

文章编号:1002-0640(2008)10-0001-04

## 超高速动能反坦克导弹技术

高原,谷良贤

(西北工业大学航天学院,陕西 西安 710072)

**摘要:**随着未来主战坦克防御能力的极大提高,常规反装甲武器已远远不能适应现代战争的需求。动能穿甲作为一种新概念的反装甲技术,能够有效地杀伤普通反坦克导弹束手无策的复合装甲和主动防护系统。介绍了超高速动能反坦克导弹的基本原理、结构组成以及国外发展状况,分析了超高速动能反坦克导弹的关键技术,并指出了其发展趋势。

**关键词:**超高速,动能穿甲,反坦克导弹,关键技术

**中图分类号:**TJ761.1+2

**文献标识码:**A

## Study on Technology of Hypervelocity Kinetic Energy Anti-Tank Missile

GAO Yuan, GU Liang-xian

(College of Astronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, 710072, China)

**Abstract:** As the great improvement of defense capability of future main battle tank, conventional anti-armor weapon system can no longer fit the modern war. Kinetic energy penetration, which is a kind of new anti-armor technology, can effectively destroy composite armor and active protection system that can not be damaged by conventional anti-tank missile. The principle, constitution and development status of hypervelocity kinetic energy missile were introduced, the key technologies were analyzed, and the developing trend was pointed out.

**Key words:** hypervelocity, kinetic energy penetration, anti-tank missile, key technologies

### 引言

随着主战坦克装甲技术及各种辅助性防御技术的发展,未来主战坦克的防护装甲将主要采用复合装甲、贫铀装甲以及采用红外探测、激光预警、光电对抗/干扰、超近反导和烟雾发射等辅助性防御措施<sup>[1]</sup>,这将使未来主战坦克的防御能力大为提高。此外,现役反坦克导弹的飞行速度除了个别能够达到530m/s<sup>[2]</sup>之外,大部分只有240m/s~380m/s。导弹从发射到命中目标需要十几秒,暴露给敌方的时间较长,对武器系统的生存能力提出了巨大的挑战,且对于快速机动目标的打击效果甚微。因此,常规反装甲武器已远远不能适应现代战争的需求,需要发展新型反装甲技术。

超高速动能反坦克导弹不仅能够有效地打击采用复合装甲和主动防护系统的主战坦克和装甲车辆,而且由于作战时间极短,极大地提高了反坦克武器系统的生存能力。因而,动能穿甲作为一种新概念的反装甲技术而倍受青睐。本文主要介绍了动能反坦克导弹的工作原理、结构组成以及国外发展状况,分析了关键技术,并指出了其发展趋势。

### 1 工作原理

动能反坦克导弹利用导弹超高速飞行时所具有的巨大动能来摧毁和杀伤目标,是一种有别于常规反坦克导弹的新概念导弹。

常规的反坦克导弹大多采用聚能装药战斗部,靠炸药聚能效应产生的高速、高温、高压金属射流击穿坦克装甲,而动能反坦克导弹则是靠具有巨大动能的高密度、重金属长杆弹芯直接碰撞击穿坦克重型装甲,其威力可以有效地摧毁一般导弹难以穿透

收稿日期:2007-08-07 修回日期:2007-10-20

作者简介:高原(1982-),男,江苏徐州人,博士研究生,主要研究方向:飞行器总体设计。

的爆炸反应装甲和复合装甲。此外,由于采用高精度制导和快速响应精确控制技术,极大地提高了命中精度,因而,动能反坦克导弹具有高速导弹和动能穿甲弹的双重特点。

## 2 结构组成和发展状况

典型的动能反坦克导弹一般由战斗部、弹体、制导控制系统和推进系统组成。下面以美国的瞄准线反坦克导弹<sup>[3]</sup>(Line of Sight Anti-Tank Missile, LOSAT)为例,对动能反坦克导弹的组成及其各部分的功能作一简要介绍。

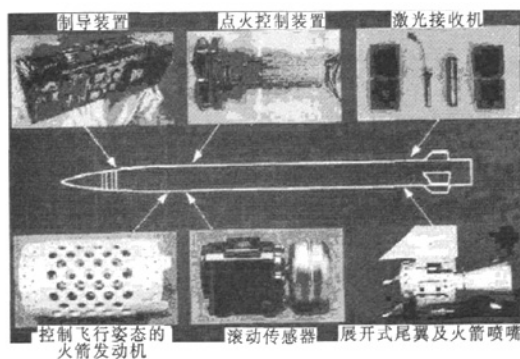


图 1 LOSAT 结构图

LOSAT 是世界上第一种通过动能来摧毁目标的反坦克导弹。1990 年由美国洛拉尔·沃特公司、洛克希德·马丁公司等单位联合研制,是一种专门的重型反坦克武器系统,可在坦克主炮射程之外攻击坦克等装甲目标,其威力可以击毁现役或正在设计的任何主战坦克,是目前世界上威力最大的反坦克武器系统。

战斗部为一长杆穿甲弹芯,是动能导弹的主体,一般由高密度的碳化钨或贫铀合金组成,具有极高的硬度。

制导控制系统由制导装置、微型姿控发动机、滚动传感器、制导信号处理与点火控制装置、激光接收机和尾翼稳定器等部分组成。导弹的高速旋转和尾翼稳定器,可保持飞行时的稳定性。为了对导弹进行精确控制,由滚动基准传感器给出一恒定的参照点。弹尾激光接收机可透过火箭发动机尾烟接收由发射车上制导组件传来的、不断更新的激光指令制导信号,并传给制导电子设备。制导电子设备根据激光指令制导信号和滚动基准传感器给出的恒定参照点,计算出弹道修正量,并激活相应微型姿控发动机的点火线路,点燃微型姿控发动机,使导弹受到不同角度的推力,以修正弹道和命中角,精确地控制导弹飞向目标。

动力装置是一种采用新型低烟复合推进剂、高性能的助推/续航火箭发动机。壳体用石墨环氧树脂材料制成,并有良好的气动外形,可在短时间内将导弹加速至 1 524m/s 的高速度。

除 LOSAT 外,其他型号的动能导弹还有美国的先进动能导弹(Advanced Kinetic Energy Missile, ADKEM)、紧凑型动能导弹(Compact Kinetic Energy Missile, CKEM)以及美国和挪威联合研制的超高速反坦克导弹<sup>[4]</sup>(Hypervelocity Anti-Tank Missile, HATM)、加拿大的高能量导弹<sup>[5]</sup>(High Energy Missile, HEMi)、德国的超高速导弹<sup>[6,7]</sup>(Hypervelocity Missile, HVM)以及瑞典的 BUSTER 超高速反坦克导弹。



图 2 HATM

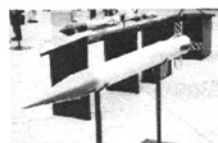


图 3 HVM

## 3 关键技术

动能反坦克导弹的关键技术包括快速响应精确控制技术、动能侵彻战斗部技术、耐高温复合材料技术和高能固体推进剂技术。

### 3.1 快速响应精确控制技术

由于动能反坦克导弹飞行速度极高,作战时间极短,此外,动能反坦克导弹对目标装甲的毁伤性与导弹的攻击角以及攻击的部位有关,攻击角度过大或攻击偏离目标的关键部位均会大大降低导弹的杀伤性能,因而对控制响应的快速性和精确性提出了较高的要求。传统的空气动力舵面控制方式存在控制响应时间长且在导弹发射时速度较低的情况下控制效率不足等缺点,单纯的气动力控制方式不能满足快速响应精确控制的要求。为了实现直接碰撞,目前所采用的技术主要是直接侧向力控制技术。在导弹头部周围布置一组小型脉冲发动机,通过发动机根据控制指令在不同方向产生的脉冲推力,对导弹的姿态进行控制,并进行弹道修正,控制导弹以需要的攻击角准确飞向目标。直接侧向力控制能够满足快速响应精确控制的要求,是目前动能拦截器以及战术动能导弹采用的主要控制方式。例如,美国 LOSAT 反坦克导弹和德国 HFK-L2 超高速导弹在弹体周围分别布置 54 个和 36 个微型姿控发动机。为了减少脉冲发动机的数量、简化控制系统设计,并使导弹飞行更加稳定,可使导弹以一定的角速度旋转,利用旋转弹的等效控制方法,通过对脉冲发动机

数量和点火逻辑的优化设计,使脉冲发动机的控制性能最优。

### 3.2 动能侵彻器技术

动能侵彻器,亦即动能穿甲弹芯,是超高速动能反坦克导弹的战斗部。它没有炸药和引信,是动能反坦克导弹区别于常规反坦克导弹的重要标志。

垂直碰撞时,侵彻深度与侵彻器主要参数的关系为<sup>[8,9]</sup>:

$$\left(\frac{P}{L}\right) = \left(1.0 - \frac{D}{L}\right) \sqrt{\rho_P / \rho_T} (1.0 - e^{-V/0.6})^8 + 2.64 \frac{D}{L} \left(\frac{V}{4}\right)^{2/3}$$

其中: $P$ 为侵彻深度; $L$ 为侵彻器的长度; $D$ 为侵彻器的直径; $\rho_P$ 为侵彻器材料密度; $\rho_T$ 为目标材料密度; $V$ 为侵彻器飞行速度。

由上式可知,动能侵彻器的侵彻深度主要取决于侵彻器的飞行速度 $V$ 、长径比 $L/D$ 和侵彻器与目标的密度比 $\rho_P/\rho_T$ 。

在相同的外形尺寸和材料密度条件下,侵彻器的飞行速度越高,侵彻深度越深。根据动能定理,侵彻器的动能与质量成正比,与速度的平方成正比,提高速度更有利于提高侵彻器的杀伤能力。因而许多动能导弹都具有极高的飞行速度。如美国 LOSAT 导弹的飞行速度为 1 524m/s, HATM 导弹的速度为 6.5M, ADKEM 的速度则达到 7.5M。

为了提高穿甲动能,许多动能穿甲弹都采用特别细长的穿甲弹芯,长度和直径之比达到 20:1 以上。动能导弹也采用较大的长细比,且比常规导弹要大得多。美国“陶”式导弹的长细比为 6.6:1,“海尔法”导弹为 10:1,而 LOSAT 导弹的长细比为 17.7:1, ADKEM 为 26.3:1,比威力大、远射程的“海尔法”导弹要细长得多。

侵彻器一般由高密度的钨合金和铀合金构成。钨合金和铀合金的密度为钢的两倍,它们在高速碰撞目标装甲时能够产生高压,因此是较好的侵彻器材料。

钨合金弹芯使用的是以钨金属含量在 90%~95% 的钨基合金,其余则为镍、铁等合金成分。这种高含钨量的钨基合金,不但密度大,有利于提高侵彻能力,而且抗压、抗变形能力也好,是各种口径穿甲弹芯的主要制造材料。美国的 ADKEM、LOSAT、CKEM,瑞典的 Buster 超高速导弹均采用高密度碳化钨作为穿甲弹芯的制造材料。钨合金穿甲弹芯的主要缺点是脆性大,侵彻装甲板时容易发生断裂,尤其不利于侵彻多层靶板或间隔装甲。

与钨合金相比,铀合金密度更大,机械性能也比

钨合金更适合于穿甲,而且加工简单,成本较低,侵彻后具有燃烧效应。但是铀合金存在放射性物质,其低辐射特性会对环境造成污染,不符合环保的要求,因而需要寻找一种与钨合金机械性能相同、高密度、无污染的材料来代替铀合金。

### 3.3 耐高温复合材料技术

导弹超高速飞行时所面临的飞行条件极为严峻。尤其是低空超高速飞行,由于空气密度较大,气动加热问题极为严重。此外,由于材料的选择对超高速导弹有效载荷、机动性、射程等性能起着至关重要的作用,因而开发出一种耐高温、轻质量、高强度和低成本的材料成为超高速导弹技术的关键。

碳纤维增强复合材料(CFRP)是目前最先进的复合材料之一。它以其轻质高强、耐高温、抗腐蚀、热力学性能优良等特点广泛用作结构材料及耐高温抗烧蚀材料,是其他纤维增强复合材料所无法比拟的。德国研究了用碳纤维增强的碳化硅(C/SiC)、碳纤维增强的碳(C/C)和碳化硅纤维增强的碳化硅(SiC/SiC)等纤维增强陶瓷制造头锥、尾锥和整流罩等弹体部件。这些纤维陶瓷增强材料具有密度低、耐高温、抗氧化、耐磨损、耐高温交变应力、气密性、液密性及高导热性等特点,用作弹体某些部件可以不采用冷却或隔热措施。

### 3.4 高能固体推进剂技术<sup>[10]</sup>

由前面的分析可知,动能导弹的杀伤性能在很大程度上取决于导弹的飞行速度,而飞行速度的高低取决于助推火箭发动机的性能。由于对动能反坦克导弹的要求是尺寸小、质量轻、结构紧凑,因而为了提高导弹飞行速度,就不能像许多大型动能拦截器一样采用多级火箭助推器提高速度,这就对助推推进剂性能及装药结构提出了更高的要求。

动能反坦克导弹对推进剂的具体要求是:具有高的机械强度,同时具有满足壳体粘接装药要求的力学性能;好的热稳定性和服役寿命;爆轰、撞击感度低。总之,高能量、高燃速、低烟是这类推进剂的基本性能要求;另外,考虑到推进剂高压燃烧对发动机性能的显著提升,推进剂的高压燃烧稳定性也是未来超高速动能导弹推进系统设计对发射装药的性能要求;为保证精确制导和隐蔽发射,对推进剂也有低特征信号的要求。

美国 LOSAT 导弹推进系统采用单推力助推/续航推进剂药柱一体化设计和低特征信号(微烟)XLDB 推进剂,并利用壳体粘结装药设计使推进剂装填系数最大。

CKEM 导弹推进系统采用了 ATK 公司研制的

GIB 高能低特征信号推进剂。测试表明,该推进剂的能量性能较当前广泛应用的低特征信号推进剂高 8%,而且力学性能和工艺性能非常优异,推进剂具有在高压下稳定燃烧的特性。

德国 HVM 导弹共有两个研制型号 HFK1 和 HFK2。HFK1 采用高燃速含铝高能复合推进剂,推进剂的燃烧时间为 1.5s,导弹在点火 1s 后速度达到 5M。HFK2 的推进剂为少烟高能复合推进剂,燃烧时间 2.4s。

加拿大 HEMi 导弹推进系统设计采用单推力固体火箭发动机,装填燃烧排气不影响激光驾束制导的少烟高能推进剂,推进剂燃烧时间少于 0.5s (高燃速),燃烧室压强高达 31MPa。该推进系统质量为 14g,可将导弹加速到 6M~7M。

## 4 发展趋势

目前,超高速动能反坦克导弹均采用单助推结构。战斗部和助推发动机采用一体化设计技术,发动机壳体本身就是弹身,并且长杆状动能侵彻器内置于发动机壳体内部(如图 4 所示),因而大大降低了导弹的尺寸,增加了导弹整体的紧凑性,使导弹的质量达到最小。由此可见,动能反坦克导弹的发展趋势为:小尺寸、轻质量、高速度、大杀伤力、低成本和多用途。美国陆军的 LOSAT 导弹虽然威力大、精度高、射程远、机动性强,但是由于其存在系统过重、体积过大、成本过高、只能用在几种专用的车辆上等缺陷,最终被其后继型号 CKEM 所取代。与 LOSAT 相比,CKEM 体积更小、质量更轻、速度更快、通用性更强、射程更远、功能更多、成本更低,见表 1。

表 1 LOSAT 与 CKEM 技术性能对比

| 型号   | LOSAT         | CKEM                   |
|------|---------------|------------------------|
| 弹长   | 2.87m         | 1.524m                 |
| 弹径   | 0.163m        | 0.08m                  |
| 弹重   | 78.9kg        | 45.4kg                 |
| 射程   | 5km           | 5km~8km                |
| 速度   | 1 524m/s      | 2 210m/s               |
| 攻击目标 | 坦克、装甲车辆、掩体    | 坦克、装甲车辆、掩体、固定翼飞机、直升机   |
| 配置   | “悍马”          | 美国陆军各种现役车辆,甚至“陶”式导弹发射架 |
| 车辆   |               |                        |
| 售价   | 16.5 万~20 万美元 | 4.7 万~6.3 万美元          |

## 5 结 论

动能导弹作为一种新概念的坦克导弹,同时具有导弹和穿甲弹的特点,既保持了传统反坦克导

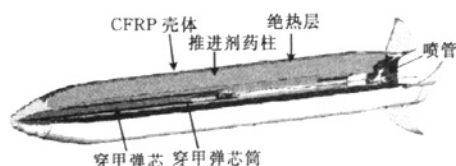


图 4 HATM 内部结构图

弹的可控性,又具有飞行速度快和有效对付特种装甲的显著特点。它们采用先进的抗干扰技术,配备了光电探测器、激光(或毫米波)瞄准和跟踪装置,可以有效地对抗反应装甲、复合装甲以及装备了多功能光电、红外或激光抗干扰技术的装甲目标,对主动防护系统也具有较大的毁伤作用。因此,在未来的高技术战争中,超高速动能反坦克武器系统将会发挥巨大作用。

## 参考文献:

- [1] 武凤臣,凌征均. 未来主战坦克的发展[J]. 车辆与动力技术, 2002(1):58-61.
- [2] 李树春. 美研制成功新型高速反坦克导弹[J]. 科技与国力, 2001(9):59.
- [3] 李开文. 美国直瞄动能反坦克导弹[J]. 国外坦克, 2004(1):10-11.
- [4] Kaiserman M. An Overview of the Hypervelocity Anti-Tank Missile (HATM) Development Program [A]. 41<sup>st</sup> AIAA/ASME/SAE/AS-EE Joint Propulsion Conference & Exhibit [C]. Tucson, Arizona; AIAA, 2005.
- [5] Dubois J, Lafrance P, Lestage R. High Energy Missile Project[R]. ADA432104, 2004.
- [6] Naumann K W. Solid Rocket Propulsion for the German HFK (Hyperschall-Flugkörper) Hypervelocity Missile Program-an Overview [A]. 39<sup>th</sup> AIAA/SME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference [C]. Huntsville, AL; AIAA, 2003.
- [7] Naumann K W. Design and Test of the Solid Rocket Motor HFK 2000 Built for the German HFK (HYPERSCALL-FLUGKÖRPER) Hypervelocity Missile Program [A]. 41<sup>st</sup> AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit [C]. Tucson, Arizona; AIAA, 2005.
- [8] William S. de Rosset. An Overview of Novel Penetrator Technology[R]. ARL-TR-2395, 2001:4-6
- [9] Richard M L. Physics of Kinetic Energy Rod Warheads Against TBM Submunition Payloads[R]. AIAA-1999-0621, 1999.
- [10] 莫红军,张海燕. 高速动能导弹及超高速导弹用固体火箭推进剂[J]. 火炸药学报, 2005, 28(1):2-3.

作者：[高原](#), [谷良贤](#), [GAO Yuan](#), [GU Liang-xian](#)  
作者单位：[西北工业大学航天学院, 陕西, 西安, 710072](#)  
刊名：[火力与指挥控制](#) [ISTIC](#) [PKU](#)  
英文刊名：[FIRE CONTROL & COMMAND CONTROL](#)  
年, 卷(期): 2008, 33(10)  
引用次数: 0次

## 参考文献(10条)

1. [武凤臣, 凌征均](#) 未来主战坦克的发展[期刊论文]-[车辆与动力技术](#) 2002(1)
2. [李树春](#) 美研制成功新型高速反坦克导弹 2001(9)
3. [李开文](#) 美国直瞄动能反坦克导弹 2004(1)
4. [Kaiserman M](#) [An Overview of the Hypervelocity Anti-Tank Missile \(HATM\) Development Program](#) 2005
5. [Dubois J, Lafrance P, Lestage R](#) [High Energy Missile Project\[ADA432104\]](#) 2004
6. [Naumann K W](#) [Solid Rocket Propulsion for the German HFK \(Hyperschall-Flugkrper\)Hypervelocity Missile Program-an Overv-iew](#) 2003
7. [Naumann K W](#) [Design and Test of the Solid Rocket Motor HFK 2000 Built for the German HFK \(HYPERSCHELL-FLUGK-RPER\) Hypervelocity Missile Program](#) 2005
8. [William S. de Rosset](#) [An Overview of Novel Penetrator Technology\[ARL-TR-2395\]](#) 2001
9. [Richard M L](#) [Physics of Kinetic Energy Rod Warheads Against TBM Submunition Payloads\[AIAA-1999-0621\]](#) 1999
10. [莫红军, 张海燕](#) 高速动能导弹及超高速导弹用固体火箭推进剂[期刊论文]-[火炸药学报](#) 2005(1)

本文链接：[http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_hlyzhkz200810001.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hlyzhkz200810001.aspx)

下载时间：2009年11月26日