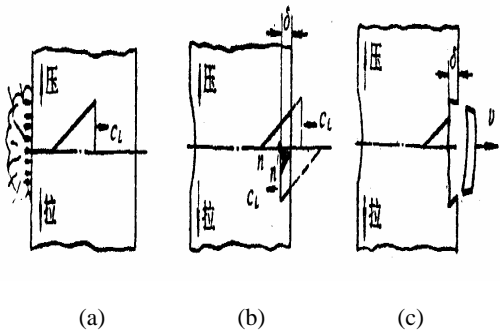


图 5-1-26 碎甲弹的原理
(a) 压缩波传播；(b) 拉伸波；(c) 拉伸层裂

当弹性体受到脉冲载荷作用时，其反应与一般受静载不同。它是以扰动或波(拉伸波、压缩波等)的形式在物体内部传播，波通过时，在该处的介质将承受一定的应力作用，且质点发生运动和变形。如果把应力波近似地用一三角形脉冲来代替，便可看出应力波在材料内的反射和干扰过程。如图 5-1-26 所示，当猛炸药贴于钢甲表面爆炸瞬间产生高压脉冲载荷，在金属内部以压缩波进行传播(图 a)，波遇到自由表面立即进行反射而改变符号变为拉伸波(即满足在自由表面应力等于零的边界条件)，其反射波的强度与入射波相等，两波同速相背而行，相互干扰，干扰区的合成应力可用迭加原理求出，如图 5-1-26(b)中的 nn' 。当距离表面某 δ 处的合成拉应力超过材料的临界断裂应力时，材料在该处产生裂纹并向四周扩展，形成层裂，如图(c)。而含在该层内应力波的冲量将转化为裂片的动能，使其以一定的速度崩落、飞散，如压缩波的能量足够大，将形成新的反射波，继续在新的自由表面崩落，而具有很大的毁伤作用。例如，我国的 85mm 碎甲弹，一般第一次崩落的碎片的质量为 3~5kg，飞行速度可达 100~250m/s。

2. 碎甲弹的结构特点

碎甲弹的结构与其他弹丸有许多不同，如图 5-1-27。现简述如下：

为了增加弹体内腔容积以便多装炸药，增加炸药对钢甲的堆积面积，其弹头很短。圆柱部很长，作为定心部，也有利于提高射击精度。为了使弹体易变形，头部壁厚较薄，有的仅为 1.5~2.5mm，但从弹头部到尾部其壁厚是逐渐增加的，以便于固定弹带，且适当增加弹尾质量以增加前冲动能，有利于弹丸着靶时炸药堆积，为保证弹丸着靶后较容易变形，弹体材料强度不宜过高，韧性要好，通常采用 15 号~20 号钢。

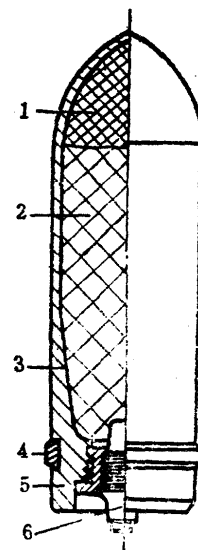


图 5-1-27 碎甲弹

1-弹性炸药 2-塑性炸药
3-弹壳 4-弹带 5-底螺 6-引信

碎甲弹内主要装填猛度较高，感度低的塑性炸药，因弹丸着靶时冲击动能很大，头部炸药将承受强烈的冲击，压缩和摩擦，如炸药感度高，它还未在目标上堆积就可能自炸，因此，有的碎甲弹在头部装一部分威力小且感度极低的弹性炸药，用它来抗击摩擦，塑性炸药装在中部用来碎甲。碎甲弹一般采用机械式惯性引信，它能自动调整起爆时间，因弹丸在不同距离上命中目标时，着速不同，距离近，着速高，所需堆积时间短；反之较长。由于这种引信有一段短延期时间，可以保证炸药堆积，它的起爆时间决定于惯性击针的前冲速度，而前冲速度又取决于弹丸的着靶速度。因此，能起到自动调整起爆时间的作用。

3. 对碎甲弹的评价

碎甲弹的威力较大，后效作用好，能在大着角(小命中角)下不仅不产生跳弹，在倾斜的钢甲上更易形成较大的炸药堆积面积，破甲效果好，对坦克的行动部分破坏效果也很好，因它是靠炸药的能量来毁伤钢甲，在一定距离内可以用初速较小的火炮或线膛火炮发射。

碎甲弹结构简单，制造成本比破甲弹大约低 3%，用线膛炮发射时，射击密集度较高，碎甲弹所装炸药比破甲弹多一倍，在对均质钢甲作用时其效果更好。

碎甲弹尚存在一些有待研究的问题：例如对复合装甲，其碎甲效能就大大下降，如钢甲表面有一层非金属覆盖层或夹层空隙，或钢甲表面高低不平，都将使碎甲弹失效；因受弹体强度限制，初速不能太高，因此，火炮直射距离难以提高；另外，炸药堆积与起爆的最佳时间还不易控制，往往也影响碎甲效果。

（五）子母弹、末制导炮弹

子母弹、末端制导炮弹是近年来发展起来的新的弹种。下面对其作用与结构做一简要介绍。

1. 子母弹

子母弹是近 20 年来在大、中口径火炮上发展起来的新弹种，主要用于对付面目标和远距离上的集群坦克及步兵战车等装甲目标。美军在其 155mm 及 203mm 火炮上已装备了各种子母弹。

子母弹是指以一枚弹丸的壳体作为载体(称为母弹)内装一定数量的子弹，发射后，母弹在预定区域和高域开舱抛射子弹，子弹分别起爆，完成毁伤目标和其他战斗任务的炮弹。子母弹的威力大大超过普通榴弹。目前已出现了杀伤子母弹、反装甲子母弹、布雷子母弹和发烟子母弹等。在导弹战斗部上子母弹也得到广泛应用。

子母弹主要由弹体、引信、子弹、抛射药、推力板、弹底等部分组成，其结构示意图可参看美 M449 155mm 杀伤子母弹，如图 5-1-28。其子弹共 10 层，每层 6 个。

弹体是装子弹的容器，称为母弹。在外形上与普通榴弹相似，母弹内膛成圆柱形，容积较大，其弹壁较薄，弹底通过螺纹或销钉与母体连接。

母体的引信一般为机械时间引信，引信的下部放有装在塑料筒内的抛射药，当母弹飞到目标上空时，引信按装定的时间发火，点燃抛射药，靠火药燃气压力推动推力板，来破坏弹底与母弹的连接，打开弹底。将子弹推离母体散于空中，为了减小子弹的受力，往往在推力板与弹底之间设有支筒或支杆，以便将推力板的压力直接传递给弹底。

子弹的类型很多，有杀伤，破甲等，子弹内有炸药，自带引信与稳定装置。当子弹从母弹中被抛出时，子弹的引信解脱保险，同时稳定装置起作用，稳定飞行，使引信朝向地面，碰击目标时，引信发火，子弹爆炸而毁伤目标。

美 M449 型 155mm 杀伤子母弹，其全重 43.09kg，弹长 699mm，初速 563m/s，最大射程有 14600m，母弹内共装 60 个 M43A1 型杀伤子弹，分 10 层装填，每个子弹内有 A5 复合炸药 21.25g，子弹从母体中抛出落地后，又向上反跳，在距地面 1.2~1.8m 的高度处爆炸，从而产生破片，杀伤有生力量。

2. 末段制导炮弹

末段制导炮弹(TGM)也称炮射导弹，是用中、大口径火炮发射的能自动寻找目标的弹丸。

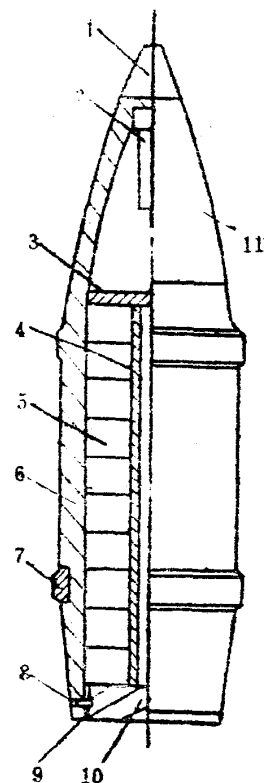


图 5-1-28 子母弹

- 1-引信 2-抛射药管 3-推力板
- 4-支筒 5-子弹 6-弹体
- 7-弹带 8-销钉 9-密封圈
- 10-弹底 11-头螺

但它又不同于一般的导弹，制导炮弹在飞行的大部分时间里，仍遵循空气弹道的规律飞行，只是在弹道末段，弹丸头部的制导部分接收从目标上反射出的信号，将弹丸导向目标。

发射制导炮弹，可用榴弹炮，坦克炮，迫击炮和火箭炮发射，与发射普通炮弹一样。炮仍采用常规发射药，可以连续射击，也可与普通炮弹交替射击，火炮本身无需作任何改动。

末段制导炮弹主要用于射击远距离目标，如单个坦克或分散行进的坦克群，装甲车队等，基本上是一弹对一车。毁伤概率大大高于普通炮弹。因为普通炮弹射击点目标所需的炮弹发数将随距离的增大成几何级数关系增加，例如，155mm榴弹炮在相同射击条件下射击，15km 内可用一两发末段制导炮弹击毁一辆坦克，而用普通炮弹则需 1500~2000 发。

目前，炮射导弹采用的制导方式有多种，如半主动激光制导、激光波束制导、被动式红外线成像制导等。

图 5-1-29 所示的美国已装备部队的 155mm “铜班蛇” 制导炮弹是一种精密制导的反坦克炮弹，用于射击远距离目标。弹身长细比为 8.85，弹头部为圆头锥形，有利于减小飞行阻力。该弹由三大部分组成：I、制导部；II、战斗部；III、控制部。

战斗部系成型装药破甲结构，为圆柱形，壳体内装有 B 炸药，前部有铜制药型罩，后都有引信和保险装置。

控制部的控制舵为圆柱形外壳，前部设 4 片弹翼，舱内前部装有高压冷气瓶作为舵机的动力源，后部有舵机和电池组，控制舱的后部有弹底外套滑动闭气环，用以承受发射时的火药燃气压力，并起密封作用，弹翼和尾翼都是可折叠的，发射前收入控制段弹身的缝隙内，弹丸射出炮口后，尾翼首先展开，保证飞行稳定，在达到弹道最高点时，弹翼展开以增加滑翔距离。

制导部采用半主动激光制导，导引头具有搜索、捕获、跟踪目标和输出制导信号的功能，各种信号通过信息处理电路给出制导指令信号，通过一条带状电缆把信号传至舵机使导弹偏转，从而改变导弹飞行方向，纠正弹道，使弹丸飞向目标。具体地说，在发射之后，在飞机上或地面上的观察站用激光指示器连续照射目标，制导部的寻的头开始工作，它接收、追踪由目标反射的激光信号，引导弹丸命中目标，见图 5-1-30。

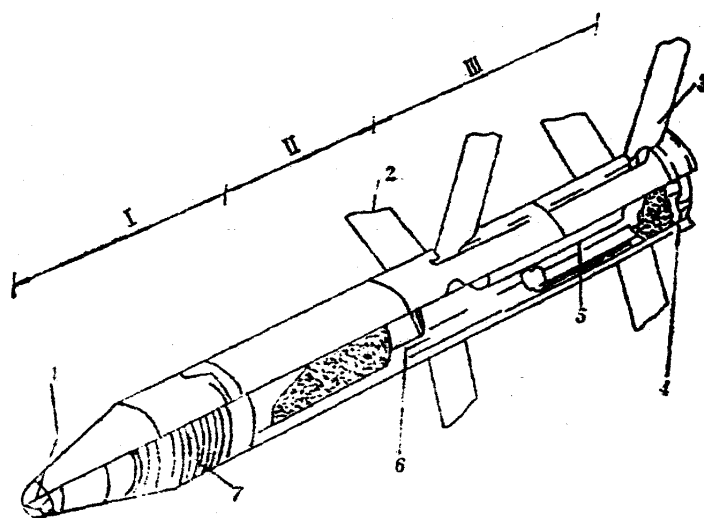


图 5-1-29 末段制导炮弹

1-寻的头 2-弹翼 3-控制舵 4-执行装置
5-电池组 6-高压气瓶 7-电子装置

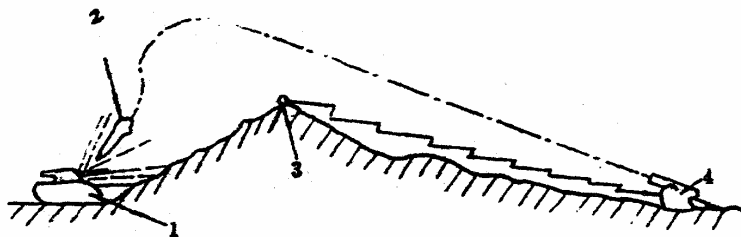


图 5-1-30 激光制导炮弹射击原理图

1-目标 2-制导炮弹 3-激光指示器 4-火炮

第三节 引信

战争的目的是消灭敌人，保存自己。弹丸是用来杀伤敌方有生力量，摧毁敌方各种目标的，而对自己则要求它十分安全可靠。为此，对引爆弹丸的时间、地点和条件均有严格的要求。这一要求是靠引信的作用来实现的。所谓引信，是直接地或间接地利用目标信息适时引爆弹丸的装置。引信的作用就是要保证弹丸在最恰当的时间和地点引爆弹丸，以便使目标遭到最大程度的破坏。为此，要求引信有高度的安全性和可靠性，也就是说：平时在勤务处理、保管、运输、装填和发射等过程中，要绝对安全，在弹道上不早炸，在目标区域内能适时引爆弹丸。还要求引信的体积小，而结构尽可能简单，能防雨、防水，长期储存不变质，还要求引信成本低、经济性好。

一、引信的分类

为了有效地摧毁敌方各种不同性质的目标，出现了各式各样的弹丸。因此，引信的种类也很多。为了便于研究引信的构造和作用，需要对引信进行分类。根据弹丸对目标的作用方式，引信可分为触发引信和非触发引信两大类。

（一）触发引信

触发引信是指弹丸直接与目标撞击时而引爆弹丸的引信。触发引信的分类方法也很多，常见的分类方法有：

1. 按引爆时间

根据弹丸撞击目标到爆炸的时间长短不同，分为瞬发引信和延期引信。

（1）瞬发引信 时间间隔小于 0.001s，也有的规定不大于 0.005s。这类引信常配用在杀伤榴弹和杀伤爆破榴弹上。

（2）延期引信 时间间隔大于 0.01s，也有的规定为大于 0.05s。这类引信常配用在爆破榴弹和半穿甲弹上。

所谓延期是相对而言的，过去常以时间间隔不大于 0.001s 的为瞬发，因此，时间间隔大于 0.001s 就为延期。但现代引信的瞬发度提高了，有的引信的时间间隔不大于 0.0001s，如装上一个延期机构能使引信的时间间隔延长到 0.0004s，就已经成为延期引信了。

2. 按触发力源

根据触发力来源不同，可分为触发引信和惯性引信。

（1）触发引信 触发力来源于目标的直接撞击，这类引信通常装在弹丸的头部。又称弹头引信。

(2) 惯性引信 触发力是由惯性力引起,这类引信常装在弹丸底部。又称弹底引信。

3. 按起爆能源

根据起爆的能源不同,又可分为机械触发引信、压电引信和电触发引信。

(1) 机械触发引信 是利用撞击力压缩保险弹簧并带动击针戳击雷管起爆。

(2) 压电引信 利用撞击力压缩装在弹头内的压电晶体,产生电动势,使电雷管起爆。

(3) 电触发引信 是利用撞击力接通接触点,使电路闭合,从而使电雷管起爆。

(二) 非触发引信

非触发引信是指弹丸不需要触及目标,当距目标一定距离时,就能引爆弹丸的引信。

非触发引信可分为近炸引信和时间引信。

1. 近炸引信

近炸引信是利用一种专门感受目标特性(声、光、热、电)或外界条件(如气压)的敏感元件来控制起爆,装有这类引信的炮弹也称末敏弹。根据受激励的特征不同,近炸引信又分为无线电引信,光学引信和气压引信等。

(1) 光学引信 是利用目标辐射的红外线能量自动进行工作的。当弹丸接近目标小于一定距离,且接近目标的相对速度达到一定范围时,由于光学引信的作用,从而引爆弹丸。

(2) 无线电引信 是利用特种发射机向目标发射无线电波,引信中的接收机接收来自目标的反射信号,以此引起弹丸非触发爆炸,这种引信也称雷达引信。

(3) 气压引信 利用大气层在不同高度上的压力不同,来控制引信在不同高度下引爆弹丸。

2. 时间引信

时间引信是利用时间机构来控制引信引爆弹丸的时间。根据控制时间的方式不同,又可分为火药时间引信、钟表时间引信和电力计时引信。

(1) 火药时间引信 靠火药柱燃烧的等时性来控制引信的引爆时间,由于火药柱的燃烧受气象条件的影响较大,在高空中空气稀薄,常常出现熄火现象,故不用于对空射击,只用于迫击炮的宣传弹和照明弹上,以及用作火箭发动机的点火装置。

(2) 钟表时间引信 是利用钟表计时原理来控制引信引爆弹丸的时间。这类引信的发火时间较准确,但由于结构复杂,造价高,尚未得到普遍使用,仅在高射榴弹、地面空炸榴弹和特种弹上才配用。

(3) 电力计时引信 是利用电力计时原理来控制引信引爆弹丸的时间。

除此之外,引信的分类方法还有,根据引信所配属的弹种可分为火炮弹丸引信,火箭弹引信、迫击炮弹引信和无后坐力炮弹引信。另外还可根据引信在弹丸上的位置,又可分为弹头引信、弹底引信和弹头—弹底引信。

二、触发引信的构造及作用

本节着重介绍机械触发引信和压电引信的构造及作用。

(一) 机械触发引信

机械触发引信,根据它所配属的弹种又可分为火炮弹丸引信、火箭弹引信、迫击炮弹引信和无后坐力炮弹引信。本节只介绍大口径地面榴弹引信。

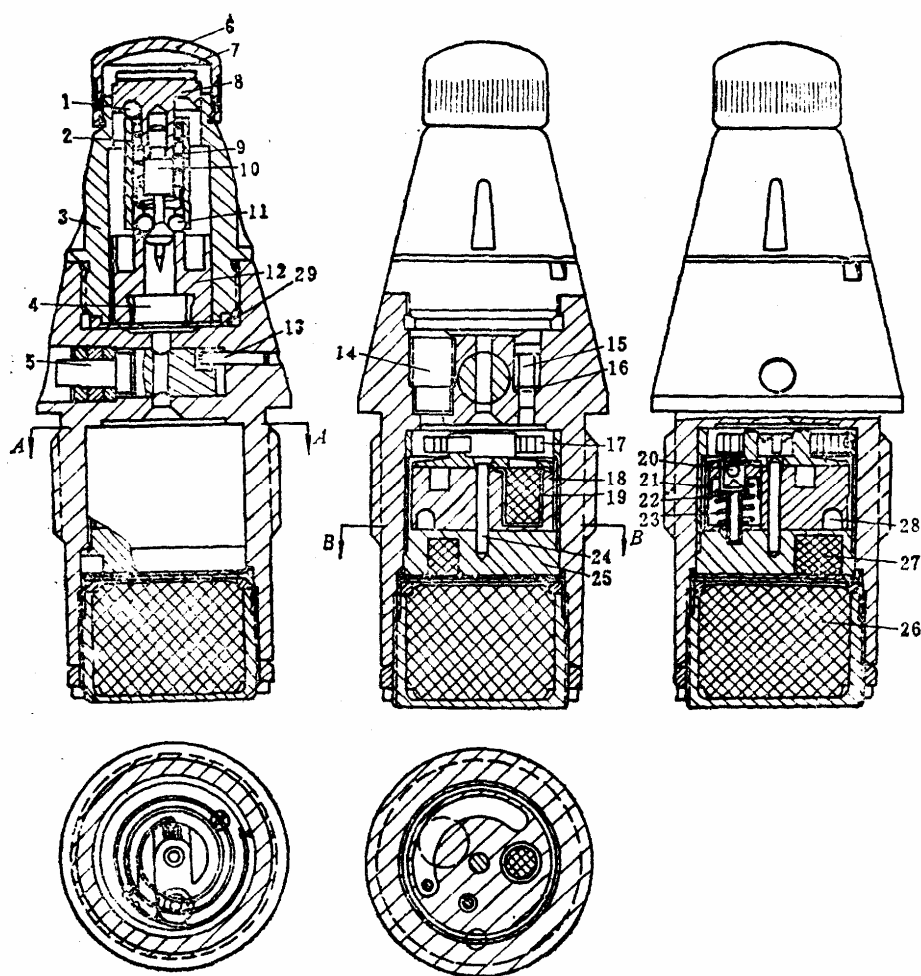


图 5-1-31 榴-5 引信

1-钢珠；2-惯性筒簧；3-引信上体；4-火帽；5-调节栓；6-保护帽；7-盖箔；8-击针帽；9-惯性筒；10-击针；11-钢珠；12-活动火帽座；13-限制销；14-延期药；15-副制转销；16-切断销；17-盘簧；18-雷管座；19-雷管；20-钢珠；21-惯性筒；22-制转销(带弹簧)；23-惯性筒簧；24-中轴；25-隔板；26-凹槽；27-导引传爆药；28-传爆药；29-托罩。

大中口径榴弹主要用来杀伤敌人的有生力量、摧毁敌人的防御工事、破坏各种障碍物、压制敌人炮兵阵地等。为了有效地消灭敌人的有生力量，要求引信触及目标后立即引爆弹丸。为此，引信要有高的灵敏度和瞬发度。但为了彻底摧毁敌方的各种野战工事，而要求引信在弹丸进入工事内部后才引爆弹丸。为此，引信要有一定的延期时间。

由于大中口径榴弹装药量多，为了防止膛炸，这就要求引信是全保险型(平时和膛内，雷管与传爆药隔离)。

为防止炮口近炸，要求引信具有远距离解除保险装置。

1. 榴-5 引信的结构分析

榴-5 引信是具有 3 种装定的全保险型引信，触发机构为瞬发与惯性两种，并具有一定的抗震动性能。榴-5 引信配用于 105、122、152mm 加农炮杀伤爆破榴弹上，是一个较典型的大中口径地面榴弹引信。

榴-5 引信由上、下两大部分组成, 上半部分主要包括触发机构、保险装置和抗章动装置, 下半部分主要由装定装置、隔离装置、远距离解除保险装置和传爆管等部件组成。上下两部分用螺纹连接成一体, 整个引信体是由钢制成, 顶部是用 0.12mm 的钢质箔封闭。其结构如图 5-1-31 所示。

触发机构是瞬发与惯性两动的。它包括击针帽 8、中部缩颈并有锥形台阶的击针 10、带有火帽 4 的惯性活动火帽座 12、惯性筒 9、惯性筒簧 2 以及钢珠 1 和 11。

抗章动装置是由活动火帽座、惯性筒、惯性筒簧和钢珠所组成。

装定装置是由一个黄铜制的带锥度的调节栓 5 和限制销 13 组成。调节栓中部有一个传火孔, 它的一端切去一部分, 与限制销配合起定位作用, 另一端的形状与装定搬子的形状相配, 端面上刻有作装定指示用的箭头。调节栓与引信体的孔紧密配合, 不得漏气。

隔离装置的中心是中轴 24, 底部为钢制隔板 25, 上面有一个盛放导引传爆药 2 的盲孔, 圆柱形的回转座用锌合金压铸而成, 座上有两个孔, 分别装有保险装置和燃发雷管, 钢制的盘簧 17 和盖, 用两个螺钉固定在雷管座上, 盘簧一端插入 U 形夹的缝隙内, 另一端铆在套筒的内壁上。另外隔离机构的保险装置是由惯性筒簧 23、带簧制转销 22 和钢珠 20 等组成。

2. 榴-5 引信的作用

平时(勤务处理、保管、运输)引信是处于保险状态。引信所处的状态与各零部件的受力情况及位置有关。引信中最危险的部分是触发机构。一般来说, 只要使触发机构保险, 引信就处于安全状态。下面首先分析触发机构各零件的位置: 击针 10 用紧配合装在击针帽上组成一体, 并将击针尖插入活动火帽座的孔内, 在击针外面套有惯性筒簧 2。在惯性筒簧外, 套有惯性筒 9。在击针锥形台阶处和惯性筒簧之间放有钢珠 11。在惯性筒顶端与击针帽的凹槽之间放有钢珠 1。此时, 惯性筒处于压缩状态, 惯性筒簧顶住惯性筒 1 向上, 惯性筒的顶端又顶住钢珠 1, 而钢珠 1 顶住击针帽的凹槽, 击针帽顶住上半部引信体的内突起, 惯性筒簧的下端压住衬筒, 衬筒压住钢珠 11, 而钢珠 11 同时固定在击针圆锥锥面上和活动火帽座的上端。钢珠 11 被惯性筒箍住不能脱落, 这样就将击针与火帽隔开, 保证了平时的安全。

通过上述分析得知: 引信的安全状态主要是靠惯性筒簧的弹力、钢珠 11、惯性筒和钢珠 1 等零件来保证的。惯性筒簧弹力的大小直接影响到引信的安全性和作用可靠性, 弹力大固然安全性好, 但解除保险困难, 弹力小虽然解除保险容易, 但安全性差。如果在勤务处理、保管运输过程中弹丸偶然跌落, 头部着地, 那么活动火帽座就会在惯性力的作用下推动钢珠 11, 压缩惯性筒簧向前运动, 而惯性筒簧的弹力顶住钢珠 11, 阻止它向前运动。当惯性筒簧弹力大于活动火帽座的惯性力时, 活动火帽座就被顶住, 使火帽不能与击针相碰, 从而保证了安全。如果, 是弹尾着地, 那么带有击针帽的击针压住钢珠 1 和惯性筒一起压缩惯性筒簧下移, 而惯性筒簧的弹力则将惯性筒向上顶, 阻止击针和惯性筒下移。当惯性筒簧的弹力大于击针(带有击针帽)和惯性筒的惯性力时, 击针和惯性筒就不再下移, 从而使击针与火帽之间保持一定的距离。由此可见, 惯性筒簧的弹力越大, 引信的安全性就越好, 但解除保险困难。应根据引信的受力情况来确定惯性筒簧弹力的大小。

发射时, 在膛内引信各零件主要受直线惯性力和离心惯性力的作用。触发机构的击针、钢珠 1 和惯性筒在直线惯性力的作用下, 一起压缩惯性筒簧向下运动。当击针台阶部分与钢珠 11 相碰时, 击针受阻力不再下移, 但惯性筒和钢珠 1 在惯性力的作用下继续向下运动。

当钢珠 1 离开击针帽的凹槽后,在离心惯性力的作用下,立即从惯性筒端面上落入引信体内,此时,惯性筒下移到位。

在章动不大的正常情况下,弹丸出炮口后,惯性力迅速下降。当惯性力小于弹簧的抗力时,弹簧顶着惯性筒上升一定距离后与击针帽相抵,从而释放钢珠 11。钢珠 11 在离心惯性力的作用下落入活动火帽座的孔内。此时,整个触发机构已解除保险,处于待发状态,火帽与击针之间只由保险簧 2 隔开。

在章动力很大的情况下,弹丸出炮口后,虽然有弹簧推着惯性筒向上运动,但由于火帽在章动力的作用下,顶着惯性筒簧向上运动,而惯性筒簧又顶着惯性筒、击针帽(带击针)一起向上运动,直到击针帽顶住引信体内的台阶。此后,火帽座在章动力的作用下继续向上运动,一直到钢珠 11 顶住击针台阶部分为止。此时,钢珠 11 仍被惯性筒箍住,不能滚出,触发机构也不会解除保险,从而达到了抗章动的目的。当章动力衰减到小于弹簧的抗力时,弹簧推着活动火帽座向后运动,当惯性筒的下端离开钢珠 11 时,钢珠 11 在离心惯性力的作用下立即落入火帽座的孔内。此时,触发机构才解除保险,处于待发状态。

为了确保安全,不但在引信的触发机构上采取了保险措施,同时还采用了隔离机构。发射时,隔离机构的保险装置的惯性筒在惯性力的作用下下移,从而释放惯性筒所箍住的钢珠 20,在惯性筒离开钢珠 20 时,钢珠 20 在离心惯性力的作用下,立即从制转销(带弹簧)的蘑菇头上滚下,同时制转销在惯性力的作用下下移到位,并压住弹簧,制转销的下端仍卡入隔板中,销住雷管座不能转动。弹丸出炮口后惯性力迅速下降,当制转销的惯性力小于制转销弹簧的弹力时,制转销在弹力的作用下向上运动,并从隔板中拔出,从而释放雷管座,使雷管座在盘簧扭力作用下转动,它的底面上的 C 形槽沿隔板上小圆柱销滑动,雷管座中的雷管对准导引传爆药时,正好被此销挡住。此时,隔离机构已解除保险,处于待发状态,当雷管作用后就将引爆导引传爆药。

当弹丸飞离炮口一定距离时,引信上各种保险机构都已解除保险,处于待发状态。

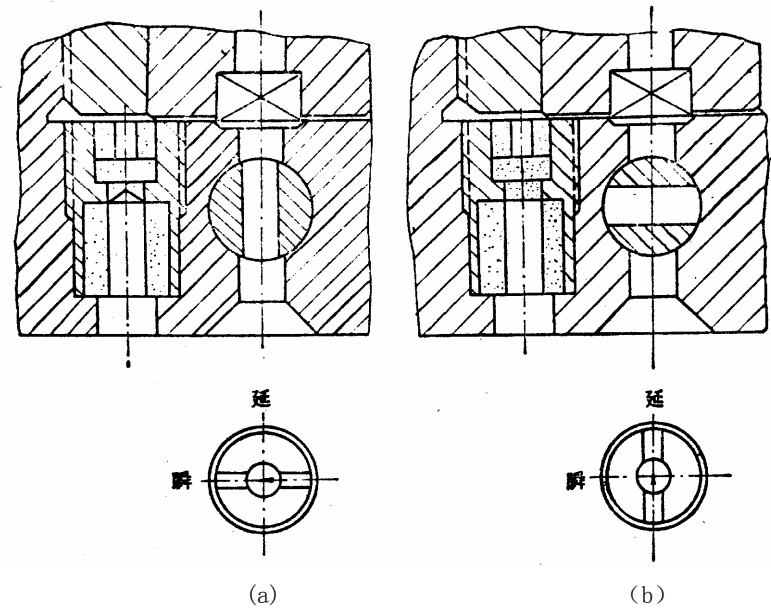


图 5-1-32 榴-5 引信装定装置作用图

(a) 瞬发 (b) 延期

若引信装定为瞬发，应摘掉保护帽，调节栓对准“瞬”字位置。引信碰击目标时盖箔被压溃，进而推动击针击发火帽，火焰通过转换栓孔下传，点燃雷管，引起炸药装药爆炸。若引信装定为延期，调节栓对准“延”字位置，与瞬发类似，只是传火道被堵塞，火焰通过侧面的延期药下传，经过一定时间，延期药燃完后继而点燃雷管和引爆炸药，这样就起到了延期作用。关于榴-5 引信的装定装置作用如图 5-1-32 所示。

如实施惯性射击，引信带着保护帽，瞬发击针不起作用。当弹丸碰击目标时，活动火帽座在惯性力作用下与击针相碰而被戳击发火。在此时，调节栓若装定于瞬发即得惯性作用，若装定于延期，便得延期作用。

3. 其它零件的作用

(1) 副制转销 副制转销 15 是限制回转座转动，使隔离机构永远处于保险状态。当装定延期时，万一火帽在腔内由于某种冲击作用而发火，它的火焰传给延期药的同时，火帽生成的气体压力将切断销 16 切断，此时，副制转销的尾部便插入雷管座中，阻止了回转座转动。从而保证了引信在发射时的安全。

(2) 托罩 它的作用是使上体触发机构组成合件。另外它还要防止发火时生成的碎片堵住延期药调节螺上直径 0.85mm 的小孔，保证传火道的畅通。

(3) 延期药调节螺 它一方面防止延期药被火帽火焰冲碎，另一方面调节延期药的燃烧压力，使其不受引信腔内压力波动的影响，提高延期时间的准确度。

(4) 雷管座 雷管座的中心轴孔上端有一段锥度，其目的是减少离心力矩，避免中轴因力矩过大发生弯曲而卡死。

(二) 压电引信

压电引信的类型很多，本节只介绍电-1 引信的构造与作用。

1. 电-1 引信的构造

电-1 引信配用于 85mm、106mm 尾翼式气缸破甲弹上。它是由弹头压电部分和弹底起爆机构两大部分所组成。其结构如图 5-1-33 所示。

压电引信是利用撞击力压缩装在弹头内的压电晶体，产生高伏电压起爆电雷管。为了便于分析引信的结构及各零件的作用，首先介绍一下它的电路。其电路如图 5-1-34 所示。从图中可

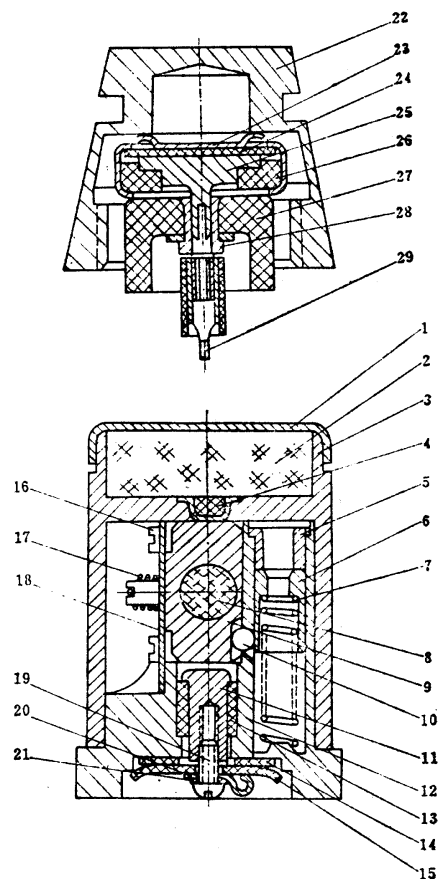


图 5-1-33 电-1 引信

1-传爆管盖；2-传爆药；3-传爆管体；4-导引传爆药；5-顶帽；6-惯性筒；7-惯性簧；8-电雷管；9-回转体；10-钢珠；11-接电柱；12-本体；13-绝缘套；14-内电阻；15-外电阻；16-夹板螺钉；17-扭簧；18-夹板；19-接电螺钉；20-下导线夹；21-垫片；22-引信头；23-晶体盒；24-压电晶体；25-电极板；26-塑料座；27-绝缘座；28-插销套管；29-导线。

以看到，平时电雷管两端接地，保证了平时的安全。

(1) 弹头压电部分 弹头压电部分如图 5-1-33 所示，压电晶体 24 底面与电极板 25 接触。而电极板的插脚压在塑料座 26 上。晶体、电极板和塑料座又装入晶体盒内。晶体盒的顶面有两个突起，一方面起缓冲作用，另一方面与引信头顶端面良好接触。晶体的下面一极通过插脚，与绝缘座 27 内的插销导管 28 接通，插销导管又与导线连接，而导线又连接于弹底起爆机构的外电阻 15 上，其电路如图 5-1-34 中弹头部分所示；另一方面，通过螺钉 19 接在与弹体绝缘的接电柱上。弹头部分零件均装在铝制的引信头内，在引信头部车制一环形槽，以削弱强度，利于碰击目标时变形，保证大着角下不失效。

(2) 弹底起爆机构 由发火装置、机械隔离机构和电路保险装置等组成。

发火装置由电雷管 8、导引传爆药 4、传爆药 2、传爆管体 3 和传爆管盖 1 所组成。电雷管装在回转体 9 内，它的一条脚线固定接在绝缘板上的一块接电簧片(即开关 K1)上，而另一条脚线则用螺钉固定在回转体上与地相接。接电簧片也被压缩，与弹体内壁(即地)接触，使电雷管处于短路状态。同时，回转体所处位置使得电雷管轴线与引信体轴构成 90° 夹角。其电路如图 5-1-34 所示。从而保证了点火线路的安全。

机械隔离机构由扭簧 17、回转体 9、绝缘片等组成。

在回转体上铣出一平台，并在平面上装有一块绝缘片。电雷管 8 就装在回转体内。为了使回转体有转动的动力，在回转体转轴上切有槽，装配时，将扭力簧插入槽内，并将它扭紧。平时回转体被电路保险装置固定在安全位置上。使雷管轴线与引信体轴线构成 90° 的空间夹角，把雷管与导引传爆药隔开。

电路保险装置由惯性筒 6、惯性簧 7、钢珠 10 和顶帽 5 等组成。前面已指出，为了使回转体有转动的动力，在装配扭力簧时，将扭力簧扭紧。平时，为了防止回转体转动，在墙板上钻有向上斜的孔，以容纳钢珠 10，而钢珠 10 的突出部分卡入回转体的凹槽内，将回转体固定在安全位置上。为了防止钢珠脱落，在钢珠外面用惯性筒堵住。

另外还有接电柱 11，它通过绝缘套 13 与引信体隔绝。起导电作用。还有接电螺钉 19，下导线夹 20 和内、外电阻 14、15。下导线夹和接电螺钉主要起导电作用。螺钉还将内、外电阻和下导线夹固定在本体上。下导线夹保证接触良好。漏电电阻主要起漏电作用。

从上述分得知：在平时，整个点火电路被切断，保证了引信的安全。

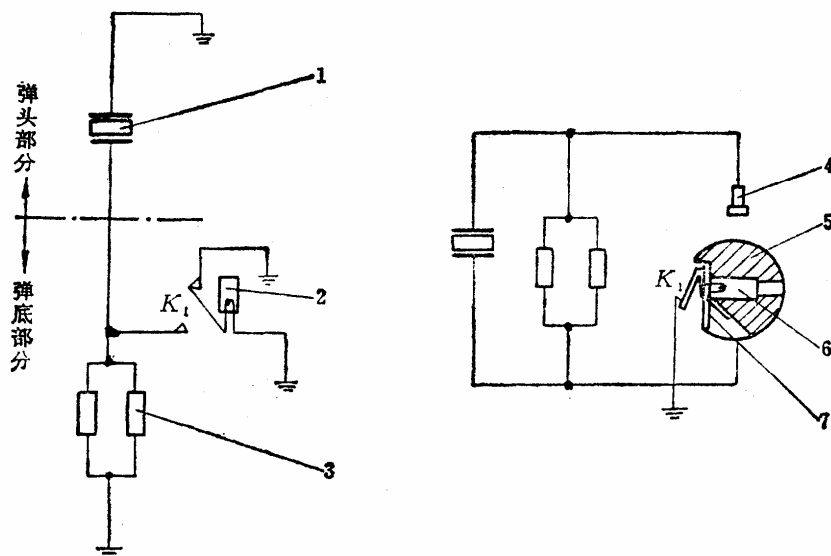


图 5-1-34 电-1 引信电路（未解除保险状态）

1-压电晶体；2、6-电雷管；3-漏电阻；4-接电柱；5-回转体；7-绝缘片； K_1 -电雷管接地开关。

2. 电-1 引信各零件的作用

发射时，惯性筒在惯性力的作用下，压缩弹簧下移到最低位置，释放钢珠 10。钢珠 10 在重力的作用下，沿墙板的斜孔滚落，而释放回转体。此时，回转体受扭簧力矩的作用，虽然有转动的可能，但回转体也承受反方向的摩擦力矩和惯性偏心力矩的作用。由于惯性偏心力矩和摩擦力矩大于扭簧力矩，故回转体仍不能转动。

出炮口后，直线惯性力迅速消失，惯性偏心力矩和摩擦力矩也迅速减小。当扭簧力矩大于偏心力矩和摩擦力矩的合力矩时，回转体在扭簧力的驱动下转动。当回转体转过 90° 时，它的簧片就和接电柱接触，如图 5-1-35 所示。即雷管的一条脚线与接电柱相接，使整个点火电路接通。此时，雷管轴正好对正导引传爆药，引信处于待发状态。回转体转正的时间约为 $8 \sim 10 \mu s$ 。

当弹丸碰击目标时，在巨大的钢甲阻力作用下，引信头部变形挤压晶体，产生电荷，电荷沿导线通至电雷管使其引爆，进而引爆炸药装药。

人们会自然地想到，压电晶体上的电荷为什么不从漏电阻漏掉呢？压电晶体上的电荷当然会从漏电阻上漏掉一些，但主要的还是通过电雷管，这是因为电雷管的电阻只有 $2 \sim 10 k\Omega$ ，而漏电阻并联后电阻值约为 $150 k\Omega$ 。所以，大部分电流通过电雷管。

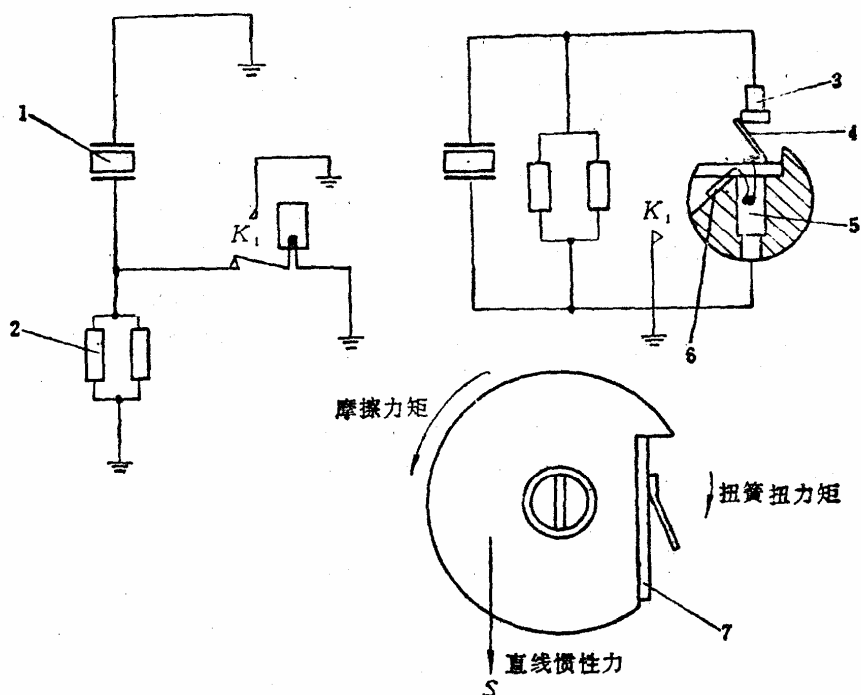


图 5-1-35 电-1 引信解除保险后电路

1-压电晶体；2-内电阻；3-接电柱；4-簧片；5-电雷管；6-脚线；K₁-开关。

三、一种非触发引信——无线电引信简介

非触发引信的种类很多，下面以无线电引信为例作一简介。

根据初始能源的来源不同，无线电引信又可以分为主动式、半主动式和被动式三种。

主动式引信是由装设在引信中的发射机向目标发射无线电波，引信中的接收机接收目标的反射信号，以此引起引信作用来引爆弹丸。

半主动式引信是由我方控制，用不装在引信上的发射机向目标发射无线电波，而由引信中的接收机接收目标的反射信号，以此引起引信作用来引爆弹丸。

被动式引信是利用目标本身发射的无线电波而引起引信作用，来引爆战斗部。

目前，无线电引信多数采用主动式引信。本节只介绍主动式无线电引信的构造及作用。

主动式无线电引信通常是利用多卜勒效应工作的。所谓多卜勒效应是指由于相对运动而产生频率变化的现象。例如，当两列火车相对开来并鸣笛时，在车上听到的汽笛声调就提高，而火车反向开去时听到的汽笛声调就降低。这说明火车（声源，即振动源）相向开来时，汽笛声的频率提高，背离开去时，汽笛声的频率降低。由此可见，频率的变化，与火车的相对运动速度有关，相对速度大，则频率的变化值就大，反之则小。频率变化的数值与相对速度成正比。所谓多卜勒频率是指当目标和电磁波发射源（在这里即弹丸上引信的发射机）具有相对接近速度时，假设由引信中的发射机所发射的电磁波频率为 f ，从目标反射回来被引信中的接收机接收到的频率为 f' ，则 f' 和 f 之差 f_d 就称为多卜勒频率。其表达式为：

$$f_d = f' - f \approx \frac{2v_r}{c} f$$

式中 c ——光速；

v_r ——相对接近速度（即目标和弹丸在目标-弹丸连线方向的相对速度）。

从上式可以看到：由于引信发射机的发射频率 f 已知，只要测得多卜勒频率 f_d ，则弹丸与目标的相对速度即可求得。关于多卜勒频率的测量也是比较容易的，只要把接收信号与发射频率进行混频检波所得差频即为多卜勒频率。

以上介绍了多卜勒效应和多卜勒频率的形成，下面以电-11 无线电引信为例，介绍无线电引信的一般构造及工作原理。

电-11 无线电引信是根据多卜勒原理设计的全保险型，并装有爆炸机构的一种电子管式无线电引信，它是由引信体 4、风帽 2、被帽 8、无线电组件 1、化学电源 3、传火机构 5、保险机构 6 和传爆部件 7 等组成。其结构如图 5-1-36 所示。

（一）无线电组件

无线电组件由自差收发机（高频部件）和信号处理电路所组成。它的工作原理可用方块图 5-1-37 来说明。

自差收发机的作用是发射、接收无线电波，并进行混频检波。工作过程是：由引信的发射机通过天线不断地发射出电磁波，接收机接收从目标反射回来的信号，发射信号和接收信号经过混频器得到两者的差频，即多卜勒频率。

频率选通放大器的作用是将自差机输出的信号进行放大，并送入执行机构。另外，频率选通放大器还设有信号处理线路，以此抑制杂音，抗内外干扰和控制炸点等。

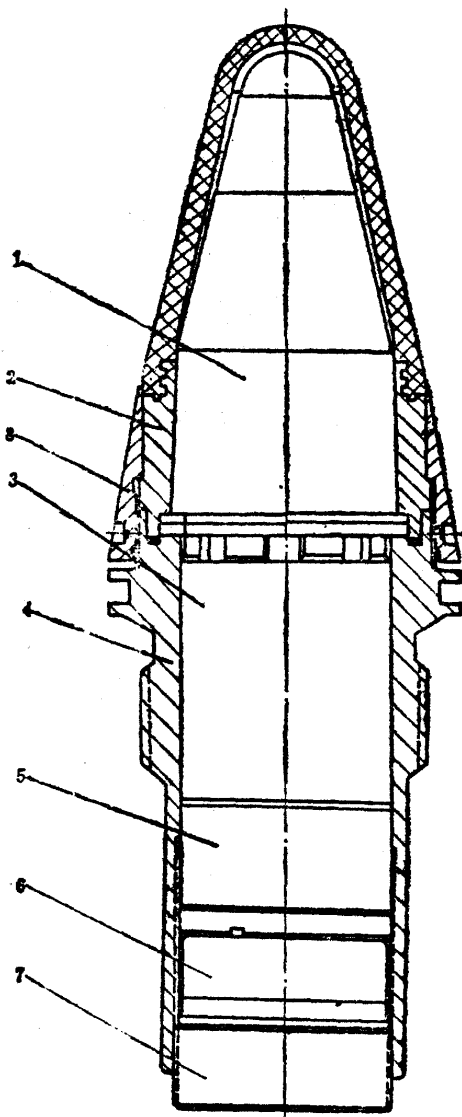


图 5-1-36 电-11 无线电引信示意图

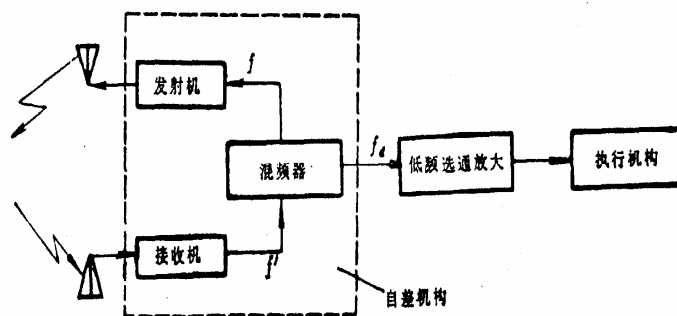


图 5-1-37 无线电引信工作原理

（二）电源装置

电源的作用是提供足够的电能，以保证无线电组件正常工作。本引信采用的是高氯酸化学电池。这种电源与一般电源不同，在平时，正负极片与电解液是分开的，因而极片与电解液之间不产生化学作用。这时没有电能输出。在弹丸发射时，盛电解液的小玻璃瓶在直线惯性力的作用下，压缩支耳座部件，并同时被支耳座部件内的凸起所击碎，此时，电解液在直线惯性力和离心力的作用下，将迅速流入极片间的空隙。当3组电池组中的每组极片都激活后才有电能输出。

（三）执行机构(传爆系统)

执行机构的作用是根据频率选通放大器输送来的信号，产生一个点火脉冲，使电点火管点火，引爆火焰雷管，经导爆药再引爆弹丸内的炸药装药。它是由传火机构、保险机构和传爆部件组成。

1. 传火机构 由电点火管5(JD-14)、水银离心开关6、塑料座3、电点火管座2、保险塞1、保险塞簧7、保险塞簧座8、空心丝绳9、二极管10、接通接头2J、4J、7J等主要零件组成。如图5-1-38所示。

2. 保险机构 由带有雷管的离心滑块(滑块具有两个加重子)、两个离心子、离心子簧、离心滑块挡板、离心滑块座、导引传爆药和离心滑块座罩等组成。结构如图5-1-39所示。

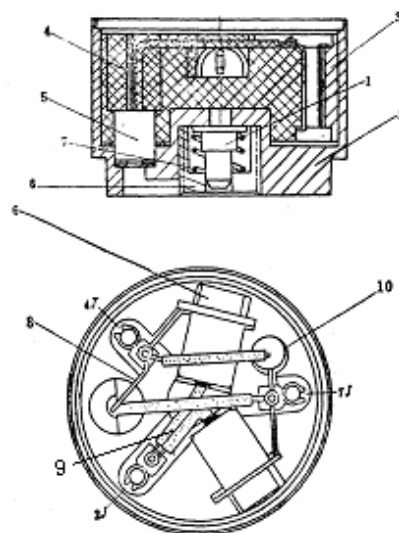


图 5-1-38 传火机构图

1-保险塞；2-电点火座；3-塑料座；4-导线；5-电点火管；6-水银离心开关；7-保险塞簧；8-保险塞簧座；9-空心丝绳；10-二极管；2J、4J、7J-接通接头。

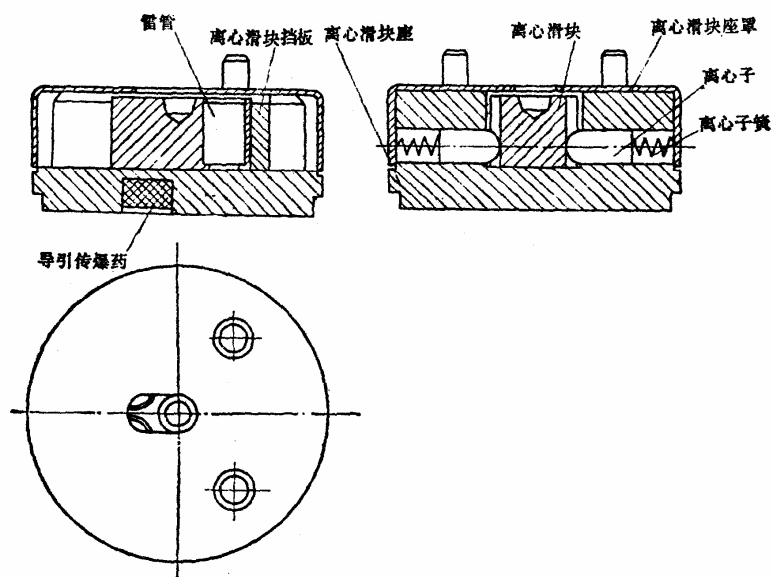


图 5-1-39 保险机构

平时，离心滑块部件由两侧带有离心子簧的离心子锁住，不能在滑块座内移动。此时，滑块座中央的凹坑正对准传火机构中的保险塞。而雷管的位置和离心滑块座底部的导引传爆药错开，万一雷管爆炸，由于雷管与导引传爆药之间有金属隔开，导引传爆药不起爆，保证安全。

在发射时，由于传火机构上的保险塞在直线惯性力的作用下，压缩保险塞簧，并落入滑块中央的凹坑，使滑块不能滑动，从而保证了发射时的膛内安全。

当弹丸出炮口后，直线惯性力迅速减小直至消失。此时，保险塞在簧力的推动下，上升释放滑块；同时，离心子在离心力的作用下，压缩离心子簧被抛向两侧解除对滑块的保险作用。在离心力的作用下，离心滑块移到一侧，使滑块上的雷管对正离心滑块座下面的导引传爆药，从而解除保险。

3. 传爆部件 传爆部件位于保险机构的下面。它是由传爆管壳，传爆管垫片及传爆药柱等组成。其作用是，增强引爆能量。

四、引信的发展趋势

总的看来，60 年代以来，引信技术发展很快，传统的机械着发引信技术更加成熟，且因其操作简单方便，各国正致力于使其系列化，典型化和标准化；而电子引信发展最快，且日趋完善，下述几种引信的研制十分引人注目。

较高级的无线电引信，具有高分辨能力和较强的抗干扰性能。例如美国生产的 M732 榴弹通用引信，采用了激光微调技术，质量稳定；还有对空定向和对空调频定向高分辨多普勒引信、微波调频引信，分米波调频引信等都具有较强的抗干扰能力。

遥控电子时间引信以其精度高、成本低有取代钟表引信之势。但电子时间引信易受环境、温度、辐射、振动、冲击和加速度等影响，有待进一步解决和完善。

射流时间引信，其工作性能不受温度、辐射、振动、冲击和加速度等的影响，从原理和功能方面可以用射流技术取代电子引信，因此，射流时间引信将有可能是电子时间引信的竞争对手。

多用途引信的发展，扩大了一种引信的使用范围，受到各国的重视。例如瑞典配用于 FH77 式 155mm 榴弹上的引信就有七种功能，美国的 M734 引信有四种功能。

分辨目标引信，将随着大规模集成电路的发展，其分辨能力会不断提高。如瑞典的 75 式 40mm 高炮无线电引信，当飞行高度距离海面很低时，近炸识别线路能分辨出海浪与目标不同的反射信号。

第二章 火炮火控系统

第一节 概述

火炮火控系统是控制火炮自动或半自动地实施瞄准与发射的技术装备的总称。火炮火控系统可以提高火炮快速反应能力,把握战机;提高火炮射击精度和全天候作战能力,增强火炮的作战效能。

现代火控系统由于配备于各种不同类型的火炮,以及装备级别的差异,所以其功能和构成也有所不同,有简有繁。现代战争的要求促进了火控系统的进一步发展。高新技术的应用也使现代火控系统功能日趋完善。

火炮火控系统通常应该具备以下功能:

- ① 探测和识别目标,对防空和反导还应有威胁判断;
- ② 目标定位与跟踪,精确确定目标的坐标和活动目标的运动参数;
- ③ 测定气象数据或接收气象通报,并测定各种修正量;
- ④ 计算射击诸元,传输射击指令;
- ⑤ 战场信息传输与实时处理;
- ⑥ 火炮指向与控制;
- ⑦ 测定弹道参数并修正;
- ⑧ 观察和报告射击效果;
- ⑨ 抗干扰能力;
- ⑩ 全天候工作。

火炮火控系统的一般组成是:

- ① 雷达、光学测距机、激光测距机或声测机、电视跟踪仪等,测定目标坐标和炸点的参数;
- ② 温度计、气压计、风速计、弹速测定仪等,测量气象和弹道条件,测量载体环境及自身运动参数;
- ③ 火控计算机,接受、存储和处理信息和数据,决定射击诸元和修正诸元;
- ④ 数据传输设备、火炮随动系统等,传递信息,适时将确定的射击诸元赋予火炮,进行射击。

20 世纪 80 年代以来,“信息战”和以信息技术为核心的高新技术的发展以前所未有的强劲之势推动着战争形态和武器装备的迅猛发展,作为兵器信息技术前卫的火控技术,处于由信息向战斗力转化的关键地位。为了适应战场的需要,实现数字化,充分发挥数字通信快速、准确、容量大的优点,通过各种传输手段如有线、无线、光纤、卫星通信及计算机网络,把指挥部门与战场武器系统、参战部队等有机地联系起来,实现纵向资源、最终实现战场指挥、控制、通信、情报以及电子战和后勤保障等功能的一体化,并实现与数字化水平较高的海、空军协同作战,这正是当前世界各国改造已有武器装备和研制新装备的主要指导思想。

现代火炮火控系统正在发展成为统一的、多功能的火力指挥、控制、通信与情报系统的一部分。

火炮火控系统按控制火炮类型可以分为:地炮火控系统,高炮火控系统,坦克炮火控系统,舰炮火控系统和航炮火控系统。防空与反导火控系统、地炮火控系统和坦克与战车火控系统也总称为陆军地面火控系统。

本章简要介绍地炮火控系统和高炮火控系统,重点介绍坦克炮火控系统。

第二节 地炮火控系统

地炮火控系统主要用于野战地面火炮的射击指挥。

20 世纪 50 年代以前,地炮的连级射击指挥基本都是通过前设观察所,使用简单的光学器材观测目标及射弹情况,并采用手工计算方式确定火炮射击诸元。使用望远镜、炮队镜和方向盘进行目标的定位和观测,使用炮兵计算尺、标图板等计算射击诸元。观察所和炮阵地之间用有线电话通讯联络。少数装备先进的国家利用侦察校射飞机进行空中侦察目标和观测射击效果。

20 世纪 50 年代后期,美国首先采用通用数字计算机来计算火炮射击诸元,提高了射击精度和反应速度。

20 世纪 60、70 年代,随着电子工业和计算机技术的发展,许多国家相继研制和装备了各种射击指挥系统,如英国“菲斯”、德国“法尔克”等。射击指挥系统除了计算射击诸元外,还具有一定的数据传输功能。计算机在内存容量及运算速度和软件功能方面都有所提高。为向“菲斯”提供目标侦察、弹道、气象保障,系统还配备了激光测距机、火炮初速测速雷达、活动目标侦查雷达及“辛伯森”迫击炮侦察雷达。

20 世纪 70 年代末,瑞士发展了带有跟踪雷达和弹道测算的“野战卫士”地炮射击指挥系统,最多可控制 24 门火炮射击。

20 世纪 80 年代及其后发展的地炮指挥控制系统基本实现了以指挥中心计算机为核心的系统化、网络化。

装备较先进的地炮火控系统主要有:

- 法国的 ATILA 炮兵自动化系统
- 挪威的 KMT400 多用途军事终端
- 西班牙的 CID 地炮火控系统
- 英国的战场炮兵目标攻击系统 (BATES)
- 挪威的 Odin 炮兵火力控制系统
- 意大利的 SEPA 炮兵火控系统
- 美国的阿法兹先进野战战术数据系统
- 南斯拉夫的 FACS 野战炮兵火控系统
- 芬兰的诺基亚野战炮兵火控系统
- 德国的 ARES 火箭炮兵用系统

第三节 高炮火控系统

高炮火控系统是用于控制高炮对空目标实施有效射击的自动控制系统。

随着现代科技的发展,空中目标及其攻击战术的变化,要求现代高炮火控系统自动化程度、系统反应时间、低空探测与跟踪能力、全天候作战能力提出了更高要求。20 世纪 70 年代以来,高炮火控系统,尤其是小口径自行高炮火控系统得到了显著的提高和发展。

高炮火控系统按照射击提前角计算原理的不同,可分成测速瞄准具式和指挥仪式两类。

测速瞄准具式火控系统主要由测距雷达、激光测距机、火控计算机、光学瞄准具组成。工作特点是:火控计算机只需根据雷达或激光测距机得出的目标距离,及光学瞄准具跟踪目标时产生的目标角速度的信息输入,直接求取射击提前角。提前角信息传递给光学瞄准具,并使火炮指向目标未来点,实施有效射击。特点是结构简单、炮手操作容易;通常采用独立瞄准线原理;一般只配用光学半自动跟踪方式工作。配用的雷达主要用于目标测距,火控计算机也不输入弹道、气象和车辆倾斜等修正量。因此测速瞄准具式火控系统射击精度低。

指挥仪式火控系统主要由搜索雷达、跟踪雷达、激光测距机、陀螺稳定光学瞄具和火控

计算机组成。工作过程是：搜索雷达发现目标后，由跟踪雷达或陀螺稳定光学瞄具跟踪目标，测出目标距离、方位角和高低角、车辆倾斜、火炮初速等修正量。火控计算机根据这些参数求出直角坐标内的目标速度分量，进而计算射击提前角，传输到随动系统，也称火炮随动系统，使火炮瞄向目标未来点。

装备较先进的高炮火控系统主要有：

- 瑞士“空中盾牌”(Skyshield) 35mm 防空系统
- 瑞士“防空卫士”(Skyguard) 火控系统
- 厄利空—康特拉夫斯公司的“炮星”(Gunstar) 火控系统
- GEC—马可尼雷达与防空系统 Apache 移动火控单元
- 荷兰信号仪器公司的 ADADS 高炮火控系统
- 澳大利亚临时装备部队的炮兵计算机 (IGC)
- 芬兰“诺基亚”(Nokia) 防空炮兵火控系统
- 巴西 EDT—FILA 防空火控系统

与高炮火控系统相联系的防空弹炮结合火控系统，综合了高炮快速机动、持续射击、低成本和导弹精确打击、射程较大的优势，是对付武装直升机和低空固定翼飞机的有效手段。弹炮结合火控系统有两种形式：其一是弹炮共用火控系统，其二是弹炮一体集装于一车之上，构成一个完整统一的防空系统。目前世界各国利用成熟的 20~40mm 小口径高炮技术，装备先进的防空导弹组成性能良好的弹炮结合防空武器系统。主要有：俄罗斯的“通古斯卡”(Tungksa) (自行) 和“潘茨伊尔”—S1 (Pantzir—S1) (轮式)，美国的“火焰”(也即“运动衫”Gatling)，斯洛伐克的“斯特罗普”(Strop)，波兰的“索佩尔”(Sopel)，荷兰的“京燕”(Flycatcher)。

第四节 坦克炮火控系统

坦克炮火控系统是控制坦克炮的瞄准和发射的系统，用以缩短射击反应时间，提高首发命中率。按瞄准控制方式分类，现代坦克火控系统可分为扰动式、非扰动式和指挥仪式 3 类。

一、发展概况

1. 系统发展概况

坦克火控系统从问世到现在，大体上可以分为四代。第一次世界大战末期装备的第一代坦克火控系统只配有简单的光学瞄准镜。这种光学瞄准镜用视距法测距，即如果目标的高度或宽度已知，那么就可通过它在瞄准镜视场中所占的分划数估算出或直接读出目标距离，接着就可装定瞄准角。目前，一些坦克的应急工作方式仍然采用这种方法。

20 世纪 50 年代装备的第二代坦克火控系统在原光学瞄准镜的基础上增配了体式或合像式测距仪和机械式弹道计算机，性能比第一代有了明显改进。

20 世纪 60 年代初期装备的第三代坦克火控系统由光学瞄准镜、光学测距仪和机电模拟式弹道计算机组成，并且开始配用了一些弹道修正传感器。

上述三代坦克火控系统的缺点是不能预测运动目标的射击提前角，因此不能射击运动目标，而且由于没有一种比较理想的测距仪器，命中率比较低。随着激光技术的出现和发展，出现了激光测距仪。激光测距仪是一种精度高、操作简易、快速的测距仪器，与火控计算机等组合成的火控系统是提高坦克火炮命中率的重要途径。

因此，美国休斯飞机公司为 M60A3 坦克设计了带激光测距仪的综合火控系统，主要由测瞄合一的车长激光测距瞄准镜、炮长昼夜瞄准镜、数模混合式火控计算机、目标角速度测量装置以及各种弹道修正量传感器组成，能在坦克短停时射击固定或运动目标。自动输入火控计算机的修正量有炮耳轴倾斜、横风和目标角速度，人工装定的修正量有气压、气温、药

温、炮膛磨损和弹种等。在 2000m 的距离内，原地对固定目标射击时火控系统的首发命中率达到 90%。

20 世纪 70 年代后，世界各国都相当重视坦克火控系统的现代化。不少国家研制成功并装备了综合坦克火控系统。

最新发展的坦克火控系统，一部分是为了改装现装备的老式坦克而设计的，一部分是为新研制的坦克而设计的。尽管这些新发展的火控系统在总体结构、瞄准控制方式和性能数据上各有差异，但是所采用的技术却有许多共同或相似之处。

2. 部件发展概况

现代坦克火控系统一般由光电观瞄设备、火控计算机、弹道修正量传感器以及火炮稳定和控制系统等组成。

①光电观瞄设备

现代坦克火控系统的光电观瞄设备通常包括昼用光学瞄准镜和夜视仪器。对一个完善的坦克火控系统来说，车长和炮长都单独配有光学主瞄准镜和辅助瞄准镜。炮长主瞄准镜采用望远式或潜望式两种结构，基本上都与激光测距仪和夜视仪器组合，构成测瞄合一或昼夜合一的结构，目前日益增多的观瞄设备为昼、夜、测距三合一结构。车长主瞄准镜多用周视潜望式结构。为了提高搜索、识别和跟踪目标的能力，车长和炮长主瞄准镜通常采用变倍物镜和大口径物镜。低倍率、大视场用于战场监视和搜索目标；高倍率、小视场用于识别、跟踪和瞄准目标。

为了提高瞄准精度和操作简便，现代坦克火控系统的车长和炮长瞄准镜还配用了阴极射线管和其他电子装置。

20 世纪 70 年代以前，坦克夜视仪器通常采用主动红外装置，隐蔽性不好，容易被敌方发现，成为攻击的目标。20 世纪 70 年代以后采用了微光夜视仪和微光电视。在星光条件下，两者对坦克的作用距离都可达到 1000m 以上。20 世纪 80 年代初，第一代被动热像仪开始装备在如 M60A3、M1 和豹 2 等坦克上。微光夜视仪在无月光、星光夜晚的作用距离受到限制，并受烟雾影响，还不能发现伪装目标。热像仪除了克服微光夜视仪的上述缺点外，还有可能根据目标的热特征而实现自动跟踪目标。目前大多数热像仪对坦克的识别距离可达 2000m 以上。例如安装在比利时 LRS-5 型坦克火控系统内的 TTS 型坦克热像仪，对坦克的发现距离是 4~5km，对坦克的识别距离是 2~2.3km。

②火控计算机

火控计算机是现代坦克火控系统的核心部件，主要功能是根据弹道修正量传感器自动输入的和人工装定的各种弹道参数，求解弹道和射击提前角方程，并自动将射角和方位角信息传送给瞄准镜以及火炮随动系统。火控计算机大体上有机械模拟、机电模拟、全电子模拟、数模混合式和数字式 5 种类型。现代坦克火控系统除少数采用模拟式和数模混合式外，大部分采用数字机，而这些数字机中大多数是微型计算机。采用微型机可使火控系统实现模块化、可靠性高、便于快速检修，微型机的成本也比较低。

③弹道修正传感器

为了提高弹道计算精度和首发命中率，现代坦克火控系统除用测距仪测距外，还采用了目标角速度、炮耳轴倾斜、横风、弹种、定起角、炮口偏移、弹丸偏流、视差、气温、气压、炮膛磨损、药温等修正量。

现代坦克火控系统所配用的自动修正量传感器大体有 3 种情况。

第一种情况是配有一、二种自动传感器，如日本 74 式坦克火控系统只配有距离传感器（激光测距仪），其他如药温、炮耳轴倾斜、炮膛磨损、视差等弹道修正量都是手动输入。第二种情况是配有许多自动修正量传感器。如比利时萨布卡坦克火控系统，除弹种手动输入外，配有距离、目标角速度、炮耳轴倾斜、横风、气压、气温、药温等多种自动传感器。联

邦德国的综合坦克火控系统和莱姆斯塔（LEMSTAR）坦克火控系统除人工输入弹种、炮膛磨损外，配有距离、目标角速度、炮耳轴倾斜、横风、气温、气压、药温等多种传感器。第三种情况是配有距离、目标运动角速度、炮耳轴倾斜，或再加上横风传感器，其他修正量由人工输入，属于这种情况的火控系统如美国的 M60A3、M1、英国的 IFCS 等。它的优点是系统不过于复杂，又保证了首发命中率高的要求。

激光测距仪具有良好的优点：测距精度高，而且与测程的远近无关；测距迅速；距离数据可以直接以数字显示并传送给火控计算机；激光的光束窄，因而角分辨率高，不易受地物杂波的影响和对方的干扰；激光测距仪的体积小、重量轻；操作和训练简便。这些独特的优点极好地满足了现代坦克火控系统对距离传感器的要求，成为组成现代坦克火控系统必不可少的部件。实际射击试验证明，坦克火控系统配用激光测距仪后，首发命中率可提高到 80% 以上。特别是远距离射击时，首发命中率的提高更显著。

坦克激光测距仪从问世到现在已经发展了两代。现代坦克火控系统除少数还装备第一代--红宝石激光测距仪，如美国 M60A3 坦克和日本 74 式坦克，其他绝大多数都装备了第二代--钕激光测距仪。与红宝石激光测距仪相比，钕激光测距仪的优点是发射 $1.06\mu\text{m}$ 的近红外光，隐蔽性好，耗电少、效率高、轻小等。激光测距仪的测程约为 $200\sim 10000\text{m}$ ，测距精度约为 $\pm 5\text{m}$ 或 $\pm 10\text{m}$ ，束散为 $0.5\sim 1\text{mrad}$ ，脉冲重复频率为每分钟几次到几十次。第三代激光测距仪为 CO_2 激光测距仪。

激光测距仪除极少数因改装老式坦克需要而采取测瞄分离的结构之外，绝大多数都与炮长主瞄准镜或车长主瞄准镜组合成一体，构成测瞄合一的结构。

抑制假目标回波是激光测距仪中一项重要的技术问题，关系到测距数据是否可靠，从而直接关系到首发命中率的问题。现采用以下方法抑制假目标回波：用距离选通法抑制最小选通距离以内的假目标，最小选通距离由操作手装定；存储并显示多个目标距离数据，供炮长或车长进行判断选择；用首末脉冲距离逻辑电路抑制假目标回波；偏振分辨法，即利用目标反射光与微粒（如烟、雾）散射光偏振性能不同来抑制假目标回波，这种方法要求激光器输出平面偏振光，并且在接收器前要加检偏器。除上述方法外，有的坦克激光测距仪还采用一些辅助方法来验证激光测距仪所测距离是否正确。

现代坦克火控系统常用的目标角速度测量装置主要有速度陀螺、测速电机和光电编码器 3 种，只要测出瞄准镜或火炮跟踪目标的角速度就测出了目标的角速度。瞄准镜上安装的速度陀螺是瞄准镜稳定系统的一个部件，此外还兼作目标角速度传感器。

常用的炮耳轴倾斜传感器有摆式和垂直陀螺等。垂直陀螺适用于行进间测量炮耳轴倾斜，比较先进的坦克火控系统（如豹 2 和比利时的通用坦克火控系统）一般采用这种装置。

横风传感器有被电流加热的热敏电阻式、螺旋桨式和球式等几种。

炮膛磨损修正量采用数字逻辑电路，其原理是将每种弹等效的磨损系数与已发射过的每种弹的数量的乘积累加起来，就形成了炮膛的等效总磨损量。炮膛磨损也可人工装定。

④火炮与瞄准线稳定与随动系统

现代战争要求坦克具有行进间射击或行进间短停射击目标的能力，这就必须配备火炮稳定和瞄准线稳定系统。稳定系统的发展大体上经历了三代。

第一代稳定系统--双陀螺稳定系统，在高低和方位稳定系统中每套只有一个速度陀螺，用来传感火炮和炮塔的角速度，此信号经放大后来控制火炮随动系统，起到稳定火炮的作用。这种稳定系统可以在行进间粗略稳定火炮，但不能行进间射击，要求射击前短停精确控制火炮。

第二代稳定系统—四陀螺稳定系统，即在火炮高低和方位伺服控制回路中各包括两个陀螺。一般来说，一个是位置陀螺（3 自由度陀螺），一个是速度陀螺（2 自由度陀螺）。速度陀螺在有的系统中提供扰动变量前馈控制信号（如豹 1A3），有的起速度反馈作用（如 T-62

坦克)。第二代系统比第一代系统反应迅速、稳定精度高,火炮能在行进间瞄准,射击前短停的时间比第一代可缩短一些,但仍不能行进间射击。

第三代稳定系统--独立稳定瞄准线的指挥仪式系统。这种系统与瞄准控制方式中的指挥仪式坦克火控系统系同一种系统。

稳定系统和伺服控制系统是紧密结合在一起的,两者的大部分部件都是共用的。目前稳定和伺服控制系统有电液式和电动式两种类型。美国、联邦德国和法国装备的坦克基本上采用的是电液式的,而英国的是电动式的,苏联坦克稳定器在高低向是电液式的,方位向是电动式的。近年来,采用全电动系统的坦克越来越多,如法国的 AMX 勒克莱尔、日本的 90 式、以色列的梅卡瓦 3、巴西的 EE-T1 等。全电动系统的主要优点是安全性好。

二、瞄准控制方式

坦克火控系统大体采用扰动式、非扰动式和指挥仪式 3 种瞄准控制方式。采用扰动式的主要有英国的 IFCS、SFCS600 火控系统和美国的 M60A3、日本的 74 式坦克火控系统等。采用非扰动式火控系统的如瑞典的 IKV-91 坦克火控系统、E 型坦克火控系统、比利时的萨布卡火控系统、联邦德国的综合坦克火控系统等。指挥仪式火控系统在英国的 M1、联邦德国的豹 2、日本的 90 式、法国的勒克莱尔、意大利的 C1、以色列的梅卡瓦 3 型等坦克上得到广泛应用。

1. 扰动式

在扰动式火控系统中,瞄准镜与火炮用平行四边形(也称四联杆)机构连接,瞄准线和炮轴线是平行的。当炮长用手控装置调转火炮时瞄准镜就随动于火炮,因此炮长可以通过瞄准镜捕获和跟踪目标,并且在跟踪过程中测定目标距离和角速度。火控计算机根据输入的目标距离、角速度、倾斜角和各种弹道修正量,计算出射击提前角,然后将信号传输给瞄准线偏移装置,使瞄准线产生偏移。其偏移量相应于射击提前角,偏移方向和火炮运动方向相反。当炮长发现瞄准线偏离目标后,就用手控装置调转火炮使偏离的瞄准线重新对准目标。这时火炮就调转到提前位置上,可以进行射击。这个从“偏移”到“重新对准”的过程,叫做扰动过程。这种瞄准控制方式称为扰动式。

扰动式火控系统又分为扰动式手动调炮和扰动式自动调炮两种。在扰动式手动调炮的火控系统中,火控计算机算出的射击提前角只传输给瞄准镜,不传输给火炮。炮长需要用手控制装置调转火炮,使弹道瞄准标记重新压住目标。在扰动式自动调炮的火控系统中,火控计算机算出的射击提前角不但传输给瞄准镜,而且通过按压自动瞄准开关同时传输给火炮。扰动手动调炮的典型例子是英国的 SFCS600 火控系统,扰动式自动调炮的典型例子是英国的 IFCS 火控系统。

扰动式火控系统的主要优点是结构简单,成本低,比较适合于改装老式坦克;缺点是系统反应时间较长、容易产生滞后,操作难度与大一些。但是这些缺点在扰动式自动调炮火控系统中都得到不同程度的克服。

2. 非扰动式

在非扰动式火控系统中,火控计算机算出的射击提前角同时传输给瞄准镜和火炮传动装置,使火炮自动调转到提前位置上,而瞄准镜传动装置则控制瞄准镜朝相反方向转动同样的角度。由于瞄准线和炮轴线同时受射击提前角信号控制,朝相反方向移动,所以瞄准线和目标之间的相对运动速度等于零,这样瞄准线就能始终保持对准目标,看不出扰动的过程。非扰动式火控系统的主要优点是结构不太复杂、系统反应速度快和跟踪平稳性好。

扰动式和非扰动式火控系统的共同缺点是由于瞄准线没有独立稳定,即使火炮稳定了,但由于火炮质量大,难于达到很高的稳定精度;由于火炮和瞄准镜机械连接,火炮的不稳定因素容易影响瞄准线的瞄准精度,使火控系统的动态精度受影响,因而使这两种火控系统不

能完全满足行进间射击的要求，仅适于短停射击。

3. 指挥仪式

为了提高行进间射击精度，新型主战坦克多数采用指挥仪式火控系统。它的基本特点是瞄准镜与火炮分开安装，火炮和瞄准镜都是独立稳定的。炮长用手控装置驱动瞄准镜，使瞄准线始终保持对准目标。火炮不是由炮长驱动，而是通过自同步机（或旋转变压器）及火炮随动系统随动于瞄准线。火控计算机所算出的射击提前角不传输给瞄准镜传动装置，只传输给火炮和炮塔随动系统。这样火炮就可调到提前位置上，而瞄准镜仍然保持跟踪目标。指挥仪式坦克火控系统通常配有火炮允许射击电路，当火炮调到提前位置上时该电路向炮长显示火炮已经到位，可以实施射击。

指挥仪式坦克火控系统大体上有以下 3 种类型：一是炮长和车长瞄准镜都配有独立的双向稳定装置；火炮也配有双向稳定装置，既可随动于炮长瞄准镜又可随动于车长瞄准镜，如豹 2 坦克火控系统。二是炮长瞄准镜独立稳定，车长瞄准镜不配稳定装置，火炮只能随动于炮长瞄准镜而不能随动于车长瞄准镜，如美国 M1 坦克火控系统。三是仅独立稳定车长主瞄准镜，炮长主瞄准镜不稳定。火炮只能随动于车长瞄准镜，不能随动于炮长瞄准镜，如英国的 AFCS 火控系统和法国柯斯达克坦克火控系统。

指挥仪式火控系统的优点是系统反应时间短、行进间射击精度高和操作比较容易。缺点是结构复杂、成本高。

三、若干发展趋势和特点

1. 光电观瞄设备

在良好气候条件下，将继续使用光学瞄准镜搜索和跟踪目标，而夜间观瞄装置采用热像仪。热像仪在性能上比像增强技术好，有些原装备微光夜视仪的火控系统也纷纷用热像仪进行改装。有些国家已研制了第二代凝视焦平面阵列热像仪。

还有一种独特的夜视设备就是带热点探测器的微光电视，热点探测器将探测到的目标位置以红色闪烁光点准确地指示出来，并迭加到微光图像上。由于有热点探测器，因此不论环境照明条件如何，可以发现远距离的目标和低对比度及伪装的目标。而且由于使用了微光电视，因此在识别目标时有较高的分辨率。

为了提高坦克在夜间、雨、雪、浓雾和深烟条件下的全天候作战能力，发现目标并向火控计算机提供可靠的目标位置数据，并便于实现自动跟踪，毫米波雷达的研究和应用也越来越广泛。

2. 火控计算机

20 世纪 80 年代装备的坦克火控系统几乎一致地都采用数字式火控计算机，而且绝大多数是微处理机。多微处理机系统通过数据总线，坦克乘员能获得坦克所有子系统的数据。例如，车长可象驾驶员一样方便地知道燃料箱里还剩下多少燃料，还能立刻知道自动装弹机中所剩下的弹数和目前坦克在什么地方等等。车辆系统中各部件的工作和测试也都由多微处理机系统控制和管理。这种系统结构的另一个优点是可以提高系统的可靠性，当一台微处理机发生故障时，系统可以重新编排结构，工作正常的微处理机可以代替有故障的微处理机的工作。

3. 弹道修正传感器

除了如目标角速度、炮耳轴倾斜、气温、气压等传统的弹道传感器仍在继续发展外，还出现了一些新的弹道修正传感器，如炮口校正装置、激光风速仪等。

为了充分发挥采用微处理机的数字式火控系统的优点，正在发展一些新的数字式弹道自动修正传感器。

4. 自动跟踪技术

自动跟踪技术可以减轻炮长的工作负担,缩短系统的反应时间,消除车体不稳定和人工跟踪不稳定所带来的误差,提高跟踪精度。实现自动跟踪可借助于毫米波雷达、激光雷达、电视自动跟踪和热成像自动跟踪等技术。

5. 发展高平结合、弹炮一体化的火控系统,提高主战坦克的空射和远战能力

在未来高技术条件下的局部战争中,对主战坦克的威胁不仅来自地面的反坦克武器,而且来自空中的威胁较之地面有过之而无不及。尤其是目前各国均注重武装直升机的发展和作战应用,这无疑对坦克构成了致命的威胁。反坦克武装直升机具有独特的飞行能力,优越的机动性能,良好的视野条件和强大的火力系统。具有远距离(6000m~7000m)攻击能力和发射后不用管的自动寻的导弹。如法国装有“霍特”导弹的小羚羊攻击直升机对坦克的命中概率为81%,摧毁坦克的概率为100%。美军的AH-64攻击直升机装有一门30mm航炮,16枚反坦克导弹或4个火箭发射器或空对空导弹。因此,发展既能对地攻击,又能对空射击的一体化火控系统,提高主战坦克的空射能力,从而提高主战坦克战场生存能力。

6. 将坦克火控系统纳入车辆综合电子系统

现代坦克火控系统的电子元件和电气系统较多,从而导致车内布线错综复杂,不仅占用大量的空间,而且其防护性能和可靠性也随之降低。若将坦克火控系统融于车辆综合电子系统,即以数据总线为脉络,将所有电子电气系统联成一个综合系统,并为今后将要使用的电子系统留有接口,将目标探测与跟踪、火炮控制、炮弹自动装填、部件工况监控、各种信息获取与传输、战场指挥与控制、定位导航等等,均纳入车辆综合电子系统,充分利用系统的冗余度设计提高各子系统乃至整个系统的可靠性,利用数字传输速度快的优点缩短反应时间和提高保密性,通过快速传递信息,就能充分调动各个作战单元的作战效能以达到提高整体作战效能的目的。

法国的勒克莱尔坦克是按照车辆电子系统一体化的思想来设计的。它的电子设备是围绕着一一条数字数据总线配置的,大约有30台8位、16位或32位微处理机用来控制各部件的工作和对其进行测试。通过数据总线,各设备之间可以连续地交换数据,并且当部件发生故障或损坏时,可以对系统的结构重新安排。勒克莱尔坦克的车辆电子系统能使坦克乘员将重要的信息传递给其它坦克和较高级的指挥机构,也可以从他们中接收信息。这些信息包括坦克的位置坐标、已被探测到的敌方部队的规模和位置、弹药数量和油料剩余量、坦克火控系统以及其它各系统的工作状态等等。

美国陆军已将“车际情报系统”(IVIS)配置到M1A2主战坦克上。IVIS的功能是由在标准车辆电子系统硬件模块上运行的软件来实现的。各部件间的联系通过双冗余军用标准1553B数据总线。故障管理软件可以使一种设备代替另一种已出故障的相应的设备。例如,如果火控系统的炮塔电子系统发生故障时,车体电子系统可以承担总线控制器的工作,并可以为火控系统提供弹道计算。

另外,美国M109A6型155mm自行榴弹炮、M2A3型战车(由M2A2布雷德利战车改进)和XM8装甲战车火炮系统也已配备了车辆电子系统。

我国装甲兵数字化试验部队的数字化坦克,也装有车辆综合电子信息系统。通过数据总线将车内的主计算机、通信设备、火控系统、推进、防护等电子系统联成一体,实施信息的传递与分配。对外与连营组成信息网,对内采集车间信息,控制有关设备。

四、典型坦克火控系统简介

1. 美国M1坦克火控系统

该火控系统利用了MBT-70和XM803坦克火控系统的研制成果,并采取了一些降低成本的简化措施。它采用的独立稳定瞄准线的指挥仪式的控制方式反应迅速,并使坦克可以行进间射击目标。

(1) 观瞄设备

炮长主瞄准镜是高低向瞄准线独立稳定的单目潜望式瞄准镜,与激光测距仪的发射接收机和热成像瞄准镜合为一体,构成测瞄合一、昼夜合一的瞄准镜。瞄准镜的倍率可变,用中继光学系统在车长的位置延伸出一目镜,这样车长和炮长可通过瞄准镜观察到相同的图像,但车长不能选择放大倍率,也不能用它独立地进行战场监视和捕捉目标。瞄准镜伸出炮塔外的窗口用装甲防护,由炮塔内位于瞄准镜上方的手柄控制窗口开闭。瞄准镜中有一伺服定位的十字分划和高低向稳定瞄准镜的陀螺平台,平台的高低轴通过旋转变压器与炮耳轴的旋转变压器进行电连接。目镜可显示激光测距仪测量的距离数据、激光测距仪的多目标回波指示符号、射击准备就绪的符号、火控系统出现故障的符号等信息。

激光测距仪采用了 Nd: YAG 激光器、高灵敏度的低压硅雪崩光电二极管探测器和大规模集成电路,可以与炮长主瞄准镜和热成像瞄准镜合为一体。激光测距仪可以测量 200~7990m 之间的目标距离。当所测量的目标距离在 200~4000m 之间时,距离数据自动输入火控计算机,进行弹道计算,同时也显示在炮长主瞄准镜的目镜视场中。当测量距离在 4010~7990m 时,因距离超出了火控计算机的计算距离,距离数据不自动输送给火控计算机,仅显示在目镜中。激光测距仪采用首/末脉冲抑制假目标回波,当瞄准镜目镜中出现多目标回波符号的显示时,炮长通过选择开关,可选择首脉冲回波的距离或末脉冲回波的距离自动输入计算机并显示在目镜中。激光测距仪内装有自检电路,可对各部分的故障进行自检。

热成像瞄准镜的作用距离可达 1200m。它采用微型通用组件,与 M60 系列坦克上的 AN/VSG-2 型热成像瞄准镜通用的组件有扫描装置、热成像探测器、杜瓦瓶、致冷器、前置放大器、偏置稳压器、辅助控制器、倒像器、末级放大器等。该瞄准镜增加的微型组件有后置放大器、低速和高速多路调制器、阴极射线管显示器等。

(2) 火控计算机

火控计算机系全自动的数字式火控计算机,功能较强,在火控系统中起核心控制作用。计算机采用坦克炮进行实时火控计算通用的点质量弹道模型进行计算,弹道的解算采用非迭代的多元式解算法。通过控制面板的键盘人工输入计算机的数据有气温、气压、药温、炮膛磨损、弹种选择、炮轴线与瞄准线的校准、归零、炮口偏移校正、战斗瞄准距离;由自动弹道传感器自动输入计算机的数据有距离、目标角速度、倾斜和横风。

计算机控制面板除用作上述人工输入数据外,还可用于控制和自检,它由键盘、数字显示器、控制开关和指示器组成。键盘分为控制键和数字键两种,用来人工输入所需的全部弹道修正数据,由传感器自动输入的弹道数据也可改为用人工输入。数字显示器可显示计算机存储的数据和用数字键输入的数据。控制开关用来在校准、归零或用炮口校正传感器校正时,向上或向下、向左或向右移动炮长主瞄准镜的分划。

(3) 弹道修正传感器

横风传感器采用离子漂移式横风传感器自动测定横风速度。倾斜传感器采用安装在炮塔顶部中央的摆式倾斜传感器,自动测定车体的静态倾斜。炮口校正传感器通过安装在炮口的反射镜为弹道计算机提供炮口瞄准线和炮管轴线之间夹角的变化量,以便由弹道计算机进行修正。

(4) 火炮稳定和随动系统

瞄准线稳定系统通过稳定瞄准镜的头部反射镜来稳定炮长瞄准镜的瞄准线。火炮的稳定通过高低向稳定火炮、方位向稳定炮塔来完成。火炮高低和方位稳定分别采用安装在火炮上和炮塔壁上的速率陀螺来实现,这两个速率陀螺也同时作为目标高低和方位角速度传感器。电液式火炮和炮塔的稳定和随动系统稳定性好,调速范围宽,可快速捕捉目标和精确地慢速跟踪目标。

系统组成如图 5-2-1 所示。

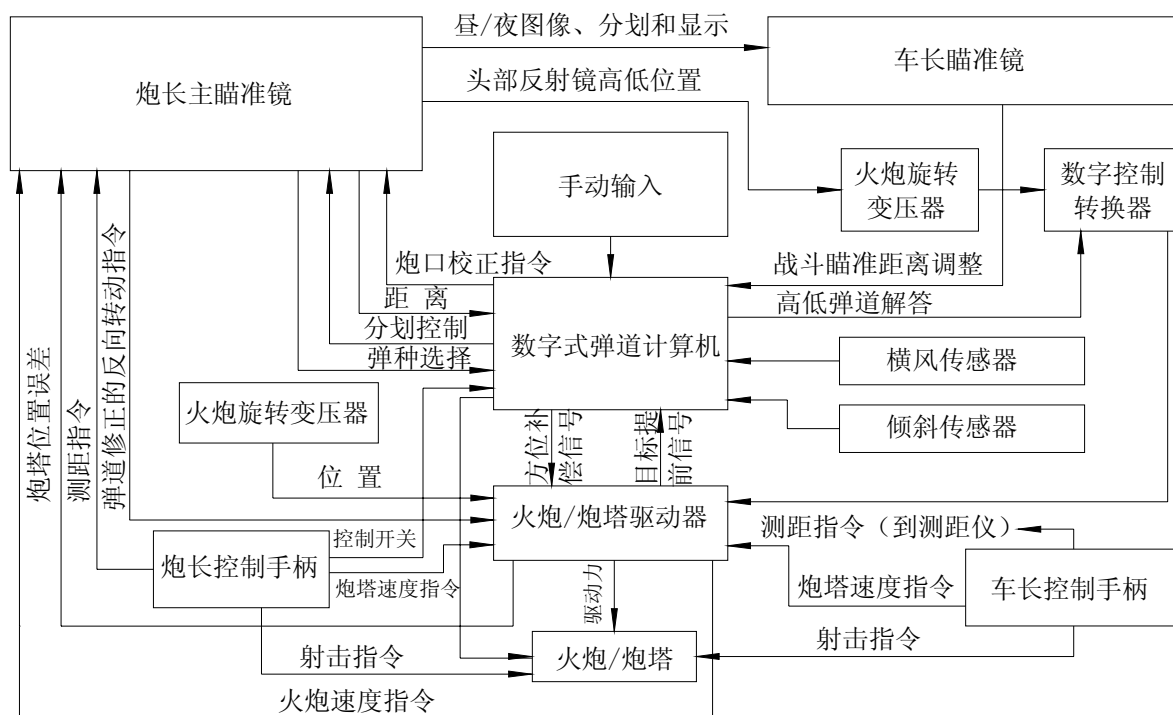


图 5-2-1 M1 坦克火控系统

性能特征:

炮长主瞄准镜 (与激光测距仪和热像仪组合)

类型	高低向独立稳定瞄准线的单目潜望式
昼用系统	
放大倍率	3×、10×
视场	22°、6.5°
夜视系统 (热像仪)	
放大倍率	3×、10×
视场	7.7°/15°、2.6°/5°
特点	低速并行扫描、电子多路传输、阴极射线管显示
激光测距仪	
工作物质	Nd: YAG
波长	1.06 μm
峰值输出功率	6.2MW
光束散度	0.45mrad
脉冲宽度	8ns
重复频率	30 次/min
Q 开关	染料片
接收元件	低压硅雪崩光电二极管
测距范围	200~7990m
测距精度	±10m
距离分辨率	15m
距离逻辑	首/末脉冲
平均无故障间隔时间	1800h

显示方法	在车、炮长主瞄准镜目镜中
炮长辅助瞄准镜	
类型	望远式
放大倍率	8×
视场	8°
车长主瞄准镜	
类型	不独立、炮长主瞄准镜的光学延伸
放大倍率	3×
火控计算机	
类型	数字机，中央处理机为 16 位微处理机
存储器容量	6000 字
自动输入量	距离、倾斜、横风、目标角速度
手动输入量	气温、气压、药温、弹种、炮膛磨损、炮口校正、战
斗瞄准距离	
计算距离	200~4000m
尺寸和质量	
电子装置	10×23×33 (cm), 12kg
计算机控制面板	8×18×30 (cm), 5kg
电压	直流 24±6V
功耗	50W
环境温度范围	-32~+60℃
耐冲击性	
基本的	30g, 11ms
射击时	100g, 1.0ms
高强度	950g, 0.5ms
耐振动性	4g, 50Hz 1g, 50~500Hz
平均无故障间隔时间	3000h
火炮/炮塔驱动系统	
类型	电液式
最大回转速度	高低、方位均为 45° /s
最小跟踪速度	高低、方位均为 0.25mrad/s

2. 中国简化型坦克火控系统

我国简化型坦克火控系统装备于 69-II 式坦克，系统包括 TLR1A 型坦克激光测距仪、TGS-A 型坦克炮瞄准镜以及 BC 型弹道计算机 3 个主要部件。

TLR1A 激光测距仪的工作物质是 Nd:YAG，由激光发射接收机、电源、计数器和目标选择箱组成。电路采用插件板式，维修方便，所有插件和部件可替换。

TGS-A 型坦克炮瞄准镜可用于观察、瞄准，并为坦克炮和机枪装定射角。激光测距仪的测量结果直接显示在目镜的视场中。目镜屈光度是可调节的，物镜配有加热器，以便在冬季使用，还配有雨刷，以便除去玻璃上的灰尘和水汽，使视野保持清晰。坦克炮瞄准镜分 TGS-1A 和 TGS-1A1 两种型号，都安装在 100mm 坦克炮上，但所适用的弹种略有不同。TGS-1A 型适用的弹种有杀伤爆破榴弹、穿甲弹、空心装药破甲弹、机枪弹。TGS-1A1 适用的弹种还加上脱壳穿甲弹。

BC 型弹道计算机分为 BC1 型和 BC1A 型两种。BC1 型适用的弹种有杀伤爆破榴弹、穿甲弹、空心装药破甲弹、机枪子弹。BC1A 型适用的弹种还有脱壳穿甲弹。弹道计算机能对由于炮膛磨损造成的初速改变、药温和气温的变化进行综合修正。修正分为 10 级，可正可负，每级的修正距离大约为实际测量距离的 1%。弹道计算机还能对瞄准镜瞄准角装定的机械空进行补偿，补偿的大小分 15 级。弹道计算机结构较坚固，经得起坦克内部的高、低频振动和射击时的冲击振动。

性能特征：

总体

瞄准角自动装定误差	$\leq 0.2\text{mrad}$
瞄准角自动装定时间	1s
电源电压	直流 20~30V
系统功耗(不包括 69-II 坦克的双向稳定器)	$< 180\text{W}$ (平均)
环境温度	$-30 \sim +50^{\circ}\text{C}$

激光测距仪

整体参数

测距范围	300~3000m
测距精度	$\pm 10\text{m}$
错误测距概率	$< 1\%$

尺寸

发射接收机	$415 \times 129 \times 110(\text{mm})$
电源和计数器	$298 \times 120 \times 213(\text{mm})$
目标选择箱	$95 \times 60 \times 130(\text{mm})$

质量

发射接收机	9kg
电源和计数器	6kg
目标选择箱	0.5kg

电源

直流 $26 \pm 4\text{V}$

发射机

工作物质	Nd:YAG
波长	$1.06 \mu\text{m}$
每分钟测距次数	7
输出能量	$\geq 30\text{mJ}$
脉冲宽度	7~15ns
光束散度	$< 1.5\text{mrad}$
峰值输出功率	2~3MW
Q 开关	BDN 染料 Q 开关

接收机

探测器	PIN 光电二极管
接收机视场	1.3mrad
接收机孔径	40mm
目标显示数量	1
目标选择方式	目标 1、2、3 任选

准直校正望远镜

放大倍率	7×
分辨率	13"

TGS-A 型坦克炮瞄准镜

放大倍率	3.5×、7×
视场	18°、9°
出瞳直径	5.4mm 或 2.7mm
出瞳距离	26mm
视度调节	±4 屈光度
重量	22.5kg
尺寸	105×192×276(mm)
环境温度	-40~+50℃
分辨率	14" 或 10"

弹道计算机

计算范围	300~3000m
计算误差	≤0.05mrad
计算时间	≤1s
电源	直流 22~30V
功耗	≤25W
重量	≤6kg
尺寸	255×200×132(mm)
环境温度	-30~+50℃

安装在 69-2 式坦克上的其他设备有:

炮长夜间瞄准镜

放大倍率	7×
视场	6°
视距(发现目标)	800m
红外线灯功率	500W

车长昼夜观察镜

放大倍率(昼/夜)	5×/6×
视场(昼/夜)	12°/8°
夜间视距	500m
红外线灯功率	200W

双向稳定器和炮控系统

稳定精度	高低向	$\pm 1\text{mrad}$
	方位向	$\pm 3\text{mrad}$
瞄准速度	高低向	$0.07\sim 4.5^\circ/\text{s}$
	方位向	$0.09\sim 15^\circ/\text{s}$

3. 中国 TSFCS-C 坦克火控系统

该火控系统适用于各种主战坦克，特别适用于改装 T 系列坦克，以便提高对运动目标的首发命中率。

(1) 观瞄设备

TLR2 型坦克激光测距仪由激光发射接收机、电源和计数器组成。

激光测距仪的目标选择方式可采用首回波脉冲或末回波脉冲方式，也可采用距离选通方式。距离选通的起止距离有 500m、600m、1100m、1200m、1500m、1600m 等。

带有光点投射装置的 TGS-C 坦克炮瞄准镜，TGS-C 坦克炮瞄准镜与小型阴极射线管、光点驱动器、光点投射装置结合起来，在视场中形成射击目标的瞄准标记——光点。由于使用了阴极射线管从而提高了响应速度并提高了瞄准精度。

物镜配有加热器，以便在冬季使用。

(2) 火控计算机

火控计算机包括计算机主体和控制面板两部分。该计算机是微型计算机，包含有可控可编程只读存储器，根据弹药的类型，可以将其中的程序进行修改。当给出最后的计算结果时，计算机仍保留有被计算的主要参数并将它们显示出来。计算机能确定“距离超出射程”等，并显示出来。有 1 台先进的自检设备，可以对计算机、各种传感器和光点驱动器的工作进行检验，并可检验手动装定数据和计算结果。

控制面板用来手动装定各种弹道参数；选择弹种；确定工作方式并显示距离、提前角和其他参数值。

(3) 弹道修正量传感器

从传感器自动输入的修正量有距离、方位角速度、高低角速度和炮耳轴倾斜。手动装定的修正量有横风、气温、药温和初速。方位角速度传感器读取代表目标方位角变化的光信号代码，并将其转换为电信号而且记录瞄准跟踪的时间，然后将这些信号输入到计算机中。高低角速度传感器与方位角速度传感器相似。角速度传感器的工作情况由指示灯在控制面板上显示出来。倾斜传感器是高精度的摆式传感器。

(4) 火炮稳定和随动系统

利用坦克原有的火炮稳定和随动系统与该火控系统适当连接。

火控系统的组成如图 5-2-2 所示。

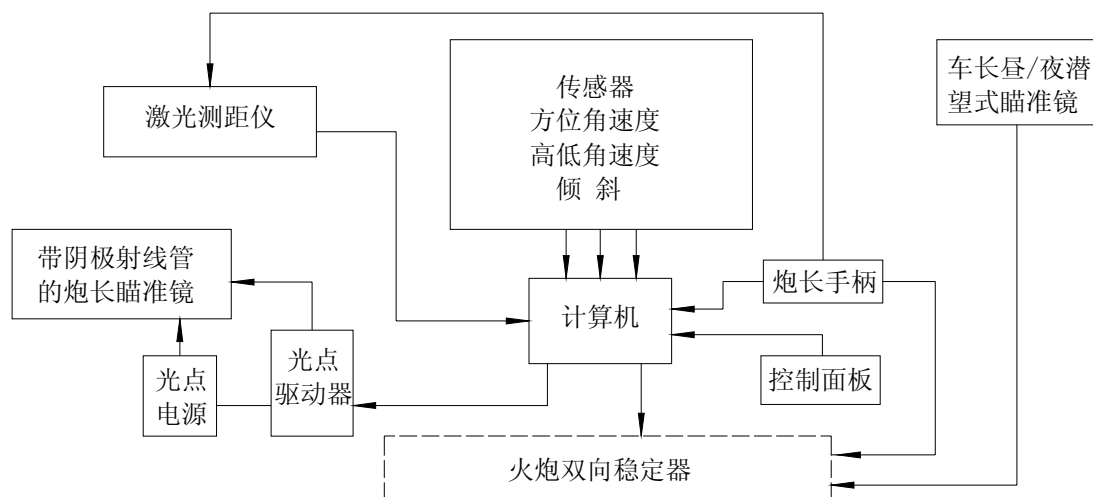


图 5-2-2 TSFCS-C 火控系统

性能特征:

火控计算机

弹种	4 种或 4 种以上
手动装定修正	
气温	-40~+50℃
药温	-40~+50℃
横风	-20~+20m/s
初速	0~-4.5%
目标距离修正	±990m
综合修正	±1.875mrad
手动装定目标距离	200~3990m
计算精度	0.1mrad
计算时间	≤0.3s

激光测距仪

工作物质	Nd: YAG
测距范围	300~3000m
测距精度	±10m
环境温度	-40~+50℃

TGS-C 坦克炮瞄准镜

放大倍率	3.5×、7×
视场	18°、9°
出瞳直径	5.4mm 或 2.7mm
出瞳距离	26mm
分辨率	14"或 10"
视度调节范围	±4\屈光度
质量	25kg
尺寸	1050×220×212(mm)
环境条件	-40~+50℃

角速度传感器

角分辨率	0.2mrad
------	---------

高低角速度传感器测量范围	$\pm 10\text{mrad/s}$
方位角速度传感器测量范围	$\pm 40\text{mrad/s}$

倾斜角传感器

精度	$\pm 18'$
工作范围	$\pm 15^\circ$
整个系统允许环境温度	$-30\sim +50^\circ\text{C}$
电源电压	$25\pm 4\text{V}$ (直流)

4. 中国 ISFCS-212 稳像式火控系统

该火控系统是为 85-II 式主战坦克研制的新型火控系统，有稳像式工作方式和自动装定分划工作方式。

(1) 观瞄设备

观瞄设备包括昼、夜、测距三合一的稳定视场的瞄准镜，包括主瞄准镜、激光发射腔、激光电源和计数器、1X 潜望镜和微光瞄准镜。它的功能是观察战场、瞄准和跟踪目标；确定目标距离；确定目标高低和方位角速度。其特点有：通过直接稳定视场的方法使炮长能清楚地观察战场，容易瞄准，跟踪平稳并能可靠地测量距离；微光瞄准镜、1×潜望镜、激光发射腔等通过积木式设计方法与主瞄准镜连接；激光测距仪使用首/末脉冲逻辑技术，以便抑制假目标。

(2) 弹道计算机

弹道计算机包括计算机主体、控制面板和步进电机驱动器。它的功能是：根据所选择的弹种、目标距离、所有自动传感器的输出和手动装定的参数，计算火炮的射角和方位提前角；显示所有的输入信号、中间结果和输出的射击诸元；自检；当火控系统处于分划自动装定工作方式时，瞄准镜分划由步进电机驱动器通过步进电机自动装定。其技术特点有：火炮射击诸元用循环计算方式计算，以便提高首发命中率；由于采用大规模集成电路，弹道计算机的结构简单、性能稳定而且工作可靠；用一个射击中断开关来快速检查弹丸脱靶的原因。

(3) 修正量传感器

目标高低和方位角速度传感器包含在瞄准镜中。倾斜传感器(垂直陀螺)用来测量炮耳轴的静态和动态倾斜角。叶片式的横风传感器(可任选)用来测量炮塔所处位置的横风。炮塔角速度传感器(测速发电机式)用来测量在自动装定分划工作方式时的目标方位角速度。

(4) 火炮双向稳定器

火炮双向稳定器包括执行电机、陀螺仪组、转换器、角度限制器、电磁离合器、自动锁定装置、控制台、测速发电机、电机放大机、放大器、配电箱、车体陀螺、炮塔陀螺、辅助油箱、液力增压器和液压动力缸。其功能是：当坦克运动时稳定火炮，并提供火炮射击的机会；炮长或车长可用它来驱动火炮，并在射击前使火炮自动瞄准。它的技术特点是：通过使用复合控制和稳定的原理，使火炮双向稳定器呈现出良好的火炮跟踪性能和高的稳定精度；由于使用了先进的部件和控制方法，该火炮双向稳定器有良好的低速性能，并具有在倾斜的坦克上回转火炮的能力。

(5) 控制设备

控制设备的功能是：对视场稳定的测距瞄准镜、弹道计算机和火炮双向稳定器之间进行电连接，综合并处理所有的控制信号；形成火炮允许射击信号；强迫火炮进入允许射击；显示火控系统工作方式并辅助进行火炮与瞄准线准直调整。

ISFCS 212 火控系统的组成如图 5-2-3 所示。

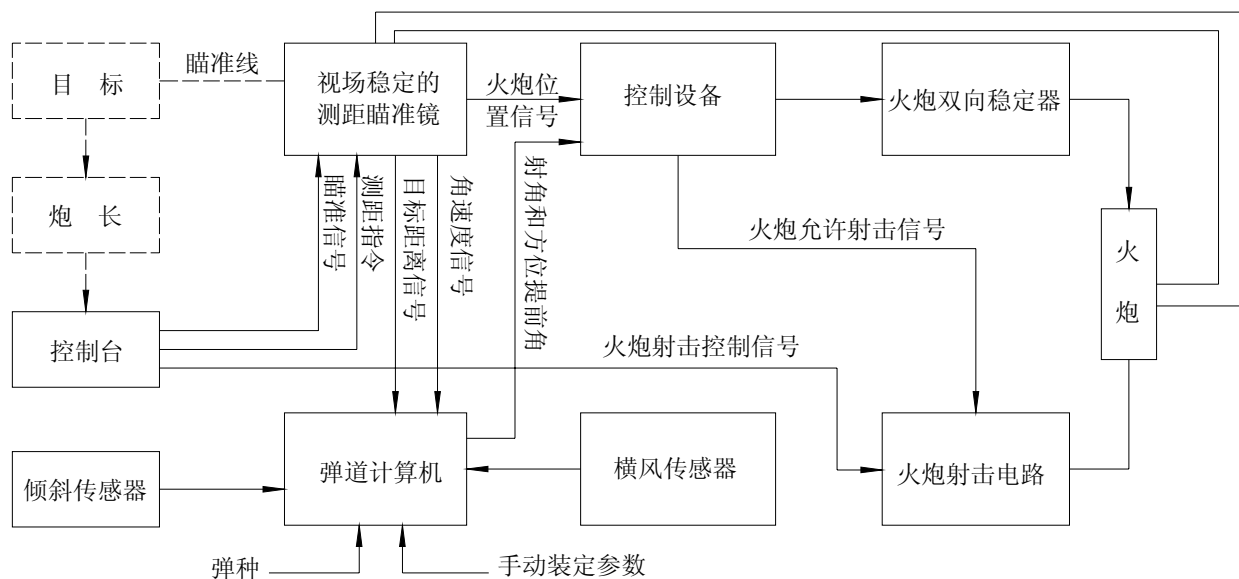


图 5-2-3 ISFCS 212 火控系统

性能特征:

系统参数

目标距离 200~3990m

目标跟踪角速度

方位向 $\pm 20\text{mrad/s}$

高低向 $\pm 10\text{mrad/s}$

炮耳轴倾斜 $\pm 250\text{mrad}$

横风 $\pm 20\text{m/s}$

药温 $-40\sim+50^{\circ}\text{C}$

气温 $-40\sim+50^{\circ}\text{C}$

初速 $0\sim-4.5\%$

综合修正(对任何种类的弹药)

方位向 $-3.2\sim+3.1\text{mrad}$

高低向 $-3.2\sim+3.1\text{mrad}$

信息处理精度

角位置

方位向 $\pm 0.1\text{mrad}$

高低向 $\pm 0.1\text{mrad}$

目标距离 $\pm 10\text{m}$

目标跟踪角速度

方位向 $\pm 0.4\text{mrad/s}$

高低向 $\pm 0.4\text{mrad/s}$

炮耳轴倾斜 $\pm 10\text{mrad}$

横风 $\pm 1\text{m/s}$

手动装定参数的分辨率

手动装定的距离 10m

气温 1°C

药温 1°C

初速	-0/5%
综合修正	
方位向	0.1mrad
高低向	0.1mrad
最高回转角速度	
炮塔方位向	300mrad/s
火炮高低向	75~100mrad/s
瞄准线的最低旋转速度	
方位向	<0.3mrad/s
高低向	<0.3mrad/s

参 考 文 献

1. 王靖君 赫信鹏编著 火炮概论 北京: 兵器工业出版社 1992 年 7 月
2. 方怡宏编 火炮结构教程 华东工学院 1991 年 4 月
3. 李鸿志等著. 现代兵器科学技术. 山东: 山东人民出版社, 2001.10.
4. 汪庆荣编 现代军用高技术 北京: 军事科学出版社 1993
5. 张培林等编著 自行火炮火力系统 北京: 兵器工业出版社 2002 年 2 月
6. 郑津生主编 现代自行火炮射击与指挥研究 北京: 解放军出版社 1999
7. 栾恩杰总主编; 胡星光分卷主编 《国防科技名词大典. 兵器》 北京: 航空工业出版社; 兵器工业出版社; 原子能出版社 2002 年 1 月
8. GJB744—89 火炮术语、符号 北京: 国防科工委军标出版发行部出版发行 1990 年 3 月
9. 中国国防科技信息中心编. 国防高科技名词浅释. 北京: 国防工业出版社, 1996.5.
10. GJB742—89 装甲车辆术语、符号 北京: 国防科工委军标出版发行部出版发行 1992 年 7 月第一版重印
11. 《兵器工业科学技术辞典》编辑委员会编. 兵器工业科学技术辞典, 火炮与火箭发射装置. 北京: 国防工业出版社, 1991
12. GJB741—89 火药术语、符号 北京: 国防科工委军标出版发行部出版发行 1990 年 3 月
13. GJB450-88 装备研制与生产的可靠性通用大纲 北京: 国防科工委军标出版发行部出版发行 1989 年 12 月第二版
14. GJB368.1-87 装备维修性通用规范 维修性管理大纲 北京: 国防科工委军标出版发行部出版发行 1990 年 4 月再版
15. GJB368.2-87 装备维修性通用规范 维修性的基本要求 北京: 国防科工委军标出版发行部出版发行 1990 年 4 月再版
16. 杨为民主编 《可靠性·维修性·保障性总论》 北京: 国防工业出版社, 1995.5.
17. 《常规兵器产品手册》编辑部编 《常规兵器产品手册》 兵器工业部 1984 年 10 月第 1 版 书号 8465
18. 马春茂 周长军 伊拉克战争对我国火炮武器发展的启示 《火炮发射与控制学报》2003 年特刊 2003 年 7 月 《火炮发射与控制学报》编辑部
19. 马巧令等编著 PTZ89 式 120mm 自行反坦克炮武器系统 中国人民解放军南京炮兵学院 1997 年 8 月
20. 韩晓东 赵敬宝编 1983 年式 152mm 自行加农榴弹炮 兵器与操作教材 中国人民解放军南京炮兵学院 1991 年 4 月
21. 王恺华 张志杰编 坦克武器结构与计算 中国人民解放军装甲兵技术学院 1981 年 3 月
22. 魏世孝编著 兵器系统工程 北京: 国防工业出版社 1989 年 5 月
23. 伊玲益. 炮身设计. 北京: 国防工业出版社, 1977
24. 高树滋, 陈运生, 张月林, 郑建国编著. 火炮反后坐装置设计. 北京: 兵器工业出版社, 1995
25. 韩魁英, 王梦林, 朱素君编著. 火炮自动机设计. 北京: 国防工业出版社, 1988
26. 孙远孝, 潘学文编著. 炮架及总体设计. 北京: 兵器工业出版社, 1995
27. 梁世瑞编著. 现代火炮自动机技术. 北京: 兵器工业出版社, 1995
28. 21《世纪初科学发展趋势》课题组. 21 世纪初科学发展趋势. 北京: 科学出版社, 1996.5.

29. 路德维希·施蒂费尔（美）编，杨葆新等译. 火炮发射技术. 北京：兵器工业出版社，1993.2.
30. 慈云桂主编. 中国军事百科全书, 军事技术基础理论分册. 北京：军事科学出版社, 1993.5.
31. 李传胪编著. 新概念武器. 北京：国防工业出版社，1999.7.
32. 王莹，肖峰编著. 电炮原理. 北京：国防工业出版社，1995.3.
33. 马忠旗等编著 装甲与反装甲武器 北京：科学技术文献出版社 1996 年 12 月
34. 远帆 快反轻骑兵——法国“恺撒”155 毫米车载自行火炮系统 《兵器》2003 年 10 月号总第 53 期 北京：《兵器》杂志社编辑部
35. Jane's ARMOUR AND ARTILLERY Edited by Christopher F Foss Twenty-second Edition 2001-2002
36. Jane's ARMOUR AND ARTILLERY Edited by Christopher F Foss Twenty-third Edition 2002-2003
37. G.Klingenberg. Liquid Propellant Gun Technology. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Reston, Virginia. 1997