



程斌 潘伟文 主编

# 船舶设计 教程

上海交通大学出版社

317968

# 船舶设计教程

程斌 潘伟文 主编



上海交通大学出版社

## 内 容 提 要

本书着重阐述船舶设计的基本原理、设计及计算方法,综合分析了设计中的各种技术与经济问题。全书共分十七章,内容包括船舶总体设计所涉及的各个基本问题,以及船舶工程、船型研究与开发、现代船舶设计的方法等。提供了较为丰富的船舶设计的实例和参考数据。每一章后面附有复习思考题。

本书可作为高等院校船舶与海洋工程专业的教材,也可供从事造船及海洋工程的技术人员参考。

## 船 舶 设 计 教 程

上海交通大学出版社出版

(南京中路1984号19号)

新华书店上海发行所发行

常熟梅李印刷厂印装

---

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 19.25 字数 475,000

1988年6月第1版 1989年8月第1次印刷

印数: 1—1,500

ISBN 7-313-00285-8, 662 科技书刊: 179—274

---

定价: 3.20元

## 编者的话

船舶设计需要综合运用船舶各学科以及机械、电气、经济和航运管理等方面的知识,权衡处理技术及经济等多方面的问题;而设计又是一个逐步近似、不断深化即具有螺旋形深化的过程。船舶设计的这些特点常使初学者为之却步,也给教学及编写教材带来一定的困难。

根据编者多年来教学实践的经验与体会,感到需要编写一本符合初学船舶设计者特点的教材,以便在教学中提倡自学,善于独立获取知识,提高分析问题及解决问题能力;使初学者能较好地了解船舶设计的特点,掌握船舶设计的一些基本观点、原理与方法,并对船舶设计问题具有一定的综合分析与归纳的能力。《船舶设计教程》就是基于上述设想,根据编者近年来的讲稿加以修改、充实而写成的,并于1985年8月在上海交通大学印成讲义试用。

本教程主要围绕船舶初步设计所涉及的一些基本问题来写,着重介绍民用运输船舶(货船与客船)的设计与计算方法,以及设计中对各种问题的考虑。全书共分为十七章,一方面在广泛的领域内阐述船舶设计的各个问题,以扩大读者的视野,开拓思路;另一方面将船舶设计所涉及的每个基本问题独成一章,使之得到相对完整的概念。全书尽可能深入浅出,还引进一些船舶设计实例,并在每一章后面附有复习思考题,以便于自学。

在使用本教程时,应根据各章的内容,结合具体的教学进程,采用讲课、自学、讨论、课堂习题及课程设计等多种教学环节,使初学者能更好地掌握全部教学内容。对各章内容的安排,有如下一些设想。

第一章对船舶工程、船舶类型,特别是运输船舶的发展趋向作一些概括介绍,以使读者在更广泛的基础上了解造船及船舶设计的前景及重要意义。

第二章通过对2艘船舶的设计实例,具体地介绍船舶设计过程及其考虑的一些主要技术问题,以便能具体而概括地了解船舶设计的内容。

第三章介绍船舶设计的一些总概念,如用船部门对新船的要求,船舶设计的阶段划分,设计工作的一些基本原则等,这些对设计者搞好工作都有重要影响。

第四章~第十四章是假定船的主尺度等已经确定的前提下,分别讨论船舶重量与重心、容量与甲板面积、各项性能与有关规范、船体型线、总布置等总体设计各部分的内容,包括一些内在规律、计算方法及设计考虑等。

第十五章在掌握船舶设计基本内容与方法的基础上,又从综合角度分析船舶设计的特点,船舶主尺度所联系的各方面因素,影响船舶设计结果的因素等,并举例说明确定新船排水量与主尺度的过程和方法,以加强综合地权衡处理船舶设计问题的能力。

第十六章简要介绍新船型开发研究方面的问题,包括船型研究的重要性、方向等,并举实例加以说明,以开拓学习者的思路。

最后一章对现代船舶设计方法作了简要归纳与论述。其中有不少方法虽然还未达到实用的程度,但对促使船舶设计更加科学化、提高设计质量、缩短设计周期等有着积极的意义。希望读者在今后的学习、工作中继续探索,不断实践。

船舶设计是一门涉及知识面广,创造性及实践性很强的课程。本教程仅仅叙述了设计中



最基础的一些内容，只能起着入门的作用。在此基础上，运用所学知识，积极参与设计实践，善于思考与总结，勤学好问，逐步积累知识与经验，才能在船舶设计领域中自由翱翔。

在本教程中，张瑞麟编写第八章“船舶抗沉性”，並负责全书的符号、公式、单位及插图工作，对其它章节也提出过许多宝贵意见；朱霞编写“§ 14-6 船舶工程美学概述”一节；张金铭编写“§ 13-5 电子计算机辅助型线设计简述”一节；程斌编写第二~七、十一、十三~十五章，潘伟文编写第一、九、十、十二、十六、十七章，並共同对全书进行修改定稿。邵世明对第六章“船舶快速性”、裘咏铭对第七章“船舶稳性”、冯铁城对第九章“船舶耐波性”、朱文蔚对第十章“船舶操纵性”分别进行审阅並提出了修改意见，並特请 708 所周良根高级工程师和上海船舶设计研究院陆治平高级工程师审阅全书，提出了许多宝贵意见，特致谢意。杨樵教授在百忙中为本书写了序，编者不胜感激。

由于编者水平有限，书中不够完善、疏漏及不尽令人满意之处在所难免，我们诚恳地期望得到广大同行和读者的批评指正，以便在今后的教学中及再版时得以改正。

编 者

1988年2月于上海交通大学

船舶及海洋工程系

## 序 言

船舶是人类在水上进行经济与军事活动的必备工具。十六世纪欧洲的航海者开辟了通往东方的新航路并发现了美洲新大陆后,大批殖民地被侵占,引起世界帆船业的蓬勃发展。十八世纪工业革命产生后,殖民地统治加强,海上霸权的争夺促使轮船业的兴起。二十世纪以来,科学技术的进步,世界经济的迅猛发展,导致海洋航运业的高速度增长;世界商船队从第二次大战结束时的八千余万吨,猛增到今天的四亿吨。近年来,我国商船队也在迅速发展,年平均增长率约百分之十。

更为突出的情况是新船型的不断涌现、层出不穷。“尺度经济”迫使油船和散货船走向大型化。快速装卸的要求导致集装箱船和滚装船的出现和发展。公路运输的迅猛增长,则使车客渡船成为近海运输的重要船型。今天华丽的客邮船已被日益壮大的航空客运所淘汰,但随着旅游业的兴旺发达,多种形式的豪华旅游船正以日新月异的姿态展示于广阔的海洋与众多的河流上。海洋资源,特别是海底石油资源的勘探、开发更增加了对各种特殊船舶与海上结构物的需求。

在进入信息社会的今天,随着世界经济的迅速发展和经济结构的深刻变化,对船舶也不断提出新的要求。对船舶设计的要求也就更高、更复杂,不仅要有更多的创造性,而且要少出差错,当然还要求降低造价,缩短设计与建造周期。

我国的水上运输业正面临着巨大的建设与改造任务。远洋船队的现代化要紧跟时代步伐,以期在世界航运市场上具有更强的竞争力。沿海和内河航运更是处于更新改造的重要阶段,以提高效率,为全国各地区的经济发展提供优良的条件。

程斌和潘伟文两同志就是在上述背景下编著了《船舶设计教程》(简称《教程》)一书,该书有下列一些特点:

1. 编者根据多年的教学和从事船舶产品设计的经验,考虑到学生的认识过程和规律,对全书内容及先后次序作了精心的选择和安排:开始三章介绍船舶的类型和几个实例以及船舶设计的过程。接着几章就对船舶的重要特征和性能如重量与重心、总体布置与舱室容积、快速性、稳性、抗沉性、耐波性、操纵性等在设计中应考虑的问题作了全面而具体的论述。然后介绍两个与船舶设计有关的重要规范——海船载重线规范和吨位丈量规范,以及两个重要设计项目——船体型线和总布置的设计方法。最后才综合起来讨论船舶主要要素的确定,这是船舶设计的关键性任务,也是各项设计、计算工作的依据和基础。

2. 进行船舶设计,既要考虑科学技术上的可行性,又必须考虑经济上的合理性。为了对设计方案进行评价和比较,必须进行经济性的定量分析。《教程》的第十二章“船舶经济性”介绍了有关内容和计算分析方法。

3. 优秀的船舶,特别是客船和旅游船不仅应是适应水上环境的有效的交通工具,也应是引人入胜的艺术建筑物。为了提供这方面的知识,在第十四章“总布置设计”中附有“船舶工程美学概述”一节。

4. 船舶设计是一项创造性的活动,必须不断地推陈出新。在进行某一特定设计任务中必

须全面综合分析问题，选取最优方案。为此，《教程》最后论述了“船型研究与开发”，并对“现代船舶设计方法”作一简单介绍，以启发读者开拓思路，不断创新。

5.《教程》内容丰富、深入浅出、文字通顺。每章结束时均附有复习思考题，有利于读者自学，这也是本书的突出优点。

本《教程》符合船舶工程专业“船舶设计原理”教学大纲的要求，是一本较好的教材，对于船舶工程科技人员也是一本有价值的参考书。

由于船舶设计是一门综合性强，涉及面广的学科，随着科学技术的迅速进步，新船型的不断发展，特别是计算机辅助设计和现代设计理论与方法的深入研究，有关船舶设计的内容和资料日益浩繁、日新月异，编写一本适用的船舶设计教材诚非易事。两位编者化费了很大精力，在广泛收集有关的最新资料，进行分析研究的基础上完成了这本《教程》提供有关方面应用参考，是一个有意义的尝试，是值得庆贺的。

上海交通大学船舶及海洋工程研究所所长

杨 樵

1988年2月

# 目 录

<b>第一章 船舶工程概述</b> .....	( 1 )
§ 1-1 造船工业的前景 .....	( 1 )
§ 1-2 船舶类型概述 .....	( 2 )
§ 1-3 运输船舶的发展趋向 .....	( 6 )
<b>第二章 船舶设计实例简介</b> .....	( 9 )
§ 2-1 27000t载重量散装货船 .....	( 9 )
§ 2-2 中山-深圳航线150客位客船 .....	( 14 )
<b>第三章 船舶设计的过程和原则</b> .....	( 22 )
§ 3-1 船东的要求——设计任务书 .....	( 22 )
§ 3-2 船舶设计过程 .....	( 26 )
§ 3-3 船舶设计的几项基本原则 .....	( 31 )
<b>第四章 船舶重量与重心</b> .....	( 34 )
§ 4-1 概述 .....	( 34 )
§ 4-2 空船重量的分析与估算 .....	( 35 )
§ 4-3 载重量估算 .....	( 45 )
§ 4-4 重量与浮力的平衡 .....	( 47 )
§ 4-5 重心估算 .....	( 50 )
<b>第五章 船舶容量与甲板面积</b> .....	( 54 )
§ 5-1 载重型船的舱容 .....	( 54 )
§ 5-2 容积型船的舱容与甲板面积 .....	( 58 )
§ 5-3 舱容及其形心位置的计算 .....	( 60 )
<b>第六章 船舶快速性</b> .....	( 65 )
§ 6-1 概述 .....	( 65 )
§ 6-2 船的主尺度与船型系数对快速性的影响 .....	( 65 )
§ 6-3 新船快速性的预报 .....	( 70 )
§ 6-4 设计中的几点考虑 .....	( 77 )
<b>第七章 船舶稳性</b> .....	( 81 )
§ 7-1 概述 .....	( 81 )
§ 7-2 船舶所受外力及内力简述 .....	( 81 )
§ 7-3 初稳性 .....	( 83 )
§ 7-4 大倾角稳性 .....	( 88 )
§ 7-5 设计中的几点考虑 .....	( 97 )
<b>第八章 船舶抗沉性</b> .....	(100)
§ 8-1 概述 .....	(100)

§ 8-2 《海船分舱和破舱稳性规范》简介 .....	(100)
§ 8-3 “客船分舱与稳性的等效规则” 简况 .....	(105)
§ 8-4 抗沉性的主要影响因素 .....	(106)
<b>第九章 船舶耐波性</b> .....	(110)
§ 9-1 概述 .....	(110)
§ 9-2 横摇 .....	(111)
§ 9-3 纵摇与垂荡 .....	(114)
§ 9-4 甲板淹湿性与失速 .....	(116)
<b>第十章 船舶操纵性</b> .....	(121)
§ 10-1 概 述 .....	(121)
§ 10-2 舵的设计 .....	(122)
§ 10-3 船舶操纵性估算 .....	(126)
§ 10-4 影响操纵性的主要因素 .....	(131)
<b>第十一章 船舶最小干舷与登记吨位</b> .....	(135)
§ 11-1 船舶最小干舷 .....	(135)
§ 11-2 船舶登记吨位 .....	(142)
<b>第十二章 船舶经济性</b> .....	(146)
§ 12-1 船舶经济性评价的重要性 .....	(146)
§ 12-2 船舶经济指标 .....	(148)
§ 12-3 经济性计算 .....	(152)
§ 12-4 船型选择中的一些规律 .....	(155)
<b>第十三章 船体型线设计</b> .....	(160)
§ 13-1 概 述 .....	(160)
§ 13-2 船体主要形状特征与参数的选择 .....	(161)
§ 13-3 特种型线简介 .....	(175)
§ 13-4 型线图的手工绘制法 .....	(184)
§ 13-5 电子计算机辅助型线设计简述 .....	(188)
§ 13-6 设计中应注意的问题 .....	(195)
<b>第十四章 船舶总布置设计</b> .....	(198)
§ 14-1 概 述 .....	(198)
§ 14-2 总体布局的确定 .....	(199)
§ 14-3 纵倾调整 .....	(208)
§ 14-4 舱室及梯道的布置 .....	(214)
§ 14-5 船舶设备的配置及舱面布置 .....	(231)
§ 14-6 船舶工程美学概述 .....	(236)
§ 14-7 设计中应注意的几个问题 .....	(239)
<b>第十五章 船舶主要要素的确定</b> .....	(243)
§ 15-1 各主要要素的综合分析 .....	(243)
§ 15-2 确定主要要素的步骤 .....	(247)

§ 15-3 多用途货船主要要素的确定·····	(249)
§ 15-4 客船及拖船主要要素的确定概述·····	(253)
§ 15-5 设计过程中应注意的几个问题·····	(253)
<b>第十六章 船型研究与论证</b> ·····	(259)
§ 16-1 船型及船型研究·····	(260)
§ 16-2 船型论证简述·····	(270)
§ 16-3 船型开发举例·····	(272)
<b>第十七章 现代船舶设计方法概述</b> ·····	(279)
§ 17-1 概述·····	(279)
§ 17-2 优化设计法简介·····	(281)
§ 17-3 正交设计法简介·····	(283)
§ 17-4 船舶设计中的模糊性·····	(289)
§ 17-5 专家系统概述·····	(294)
<b>参考文献</b> ·····	(295)

# 第一章 船舶工程概述

造船学就其学科性质及内容来说,大体包括如下几方面的含意:

①它是一门确定在水中使用的浮动结构物的物理特性的科学。

②由于造船知识中不少是长期积累的实践经验,所以它是一门建立在基础科学上的技术科学。

③船舶作为一个整体,不仅要考虑局部的问题,而且要考虑诸如尺度、船型、功率、强度、经济性、使用效率、安全性及人员的舒适性等一系列总体问题。

④造船师应具备熟练的技能,掌握与船有关的各方面的知识,包括船舶工程、轮机工程、电气工程、机械与设备、船舶使用与装载、船舶航行及货物(旅客)的安全与保险、船舶营运经济、船厂实际建造等方面的知识;了解并运用为保证船舶安全及使用要求,与船舶性能、强度、干舷、吨位、设备等有关的各种公约、规范及规则,它们有些是国际性的,有些是某个地区、国家或船级社制订的。同时,造船师应能创造性的工作,以设计建造出符合各方面要求的新船。

## §1-1 造船工业的前景

大家知道,地球表面有70.8%的面积为海水所覆盖。海洋对人类的生存与发展具有巨大的影响。大海中无穷无尽的生物资源和丰富的矿藏,将对人类提供取之不尽的经济利益。海洋又为人类提供廉价的运输,对世界经济的发展起着巨大的作用,可以说没有船舶运输就没有文明的工业化世界。因此,了解海洋、掌握海洋、利用海洋是人类在征服自然中一个极为重要的目标。有人认为,人类的生存将可能取决于海洋,海洋是未来争夺的中心,这决非故作惊人之言。

一般说,海洋运输具有成本低、批量大、航程远等优点,随着世界经济的发展,各国交

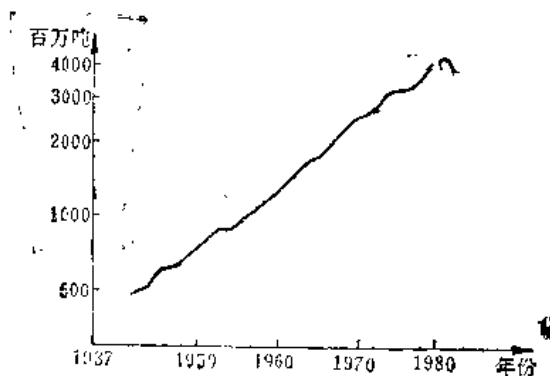


图1-1 海洋运输量增长趋势

往的日益频繁，再加船舶本身的技术性能及经济性能的不断提高，海洋运输业将承担更多、更重要的运输任务。据统计，全世界国际贸易运输量中约有三分之二由商船承运。

第二次世界大战后，海洋运输量的增长趋势如图1-1所示。

据估计，目前世界商船队总共拥有6亿多载重吨的船舶。但自1975年以后海上货运量有所下降，而世界商船队的吨位仍略有增长，因而在世界范围内出现了运力过剩问题。但造船界对形势的估计仍比较乐观，这是因为：

①各国政府都用国力扶植本国船队的发展；

②投资者倾向于建造经济性更好的新船；

③技术进步与各种国际公约的实施，促使船舶加速更新；

④由于近年来新造船减少，现有船舶的船龄不断老化。因此新船需要量的增长仍有很好的前景。

我国东部濒临太平洋，大陆海岸线长达18000km，在辽阔的中国海域上分布着大大小小5000多个岛屿，是世界上海岸线较长，岛屿众多的国家之一。我国沿海优良港湾较多，从沿海港口出发，可以到达世界各国的港口。我国还有900多个湖泊及1m水深以上的内河可通航道达 $10 \times 10^4$ km。优越的地理位置为我国发展海洋事业展现了无限广阔的前景。

我国远洋船队从无到有，从小到大，目前已拥有1100多万载重吨。它肩负着我国整个对外贸易货运量的90%以上，是对外贸易运输的主要手段。我国拥有300多万载重吨的沿海船队，担负着我国沿海及近海的繁重运输任务。水上运力应与工农业生产总值的发展相适应，据预测，平均水上运输量每年将递增6~7%。

在海洋渔业方面，世界各先进渔业国家，都具有近海、远海和远洋三种渔业，其中尤以发展远洋渔业为重点。我国渔业目前主要还停留在近海渔业阶段，远洋渔业产量也一直上不去。我国造船业应为远洋渔业船队的建立作出积极贡献。

为了保卫我国的海防，以先进优良的舰艇武装海军，也是我国造船工业神圣的职责。

由此可见，不论从我国的远洋、沿海、内河船队的更新与进一步发展的需要，还是我国在出口船方面要争取到世界新造船量中更大的份额，在我国造船工作者面前都有大量的工作要做，不仅要以更新颖、更经济、更有效、更先进的船舶来装备我国各用船部门（包括海军、渔业及其他作业船舶等），同时还要跻身于世界造船的先进行列，“任重道远”，我国造船工作者理应为此而作出应有的贡献。

## §1-2 船舶类型概述

船舶发展有着悠久的历史，自独木舟起，经历了木板船到钢铁轮船的历程。船舶动力设备也由最初以人力为动力的篙、桨、橹发展到以自然力为动力的帆，再发展到使用机器。如今，在船舶的百花园中，千姿百态，百舸争流，各式各样的船舶活跃在广大的江河湖海之中。

### 一、船舶类型

船是能航行或停泊于水域内用以执行作战、运输、作业等任务的运载工具，是各类船、舰、艇、舢板、筏及水上作业平台等的统称。船的类型很多，通常按某种共同特征来划分，一般有如下几种分类方法及主要船种：



### 1.按船舶用途分类

总的可分为军用舰艇和民用船舶两大类。

军用舰艇可分为：

**战斗舰艇** 如航空母舰、巡洋舰、驱逐舰、护卫舰、潜艇、鱼雷艇、导弹艇及布雷、扫雷舰艇等等。

**登陆舰艇** 指运送部队和武器装备到敌岸登陆的舰艇，有大、中、小型之分。

**辅助舰船** 即担负后勤保障任务的各类舰船，如训练舰、补给舰、侦察船、医院船、供应舰、浮桥舟等等。

民用船舶可分成如下几类：

**运输船舶** 如客船、客货船及货船等。货船又分成杂货船、油船(包括原油及成品油船)、散货船(如谷物、矿砂、煤、水泥等)、集装箱船、滚装船(包括车辆渡船)、载驳船、推(拖)船-驳船队、液化天然气(石油气)船、化学品船、运木船、冷藏船以及各种多用途船等等。

**工程船舶** 如挖泥船、打桩船、起重船、打捞船、布缆船、救助拖船、浮船坞、测量船、破冰船等等。

**渔业船** 包括各种捕捞船(如拖网渔船、围网渔船、钓渔船、捕鲸船、灯光渔船等)及渔业辅助船(如水产加工船、水鲜冰藏运输船、渔政船等)。

**港务船** 如港作拖船、引水船、航标船、港监船、供油船、供水船、消防船、交通船、带缆船、检疫船、浮油回收船、粪便处理船、水面清扫船及趸船等等。

**海洋调查船及深潜器** 如近海调查船、远洋调查船、载人潜水器、无人潜水器等。

**海洋钻井平台** 如固定式平台、移动式平台等。

### 2.按航区分类

分为近区船、远洋船、沿海船及内河船等等。

### 3.按航行方式分类

分为排水型船、半潜船、潜水船、滑行船、气垫船、水翼船、冲翼艇等。

### 4.按有无自航能力分类

分为机动船、非机动船及机帆船等。

### 5.按推进动力分类

分为蒸汽机船、内燃机船、汽轮机船、电力推进船、核动力船、人力船及帆船等。

### 6.按推进器形式分类

分为螺旋桨船、平旋推进器船、明轮船、喷水推进船、喷气推进船、空气螺旋桨船；按螺旋桨数分可有单桨船、双桨船、三桨船等等。

### 7.按上层建筑形式分类

分为遮蔽甲板船、长首楼船、长尾楼船、长桥楼船等等。

### 8.按建造材料分类

分为钢船、木船、铁木船、铝合金船、玻璃钢船(艇)、水泥船、皮船(艇)等等。

### 9.按机舱位置及连续甲板层数分类

可分为中机型船、尾机型船、中尾机型船以及单甲板船、双甲板船等等。

在众多的船舶之中，向着更高航速及更高效益方向发展的船舶，引起了人们更多的关注。

## 二、向更高航速发展的船舶

提高船舶航速是造船学科长期奋斗的目标。人们不断探索研究、开发，发展出不同类型的船舶。

### 1. 常规排水型船

也称静水力支承型船。为了减少这类船的阻力，提高其航速，人们曾进行长期的研究，至今仍在如下一些方面进行不断探索：

①改进船体线型以减少阻力；或者设法提高推进效率。

②采用及改进球首，使球首产生的波浪与船波发生有利干扰，从而减小兴波阻力；采用球尾以改善螺旋桨的工作条件，提高效率。

③在船与水之间形成一个空气隔层，以减少水阻力。在破冰船上，用气泡分隔船体与碎冰，减少船与冰之间的摩擦力，已在实船上使用并取得显著效果。在驳船上也取得不少成效。

④受海洋生物体表面分泌物能减少摩擦阻力以及生物体体形对减小阻力的启迪，仿生学研究已应用于船舶减阻。但迄今尚未实际应用于船上。

在排水型船上，要在航速上有所突破，向更高航速发展，遇到了几乎难于克服的困难。因此转而研究使船体部分脱离水面，或甚至全部脱水，以避开水的巨大阻力而使船在空气中航行。看来这是提高船舶航速方面最有希望和最活跃的研究方向。

### 2. 滑行艇

从物理支承型式来分类，滑行艇与水翼艇称为水动力支承型船。在高速航行中，利用水的动力作用，将艇体部分抬出水面，在水面上滑行，以达到减阻的目的。由于滑行艇的起滑条件及耐波性等原因，未能在大型船舶上大量采用。

### 3. 水翼艇

利用水翼在航行中产生的升力，将船体抬出水面，仅水翼及支架在水中运动，因而阻力大大减少。由于高速时水翼上产生空泡而剥蚀以及需要较深的吃水，对大船来说水翼过大，在海上航行时耐波性较差，从而使水翼艇的使用受到一定限制。

### 4. 气垫船

又称空气静力支承型船。利用风扇产生压缩空气，垫在船底，使船垫离支承表面。航行时在水面(或地面)漂浮前进，阻力大大减少。气垫船分全垫升式及侧壁式两种，目前正在朝大型化及高经济性方向发展。

### 5. 冲翼艇

又称空气动力支承型船。利用地面效应，航行在离水面几米至几十米空间的一种艇。由于具有超低空、高航速、两栖性以及比一般飞机有更大的装载量与经济性，此类艇有很大的发展前途。目前仍处在研究试验阶段。图1-2为这种艇的示意图。

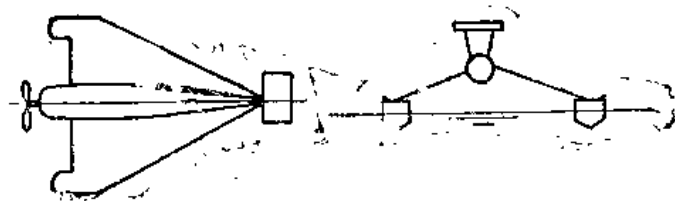


图1-2 冲翼艇示意图

## 6. 小水线面半潜双体船

这种船也属于静水力支承型船。示意图如图1-3。该船水下有两个潜体，用支架把船体（或平台）抬出水面。这种船由于浮体在水下，与潜艇相仿，减少了兴波阻力，在一定的速度范围内，具有较好的快速性。同时由于浮体在水下，不易受波浪的影响，因而耐波性能特佳，有“全海候船”之称。水上部分甲板面积宽敞，上层建筑容易布置。水上部分有浮力，生存能力强。但这种船吃水较深、船宽较大，易受航道及港口等条件的限制，航行时纵倾较难控制，且造价较高。这些都限制了这类船的发展。

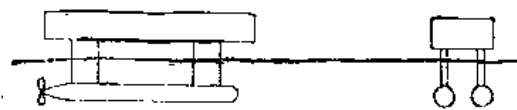


图1-3 小水线面半潜双体船示意图

图1-4为船舶的分类示意图，图中显示了尺度不按比例的船体形状和各种物理支承方式。

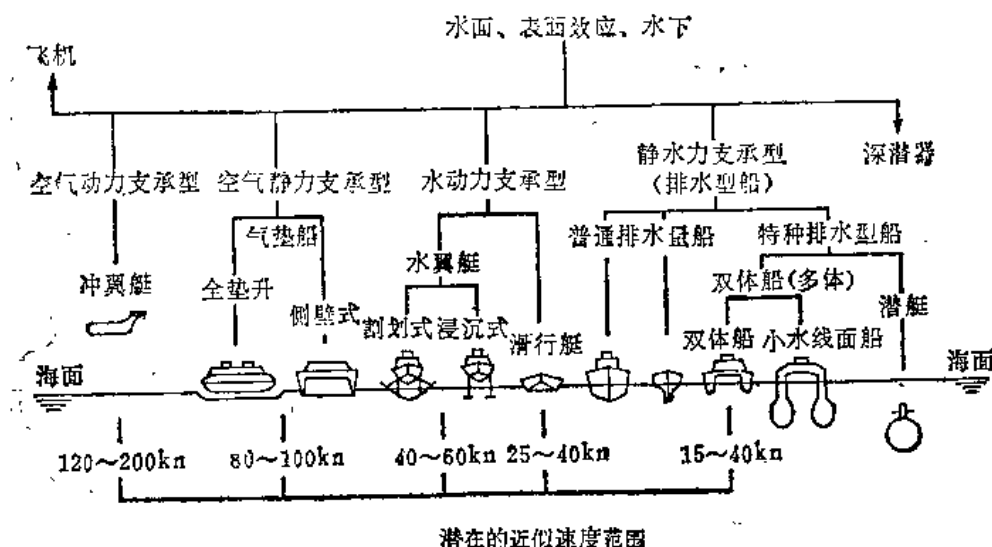


图1-4 各类船舶分类示意图

不论现在还是将来，除特殊用途及需要外，船舶中的极大部分仍将是排水型船舶。因为船舶得以发展的条件还需和经济性联系在一起，尤其是运输船舶更是这样。而常规排水型船舶与其它类型船舶相比，有技术成熟、容易建造、造价及营运成本低、基本上能满足一般运输船的使用要求等特点。

## 三、向更高运输效率发展的船舶

在运输船舶中，如何不断地提高运输效率，始终是船舶设计研究的中心课题。提高船舶运输效率除了研究提高船本身的效能外，还应把船舶视为整个运输系统中的一环，即把船上运输与岸上装卸及陆上运输（甚至空运）联成一个整体来考虑，以求在运输系统中协调工作，提高整个运输体系的效率，从而也提高了船舶的运输效率。基于这一概念，就导致如集装箱船、滚装船及载驳船等一系列船型的出现。

在一定条件下,船舶运输效率的提高,还有赖于运输方式的改进。自六十年代以来,世界上迅速发展的集装箱运输与一般的包装货运输相比,具有如下优点:提高了装卸效率,节省包装,改善货物运输质量;提高了码头通过能力,减轻劳动强度,提高了劳动生产率;降低了运输成本;提高了货运速度。因此,与集装箱运输相适应的集装箱船及其变型——滚装船、载驳船等由于具有更高的运输效率而获得迅速发展。

吊装式集装箱船 日益成为现代干货运输中的主力,具有很高的运输效率。

滚上滚下船(简称滚装船) 其装载货物的适应性强,装卸效率特别高,对码头装卸设备的要求低。但滚装船的造价相对较高,舱容利用率较低。因此有人认为滚装船最适宜用于较短航线的航线上。

载驳船(又称子母船) 即在船上载运小型货驳的船。载驳船特别适用于与江河相联的海港之间的运输,能直接把货物通过内河水系运送到各内陆港,不需要特定码头,这对日益严重的港口拥塞现象具有很大意义。但载驳船仍处在进一步发展及完善的阶段。

### §1-3 运输船舶的发展趋向

自第二次世界大战以来,运输船舶发展的现实状况,可把船舶发展的趋势归纳成:大型化、高速化、自动化、专用化以及节能化。这些归纳只能是从总的概念上去理解,它表示了造船发展的总趋势,在船舶设计中应按具体情况作具体分析。

#### 一、大型化

总的来说,现代造船技术能造出愈来愈大的船舶。从某种意义上说这也是标志了造船科学的进步与发展。例如我国六十年代以后陆续建造了一批3000t、4500t、15000t、24000t级的油船,近年已建成50000t级、65000t级的油船,现已能建造120000t级的船,这表示我国造船能力水平的不断提高。

在运输船舶中大型化的典型船种是油船及散货船。目前最大的油船为550000t的“Batillus”号,该船总长为414.22m,型宽63m,吃水28.6m,航速17kn,主机功率 $2 \times 32400$ 马力。造大船的主要原因是大型船舶的经济性好,即大型船舶的单位造价低、单位运输成本小。例如 $3 \sim 4 \times 10^4$ t级油船的单位造价比 $12 \times 10^4$ t级的油船高一倍多。 $2 \times 10^4$ t级油船比 $25 \times 10^4$ t级的单位成本要高三倍以上。所以为了追求经济效益,船舶的大型化是很自然的趋势。但船舶的大型化要受如下一些条件的限制:

##### 1. 航道、港口条件的限制

其中最主要的是港口水域及航道水深的限制。如通过苏伊士运河的船,其船长、船宽及吃水相应不得超过335.3m(1100英尺)、48.9m(160.5英尺)及11.6m(38英尺)。巴拿马运河允许通过的货船总长为274.3m(900英尺),对客船及集装箱船的尺度限制为:总长289.6m(950英尺)、船宽32.3m(106英尺)、吃水12.0m(39.5英尺)。圣劳伦斯海道限制最大船长为222.5m(730英尺)、最大船宽为23.16m(76英尺)。我国港口不少为浅水港,吃水对船舶大型化的限制特别严格。

##### 2. 航程要长

航程短的航线,因装卸货等停港时间相对较长,大吨位船的优越性不能很好体现出来。

### 3. 货源要充沛

如货物积聚的速度较慢,大型船舶停港待货时间过长,反而影响船舶的经济性。所以大型船以油船及散货船居多,就是由于油、矿等货物的货源充沛,而杂货船其载重量大多在 $1\sim 2\times 10^4\text{t}$ 上下也是受货源影响之故。

### 4. 码头装卸速度的影响

装卸速度愈快,船的吨位也可相应增大,否则在经济上体现不出多大的好处。

近几年来,随着世界贸易结构的变化,货运量的不足,船舶有过剩现象,其中 $15\times 10^4\text{t}$ 以上船舶闲置的比较多,然而对 $6\sim 8\times 10^4\text{t}$ 级的油船及散货船,订造新船的数量较多,且持续时间较长,体现出这类船舶使用灵活方便的特点。

总之,对船舶大型化不能片面理解,因为影响船舶吨位的因素较多,要具体分析而定。

## 二、高速化

提高船舶的航速,一直是造船科学研究的主要任务之一。总的趋势是船舶速度在不断提高,这也表示了造船、造机水平的提高。据统计,水运工具的速度提高幅度20多年来总共约为20~25%,海上货船的平均航速每年增长0.025~0.11kn。显然,与其它陆上及空中运输工具相比,其速度的提高是极其缓慢的。由于船舶的装载量大,在低速范围内较其它运输工具的经济性高,再加地球上水域面积辽阔,船舶仍具有十分广阔的活动舞台。

自从1973年发生能源危机后,燃料价格有了很大变动,致使船舶燃料费用支出占总的营运支出的比例几乎提高了一倍。因此世界各国建造的各类船舶的航速均有下降趋势。例如集装箱船,在能源危机前,美国建造了8艘航速达33kn的集装箱船,尔后再没有出现这样高速的船。近年来建造的集装箱船,航速最高未超过27kn。

应该指出,不断提高船舶的航速一直是造船界追求的目标之一,这是从船舶的总体概念上来说的。而就具体某艘船来说,选择合适的航速是船舶设计中一个极为重要的问题,它对船舶的经济性影响很大,所以有人认为快的船并不一定是一条好的船。当然,在客观条件已定的情况下,必须精心设计以提高船的航速。

## 三、自动化

船舶自动化程度的不断提高,是船舶发展的必然趋势,并必将逐步过渡到超自动化,甚至全自动化。

近年来国外提出“智能化船舶”的概念。所谓“智能化船舶”将是一种全自动化、全电脑化的船舶,其操纵和管理系统将由中心计算机统一指挥。该中心计算机既可由船上人员控制,也可由地面控制站通过卫星通讯进行监察和指挥。必要时,地面控制站还能向中心计算机发布和修改指令直至改变航行计划。“智能化船舶”是以轮机、导航、装卸、船体运动监控、船舶航运和管理等全面实行自动化为目标。它的主要特点是可靠性高,船上设施高标准,船员人数减至最少。

现在万吨级货船的船员数已可减至12人,未来船舶的船员数还将进一步减少。

显然,船舶自动化的趋势也是从总体意义上说的,而在具体船上采用自动化的程度要进行具体分析,并最终还要体现在经济性上有利。例如国外有的航运公司,在同一型船上,一些船雇用高水平的船员,采用高自动化的设备;而在另一批船上,雇用水平较低的低工资船员,

采用自动化程度较低的设备。这两种做法除其它原因外，都以能达到节省开支，获取最大利润为目的，而不是为自动化而自动化，盲目追求先进水平。

#### 四、专用化

采用专用化的船舶，其运输效率高，设备单一，因而成本低，经济性好。所以能采用专用船舶的航线上应尽可能采用专用船。采用专用船的前提条件是货源稳定。

近年来由于世界贸易结构动荡多变，因而在发展专用船舶的同时，多种用途船舶为适应货源多变而有很大发展。例如油船及散货船有油、散、矿等多用途船；杂货船有包装、散装、集装箱、重货及滚装货等兼运两种以上货物的多用途船等。虽然多用途船在造价上要高些，与专用船相比，运某一类货的效率要低些，但如能在整个营运期间，能减少空放率（如油船、矿砂船均为单向货流，空放率为50%），多做生意，多运几次货，即揽货能力强，则在总的经济性上看无疑是很有利的，这就是发展多用途船的依据。

#### 五、节能化

船东要求降低燃料消耗，节省开支，这样就提出了船舶节能化的问题，事实上从广义上说，造船及造机科学的发展，船舶经济性的提高，都可看作是船舶的节能化，不过在直接节省能源的概念上，现在把问题提得更为突出、更为迫切而已。

船舶的节能措施，大体包括如下几个方面的内容：提高动力装置的热效率、主机分出部分功率带动发电机、余热利用、合理选择航速、采用低阻力的优秀线型、采用并进一步改进球首及球尾以降低阻力、提高螺旋桨效率，采用超低转速大直径螺旋桨、采用风帆辅助推进、采用高强度钢等等。通过一段时期的努力，在上述各领域中已取得了不少明显的成果。

### 复习思考题

1. 造船工程的学科性质与内容有哪些含意？
2. 如何理解“没有船舶运输就没有文明的工业化世界”？
3. 发展我国造船业的有利条件及前景怎样？
4. 船舶的主要分类方法有哪些？民用运输船有哪些种类？
5. 人们为什么对向更高航速发展的船舶及更高运输效率发展的船舶更加关心？
6. 为什么可以预言现在与将来，排水型船舶仍占世界船舶总数的绝大部分？
7. 为什么在“大型化”船舶中，典型的船种是油船和散货船？船舶“大型化”的影响因素有哪些？
8. 为什么说“快的船不一定是一条好的船”？
9. 为什么国外同一型船有自动化程度高低之分？
10. 专用船舶和多用途船舶各在什么情况采用为宜？
11. 船舶节能化包括哪些方面？
12. 促使运输船舶大型化、高速化、自动化、专用化及节能化发展的共同因素是什么？

## 第二章 船舶设计实例简介

船舶设计是一项系统工程,设计过程是一个涉及面广,需逐步深入的过程。本章通过对2艘船舶设计实例的简要剖析,介绍船舶设计的大体过程及考虑的主要问题。至于普遍的设计规律及有关设计方面的知识,将在后续章节中分别叙述。

### §2-1 27000t载重量散装货船

27000t散装货船“长城”号(图2-1)是由中国船舶工业总公司第七研究院708研究所设计、大连造船厂负责施工设计并建造的第一艘载重量为30000t级的出口船。船东是香港联成航运公司。

由于“长城”号的设计比较成功,建造质量优良,造价较低,得到船东及各国航运界的好评,并陆续签订了10多艘同型船的订货合同。“长城”号的设计建造成功表明我国的船舶设计水平及造船能力已达到国际水平,有能力挤入国际市场,也为我国造船工业赢得了声誉。现将“长城”号设计工作的大致情况介绍如下,以便通过实例对船舶设计工作有个概貌性的了解。

#### 一、船东要求——设计任务书

船东的要求是船舶设计的依据。“长城”号的设计任务书比较简单,主要有以下几项:

- 1.航区:按无限航区设计,并能经圣劳伦斯海道进入美国五大湖区域。
- 2.用途:本船应适于装载散装谷物、原木、木材、矿砂、煤、钢材、卷筒钢板(装两层,每个重15吨)、废钢铁、重货及其他散货。
- 3.载重量:载重量不低于27000t。
- 4.主机:主机选用日本三井B&W8L55QFC型低速重型柴油机一台,转速150r/min时的最大持续功率为10700HP。辅机应尽量采用日本制造的产品。
- 5.货舱容积:散装容积不低于33000m<sup>3</sup>(不包括顶边舱)。

对设计技术任务书进行分析后可知,船东要求设计的新船系属于圣劳伦斯型并适宜于北美五大湖区航行的散装货船。通常2.5~3.5×10<sup>4</sup>t级的散货船因吨位适中能进出世界绝大多数的粮、矿港而具有很大的灵活性。因此,“长城”号这类船型具有较好的使用性及经济性,从而有着较强的生命力。这也就是国外许多航运公司纷纷订购这一类型船舶的原因。

#### 二、报价设计

根据上述要求,开始进行报价设计,其内容主要为编制简要说明书和绘制总布置草图等。此时首先需要考虑的问题,就是在满足设计任务书的要求下选取最经济的主尺度方案。

为了使整个设计工作具有一定的把握而又比较简便,一般都需选择一艘或几艘与设计船

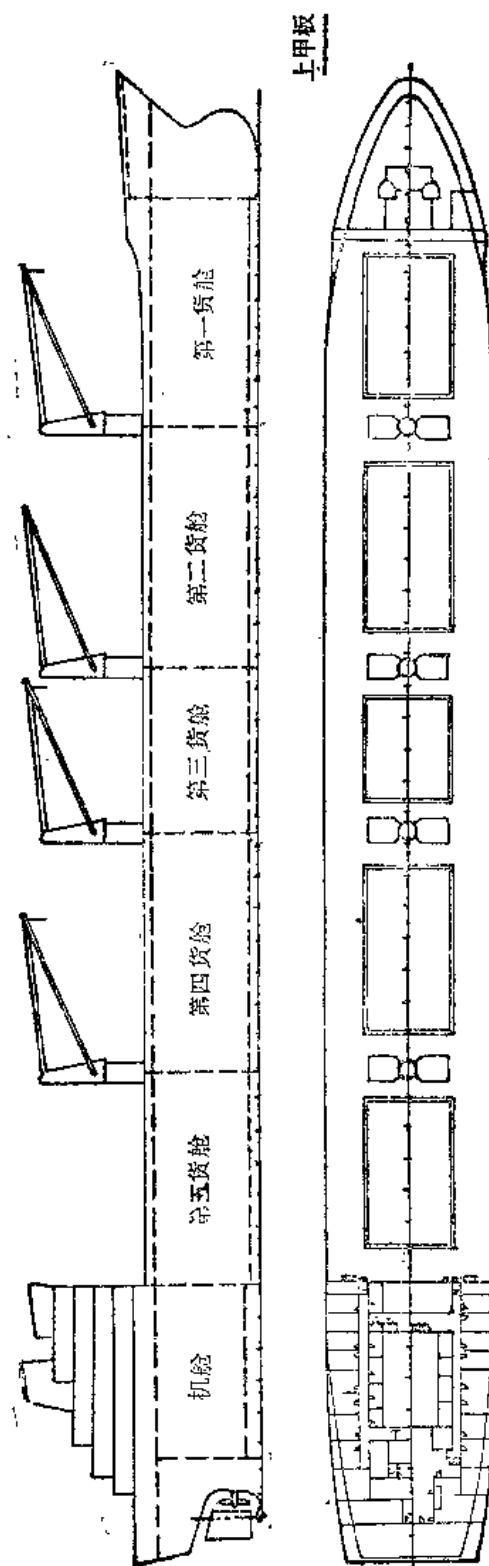


图2-1 “长城”号总布置示意图



技术性能相近的现有优秀船舶作为母型船。“长城”号是以沪东造船厂设计建造的25000t载重量远洋散装货船“州”字型作为母型船(简称型船)。该船的主要数据如下:

垂线间长( $L_{pp}$ )为172.0m, 型宽( $B$ )为23.2m,

吃水( $T$ )为9.8m, 方形系数( $C_b$ )为0.8,

型深( $D$ )为14.2m, 排水量( $\Delta$ )为32600t,

主机最大持续功率12000HP, 额定转速115r/min,

服务航速( $V_s$ )15.5kn, 续航力15000n mile,

船员55人, 备铺13人。

本船船东曾在日本海船厂也订购了27000t散货船(下称“日船”), 并提供了一个主尺度的参考方案:

$$L_{pp} \times B \times T \times D = 182.8 \times 22.86 \times 9.45 \times 13.5\text{m}。$$

随后, 我方对日船的这一尺度进行了分析计算。经核算认为日船方案在我国当前条件下, 要满足载重量27000t有困难。而按照惯例, 如果达不到合同保证值(“长城”号允许载重量的减少值在300t以内), 要按规定数额罚款。根据重量与浮力相等的平衡条件, 船的排水量( $\Delta$ )等于空船重量( $LW$ )加载重量( $DW$ )即

$$\Delta = LW + DW$$

如根据船东所给出的日船主尺度, 并取方形系数 $C_b = 0.83$ (这已接近可允许的上限值)时, 按浮性方程 $\Delta = \rho k_a LBTC_b$ (式中 $\rho$ 为海水的密度,  $k_a$ 为附体体积系数)可求得其排水量 $\Delta$ 接近于33800t, 而其载重量 $DW$ 要求27000t, 据此可求得日船的空船重量只有 $LW = \Delta - DW = 6800\text{t}$ 左右。但是如按我方所选用的型船25000t散货船的重量资料估算, 空船重量为6800t是根本做不到的。因此要达到船的浮力与重量的平衡, 只有加大船的主尺度, 此时空船重量总要在8100t左右, 这样在空船重量方面两者相差几乎达1300t之多。因此, 根据我国具体条件, 为了满足载重量, 并结合航速、稳性、干舷和舱容等其他性能方面的要求, 决定按我国自己估算方法确定空船重量, 并对两个主尺度方案进行报价设计。

第一方案为保持日船的吃水 $T = 9.45\text{m}$ 不变, 而加大船长等得到的:

$$L_{pp} \times B \times T \times D = 187 \times 23.16 \times 9.45 \times 13.8\text{m}。$$

第二方案是船长与日船相同, 而加大吃水等得到的:

$$L_{pp} \times B \times T \times D = 183 \times 23.16 \times 10.0 \times 13.8\text{m}。$$

两个方案一起提供船东选择。

### 三、合同设计

#### 1. 主尺度分析与确定

“长城”号船的报价设计经船东审议, 双方商定采用增加吃水的主尺度方案(第二方案), 並应我方要求船东补充了如下一些要求: 续航力17000n mile, 船员35人, 在20%载重量的装载状态时的试航速度为16.3kn, 15%海上储备时的服务航速为14.5kn。结合这些新的要求, 对报价方案进行了深入分析并适当修改主尺度及方形系数, 其中:

①型宽: 圣劳伦斯海道限制船宽最大值为23.16m, 因而报价方案中型宽取此值。但考虑到此限制值是对最大船宽而言, 尚需计及船壳板和钢质护舷材的厚度, 最后将型宽减小到23.0m。

②吃水：为了适应航道要求，船的吃水不宜过大，在报价设计中，由于载重量的需要，吃水已取为10.0m，为使“长城”号船能进出世界上各主要港口，此值不宜再增大。

③船长(垂线间长)和方形系数：就船长而言，一般总是在满足性能要求下尽可能取短些，以降低空船重量和造价。但作为大湖型船舶，由于吃水受限制，与不经常(或不是主要)航行于大湖区的普通同类型船相比，其船长通常要大一些。根据统计资料，相近吨位的普通型散货船的船长一般在170m左右。本船取 $L_{PP}=183m$ 可认为是合适的。

④方形系数：这类船一般在0.81~0.82范围内，在报价设计阶段，为了使航速能略高于原定值，将方形系数取得稍小些( $C_b=0.812$ )。这样，权衡各尺度之间的配合。重量与浮力的平衡、快速性、造价及大湖船型的特点，最后取垂线间长为183.0m，方形系数为0.812。

⑤型深：在报价设计阶段，根据舱容及满载矿砂时对最小干舷的要求取为13.8m。在合同设计阶段，船东为了改善船舶空放性能，提出要在第三货舱装载11000t压载水。经研究分析，在舱内装压载水不合适，因不灌满时将产生自由液面；而灌满时货舱舱口盖的水密性又难于解决。因而最后选定加大双层底高度(由原来的1.48m增加至1.78m)及顶边水舱舱容用以装压载水等。这样，既满足船东要求，又可使装重货时不致因重心过低而引起剧烈横摇。在此设计阶段初期，因船体型线还未最后确定，为了保证舱容，相应将型深加大至14.3m。

这样，最后确定的“长城”号主尺度和方形系数为：

垂线间长 $L_{PP}$	183.00m,
型 宽 $B$	23.00m,
型 深 $D$	14.30m,
设计吃水 $T$	10.00m,
方形系数 $C_b$	0.812。

## 2. 有关隔舱装载和航速的设计考虑

在主尺度确定以后，即可进行船体型线和总布置设计，结构设计以及各种技术性能的计算。在深入设计中，对“长城”号的隔舱装载和航速问题，进行过较深入的分析研究。

①隔舱装载。为了使该船具有更好的使用性能，在报价设计中就考虑了能够隔舱装载矿砂的问题，所谓隔舱装载是指该船五个货舱中，在满载矿砂时允许No.2, No.4 舱为空舱。其优点是在其余舱中矿砂可堆装得满些，重心高些，从而不致因初稳性过大而引起剧烈的横摇，改善了船舶的耐波性，同时也有利于码头装卸作业，减少清舱工作量。因此尽管船东当时未明确提出过隔舱装载的要求，但设计单位以“长城”号能满足这一要求作为总布置上的一个特点向船东进行介绍，并以此吸引国外船东。

当然，事物都是一分为二的，隔舱装载虽然具有上述优点，但也带来了新的问题。主要是隔舱装载时，由于货物分布不均匀，使船体结构受到了较大的纵向弯矩和垂向剪力，必需适当加强船体结构，从而使空船重量有所增加。

②航速。航速是主要交船指标之一。与载重量的合同保证值一样，达不到要求的航速也要罚款(“长城”号允许交船时航速的降低值不超过0.3kn)。在报价设计阶段，对航速是很重视的，这不仅有罚款的问题，而且涉及我国的信誉。根据估算分析，设计者手中有0.5kn的裕量，且未考虑加装球首后的有利影响。

合同设计阶段，在型线设计时采用交通部上海船舶运输科学研究所进行过船模试验的 $C_b=0.825$ 肥大船型作为母型进行修改，并加装了7种球首进行系列的船模试验。其中2\*大球首

在试航、全压载和满载情况下阻力性能均较佳(满载航速+0.34kn,全压载+0.43kn,试航+0.46kn)。根据船模试验结果,曾拟向船东推荐并提出提高航速的保证值,但因船东无此要求,而建造厂考虑到这种大球首费工费料,从造价及建造周期上都不利,因而最后选用了阻力性能较逊的7#小球首(与2#球首相比,满载航速-0.08kn,全压载航速-0.53kn,试航航速-0.05kn)。以后的实船试航结果表明,本船航速达到了原设计指标,并超过了合同的要求。

试航结果还表明,“长城”号的载重量也达到了合同要求并略有超过。船舶操纵性能良好,偏航角度很小。试航过程中动力装置工作正常,甲板机械和起货设备操作符合要求,船体总振动和居住、工作舱室局部振动的数值也比较理想。对此,船东及劳氏船级社验船师均表示满意。

#### 四、设计结果的分析比较

该船的技术设计及施工设计是合同设计后的进一步深化与完善,详细过程从略。最后把“长城”号与日本建造的船作一些分析比较。

鉴于船东在订购“长城”号之前已向日本海船厂订购了同型船“棕榈”(Regent Palm)号。尽管船东对两船的要求不尽相同,使可比性具有一定的局限性,但通过对两船的对比分析,还是可以看到“长城”号设计上取得的成绩和存在的问题。这对积累设计经验,改进并提高造船水平是极为有益的。

表2-1中列出两船的主要参数。从表可见,“长城”号在航速方面比日船略高一筹,且在卷筒钢板装载量方面,“长城”号可装二层,而日船只能装一层;此外,“长城”号能隔舱装载矿砂,而日船则不能。因此,“长城”号的设计在航速、隔舱装载等方面都取得了一定的成绩,但也存在一些差距。最主要的问题是空船重量比日船大,日船空船重量为6755t,而“长城”号为8018t。两船除吃水、型深外,主尺度相差并不太大,经分析有这样几方面的原因:

①由于船东要求的差异引起的重量增加。例如船东要求“长城”号内底板增厚2mm、上层建筑和首尾端要额外加强、要求能装载15吨的卷筒钢板两层等等,这些要求使空船重量增加了约300t。

②由于国产材料规格差异等原因引起的重量增加。如日本钢板厚度的规格每隔0.5mm进一档,而我国每隔1mm进一档,而且18mm以上只有偶数规格的厚板;日船甲板用高强度合金钢,而“长城”号为节约外汇,采用了普通低碳钢;又如日船锚链用3级,而国产锚链仅能达到2级要求等。这些又使空船重量增加约300多吨。

③由于设计缺乏经验等主观原因引起的重量增加。例如其中由于结构吃水取得比日船大(“长城”号按10.5m选取构件尺度,日船则为9.472m),引起构件尺度加大;双层底比日船高(“长城”号为1.78m,日船为1.50m),导致肋板加厚;“长城”号采用铸钢尾柱,而日船采用钢板焊接尾柱等等。这些又使空船重量增加约260t。

④上述诸项因素反过来引起的重量增加。由于以上几项重量增加,“长城”号为获得必要的浮力和舱容的需要,在船长、型宽和日船相差不大的情况下就必须增大吃水和型深,然而吃水和型深的增加反过来又使空船重量增加约300t。这样,综合以上“长城”号船所增加的空船重量,两船的差值便多达1200t。

表2-1 “长城”号与“棕榈”号的比较

序号	项 目	“长城”号	“棕榈”号	备 注
1	总长 $L_{oa}(m)$	197.15	191.29	
2	垂线间长 $L_{pp}(m)$	183.00	182.80	
3	型 宽 $B(m)$	23.00	22.86	
4	型 深 $D(m)$	14.30	13.50	
5	设计吃水 $T(m)$	10.90	9.45	
6	方形系数 $C_b$	0.812	0.832	
7	保证载重量(t)	27000	27000	合同条款保证值
8	实际载重量(t)	27226	27045	不包括顶边舱
9	货舱容积( $m^3$ )	34259	33921	
10	15t/只卷筒(只)	1245	755	日船装一层
	钢板装载量(t)	(18675)	(11325)	“长城”装二层
11	空船重量(t)	8018 (8203)	6755	倾斜试验值 ( )内为设计值
12	主机型号	B & W8L55QFC	同左	
13	航速:			
	服务航速(15%海上储备)(kn)	14.5(15)	14.7(14.75)	( )内为试航换算值
	20%载重量试航航速(kn)	16.3(17.35)	16.8(17.15)	左列为合同保证值, ( )内试航换算值
14	能否隔舱装载矿砂	能	不能	
15	满载排水量 $\Delta(t)$	35237.00	33874.00	$\rho/\rho_a=1.031$

由于“长城”号的空船重量比日船重得较多,致使主尺度增大,造价也就增大。加上设计中对航速考虑较多而选取了较小的方形系数( $C_b=0.812$ ,而日船的 $C_b=0.832$ ),因此主尺度的选取就不及日船经济合理。例如从在大湖区航行时“吃水26英尺(7.9m)的淡水载重量”这一指标来看,虽然船东事先对此未曾提出要求因而未作为设计指标来考虑,但与日船相比,由于空船重量较重,方形系数又较小,使设计吃水达10m,与7.9m的吃水差值达2.1m,相应的淡水载重量仅18708t。而日船设计吃水为9.45m,与7.9m的吃水差值仅为1.55m,其相应的淡水载重量为20496t。两船相差达1788t,即淡水吃水为7.9m时,“长城”号比日船要少装1788t。由此可见,在空船重量和7.9m淡水载重量方面,“长城”号与日船相比,还是有一定差距的。

通过以上的分析比较可见,为了能与国外造船业相竞争,很重要的一点就是要尽最大的努力来减小空船重量。这方面除了国产材料(如钢板采用0.5mm进位,生产合格的高强度合金钢等)应跟上去以外,从船舶设计的角度来看,适当增大方形系数,以压缩吃水,适当降低双层底高度,进而降低型深,使船的主尺度更为紧凑合理,都是可以考虑的技术措施。

## §2-2 中山-深圳航线150客位客船

中山-深圳航线小型客船的船东是广东省中山航运公司。该船已于1986年初投入营运,

设计工作的各阶段情况简述如下。

### 一、船东要求——设计任务书

该船设计任务书的主要内容为：

1. 航线 广东中山市(石岐)-深圳(蛇口)、珠海等；
  2. 船尺度  $L_{\text{总}} \geq 40\text{m}$ ,  $T \leq 1.8\text{m}$ ,  
 $B \approx 7.6\text{m}$ ,  $D \approx 3.3\text{m}$ ;
  3. 旅客 180人, 船员 16人；
  4. 客舱及船员舱设空调, 标准较该地区现有的客船适当提高；
  5. 航速  $V_s \geq 12\text{kn}$ ;
  6. 主机 6160ZC柴油机二台；
  7. 船体结构 符合长江船规范A级, 并适当加强；
  8. 稳性 按沿海Ⅲ类船要求；
  9. 消防、救生等按规范配齐。
- 据此进行设计。

### 二、调查研究, 明确设计思想

根据任务书的要求, 为了使新船能更好地满足船东要求, 深入调查研究是设计前非常重要的基础工作之一。对设计任务书初步分析可见, 船东对该船的稳性及客舱标准要求较高, 根据航线特点及今后发展情况, 认为船东的要求是合理的。在调查之前, 根据设想, 拟推荐船东采用双体船型, 并做了两个方案(标准高、低之别), 提供船东选择。后来, 在调查中了解到, 从石岐港进入珠江前, 有一闸门, 闸门的最大宽度为13m, 方案中的双体船型宽为12m, 船员认为过闸有一定困难, 而如果双体船的宽度再减小, 其优越性就显示不出, 再加上造价比单体船要高, 因而船东希望采用单体船型方案。

对单体船方案, 通过各方面的调查与多次座谈, 进一步明确了任务书中的几个关键问题。

#### 1. 航速要合理

船的航速 $V_s \geq 12\text{kn}$ 是关系到经济效益的一个重要指标。

从中山(石岐港)到深圳(蛇口), 航程是43n mile, 其中自石岐到珠江口为内江, 航程14km (7.56n mile), 水深2m, 因船多江窄, 船的航速限制在8.0kn以下, 一般船要航行近1h。

如新船航速只有10kn左右, 则从闸口横渡珠江口约35n mile的航程, 需要3.5h, 就是说单航次时间为4.5h。要当天来回, 开船时间需定在早上7:00左右, 下午1:30往回开。由于早上开船时间太早, 四周小城镇的旅客当天早班汽车赶不上开船时间, 为此不少旅客将改乘汽车或者绕道其他航线, 这就限制了这条航线的客源, 影响了船的经济效益。如航速提高到12kn以上, 早上开船时间推迟1h左右, 这对吸引更多的旅客到这条航线上来是大有好处的。因而船东提出为提高航速, 甚至可适当减少旅客人数, 主机功率也可适当增加, 以确保新船航速能达到12kn以上。

#### 2. 船上空调要保证可靠, 舱室标准适当提高

这条航线地处经济特区, 旅客要求比较高, 再加南方夏天气温高, 客船采用空调是人民

生活水平提高与经济发展的必然趋势。

现有的广东省内河小客船不仅没有空调,且条件也较差(如不少客舱是所有床铺连成一片的大统舱),需要适当改善与提高,同时空调系统要保证可靠,并要求达到室内外温差 $6^{\circ}\text{C}$ 的降温效果。

根据实际营运情况,新船的舱室布置标准提高固然重要,但空调设备的可靠性更应重视。如空调常出故障,将比无空调船更差。因此,空调可靠性及效果问题,将是新船投入营运后影响最大的因素之一。

### 3. 造价要控制

因为现在是贷款造船,对船的造价应认真核算、进行控制。否则该船将难于造成,造成后的营运成本也高,船东不能接受。

### 4. 几点具体考虑

行李舱一定要设置,且容积要足够大。希望面积不小于 $25\text{m}^2$ ,要满足许多旅客携带电视机、电冰箱等家用电器及其他物品的需要,这也是吸引旅客乘船的有利条件之一。

除正常旅客人数不少于150人外,在超载时可加设20个帆布床的散席客位,且餐厅中的20个就餐座位可计入座席人数,以提高该船在节日客流高峰时的经济效益。

注意外型美观新颖,要以新的特色出现在广东内河航线上。

## 三、草图设计

根据船厂及船东的要求,本船初步设计前需做草图设计。设计部门应提供以下几份资料:船体简要说明书,总布置草图,主要机电设备清单。这些资料主要是提交船厂作核算造价,并送交船东进行初审之用。船厂及船东也可以此作为讨论造价的依据,所以这阶段设计也可称报价设计。

从总体设计角度看,“中山-深圳航线客船”的草图设计按以下顺序进行的。

### 1. 选取合适的型船

考虑地区特点,以广东350客位客船(VGH404)作型船。该船主要数据为:

$L_{oa}$  42.35m,  $L_{pp}$  39.1m,  $B$  8.0m,  $D$  2.7m,  $T$  2.0m,  $\Delta$  317.7t, 载重量 $DW$  6t, 航速 $V_s$  23km/h( $\sim 12.4\text{kn}$ ), 旅客 350人, 船员 35人。

主机型号 6NVD36-1AU 最大持续功率  $1 \times 428\text{HP}$ 。

各部重量: 船体钢料 $W_b$  116.8t 木作舾装 $W_f$  62.0t

机电设备 $W_m$  32.0t 空船重量 $LW$  211.0t

### 2. 从阻力及航速出发初步确定主尺度

根据型船资料,初步选定新船的排水量 $\Delta = 318$ 、286、275、254t四个方案,并定出相应的主尺度,选用6160ZC主机( $2 \times 185\text{HP}$ ),并用海军系数法初估各方案可达到的航速,计算结果表明 $\Delta = 254\text{t}$ 方案可满足 $V_s \geq 12\text{kn}$ 的要求,并有一定的裕度,因而以此方案作为基础。

该方案的主尺度为:

$$L_{oa} = 40\text{m}, \quad L_{wl} = 37.5\text{m}, \quad L_{pp} = 36\text{m},$$

$$B = 7.6\text{m}, \quad T = 1.8\text{m}, \quad D = 3.3\text{m}, \quad C_b = 0.50。$$

### 3. 绘制总布置草图

如新船主甲板上有两层半上层建筑,则可布置旅客为196人(包括散席及座席40人),船员

18人,各种舱室的标准均较现有广东客船有所提高,能满足船东的要求。

#### 4. 估算各部分重量

根据新船的总布置图及型船资料估算得新船的各部分重量为:

①船体钢料重量 $W_b = 110.0t$ ;

②木作舾装重量 $W_z = 62.0t$ ;

③机电设备重量 $W_m = 40.0t$ ;

④空船重量 $LW = W_b + W_z + W_m = 212.0t$ 。

⑤载重量 $DW = 38t$ ,

分项进行估算得到:

旅客、船员及行李重量约21.4t;

载货量5t;

食品1.5t;

淡水5t;

燃油3t;

备品、供应品等取2.0t。

⑥新船的排水量

$\Delta = LW + DW = 250.0t$ (重量角度);

主尺度所提供的 $\Delta = 254.0t$ (浮力角度)。

则排水量储备为4t。

根据以上各部分重量的估算后,从浮力与重量的平衡情况,可以认为新船主尺度的选取是适宜的。

#### 5. 各项性能核算

主要是估算初稳性与快速性。

新船初稳心高 $\overline{GM}$ 约为1.0m,估算出有效功率曲线 $P_e = f(V_s)$ ,并利用MAU4型螺旋桨图谱估算推力功率曲线 $P_t = f(V_s)$ 和螺旋桨要素,可知航速将达到12.3kn以上。

#### 6. 编写简要的船体说明书,编制主要机电设备清单

至此,草图设计算是完成了。

### 四、初步设计

初步设计在草图设计完成后,在听取了船厂及船东意见的基础上进行。船东根据草图设计提供的资料,经研究商讨,为保证船的使用要求及性能,同意将旅客额定人数减为150人,将主机的最大持续功率增加到250马力。

这一阶段该船在总体性能方面,主要完成了以下几方面的工作:

#### 1. 对船的主尺度进一步分析确定

①船长 $L$ 。因为船长对船体钢料重量、阻力性能及总布置等影响较大,为此作了四个方案进行比较分析。

取 $L_{pp} = 35、37、39、41m$ ,相应的 $\Delta = 263、270、276、283t$ 四个方案, $C_b$ 都为0.52。

估算 $V_s = 13kn$ 时的有效功率 $P_e$ 值。从计算可知,船的有效功率 $P_e$ 值随着船长的增加而下降,当 $L_{wl}$ 自38m加长到40m时, $P_e$ 下降3%左右,航速相差0.15kn,而从钢料重量看,船长增

加2m, 钢料增加近7t, 约占钢料总重的6%左右。再从总布置来看,  $L_{wl}$ 为38m时已能将各种舱室布置好, 甲板面积基本够了。权衡阻力、船体重量(造价)、布置(使用要求)等几个方面的情况, 最后选取了 $L_{pp}=37m$ 的方案。

②船宽 $B$ 。从布置、浮力和稳性等方面考虑取8m较为合适。

③设计吃水 $T$ 及型深 $D$ 。从航道对吃水的限制, 螺旋桨效率等方面分析, 草图设计中选定的 $T=1.8m$ 是合适的。

考虑主甲板下客舱层高及稳性等因素, 草图设计中取型深 $D=3.3m$ 也是比较合适的。

④方形系数 $C_b$ 。在确定 $L_{wl}=38m$ 后, 选取了 $C_b=0.48, 0.50, 0.52$ 和 $0.54$ 四个方案, 进行了阻力计算, 可知 $P_R$ 值随 $C_b$ 下降而减少,  $C_b$ 值大体在 $0.5\sim 0.52$ 之间比较适宜, 这与一些双桨客船的统计数值较符合。考虑到重量与浮力的平衡, 取 $C_b=0.507$ 。

其他船型系数的选取, 考虑了各种性能要求以及型线的光顺协调。

经重量估算, 在现尺度下, 船的设计排水量 $\Delta=270t$ 。

## 2. 型线设计

本船为双桨船, 型线以长江航线和国外优秀的客船型线作母型, 采用电子计算机辅助型线设计, 首部横剖面取偏V形, 首尾端水上部分型线适当加大外飘, 以加大甲板布置面积。

根据型值进行了有关静水力性能计算。

## 3. 总布置设计

初步设计的总布置图中, 在船主体部分设有七个水密舱室, 船高度方向有底舱、上甲板、遮阳甲板、驾驶甲板、顶棚甲板。四个客舱内共布置旅客158人, 20个散席活动床可以临时架在上甲板及遮阳甲板客舱内。

船员(16人)房间设在驾驶甲板上和遮阳甲板后部, 与旅客分开, 避免互相干扰。另外小卖部、业务室内各住一船员。

厨房在上甲板后部, 上甲板前部设有休息室。船员住舱及浴厕区有内通道, 便于风雨天气行走。

## 4. 船的主要技术性能

①航速。新船试航航速为12.3kn。设计螺旋桨时, 取主机最大持续功率 $P_b$ 的90%, 即每台主机以225HP进行计算, 留有10%的功率储备。

②稳性。船在各种典型载况时的 $\overline{GM}=0.9\sim 1.0m$ , 大倾角稳性按沿海Ⅲ类计算, 稳性衡准数 $K$ 值均大于1.0。

③抗沉性。经计算校核, 满足一舱制要求。

其他的设计项目按有关要求完成。

## 五、初步设计审查讨论意见

由船东、船厂及船检部门对初步设计进行审查讨论, 会上讨论的主要问题是稳性。

### 1. 关于稳性衡准数 $K$

初步设计提供的技术文件表明,  $K$ 值已符合我国“海船稳性规范”的要求( $K$ 值超过1.0, 但裕度很少), 船东根据广东地区容易出现突发大风的气象情况, 提出新船的 $K$ 值至少应大于1.2, 最好达到1.4。

### 2. 关于静稳性曲线的几个特征数



船舶稳性规范要求船的静稳性曲线消失角 $\phi_v > 55^\circ$ , 静稳性力臂 $l_s$ 最大值所对应的横倾角 $\phi_{\max} \geq 30^\circ$ 。由于本船的 $B/T$ 较大, 难以满足要求。

经过讨论协商, 船东同意可以采取适当加大型宽, 压缩船上层建筑长度, 降低船员居住标准, 减少一层甲板上的浴厕所等总布置上的措施, 以满足 $K \geq 1.2$ 的要求。同时经过协商, 船检部门同意新船的稳性要求可以根据“国际海上人命安全公约”(1974年)中的海大167(特Ⅳ届)决议“关于船长不足100m客船和货船完整稳性的建议案”进行核算, 该公约没有消失角 $\phi_v$ 数值的规定, 且最大复原力臂所对应的倾角允许为不小于 $25^\circ$ 。

此外, 还对布置、结构、机电等提出了一些修改意见。

## 六、技术设计

本船技术设计中主要要解决稳性问题。经过多种方案计算比较分析, 对初步设计作了以下几点修改:

①总布置方面。缩短上层建筑, 压缩部分舱室, 使内部布置更加紧凑。为此将船员全部集中布置在驾驶甲板, 一个房间住4人; 遮阳甲板后部的浴厕所取消; 只设一个机舱棚于船中线面处; 取消内走道, 上甲板后部各舱室均由外走道出入; 上甲板前端的休息室取消; 但应船东要求, 在遮阳甲板后部增设餐厅(20人), 既可供旅客用餐, 又可作为船员活动、看电视的场所。客运高峰时还可以作为超载客座位。底舱前客舱改为货舱兼散席客舱, 设20个床位。目的是减少船的受风面积, 降低重心。

②在舱底增加10t固定压载。

③满载出港时的油水储备量增加到21.40t, 到港时加压载水, 以保持船有较低的重心。

④型宽 $B$ 增加0.2m, 以适当加大 $GM$ 值。修改后的总布置如图2-2所示。

船的主尺度及系数如下:

总长	$L_{oa}$	40.00m
水线长	$L_{wl}$	38.00m
垂线间长	$L_{pp}$	37.00m
型宽	$B$	8.20m
设计吃水	$T_d$	1.70m
结构吃水	$T$	1.80m
设计排水量	$\Delta$	287.0t
型深	$D$	3.30m
方形系数	$C_b$	0.54
水线面系数	$C_{wp}$	0.76

技术设计的各项工作根据上述的主要要素、总布置图、型线图、基本结构图等开展, 完成后送船检审查。船体、轮机、电气各专业的技术文件都按送审图纸目录完成。

## 七、施工设计

船检部门对送审图样和技术文件进行审查后, 提出审核意见书。对稳性、结构、救生、消防、轮机、电气等都提出了一些意见, 但未发现有重大技术问题。设计部门与船厂经过讨论并按规定给船检一份复函, 说明情况及按船检部门意见的修改方案, 然后船厂根据送审的

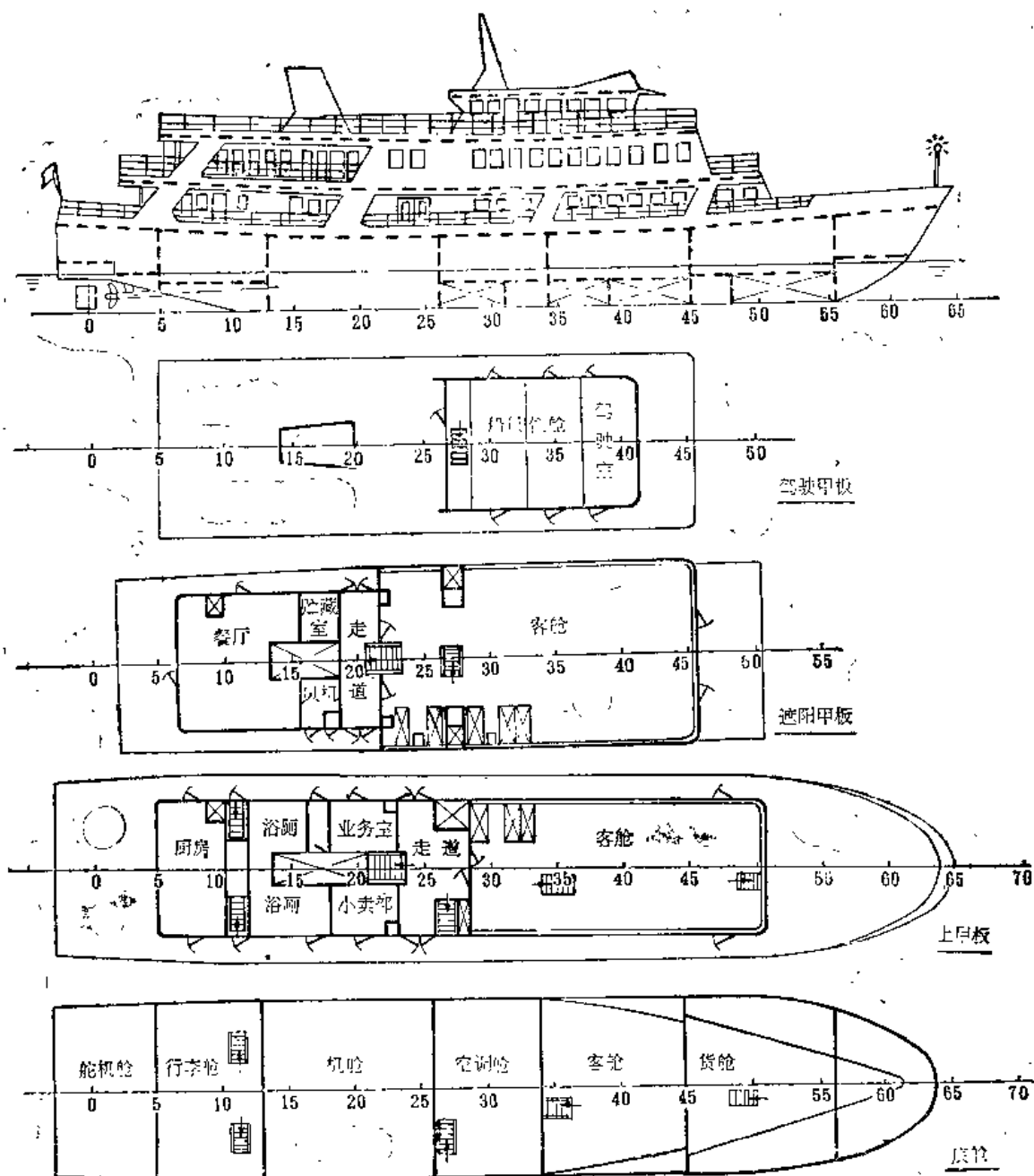


图2-2 中山-深圳航线客船技术设计时总布置图

技术设计图纸资料(已经船检部门盖章认可)及修改意见进行施工设计,最后完成建造船所船需要的各种图纸资料。

从上面的介绍可以看出,该船的排水量和主尺度,以及总布置等,在草图设计、初步设计和技术设计三个阶段都有所变化,这在船舶设计中通常是会发生的,这是因为一方面随着设计的深入,发现原先的考虑有不完善处;另一方面船东也会不断提出一些新的要求(特别是国内船东),从而造成船的某些技术形态及要素发生变化。

## 八、使用反映

根据对该船的随船调查,其航行及营运的主要情况可归纳如下:

### 1. 优点

①该船试航时因舷侧风力超过3级、两台主机功率不平衡(相差25~30%),加上浅水影响等因素,试航航速为11.67kn。但在实际航行中,按航距核算,服务航速能达到12kn,满足使用要求。

②初始投入营运时,满客情况多,经济效益高。该船按150客位设计,交船时船检证书定额客位为200人。按经济核算,营运中只要有70~75名旅客即可保本。且餐厅生意好,其面积、座位符合实际要求。

③船的总体布局、船内交通、门的开设及通道安排均较好。船的标准适合该地区现有水平,且船内活动余地较大,较适用,旅客及船员都比较满意。

④舵效很好,船的回转直径小,船靠离码头操纵方便。集中空调的效果相当好。

### 2. 问题及需改进之处

①后甲板面积似乎大了些,如能设计成载运一、二辆小汽车就更好;行李舱太大,且下舱的梯子太陡。

②中部干舷太高,中途旅客上下不便;首干舷也嫌稍高。

③驾驶室通常为一人操纵,仪器布置应集中;另外机舱通风应加强。

## 复习思考题

1. 船东对“长城”号、“中山-深圳客船”等2艘船提出的使用要求各自是哪些?
2. 对2艘船主尺度的限制条件各为什么?
3. 在2艘船中选择主尺度及系数时考虑了哪些因素?
4. 为什么“长城号”不用第三货舱装压载水,而改用提高双层底及舷顶边舱?
5. 什么叫“隔舱装载”?“长城号”采用隔舱装载矿砂有什么优缺点?
6. “长城”号为保证航速指标,采取了哪些措施?
7. “长城”号与日本“棕榈”号比较,有哪些优缺点?
8. 为什么“长城”号的空船重量比日船大了近1300t?
9. “中山-深圳客船”的几点设计思想(保证航速 $V_s \geq 12\text{kn}$ ,空调可靠、舱室标准适当提高;控制造价及注意保证行李舱容、超载旅客和外型美观等)是根据什么确定的?
10. “中山-深圳客船”初步选择 $\Delta$ 和主尺度时考虑了哪些因素?
11. 为什么“中山-深圳客船”初步设计时取 $L_{pp}=37\text{m}$ ,  $C_b=0.507$ ?
12. 为什么“中山-深圳客船”的总布置在技术设计与初步设计阶段不同?修改的主要原因何在?
13. “中山-深圳客船”的稳性在哪些方面不能满足规范要求?为提高稳性采取了哪些措施?
14. 根据2艘船的设计实例,试归纳船舶设计的大致过程及其特点。

## 第三章 船舶设计的过程和原则

船舶设计一词，各种说法不尽相同，但就其内容、特点及工作范围来说，大体包括如下几个方面的含意：

①船舶设计是指根据设计任务书(由用船部门，又称船东或业主提出)的要求，通过调查、分析、计算、绘图等的工作，从选择船的尺度、线型、结构、动力装置，设备以及其它技术要素等，直至作出船舶建造和使用中所需的全部图样和技术文件的过程。

②从广义来说，船舶设计也包括设计任务书的制订，即用船部门根据使用需要，考虑技术与经济条件等实际情况，在提出任务书之前进行的技术经济论证工作。还包括船舶的完工文件及投入营运后实践效果的反馈等工作。

③如象任何一个复杂的工程构造物一样，船舶设计的过程是一个多次反复、逐步深入的过程。这个过程有如螺旋状的深化发展。根据这一规律，一般将设计的整个过程划分成若干个设计阶段。

④船舶设计应遵循国家及国际间颁布的各有关规则，规范及公约的规定，并使新船在保证安全、可靠的条件下，在经济性、使用性、舒适性及工艺性等各个方面达到预期的要求。

⑤船舶设计是创造性的劳动。在设计中应广泛吸收已有船舶的使用经验教训及与船舶有关科学技术的最新成就，不断提高船舶的各项性能，使新船在某些方面能优于同型的已有船舶，而绝不是过去事物的简单重复。

### §3-1 船东的要求——设计任务书

设计任务书是新船设计的基本依据。

#### 一、制定设计任务书之前的论证工作

从广义来说，确定建造一艘新船，需要做多方面的分析论证工作，包括：

##### 1. 运输类型论证

一般说，运输有五种型式：水运、铁路、公路、航空、管道。要完成所需的运输任务，必须首先研究采用哪一种或哪几种联运的运输型式，以便取得投资最少，成本最低的经济效果。

通过分析比较，如证明船运不合算，那么即使设计出一艘很好的船来，从全局上，即从国家或地区的整体上看，也一定是失败的。

##### 2. 船型论证

如已确定由水路运输来承担运输任务。接着要考虑的是采用何种船型运输。若是货运，究竟是用货船、集装箱船、顶推分节驳，还是载驳船等等，要进行探讨、论证。对各型船舶进行的技术经济论证，通常是根据经济性指标来筛选方案。

##### 3. 任务书论证

如果决定用普通货船来承运，还要探讨货船的大小、航速的高低、艘数的多少等等，以

最经济、最现实的方案作为制订任务书的基础。

## 二、设计任务书的主要内容

经过上述分析论证后提出新船设计任务书。表3-1是某多用途船的设计任务书。该船系出口的多用途船,任务书内容系根据国外客商的要求归纳而成。

表3-1 设计任务书

17500吨载重多用途不定线杂货船设计任务书	
一、航区、航线	无限航区,不定线航行。
二、用途	本船应适于装载下列货物:集装箱、包装杂货、散装谷物、工业成品、原材料、成形木材等。在装载重货时,载重量不低于17500t。此外,由于本船在营运中,集装箱运输占有相当比重,故在设计时,应有利于集装箱的安放及装卸。
三、货舱容积	包装容积不低于25000m <sup>3</sup> 。
四、船级	除须满足中华人民共和国《船舶检验规则》有关规范外,还应符合有关国际公约及规则。
五、主机	型号: B&W6L67GF;台数: 1台;功率: 10200HP;转速115r/min。
六、航速	在静水中、风力不超过Ⅲ级时的满载试航航速不低于15.9kn。
七、续航力	12000n mile。
八、起重设备	采用25t电动液压起重机,以便利集装箱的装卸。
九、舱口盖负荷	上甲板舱口盖的设计负荷为2.5t/m <sup>2</sup> 。
十、船员人数	高级船员: 14人;一般船员: 23人;备员: 2人;总计: 39人。
十一、舱室设施	1.居住舱室: 本船每人都应有单独住舱。船长居住舱室共四间: 办公室、卧室、卫生间及单独会客室。轮机长、大副、二管轮各设有办公室、卧室及卫生间三间。 2.公共厅所: 设置二间餐厅及二间休息室,供高级船员及一般船员分别使用。二间餐厅应一次可供20人同时进餐。 3.生活设备: 船上各舱室应有空调设备。厨房分二间,供高级船员及一般船员分别使用。船上设有病房,病房内有专用病床。病房旁边还应设单独小药房一间。

通常,设计任务书的内容包括以下几个方面:

### 1. 航区、航线

是指船舶航行的区域。海船航区常分为沿海、近洋、远洋等。按海船稳性规范分为Ⅰ、Ⅱ及Ⅲ类航区,其中Ⅰ类航区又常称为无限航区。内河船常按水系名称来分,如我国长江水系根据风浪及水流情况,分为A、B、C级航段。不固定航线的船(游荡船或不定航线船)通常提出主要航行的航线或航区。定航线船通常给出停靠的港口等等。

### 2. 用途

主要是指新船的载重数量与性质。例如客船、客货船包括旅客人数(各等级分配数)、舱室标准、载货吨数及舱容要求等等。货船包括货物的数量及理化性质。就数量来说,任务书中有时给出“载重量”,即包括货物、人员及行李、燃料、滑油、水、食品等的重量,也有称总载重量的。有时给出“载货量”,即仅指货物的重量,也有称净载重量,即能够产生经济效益的部分。货物有多种多样,分类方法不尽一致。通常可以分为:

①散货。包括干货,如粮食、煤炭、水泥、矿砂等;液货,如原油。

②杂货。主要是指什杂百货等,包装形式有包、捆、桶、箱(集装箱)等。

③特殊货。包括危险品、重大件货、冷藏货、化学品、活牲畜、液化气(天然气)等。

在货船的设计任务书中,一般货物是给出载重吨数,而集装箱则为箱数。

货物不同,对设计船的要求有所不同。如对于杂货,通常用积载因数 $C$ 来表征货物所需的容积。 $C$ 的单位是 $\text{m}^3/\text{t}$ ,即每吨货所要求的货舱容积数。货物不同,包装形式不同, $C$ 的数值也不同,表3-2为常见货物的积载因数。显然, $C$ 越大,对新船的舱容要求越多,船的主尺度相对也就越大。设计任务书中除提出载货量(或载重量)要求外,通常还同时提出 $C$ 值或货舱容积 $V_c$ 的要求(指明包装形式)。

表3-2 常见货物的积载因数 $C$

货 物 种 类	包 装 型 式	积载因数 $C$ ( $\text{m}^3/\text{t}$ )
铁 矿 石	散	0.33~0.42
磷 矿 石	散(块)	1.11~1.25
水 泥	袋	0.89~1.06
	散	0.67~0.78
煤	散(粉)	1.17~1.34(1.39~1.48)
砂	散	0.56~0.64
钢 材	型材	0.56~0.84
	钢板	0.22~0.45
机 器	箱	~1.39
小 麦	散	1.22~1.34
羊 毛	包	1.60~1.95
黄 麻	包	1.53~1.81
豆 类	袋	1.31~1.75
食 盐	散	~1.03
茶 叶	箱	2.50~2.79
大 米	袋	1.34~1.45
花 生	袋	3.34~4.18

对液货用密度 $\rho$ 表征其理化性质,单位是 $\text{t}/\text{m}^3$ ,如一般原油的 $\rho$ 为0.89左右,当然,还要看产地、含杂质的情况等。

有时还会对船提出某些特殊要求,如装大件货、重货等。此外,如货为集装箱要指明箱的尺寸(或型号),而对多用途船要指明各种用途的具体要求。

### 3. 船型

这里的船型是指船的建筑特征,包括上层建筑型式、机舱位置、货舱划分、甲板层数、甲板间高,等等。

### 4. 船级

是指按什么规范,哪一级设计新船。注意不同规范从不同角度提出的要求。如在船体结构方面,海船是用《钢质海船建造规范》来要求的;而对内河船则用内河船规范来要求。稳性方面,《海船稳性规范》对海船按其距海岸距离分Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类航区而要求各有不同,内河船也有相应的稳性规范。其他如《海船分舱和破损稳性规范》、《载重线规范》等对相应的性能都有所规定。对于客船,还按航线及航行时间分为一、二、三、四类船,国际航线的船舶还应

符合有关的国际规范与公约，以及有关国家、地区、运河等颁布的特殊规则，如《国际海上人命安全公约》、《国际载重线公约》、《国际防止船舶造成污染公约》、《苏伊士运河规则》、《巴拿马运河规则》、《美国海岸警卫队对外国船舶的规定》等等。

航行于国际航线的船舶依照国际惯例办理船级业务，应按《海船入级章程》申请入级，经检验合格后，发给相应的船级证书，才能进行国际航行。

申请入级的船舶，在建造前须将船舶检验部门(我国是船舶检验局，国外大多是船级社)所规定的船体、轮机、电气、设备等设计图纸提交审查。送审的图纸及技术文件应符合规定的送审目录。

设计图纸按退审意见修正并经船检部门盖章同意后，才能施工建造。从施工开始到完工，应接受船舶检验部门的技术监督。投入营运后，还需按规定定期进行检验。国内船舶应遵照船舶检验局颁布的《船舶检验工作条例》申请检验。经检验合格并发给相应证书后，船舶才能参加营运。

世界上能接受入级申请的船检单位很多，比较著名的有：

ZC——中华人民共和国船舶检验局

LR——英国劳氏船级社

NK——日本海事协会

BV——法国船级社

USSR——苏联船舶登记局(PC)

GL——西德劳氏船级社

NV——挪威船级社

AB——美国船级社

#### 5. 动力装置

主机类型是指选用柴油机、汽轮机，还是燃气轮机；柴油机是选用高速机、低速机还是中速机，以及什么型号等等；

台数通常指单机还是双机。

#### 6. 航速、续航力、自持力

船的航速常有试航航速与服务航速之分。下面简要加以介绍：

试航航速 $V_t$ 一般是指满载试航速度，即主机在最大持续功率情况下，静止深水中(不超过三级风二级浪)的新船满载试航所测量得的速度。现在有的船(特别是大船)的试航状态常取为压载状态；也有的客船取半载或某一载况进行试航，然后经换算得出满载状态时船的试航航速。

服务航速 $V_s$ 是指船平时营运所使用的航速，一般 $V_s$ 是一个平均值。这是由于：海上总是有风浪的，且风浪大小变化多端；主机不常开最大持续功率以保护主机；船的装载也是变化的。所以 $V_s$ 是个统计值。通常 $V_s$ 较 $V_t$ 慢0.5~1.0kn。也可以根据试航航速换算得到。

续航力一般是指在规定的航速或主机功率下，船上一次装足的燃料可供船连续航行的距离；对蒸汽机与汽轮机船还有一个锅炉用淡水储备量的问题，规定续航力是为了计算燃油的储备量。燃油储备量与航速及主机功率有关。这里顺便提一下，据以计算续航力的航速，民船与军舰是不同的。民船用试航航速(或服务航速)。而在军舰设计中有另两个航速指标，一是最大航速，考虑作战需要而定，是主机发出最大持续功率时的航速；另一个是巡航速度，

主要是从经济性出发而定,军舰的续航力是根据巡航速度及其对应的主机功率来计算的。

自持力有时也叫自给力,指船上所带淡水、食品等能在海上维持的天数。

在运输船舶设计中,通常只提续航力,据此计算船上需带的油、水及食品等。

#### 7. 结构

指船体与上层建筑的材料,船体结构型式、甲板负荷、特殊加强等的要求。

#### 8. 设备

指起货设备的能力及型式,如采用吊杆还是克林(Grane)吊,有无重吊等等。还有舵设备、舵机及传动型式、减摇装置、避风、空调、取暖、导航、通讯等方面的要求,任务书中往往都有规定。

#### 9. 性能

如稳性指采用什么规范,哪类航区;

浮态是指首尾吃水的要求;

抗沉性明确能满足几舱破损进水不沉的要求;

耐波性、操纵性等等。

#### 10. 船员

编制人数:包括干部船员与一般船员。生活设施标准:房间数及面积大小,家具配置等情况。同样吨位的船,往往人数不同,生活设施的标准也差别很大。

#### 11. 尺度限制

不少任务书中对设计船的某些尺度有所限制,设计中必须满足。如前面讲到的中山-深圳航线客船的宽度和吃水就都有限制。下面对船的尺度限制原因介绍一二。

船长 $L$ ,因泊位短、港域小、河道曲折而调头困难及通过船闸、船坞等原因,而使船长或最大长度有所限制。

吃水 $T$ ,受航道与港区的水深所限制。如上海港不赶潮水只能是6m;而赶潮水,则船的最大吃水也只能是9.0~9.5m。世界上不少港口限制船的吃水在9.14m(30英尺)以下。内河船吃水受限制的情况更为突出。

船宽 $B$ ,主要是过运河、过闸门等,如美国的圣劳伦斯海道要求 $B > 23.16\text{m}$ 。巴拿马、苏伊士运河等对宽度、吃水也都有限制。

船的水上部分高度,主要是考虑过桥,如南京长江大桥为28m,珠江大桥为8m等。

设计任务书的内容大体如上所述,此外,造价限制往往也是设计船舶要考虑的一个重要因素。

设计任务书的详简及要求的宽严,要根据船东的具体情况,新船的特点及船东与设计建造部门的关系等因素而定。

设计任务书是进行船舶设计的基础,是关系到新船成败的关键,如果任务书中对新船的使用任务及技术要求提得不合理,即使设计中尽了很大努力,也不可能设计出一艘成功的新船,甚至会造成重大的损失。因此在设计中如果发现了新船使用任务与技术要求方面的重大问题,应及时向船东反映,协商后妥善解决。

### §3-2 船舶设计过程

船舶设计过程具有逐步近似及不断深化的特性,而且船舶设计是一项比较复杂的工程设



计,设计工作量大,设计周期长,涉及的专业面广。为了使设计有步骤有层次的开展,必须把设计全过程划分成几个设计阶段。

### 一、确定船舶主要要素的过程

船舶主要要素包括的内容比较多,无明确定义,通常在总体设计中是指排水量 $\Delta$ ,载重量 $DW$ ,船长 $L$ ,型宽 $B$ ,吃水 $T$ ,型深 $D$ ,方形系数 $C_b$ ,航速 $V$ 及主机功率 $P$ 等等。

船舶主要要素对船舶技术经济性能影响很大,是船舶设计中应首先解决的最重要的工作。主要要素选择得合宜与否,是影响设计全局乃至新船成败的一个重要因素。因船的主要要素涉及全船各个方面的技术性能及要求,而各个专业的技术形态反过来又影响各主要要素,所以确定船的主要要素是一个不断反复、逐步近似的过程。

描述设计过程中逐步近似的特点,常用设计螺旋线来表示。设计螺旋线因船的使用任务要求不同而有所差异,图3-1是一般货船确定一个方案的主要要素的一种设计螺旋线,该船在设计任务书中已确定载重量与主机类型等。

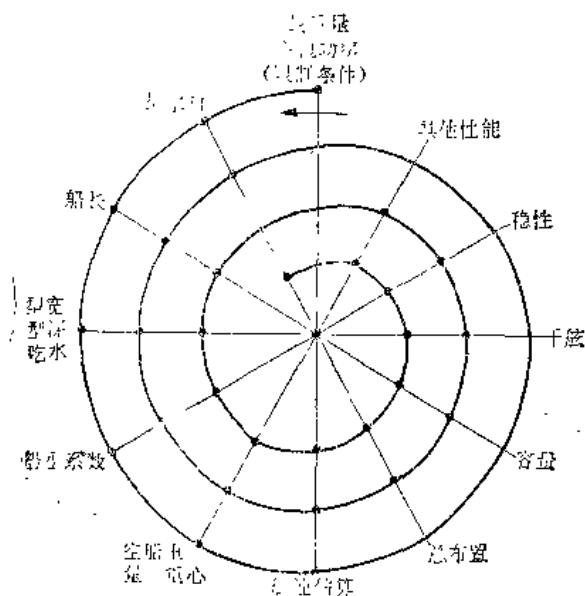


图3-1 设计螺旋线

图3-1中设计螺旋线表示的意思是：如任务书已给定载重量 $DW$ 及主机类型(包括功率及转速)，此时可首先参考型船及有关资料，初估得一个排水量，并据此初估船长、型宽、吃水及型深，初选一个方形系数，并使其满足浮性方程，即 $\Delta = \rho K_a L B T C_b$ 。然后，根据这套主尺度，参考型船及有关资料，估算空船重量，求出船的排水量(重量角度)，看其是否与第一步初估得的排水量(浮力角度)相吻合，如有差别，再进行主尺度及系数调整，直至排水量符合要求为止。这就是船的重量与浮力平衡的过程。

根据已满足重量与浮力平衡后的一套主尺度进行航速估算、总布置、容量估算(包括满足一定的舱容及甲板面积等等)、干舷检验、稳性及其他性能校核等，即校核船的各个主要性能是否满足使用要求。在校核中，如发现某一项或几项性能不符合要求，则必须调整船的主尺度及系数，再重复一次上述的循环，直至设计者认为满意为止。

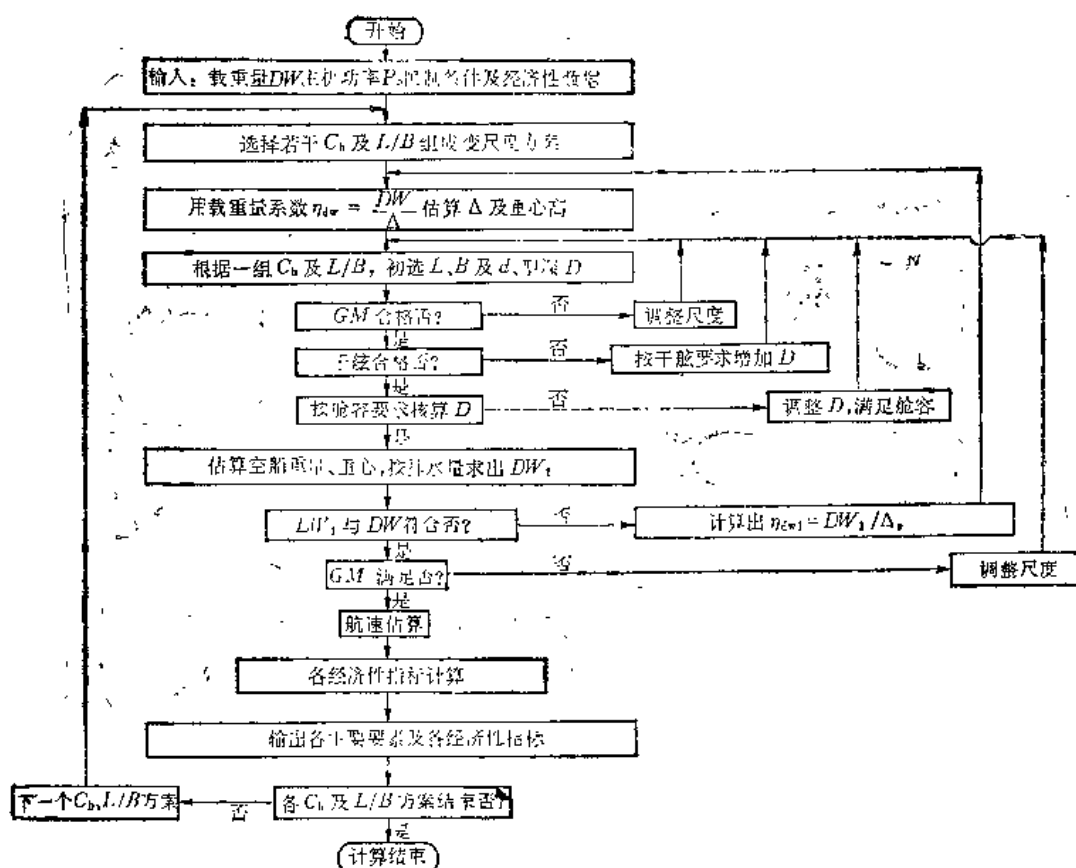


图3-2 计算框图

当然,在进行上述设计过程时要尽可能顾及到下一步的设计和船、机、电、设备等方面的要求,以及建造施工工艺,造价与使用性能等等各有关方面的技术问题。

选择或确定一个要素,常常要受多方面因素的制约和影响,如船长 $L$ ,它的大小既与船体钢料重量有关(影响空船重量及造价),又是决定船的浮力的主要因素之一,同时对航速、总布置、船体形状、操纵性、耐波性等都有重大影响,还常受到航道、港口等的限制。因此船长 $L$ 需要权衡各种因素,有时还要作多种方案进行对比分析才能定下来。其他要素,如型宽 $B$ 、吃水 $T$ 、型深 $D$ 、方形系数 $C_b$ 等等也是与多种因素相联系的。选择确定一组合适的主要要素,是设计者根据船的使用任务要求与特点,全面地分析研究与处理问题的结果。

以上过程,若用框图形式表示,如图3-2所示。该图为电子计算机分析选择干货船主尺度的一种框图。

综上所述,选择与确定船舶主要要素所涉及的基本问题,可归纳为以下四个方面:

- ①重量与浮力的平衡;
- ②满足船对容量与甲板面积的需要;
- ③保证船的各种技术及经济性能;
- ④考虑使用、工艺等条件。

## 二、船舶设计阶段

由于船舶设计逐步近似的特点,在我国以往的实践中,把根据任务书要求开始进行设计

至设计工作全部结束为止，通常划分成四个相衔接的阶段，即初步设计、技术设计、施工设计及完工文件阶段。这是船舶设计特点在组织技术工作上的具体体现。其主导思想是设计工作能有效地逐步深入，但某一阶段设计工作的结束并不意味着后一阶段的设计只能是前一阶段的补充。因为常常有许多原因，要重新研讨前阶段所采取的技术措施的合理性，以寻求新的更好的结果。

### 1. 初步设计

这一阶段的主要工作，是在深入分析任务书和调查研究的基础上，从全局角度出发，提出船体、轮机、电气几个方面的各种可行方案，通过绘图与计算，得出有关的技术、经济或其它指标，经比较鉴别后，确定一个或几个能满足任务书要求的设计方案及其技术-经济论证数据，提交审查讨论，然后再根据审查意见修改确定设计方案。这阶段只要求提供新船方案的主要技术文件，船体方面包括：船体说明书；型线图；总布置草图；中剖面结构图及结构强度计算书；航速、稳性、舱容等估算书；主要设备、材料规格明细表等。

这一阶段的设计工作虽然是初步的，但也应保证结果比较可靠，技术措施可行。视完成内容的深度和广度的不同，有的称为初步设计，有的称为方案设计。如适当增加设计内容，就称为扩大初步设计或基本设计。

值得提出的是，在一定意义上，初步设计有进一步论证新船设计任务书合理程度的作用，特别是对没有经过充分分析论证就提出的设计任务书更是这样。

### 2. 技术设计

技术设计是根据审查后的初步设计方案而进行的深一步的设计工作。这阶段的工作，是在整体设计的基础上，对各个局部问题进行深入分析，并进行各个分项目的详细设计和计算，为施工设计提供较完备的技术文件。有些重要产品还要进行性能等方面的模型试验。在这阶段中要求船体方面完成的技术文件有：

- ①船体设计说明书；
- ②较详细的总布置图；
- ③正式的型线图；
- ④中横剖面结构图，基本结构图，外板展开图，肋骨型线图，首、尾部及舱壁等结构图；
- ⑤锚泊、起货、操舵等设备图；
- ⑥各系统的原理图；
- ⑦重量及重心计算书；
- ⑧各项性能的详细计算及有关说明书(包括试验报告)；
- ⑨详细的设备、材料规格明细表等。

这些技术文件经用船单位、船检局审查同意后，作为施工设计或签订合同的依据。

### 3. 施工设计

根据审批后的技术设计文件，结合建造厂的具体生产技术条件，制定建造中所需的整套技术文件。所需文件的范围依各厂情况而有所不同，在船体方面主要为分段结构的施工图和工艺规程，以及设备、舾装的零件图，等等。

### 4. 完工文件

新船建成后，实际情况往往不可避免地会与原来的设计有所出入。设计中虽然对重量、

重心作了详细计算,但不可能完全精确。建造时,对原来设计不合理之处进行修改,在不影响基本性能的前提下,改变材料或设备规格也是常有的事。这样就会引起船的重量、重心、布置、结构等的变动。因此,船造好以后,应根据建造期间对原设计图纸所作的改动,绘出完工图纸,根据实船倾斜试验结果,修改原来的有关计算书(如稳性、抗沉性、浮态),完成各项试验并写出报告书。这些文件是船舶设计和研究工作的宝贵资料。

由此可知,从任务书到设计工作的几个阶段,它们在新船整个设计中既具有相对的独立性,又是相互联系的。各个阶段要求完成一定的计算、图纸和说明书。前一阶段是后一阶段设计的依据,后一阶段是前一阶段工作的深入和发展。然而,上述各个阶段的划分以及各阶段的具体内容,并不是一成不变的,往往根据具体情况(如任务的紧迫性、产品的复杂程度、参考资料的完备情况等等)而有所不同,有时各阶段之间并无明确的界限,如某些重要产品在进行船型论证以及拟定任务书时,所完成的技术文件不少已是上述初步设计的内容。

新船建造好投入营运后,使用中反映的情况是非常重要的资料,它是检验一艘船成功与否的唯一标准。收集使用资料,对提高船的设计建造质量是大有好处的。船舶使用情况的反馈应作为广义船舶设计过程的最后一个环节。过去,通常注重“狭义的设计”(即上述四阶段工作),而对其他方面如运输类型、方式、船型论证和新船的使用情况等重视不够,曾造成过一些不良后果,值得引以为鉴。

### 三、船舶设计的发展概述

为了适应我国经济体制改革的发展,适应国内外船东的要求,作为造船中重要环节的船舶设计,必须从以往建立在单纯执行指令性计划的主导思想基础上的一套程式,改变到适应当前以经营竞争为主,结合技术进步所要求的一套程式上来。

实行合同制和由银行贷款提供造船资金后,在签订建造合同之前,首先必须把新船的基本技术形态固定下来,否则船的造价问题就无法确定。在合同签订生效后,已经过各方确认的技术要素及形态(有时甚至是很具体的要求),在以后的设计过程中已不允许更改,否则要对由此而造成的经济上及延误交船期的损失负责。因此,各个设计阶段之间不能如以往那样是一种反复近似的过程,下一阶段的工作只能是前一阶段工作的补充和深化。从交船周期来看,要求越来越短,也不允许船舶设计过程中各个设计阶段以一个接一个,一次次的循环反复的形式进行。

根据国内外的这些新情况,中国船舶工业总公司民用船舶设计工作座谈会建议把船舶设计过程划分成:报价设计、合同设计、详细设计、生产设计及完工文件等阶段。

报价设计的目的是让船厂对造价作出估算,并根据市场情况向船东提出报价,争取中标。另一方面使船东了解船的概貌及造价,挑选中标单位。

合同设计相当于初步设计,它要求完成能达到提供合同谈判所需的文件,如主要图纸及说明书,全船设备规格清单等等,也是下一阶段设计的技术依据。

详细设计要求提供船舶检验机构所需送审的图纸及技术文件,以及按合同规定送交船东审查的图纸及技术文件;提供工厂所需的各种订货清单及技术要求。

生产设计要求完成按工厂生产设计规格所需的全部生产图样及技术文件。

完工文件是在船舶建造好后完成的图纸及技术文件。

根据这一新的形势,对船舶设计工作提出了更高的要求,即必须更好地满足经营、生产及管理上的需要,同时在设计方法上也要作相应的调整。

①开展预设计。船舶设计本身的规律是客观存在的，它的完成必须有一个反复的过程，但现实要求又不允许花更长的时间去完成，这就必须开展预设计或称船型开发工作，做好技术储备，以备使用。

②重视资料积累。积累丰富的船舶设计资料，可使新船设计得到借鉴。显然，在借鉴基础上的改进，能使新船设计质量更有保障，而且设计周期也可望缩短。

③大力发展计算机辅助船舶设计。这将使船舶设计的周期大大缩短，设计质量更好。有人认为，计算机的应用将使船舶设计的方法和工作内容产生带根本性的变革。

### §3-3 船舶设计的几项基本原则

船舶设计是涉及而很广的复杂的工作，每艘船的设计都是根据其特定的使用要求进行的。下面从普遍意义上，对船舶设计中应注意遵循的几项基本原则作一些归纳与说明。

#### 一、要密切结合我国的国情

船舶设计不能脱离我国的国情。比如，我们设计的船舶，一定要重视经济性，要讲究经济效益，更要讲究社会效益，即在某种情况下，对国家、对人民有利的事，只要需要即使不赚钱，也是要做的。而且好的经济效益也要通过精心设计，技术进步来达到。又如，新船型的开发研究和新船设计，既要考虑长远的需要，又要适合当前经济发展的水平，实事求是，走自己的路。

#### 二、遵守国家和国际上的有关规范和法规

规范是代表国家的，是技术的法律。设计船舶时，对所有关于船舶的规范和公约都要遵守，这在国内、国际上同样是很严格的。如果不符合规定，在设计阶段就要修改图纸与技术文件，或者重做；建造好的船不符合要求，有关部门将不发给证书，船就无法营运。

#### 三、要树立系统工程的思想

所谓系统，即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的、具有特定功能的有机整体；而系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。由船、码头、陆上运输等组成一个运输系统，船是这个大系统中的子系统。而船舶这个子系统又包括船体、动力装置及电气设备等分系统。其中船体等分系统又由若干个小系统所组成。所以从船本身来说，是一个复杂的系统。因此，设计船舶时，必须树立系统工程的思想，既摆正船在整个运输系统中的地位，又处理好船的各个分系统及小系统之间的关系。

在船舶设计中充满矛盾，如提高稳性与缓和摇摆之间，降低造价与提高舱室标准之间，主机功率已定情况下增加载重量与提高航速之间，以及载重量的多与少，航速的快与慢，造价及营运成本的高与低等等都是矛盾的。这就要求设计工作中抓住主要矛盾，这是设计工作成败的关键之一。在抓住主要矛盾的同时，不应放弃或忽视次要矛盾，要逐一妥善处理，做到精心设计。

#### 四、要满足安全、适用、经济与美观的要求

从普遍意义上讲，对一艘新船的基本要求可以归纳为四个方面，即安全、适用、经济、美

观,这是衡量一艘新船成功与否的标准。

安全——包括船舶及人员的安全,也包括可靠性。没有船的安全,就没有船的一切。许多规范如稳性、抗沉性、建造(强度)、设备等就是从保证船的安全与防止事故而制定的。从人员安全着眼,也对救生、消防、梯道等方面作了规定。船上主要设备如主机、舵及其操纵系统等都与船的安全密切相关,设备不可靠就不能采用。但设计中也不能片面理解为越安全越好。

适用——所谓适用是指适宜于预定的任务和使用要求。对运输船,主要是保证运输能力与提高运输质量。如货船的载货量、航速、装卸效率等;而客船的载客量、舱室标准及设备条件、航速(保证班期)、耐波性(旅客舒适)等都是影响船的适用性的重要因素。

经济——要充分重视经济性,在船舶设计的各个方面都要考虑资金的耗费(包括造价及营运支出等)和积累(即货、客运收入等),力求新船有较好的经济效益。

美观——对船舶来说,美观包括外部造型与内部装璜两个方面。随着国民经济的发展与人民生活水平的提高,对美观的要求越来越高。要从船舶美学观点,求新求美,给人们以艺术享受。

## 五、要有正确的工作态度

### 1. 调查研究

调查研究(包括现实情况及文献资料的收集)是搞好设计的基础工作。多方面的广泛的调查研究要贯彻于整个设计过程的始终。

### 2. 精心设计

对每一个技术问题的处理,都要慎之又慎。有人说,“设计一条线,价值值千金”。设计中的错误一定要尽可能消除在船厂开工建造之前,切忌怕修改,嫌麻烦。

### 3. 借鉴创新

借鉴已有船舶的设计经验,对减少设计中的盲目性,缩小探索的范围,减少逐步近似的次数,十分有效。但借鉴并不意味着不加分析地生搬硬套。

同时还要有创新精神。创新包括采用一些新技术、新措施,使新船在某一或某几方面具有更高的适用性与经济性。但要注意所采用的新技术、新设备的可靠性与现实性,使之能发挥真正的实效。

### 4. 协作配合

船舶设计是一项系统工程,是需要许多人集体奋斗的工作,特别是一些大船的设计,决不是少数人能完成的。在设计单位内部,有船、机、电等几方面的工作,而在船体方面,又分总体、结构、设备、舾装等几个专业;而对外,还与使用单位、船厂、科研所及船检部门等有关联。因而有对人对事等多方面复杂的关系。所以在共同工作中,要有协作配合的精神,虚心听取各方面的意见,这对搞好设计工作也是非常重要的。

## 复 习 思 考 题

1. 船舶设计的内容、特点、工作范围及原则等是什么?
2. 船的设计任务书是怎样编制的?一般要经过那些步骤? 运输类型、运输方法、船型论

证对新船的成功有什么影响?

3. 为什么设计任务书是设计新船的基本依据? 其主要内容有哪些方面?
4. 我国船舶的航区、航线是如何划分的?
5. 载重量与载货量有什么不同?
6. 表征货物(干、液货)理化性质的参数是什么? 它们对确定船的主尺度有何影响?
7. 何谓船舶入级?
8. 试航航速 $V_t$ 与服务航速 $V_s$ 有什么不同?
9. 什么叫船的续航力和自给力?
10. 任务书中对建筑特征、结构、性能等的要求主要包括哪些内容?
11. 举例说明设计船的尺度受限制的原因?
12. 船舶主要要素一般是指哪些?
13. 什么是设计螺旋线?
14. 船舶设计分为几个阶段? 各阶段的作用、内容如何?
15. 实行合同制、贷款造船等政策后, 对船舶设计发生什么影响?
16. 船舶设计中要遵循哪些基本原则?
17. 评价一艘船设计得好坏的标准有哪些?
18. 设计中要坚持的正确工作态度有哪几个方面?
19. 如何理解船舶设计中的借鉴与创新?

## 第四章 船舶重量和重心

从这一章到第十四章，将在船的主要要素已经确定的前提下，分别讨论船舶设计中有关重量与重心、容量与甲板面积、各项技术性能、经济性、船体型线、总布置等方面的内容，第十五章再综合讨论船舶主要要素的确定。

### §4-1 概 述

选择与确定新船主要要素所涉及的一个基本问题是要满足新船重量所需的浮力，即浮力与重量达到平衡。

#### 一、平衡条件

根据浮性原理，船舶平衡于静水中的条件是：浮力等于重量；重力与浮力的作用线在同一铅垂线上。

从重量(严密地说应为质量)方面考虑，船在某一装载情况下的总重量，称为重量排水量(严密地说应为质量排水量)，如以 $\Delta$ 表示， $\Delta$ 为各部分重量之和(单位为t)，即有重量方程式：

$$\Delta = \sum W_i \quad (4-1)$$

从浮力方面考虑，船体排开水的重量为 $\rho \nabla$ ，也即为浮力，因而有浮力方程式：

$$\Delta = \rho \nabla = \rho k L B T C_b \quad (4-2)$$

式中： $\rho$ ——水的密度( $t/m^3$ )，海水为1.025；淡水为1.0；

$\nabla$ ——该装载情况下的型排水体积( $m^3$ )；

$k$ ——附体体积系数，通常为1.004~1.01。因为 $\nabla$ 为型排水体积，不包括外板厚度及附体(如舵、螺旋桨、轴支架、舵龙骨等)在内， $k$ 值为考虑这些因素而定的系数。在上述统计货量中，通常对小船取大值，大船取小值。

$L$ 、 $B$ 、 $T$ 、 $C_b$ ——分别为船长、型宽、吃水及方形系数。

根据浮力和重量相等，可得浮性方程式

$$\Delta = \sum W_i = \rho k L B T C_b \quad (4-3)$$

本章着重讨论船的各部分重量问题，至于重量沿船长方向的分布，将结合第十四章总布置设计进行讨论。

#### 二、民船重量分类及典型载况

##### 1. 重量分类

船的排水量由各部分重量组成。通常在设计中，将排水量 $\Delta$ 分成空船重量和载重量两部



分，即

$$\Delta = LW + DW, \quad (4-4)$$

式中： $LW$ ——空船重量。  $LW = W_h + W_f + W_m$ ，

其中 $W_h$ 为船体钢料重量(t)； $W_f$ 为木作舾装重量(t)； $W_m$ 为机电设备重量(t)。

$DW$ ——载重量(t)，包括货物、旅客、船员、行李、油、水、食品、备品及供应品等的重量。

## 2. 典型载况

船舶在营运及航行过程中，载重量如货、油、水等都是变化的。随着载重量的变化，排水量也不同，因而船的各种性能也就不同。在这变化着的无数排水量中，取出若干个典型排水量，掌握了这些典型情况，就掌握了船在使用过程中各种载况的性能。

民船的典型排水量通常为空船排水量和满载排水量。

空船排水量 $\approx LW$ ，此时动力装置管系中有可供主机动车的油和锅炉中的水。但不包括航行所需的燃料、滑油和炉水储备以及其他载重。

满载排水量 $= LW + DW$ 。满载排水量是决定船主要要素的出发点，因此也常用做设计排水量。

对于货船，设计中通常取四种典型载况，即

满载出港——设计状态；

满载到港——这时的油水等重量，规定为设计状态时油水储备量的10%（不包括滑油）；

空载出港——船上不载运旅客与货物。但油水储备量为设计状态的100%；

空载到港——船上不装载客、货，而油水等为其总储备量的10%。

在稳性规范中，对各型船的典型载况作了规定。如客船再增加核算满容无货出港及满客无货到港二种载况，有时尚需核算中途的载况。对渔船、拖船、运木船等也有具体规定。

在这一章中，主要对各部分重量进行分析，寻找船的主尺度、系数等要素与各部分重量之间的内在规律，介绍各种重量的估算方法。在估算时，假定船的主尺度及系数等已经选定。此外，还将介绍船舶重心的估算以及当图纸资料比较完备的情况下，船舶重量、重心的计算方法。

## §4-2 空船重量的分析与估算

### 一、重量估算的重要性

重量估算是影响后续设计的基本工作。从某种意义上讲，空船重量估算的准确与否是船舶设计能否成功的关键之一。这是因为空船重量 $LW$ 占整个排水量 $\Delta$ 的很大一部分（见表4-1），

表 4-1 各类船舶的空船重量与满载排水量之比

拖 船	0.85~0.95	大型货船	0.20~0.35
渔 船	0.60~0.70	中、小型客船	0.50~0.70
中、小型货船	0.30~0.43	大型客船	0.45~0.60
大型货船	0.27~0.36	驳 船	0.20~0.30
中、小型油船	0.35~0.50		

且影响因素多,不容易估算准确。而如果船建成以后,空船重量与原先估计的值相差较大,特别是超重过多的话(即原先估算过于偏小),船的技术性能与经济指标都会发生很大变化,引起的后果十分严重。当然,重量估算得过大,则船的尺度也大,对经济性不利。因此对空船重量的估算,要特别注意,切不可粗心大意。

## 二、空船重量分类

为了便于设计计算,通常按照一定的原则将空船重量进行分类。民船的空船重量  $LW$  分成为船体钢料重量  $W_h$ 、木作舾装重量  $W_f$  和机电设备重量  $W_m$  三大部分。各部分下面再划分成若干组(见表4-2)、分组、项等等。具体分项细目可参阅重量分类表及型船资料。

表 4-2 空船重量部、组分类表

大 部 的 项 目	组 的 项 目
船体钢料部分 $W_h$	1. 首尾柱及舱包架; 2. 船壳板; 3. 底部及舷侧构架; 4. 甲板结构; 5. 舱壁及围壁; 6. 支柱; 7. 船体钢料杂项; 8. 底座; 9. 上层建筑钢料; 10. 铆焊。
木作舾装部分 $W_f$	1. 木作装修; 2. 船体器具(金属); 3. 船舶设备及装置; 4. 甲板敷料; 5. 舱室设备; 6. 油漆; 7. 冷藏与通风; 8. 船舶管系; 9. 其他。
机电设备部分 $W_m$	1. 主辅机械设备; 2. 轴承; 3. 动力管系; 4. 机舱舱杂项; 5. 机舱通风设备; 6. 机炉及管系内液体; 7. 船舶电气设备; 8. 其他。

表4-3为各类民船的三大部分重量在空船重量中所占百分比的大致范围,可作为估算时参考。

表 4-3 民用船舶的船体钢料及木作舾装部重量与空船重量之比

船 舶 类 型	$W_h/LW$	$W_f/LW$
大型货船	0.61~0.68	0.17~0.23
中、小型货船	0.51~0.59	0.25~0.32
客 货 船	0.47~0.56	0.26~0.37
大型油船	0.68~0.78	0.08~0.15
中、小型油船	0.54~0.63	0.23~0.35
渔 船	0.39~0.46	0.39~0.44
拖 船	0.38~0.52	0.23~0.28
内河货船	0.41~0.52	0.26~0.33
内河客货船	0.43~0.51	0.37~0.41
内河拖船	0.30~0.36	0.22~0.27

### 三、钢料重量 $W_b$ 的分析与估算

在空船重量中, 钢料重量所占比重较大。如17500t载重量多用途货船, 在7000t空船重量 $LW$ 中, 船体钢料重量 $W_b$ 约为4500t; 中温线双体客船的3400t空船重量中,  $W_b$ 达2000多吨。因此准确估算船体钢料重量 $W_b$ , 对决定新船排水量有重要意义。

#### 1. 影响因素分析

船体钢料重量包括船壳板、甲板、舱壁、首尾柱、上层建筑等各部分的钢板及型材的重量。影响船体钢料重量的因素较多, 经分析归纳, 大致有以下几个方面:

##### ①主尺度及系数

包括 $L$ 、 $B$ 、 $D$ 、 $T$ 、 $C_b$ 等。通常可以从构件的数量和强度条件两个方面来进行分析。

船长 $L$  对 $W_b$ 的影响最大。从构件数量和几何尺寸上看, 船上绝大部分构件都与 $L$ 有关; 从强度条件看, 船长 $L$ 越大, 弯矩 $M$ 越大, 对船体纵总强度的影响大, 因此结构的尺寸要求也大。所以,  $L$ 是各种因素中对 $W_b$ 影响最大的。

船宽 $B$  对船体纵总强度的影响不大, 但对横强度有较大影响。从构件数量看, 主要与横向构件有关。总起来看,  $B$ 的影响小于船长。

型深 $D$  从构件的数量看, 对舷侧板、骨架、舱壁等有影响。从强度分析, 对大船来说, 型深 $D$ 大, 船体梁的剖面模数 $W$ 也大, 对强度有利, 往往能起到抵消 $D$ 增加所引起构件加大的作用, 即船体重量不一定增加, 有时甚至还有好处。而对小船, 则加大型深会导致 $W_b$ 的增加。

吃水 $T$  不影响构件的数量, 但对总强度和局部强度(船底构件和船侧构架)有一定的影响

方形系数 $C_b$  对 $W_b$ 的影响很小。因为 $C_b$ 的增减对船体构件的数量和尺度都影响甚微。

综上所述, 可得出如下结论:

船的各要素对 $W_b$ 的影响程度是有区别的。根据其影响大小来排列, 顺序是 $L, B, D, T, C_b$ 。如以函数式表示, 有

$$W_b \propto L^{\alpha} B^{\beta} D^{\gamma} T^{\delta} C_b^{\epsilon}, \quad (4-5)$$

其中指数 $\alpha \gg 1$ , 其他 $< 1$ 。

对大船与小船, 其主尺度对 $W_b$ 的影响程度是不同的。小船的强度要求较低, 如主体部分钢板厚度主要是从使用年限, 耐腐蚀, 焊接工艺要求等方面来考虑的。所以从 $L$ 的影响指数 $\alpha$ 看, 小船 $\alpha \approx 1$ ; 大船 $\alpha > 1$ ; 巨型船 $\alpha$ 可达2左右。

##### ②布置特征

甲板数、舱壁数、上层建筑的大小等对 $W_b$ 值都有影响。其中

甲板数——取决于装载特点、使用要求;

舱壁数——规范有最小数目要求, 实际的舱壁数目还要考虑使用要求;

上层建筑大小——包括长度、宽度、高度、层数等。一般客船比货船要大。小船比大船的影响大些。

##### ③船级、规范、航区

设计船入什么级, 用哪国规范, 对船体结构要求有区别, 因而对 $W_b$ 有影响。同是海船,

航区不同,也有影响,如航行于冰区,结构要加强。

#### ④结构材料

船体是用普通钢、高强度合金钢,还是铝合金、玻璃钢等,材料不同,显然 $W_h$ 会有很大差别。

对 $W_h$ 影响因素的简单分析有助于对某些近似估算公式的理解;在利用型船资料估算 $W_h$ 时,也可根据上述影响因素,找出新船与型船的差别,进行修正,以使结果更加符合实际情况。此外,将分析出的规律用于船舶设计,以便在满足使用和各项性能要求的前提下,尽量减轻空船重量,节省原材料。

### 2. 粗略的估算方法

船体钢料重量的估算方法很多,在设计中很重要的是根据所收集的资料情况,在不同的设计阶段选取合适的估算公式。下面介绍一些粗略的估算方法可在设计初始阶段使用。也就是说当设计船的 $L$ 、 $B$ 、 $D$ 、 $T$ 、和 $C_b$ 等已初步确定,其他设计工作还没有深入开展的情况下,用来粗略地估算 $W_h$ 值。

#### ①百分数法

假定关系式  $W_h \propto L^\alpha B^\beta D^\gamma T^\sigma C_b^\gamma$

中的指数  $\alpha = \beta = \sigma = \tau = 1$ ,  $\gamma = 0$ , 则有:

$$W_h = C_h \Delta = C_h \rho k L B T C_b, \quad (4-6)$$

式中,  $C_h$  为  $W_h$  与  $\Delta$  的比值, 即  $C_h = W_h / \Delta$ 。

如果已知  $C_h$ , 则可根据新船的  $\Delta$  求出  $W_h$  值。 $C_h$  可以参考相近的母型船选取, 则  $C_h = W_{h0} / \Delta_0$ ,

此估算方法简单, 方便。缺点是把  $L$ 、 $B$ 、 $T$  和  $C_b$  各要素对  $W_h$  的影响看成是同等的。对已造船舶的  $C_h$  值进行统计有如图 4-1 所示的趋势。由图可得到如下两点结论:

**点子离散** 因估算式忽略了许多因素的影响, 如布置特点等。因此使用时, 有相近的型船, 才能获得一定的精确度。通常只适用于货船、油船、散货船等  $\Delta$  较大且特点比较稳定的船。

**$C_h$  随  $\Delta$  的增大而减小** 就是说船的  $\Delta$  大, 其  $W_h$  占  $\Delta$  的比例相对要小些。原因是通常主尺度加大所导致船体空间的增加比它们引起  $W_h$  的增加量要大。这也说明如果新船的  $\Delta$  (如  $DW$  等) 比型船大, 则  $C_h$  有减小的趋势。

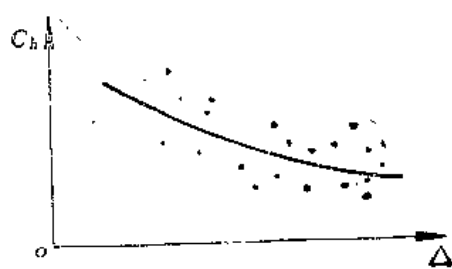


图 4-1  $C_h \sim \Delta$  关系图

#### ②平方模数法

假定  $W_h$  比例于船体结构部件的总面积(用  $L$ 、 $B$ 、 $D$  的某种组合), 如:

$$W_h = C_h L (aB + bD), \quad (4-7)$$

式中,  $C_h$  ——系数, 可取自相近的型船。

$a$ 、 $b$ ——系数，选取方法很多，有人建议 $a=b=1$ ；有人建议按甲板层数来定，如 $a$ 取为连续甲板层数加2， $b=2$ 等。

$L(aB+bD)$ 称为平方模数。若 $a=b=1$ ，则有

$$W_b = C_b L(B+D) \quad (4-8)$$

这方法对纵总强度问题不突出的船，其计算结果比较准确，适用于小船，尤其是内河船。

系数 $C_b$ 的统计趋势如图4-2。该图为实船的 $C_b = W_b / L_{pp}(B+D)$ 的统计资料。从图分析可见：

$C_b$ 随 $L$ 的增加而增大。这反映出 $L$ 与强度有关，亦即 $L$ 加大引起的 $W_b$ 增加大于 $B$ 、 $D$ 对 $W_b$ 的影响。

点子离散 表示不同船的结构，布置特点等有区别。

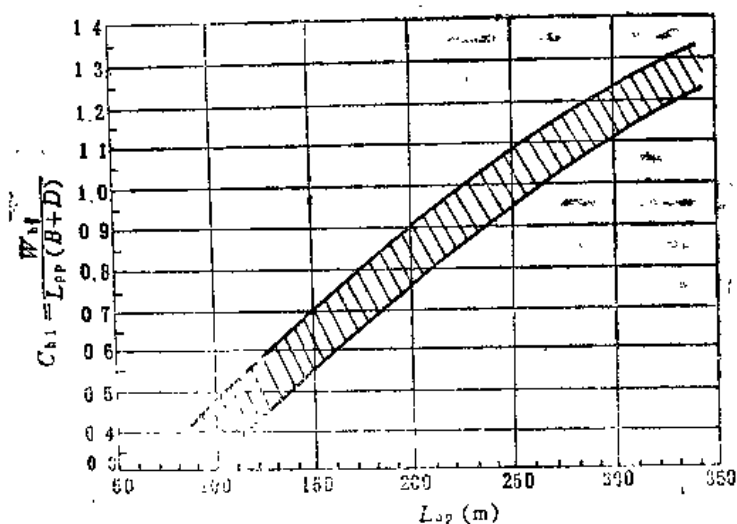


图 4-2  $C_{b1} = f(L_{pp})$ 统计值

### ③立方模数法

假定 $W_b$ 比例于船的内部总体积(用 $LBD$ 反映)，则有：

$$W_b = C_b LBD \quad (4-9)$$

有时用相当型深 $D_1$ 来代替 $D$ ， $D_1$ 的表达式为：

$$D_1 = D + \frac{A}{L} + \frac{\sum l_i h_i}{L} \quad (4-10)$$

式中， $A$ ——船主体舷弧升高部分的面积，如图4-2中阴影部分所示。

$l_i, h_i$ ——为各上层建筑(连续甲板上的第一层)的长度与高度。

这样，估算 $W_b$ 的公式可写为

$$W_b = C_b L B D_1 \quad (4-11)$$

这方法取船主体(包括第一层上层建筑)的内部体积为模数进行换算,  $C_b$  值随  $L$  增加而减少的趋势比较稳定(见图4-4)。对大、中型船较为适用。

立方模数法的缺点是: 没有考虑船体的肥瘦程度; 把  $L$ 、 $B$ 、 $D$  各要素对  $W_h$  的影响看成是同等的。

为了提高估算的准确性, 将式(4-11)改写为

$$W_h = C_b L B D_1 \left(\frac{L}{D}\right)^{1/2} \left(1 + \frac{1}{2} C_{bD}\right) \quad (4-12)$$

式中 增加  $\left(1 + \frac{1}{2} C_{bD}\right)$  项是考虑船体肥瘦的影响, 其中  $C_{bD}$  为计算到型深处的方形系数, 可近似地按下式估算

$$C_{bD} = C_b + (1 - C_b) \frac{D - T}{3T} \quad (4-13)$$

式(4-12)中增加  $\left(\frac{L}{D}\right)^{1/2}$  项, 是从强度出发考虑的修正, 反映  $L$ 、 $D$  对  $W_h$  的不同影响。

此外, 新船与型船的甲板层数不同, 估算时也要对  $C_b$  值进行修正。通常认为增加一层甲板,  $C_b$  值增大约 5 ~ 6 %。

针对某类船舶(干货船、散货船、油船等)所归纳的估算  $W_h$  的近似公式较多, 读者可在有关手册或文献中查到, 这里就不一一列举了。

### 3. 比较精确的估算方法

比较精确的估算方法能更好地反映出  $W_h$  与其影响因素之间的关系。这是在设计工作取得进展, 有了一定图纸资料情况下采用的方法, 以提高  $W_h$  估算结果的准确性。

#### ①修差法。

根据新船与型船主尺度的差值, 进行调整修正得出新船的  $W_h$  值(下标带“0”者指型船数值), 即

$$W_h = W_{h0} + \delta W_h, \quad (4-14)$$

式中,  $\delta W_h$  为新船的船体钢料重量增值。

如假定  $W_h$  与主尺度的关系式为

$$W_h = C_b L^{1.46} B^{0.946} D^{0.86}, \quad (4-15)$$

且已知新船与型船的各主尺度差值为  $\delta L$ ,  $\delta B$ ,  $\delta D$ , 则由于新船与型船的尺度改变而引起的  $W_h$  增量  $\delta W_h$  为

$$\delta W_h = \frac{\partial W_h}{\partial L} \delta L + \frac{\partial W_h}{\partial B} \delta B + \frac{\partial W_h}{\partial D} \delta D,$$

由此可得到

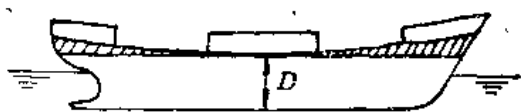


图 4-3

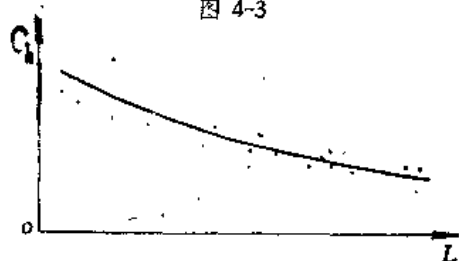


图 4-4

$$\delta W_h = 1.45 \left( -\frac{W_{h0}}{L_0} \right) \delta L + 0.945 \left( \frac{W_h}{B_0} \right) \delta B - 0.66 \left( -\frac{W_{h0}}{D_0} \right) \delta D. \quad (4-16)$$

如再考虑  $C_b$  的变化, 取  $\delta C_b = C_b - C_{b0}$ , 若取  $C_b$  的影响为修正后的  $W_h$  值再乘以  $\frac{1}{3} \delta C_b$ , 则新船的  $W_h$  为

$$W_h = [W_{h0} + \delta W_h] \left( 1 + \frac{1}{3} \delta C_b \right) \quad (4-17)$$

应当指出, 式(4-15)中的指数应为多少, 各家的看法不一。各类船舶的实际情况不同, 指数也会有所区别, 这可以从不同的文献中见到, 这里不详细列举。

心须指出, 对于形式如(4-15)式的统计公式求全微分不是很严格的。但用上述修差方法估算  $W_h$  时, 若能找到合适的型船, 还是相当准确的。

如果新船与型船在其他方面有区别, 如上层建筑大小, 甲板层数、舱壁数目、首尾舷弧等不同, 则也应参考有关资料进行局部修正。同时, 新船与型船比较时,  $L$ 、 $B$ 、 $D$  和  $C_b$  等可能有增有减, 各部分增量也会有正有负, 所以这一方法有时也叫做“加减法”。

### ②单位船长重量法。

在新船和型船都有了中横剖面结构图、型线图和总布置图后, 就可用此法通过比较两船每米船长的重量而得到全船的  $W_h$  值。

因为已考虑到船的具体结构特点, 其结果一般比较精确。

估算步骤如下:

算出单元长度的所有重量 所谓单元长度, 对横骨架式船来说, 为一个肋骨间距; 而对纵骨架式船, 则是指两个实肋板之间的距离。计入的重量包括:

纵向构件——板、纵桁、纵骨等;

横向构件——肋骨、横梁、肋板、肘板等。

计算单位长度重量 将计算得的型船与新船的单元总重量  $W_0$  及  $W$  除以各自的单元长度, 则得单位长度重量  $w_0$  和  $w$ 。

计算新船的钢料重量

$$W_h = W_{h0} \cdot \frac{w}{w_0} \cdot \frac{L_{pp}}{L_{pp0}} \cdot \frac{C_b^{1/3}}{C_{b0}^{1/3}}. \quad (4-18)$$

局部修正 包括: 对与型船构件方面的差异处(如舱口、舷弧及特殊加强等), 进行修改; 对横舱壁、首尾柱、轴支架、机座等, 通常应另行分析换算, 因为前面的估算式中只反映了船中横剖面处的结构特点。

### ③分项换算法。

如型船有分项的重量资料, 就可以把船体构件分成若干组, 如外板、内底板、船底结构、船侧结构、甲板、舱壁等等, 可逐项进行换算。所用估算式可根据结构特点及其与各种因素的相应关系建立, 一般可以从几何关系及强度关系两方面去分析选择。如

外板 —  $\propto L(B + 2D) \cdot t_m$ , 或  $\propto A_s \cdot t_m$ 。其中  $t_m$  为中横剖面处钢板平均厚度;  $A_s$  为外板总的表面积, 可由型线图量得。

横舱壁 —  $\propto BDC_{mD} \cdot n \cdot D^{1/2}$ 。其中  $C_{mD}$  为算至型深  $D$  处的中剖面系数, 可从型船或本船的型线图上量取算出;  $n$  为横舱壁数;  $D^{1/2}$  是考虑型深对横舱壁强度的要求。

船底及内底骨架  $\propto L_{pp}BC_0h_d$ 。其中  $h_d$  为双层底高度。

船侧骨架  $\propto (D_1 - h_d)$  或  $(D - h_d)$ 。其中  $D_1$  为只计入首尾舷弧影响的相当型深 (见图 4-3),  $D_1 = D + A/L$ 。

甲板板架  $\propto A_s \cdot t_m$  或  $L_{pp}B$ ; 或  $\propto L_{pp}^{1.5}B$  (适用于大船上甲板)。其中  $A_s$ ,  $t_m$  为甲板面积及厚度。

上层建筑的钢质围壁及甲板  $\propto l_1b_1h_1$ ; 或  $\propto A_s \cdot t_m$ 。其中  $l_1b_1h_1$  分别为各层上层建筑的长度、宽度 (平均值) 及高度;  $A_s$ ,  $t_m$  为围壁或甲板的面积及板厚。

分项换算主要是找到合适的换算函数关系式 (模数), 如何分项, 要看具体情况而定。

#### 4. 精确计算法

当设计进行到某一阶段, 就可以根据该阶段的图纸及技术文件进行逐项计算。施工设计结束后, 可按施工图纸计算每个部件、零件, 包括肘板等的重量, 计算的工作量非常大。这一工作可以由人工进行计算, 也可以用电子计算机、输入型线图和结构图等各种数据, 计算得到精确的  $W_t$  值。

### 四、木作舾装重量 $W_t$ 的分析与估算

#### 1. 简单分析

木作舾装部分重量的特点是: 名目繁多 (参见表 4-2), 各自独立, 规律性差。在设计船舶时最难估准的就是这部分重量。特别是有的舾装件, 如家具、防火隔热材料等随着时代的前进变化很大; 且同一类船由于要求标准不同, 该项重量的差别也往往很大。因此, 对  $W_t$  来说按型船估算的相似性差, 造成估算工作难度大。

通常对木作舾装重量  $W_t$ , 可以划分成如下四类进行分析:

- ① 与船的排水量和主尺度有关的重量——如船舶设备与系统, 包括锚、舵、系泊、消防管系、油漆等。
- ② 与船员或旅客人数有关的重量——如舱室木作 (里子板即内围壁、天花板、地板敷料)、家具、卫生设备、救生设备等。
- ③ 与船的使用特点有关的重量——如货船上的起货设备及舱口盖; 拖船上的拖带设备; 渔船上的渔捞设备等专用设备。

(4) 特殊项目的重量——如减摇装置, 侧向推进装置等。

从  $W_t$  占整个  $LW$  的百分数来看, 大型货船、油船相对占的百分数较小, 如 17500t 多用途船,  $LW = 7000t$ ,  $W_t \approx 1000t$ 。但是小船, 特别是客船、渔船占的比重较大, 对  $W_t$  估算不准则影响很大, 要引起重视。

#### 2. 估算方法

估算木作舾装重量  $W_t$  较为可靠的方法是按型船分组换算, 或根据设计图样及技术文件, 查产品目录逐项计算。目前国外对木作舾装部分逐步有了标准, 这样就易于计算了。但是在设计初始阶段还需进行估算, 只有随着设计的深入才能采用分组换算或更详细的计算方法。下面对一些估算方法简要地作一介绍。

##### ① 粗估方法。



百分数法  $W_t = C_t \Delta$  (4-19)

平方模数法  $W_t = C_t \Delta^{\frac{2}{3}}$  (4-20)

$W_t = C_t (LBD)^{\frac{2}{3}}$  (4-21)

$W_t = C_t LB$  (4-22)

$W_t = C_t L(B+D)$  (4-23)

立方模数法  $W_t = C_t LBD$  (4-24)

在有条件时, 式(4-21)~式(4-24)中的型深 $D$ 可用相当型深 $D_1$ 代替, 以提高估算的准确性。

用上述方法来估算 $W_t$ 值, 其精确度比 $W_L$ 要差。图4-5为不同类型实船的 $C_t$ 的统计值, 可供初估 $W_t$ 时参考。

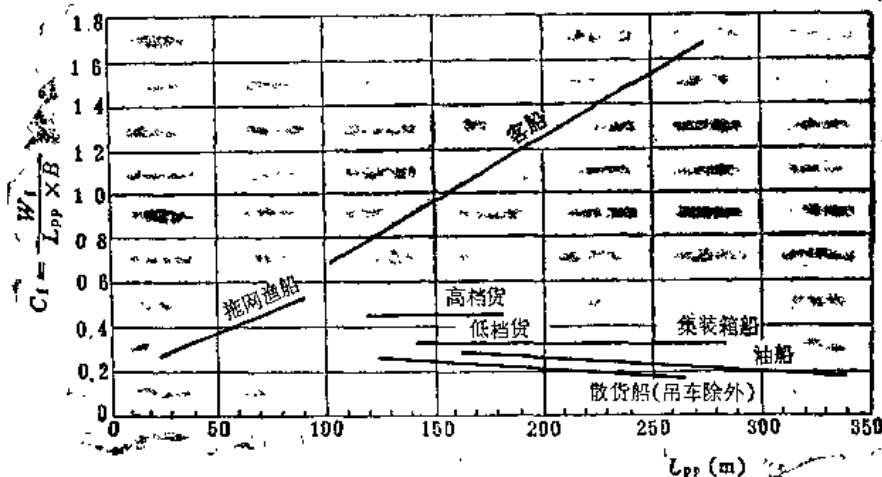


图4-5  $C_t = \frac{W_t}{L_{PP}B} = f(L_{PP})$

②分项换算。与母型船比较, 分项换算以求取 $W_t$ 值。

③精确计算。按设计图纸资料进行计算, 如各木作舾装项目的技术文件资料和选型都最后确定, 便可仔细地分项进行计算, 但工作量很大。

## 五、机电设备重量 $W_m$ 的分析与估算

### 1. 简单分析

机电设备包括主机、辅机、轴系、动力管系、电气设备等, 详细内容可参看表4-2。如果对机电设备作些简单分析, 可以知道:

①大部分可认为是已知重量。如主机、锅炉、发电机组等都已选定, 则从产品目录上可以查得它们的重量。在民船中, 通常这些重量要占机电设备重量 $W_m$ 的大部分。

②可以计算项目的重量。如轴系的重量, 根据主机功率、轴的转速, 计算出扭矩并确定

轴径后, 就可以算出重量来。

③其他。如机舱中的管系、其他辅机、泵等的重量, 可以根据排水量大小、用途及主机功率相近的型船, 将主机等可算部分重量减去, 余下来的就是了。这部分重量一般变化不大, 易于换算。

## 2. 估算方法

①粗估方法。在一般情况下, 可用船的主机功率作为估算基础, 即

$$W_m = C_m P; \quad (4-25)$$

式中,  $P$ ——主机最大持续功率;

$C_m$ ——每马力重量系数, 可取自型船或有关图表资料。

因为影响 $W_m$ 最关键的是主机功率, 所以用上式估算 $W_m$ 还是有一定规律性的。

有时也用下式估算, 即

$$W_m = C_m \cdot W_{m1} \quad (4-26)$$

式中,  $W_{m1}$ ——主机重量;

$C_m$ ——系数, 取自型船或有关资料。

图4-6为不同机型的每马力机电设备重量, 相当于平均值, 可供初始设计时参考。

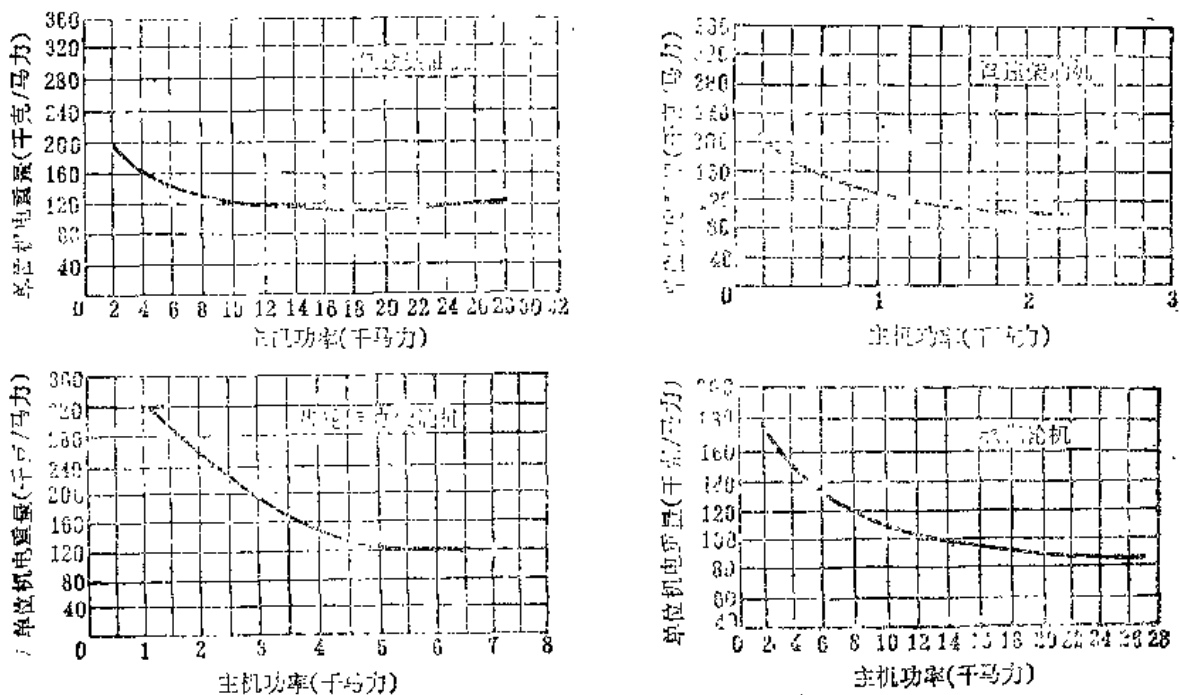


图 4-6 每马力机电设备重量

②逐项比较法。选用主机、辅机相近的型船的 $W_m$ 资料, 进行逐项比较, 相同的照抄, 不同的项目进行修正, 没有的项目删去等, 这是最常用的方法, 也是比较可靠的方法。

前面已经讲过空船重量 $LW$ 以及 $LW$ 的三部分重量的估算方法, 现作简要归纳:

在三部分重量中, 比较容易估算准确的是 $W_m$ ; 困难最大的是 $W_e$ , 因为项目繁杂, 规律性差; 占 $LW$ 比例最大的是 $W_b$ , 但规律性较强, 如果图纸资料齐全, 可以估算得比较准确。重量估

算工作简单而繁杂，但十分重要，要认真对待。

除了上面讲的三部分重量以外，在设计过程中还要考虑排水量裕度，在有些船上还要加固定压载，它们一般都算在空船重量之中，下面分别予以介绍。

## 六、固定压载与排水量裕度

### 1. 固定压载

固定压载是固定加在船上的压载，通常采用生铁块、水泥块和矿渣块等，一般在船下水前后加放在船底部。固定压载的作用主要在于降低船的重心以提高稳性，增加重量以加大吃水；必要时也用以调整船的浮态。

值得提出的是，在设计中加固定压载有时是不可避免的，有时则是设计失误所造成的。如通常在渔船、拖船、调查船、客船、集装箱船等船上要加一定数量的固定压载，其数值要根据使用要求，通过具体计算而定。但对一般船舶来说，设计成加固定压载是极不合理的。

### 2. 排水量裕度

有时也叫排水量储备。设计时在估算的重量中，通常要加一定的排水量裕度，其原因大致有以下三个方面：

①估算误差。从前面讲的 $W_h$ ,  $W_t$ ,  $W_m$ 的估算公式可以知道，方法是近似的，其结果有误差往往是不可避免的。

②设备增加。在设计过程中船东提出增加设备是常有的事。

③采用代用品。在建造过程中，常常由于材料和设备规格的短缺，需采用代用品而造成的重量增加。

因此在设计中往往要考虑排水量裕度，裕度加多少，要看设计者的经验、水平和资料情况。一般，可以有如下两种取法：

取 $LW$ 的某一百分数 一般取为 $2 \sim 5\% LW$ 。

分别加在 $W_h$ ,  $W_t$ ,  $W_m$ 中 如在进行17500t多用途船设计时，就是将排水量裕度分别取在 $W_h$ ,  $W_t$ ,  $W_m$ 之中。其中 $W_h$ 的裕度取 $0\%$ ， $W_t$ 的裕度加 $15\%$ （最没有把握，估算误差大且大部分在船的上部，加裕度不仅是考虑其重量，也相当于将其重心位置 $Z_k$ 估高，偏于安全）， $W_m$ 的裕度加 $3\%$ 。

后一种办法，区别对待，似乎比较好些。

## §4-3 载重量估算

在排水量 $\Delta = LW + DW$ 中，前面已经讲了 $LW$ 的各部分重量的估算，下面再讲载重量 $DW$ 的估算。任务书中有时是给出载重量 $DW$ ，有时是给出载货量或旅客人数，但在设计开始时都要对组成载重量的各部分重量进行计算或估算。这出于两个目的：算出各部分重量；考虑各种舱容的要求和舱室布置。

### 一、人员及行李、食品、淡水

#### 1. 人员及行李

人员的重量通常按每人平均65kg计算。而人员所携带的行李则应根据航线的具体情况，

经调查研究后确定。一般,每人行李重量约为:

船员行李 40~65kg,

长途旅客行李40~65kg,

短途旅客行李15~35kg。

## 2. 食品及淡水

分别根据人数、自给力天数及有关定量标准按下式计算:

$$\text{总储备量} = \text{自给力(天)} \times \text{人员数} \times \text{定量(kg/天} \cdot \text{人)}, \quad (4-27)$$

式中,自给力对一般船可按下式计算

$$\text{自给力(天)} = \frac{R}{V_s \cdot 24}, \quad (4-28)$$

其中,  $R$ 为续航力(海里),  $V_s$ 为服务航速(kn)。

对于海洋考察船等特殊要求的船,则是规定在海上的天数。对于内河短途客船等,有时也规定自给力天数。

人员数包括船员与旅客,其中淡水的储备量因两者的标准不同,一般应分别计算。

食品定量通常按每人每天2.5~4.5kg计算。

淡水(包括饮用水与洗涤用水)定量标准与航程、航线的气候条件、客船的等级有关。远航程船通常只自带一部分淡水,不足部分利用制淡装置供应。在全部带足的情况下,通常取每人每天定量为50~100kg,内河船还可以少些。具体可参见有关规范。

## 二、燃油

根据主机功率、续航力、航速、耗油率等计算,具体公式为

$$W_o = 0.001 g_o P \frac{R}{V_s} \cdot k, \quad (4-29)$$

式中,  $W_o$ ——燃油储备量(t);

$g_o$ ——包括一切用途的油耗率(kg/马力小时),通常为主机持续常用功率  $P$  时油耗率  $g_r$  的1.10~1.15倍;

$k$ ——考虑风浪影响所增加的系数,通常取1.15~1.20;

$R$ ——续航力(海里);

$V_s$ ——服务航速(kn);

$P$ ——主机持续常用功率(马力)。

应该注意的是,对辅机功率较大的船舶(如油船的加热货物油及洗舱,冷藏船的制冷,客船的照明及空调等),则应分别估算主机和辅机等各自所需的燃油储备量。

## 三、滑油

通常取滑油储备量  $W_1 \approx \varepsilon W_o$ , 即取为燃油总储备量的某一百分数,一般柴油机  $\varepsilon \approx 3 \sim 5\%$ ; 汽轮机  $\varepsilon \approx 1\%$  左右。滑油数量不大,但价格昂贵,对经济性核算有影响。

## 四、炉水

炉水储备只需要考虑蒸汽的漏失量,具体数量为

$W = \text{每小时蒸汽耗量 } G \times \text{漏失率 } \varepsilon \times \text{连续航行时间 } t;$

式中,  $G$ ——据主机要求(汽轮机)和辅锅炉参数;

$\varepsilon$ ——汽轮机约为  $2 \sim 3\%$ ; 辅锅炉为  $5 \sim 6\%$ ;

$t = R/V_s$ , 续航力/服务航速。

对远洋船来说, 如果带很多淡水, 在重量与容积上都是不可取的。因此一般设置制淡装置补充淡水, 故只需少量炉水储备。

## 五、备品、供应品

备品是指船上备用的零部件、设备与装置, 包括锚、灯具、损管器材、油漆等。供应品是指零星物品, 如床上用品、炊具、信号旗、电视机、办公用品、医疗器材等。国外有时放在空船重量内, 我国归在载重量内, 通常取为  $0.5 \sim 1\% LW$ 。

因为载货量往往是任务书给定的。如果任务书是给出载重量  $DW$ , 则载货量  $W_c = DW - \sum W_1$ , 载重量中的各部分重量比较容易估准确。

## §4-4 重量与浮力的平衡

前面几节讲了  $\Delta = LW + DW$ ,  $LW$  和  $DW$  的估算方法, 本节将介绍在设计的初始阶段, 粗估新船排水量的方法, 以及如何解决重量与浮力平衡(相等)的问题。

### 一、船舶类型划分

在第三章中已经提到, 选取船舶主要要素涉及的基本问题可归纳为四个方面。设计中一般是从重量与浮力平衡及总布置入手来初步确定主要要素, 然后校核各项性能及要求。因此, 根据船舶的功能及设计特点, 可以把船舶分为三种主要类型:

①载重型船;

②容积型船;

③线尺度船, 即受到航道、闸门、船台等尺度的限制的船, 或者所载货物有统一标准的船, 如火车渡船、汽车渡船、集装箱船等。

如果把第③类船作为①②类船的约束条件来考虑, 则可以把运输船舶划分成两大类: 即载重型船及容积型(包括甲板面积)船。

#### 1. 载重型船

是指船的载重量占排水量比例较大的船舶, 如油船、散货船、杂货船等。设计这类船时, 首先要使船能提供满足载重量要求的排水量, 即确定船的主尺度时应首先从重量与浮力平衡入手。

一般说, 这类船的主尺度能满足排水量的要求时, 容积也容易满足。当然, 对载运积载因数  $C$  较大的货物的船, 选择主尺度时, 容积也需仔细核算。

#### 2. 容积型船

所谓容积型船, 是指为布置各种用途的舱室、设备等, 需要较大的舱容及甲板面积的一类船舶, 如客船、海洋调查船、渡船、集装箱船、滚装船等。这类船的主尺度的确定, 主要取决于船主体的容积及甲板上面积的需要, 设计时的入手点与载重型船舶不同。

一般说，这类船的主尺度能满足容积或甲板面积的要求时，排水量也容易满足。  
明确这两种类型的船舶，对设计中根据船舶的特点，选择合适的主尺度是很重要的。

## 二、排水量的初步估算

分载重型船和容积型船来叙述。

### 1. 载重型船

一般载重型船第一次估算 $\Delta$ 时可采用载重量系数，即：

$$\Delta = \frac{DW}{\eta_{dw}}, \quad (4-30)$$

式中， $DW$ ——新船的载重量：

$\eta_{dw}$ ——载重量系数，显然  $\eta_{dw} = \frac{DW}{\Delta}$ ，可取自相近的型船或统计资料。各种船舶载重量系数  $\eta_{dw}$  的大致范围如表 4-4 所列。

表4-4 各种船舶 $\eta_{dw}$ 的大致范围

中、小型货船	0.70~0.57	中小型客船	0.50~0.30
大型货船	0.73~0.64	大型客船	0.55~0.40
中小型油船	0.65~0.50	拖船	0.15~0.05
大型油船	0.85~0.65	渔船	0.40~0.30
驳船	0.80~0.70		

下面对  $\eta_{dw}$  作些简要分析。

#### ① $\eta_{dw}$ 的变化规律

$$\begin{aligned} \text{因为 } \Delta &= LW + DW = W_h + W_t + W_m + DW \\ &= C_h \Delta + C_t \Delta + C_m \Delta + DW, \end{aligned}$$

$$\Delta = \frac{DW}{1 - (C_h + C_t + C_m)}.$$

所以有

$$\eta_{dw} = 1 - (C_h + C_t + C_m) \quad (4-31)$$

统计资料表明，排水量大的船， $\eta_{dw}$  要大些（如图 4-7）。这是因为  $\Delta$  大的船， $C_h$ 、 $C_t$  及  $C_m$  的值相对较小，也就是  $LW$  在排水量中所占的比例要小些，因而  $DW$  所占的比例大些。对一般货船或油船等， $\eta_{dw}$  随  $\Delta$  变化有相对稳定的范围，因此可用  $\eta_{dw}$  来粗估  $\Delta$ 。

#### ② $\eta_{dw}$ 的物理意义

$\eta_{dw}$  表示船的  $DW$  占  $\Delta$  的百分数。对同样  $\Delta$  的船来说， $\eta_{dw}$  大者， $LW$  小，表示其载重多。而对同一使用任务要求，即  $DW$  和其他要求相同时， $\eta_{dw}$  大者，说明  $\Delta$  小些也能满足要求。由此可见，当设计结束或新船造好后，将其实际的  $\eta_{dw}$  值与相近的船比较，其  $\eta_{dw}$  的大小就成了设计好坏的一个标志。而在估

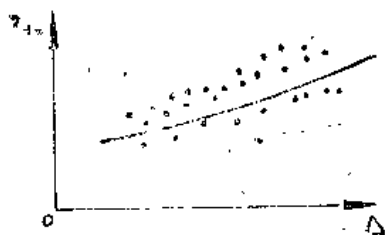


图 4-7

算排水量时,选取合适的  $\eta_{dw}$  值,有利于下一步设计的顺利开展。

## 2. 容积型船

这类船的主要要素要根据容积及甲板面积来决定。因此在开始设计这类船时,通常是从布置所需的地位入手,分析计算所需的最小  $L$ 、 $B$  及  $D$  等。一般要勾画总布置草图,对舱容(包括甲板面积)进行核算。然后,再估算各部分重量,检验重量与浮力的平衡情况,从而最后定出  $\Delta$  及  $T$  等。

## 三、解决重量与浮力平衡的一种方法——诺曼系数

根据浮性方程式

$$\Delta = \rho k L B T C_b = LW + DW。$$

如果已经初估得船的  $\Delta$ , 又根据各种因素初步选取了  $L$ 、 $B$ 、 $T$ 、 $C_b$  及  $D$  (这将在后面讲到), 再根据已选取的主尺度等要素估算出  $W_h$ 、 $W_t$  和  $W_m$ , 并且  $DW$  也已知道。通常, 经过上述步骤估算得的重量 ( $LW + DW$ ) 与浮力 ( $\rho k L B T C_b$ ) 是不会相等的, 需要调整。在用计算机计算时, 这种调整是用迭代方法解决。而在手工计算时, 可以用反复试算的方法, 也可以用诺曼系数法。

举例来说, 如任务要求新船的  $DW$  是 17500t, 根据初估主尺度算得的排水量  $\Delta = 23500t$ , 估算得空船重量  $LW = 6500t$ 。这样总重量  $LW + DW = 6500 + 17500 = 24000t$ , 总重量比  $\Delta$  多了 500t。要保证新船的  $DW$  为 17500t, 就必须加大主尺度, 增加  $\Delta$ 。由于主尺度既是决定浮力  $\Delta$  的因素, 也是影响  $LW$  特别是  $W_h$  的因素。  $\Delta$  加大 500t, 主尺度将适当加大,  $LW$  也将随着增加。也就是说随着  $\Delta$  的增大,  $LW$  将超过 6500t 了。因此  $\Delta = 24000t$  仍不能保证浮力与重力的平衡。由此可见  $\Delta$  的增量应大于 500t, 即  $\delta\Delta > \delta DW$ 。如取

$$\begin{aligned}\Delta &= W_h + W_t + W_m + DW \\ &= C_h \Delta + C_t \Delta^{\frac{2}{3}} + C_m \Delta^{\frac{2}{3}} + DW,\end{aligned}$$

则  $\Delta$  的增量为,

$$\begin{aligned}\delta\Delta &= \frac{\partial W_h}{\partial \Delta} \delta\Delta + \frac{\partial W_t}{\partial \Delta} \delta\Delta + \frac{\partial W_m}{\partial \Delta} \delta\Delta + \delta DW \\ &= \left(\frac{W_h}{\Delta}\right) \delta\Delta + \frac{2}{3} \left(\frac{W_t}{\Delta}\right) \delta\Delta + \frac{2}{3} \left(\frac{W_m}{\Delta}\right) \delta\Delta + \delta DW.\end{aligned}$$

经整理归并后有:

$$\delta\Delta = \frac{\delta DW}{1 - \left(\frac{W_h}{\Delta} + \frac{2}{3} \frac{W_t}{\Delta} + \frac{2}{3} \frac{W_m}{\Delta}\right)} = N \cdot \delta DW; \quad (4-32)$$

式中,  $N$ ——诺曼系数,

$$N = \frac{1}{1 - \left(\frac{W_h}{\Delta} + \frac{2}{3} \frac{W_t}{\Delta} + \frac{2}{3} \frac{W_m}{\Delta}\right)}. \quad (4-33)$$

现在对诺曼系数  $N$  作简单的分析:

①必有 $N > 1$ 。因为式(4-33)分母中括号内的数值恒小于1。所以,如果有 $\delta DW$ 的差额,因为 $\delta \Delta = N \cdot \delta DW$ ,即排水量的增量必大于载重量的增量。就是说,载重量每增加1t,排水量必须增加1t以上。

② $N$ 的大小取决于 $LW/\Delta$ 的大小。一般载重型船的 $LW/\Delta$ 小,所以 $N$ 值小,而对客船、拖船等容积型船, $LW$ 占 $\Delta$ 的百分数大,所以 $N$ 也大。

③ $N$ 的数值还随 $W_b$ 、 $W_t$ 和 $W_m$ 的估算公式中 $\Delta$ 的指数不同而变化。如采用 $W_b = C_b \Delta$ ,  $W_t = C_t \Delta^{0.65}$ ,  $W_m = C_m \Delta^{0.8}$ ,则 $N$ 计算式分母中的 $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{2}{3}$ 将变为0.65, 0.8。但物理意义没有变。

④对设计船来说,为达到平衡所改变的主尺度不同, $N$ 也是不同的。如§4-2所述, $L$ 、 $B$ 、 $D$ 、 $T$ 和 $C_b$ 对 $LW$ ,特别是 $W_b$ 及 $W_t$ 的影响是不同的,其中 $L$ 的影响最大, $B$ 、 $D$ 次之, $T$ 和 $C_b$ 最小。如由于 $DW$ 的增加而引起的 $\Delta$ 增量,用增加 $L$ ,或 $B$ 、 $D$ ,或是 $T$ 及 $C_b$ 来平衡,其对 $N$ 的大小影响是不同的,即变 $L$ 影响最大,其余次之,变 $T$ 或 $C_b$ 对 $N$ 值的影响最小。

利用诺曼系数 $N$ 来粗估新船排水量,也是常用的方法之一,条件是两船必须十分相近。如新船的载重量比型船大100t。利用型船资料算得 $N = 1.2$ ,则新船的排水量将为 $\Delta = \Delta_0 + \delta \Delta = \Delta_0 + 120(t)$ 。这120t中,100t是 $DW$ 增加所需要的浮力,另外20t是因为主尺度增加而引起 $W_b$ 等增加所需要的浮力。因此,可以概括地说:诺曼系数的物理意义是增加1t $DW$ 时船所要增加的浮力。

最后,应该指出的是,船舶各项重量的估算方法、船舶排水量的初步确定以及重量与浮力平衡的方法都有多种多样,特别是上而所讲的诺曼系数,只是从加深对问题的理解角度来进行讨论的,实际设计中,应根据具体情况选用合适的方法。

## §4-5 重 心 估 算

通常取船的重心坐标为 $X_g$ 、 $Y_g$ 和 $Z_g$ 。其中 $Y_g = 0$ ,是因为船左右对称的缘故,当然在总布置设计时也应注意这一点。所以重心估算主要是指船重心的纵向坐标 $X_g$ 和重心高度 $Z_g$ 的估算。 $X_g$ 关系到船的浮态,即影响船的纵倾; $Z_g$ 影响船的稳性,要引起高度重视。 $Z_g$ 的估算不准(尤其是估低)将带来严重的影响。如有艘拖船,在设计时 $Z_g$ 估算过低,即造成实船的 $Z_g$ 过高, $\overline{GM}$ (初稳心高)太低,需要加大量压载以降低船的重心。但又因船干舷低,加固定压载后虽然可使 $\overline{GM}$ 升高,但静稳性曲线的特征数仍不能符合规范要求,造成很大困难,几乎不能使用。因此,在设计中对 $Z_g$ 的估算与控制,应特别注意。

下面简要介绍 $Z_g$ 及 $X_g$ 的估算方法。

### 一、重心高度 $Z_g$

#### 1. 空船的重心高度 $Z_{g1}$

##### ①粗估法。

通常假定 $Z_{g1}$ 与型深成正比例,即

$$Z_{g1} = \xi_1 \cdot D, \quad (4-34)$$

$$Z_{g1} = \xi_1 \cdot D_1, \quad (4-35)$$



式中,  $D$ 、 $D_1$ ——型深或相当型深;

$\xi_1$ ——系数, 通常取自于型船, 如果新船与型船有明显差别时, 要对 $\xi_1$ 修正。  
此法比较粗略, 通常仅用于设计初期。

## ②分项换算。

估算出 $W_h$ 、 $W_t$ 、 $W_m$ 后, 分别求出重心位置, 然后求全船重心高, 即

$$Z_{g1} = \frac{W_h Z_{gh} + W_t Z_{gt} + W_m Z_{gm}}{W_h + W_t + W_m} \quad (4-36)$$

如果重量估算的分项较细, 则可求出各项重量的重心后再合成求 $Z_{g1}$ , 即

$$Z_{g1} = \frac{\sum W_i Z_{gi}}{\sum W_i} \quad (4-37)$$

下面列举各分项重心 $Z_{gi}$ 的近似估算方法, 设计中可根据新船的重量分项及型船的资料情况, 灵活选用。

船体钢料部分的重心高度:

外板, 比例于 $D^2/(B+2D_1)$ ;  $D$ 或 $D_1$ 。

内底板、船底及内底骨架, 比例于双层底高度 $h_d$ 。

船侧骨架, 比例于 $D_1$ ;  $(D_1 - h_d)$ 或 $(D - h_d)$ 。

甲板板架, 比例于 $D$ 或 $D_1$ 。

各平台甲板, 比例于平台高度。

主横舱壁、纵舱壁、首尾尖舱结构, 比例于舱深或 $(D - h_d)$ 。

各上层建筑的围壁及甲板, 比例于层高 $h_i$ (距下层甲板的重心位置)。

铸锻件(首柱、尾柱、轴支架等), 比例于吃水。

各层机炉舱棚, 取所在甲板高度的一半处。

机座, 比例于 $D$ 。

电焊及铆钉, 取在钢料重量的总重心处。

其他结构, 可根据具体位置参考型船确定。

木作舾装部分的重心高度:

船体木作(木围壁及隔壁、木铺板、木甲板、货舱木护条等), 根据总布置图近似地取在其面积的形心处或板厚中心处。

舱盖, 根据总图分层计算。

起货设备, 参考相近实船的资料确定。

舵、锚泊及系泊设备, 比例于型深。

舱室内的舾装木作(如里子板、天花板等细木作), 重心在甲板上高度比例于层高 $h_i$ 。

油漆, 比例于 $D$ 。

其它, 可根据新船的布置及型船资料加以确定。

机电设备部分的重心高度:

主机, 可按不同机型进行选取, 其中柴油机常取在轴线以上 $(0.30 \sim 0.45)h$ ,  $h$ 为机器在轴线以上部分的高度; 蒸汽机常取在轴线以上 $(0.1 \sim 0.2)h$ ,  $h$ 意义同上; 汽轮机常取在轴线上。

锅炉, 应按其技术特征和布置特点与型船作比较后加以确定。

轴系及螺旋桨, 可近似地取在其轴线处。

其它, 可根据布置并与型船比较加以确定。

### ③按施工图纸计算。

当有了施工设计图纸后, 可逐项地进行计算, 这样所得的结果准确, 但计算工作量大。

应该指出的是, 设计初始阶段, 空船重量中通常要有适宜的排水量储备。对重心高度也应有一定的储备, 特别是对于那些稳性要求比较高或者稳性不易满足的船舶更应加以注意。一般是将储备排水量的重心高度取在空船 ( $LW = W_h + W_t + W_m$ ) 的重心处。有时考虑到重心估算的误差及将来可能发生的重量变化, 从提高船的安全性考虑, 往往将整个空船 (包括排水量储备) 的重心提高  $0.05 \sim 0.15\text{m}$ , 作为新船重心高度的储备。也可以根据  $W_h$ 、 $W_t$  及  $W_m$  重心估算的结果, 分别取各自的重心储备。

### 2. 载重量的重心高度 $Z_{gd}$

①粗估法。在设计开始时, 往往是将载重量与空船重量合在一起, 即以设计排水量  $\Delta$ , 根据相近型船的资料, 比例于  $D$  或  $D_1$  求得全船的重心高度  $Z_g$ 。

②比较精确的估算。当有了总布置图以后,  $DW$  的重心高度  $Z_{gd}$  可以根据各个项目的重量在船上的位置进行估算。如人员的重心高度一般可取为所在甲板以上  $1\text{m}$ ; 双层底内的油水的重心高度可取为双层底高度  $h_d$  的  $2/3$  左右等。

## 二、重心纵向位置 $X_g$

### 1. 空船部分 $X_{g1}$

空船部分重心的纵向位置, 在初始设计阶段可取比例于船长  $L$ , 即

$$X_{g1} = \lambda L; \quad (4-38)$$

式中,  $\lambda$ ——比例系数, 可取自型船, 注意机舱的部位应相近。

随着设计深入, 可以根据图纸资料分项换算或详细计算。

### 2. 载重量部分 $X_{gd}$

$DW$  各部分的重心纵向位置  $X_{gd}$ , 可根据总布置图估算。

相对讲来,  $X_g$  的准确性要求不如  $Z_g$  那样高, 但在设计资料具备时, 应认真估算  $X_g$  值, 以使船有适宜的浮态, 尤其是对于航行在浅水航道、船吃水受到限制的内河船舶, 更应加以注意。

## 复 习 思 考 题

1. 船舶平浮在预定吃水  $T$  的条件是什么?
2. 船的典型排水量与载况有几种? 为什么说它们是典型的?
3. 如何理解准确估算空船重量的重要性? 民船空船重量由哪几部分组成?
4. 船体钢料  $W_h$  与哪些因素有关? 同样排水量  $\Delta$  的甲乙两艘船,  $B$ 、 $T$  基本相同, 甲船的  $L$  大  $C_b$  小, 乙船  $L$  小  $C_b$  大, 问哪艘船的  $W_h$  大, 为什么?
5. 估算  $W_h$  选取型船时应注意哪些问题? 设计某海船时, 找到一艘各方面都相近的内河

船, 能不能直接用作型船估算 $W_b$ 值, 为什么?

6. 试分述 $W_b$ 不同估算方法(公式)的适用性。当新船与型船在 $\Delta$ 、甲板层数、上层建筑等方面不同时, 如何加以修正?

7.  $W_b = C_b LBD$ 的估算方法有什么不足? 如何改进的?

8. 用分项换算法估算 $W_b$ 的条件是什么? 请写出上甲板、舷侧板、横舱壁等重量的估算式, 並说明模数的合理性。

9. 木作舾装部分重量 $W_r$ 的特点是什么? 与船的 $\Delta$ 和主尺度有关的有哪些重量? 与船上人员有关的有哪些重量?

10. 如何估算新船的机电部分重量?

11. 船舶设计初始阶段为什么通常都要加排水量裕度? 在什么情况下有的船需加固定压载? 在一般货船上加固定压载是否合理?

12. 载重量包括哪些部分? 它们分别是怎样估算的?

13. 选取主要要素涉及哪些基本问题?

14. 载重型船舶与容积型船舶各自的特点是什么?

15. 载重量系数 $\eta_{dw}$ 的物理意义是什么, 为什么可以用公式 $\Delta = -\frac{DW}{\eta_{dw}}$ 来粗估载重型船的 $\Delta$ , 而容积型船则不适用?

16. 诺曼系数 $N$ 的物理意义是什么? 它有什么特点?

17. 如果新船的第一次主尺度方案估算得 $\Delta$ (浮力)比 $\Sigma W_i$ (重量)小了600t, 用加大船长 $L$ 或加大方形系数 $C_b$ 来加大 $\Delta$ , 问那一种措施得到的 $\Delta$ 大? 为什么?

18. 船舶重心估算的重要性? 它们与船的哪些性能有关?

## 第五章 船舶容量与甲板面积

选取船舶的主要要素,除了满足重量与浮力平衡之外,满足容量与甲板面积的要求是设计中必需考虑的又一基本问题。如货船要装载货物、要布置机器及住舱等,需要内部容积;客船载客,需要有足够的甲板面积等等。此外,露天甲板上各种设备的布置要有一定的甲板面积。有的船还需要一定的甲板作业地位,如渔船的起放网,分鱼、装箱、落舱等。

要求新船提供的容积与甲板面积的大小,是根据货物、机械、设备、人员等方面的需要而定,并通过选择适宜的船舶主尺度来保证的。当然,新船所提供的容积及甲板面积要恰到好处。太小不能满足使用要求;太大又造成浪费。

本章结合船的使用任务特点,分载重型船与容积型船来讨论有关布置地位问题。

### §5-1 载重型船的舱容

设计载重型船舶,初步确定船的主要要素以及对船的布置格局有一粗略设想后,通常第一步是解决重量与浮力平衡问题,第二步就是校核容积。所谓校核容积,一方面是估算按任务要求所需的容积,另一方面是估算出新船所能提供的容积,通过比较来校核原先选择的船主尺度及系数等是否合适。

下面分两方面进行讨论

#### 一、所需主体内容积的计算

一般尾机型货船需要设置的舱室有货舱、机舱、油水舱、压载舱及首、尾尖舱等等,如图5-1所示。如果是中机型或中尾机型船,往往还有轴隧室。下面分别介绍这些舱室所需容积的计算方法。

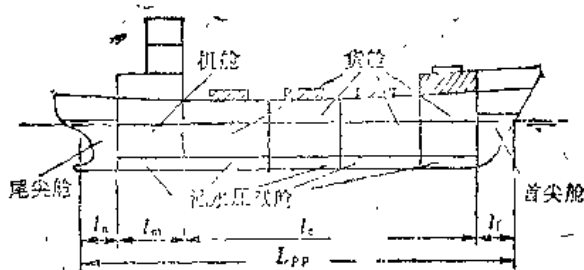


图 5-1 货船的舱室划分

##### 1. 货舱型容积 $V_c$

$$V_c = W_c \cdot C \cdot \frac{1}{k_c}, \quad (5-1)$$

式中,  $W_c$ ——载货量(t), 通常  $W_c$  是设计任务书给出的。有时任务书中是给出载重量  $DW$ , 则计算出  $DW$  中的各项重量后, 可得到  $W_c$ , 即  $W_c = DW - \sum W_{i0}$ 。

$C$ ——积载因数( $m^3/t$ ), 具体数字参见表3-2, 也可从有关设计手册中查得。船舶设计的实践经验表明, 如  $C > 1.4$ , 在设计中要对容积问题特别注意。如  $C < 1.4$ , 一般说所选择的船主尺度对容积是不会存在问题的。

对于液货(原油等), 常用密度  $\rho_c(t/m^3)$  表示其特征, 这时式(5-1)中的  $C$  则改为  $1/\rho_c$ 。

$k_c$ ——型容积利用系数。型容积是指按型线图计算得的容积( $m^3$ ), 而实际货舱里有骨架、护条(木或扁钢)等等, 要占去一部分容积, 所以  $k_c$  的大小表示舱容利用率的高低。 $k_c$  有时也

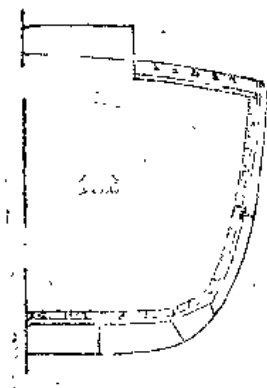


图 5-2

称折扣系数。

$k_c$  值随货物及装运方式不同而异,通常初估时可取为:包装货舱,0.88~0.92;散装货舱,0.98左右;货油舱,0.95~0.96(其中2~3%为考虑油受热膨胀所需的容积);冷藏舱在0.7~0.8左右(因绝缘与管系占去较多容积)。

上述数值只供参考,设计时最好参考相近型船的资料,比较分析进行修正。如船小,通常  $k_c$  应小些;甲板层数多,  $k_c$  也小些。如果设计时将  $k_c$  取大了,今后实船装不下预定数量的货物,将影响船的使用要求及经济性。一般船东对货舱容积十分重视,设计中要给予保证。

## 2. 燃油、淡水舱型容积 $V_{ow}$

$$V_{ow} = \sum \frac{W_i}{\rho_i k_i}, \quad (5-2)$$

式中,  $W_i$ ——油、水重量(t)。

$\rho_i$ ——相应燃油、滑油、水等液体的密度( $t/m^3$ ),通常,重油  $\rho = 0.89 \sim 0.90$ ,轻油  $\rho = 0.84 \sim 0.86$ ,淡水  $\rho = 1.0$ 。

$K_i$ ——液体舱型容积利用系数,其中燃油舱一般取为0.95左右,比货油舱的  $k_c$  小是因为考虑燃油大多为重油,加热管子将占去一部分容积,且燃油舱常设在双层底内,骨架占的容积比例大些,同时舱容也比货油舱小;水舱一般可取为0.97左右。

## 3. 专用压载水舱型容积 $V_b$

货船设专用压载水舱是因为要在压载航行时用来装压载水。如散装货船及油船卸完货后返航时,如果不压载,船的吃水太浅,航行性能变坏。出于环境保护考虑,为了防止船上排出的污水污染海水,除某些船考虑到港口有接受油污水处理设施之外,目前已不再用油舱兼作压载水舱,所以要设专用压载水舱。压载水量多少,因船而异,幅度变化很大。通常在  $(\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}) DW$  之间,大船比例小些,小船或特殊的船,压载水量可能很大,如有一艘浅吃水船,装500t货,无货航行时要装320t压载水,占载重量的60%。通常用比值  $k_b = W_b/DW$  来表示船压载水量  $W_b$  的多少。

一般要求压载航行时的首尾吃水为:

首吃水  $T_f = 2.5 \sim 3\% L_{pp}$  以减少首部船底拍击;

尾吃水  $T_a = 0.8D$  ( $D$  为螺旋桨直径),目的是使螺旋桨大部分浸没在水里,以改善螺旋桨的工作条件,避免飞车。一般认为,  $T_a$  至少为  $(0.6 \sim 0.7)D$ 。

确定出  $T_f$  和  $T_a$  后,就可以利用邦戎曲线、静水力曲线算出压载航行时的排水量  $\Delta_b$ ,从而能得到所需的压载水重量  $W_b$ 。

初步设计时,  $V_b$  可用式(5-2)估算,而对海船可取:

$$V_b \approx W_b = k_b \cdot DW, \quad (5-3)$$

式中,系数  $k_b \approx 0.2 \sim 0.5$ ,最好取自相近型船。

$V_b \approx W_b$  (不考虑舱容利用系数  $k$ ),是因为海船的压载水通常为海水,其密度  $\rho = 1.025$ ,与  $k$  相乘接近1。

#### 4. 机舱型容积 $V_m$

通常应用公式为

$$V_m = k_m l_m B (D - h_d), \quad (5-4)$$

式中,  $B$ 、 $D$ ——型宽与型深。

$h_d$ ——双层底高度, 参考型船确定。

$k_m$ ——系数, 参考相近型船确定。

$l_m$ ——机舱长度, 可认为是主机长度  $l_{m1}$  加上某一数值  $C$ , 即  $l_m = l_{m1} + C$ , 其中  $C$  的数值最好根据相近的型船确定, 这里的型船是指机舱位置、主机类型与功率、螺旋桨数目及船主尺度等方面相近者。其中特别是机舱位置的影响较大。对于低速柴油机船, 在缺乏资料的情况下, 初估时, 可取  $C$  的数值为:

中机型船             $4 \sim 5 \text{ m}$ ;

中尾机型船         $4 \sim 6 \text{ m}$ ;

尾机型船            $10 \sim 12 \text{ m}$ 。

#### 5. 其他舱的型容积 $V_a$

其他舱是指首、尾尖舱和轴隧室等。如果是中机型船, 机舱后的轴隧相当长, 如一条弄堂, 人应能进去观察主轴运转情况, 检查轴承, 加润滑油等。轴隧后端一般还有逃口, 直通露天甲板。因此轴隧室需要占有一定的容积。此外, 还有油船的泵舱; 机舱和油舱之间、油水舱之间、轻油及滑油与重油舱之间的隔离空舱; 油船前部的压载舱等等, 都占有一定空间, 应在估算所需的舱容时予以考虑。 $V_a$  一般为主体总型容积的  $2 \sim 4\%$ , 也就是  $V_a = (2 \sim 4\%)V$ 。

综上所述, 船主体内各种舱室所需要的总型容积为

$$V = V_c + V_{ow} + V_b + V_m + V_a - V_u; \quad (5-5)$$

式中,  $V_u$ ——上甲板以上装货的容积 ( $\text{m}^3$ ), 前面提到的  $V_c$  是装货所需的型容积, 但在有的船上其货舱口超出上甲板有一定的高度, 可装一部分货物; 有的货船前面的首楼也可装货, 如图5-1所示。因此, 要从所需的货舱型容积  $V_c$  中减去  $V_u$  的容积。 $V_u$  的大小可以根据有关型船资料及布置情况加以确定。

## 二、船主体能提供的型容积估算

船的主尺度及系数确定后, 就可按下式估算出船主体所能提供的型容积  $V_b$ 。

$$V_b = C_{bD} L_{pp} B D_1; \quad (5-6)$$

式中,  $L_{pp}$ ——垂线间长;

$B$ ——型宽;

$D_1$ ——只计入首尾舷弧影响的相当型深, 即,

$$D_1 = D + \frac{A}{L_{pp}} \quad (5-7)$$

其中  $A$  为首尾舷弧超过型深所围的面积 (见图4-3);

$C_{bD}$ ——计算到型深  $D$  的方形系数, 按式(4-13)计算。

### 三、容量方程

前面讲到的式(5-5)是各种舱室总共所需求的主体型容积 $V$ ；而式(5-6)是已选定主尺度的船所能提供的主体型容积 $V_h$ 。为满足船的使用要求，式(5-5)应与式(5-6)相等，这就是容量方程。

$$\left. \begin{aligned} V_h &= V; \\ C_{BD} L_{PP} B D_A &= V_c + V_{ow} + V_b + V_m + V_a - V_{uo} \end{aligned} \right\} \quad (5-8)$$

核算新船所需舱容，其结果应是 $V_h = V$ ，或 $V_h$ 略大于 $V$ 。如果 $V_h < V$ 或者 $V_h$ 比 $V$ 大得过多，则需调整主尺度。当然，如果主尺度改变，重量与浮力的平衡也遭破坏，要重新调整主尺度及系数，使船的重量与浮力达到平衡。以后还会知道，如快速性、稳性等性能不满足要改变尺度时，也得重新计算舱容。这也说明船舶设计是个逐步近似的过程。

### 四、货舱容积的容量方程

前面讲的是从船主体下容积出发来讨论问题，涉及所有舱室的总容积。下面再介绍另一形式的容量方程，即仅从货舱所需的容积 $V_c$ 和船主体能否提供这样大的 $V_c$ 着眼来进行核算。

图5-1为一艘典型的尾机型货船主体下各舱室在船长 $L_{PP}$ 范围内的设置情况。这时，容量方程可写成：

$$\begin{aligned} V_c &= k_c l_c B (D - h_d) \\ &= k_c [L_{PP} - (l_a + l_t + l_m)] B (D - h_d), \end{aligned} \quad (5-9)$$

式中， $V_c$ ——货舱容积( $m^3$ )；

$l_c$ ——货舱长度(m)；

$l_m$ ——机舱长度(m)；

$l_t, l_a$ ——分别为首、尾尖舱长度(m)；

$h_d$ ——双层底高度(m)；

$k_c$ ——系数，可参考相近的型船选取。

在初步确定出主尺度，并参考相近的型船定出 $l_m, l_t, l_a, h_d$ 及 $l_c$ 以后，可用式(5-9)估算出船主体所能提供的货舱容积 $V_c$ 值，与用式(5-1)计算得的 $V_c$ 进行比较，则能判断出所选主尺度的合适程度。

在初步设计阶段，当已选定某一船体型线(如模型试验系列资料或相近型船的型线)，则可以根据型船的横剖面面积曲线和型线图，进行改造后得出新船横剖型线图(具体方法参见“船体型线设计”一章)，以此估算出长度 $l_c$ 范围内的型容积 $V_c$ ，看能否满足货舱所需容积的要求。用这一方法估算得到的结果比较准确。

### 五、分析与讨论

由前面的式(5-8)可知，从船主体下的整个舱容角度出发，新船主尺度及方形系数的大小，与载重量 $DW$ (包括货物重量 $W_c$ 、油水重量 $W_{ow}$ 等)、货物的积载因素 $C$ 、专用压载水比值 $k_b$ 及机舱所占的容积等多方面因素有关。下面再根据容量方程式(5-9)，对船的主尺度与货舱

容积方面的内在联系作些分析与讨论。

### 1. 从保证货舱容积 $V_c$ 看

据式(5-9)可见,要使 $V_c$ 增加,就应增大 $L$ 、 $B$ 、 $D$ 或使 $l_a$ 、 $l_t$ 、 $h_d$ 及 $l_m$ 下降。下面分别进行讨论。

① $L$ 、 $B$ 加大。通过加大 $L$ 、 $B$ 来增加货舱容积 $V_c$ ,将会带来以下影响:船长 $L$ 加大,将使船体钢料重量等增加,相应造价也将提高;船宽 $B$ 加大,将对稳性有较大影响;排水量 $\Delta$ 随 $L$ 、 $B$ 的加大而增大,就是说浮力增加,这时空船重量 $LW$ 虽也有所增加,但船的浮力仍将大于重量,势必要减小 $C_b$ 或 $T$ ,这将对快速性等有影响,因而要权衡各有关因素后再确定。

因此,一般情况下(特别是 $V_c$ 相差不是很大时),不希望增加 $L$ 和 $B$ 来保证货舱容积的需要。

② $l_a$ 、 $l_t$ 和 $h_d$ 减小。因为尾首尖舱长度 $l_a$ 和 $l_t$ ,一方面取决于有关规范的规定和实际使用上的要求;另一方面船体的尾首端尖瘦, $l_a$ 、 $l_t$ 的减小对增加 $V_c$ 的效果不大。而双层底高度 $h_d$ 则是根据使用要求、安全及工艺等方面加以确定,如规范规定 $h_d \leq 700\text{mm}$ 等。因此,这三者都不能作为解决 $V_c$ 的有效措施来考虑。

③ $l_m$ 减小。通常主机确定以后,一般说机舱长度 $l_m$ 的变化范围不大。如果把全船容量分成盈利和非盈利两个部分,则机舱属非盈利部分。因此最大限度地缩小机舱长度 $l_m$ ,是提高船舶经济性的措施之一。现代船舶提出的立体机舱布置,采用模型方法把机舱布置得非常紧凑,就是这一思想的体现。相比之下,我国以往设计的船舶,机舱长度 $l_m$ 一般均较大。显然, $l_m$ 参考相近的型船选定后,则它对 $V_c$ 的影响已很小了。

④ $D$ 增加。设计实践表明,核算舱容以后,如发现货舱容积不够时,增加型深 $D$ 是设计中常用的主要措施,这是最有效而对其他方面影响较小的办法。对大船来说,因加大 $D$ 对强度有利,从面对船体钢料重量影响很小。当然, $D$ 增加,船的重心升高,受风面积加大,对稳性有影响,但一般情况下,这些问题比较容易处理好。

根据以上分析可知,载重型船的容积问题,往往反映在确定合适的型深问题。当然,如果设计中发现浮力偏小,稳性不足,快速性也不够理想等情况,则在解决容量问题时,应权衡各方面的因素,合理地调整主尺度,这时就不限于仅仅改变型深了。

### 2. 从控制 $D/T$ 看

将式(5-9)右边乘以 $\Delta/L_{vp} \cdot B \cdot T \cdot C_b$ ,可得出下式

$$V_c = \frac{\Delta}{C_b} \cdot k_c \left( 1 - \frac{\sum l_i}{L_{vp}} \right) \left( \frac{D}{T} - \frac{h_d}{T} \right). \quad (5-10)$$

由式(5-10)可知,容积 $V_c$ 与比值 $D/T$ 有关,如果新船与型船的 $\Delta$ 和 $C_b$ 相近,则要保证 $V_c$ 可控制比值 $D/T$ 。如对新船的容积要求比型船大(载货量 $W_c$ 多,或积载因数 $C$ 大等),则 $D/T$ 值也应比型船取得略大些。

## §5-2 容积型船的舱容与甲板面积

前已述及,容积型船的主要要素即 $\Delta$ 、主尺度及系数等的确定,往往先从舱容与甲板面积入手,即参考型船大体确定一组尺度后,首先构画总布置草图,从核算是否满足舱容与甲板



面积的需要出发,确定合适的主尺度,继而进行重量与浮力的平衡,并确定有关系数及排水量,再核算各项性能等。下面对客船等容积型船的主尺度与甲板面积的联系作简要介绍。

## 一、客船

客船是典型的容积型船之一。为满足甲板面积需要,既要考虑船主体内甲板面积的布置,又要考虑上层建筑内的甲板面积。而客船所需的甲板面积中,最主要的是上层建筑内布置旅客用的甲板面积。如有客舱标准相近的型船,则可以根据不同等级的旅客人数,估算出旅客所需的甲板面积,以便设计者心中有数。下面分船主体与上层建筑两方面进行讨论。

### 1. 船主体方面

船主体是指上甲板(最上一层连续甲板)以下的部分。如前所述,影响甲板面积大小的主要要素是 $L$ 、 $B$ 、 $D$ 等。

船长 $L_{pp}$ ——包括 $l_a$ 、 $l_t$ 、 $l_m$ 以及布置旅客用(客舱)的长度。如行李舱及邮件舱设置在船主体内也应考虑它们所需的长度。在上甲板以下往往布置一、二层低等级客舱。客舱的有效布置长度应为多少,可以参照型船或绘总布置草图确定。

船宽 $B$ ——应考虑到外走道、内走廊、床铺、客舱的布置。有时加大不多,就有可能加放一排床铺或坐椅,使舱室利用率更高。小客船的 $B$ 通常还应考虑能布置下主机(尤其是双机船),这往往要通过分析型船的布置,结合新船的设计特点,构画总布置草图后才能定下来。在布置主体内客舱时,应注意到由于船体型线(横剖面)是自上向下缩小过渡的,尤其是近首尾部分舱室顶面和地板的宽度相差较大,舱室的有效布置面积将减小很多。 $B$ 的大小应根据布置在主体内的旅客人数结合 $L$ ,进行确定。

型深 $D$ ——要考虑甲板分层、客舱高度、小型客船还要考虑主机布置的高度要求等等。

### 2. 上层建筑方面

上层建筑是船主体连续露天甲板以上部分的总称。上层建筑的层数、各层上层建筑的长度与宽度等是影响甲板面积大小的因素。

对客船来说,大部分旅客(包括船员)是布置在上层建筑内的,如图5-3所示。所需要的上

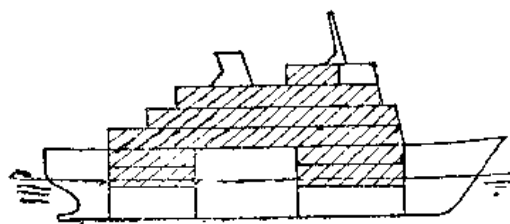


图 5-3

层建筑甲板面积,可以根据布置的人数,参照相近的型船估算出来。然后确定布置层数及各层的长度与宽度。注意在所需甲板面积中,应包括生活舱室(如不同等级的客舱、船员住舱等)、公共处所(如小卖部、阅览室、休息室、餐厅、浴厕所等)及各层的主要通道等,此外还应考虑有关的工作舱室(如驾驶室、报务室、广播室、业务室、值班室、空调室、通风机室、机舱棚、茶水间、储藏室及厨房等)。一般要通

过构画全船的总布置草图,将各种舱室布置在合理的部位,且有相应的面积,以使所提供的甲板面积能满足预定要求。

客船的上层建筑通常是很发达的,但层数不能过多,否则将会使受风面积过大及船的重心过高,对稳性及航行性能不利。上层建筑的长度要与船长相适应。因为船的首尾部分要留有足够的露天甲板面积,作为布置锚及系泊设备和靠离码头时船员操作之用。所需的长度多

少可以根据相近型船确定。总之,对于客船,应将船主体与上层建筑所提供的甲板面积结合在一起考虑,以确定出适宜的主尺度。

## 二、其他船

客货船——在确定船长时,除了计及上述客船的因素以外,还应考虑各种货舱所需的长度 $L_c$ ;在露天甲板上应有布置起货设备所需的面积。

拖网渔船——通常应根据起网、理鱼、落舱作业的要求,结合鱼舱容积,绞网机的地位及生活舱室所需的上层建筑地位等等,综合研究及分析所需的最小船长与船宽。型深则往往是取决于机舱和鱼舱的适宜高度及稳性要求等面素。

载运单元货(如车辆、集装箱等)的船舶——需要结合单元货的总数,单元货的尺度,甲板下及甲板上布置的单元货行数(纵向)、列数(横向)与层数(高度方向),以及其他方面的要求等,然后分别考虑船长、船宽及型深的选取。

## 三、客船的布置面积标准

在设计初始阶段构画总布置草图时,为了对新船的布置面积标准等有一数量概念,需要对相近型船的布置标准进行统计分析,并确定新船布置的指导思想,以保证新船总布置设计的合理性。通常对总布置图进行的一些统计计算工作,如客船包括:

- ①不同等级旅客的舱室标准(房间数、每室人数、每人占用面积数等);
- ②用于旅客住室的面积及公共处所的面积,以及它们的比值;
- ③用于旅客娱乐、活动场所(文娱休息室、咖啡室、跳舞厅、阅览室等)的总面积,及其与旅客人数的比值;
- ④每位旅客占有的散步甲板面积;
- ⑤各层甲板的主要横通道的面积数值及能容纳的旅客人数;
- ⑥用于布置旅客的甲板面积与总的甲板面积(或 $L_{pp} \cdot B$ )之比值;
- ⑦不同等级船员住室的人数及面积数值;
- ⑧船员的公共处所面积,及其与船员数之比值;
- ⑨用于布置旅客与船员的总面积与 $L_{pp} \cdot B$ 之比值;
- ⑩餐厅的人数及每人占有的面积数值;
- ⑪其他有关布置地位的标准。

在新船的总布置设计完成后,对上述数据的统计,往往反映出新设计船的布置面积标准及水平、甲板面积的利用率等。它们也可作为比较不同客船的衡准指标。

表5-1为我国部分沿海客船的有关参数,可供初步设计时参考。

## §5-3 舱容及其形心位置的计算

在总布置图、型线图及有关结构图确定以后,就可计算各舱舱容及其形心位置,并画出舱容图(或容量图),以便计算船舶在各种装载情况的浮态、稳性和抗沉性等,并为营运中船员进行配载和控制船的浮态及稳性提供基础资料。

表5-1 我国部分海陆客船有关参数

项目 船名	$L_{oa}$ (m)	$L_{pp}$ (m)	$B$ (m)	$T$ (m)	$D$ (m)	$\Delta$ (t)	$C_b$	$C_w$	主机功率 (台数 $\times$ HP)	$V_k$ (kn)	旅客数 (人)	船员数 (人)	$A_1$ ( $m^2$ )	$A_2$ ( $m^2$ )	$A_3$ ( $m^2$ )	$A_4$ ( $m^2$ )	$A/L_{pp}B$
工2	105	96	15.2	5.2	6.5/8.9	4000	0.505	0.713	1 $\times$ 2660	14.67	980	—	1327.9	786.5	437.1	173	1.868
天山号	114	102	15.4	5.3	6.6/9.0	4430	0.516	0.758	2 $\times$ 1320	13.60	1190	109	1308.4	432.4	461.2	96.6	1.462
乙型沿海	90.6	82	14.0	4.65	6.7/9.1	2897	0.587	0.747	1 $\times$ 1500	12.40	509	84	768.5	357.3	297.4	121.1	1.344
丙型沿海	58.54	52	10.0	3.20	5.3/5.3	935	0.548	0.758	1 $\times$ 520	10.90	312	25	306.4	124.5	116.2	52.7	1.155
长征型	138	124	17.6	6.0	8.4/10.9	7706	0.571	0.78	2 $\times$ 4500	18.10	900	132	1489.3	871	680	277	1.522
琼沙线(广船)	86	76	13.4	3.9	5.0/7.3	2150	0.52	0.73	3 $\times$ 1320	16.20	221	63	474.2	338.3	209.7	67.8	1.128
工18	105.62	97	15.8	3.8	5.3/7.7	3660	0.608	0.792	2 $\times$ 2000	16.00	774	101	1195.1	612.6	456.8	275.3	1.658
紫荆号	105.62	97	15.8	3.8	5.3/7.7	3657	0.608	0.792	2 $\times$ 3000	18.00	919	123	1550.6	744.3	458.6	206.9	1.93
1600t 沿海	77.3	68	12.4	3.4	4.6/6.9	1674	0.566	0.776	1 $\times$ 1320	12.00	452	50	632	242	155	57	1.288
广亚线	91.3	83.5	13.8	3.6	5.1/7.5	2335	0.551	—	—	—	532	74	891.4	430	320.3	86.3	1.501
耀华号	149	132	21.0	6.6	10.8/13.5	10105	0.538	0.725	2 $\times$ 7500	21.50	400	131	1367.53	1718.45	1072.6	451.1	1.661
马兰号	107.6	96.4	15.2	4.2	5.6/8.0	3348	0.506	0.712	2 $\times$ 2000	16.30	600	78	1360.9	438	934.3	78.5	1.95
813 沿海	58.13	52	10.0	3.2	5.3/5.3	940	0.548	0.758	—	11.20	314	14	355	109	112	37	1.18
长柳号	138.0	124.0	17.6	6.0	8.4	7706	0.571	0.78	2 $\times$ 4500	18.10	820	105	1527	1941	892	317	2.144
5000t 级沿海	120.0	108.0	18.8	5.2	9.6	6188	0.568	0.788	2 $\times$ 3400	16.30	1302	120	2177	2100	605	624	2.712

注:  $A_1$ 、 $A_2$  为旅客及船员居住总面积和公共(服务)处所总面积; $A_3$ 、 $A_4$  分别为旅客及船员的居住处所总面积, $A_2$ 、 $A_4$  分别为旅客及船员公共及服务处所总面积。

## 一、干货舱

干货舱的容积分型容积、散装容积及包装容积等,通常可按下述方法计算。

### 1. 计算各舱型容积及形心位置

这种计算和船舶静力学中计算船的排水体积和浮心的方法相似,这里仅作简单说明。以某一两层甲板货船的一个货舱为例,计算步骤为:根据货舱两端壁在船长方向的位置,按近似积分规则,取3~5个等间距横剖面,绘出其横剖型线图,并在图上作出内底、第二甲板及上甲板的理论线。然后分别计算各剖面底舱及甲板间舱部分的型面积 $A_i(\text{m}^2)$ ,面积对基线的静矩 $m_{zi}(\text{m}\cdot\text{m}^2)$ 及面积对该舱近船中一个端壁的静矩 $m_{xi}(\text{m}\cdot\text{m}^2)$ 。再将底舱部分及甲板间部分的 $A_i, m_{zi}, m_{xi}$ 分别进行积分即得到底舱及甲板间舱的型容积 $V(\text{m}^3)$ 、体积矩 $M_z(\text{m}\cdot\text{m}^3)$ 和 $M_x(\text{m}\cdot\text{m}^3)$ 。并由式 $Z_v = M_z/V$ 和 $X_v = x_1 + M_x/V$ 计算得该舱的型体积形心,其中 $x_1$ 为近船中舱壁至船中的距离。注意以上的计算中不包括货舱口围板范围内的容积。

### 2. 散装舱容

将各舱型容积乘以舱内结构(骨架、半纵舱壁、横舱壁、支柱、护条、通风管、梯……)所占体积的折扣系数 $k_c$ 即得甲板下散装舱容。杂货舱的系数 $k_c$ 依舱的大小及舱内结构的具体情况在0.98~0.99范围,大船及大舱取上限。专用散装货船的舱内构件较少,也可取大的 $k_c$ 值。当然,干散货并不能装到所有的货舱顶部边角及甲板梁间空隙内,故散装舱容与实际装的货物体积之间是有小的差别的,以上的算法不过是为了便于计算而采用的习惯做法而已,在包装舱容计算上也是这样。

散装容积的形心仍假定在型容积的形心处,这比实际的货物重心稍高,偏于安全。

### 3. 包装舱容

在计算货舱型容积 $V_c$ 所用的剖面图上绘出甲板横梁(或纵骨)下缘及货舱护条内缘线,舱底木板板顶面线,并假定阴影线部分可用于装包装货,就可利用类似于1.中的方法计算包装容积及其形心位置。但是,考虑横舱壁结构所占去的体积,应将算得的体积乘以 $V'/l$ ,其中 $V'$ 及 $l$ 分别为扣除横舱壁影响后的有效舱长及舱的理论长度,若利用货舱型容积 $V_c$ 的计算结果,可使计算方法更为简单。此法是计算靠近型体积中心的一个剖面的有效面积 $A'$ 及垂向静矩 $m'_z$ ,然后用下式计算包装舱容及其形心高度 $Z_{ba}$ :

$$V_{ba} = V_c \cdot \frac{l'}{l} \cdot \frac{A'}{A}, \quad (5-11)$$

$$Z_{ba} = Z_{gc} \cdot \frac{m'_z}{m_z}, \quad (5-12)$$

式中 $A$ 及 $m_z$ 为对应剖面的型面积及垂向静矩。而包装舱容积 $V_{ba}$ 的形心纵向位置可取与型容积的相同。

### 4. 露天甲板货舱口围板范围内的容积及形心

其体积等于各舱口长×宽×高,形心取为舱口围板长度的中点及围板半高处。

将各货舱的底舱、甲板间及舱口范围的容积以及各容积对船中和对基线的静矩分别加起来,即得各货舱的总容积及体积矩,从而可求出各货舱的总容积及形心位置。

## 二、液体舱

液体舱包括货油舱、燃油舱、淡水舱、压载水舱等。

液体舱的有效体积等于其型容积乘折扣系数 $k_c$ ，形心则取在型容积的形心处。 $k_c$ 的值，对装原油、水舱在0.975左右，尖舱为0.96~0.97，双层底以外深舱为0.98~0.99。应当注意，有加热管的油舱， $k_c$ 值还应低0.5~1.0%，另外，在计算油舱的最大装油量时还需留出3%左右的膨胀空隙。

舱顶低于营运中最低水线的压载水舱一般只计算其满舱情况即可。对油舱（包括货物油舱）、清水舱及舱顶高于营运最低水线的压载水舱应计算出各舱在各液面深度处的体积 $V$ 及形心坐标 $x_v, z_v$ 及边舱的 $y_v$ ，以及自由液面的面积 $A$ ，形心坐标 $x_a, y_a$ 以及对通过其形心的纵轴及横轴的惯矩 $i_x, i_y$ ，并给出这些要素与液面深度的关系曲线，如图5-4所示。它们是编制容量计量图表和计算浮态及稳性（包括海损稳性）的基础资料。

计算液体舱体积及形心位置时，以采用按水线积分的方法较好，因为这样可以同时算得各深度处自由液面的要素。

### 三、容量图

为了得到全船主体内各舱的容积及其形心位置，为核算抗沉性、稳性、浮态等使用方便起见，通常要绘制容量图，有时也称为舱容图，该图根据总布置图及邦戎曲线图来作，图中各舱室的名称与总布置图相对应，并注出型容积 $V(m^3)$ ，形心距船中位置 $x$ 及该舱的积载因子 $\mu$ （即渗透率，为该舱内没水的体积与型容积之比），如图5-5。图的上部给出总布置草图是为了便于对照，说明问题，在正式图上是不画出的。

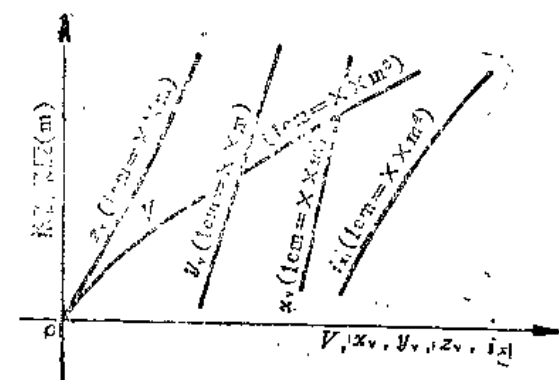


图 5-4 液体舱要素与液面深度关系曲线

图中各舱室的名称与总布置图相对应，并注出型容积 $V(m^3)$ ，形心距船中位置 $x$ 及该舱的积载因子 $\mu$ （即渗透率，为该舱内没水的体积与型容积之比），如图5-5。图的上部给出总布置草图是为了便于对照，说明问题，在正式图上是不画出的。

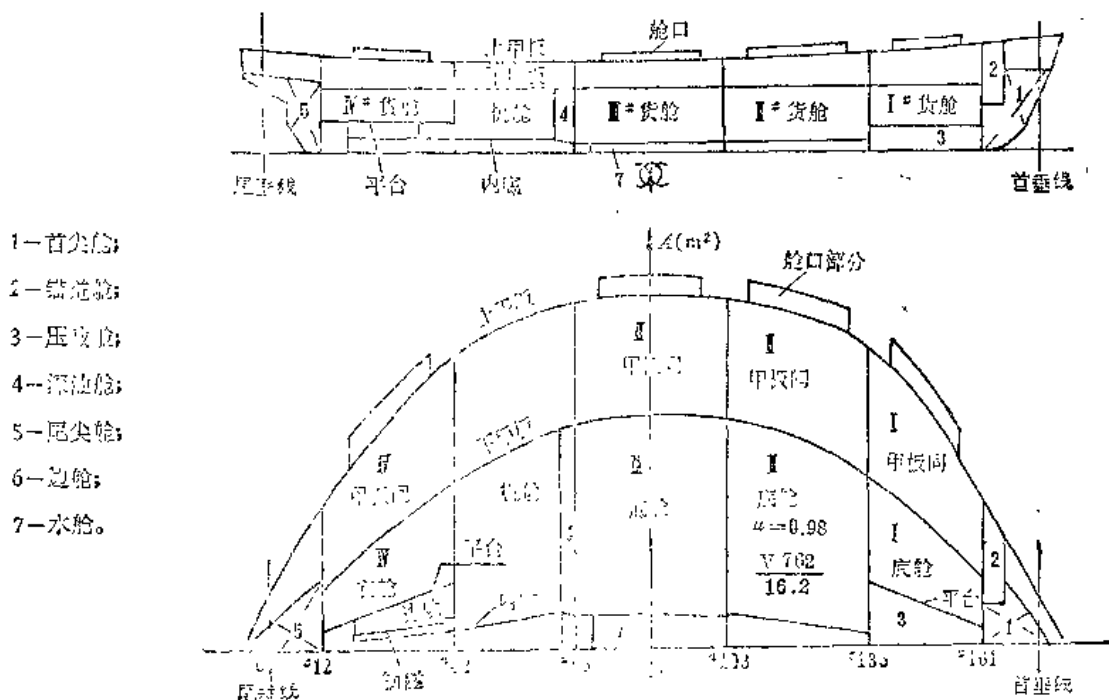


图 5-5 舱容图

容量图上通常还附有各舱室容积要素明细表(如表5-2),以便使用。

表 5-2 舱室容积要素表

单位: 容积( $\text{m}^3$ ), 长度(m)

序号	舱室名称	肋位号		型容积 $V_0$	积载因子 $\mu$	实际容积 $V$	形心位置		备注
		始	终				$x$	$z$	

### 复习思考题

1. 载重型船与容积型船所需的布置地位有什么区别?
2. 载重型船的主尺度确定以后如何校核其是否满足舱容的需要?
3. 为什么说设计要求的积载因数 $C > 1.4$ 的新船时, 应特别注意舱容问题?
4. 新船载货所需的舱容 $V_c$ 如何估算?
5. 型容积利用系数 $k_c$ 的大小意味着什么? 为什么包装货舱的 $k_c$ 值要比散装货舱的小?
6. 油水舱所需容积如何估算?
7. 为什么要设压载水舱? 压载水量的多少是根据哪些条件确定的?
8. 估算船主体内各舱所需的总型容积公式包含哪些项目?
9. 初步确定主要要素后, 如何估算船主体所能提供的总型容积?
10. 两种不同形式的容量方程(5-8)及(5-9)说明了哪些问题?
11. 为什么舱容不足时一般是采取增大型深 $D$ 的办法?
12. 对客船布置的考虑与货船有什么不同?
13. 反映客船甲板面积标准的参数有哪些?
14. 什么是容量图, 它是如何作出来的? 有什么用处?

## 第六章 船舶快速性

船舶技术性能包括的面很广,如快速性、稳性、抗沉性、耐波性、操纵性、最小干舷、登记吨位、振动、强度等等。它们大多与船的主要要素、船体型线、总布置等有着密切的联系,并对船的安全性、经济性与适用性有重要影响。因此,在设计过程中,选择与确定主要要素的不同阶段,都要随时核算各项技术性能。如开始选择与确定主要要素时,就要根据初步确定的主尺度、船型系数等,估算船的某些技术性能,以便能得到一组满足各方面要求的主尺度方案,为设计成功打下良好的基础。在设计深入开展、图纸资料逐步完善的情况下,就要详细计算与校核船的各项技术性能,使新船的技术形态能确切地展现出来。

从这一章开始将从船舶总体设计角度对船的一些技术性能分别进行讨论。

### §6-1 概 述

船舶快速性是表征船在水中的航行速度及其与所需主机功率之间关系的性能。快速性是船舶的一项重要技术指标,对满足使用要求和保证营运经济效果的影响很大。

使用要求——通常在设计任务书中都从使用要求出发规定新船的航速。如对客船(班轮),为了保证班期,达到规定的航速指标就显得特别重要。又如我国沿海货船,有不少是赶潮水过浅滩的(如长江口),如果赶不上就要耽误很长时间,影响营运,因此保证运输船舶达到设计航速,并留有一定裕度是满足使用要求的重要因素。

营运经济——航速也是影响船的经济性的一个重要因素。设计新船时,航速高些,每年可以多跑几个航次,多装货、营运收入大,但往往燃料也消耗多,相应的开支也大;相反,航速低,全年跑的航次少,虽然油耗等少些,但收入也少。同时,航速高低往往还影响到船体尺度及形状(一般航速高的船较瘦长,低的则短胖),继而又影响到船的造价。同样的航速指标,要求的主机功率不同,也影响机器的选型(造价不同)和营运开支(燃油消耗不同)等。通常船东对新船航速指标是非常重视的,交船时达不到预定的指标将按规定罚款。显然,既要使航速符合使用要求,又能使船有较好的营运经济性是设计者要解决的一个重要问题。

所谓船的快速性好,就是“在满足设计任务书各项要求的同时,达到规定的航速指标,船所需要的主机功率小”;或者是“当主机已经选定时,在满足其他要求的情况下,船的航速比较高”。当然,船的快速性好坏取决于船、机、桨多方面的因素,包括船体主尺度及船型系数、船体型线、动力装置、螺旋桨及船的浮态等等。船舶阻力与推进方面的知识,已在有关课程中专门论述,这一章着重对船主要要素与快速性的联系进行简单归纳、介绍一些航速的估算方法,并对影响快速性的诸因素作些扼要的分析。

### §6-2 船的主尺度与船型系数对快速性的影响

在设计初始阶段,估算出船的排水量以后,就应初步选择船的主尺度及船型系数,对于

河内河船舶,其船长 $L$ 、方形系数 $C_b$ 等,一般是从快速性出发,结合对经济性的考虑予以选择。

## 一、船长 $L$

由船舶阻力理论分析可知,在船的主尺度中, $L$ 对阻力性能的影响最大。

当排水量 $\Delta$ 和设计航速 $V_d$ 已定时,选用较大的船长 $L$ ,则必然使 $B$ 、 $T$ 作适当的减小。由于船体摩擦阻力 $R_f$ 与湿面积 $S$ 成正比关系,而 $S \propto (\Delta L)^{1/2}$ ,显见增大 $L$ 将使 $S$ 增加,且这一影响将比由增大 $L$ 导致摩擦阻力系数 $C_f$ 的下降更明显,因此增大 $L$ 将使 $R_f$ 增加。然而对兴波阻力 $R_w$ 来说,由于 $B$ 、 $T$ 减小, $R_w$ 将下降,同时由于 $L/B$ 增大,整个船型变得较瘦长,则不但 $R_w$ ,且粘性阻力 $R_v$ 亦将有所减小,因而剩余阻力 $R_r$ 总是随 $L$ 的增大而下降。由此可知,增大 $L$ 的结果对 $R_f$ 和 $R_r$ 产生完全相反的影响,因此对一般 $Fn$ 较低( $Fn < 0.25 \sim 0.30$ )的运输船舶,通常可以得到对应于最小总阻力 $R_{\min}$ 的最佳船长 $L_{opt}$ 值,如图6-1所示。同时一般也可找到对应于总阻力并不过高时的最短船长 $L_k$ ,即当 $L < L_k$ 时,总阻力 $R_t$ 开始显著增大,称 $L_k$ 为船长临界值或限界值。

然而,实际设计中,选取不同的 $L$ 值,船的 $\Delta$ 将是不同的。大的 $L$ 将使船体钢料 $W_h$ 等重量增加,即空船重量加大,船的 $\Delta$ 也大,阻力也将略有增加,更重要的是这时船的造价(因 $W_h$ 等增加)和相应的营运开支将增加,对经济性不利。因此通常低速运输船从经济观点出发,存在一个经济船长 $L_e$ 。

所谓 $L_e$ ,应是处于 $L_k$ 与 $L_{opt}$ 之间,使船的经济性最好的船长。因为 $L \approx L_{opt}$ ,船的造价将增加; $L \leq L_k$ ,船阻力将急剧增加,为保证船的航速将使主机功率加大,耗油量增加,对经济性也是不利的。 $L_e$ 则应是兼顾这两方面而选择的经济上有利的船长。

但是 $L_e$ 的确定通常受到各方面因素的影响,包括不同国家不同时期的船舶造价、燃料价格、运费、船体型线的研究进展及动力装置的发展情况,等等。

就具体船来说, $L$ 的选取应根据使用要求,综合多方面的因素才能最后确定下来。

应当指出的是,随着航速的提高,因其摩擦阻力占总阻力的百分数逐渐减少,如图6-2所示。因而设计 $Fn > 0.3$ 的运输船时,一般总阻力 $R_t$ 将随 $L$ 的加大而减少。通常加大 $L$ 对阻力总是有利的。但当 $L$ 加大到一定数值时,总阻力减小的趋势将变得不太显著,这时对 $L$ 也应综合快速性、钢料重量、布置地位等多方面因素,进行比较分析后加以确定。

通常在设计开始阶段,可用如下方法初定船长 $L$ 。

### 1. 巴士莱宁公式

$$L_{wl} = C \left( \frac{V_t}{V_t + 2} \right) \nabla^{1/3}; \quad (6-1)$$

式中, $L_{wl}$ ——设计水线长(m),通常民船 $L_{wl} = 1.0 \sim 1.03 L_{pp}$ ;

$V_t$ ——试航航速(kn);

$\nabla$ ——型排水体积( $m^3$ );

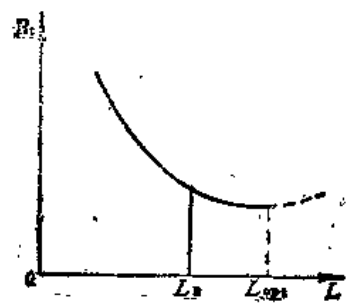


图 6-1



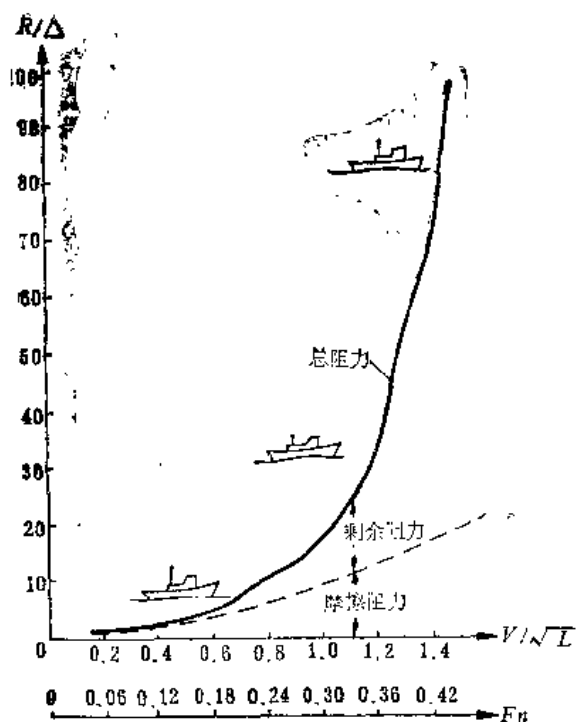


图6-2 排水型船的典型阻力特性曲线

$C$ ——系数, 建议据  $V_t$  不同而选取的范围为:

$$V_t = 11.0 \sim 16.50 \text{ kn}, \quad C \approx 7.16;$$

$$V_t = 15.5 \sim 18.5 \text{ kn}, \quad C \approx 7.32;$$

$$V_t \geq 20 \text{ kn}, \quad C \approx 7.92.$$

式 (6-1) 是由瓦根宁根水池根据船模试验资料归纳得出的, 适用于  $\Delta = 1600 \sim 4200$  的各类民用船舶。为了扩大式 (6-1) 的适用范围及反映船的具体特点,  $C$  值可根据同类型相近的型船选取。

## 2. H. Schneekluth 公式

$$L_{pp} = \Delta^{0.3} \cdot v^{0.3} \cdot C \quad (6-2)$$

式中,  $\Delta$ ——排水量(t);

$v$ ——航速(kn);

$C$ ——系数,  $C$  值通常在 2.5~2.8 范围内。若根据方形系数  $C_b$  确定, 则

当  $C_b = 0.145/Fn$ , 且  $0.48 \leq C_b \leq 0.85$  时,

$$C = 0.32,$$

当  $C_b \neq 0.145/Fn$  时,

$$C = 3.2 \frac{C_b + 0.5}{(0.145/Fn) + 0.5} \quad (6-3)$$

实用中, 系数  $C$  也可根据相近型船选取。如符合下列条件之一者,  $C$  值可适当取大些: 船的吃水或宽度受到限制; 不采用球首; 主体容积与排水量的比值较大者。

式 (6-2) 适用于  $\Delta \geq 1000\text{t}$ 、 $Fn = 0.16 \sim 0.32$  的船舶。

## 3. Volker 统计公式

$$\frac{L_{w1}}{\nabla^{1/3}} = 3.5 + 4.5 \frac{v}{\sqrt{g \nabla^{1/3}}}; \quad (6-4)$$

式中,  $v$ ——航速(m/s);

$\nabla$ ——排水体积( $\text{m}^3$ )。

此式适用于干货船与集装箱船; 对于冷藏船,  $L/\nabla^{1/3}$  值可减少 0.5; 对沿海船及拖网渔船,  $L/\nabla^{1/3}$  可减少 1.5。

## 4. 爱尔统计公式

$$\frac{L_{pp}}{\nabla^{1/3}} = 3.33 + 1.67 \frac{v}{\sqrt{L_{pp}}}. \quad (6-5)$$

5. 当新船与型船多方面都较相近时, 可直接根据型船的  $L_0$ 、 $\Delta_0$  估算出船长  $L$ 。

$$L = L_0 \left( \frac{\Delta}{\Delta_0} \right)^{1/3}. \quad (6-6)$$

## 二、方形系数 $C_b$

方形系数  $C_b$  是表征船体水下部分肥瘦程度的一个重要参数。对于民用船,特别是  $Fn$  较低的运输船,主要从经济性考虑,因此一般在确定排水量和船长之后,紧接着就确定  $C_b$ 。而对于高速船,主要从减小兴波阻力考虑,因此对棱形系数  $C_p$  予以更多的注意。

当  $\Delta$  一定时,  $C_b$  小者,也就是船体水下部分尖瘦,剩余阻力较小。但是,为了保持一定的  $\Delta$ ,主尺度将增大,这将使湿面积增大而导致  $R_t$  增大,而且会使船体钢料重量增加,以致增加造价。相反,  $C_b$  大者,主尺度可适当减小,对降低造价有利,但阻力可能会增加,特别是过大的  $C_b$  值,会使阻力剧增,以致为了达到规定的航速不得不增大主机功率,多消耗燃油,对经济性反而不利。

设计实践和试验研究表明:  $C_b$  与  $Fn$  有一个适宜的匹配关系。就是说,当  $Fn$  一定时,  $C_b$  有一个临界值,如果所选择的  $C_b$  大于此值时,阻力将急剧增加;同样,如  $C_b$  值一定时,则  $Fn$  亦有一个临界值,如超过该临界值,也会使阻力急剧增加。

显然,经济方形系数  $C_{b0}$  也应该是综合各方面的因素才能最终确定。

在初始设计阶段,为控制船的阻力性能并顾及经济性,可用下述方法估算  $C_b$  的临界值。

### 1. 赛氏公式

$$C_b = 1.216 - 2.40Fn \quad (6-7)$$

上述公式为分析大量单桨渔船的模型试验 ( $C_b = 0.50 \sim 0.86$ ,  $L_{pp}/B = 6.4 \sim 7.7$ ) 和双桨船(渡船除外)的船模 ( $C_b = 0.59 \sim 0.80$ ,  $L_{pp}/B = 6.5 \sim 8.5$ ) 资料而得到的。

### 2. 亚力山大公式 ( $Fn \leq 0.30$ )

$$C_b = C - 1.68Fn \quad (6-8)$$

式中,  $Fn$ ——按设计航速和  $L_{pp}$  计算得的傅氏数;

$C$ ——系数,可取自相近的型船,也可按统计资料选取,如:

一般情况  $C = 1.08$ ;

常用航速处于兴波阻力“峰区”的船  $C = 1.06$ ;

对航速要求较严的船  $C = 1.04 \sim 1.06$ ;

对单程满载而返程空载的低速船(大型油船、散装货船)  $C = 1.10 \sim 1.12$ ; (6-9)

对双桨船,上式计算得到的结果应加 0.01 为宜。

### 3. 瓦特生统计曲线(图 6-3)

图中实船  $C_b$  值的离散,是因为使用要求、时间、地点等因素的变化,也与设计观点有关。两虚线表明  $C_b$  值的范围。设计新船时,  $C_b$  与  $Fn$  相配合的点子处于范围内时(按  $Fn$  求得的  $C_b$ ),可认为  $C_b$  接近经济方形系数。

通常  $C_b$  加大对低速运输船经济上有利,但  $C_b$  取多大为好,也与  $L$  相似,受到各种因素的制约。如同际上 70 年代出现的“肥大型船”,  $C_b > 0.80$ ,主要是考虑到  $L$  相应减小,导致  $W_b$ 、造价以及相联系的营运开支降低,经济上有利可图。当石油危机后、油价上涨幅度大,过大的  $C_b$  将使阻力增加,油耗量加大,反而于经济性不利。当然,随着新的船体型线的研制,推进效率提高等一系列技术问题的解决,浅吃水肥大船显示出高的经济效益,为其发展开辟了广阔的前途,

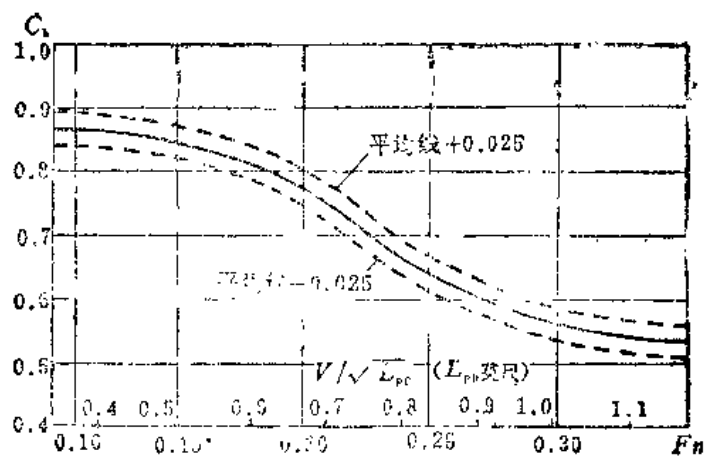


图6-3 瓦特生统计曲线

### 三、型宽 $B$ 与吃水 $T$

与 $L$ 及 $C_b$ 相比较而言, $B$ 、 $T$ 对阻力的影响较小。且在 $\Delta$ 、 $L$ 及 $C_b$ 已定的情况下, $B$ 与 $T$ 的不同选择,仅反映在比值 $B/T$ 的变化上。

试验研究表明, $B/T$ 在2.25~3.75的常用范围内变化时,船的湿面积增减的差值约在2.5%左右,因此,可以认为 $B/T$ 对摩擦阻力的影响很小。

就剩余阻力来说,一般认为加大 $B$ ,船体的散波波高增加,而吃水 $T$ 增大时,横波波高有所增加。但 $B/T$ 对船总阻力的影响甚微,试验表明当 $Fn < 0.30$ 时(即民用中低速船舶),在常用的 $B/T$ 范围内, $B/T$ 值增加0.1时,船的总阻力 $R_t$ 仅增大0.50~0.75%。

对于 $Fn > 0.30$ 的高速船,在 $\Delta$ 、 $L$ 基本不变的情况下,结合减小 $C_b$ 以增加 $B$ ,对阻力性能是有利的,特别是原设计的 $C_b$ 偏大时更是这样。如果是保持一定的 $B$ ,减小 $C_b$ 并增加 $T$ ,则不仅对减小剩余阻力有利,且对加大螺旋桨直径、提高推进效率也有好处。

通常设计中,选取 $B$ 主要是从稳性、总布置的需要出发考虑。而吃水 $T$ 的数值则希望能取大些。但 $T$ 的选取往往受到航道、港口水深的限制;同时 $T$ 的过份加大又要影响到 $L$ 、 $B$ 、 $C_b$ 等值的大小,使舱容、浮力、稳性等都会发生变化,这就要求权衡考虑加以确定。

设计开始阶段,一般可以参考相近的型船,初定 $B/T$ 值,或者根据 $T$ 及 $B$ 的限制条件,结合 $\Delta$ 、 $L$ 、 $C_b$ 值,把 $B$ 与 $T$ 初步确定下来。

对载重型船舶与对容积型船,选择主要要素时对问题的考虑思路是不同的。

上面讲的是载重型船舶的情况,当其 $\Delta$ 初步估算出来以后,船的 $L$ 、 $C_b$ 通常是根 据快速性与经济性的综合考虑进行选定,并根据有关因素初步选定 $B$ 、 $T$ 值,再进行重量与浮力、容量、各项性能的校核。而对容积型船,则往往是根据布置地位的要求,构画总布置草图,以初步确定需要的 $L$ 、 $B$ 的最小适宜值,然后参考相近的型船,从快速性、稳性及限制条件等方面考虑初步定出 $C_b$ 、 $T$ 、 $\Delta$ 等值,再进行重量与浮力、快速性、稳性等各个项目的校核,最后再权衡各方面的因素选定主要要素。

还应指出的是,棱形系数 $C_p$ ,浮心纵向位置 $X_b$ ,水线面系数 $C_{wp}$ 等对船的快速性也有相当大的影响,由于它们不是构成船浮力 $\Delta$ 的直接因素,因而放在“型线设计”一章中介绍,但设计船舶时应统一起来考虑。

### §6-3 新船快速性的预报

所谓快速性预报是指在主机已选定的情况下,预报船的航速;或者在已规定设计航速的情况下预报所需的主机功率。在不同的设计阶段可以采用不同的方法。

#### 一、初步估算

在设计初始阶段,资料比较缺乏的情况下,可以采用粗略估算方法。

##### 1. 海军系数法

$$P = \frac{\Delta^{2/3} v_d^3}{C}, \quad (6-10)$$

$$v_d = \sqrt[3]{\frac{PC}{\Delta^{2/3}}}; \quad (6-11)$$

式中,  $P$ ——主机功率(HP);

$v_d$ ——设计航速(kn);

$\Delta$ ——设计排水量(t);

$C$ ——海军系数,根据相近型船(船型相同、 $\Delta$ 与 $Fn$ 相近)的资料确定,即

$$C = \frac{\Delta_0^{2/3} v_{d0}^3}{P_0}; \quad (6-12)$$

式中,  $\Delta_0$ 、 $v_{d0}$ 及 $P_0$ 均为型船之值。

海军系数 $C$ 是一艘船的阻力与推进性能的综合反映,由于没有顾及船型系数和推进因素的影响,使用时应十分小心。如果新船与型船在阻力或推进方面有重大区别时,应对 $C$ 值进行修正。

##### 2. 比较估算法

已知型船的功率-航速曲线(如图6-4)或船模试验资料,且新船与型船在船体形状与推进系数方面相近,则可这样来估算新船设计航速 $v_d$ 时所需的功率 $P$ 。

①计算型船的相应速度。

$$v_{d0} = v_d \left( \frac{\Delta_0}{\Delta} \right)^{1/6}; \quad (6-13)$$

②在型船功率曲线,即 $P_0 \sim v_{d0}$ 曲线上查得 $v_{d0}$ 时相应的 $P_0$ 值;

③计算新船所需功率

$$P = P_0 \left( \frac{\Delta}{\Delta_0} \right)^{7/6}。 \quad (6-14)$$

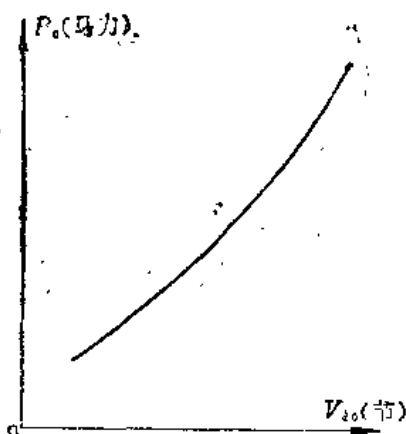


图6-4 型船试航时 $P_e \sim V_{40}$ 曲线

### 3. 经验公式

如适用于油船及散装货船的近似公式:

$$P = \frac{1.05 \Delta^{2/3} v_d^3 \left[ 40 - \frac{L_{pp}}{60} + 400(k-1)^2 - 12C_b \right]}{15000 - 1.81N\sqrt{L_{pp}}}, \quad (6-15)$$

式中,  $K = C_b + 1.68Fn$  ( $Fn$  为试航时之傅氏数);

$N$  —— 螺旋桨转速 (r/min)。

## 二、比较精确的估算方法

通常是分阻力和推进两个方面进行估算, 以比较精确地预报船所能达到的航速或所需要的主机功率。

### 1. 阻力及有效功率的估算方法

众所周知, 决定船舶阻力的较为可靠的方法是进行船模阻力试验。但在初步设计阶段, 船体型线还未最后确定, 甚至主尺度方案也在探索之中, 不可能作船模试验; 或者由于设计船的重要性及费用等原因, 不打算进行模型试验工作。但估算阻力、预报航速仍要进行。为此人们根据以往大量的船模和实船试验数据, 进行整理、归纳, 作出多种多样的图谱或公式, 把船舶阻力与对其有影响的主要参数联系起来, 供估算之用, 可得到较满意的结果。

应当指出的是, 由于船体型线(船型)是非常复杂的曲面, 只用几个有限的参数来描绘是不可能完全确切的。因此, 阻力估算的准确性很大程度上取决于设计船的型线与所选用估算图谱或公式的船型型线特征的相似程度, 以及其参数的适用范围, 这在应用系列资料估算时尤为重要。

估算阻力或有效功率的资料很多, 这里只简单地提到几种方法, 详细估算可参阅有关资料或设计手册。各方法所得结果一般为裸船体之阻力值。

#### ① 泰勒法

为美国泰勒水池中高速舰船系列资料。

船型参数范围为  $\frac{B}{T} = 2.25 \sim 3.75$ 。(有  $\frac{B}{T} = 4.5$  的补充资料),  $L/B = 4.0 \sim 15.1$ ,  $C_b = 0.44 \sim 0.80$ ,  $C_p = 0.48 \sim 0.86$ ,  $C_m = 0.926$ ,  $X_b$  在船中。

泰勒标准船型的型船为一阻力性能甚好的巡洋舰。其横剖面型线如图6-5所示。此法适合于航速较高、船型较瘦长的双桨船。对一般的中低速运输船( $Fn \leq 0.30$ ), 所得结果往往偏低。

#### ② 陶德法(系列60)

为美国泰勒水池民用运输船系列资料。

船型参数范围为  $L/B = 6.5 \sim 8.5$ ,  $B/T = 2.5 \sim 3.5$ ,  $C_b = 0.60 \sim 0.80$ ,  $\frac{V}{\sqrt{L_{wl}}} = 0.4 \sim 1.0$ 。

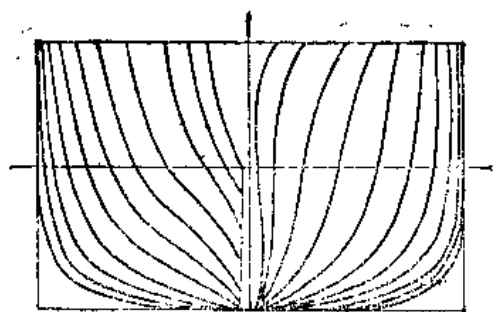


图 6-5 泰特型船横剖面型线

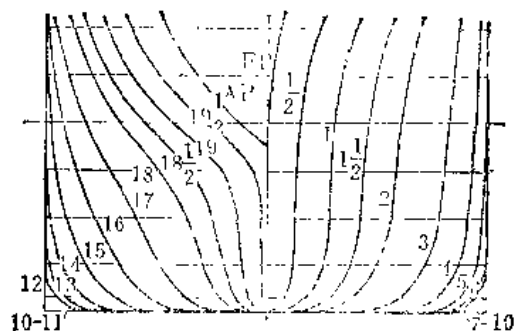


图 6-6 系列 50 型船  $C_b=0.75$

陶德系列型船是一组  $C_b$  不同的船模，横剖面型线为  $U$  型，其型船之一的型线特征如图 6-6 所示。阻力性能甚好，适合于单桨运输船，但对一般船来说，估算结果稍偏低。

### ③ SSPA 系列资料

为瑞典国立船模试验池货船系列。

船型参数范围为  $L/B=6.18\sim 8.35$  ( $L_{w1}/\nabla^{1/3}=5.0\sim 7.0$ ),  $B/T=1.5\sim 6.50$ ,  $C_b=0.525\sim 0.75$ 。

SSPA 型船横剖面型线偏  $V$  型 ( $C_b\approx 0.525\sim 0.60$ ) 及中  $U$  形 ( $C_b=0.60\sim 0.75$ )，如图 6-7 和图 6-8 所示，有良好的阻力性能，适用于中低速 ( $Fn\leq 0.30$ ) 单桨运输船。

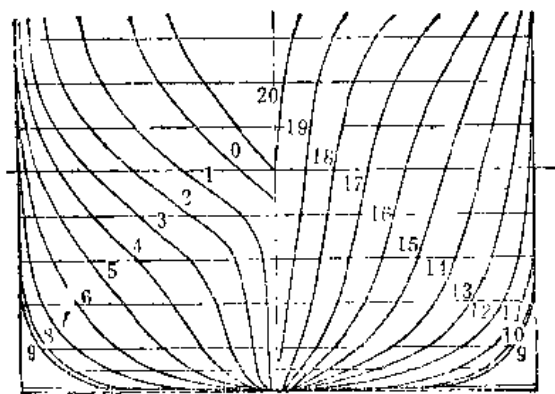


图 6-7 SSPA 系列型船 ( $C_b=0.525$ )

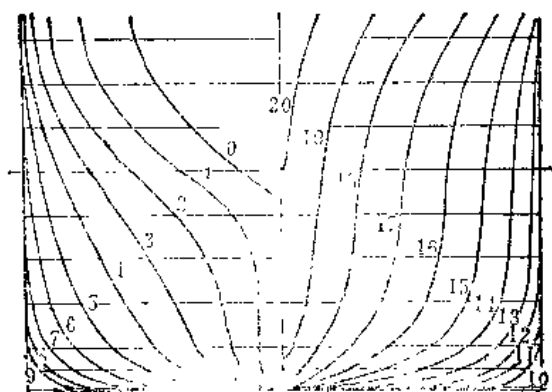


图 6-8 SSPA 系列型船 ( $C_b=0.625$ )

### ④ 长江客货船系列资料

为我国交通部上海船舶运输科学研究所提供的长江客货船裸体有效功率估算资料。

船型参数范围为  $L/B=4.6\sim 7.0$ ,  $B/T=3.6\sim 6.0$ ,  $C_b=0.52\sim 0.64$ ,  $Fn\approx 0.20\sim 0.32$ 。

该系列的横剖面型线特征见图 6-9，为无艉部升高的中  $U$  型剖面。具有优良的阻力性能，适用于我国内河船舶，尤其是受航道限制、船宽大、吃水浅的双桨内河客货船。

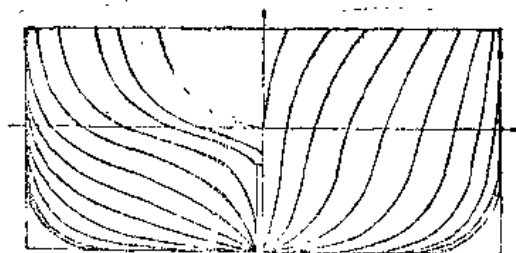


图 6-9 长江船系列船型 ( $C_b=0.58$ )

国内外各种船型的系列资料甚多, 这里不再一一列举。实际选用时, 只有遵循“船型相近, 参数范围相符”的原则, 选择尽可能恰当的系列资料, 才能使所得结果具有一定的准确性。

#### ⑤ 爱尔法

此法是根据船模试验及实船试航结果统计归纳而得出的。因统计的范围比较广, 一般可用于海上运输船舶, 特别对中速、低速船比较合适, 也可用于其他船类的有效功率估算。在估算中已包括 8% 的附体阻力。在计算结果中附加某一百分数进行修正, 常可获得一定的准确性。

该法是先确定船体的标准形状, 并用海军系数的形式表示。当实船的方形系数  $C_b$ 、宽度吃水比  $B/T$  及浮心纵向坐标  $X_b$  等与标准船型不同时, 需进行修正, 从而可求得任意船型的有效功率。

爱尔的标准船型为高举式椭圆型尾的船, 方形系数:

$$C_b = 1.08 - 1.68Fn \text{ (单桨船)},$$

$$C_b = 1.09 - 1.68Fn \text{ (双桨船)}。$$

### 2. 影响阻力估算准确性的因素

从以上介绍的各种估算阻力方法中, 通常是将剩余阻力  $R_r$  和摩擦阻力  $R_f$  分开估算的。其中摩擦阻力系数  $C_f$  计算公式 (通常为 ITTC 推荐公式) 及粗糙度补贴  $\Delta C_f$  基本上是一致的, 而剩余阻力系数  $C_r$ 、湿面积  $S$  和附体阻力的确定则各有差别, 它们是影响估算准确性的三个主要因素, 下面作简单分析。

#### ① 剩余阻力系数估算图谱

各方法所给出的计算  $C_r$  或  $R_r/\Delta$  的图谱, 是以船模试验资料为基础的, 各种图谱的差别是由于所依据的型船的主要参数和型线特征的不同而引起的。显然, 如果新船的型线特征和主要参数与估算图谱的型船较为接近, 或者说新船将采用这类型线时, 则阻力估算结果的准确性较高。因此, 选用估算图谱时要注意其适用范围, 比较其型线特征是否合用, 与设计船有什么差别。如有相近的性能优良的实船模型试验资料, 可直接运用该资料估算阻力; 也可应用所选择的近似方法估算其阻力, 以了解其与系列试验结果的误差范围及变化趋势。

#### ② 湿面积估算公式

一般的估算图谱都附有适应该船型的湿面积  $S$  的估算公式或图表, 因为  $S$  的估大估小, 将

直接影响到新船快速性预报的准确性。估算时要注意 $S$ 的计算公式的表示形式并不完全相同，如SPA系列的估算 $S$ 公式为：

$$S = s \sqrt{\nabla L_{pp}}; \tag{6-16}$$

式中， $s$ ——系数，根据 $C_b$ 及 $B/T$ 查有关曲线得到；

$\nabla$ 、 $L_{pp}$ ——型排水体积及垂线间长。

对于高速排水型船、艇，建议采用以下的估算公式：

$$S = 1.8 L_{wl} \sqrt{\left(\frac{B}{2}\right)^2 + T^2} (0.49 + C_b)。 \tag{6-17}$$

设计实践表明，这是一个计算方便、精确度较高的估算公式。

### ③附加阻力的确定

所谓附加阻力是指船舶试航时附体(舵、螺旋桨、轴支架、舳龙骨等)、空气(3级风)波浪(2级)等所增加的阻力；当船经过一段时间使用、航行后，还有污底阻力。通常在设计阶段只考虑附体阻力。对于航速高，上层建筑特别丰满的客船也应计及空气阻力。一般估算时，是将附体阻力作为裸体阻力的百分数来考虑的，由于所占比重较大，要认真对待。表6-3所列附体阻力百分数可供参考。

表 6-3 附属体阻力/裸船体阻力(%)

航速分级 船 型	$Fn$		
	0.21	0.29	0.41
大型、高速、四桨船	10~16	10~16	10~15
大型、高速、双桨船	20~30	17~25	
小型、中速、双桨船	12~20	10~23	
大型、中速、双桨船	8~14	8~14	
单 桨 船	2~5	2~5	
艇	5~10		
渔 船	3		
木质渔船	8~10		

也有的资料认为：沿流线方向安装的舳龙骨，其长度在船长的1/3至1/2之间时，附加阻力一般可取为裸船体阻力的1~3%。舵的附加阻力对单桨船为1~2%，对双桨单舵船可以忽略不计，因其有减少船体尾部粘性阻力的作用，且舵置于螺旋桨后面，起着整流作用，或多或少能改善推进效率。对双桨双舵船，因边舵的位置与水流方向不一致，其附加阻力约为3~5%。对轴包架，其附加阻力可达5~10%。轴支架的附加阻力可达4~7%，有的设计手册中附有轴支架的阻力估算式，可供参考。



### 3. 推进效率及推进器要素的估算

在设计中,当总阻力  $R_t$  已知,并估算得船的有效功率  $P_e = \frac{R_t v}{75}$  (马力)曲线以后,还应估算推进效率  $\eta$  及螺旋桨的推力功率  $P_t$  曲线,才能预报船所能达到的航速  $v_a$ ,或者为达到设计航速所需的主机功率  $P_b$ 。

运输船舶最常用的推进器是螺旋桨。确定螺旋桨要素时要考虑的问题大致有以下几个方面:

#### ① 选用合适的螺旋桨设计图谱

可供选用的螺旋桨图谱比较多;对中低速运输船舶,常用MAU系列(日本运输省船舶技术研究所)、B系列(荷兰瓦根宁根船模试验池),其效率都较高;对空泡性能要求较高的军舰和民用船舶,可选用高恩螺旋桨系列。此外,高速战斗舰艇有苏联的CK图谱及我国研制的空泡螺旋桨系列图谱。

#### ② 确定桨叶数

螺旋桨的叶数  $z$  与桨的负荷、桨数、效率、空泡及伴流不均匀性所引起的激振力等因素有关。通常,高速舰船的大负荷桨一般采用3叶;一般的中低速运输船的桨多用4叶或3叶;而在尾部流场极不均匀或单轴大功率动力装置的大型船舶(如油船)上的桨,则有采用5~7叶的。

#### ③ 确定桨与船体间相互作用的系数

伴流分数  $w$ 、推力减额分数  $t$ 、相对旋转效率  $\eta_r$  等可根据有关参数,选择合适的估算公式确定。

有的系列模型试验资料中有推进因子方面的图表,如结合新船的型线特征,已选用该系列图谱估算阻力,则  $w$ 、 $t$ 、 $\eta_r$  等也用该系列资料为好,因为这样能反映型线特征,结果比较准确。

#### ④ 螺旋桨的设计状态

选择合适的螺旋桨设计状态即按什么样的主机功率或转速来设计螺旋桨,关系到船舶日常营运过程中能否较好地发挥主机功率,使船、机、桨有良好的配合,从而保证船达到预期的航速指标。通常的做法有两种:

**功率储备** 把主机的最大持续功率打一个折扣作为设计功率,使得船舶污底或在风浪中,也不会导致螺旋桨发生过份“重载”现象。一般柴油机船的功率储备可取为10~15%。

**转速储备** 取螺旋桨的设计转速略高于主机的额定转速(如用减速箱,则指减速后之值),通常柴油机取2~5%。

如船体的阻力曲线计算时已考虑到实际营运情况(严重污底、风浪等)则可按主机最大持续功率与转速设计螺旋桨。

螺旋桨的收到功率  $P_d$  为:

$$P_d = \eta_a \cdot \eta_g \cdot P_b; \quad (6-18)$$

式中,  $\eta_a$ ——轴系传送效率,一般为0.97~0.98;

$\eta_g$ ——齿轮传动效率,0.96左右,无减速齿轮装置时  $\eta_g = 1.0$ 。

#### ⑤ 螺旋桨的转速与直径

一般而言,螺旋桨的转速低、直径大者,有较高的敞水效率  $\eta_o$ 。在设计中,当主机是中速

柴油机(600~1000r/min左右)或高速机(1500r/min左右),则应考虑螺旋桨的转速减低到多少为宜,以及螺旋桨的直径是按所谓的最佳(效率)直径还是限制直径来进行设计。

对于低速柴油机动力装置,其额定转速通常为100~300r/min,一般不存在加设减速装置问题。这时主要是估算螺旋桨直径是否受限制。螺旋桨所允许的直径 $D$ 与吃水 $T$ 有关,一般船舶的合适范围为:

$$D = (0.7 \sim 0.8) T_a, \text{ (单桨)}, \quad (6-19)$$

$$D = (0.6 \sim 0.7) T_a, \text{ (双桨)}. \quad (6-20)$$

式中 $T_a$ 为船满载时的尾吃水。通常认为经常压载航行船舶的螺旋桨的直径宜取小些。另一方面, $D$ 的实际大小还应与船体尾部的型线协调配合加以确定,使桨叶梢与船体表面之间有一合适的间距。

而从机、桨的配合上,螺旋桨有一最佳直径 $D_0$ ( $\eta_0$ 最高的),如对MAU图谱,可利用图谱,根据螺旋桨的收到功率 $P_d$ 、转速 $N$ (r/min)及进速 $V_a = (1-w)V_t$ (kn),可查得桨的最佳直径 $D_0$ 。如 $D > D_0$ ,应按最佳直径设计螺旋桨,根据图谱计算 $P_t$ 值或曲线,并得到螺旋桨的其他要素。如果 $D < D_0$ ,则应按限制直径 $D$ 来设计螺旋桨,计算 $P_t$ 值或曲线,这时根据 $\delta = \frac{ND}{V_a}$ ,可用图谱很方便的求得 $\eta_0$ 及螺距比 $P/D$ 等。

对于中速机、高速机,根据相应配套的减速齿轮装置情况(有不同的减速比 $i$ ,但国内产品往往级数不多)、螺旋桨所能允许的最大直径 $D$ 等因素,选取一个使螺旋桨敞水效率最高的实际转速 $N$ ,来设计螺旋桨,估算航速。

上面简要列举了决定螺旋桨要素、效率时应考虑的一些问题,实际设计中还要选取螺旋桨的盘面比 $A_e/A_0$ ,进行空泡及强度校核等。根据 $P_t = P_e$ ,可以得到船的航速。

对一些重要的船舶,通常要进行船模的阻力试验与自航试验,并结合型船的实船试航与船模试验结果的分析比较,以得到更可靠准确的快速性指标。

### 三、快速性校核的两种情况

在初步设计阶段,校核新船快速性通常会遇到以下两种情况:

1. 载重量 $DW$ 与主机已定,初估排水量 $\Delta$ ,选择主尺度与系数,校核航速 $v$

这是设计中经常遇到的情况,因为主机已定,也就是功率已定,所以估算结果有三种可能:

①  $v < v_k$ ,  $v_k$ 为要求达到的航速,这时应采取更换主机或其他措施以提高航速,使其达到要求的指标。

②  $v \geq v_k$ , 即新船航速等于或略大于 $v_k$ ,这是最一般的情况,因为任务书要求的 $v_k$ 与规定的主机机型通常是相当的。

③  $v > v_k$ 较多,如果船东不需要这么高的航速,则 $V$ 过高意义不大,说明主机的功率选大了。这时要根据具体情况进行分析加以处理,如果限于种种条件或者选用该主机不致使船的造价过份增加,则可考虑在实际使用时减速航行,使用小于主机最大持续功率的某一工况运行,这样对油耗的降低和主机寿命的增加,以及在大风浪中保持所要求的航速都是有好处的。当然,这样处理也是迫不得已的。最理想的情况还是选择更合适的主机,以便使得航速符合

设计要求。

2. 载重量 $DW$ 及航速 $v$ 已定, 初估 $\Delta$ , 选择主尺度, 估算所需的主机功率, 选择机型

从设计角度看, 这样做比较合理。但条件是主机的系列齐全, 对达到要求航速所需的主机功率, 有合适的主机机型可选, 即主机的功率、转速、重量、尺度、价格等方面都比较合适。

在船舶设计中, 上述两种情况都是可能遇到的。

## §6-4 设计中的几点考虑

前已述及, 船的快速性是影响使用要求与经济效益的一种重要性能, 航速能否达到预定的指标是由多方面的因素决定的。下面对某些主要因素作简单的归纳, 分析, 以便设计中加以考虑或控制。

### 一、排水量

排水量的变化将改变船体静浮状态下的湿面积以及船体水下部分的形状和大小。从快速性观点看, 几乎可以肯定地说, 排水量减少将使船的阻力降低, 对低速船的影响不太大, 但中、高速小型船舶, 尤其是高速小船, 对 $\Delta$ 很敏感, 因此在设计中, 选取机、电设备、舾装件, 以及进行结构设计时, 应注意控制船的空船重量 $LW$ , 尽可能减小船的 $\Delta$ , 对保证快速性有重要意义。当然, 控制 $\Delta$ , 应以实际建造中能够实现为前提, 而不是人为的将各项重量估小, 致使实船的 $\Delta$ 较设计状态的 $\Delta$ 超出过多, 带来不良后果。

船实际航行过程中,  $\Delta$ 减少时吃水也相应减小, 这时应有适量的尾倾, 以避免螺旋桨叶梢接近水面, 吸入空气和在波浪中露出水面甚至出现空转(俗称飞车)。这些现象都会引起推进效率的急剧降低。

### 二、主尺度及船型系数

在 $\Delta$ 基本确定的情况下, 主尺度与系数决定着船水下部分的形状, 选取合适的主尺度与系数对保证快速性有重要意义。在诸要素中, 船长和方形系数的影响较大。中低速船舶(特别是大中型低速运输船) $L$ 和 $C_b$ 的选取还要顾及到经济性等其他因素; 而对高速小型船舶 $C_b$ 一般较小, 由于参数 $L/\nabla^{1/3}$ 对剩余阻力影响很大, 因此增大 $L$ 对减小阻力有明显作用。

吃水 $T$ 在条件允许情况下适当取大些, 对减小 $C_b$ 或其他尺度, 提高推进效率等都有好处。

### 三、船体型线

船体型线对快速性有重要影响。初步设计开始时就应考虑新船的型线设计问题。表征船体水下形状的要素有: 横剖面面积曲线的形状, 棱形系数 $C_p$ 、设计水线的形状及水线面系数 $C_{wp}$ 、水线半进流角 $i_a$ 、首部及尾部的横剖面形状, 等等。优良的船体型线最终应经过实船航行加以证实。船体型线设计还包括对水上部分形状的考虑。选择型线不仅要看其静水快速性能, 还应顾及到在波浪中的失速及其他运动性能, 尤其是对客船和其他对耐波性要求高的船。

在设计开始阶段,要考虑是否采用球首或球尾等措施。实践表明,在 $0.24 < Fn < 0.37$ 范围内的船舶及低速肥大型船(油船、散货船等)采用球首将有明显的减阻作用,如后者满载时总阻力收益可达10%左右,压载航行时更为显著。但采用球首后,将使材料增加、施工麻烦,从而造价提高;锚及锚机的布置有些困难,且无货压载时纵倾调整较困难,球首易损坏。总之,要权衡各方面的得失后考虑是否采用。通常,大型油船、散货船等用得较多。小球首虽然得益小些,但受到建造厂及使用者的欢迎。

对于吃水受到限制的双桨船,有采用单首双尾船型的,虽然较宽的首部对阻力性能改善带来一定限制,但双尾相当于使两只螺旋桨都处于单桨船的尾流中工作,推进效率有较大提高。

#### 四、动力装置

主机是推进系统的动力源。当任务书规定服务航速 $v_s$ 时,选择合适的主机对保证快速性有重要意义。选取主机类型时应注意到主机的功率及转速、耗油率、重量、外形尺寸、价格、使用期限(大修期)、保养及维修要求等等多方面的参数以及主机来源,交货期等实际问题。对于中、高速船舶,通常选用中高速机,由于管理要求高,寿命短、价格贵等,需要征求使用者的意见,但在主机的重量、外形尺寸等方面,一般对船体尺度及布置有利。主机的类型对船的布置、型线、经济性(包括造价及营运开支)及船的安全可靠等方面都有很大影响。

螺旋桨本身的设计及船、机、桨三者的配合也是影响快速性的重要因素。

#### 五、纵倾

船如有纵倾,将改变船体两端的水下形状,影响船的航速。在低速时,尾倾可能产生额外的旋涡阻力,而这时的兴波阻力不大。在较高速度时,兴波阻力增大,适当的尾倾可以减小阻力。此外,尾倾还可以改善航向稳定性,特别是在波浪中可以获得更大的螺旋桨浸深和更大的首部干舷。而首倾则对阻力和推进方面都将带来不利影响。因此,中低速运输船设计排水量时通常为正浮状态(首尾吃水相同),其他的装载情况(吃水比满载时小)设计成略有尾倾是合理的,而拖船等为了取得更大的推力,常有较大的设计尾倾。

#### 六、浅水影响

在浅水中,由于流过船体周围的水流受到限制,从而引起流速与压差增大,阻力增加。

国际水池会议试航规程提出,试航时不产生浅水影响的水深 $h$ 为:

$$h > 3\sqrt{BT}, \quad (6-21)$$

或 
$$h > 2.75v^2/g. \quad (6-22)$$

在浅水中航行时,有时还会引起船的局部振动。

此外,《内河船舶设计手册》介绍了许立汀等几种由深水阻力换算浅水阻力的方法,可供设计时参考。

#### 七、污底

设计中估算航速时,通常认为船壳是新油漆、干净的。实际上航行一段时间后,将出现污底现象,即船体表面附着有微生物、海藻,以及出现锈蚀、油漆剥落等现象,增加外壳板

(湿表面)的粗糙度,从而增加摩擦阻力。船舶底部受海水脏污的速率与航线、港湾条件、水温、盐度及船停港的时间等有关,比较难于估算或考虑。一般可近似地按每年增加总阻力的2%计算。

## 八、风及汹涛阻力

船舶在航行过程中遇到大风,将遭受附加风阻力,对于一般的中低速船舶,风阻力  $R_{aa}$  (牛)可用下式估算,

$$R_{aa} = k \cdot C_{aa} \cdot \frac{1}{2} \rho g A_v V_r^2 \times 0.8; \quad (6-23)$$

式中,  $\rho$ ——空气密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$V_r$ ——相对风速( $\text{m}/\text{s}$ );

$A_v$ ——船体水上部分正面投影面积( $\text{m}^2$ ),可根据总布置图估算;

$C_{aa}$ ——风阻力系数,其中货船满载时为0.80,压载时为0.68,油船满载时为1.00,压载时为0.90,军用舰艇为0.37~0.56;

$k$ ——风向影响系数如图6-10。

由图可知,风向为首部  $30^\circ$  方向时,风阻力可为正前方的130%左右。对于  $F_n = 0.30 \sim 0.35$  的客船,  $R_{aa}$  约为水阻力的3%。而对高速舰船,正面吹来的为船航速1~2倍的逆风,将产生高达水阻力的10~20%的风阻力。

航行中为了保持航向稳定性进行操舵引起的阻力增加一般为水阻力的1%左右。

船舶在汹涛天气里,阻力将急剧增加。阻力增加幅值随船与波浪的相对大小、速度及航向而变化。船舶在波浪中的激烈运动往往迫使人为地将船减速及改变航向,以保证船的安全航行。

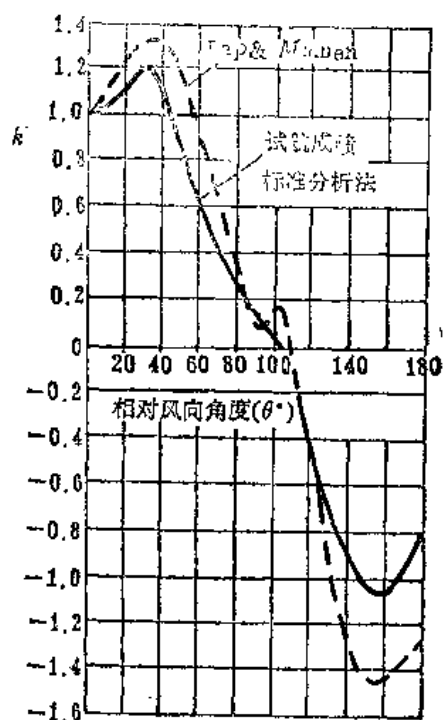


图6-10 风向影响系数 $k$

## 复习思考题

1. 如何理解船的快速性是一项重要的技术指标?
2. 从设计角度,一艘船的快速性优良是指什么? 如何用简易方法比较不同船(或新船的不同方案)的快速性能的好坏?
3. 为什么设计低速运输船时不选用对应于阻力性能最佳的船长?
4. 初步确定船的 $\Delta$ 后,如何初定船长 $L$ ? 对载重型船与容积型船各自考虑的问题是怎样的?

5. 如何初选 $C_b$ ? 经济方形系数的含意是什么?
6. 船宽 $B$ 和吃水 $T$ 对船的快速性有什么影响, 设计初始阶段选择 $B$ 和 $T$ 时应考虑哪些因素?
7. 设计初始阶段如何初估船的航速? 各方法的适用范围怎样?
8. 如何分阻力与推进两方面来预报新船的航速?
9. 影响阻力估算准确性的因素有哪些?
10. 船舶设计中为什么设计螺旋桨时要考虑功率储备或转速储备?
11. 为什么中高速机要加设减速齿轮装置?
12. 船舶设计中通常遇到的快速性计算的情况有哪两种? 怎样使船的快速性符合要求?
13. 影响航速的因素有哪些? 设计中通常是如何考虑的?

# 第七章 船舶稳性

## §7-1 概 述

船舶稳性是指船舶受外力作用离开平衡位置而倾斜，当外力消除后能自行回复到原来平衡位置的能力。稳性与抗沉性、强度等都是保证船舶安全的基本性能。每一艘船舶下水、投入营运以后，就不可避免地处在一系列足以引起船舶倾斜的外力作用之下，为了抵抗这些外力的作用，使船不致因为它们的单独作用或可能发生的联合作用，而严重影响船的使用性能，更不会因此而倾覆，设计时必须保证船舶有足够的稳性。以往发生的海难事故表明，因损失浮力而沉船尚有更多的时间给人去逃生，而倾覆（翻船）事故多数发生在顷刻之间，很少有人能幸免于难。因此，对船舶稳性提出严格要求是必要的。

船舶设计中的稳性问题可以归纳为三个方面：

- ①外力和内力，以及它们的计算方法；
- ②稳性衡准，即判断船舶安全与否的一种度量；
- ③影响稳性的因素分析，如何保证船舶有足够的稳性。

稳性对船的使用性能与安全性都有重要影响，且受稳性规范的约束。设计中对稳性问题又分为初稳性与大倾角稳性来处理。两者既有区别，也有联系。一般情况下，初稳性好的船，大倾角稳性也较容易满足要求。设计开始阶段，通常只考虑初稳性，即初步选取主要要素以后就要校核初稳性，使其符合要求；同时控制影响大倾角稳性的有关要素。在设计深入开展，有关图纸资料具备的基础上，再进行大倾角稳性校核。

下面分别对初稳性与大倾角稳性进行介绍，并对设计中如何保证稳性的一些考虑进行简要归纳。

## §7-2 船舶所受外力及内力简述

分析船舶在营运中发生倾斜，甚至倾覆的原因，无非是两个方面的，即作用在船上的外力与船本身的内力相互作用的结果。

### 一、外力

船舶在航行使用过程中受到的外力作用可以归纳为三个方面。

#### 1. 风

突然作用在船上的风，特别横风，对船的安全性影响很大。

#### 2. 浪

海浪引起船舶运动，特别是横浪对船的安全影响较大；此外，船甲板上浪，特别是对小船来说，大量海水打到甲板上不能迅速排除，将对船的安全性造成很大威胁。海上的风浪是常见的自然现象。俗话说，“海上无风三尺浪”，风与浪的联合作用是引起海船倾覆的主

要外力。

### 3. 船使用过程中的力

如：全速回转时的离心力；拖船突然因转弯而产生的急牵力；船上载荷移动、增减（如散货船的货物移动；客船的旅客集中一舷；渔船在舷侧起网等等），相当于在船上加一个外力矩。

## 二、内力

指船本身具有的抵抗外力作用不使船倾覆的力。

### 1. 复原力矩 $M_r$

或者是复原力臂  $l_r$ （也可用  $GZ$  表示），其随船横倾角变化的曲线即静稳性曲线，也称复原力臂曲线（见图 7-1），曲线的范围、形状表征着船抵抗外力的能力的大小。它表示船在静水中横倾时的特性。

### 2. 波浪中复原力矩的变化

船在波浪中航行时，或置于波峰，或处于波谷；或顶浪、顺浪、或斜浪航行，船的复原力矩都是与静水中不同的，因为与平浮时相比，这时水线面的面积及形状改变了。根据船与波浪的相对关系，船复原力矩的变化大致有以下几种情况：

迎浪航行 这时的  $\Delta l$ （波浪中与静水中复原力臂之差值）有瞬时值，因波峰或波谷是沿船长不断变化的。

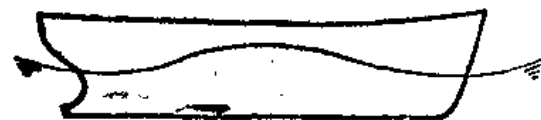


图 7-2 船中拱情况 ( $\Delta l$  大大下降)

顺浪（随浪）航行 这时如船速  $v_s$  与波速  $v_w$  相近或相等，且船处于波峰上（中拱，见图 7-2）， $\Delta l$  将为负值。且一直稳定在某一数值，即船的稳性变坏，复原力矩下降，对保证船的安全不利，特别是对于小船更加危险。所以随浪稳性已引起人们的极大重视。使用中，通常是改变船的航速，使  $v_s \neq v_w$ ，以减少稳性的丧失幅度。

斜浪航行 特别是尾斜浪时，当  $v_s \approx v_w$  时，一方面有可能使复原力矩大幅度下降，同时相当于在尾部有一个附加力矩使船出现横转现象。而当  $v_s \neq v_w$  时，可能产生“参数共振”现象，对稳性极为不利。许多小船的倾覆往往是在尾斜浪航行时发生的。

### 3. 航速的影响

船航行时首部兴起波浪。使初稳心高  $\overline{GM}$  略有增加，因水线面面积略有增加。 $\Delta \overline{GM}/B$  的变化趋势是随着傅汝德数  $F_n$  的增加而有所下降。

### 4. 纵摇与垂荡的影响

研究表明，船产生纵摇与垂荡（升沉）运动时，初稳心高  $\overline{GM}$  将有所变化，但有时为正，有时为负，即

$$\Delta \overline{GM} = \pm (0.05 \sim 0.10) \text{m}.$$

综上所述可知，引起船倾斜乃至倾覆的外力有多种多样，而影响船本身抵抗外力作用的复原力矩的因素也是很复杂的。



## §7-3 初 稳 性

所谓初稳性是指船在小角度( $\phi < 10^\circ$ )横倾范围内的稳性问题。

### 一、初稳性衡准

衡量一艘船的初稳性好坏的指标是初稳心高 $\overline{GM}$ 。如果船在外力作用下的横倾角不超过 $10^\circ$ ,则在排水量 $\Delta$ 一定时, $\overline{GM}$ 的大小表征着船抵抗外力的能力。我国《海船稳性规范》对各类船舶的 $\overline{GM}$ 值提出的要求是:

客船、货船、油船等	$\overline{GM} \geq 0.15\text{m},$
渔 船	$\overline{GM} \geq 0.30\text{m},$
运木船	$\overline{GM} > 0\text{m}.$

当然,上述这些数值是对 $\overline{GM}$ 的最低要求,实际船舶的 $\overline{GM}$ 值要大得多。因为 $\overline{GM}$ 值太小,将造成大倾角稳性不能满足要求,破损后的稳性也无法保证。各类船舶在设计排水量时的 $\overline{GM}$ 值大体范围如表7-1。

表7-1

船 舶 类 型	$\overline{GM}(\text{m})$
客 船	0.3~1.5
内 河 客 货 船	0.6~2.6
干 货 船	0.3~1.0
油 船	1.5~2.5
拖 船	0.5~0.8
渔 船	0.5~1.0

设计中对 $\overline{GM}$ 的大小,可以从两个方面进行考虑、加以控制:

#### 1. 初稳性的下限值 $\overline{GM}_{\min}$ ——安全性与使用要求

从安全角度考虑,因初稳性与大倾角稳性有一定的联系, $\overline{GM}$ 太小很可能使大倾角稳性不符合规范的要求。此外, $\overline{GM}$ 过小,船受外力作用后回复很慢,且小船稍遇外力即倾斜,人员有不安全感;如客船在旅客集中一舷时倾斜太大,达到或超过惊慌角( $12^\circ$ ),将影响船的安全。当船随浪且处于中拱状态时, $\overline{GM}$ 将降低,如原来的 $\overline{GM}$ 过小则可能变为负值( $GM < 0$ ),危及船的安全。

从使用要求考虑,因船在外力作用下的横倾角 $\phi$ 与 $\overline{GM}$ 有关, $\overline{GM}$ 太小将影响船的正常使用,如起重船(浮吊)起吊时的倾斜角要求不大于 $3^\circ$ ,否则起重机工作受影响;渔船起网时,横倾角太大,影响作业;货船尤其是集装箱船在装卸货时以及经常受侧风的定线船舶在风力作用时,都会因倾角大而影响使用。

因此,从船的安全与使用要求考虑,应有一个初稳性下限值。设计实践证明,除客船以外,规范对 $\overline{GM}$ 的下限要求不难满足,因而设计中应根据船舶的使用任务特点,着重从使用要求上进行考虑,加以分析,以选取适宜的初稳性下限值。

#### 2. 初稳性上限值 $\overline{GM}_{\max}$ ——缓和摇摆

船的横摇固有周期(也称自摇周期) $T$ ,与初稳心高 $\overline{GM}$ 直接有关,且随 $\overline{GM}$ 增大而减小,这

可以从近似公式(7-1)、(7-2)中看出来。

$$T_{\phi} = 0.58 \sqrt{\frac{B^2 + 4Z_g^2}{\overline{GM}_0}}, \quad (\text{s}) \quad (7-1)$$

$$T_{\phi} = \frac{CB}{\sqrt{\overline{GM}_0}}, \quad (\text{s}) \quad (7-2)$$

式中,  $B$ ——型宽(m);

$Z_g$ ——船重心高度(m);

$\overline{GM}_0$ ——船的初稳心高(m)(不计及自由液面修正值)

$C$ ——系数, 在0.75~0.85范围。也可取自相近的型船。

显然, 当船在波浪中的自摇周期短, 摇幅大, 不仅影响船的安全性; 也使船上作业困难, 仪表易出故障, 货物易受损, 更易使乘员晕船或感到不舒服。因此, 设计中选取 $\overline{GM}$ 的上限值是以缓和船的摇摆性能为出发点。

通常, 控制 $T_{\phi}$ 不太低和摇幅不过大, 且希望船与航区较常见的大的波浪不发生谐摇, 即要求 $T_{\phi} < 1.3T_w$ 。 $T_w$ 为航区较常见的大波浪的周期, 它与波长 $\lambda$ (m)的关系为 $T_w \approx 0.8\sqrt{\lambda}$ (s)。按我国沿海波浪情况, 波长 $\lambda$ 多在60~70m, 则 $T_{\phi}$ 应大于8~9s。远洋船舶遇到的波长 $\lambda$ 按150~160m计算, 则 $T_{\phi}$ 以大于13s为宜。在设计海船时能符合这些要求最好。一般大型船舶较易做到, 而中小型特别是小型船舶往往受各方面因素的制约常难以满足。内河船因风浪小, 其 $\overline{GM}$ 值通常较大。

由上述分析可知, 设计中对 $\overline{GM}$ 值的选取既不能过低, 也不宜太大, 特别是对于海船, 各类船舶的 $\overline{GM}$ 值综合安全性与舒适性有一个实用的范围, 设计中要加以控制。

下面根据设计实践对各种典型船舶的 $\overline{GM}$ 值与船宽 $B$ 的联系以及在不同装载情况时对初稳性的处理等情况作简要归纳。在实际设计中, 通常选取稳性合适的同类型船进行分析比较, 然后确定合宜的 $\overline{GM}$ 值, 这里仅从原则上作一些分析, 供初始设计阶段分析问题及选取主尺度时参考。

#### ①干货船。

这类船满载到港时稳性最差。

对船宽 $B > 12\text{m}$ 的船, 如果取设计状态(满载出港)时的 $\overline{GM}/B$ 为0.04~0.05, 一般可保证满载到港时仍有必要的初稳性( $\overline{GM}$ 在0.25m以上), 且不需要在中途加压载水以降低重心。但对油水储备量占载重量 $DW$ 比例较大、又不考虑在中途加压载水的船, 可能需取较大的 $\overline{GM}/B$ 值。

对中小型船舶,  $\overline{GM}/B$ 值宜取为0.05~0.07。

如考虑在中途加压载水, 则设计状态的 $\overline{GM}/B$ 可相对取低些。

干舷较低的船,  $\overline{GM}/B$ 值不宜过小, 否则会不能满足稳性规范对稳性曲线消失角的要求。

对集装箱船, 为防止因剧烈横摇而造成货物及固缚设备的损坏, 满载出港时可采用稍低的 $\overline{GM}$ 值(即选择较小的 $\overline{GM}/B$ ), 航行中及装卸货时再根据需要加压载水。

对矿砂船, 则应注意控制使 $\overline{GM}$ 值不过大, 选取较小的 $\overline{GM}/B$ 为宜。

#### ②客船及客货船。

对大型、中型客船, 海损稳性是主要矛盾, 通常 $\overline{GM}/B$ 在0.045~0.055范围。对小型客

船，尤其是载客数目相对较多者，其主要矛盾常是旅客移动时横倾角的限制，且因短途客船一般不宜在中途加压载水（船员不欢迎，且压载水量通常不可能很多从而效果不大），故满载出港时的 $\overline{GM}/B$ 应取得更大些，通常 $\overline{GM}/B > 0.055$ 。

### ③油船。

有人建议，油船在计及自由液面修正后的 $\overline{GM}$ 值大于 $0.1\sqrt{\Delta/L}$ 即可。设计实践表明，通常只是对小油船才需进行这种核算；中型以上油船的初稳性易于保证；而大型油船则是从横摇角度看，常嫌初稳性过高，需注意加以控制。

### ④拖船。

在论述拖船 $\overline{GM}$ 值的许多文献中，有关稳性衡准的共同特点是：拖索作用力 $F_t$ 比例于主机功率 $P$ 或 $(P \times D)^{2/3}$ ，其中 $D$ 为螺旋桨直径；横倾力臂 $l_t$ 则比例于水力作用中心到拖力 $F_t$ 的作用中心的距离；在 $F_t l_t$ 作用下的横倾角不超过甲板边浸水角——比例于 $F/B$ ，其中 $F$ 为干舷， $B$ 为船宽。表7-2列举了几种衡准办法，以供比较。

港作拖船的 $\overline{GM}/B$ 值通常大些，国内这类船的 $\overline{GM}/B$ 值在0.12~0.13范围。

表7-2 拖船初稳性的几种衡准办法

建 议 者	衡 准(m)	附 注
洛敦	$\overline{GM} \geq \frac{P_b l_t}{149 \Delta (F/B)}$	$P_b$ 为柴油机制动功率
伍德	$\overline{GM} \geq \frac{(P_b \times D)^{2/3} l_t}{24 \Delta (F/B)}$	$D$ 为螺旋桨直径
日本作业船标准	$\overline{GM} \geq \frac{F_{po} l_t}{2 \Delta (F/B)}$	$F_{po}$ 为系缆拉力，约为0.0135 $P_b$
孟洛-斯密非	$\overline{GM} = (0.088 \sim 0.096) B$	

设计拖船时最好参照型船选取 $\overline{GM}/B$ 值，一般 $\overline{GM}$ 值应在0.60~0.70m以上。

### ⑤渔船。

排水量 $\Delta > 400t$ 的拖网渔船的 $\overline{GM}$ 值以0.7~0.8m为宜，且在最不利的情况下也不宜小于0.45~0.60m； $\Delta = 150 \sim 200t$ 者，则其 $\overline{GM}$ 值应力求不小于0.60m。有人建议用如下衡准：

$$\frac{\overline{GM}}{Z_g - Z_b} \cdot \frac{2F}{B} \geq C, \quad (7-3)$$

式中， $Z_g$ ， $Z_b$ ——重心及浮心高度(m)；

$C$ ——随 $2F/B$ 面变化的衡准参数如表7-3所示。

表7-3

$\frac{2F}{B}$	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40
$C$	0.075	0.082	0.092	0.098	0.102	0.115

船的型深 $D < 4.5m$ 时，干舷 $F$ 应大于 $\frac{D}{15} + 0.15m$ ； $D \geq 4.5m$ 时， $F$ 应大于 $0.1D$ 。

因为渔船的作业方式多种多样,作业海区的海况千变万化,设计中更应参照排水量、主尺度等相近的同类型且稳性适宜的实船选取 $\overline{GM}$ 值。

## 二、初稳性估算与影响因素

### 1. 初稳心高的估算

由船舶静力学可知:初稳心高 $\overline{GM} = Z_b + \overline{BM} - Z_g$ ,且有 $Z_b \propto T$ ,  $\overline{BM} \propto B^2 / (T \cdot C_b)$ 和 $Z_g \propto D$ ,因而可得 $\overline{GM}$ 的估算公式为:

$$\overline{GM} = a_1 T + a_2 \frac{B^2}{TC_b} - \xi D, \quad (7-4)$$

式中, $a_1$ ——与船型系数 $C_b$ 、 $C_{wp}$ 及船体型线有关的系数,可按相近型船选取,也可用下列近似公式估算:

$$\textcircled{1} \quad a_1 = \frac{1}{3} \left( 2.5 - \frac{C_b}{C_{wp}} \right), \quad (7-5)$$

适用于介于 $U$ 型及 $V$ 型剖面之间的中间情况的剖面;

$$\textcircled{2} \quad a_1 = -\frac{C_{wp}}{C_{wp} + C_b}, \quad (7-6)$$

较适合于 $U$ 型横剖面,有时结果偏低;

$$\textcircled{3} \quad a_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{C_{wp}}{C_b} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (7-7)$$

适用于 $C_b/C_{wp} > 0.65$ ,有时结果偏高;

$$\textcircled{4} \quad a_1 = 0.858 - 0.37 \frac{C_b}{C_{wp}}, \quad (7-8)$$

适用于 $C_b/C_{wp} = 0.6 \sim 0.9$ 范围, $C_b/C_{wp}$ 大时偏低。

$a_2$ ——与 $C_{wp}$ 及船体型线(水线)有关的系数,可按相近型船选取,也可以按下列近似公式估算:

$$\textcircled{1} \quad a_2 = \frac{1}{11.4} C_{wp}^2, \quad (7-9)$$

广泛应用于普通形状的满载水线;

$$\textcircled{2} \quad a_2 = 0.0106 C_{wp} + 0.072 C_{wp}^2, \quad (7-10)$$

适用于军舰;

$$\textcircled{3} \quad a_2 = 0.008 + 0.0745 C_{wp}^2, \quad (7-11)$$

当 $C_{wp} < 0.7$ 时,数值偏小。

$\xi$ ——系数,与上层建筑特征等因素有关,可取自相近的型船。

### 2. 影响初稳心高的因素

从式(7-4)可知,船的主尺度 $B$ 、 $T$ 、 $D$ 和船型系数 $C_b$ 、 $C_{wp}$ 等决定着 $\overline{GM}$ 的大小。

### ①型宽 $B$ 及比值 $B/T$

利用式(7-4)求 $\overline{GM}$ 关于 $B$ 与 $T$ 的增量,可得

$$\begin{aligned}\delta\overline{GM} &= a_1\delta T + 2 \cdot \frac{a_2}{C_b} \left( \frac{B}{T} \right) \delta B - \frac{a_2}{C_b} \left( \frac{B}{T} \right)^2 \delta T \\ &= a_1 T \frac{\delta T}{T} + 2 \frac{a_2}{C_b} \frac{B^2}{T} \cdot \frac{\delta B}{B} - \frac{a_2}{C_b} \cdot \frac{B^2}{T} \cdot \frac{\delta T}{T} \\ &= Z_b \frac{\delta T}{T} + 2\overline{BM} \frac{\delta B}{B} - \overline{BM} \frac{\delta T}{T}.\end{aligned}\quad (7-12)$$

假定船的 $\Delta$ 不变,且 $L$ 、 $C_b$ 为定值,即 $B \cdot T = \text{常数}$ , $B$ 与 $T$ 改变时,有 $T\delta B + B\delta T = 0$ ,则

$$\frac{\delta T}{T} = -\frac{\delta B}{B}.\quad (7-13)$$

将式(7-13)代入式(7-12),可得

$$\delta\overline{GM} = (3\overline{BM} - Z_b) \left( \frac{\delta B}{B} \right).\quad (7-14)$$

同时,因为 $\delta \left( \frac{B}{T} \right) = \frac{B}{T} \frac{\delta B}{B} - \frac{B}{T} \frac{\delta T}{T} = 2 \left( \frac{B}{T} \right) \left( \frac{\delta B}{B} \right)$ ,则式(7-12)可以表示为

$$\delta\overline{GM} = \frac{1}{2} (3\overline{BM} - Z_b) \frac{\delta(B/T)}{B/T}.\quad (7-15)$$

从式(7-14)、(7-15)可以看出,因 $(3\overline{BM} - Z_b) \gg 0$ ,故 $\overline{GM}$ 随 $B$ 及 $B/T$ 的加大而迅速增加,特别是加大 $B$ 对增加 $\overline{GM}$ 值的效果更好。

### ②方形系数 $C_b$

从估算 $\overline{GM}$ 的公式可知,减小 $C_b$ 对增加 $\overline{GM}$ 值有一定好处,但 $C_b$ 值一般不从稳性出发进行选择,而是根据浮力、快速性等方面需要加以确定。

### ③水线面系数 $C_{wp}$

$C_{wp}$ 是对 $\overline{GM}$ 影响最大的因素之一,加大 $C_{wp}$ 对提高 $Z_b$ 和 $\overline{BM}$ 都有好处,特别是对 $\overline{BM}$ 有利。但 $C_{wp}$ 的值也受到型线特征、与 $C_b$ 的配合等多方面因素的制约,使得 $C_{wp}$ 的加大也是有限度的。但是当 $\overline{GM}$ 需少量加大时,改变 $C_{wp}$ 往往是有效的措施之一。

### ④型深 $D$

减少 $D$ 对增加 $\overline{GM}$ (实际上是降低重心高度 $Z_g$ )有好处。但是 $D$ 的数值往往是根据主体容积来选择的。值得注意的是,如果新船的 $D/B$ 比型船大,则新船的 $B$ 或 $B/T$ 也应相对取大些。同时在总布置设计时要注意控制船的重心高度 $Z_g$ ,使其不要过大,且顾及到不同装载情况时 $Z_g$ 的变化。

根据以上分析,初始设计阶段,为控制 $\overline{GM}$ 值,主要是参考相近的型船,选取合适的 $B/T$ 值,或者说,保证 $\overline{GM}$ 值是选择确定 $B$ 的主要考虑因素。

## 三、初稳心高的核算

在设计深入开展,完成型线图、总布置图、结构图等技术文件后,要核算船具有的初稳心高的精确值,往往是与核算浮态一起进行的。通常是根据规范对船的基本核算载况的规定

(参见 §7-4) 和设计船的具体使用特点, 选取核算载况。然后进行各载况的排水量与重心位置计算, 按表格核算船的浮态与初稳性。

各典型载况的浮心位置  $X_b$ 、横稳心垂向坐标  $Z_m$  等取自静水力曲线图。

空船重量及重心位置用详细计算或倾斜试验(完工计算)得到的数据。各货舱及燃料、清水、压载水舱内的载重量及重心位置, 可利用容量计算中得到的数据来决定。在设计阶段, 如发生初稳性或浮态不合要求的情况, 可适当增加压载水的数量, 或调整各舱内的装载重量。不得已时, 只有调整总布置, 以求得适宜的浮态与初稳性。

## §7-4 大倾角稳性

所谓大倾角稳性是指船在外力作用下(如较大的风与浪作用), 大横倾角(一般为大于  $10^\circ$ ) 时的稳性, 它涉及到船在航行中能抗多大风浪, 或者说船横倾到什么程度将丧失稳性而倾覆。核算大倾角稳性是根据稳性规范进行。下面主要结合对我国《海船稳性规范》的简要介绍, 讨论有关大倾角稳性的一些问题。

### 一、我国《海船稳性规范》(1986年)主要内容

我国《海船稳性规范》以大倾角稳性作为船舶稳性的基本衡准, 船本身具有的内力主要是考虑静水中的稳性曲线, 没有计及其他因素引起的修正; 外力则主要是考虑横风、横浪的作用。规范虽然对其他因素基本上没有考虑, 但可以说是抓住了影响船舶安全的最主要的因素, 且为许多船舶长期航行实践证明是可行的衡准方法。

#### 1. 适用范围

规范明确规定: “适用于船长  $L_{pp} \geq 20\text{m}$  的民用海船; 但不适用于帆船、机帆船、水翼艇、气垫船、游艇及滑行艇等”。通常, 这里都是指单体船型, 双体船目前尚无规范, 可参照本规范进行稳性核算。

#### 2. 一般船舶的稳性基本衡准

规范以比较船在波浪中发生共振横摇时具有的抵抗外力矩的能力——最小倾覆力矩  $M_c$  ( $\text{kN}\cdot\text{m}$  或  $\text{tf}\cdot\text{m}$ ) 与外力作用——风压倾侧力矩  $M_w$  ( $\text{kN}\cdot\text{m}$  或  $\text{tf}\cdot\text{m}$ ) 作为稳性的基本衡准, 除拖船外, 对一般民用船舶的要求是:

$$K = \frac{M_c}{M_w} \geq 1, \quad (7-16)$$

式中  $K$  为稳性衡准数。校核结果, 在任一装载情况下,  $K$  值都不小于 1.0, 则船的大倾角稳性符合要求。

下面分别对  $M_w$  及  $M_c$  的计算加以介绍:

#### ① 风压倾侧力矩 $M_w$ 的计算

$M_w$  的计算公式为:

$$M_w = 0.001 P A_v Z \quad (\text{kN}\cdot\text{m} \text{ 或 } \text{tf}\cdot\text{m}) \quad (7-17)$$

式中,  $A_v$ 、 $Z$ —— $A_v$  为船侧向受风面积 ( $\text{m}^2$ ),  $Z$  为受风面积中心距实际水线的垂直距离 ( $\text{m}$ )。

受风面积  $A_v$  系指船正浮时水线以上的船舶各部分在船的纵中剖面上的侧投影面积, 包括:

满实面积和非满实面积两部分。满实部分为船体、舷墙、上层建筑、甲板室、桅杆、起重柱、烟囱等以及上甲板上货物的侧投影面积，其中桅、通风筒、烟囱等流线型的独立体的计算面积可取其侧投影面积的0.6；凡侧投影面积相互重叠者只计入其中的一个；满实面积的中心用通常求图形面积形心的方法来确定。

非满实部分包括索具、栏杆、格栅型桁架、天线及零星小件在船纵中剖面上的侧投影轮廓面积。规范用非满实系数考虑其实效面积，也允许用如下简化办法求非满实面积：客船、货船及拖船，面积取为基本核算载况中最小吃水时满实面积的3%，其对基线的静矩为满实面积静矩的6%；油船、渔船，面积及面积矩分别为5%及10%。非满实面积及其静矩在各载况均取为保持不变。

上述两部分面积对实际水线的静矩除以 $A$ ，则得 $Z$ 。

$P$ ——单位计算风压(Pa或 $\text{kg}\cdot\text{f}/\text{m}^2$ )，根据 $Z$ 和航区从表7-4查得。其中航区划分为：Ⅰ类航区为无限制航区，Ⅱ类为渤海、黄海及东海距岸不超过200n mile的海区，台湾海峡，南海距岸不超过120n mile(其中海南岛东海岸及南海岸不超过50n mile)的海区，Ⅲ类为台湾海峡东西两岸、海南岛东海岸及南海岸不超过10n mile的海区，其它距岸不超过20n mile的海区，除东沙、西沙、中沙及南沙群岛外的其它沿海岛屿距岸不超过20n mile的海区。航区是根据各海区的风浪统计资料而划分的。

表7-4 单位计算风压力 $P(\text{Pa或kgf}/\text{m}^2)$

航 区	受风面积中心距实际水线的垂直距离 $Z(\text{m})$						
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0及以上
Ⅰ类航区	834 (85)	973 (99)	1091 (111)	1138 (121)	1263 (129)	1317 (134)	1351 (138)
Ⅱ类航区	451 (46)	530 (54)	588 (60)	643 (66)	683 (70)	710 (72)	727 (74)
Ⅲ类航区	226 (23)	265 (27)	294 (30)	321 (33)	342 (35)	355 (36)	363 (37)

### ②最小倾覆力矩 $M_e$ 的计算

$M_e$ 表示船本身所能抵抗的最大风压倾侧力矩，可用作图方法求得，参看图7-3，使静稳性曲线图上的两块面积 $NKH$ 与 $NPLR$ 相等，则 $OM$ 即为 $M_e$ 。图中， $\phi_1$ 为最大横摇角， $\phi_i$ 为“非水密封闭开口”的进水角， $\phi_v$ 为稳性消失角。

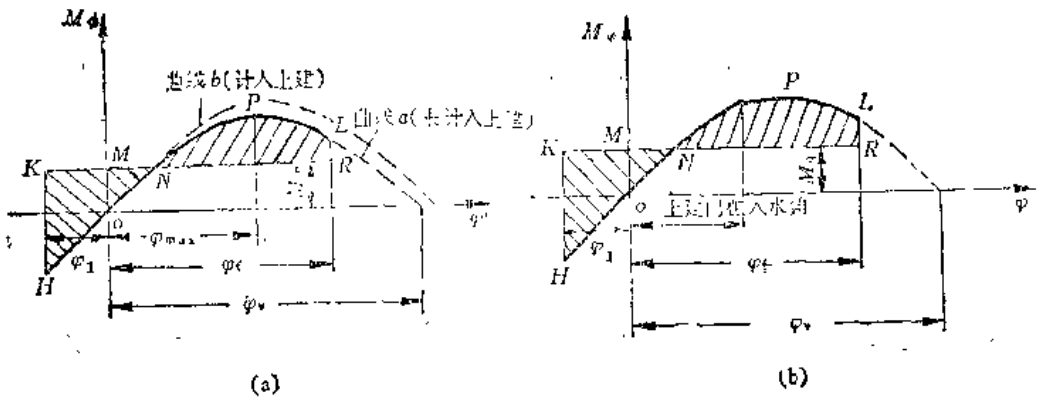


图7-3  $M_e$ 的计算图示

实际工作中，一般多用动稳性曲线 $l_d = f(\phi)$ 进行作图求取 $l_c$ 或 $M_c = l_c \cdot \Delta$ ，如图7-4所示。这时稳性衡准数 $K$ 为 $l_c$ 与 $l_w = M_w / \Delta$ 的比值，则

$$K = \frac{l_c}{l_w} \geq 1. \quad (7-18)$$

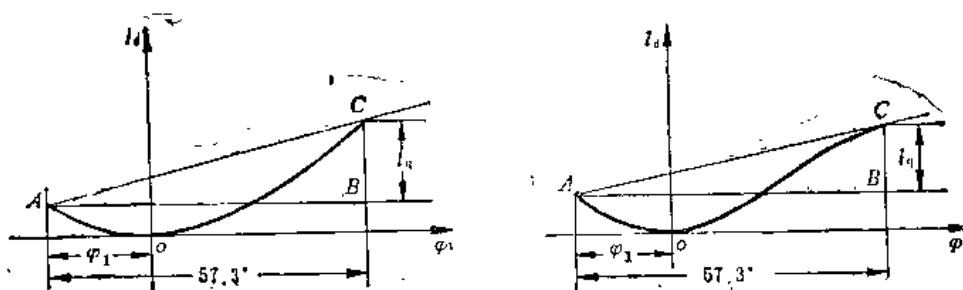


图7-4  $l_c$ 的求取

**对静稳性曲线的计算规定** 规范允许计入符合如下条件的上层连续甲板上的第一层上层建筑及甲板室，此时稳性曲线如图7-3(a)的虚线；建筑的侧壁和端壁的开口关闭时，有通向机舱或其它工作处所及上层的方便通道或出口。不符合上述规定的上层建筑及甲板室，仅可计入至门槛上缘以下的部分，此时稳性曲线如图7-3(b)的形状，曲线上的折点对应门槛上缘进水角。

**规范对自由液面修正的规定** 凡存在自由液面的消耗液体舱，均应计算装载为50%舱容时的自由液面对初稳心高和稳性曲线的影响。但当船横倾 $30^\circ$ 时，液体的移动力矩(tf·m)小于 $0.01\Delta_{min}$ 时(此 $\Delta_{min}$ 为空载到港不加压载的排水量(t))，可不计自由液面对稳性曲线的影响。此外，对于已装满95%以上的液体舱及存有通常剩余液体的空舱，其自由液面对初稳心高及稳性曲线的影响均可不计入。

**对非水密封闭开口进水角 $\phi_i$ 的计算规定**  $\phi_i$ 系指船舶动倾至超过该开口的外缘或下缘时，舷外水会淹进船主体内的横倾角。规范规定：凡上层连续甲板及舷侧上的开口，以及货船口、通风筒等其封闭装置不满足风、雨密要求者，应作为进水角开口；处于上层建筑或甲板室内の上甲板开口(如机舱棚开口和通向下层的梯口)，若上层建筑或甲板室符合有关规定，则可不加考虑。上甲板上的空气管及其它小开口，在船舶动倾侧时实际上对稳性无影响者，可不作为进水角开口。进水角取诸非水密开口中之最小者。最小进水角开口根据总布置图来找。

**最大横倾角 $\phi_1$ 的计算**

$$\phi_1 = 87.5 C_1 C_2 C_3 \sqrt{0.216 + \frac{Z_g}{T}} \quad (^\circ) \quad (7-19)$$

式中， $T$ 及 $Z_g$ 分别为船在所核算的装载情况下的平均吃水及重心高度(m)。 $Z_g/T$ 大于1.45时取为1.45； $Z_g/T$ 小于0.917时取等于0.917。 $C_1$ 、 $C_2$ 及 $C_3$ 为系数。

$C_2$ 按船类型及艉龙骨尺寸由表7-5查得；

$C_3$ 按 $B/T$ ( $T$ 为核算载况的平均吃水)由表7-6查得。



$C_1$ 根据自摇周期 $T_\phi$ (s)及航区从图7-5查得, 其中 $T_\phi$ 计算式为:

$$T_\phi = 0.58 \sqrt{\frac{B^2 + 4Z_g^2}{GM_0}} \quad (\text{s}) \quad (7-20)$$

式中,  $GM_0$ ——所核算载况的未修正自由液面影响的初稳心高(m)。

表7-5  $C_2$  的 值

舷龙骨总面积 $L_{pp} \times B$ (%)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	$\geq 4.0$
货船、油船	0.85	0.80	0.75	0.71	0.68	0.65	0.63
客船、渔船、拖船	0.00	0.92	0.85	0.80	0.75	0.71	0.68

表7-6  $C_3$  的 值

$B/T$	$\leq 2.5$	3.0	3.5	$\geq 4.0$
$C_3$	1.00	0.90	0.85	0.80

计算舷龙骨面积时, 可将方龙骨(如有的话)的侧面积计入。

无舷龙骨的船舶和舷龙骨总面积小于1%  $L_{pp} \cdot B$  的圆舷形船舶以及其它特殊线型的船舶,  $C_1$ 及 $C_3$ 的值应作特殊考虑。

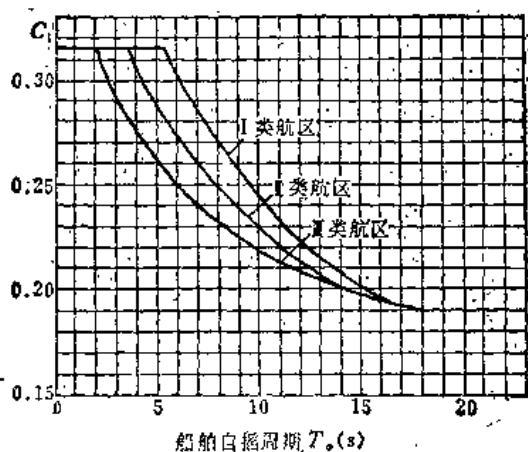


图7-5  $T_\phi$ 与 $C_1$ 关系曲线

计算横摇角时, 不考虑其它的特殊减摇装置的作用。

### 3. 拖船稳性的基本衡准

拖船稳性的基本衡准考虑了拖索急牵力的影响, 急牵力与相当横漂水阻力构成拖索急牵倾侧力矩 $M_{t0}$ 。

①拖船港内作业(拖带他船)时,应满足条件:

$$K_1 = \frac{M'_c}{M_t} \geq 1.$$

$M'_c$ 的计算:  $M'_c$ 为最小倾覆力矩, 计算办法同前, 但不计横摇即  $\phi_1 = 0$ , 且不论上层建筑和甲板室开口的封闭装置如何, 开口进水角一律算至端壁或侧壁上开口门槛的上缘。

$M_t$ 的计算:

$$M_t = 0.067(kv)^2 \frac{Z_t - T}{B \cdot C_b} \cdot \Delta \quad (\text{tf} \cdot \text{m}), \quad (7-21)$$

式中,  $k$ ——拖钩纵向位置影响系数, 其值为:

$$k = 1 - 1.7 \frac{x_t}{L_w},$$

其中  $x_t$  为拖钩固着点距船舶重心的纵向距离(m),  $L_w$  为设计水线长(m)。

对于1000HP及以上的拖船  $k$  应不小于0.75, 400HP及以上的拖船  $k$  应不小于0.80。

$v$ ——拖船急牵速度(m/s), 按急牵系数  $f = P_0^{\frac{2}{3}} / 10\Delta$  由图7-6中注有“港内”的曲线求得。其中  $P_0$  为拖船主机总功率(柴油机为制动功率), 但对1000HP以下的拖船, 应将查得的  $v$  乘以系数  $q$ , 其值为:  $q = 0.60 + 0.40 \times P_0 \times 10^{-3}$ ; 在  $q < 0.76$  时, 取为0.76。

$Z_t$ ——拖钩固着点距基线的高度(m)。

$B$ 、 $T$ 、 $C_b$ 、 $\Delta$ ——意义同前, 数值取核算情况的。

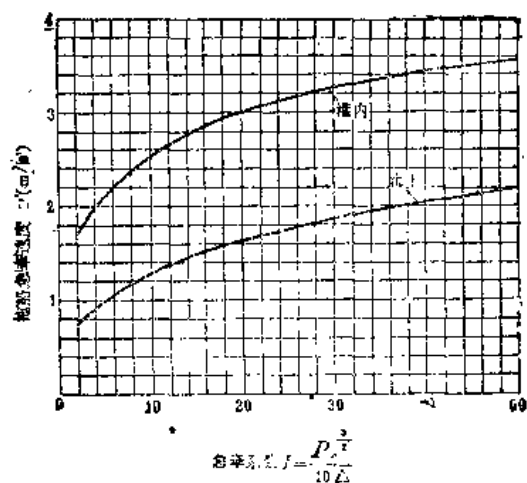


图7-6  $f$ 与 $v$ 关系曲线

②出海拖带时, 应满足条件:

$$K_2 = \frac{M_c}{M_t + M_w} \geq 1,$$

式中,  $M_c$ 及 $M_w$ ——最小倾覆力矩及风压力矩;

$M_t$ ——用式(7-21)计算, 但 $v$ 用图7-6中注有“海上”的一条曲线查。

#### 4. 关于需核算的装载情况的规定

规范对各类船舶应核算的基本载况作了规定。如货船应核算满载出港及到港, 空载(压

载)出港及到港;客船还应增加满客无货出港及到港的载况;其它船只可参阅规范有关规定。在核算到港稳性时,如需加压载水才能满足要求时,则还应补充核算中途的情况。出港、中途及到港分别指燃料、淡水的数量为额定的最大储备量100%、50%及10%。

如船舶有某种载况,其稳性比规定的基本载况更差,应对该载况加以核算。航行于《海船载重线规范》所规定的冬季季节区的 I 类航区船舶及冬季航行于青岛以北的国内沿海船舶,应对其稳性最差的一种基本载况计算结冰的影响。

#### 5. 对静稳性曲线的特征要素的要求

修正自由液面影响后的各载况的静稳性曲线应达到:

最大静稳性臂: I 类航区船舶应不小于0.20m; II、III类航区船舶在 $L_{pp} \geq 40m$ 时应不小于0.20m,  $L_{pp} = 20m$ 时应不小于0.15m,  $20m < L_{pp} \leq 40m$ 者按对20m及40m的规定,用内插法求。如船体进水角 $\phi_e$ 小于最大静稳性臂的对应倾角,则进水角处的静稳性臂应符合上述规定。

最大静稳性臂所对应的横倾角应不小于 $30^\circ$ 。计入上层建筑的静稳性曲线如有两个峰点(参看图7-7b),则第一个峰点所对应的横倾角应不小于 $25^\circ$ 。

消失角不小于 $55^\circ$ 。

#### 6. 对初稳性的要求

规范对船在任一载况修正自由液面影响后的最小初稳心高规定为:货船、油船等应不小于0.15m。运木船载运甲板木料货时应为正值。渔船应不小于0.30m。客船应满足旅客集中一舷或船舶全速回转时横倾不超过极限静倾角,以免引起旅客惊慌发生事故。极限静倾角的计算可参看规范(但 $>12^\circ$ ),这一要求常是设计小型客船须早加注意的一个重要因素。

以上介绍了我国海船稳性规范的主要规定。但这一规范尚缺少货船载运散装谷物时的稳性要求,一般可根据国际海事组织1973年 A 264(VII)决议的等效条例进行计算。

## 二、稳性校核

校核船的大倾角稳性的关键是计算静稳性曲线。在不同的设计阶段可以采用不同的方法进行。

#### 1. 初步估算

在初始设计阶段,选取了主要要素、勾画出总布置草图并初估得 $\overline{GM}$ 值以后,可以用下列近似计算公式求出各倾角 $\phi$ 时的静稳性臂 $\overline{GZ}$ 。

$$\overline{GZ} = F_1(\phi)a + F_2(\phi)b + F_3(\phi)\overline{BM} + \overline{GM}\sin\phi,$$

式中,  $\overline{BM}$ ——横稳心半径(m);

$\overline{GM}$ ——初稳心高(m);

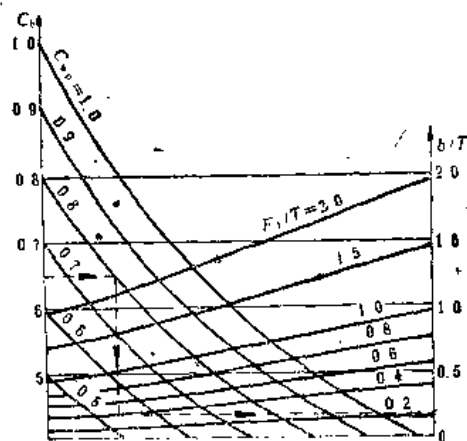
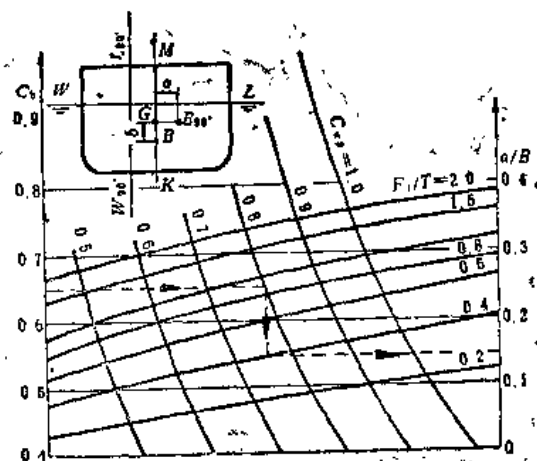


图7-7 a及b的近似值

$a, b$ ——分别为船倾斜 $90^\circ$ 及 $0^\circ$ 时的 $\overline{GB}$ 值, 与 $C_b$ 、 $C_{wp}$ 、干舷等有关, 可查图7-7得到,  $C_{wp}$ 为水线面系数;

$F_1(\phi)$ 、 $F_2(\phi)$ 、 $F_3(\phi)$ ——系数, 可根据表7-7查得。

$F_1$ ——相当干舷(m), 计算式为:

$$F_1 = (D - T) + \frac{1}{7}(h_f - h_a) + 0.63f;$$

其中,  $D$ ——型深(m);

$T$ ——吃水(m);

$h_f$ ——首脊弧(m);

$h_a$ ——尾脊弧(m);

$f$ ——梁拱。

表7-7  $F_i(\phi)$

$F \quad \phi$	$0^\circ$	$15^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$75^\circ$	$90^\circ$
$F_1(\phi)$	0	0	0.5458	1.2221	1.2835	0.7174	0
$F_2(\phi)$	0	0	-0.2190	-0.4012	-0.1967	0.3642	1.0000
$F_3(\phi)$	0	0.0093	-0.3148	-0.8248	-1.0980	-1.0877	-1.0000
$\sin \phi$	0	0.2588	0.5000	0.7071	0.8660	0.9659	1.0000

当考虑到上层建筑对 $\overline{GZ}$ 的影响时, 则可根据下式求出上层建筑的影响系数 $k_{gz}$ , 然后查图7-8求得 $\overline{GZ}_m/B$ 值。 $\overline{GZ}_m$ 为计入上层建筑影响后的 $\overline{GZ}$ 值。

$$k_{gz} = \frac{C_{wp}}{C_b^2} \left( \frac{Z_g}{T} \right)^{-4} \cdot \left( \frac{F_1}{T} \right)^{3/2} \cdot \left( \frac{B}{T} \right)^{-2} \cdot \left( \frac{\overline{GM}}{B} \right)^{1/2}.$$

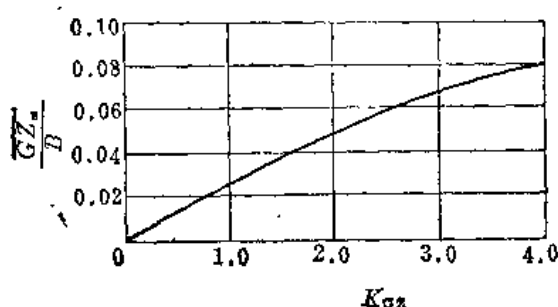


图7-8  $\overline{GZ}_m$

有的船的设计表明, 用上式估算 $\overline{GZ}$ 曲线, 与船体型线确定后由电子计算机计算得到的结果有较好的吻合性。

## 2. 准确核算

在船的技术形态基本确定以后, 根据规范规定的基本核算载况, 进行稳性核算工作。通常在各载况的浮态与初稳性符合要求后, 要进一步核算大倾角稳性。

对任一载况来说, 此时排水量 $\Delta$ 、初稳心高 $\overline{GM}_0$ 、吃水 $T$ 、重心高度 $Z_g$ 均已知, 故可根据这些数据按下列顺序计算:

①据排水量 $\Delta$ 从稳性横截曲线找出各倾角处对应假定重心的复原力臂, 修正重心高度的差别后就可算出实际复原力臂, 绘出静稳性曲线。检验静稳性曲线的各要素是否符合要求。

②据 $T$ 、 $\overline{GM}_0$ 、 $Z_g$ 及 $B$ 计算自摇周期 $T_\theta$ , 进而计算出横摇角 $\phi_1$ 。

③据总布置图上开口情况, 确定计算进水角的开口下缘位置, 进而按船舶静力学方法算出进水角 $\phi_i = f(\nabla)$ 曲线, 并据载况的排水体积用此曲线找出进水角 $\phi_i$ 。

④用作图法找出最小倾覆力矩 $M_c$ 。

⑤根据总布置图的侧视图列表计算受风面积( $A_f$ )及其形心距水面高度( $Z$ )。

⑥据 $Z$ 及航区查出计算风压 $p$ 。

⑦计算风压力矩 $M_w$ 。

⑧计算稳性衡准数 $k = M_c/M_w$ 是否大于1.0。

在进行上述计算时,可参考实船的稳性计算书的格式进行。按规范校核稳性已有计算机程序可用。

### 三、国际海事组织(IMO)的稳性衡准

对于航行于国际航线的船舶,除了满足本国规范以外,还需要满足国际公约和法规。国际海事组织在1969年通过了“对船长不足100m客船和货船完整稳性的建议”(即海大167(特I V)决议)。在以后的实施过程中,各成员国普遍认为:海大167(特I V)决议对受风面积大的船舶在压载和轻载情况时的要求过低,必须在167决议中加入气象衡准。经过多年的研究,国际海事组织的稳性、载重线和渔船分委员会在1983年提出了“对船长超过24m的客船和货船完整稳性的突风和横摇衡准(天气衡准)的建议案”。在设计船舶时,应该考虑这二项建议案的要求。

现将国际海事组织的这二项建议案简要介绍如下。

海大167(特I V)决议中,对船长小于100m的客船和货船的完整稳性主要要求有:

①对客船与货船,建议用下列衡准:

复原力臂曲线(静稳性曲线)下的面积,在倾角 $\phi = 30^\circ$ 时,应不小于 $0.055\text{m}\cdot\text{弧度}$ ;倾角 $40^\circ$ 或进水角 $\phi_i$ 小于 $40^\circ$ 时,应不小于 $0.09\text{m}\cdot\text{弧度}$ 。在倾角 $30^\circ$ 和 $40^\circ$ 之间或 $30^\circ$ 和 $\phi_i$ (如 $\phi_i < 40^\circ$ )之间复原力臂曲线下的面积应不小于 $0.03\text{m}\cdot\text{弧度}$ 。

倾角等于或大于 $30^\circ$ 处的复原力臂 $\overline{GZ}$ 应至少为 $0.2\text{m}$ 。

最大复原力臂应最好在倾角大于 $30^\circ$ ,但不小于 $25^\circ$ 处。

初稳心高 $GM_0$ 应不小于 $0.15\text{m}$ 。

②对客船建议用下列附加要求:

按有关规定的旅客集中一舷时,倾角应不大于 $10^\circ$ 。

用下列公式计算倾侧力矩,船舶回转时的倾角不大于 $10^\circ$ ,即

$$M_r = 0.02 \frac{V_s^2}{L} \Delta \left( \overline{KG} - \frac{T_m}{2} \right),$$

式中,  $M_r$ ——倾侧力矩( $\text{tf}\cdot\text{m}$ );

$V_s$ ——服务航速( $\text{m/s}$ );

$L$ ——水线长( $\text{m}$ );

$\Delta$ ——排水量( $\text{t}$ );

$T_m$ ——平均吃水( $\text{m}$ );

$\overline{KG}$ ——重心在基线以上的高度( $\text{m}$ )。

1983年国际海事组织的稳性、载重线和渔船分委员会提出的关于天气衡准的建议案,其主要内容如下:

①在各种装载情况下,船舶抵抗横风和横摇联合作用的能力应假定如下:船受到一个定

风压垂直作用于其中心线上而产生的定常风倾力臂( $l_{w1}$ )；假定由于浪的作用，船由平衡角( $\phi_0$ )向上风摇到一个角度( $\phi_1$ )；

然后受到一阵突风产生突风倾侧力臂( $l_{w2}$ )；要求图7-9中面积 $b \geq a$ 。图中， $\phi_0$  = 定常风作用下的横倾角。 $\phi_1$  = 由于浪的作用向上风横摇的角度。 $\phi_2$  = 进水角 $\phi_i$ 或 $50^\circ$ 或第二个交角 $\phi_c$ ，取小者。

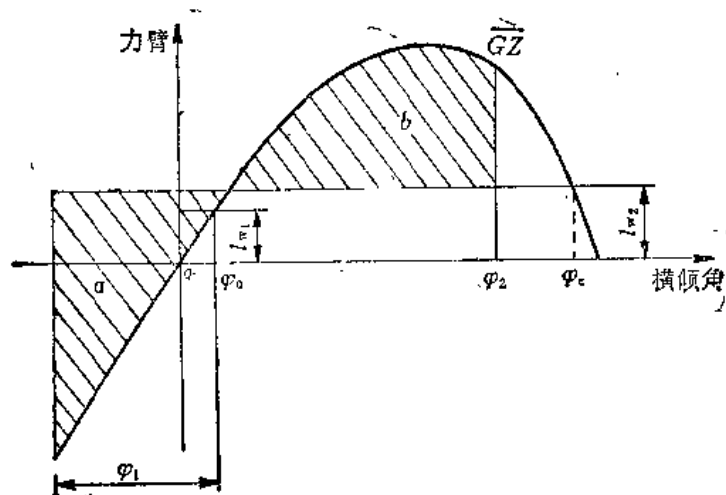


图7-9 突风和横摇

②风倾力臂 $l_{w1}$ 和 $l_{w2}$ 按下式计算：

$$l_{w1} = \frac{PAZ}{\Delta}, \text{ (m)}$$

$$l_{w2} = 1.5l_{w1}, \text{ (m)}$$

式中， $P = 0.0514 \text{ tf/m}^2$ ；

$A$ ——水线以上船和甲板货的受风面积( $\text{m}^2$ )；

$Z$ ——受风面积中心到吃水一半处的距离( $\text{m}$ )；

$\Delta$ ——排水量( $\text{t}$ )。

③横摇角 $\phi_1$ 按下式计算：

$$\phi_1 = 109Kx_1x_2\sqrt{rs},$$

式中， $x_1$ ——按表7-8查得的系数；

$x_2$ ——按表7-9查得的系数；

$k$ ——系数，其值如下： $k = 1.0$ ，用于未设舦龙骨或方龙骨的圆舦形船； $k = 0.7$ ，用于尖舦形船； $k$ ——由表7-10求得，适用于设有舦龙骨或方龙骨或两者皆有的船；

$s$ ——按表7-11查得的系数；

$r = 0.73 + 0.6\overline{OG}/T_m$ ， $\overline{OG}$ 为重心在水线以上的高度( $\text{m}$ )；

$T_m$ ——平均型吃水( $\text{m}$ )。

表7-8~表7-10中， $L$ 、 $B$ 、 $T$ 分别为船长、型宽和型吃水，单位均为 $\text{m}$ ， $A_L$ 为舦龙骨或方龙骨面积或二者之和( $\text{m}^2$ )， $T_s$ 为船的横摇固有周期( $\text{s}$ )，按下式求得：

表7-8 系数 $x_1$ 

$B/T$	$x_1$
$\leq 2.4$	1.0
2.5	.98
2.6	.96
2.7	.95
2.8	.93
2.9	.91
3.0	.90
3.1	.88
3.2	.86
3.3	.84
3.4	.82
$\geq 3.5$	.80

表7-9 系数 $x_2$ 

$C_b$	$x_2$
$\leq 0.45$	0.75
0.50	0.82
0.55	0.89
0.60	0.95
0.65	0.97
$\geq 0.70$	1.0

表7-10 系数 $k$ 

$A_{\Sigma} \cdot 100$	$K$
$L/B$	
0	1.0
1.0	0.98
1.5	0.95
2.0	0.88
2.5	0.79
3.0	0.74
3.5	0.72
$\geq 4.0$	0.70

表7-11 系数 $s$ 

$T_{\phi}$	$s$
$\leq 6$	0.100
7	0.098
8	0.093
12	0.065
14	0.053
16	0.044
17	0.038
$\geq 20$	0.035

$$T_{\phi} = \frac{2.01c \cdot B}{\sqrt{GM}}$$

式中,  $\overline{GM}$ ——经自由液面修正的初稳心高(m);

$$c = 0.3725 + 0.0227(B/T) - 0.0043(L/10)。$$

## §7-5 设计中的几点考虑

前已述及, 船舶稳性不仅影响到船的使用性能, 更严重的是会危及安全。因此, 稳性是船舶设计中最受关注的问题之一。在设计初始阶段确定船的主要要素、选择型线、进行总布置设计等各个环节, 都应对船舶稳性(包括初稳性及大倾角稳性)注意控制、认真考虑。

### 一、初 稳 性

对初稳心高 $\overline{GM}$ 加以控制, 应从保证船的使用要求及安全与缓和船的横摇两个方面进行考虑。 $\overline{GM}$ 值应适中, 在保证安全(包括破损后的剩余稳性)的前提下, 不使 $\overline{GM}$ 过大。因为 $\overline{GM}$ 太大, 不仅会造成横摇激烈, 人员晕船等等不利影响, 而且使船的大倾角稳性变差, 降低抗风能力。

控制 $\overline{GM}$ 的有效措施是选择合适的 $B$ (或 $B/T$ )及 $C_{wp}$ 等参数。

### 二、静稳性曲线(复原力臂曲线)

静稳性曲线全面地反映了静水中船在不同倾角下具有的复原力臂。保证静稳性曲线所包围的面积并使其有良好的形状特征, 是提高船抗风能力的关键所在。在面积相同时,  $\overline{GM}$ 值适中(静稳性曲线原点处的斜率较小)、最大静稳性力臂 $\overline{GZ}_{\max}$ 所对应的角度较大, 以及消失角 $\phi_s$ 较大的稳性曲线有较好的动稳性, 抗风能力也较强。

表7-13为船型要素的变化对初稳性和静稳性曲线影响的趋势,设计时应综合分析,进行控制与处理。其中特别是加大型深 $D$ (即加大干舷 $F$ )和降低重心高度 $Z_g$ 的影响最为显著。在进行总布置时,要注意控制 $Z_g$ 值和不同装载情况下 $Z_g$ 的变化情况。

表7-13 船型要素的影响

要素	项目	$\overline{GM}$	$BM$	$Z_h$	$\phi_v$	$\overline{GZ}_{max}$	$\phi_{50.4^\circ}$	备 注
型宽 $B \uparrow$		$\uparrow$	$\uparrow$	—	$\downarrow$	$\uparrow$	$\downarrow$	
吃水 $T \uparrow$		$\downarrow$	$\downarrow$	$\uparrow$	$\downarrow$	$\downarrow$	—	型深及线型为定值
干舷 $F \uparrow$		$\downarrow$	—	—	$\uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$	水线下线型一定
脊弧 $h \uparrow$		$\downarrow$	—	—	$\uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$	
外飘 $\uparrow$		—	—	—	$\uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$	
重心高 $Z_g \uparrow$		$\downarrow$	—	—	$\downarrow$	$\downarrow$	$\downarrow$	船体形状一定

### 三、自由液面

自由液面的存在且足够大时,将使 $\overline{GM}$ 降低,同时也影响到各个横倾角下的静稳性力臂值,使船的大倾角稳性变坏。对于液货船及油水储备量大的船,要注意减少自由液面的影响,同时在布置时要减少不对称淹水舱的数目。

对自由液面的修正,应根据规范的规定进行计算。

### 四、共振横摇角

共振横摇角 $\phi_1$ 与船的大倾角稳性关系极大。理论研究与实践表明, $\phi_1$ 与波浪的参数、船舶的航速、船型( $C_b$ 、 $B/T$ 、 $C_{wp}$ 等)、装载情况( $Z_g$ 、 $T$ 等)以及附体(舵龙骨)等因素有关。波浪参数取决于航区,航速、航向靠驾驶人员正确选用;其他几个因素主要影响船舶的横摇阻尼系数。从船舶设计角度,减小 $\phi_1$ 以提高船抗风能力主要可考虑以下几方面的措施,

**控制 $\overline{GM}$ 值** 减小 $\overline{GM}$ ,可以增加船的横摇固有周期 $T_\phi$ 和无因次衰减系数 $\mu$ 。加大 $T_\phi$ ,不但可使 $\phi_1$ 减小,摇摆缓和,而且也减小谐摇的可能性; $\mu$ 大将使船摇摆时的衰减加快。

**选择有利的横剖面形状** 试验表明,横摇阻尼系数 $N$ 随中剖面系数 $C_m$ 的增加而增加;高速船艇采用尖舭船型也使阻尼加大。

**加装舭龙骨** 不但可以增加横摇阻尼,使 $\phi_1$ 减小,而且也增加了附连水质量,使 $T_\phi$ 略有提高。

**缩小重心与浮心的间距** 试验表明,在相同的 $\overline{GM}$ 值下,两者的间距小,横摇振幅也小。如 $C_b$ 较小的高速艇,采用V形剖面可使浮心提高。

此外,取较小的船宽 $B$ 和把静稳性曲线设计成具有适度 $\overline{GM}$ 的“S”形,对横摇也是有利的。

### 五、受风面积及其形心高度

受风面积 $A_v$ 及其形心高度 $Z$ ,对风压倾侧力矩 $M_w$ 的影响很大。为保证船的大倾角稳性,在进行总布置设计确定上层建筑的大小及层数时,注意控制 $A_v$ 和 $Z$ 有着重要意义,特别是对于



上层建筑发达的客船更是如此。同时,  $A_v$ 及 $Z_v$ 也与船的重心高度 $Z_g$ 有密切的联系。

### 复 习 思 考 题

1. 什么是船舶稳性? 船舶设计中的稳性问题包括哪些方面?
2. 船在航行及营运过程中可能受到的外力有哪些? 影响船抵抗外力作用能力大小的因素有哪些? 船舶稳性规范对船的外力与内力是如何考虑的?
3. 选取 $\overline{GM}$ 应考虑的因素有哪些? 为什么 $\overline{GM}$ 值不能太小, 也不宜过大?
4. 对不同类型的船,  $\overline{GM}$ 值的选取与处理是怎样考虑的?
5. 影响 $\overline{GM}$ 的主要因素有哪些? 各自的作用如何?
6. 船的大倾角稳性与初稳性有什么不同, 相互间又有什么联系?
7. 《海船稳性规范》对一般船的稳性衡准是什么? 影响船抗风能力大小的因素有哪些?
8. 如何初估船的大倾角稳性?
9. 国际海事组织关于船长 $\leq 100\text{m}$ 客货船的稳性衡准与我国稳性规范要求有什么不同?
10. 设计中控制 $\overline{GM}$ 的主要措施是什么?
11. 船的静稳性曲线有些什么特征? 它们与哪些要素有关?
12. 为什么 $B/T$ 特别大的船较难满足我国海船稳性规范关于稳性曲线特征要素的要求?
13. 规范对客船、拖船的稳性要求与一般货船有什么不同?
14. 规范对货船与客船核算稳性的基本载况有什么规定?

# 第八章 船舶抗沉性

## §8-1 概 述

抗沉性是指船舶在一舱或数舱破损浸水后仍能保持一定浮性和稳性的能力，它是船舶的一项重要技术性能。根据海难事故的统计，每年都有许多船舶因船舱破损浸水而沉没或倾覆，其中虽以中、小型船居多，但大型船舶也不乏其例，其后果是油船、液化气体船以及化学品船的失事将会严重污染海洋江河，而客船遇难则更将直接导致人民生命财产的巨大损失，在设计过程中必须很好地考虑船舶在一定的破损浸水情况下，是否仍能保持其生存这一重要问题。

从所发生的海难事故分析，船舶是否会因破损浸水而沉没或倾覆，与以下几方面的因素有关：船舶设计时对抗沉性问题考虑的合理、周密程度；船舱破损的位置、尺寸和进水量；发生海损时的环境条件——海况；海损后船员所采取的损管措施。

在设计过程中对抗沉性问题是否考虑得周到、合理，是船舶破损后能否保证具有一定浮态的首要前提。这就与船舶的主要要素、总布置、稳性等密切相关。

本章扼要介绍我国《海船分舱和破舱稳性规范》与等效分舱规则的主要内容，以及在设计中对抗沉性问题的考虑。

## §8-2 《海船分舱和破舱稳性规范》简介

我国船舶检验局1987年颁布实施的《海船分舱和破舱稳性规范》是参照《国际海上人命安全公约》(1974)编制的。

### 一、规范的适用范围和主要术语定义

#### 1. 适用范围及主要内容

规范适用于载客超过12人(不包括一周岁以下儿童)的海洋客船。规范的主要内容可归纳为对船舶抗沉性提出以下三方面的要求：对船舶分舱，即有关主体水密舱划分的规定；对船舶破舱稳性的规定；对船体结构和开口，即关于船壳板、甲板、水密舱壁等结构上的开口(如水密门、舷窗等)及其关闭装置等的规定。

#### 2. 规范中主要术语定义

规范中所用的几个主要术语定义如下：

**分舱载重线** 决定船舶分舱时所用的水线，对具有连续舱壁甲板且无交替装载旅客或货物舱室的船舶，通常为相应于设计(满载)吃水的水线。

**最深分舱载重线** 相当于分舱要求所允许的最大吃水的水线，对具有连续舱壁甲板的船舶，通常为相当于最大设计吃水(如结构吃水)的水线。

**船长** 在最深分舱载重线两端的垂线间的距离。

**吃水** 在船长中点,由基线至所求分舱载重线间的垂直距离。

**舱壁甲板** 横向水密横舱壁所到达的最高一层甲板。

**机器处所** 由基线至限界线,并界于机(炉)舱前后端壁之间,供布置主机、辅机、主锅炉以及一切固定煤舱的处所。

**风雨密** 在任何风浪情况下,水不得透入船内。

## 二、对主体水密舱划分的规定

船舶破损后能否具有一定的浮力,主体水密舱壁的合理布置将起到决定性的作用,因此规范针对不同的船舶尺度、结构和业务性质对船舶分舱作出了一系列的规定,其主要内容包括:限界线的选取;渗透率 $\mu$ 的计算;业务衡准数 $C_s$ 的计算;分舱因数 $F$ 的计算;许可舱长的计算。

关于可浸长度的计算方法,规范中没有明确规定。具体计算时,可采用船舶静力学或其它有关资料如船舶设计手册中介绍的方法。

### 1. 限界线的选取

对于具有连续舱壁甲板的船舶,限界线是指在船侧该甲板上表面以下不小于76mm处所绘的线(图8-1a)。

当船舶无连续舱壁甲板时,限界线允许取为阶梯形(图8-1b)或折线形(图8-1c)。对于采用阶梯形限界线的船舶,规范规定在阶梯处前、后两舱的可浸长度应分别按各自的限界线进行计算,而且此相邻两舱长度之和,不得超过按低的限界线得到的许可舱长的两倍,以防止船舶浸水后蔓延到这两个舱以外的范围。

采用阶梯形限界线除有利于船中部布置客舱外,与折线形相比还可使限界线升高区(首、尾端)的储备浮力增大,从而增大该区域内的可浸长度。但此时船体两舷在低的限界线以上至高的假定连续的限界线以下部分应保证水密,如有开口应符合规范规定。特别是在限界线升高区内水密舱壁上的开口,由于受到规范规定必须设置具有特种结构水密门的限制,通常前后两舱不能直接相通,从而造成使用上的不便。而采用折线形限界线就可在高于限界线76mm以上处的舱壁上开设非水密的开口,因而有利于旅客舱室的布置。

### 2. 渗透率

渗透率是指某处所能被水浸占的容积和其总容积之比的百分数。为了计算方便,在规范中将全船分成三个区域——机器处所、机器处所以前及以后部分来计算它们在各自长度范围内的同一平均渗透率,分别以 $\mu_m(\%)$ ,  $\mu_f(\%)$ 和 $\mu_a(\%)$ 表示。

#### ① 机器处所

$$\mu_m = 85 + 10 \left( \frac{a_m - C_m}{V_m} \right), (\%) \quad (8-1)$$

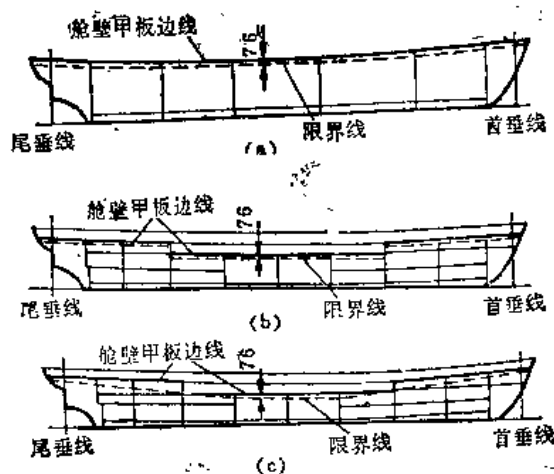


图 8-1

式中,  $V_m$ ——限界线以下机器处所的总型容积,  $m^3$ ;

$a_m$ 、 $C_m$ ——分别为限界线以下机器处所范围内的旅客和船员起居和使用处所的型容积, 和该范围内专供装载货物、煤或物料储藏用的甲板间处所的型容积, 单位均为  $m^3$ 。

## ②机器处所以前及以后部分

$$\left. \begin{aligned} \mu_t &= 63 + 35 \frac{a_t}{V_t}, (\%) \\ \mu_a &= 63 + 35 \frac{a_a}{V_a}, (\%) \end{aligned} \right\} \quad (8-2)$$

上述两式中,  $V_t$ 、 $V_a$  分别为限界线以下位于机器处所以前及以后部分的总型容积,  $a_t$ 、 $a_a$  分别为这两部分范围内旅客和船员起居和使用处所的型容积, 单位均为  $m^3$ 。

对于救生设备符合《海船救生设备规范》要求的短程国际航行和国内航行的客船,  $\mu_t$  和  $\mu_a$  的计算, 规范另有规定。

如经验船部门同意也可采用详细计算法求得上述处所的平均渗透率。计算时对不同处所的渗透率可按下表选取。

表8-1 各种用途处所的渗透率(%)

货物、煤或物料储藏专用处所	60
起居设备专用处所	95
机器占用处所	85
供装载液体的处所	0或95*

\*视何者导致较严重的后果而定。

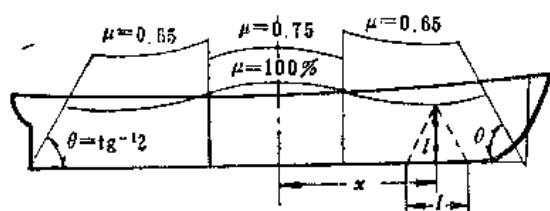


图8-2 可浸水度曲线

## 3. 许可舱长

在限界线和渗透率确定后, 通过计算就可绘出可渗长度曲线(图8-2)。但由于船长和船舶的营运特点不同, 因而对分舱的要求也不应相同。为此, 规范针对不同情况规定了分舱时任一舱室所允许的最大长度——许可舱长, 并有

许可舱长 = 可浸长度 × 分舱因数  $F$

其中分舱因数  $F$  是一个等于或小于 1.0 的系数,  $F$  越小则船的安全程度越高, 当

- $0.5 < F \leq 1$  称为一舱制船;
- $0.33 < F \leq 0.5$  称为二舱制船;
- $0.25 < F \leq 0.33$  称为三舱制船。

## ①业务衡准数 $C_s$

分舱因数  $F$  体现了对船舶分舱要求上的不同, 其数值取决于船长  $L$  和船舶的业务性质, 而后船舶的业务性质是用业务衡准数  $C_s$  来衡量的。随着旅客人数和每名旅客所占空间大小以及旅客舱室在限界线以上和以下两部分的分布情况的不同, 业务衡准数  $C_s$  有不同的计算方法。其计算公式如下:

$$\left. \begin{array}{l} \text{在 } p_1 > p \text{ 时 } C_s = 72 \frac{M + 2p_1}{V + p_1 - p}, \\ \text{在 } p_1 \leq p \text{ 时 } C_s = 72 \frac{M + 2p}{V}, \end{array} \right\} \quad (8-3)$$

式中,  $M$ ——机器处所的类型容积, 加上机器处所以前或以后位于内底以上的任何固定煤舱的类型容积,  $\text{m}^3$ ;

$v$ 、 $p$ ——分别为限界以下的船舶总类型容积, 及旅客、船员起居和使用处所的总类型容积, 单位均为  $\text{m}^3$ ;

$p_1$ —— $0.056LN$ ,  $N$ 为载客人数。

当  $0.056LN > p + p'$  时,  $p_1$  应取  $p + p'$  或  $\frac{2}{3} \times 0.056LN$  中的大者。

$p'$  为限界以上实际旅客起居和使用处所的总类型容积,  $\text{m}^3$ 。

## ②分舱因数 $F$

当业务衡准数  $C_s$  确定以后, 客船首尖舱以后部分的分舱因数  $F$  按下列规定选取。

当船长  $L \geq 131\text{m}$  时

$$\left. \begin{array}{l} \text{若 } C_s \leq 23 \text{ 时, } F = A = \frac{58.2}{L - 60} + 0.18, \\ \text{若 } C_s \geq 123 \text{ 时, } F = B = \frac{30.3}{L - 42} + 0.18, \\ \text{若 } 23 < C_s < 123 \text{ 时, } F = A - \frac{(A - B)(C_s - 23)}{100}, \end{array} \right\} \quad (8-4)$$

式中, 因数  $A$  适用于以运货为主的船舶, 因数  $B$  适用于以载客为主的船舶。

但如  $C_s \geq 45$ , 而  $0.5 < F \leq 0.65$  时, 取  $F = 0.5$ 。

如算得的  $F < 0.4$ , 使机舱分舱有困难时, 经同意可采用较大的  $F$  值, 但不得大于  $0.4$ 。

当  $79\text{m} \leq L < 131\text{m}$  时

先按下式算得参数  $S$ ,

$$S = \frac{3574 - 25L}{13}. \quad (8-5)$$

在  $C_s = S$  时,  $F = 1$ ;

$$\left. \begin{array}{l} \text{若 } C_s \geq 123 \text{ 时, } F = B = \frac{30.3}{L - 42} + 0.18, \\ S < C_s < 123 \text{ 时, } F = 1 - \frac{(1 - B)(C_s - S)}{123 - S}, \\ C_s < S \text{ 时, } F = 1 \text{ (如有困难, 对个别舱可放宽)}. \end{array} \right\} \quad (8-6)$$

当  $L < 79\text{m}$  时

$F = 1$  (如有困难, 可放宽)。

当载客人数在 12 人以上、不超过  $L^2/650$  或 50 人中的小者时

不论  $L$  多大,  $F = 1$  (如有困难, 可放宽)。

从上述规定可知, 当  $C_s$  一定时,  $F$  随着  $L$  的增加而减小, 这意味着船越大, 对分舱的要

求就越高；而在 $L$ 一定时，随 $C_d$ 的增大， $F$ 将减小，这意味着旅客人数越多，限界以下部分载客人数越多，对船的安全性要求也就越高。

应该指出的是，从事短程国际航行和国内航行的客船，如救生设备符合《海船救生设备规范》的相应要求，则分舱因数 $F$ 的计算，规范另有规定。

#### 4. 分舱检验

在通过计算得到可浸长度曲线和分舱因数以后，即应结合所绘制的总布置图进行分舱检验：不仅要求各水密舱的长度不可超过许可舱长，而且还要满足规范中对分舱所作的一些特别规定，如前面所述的采用阶梯形限界线的船舶，相邻两舱的总长不能超过按低的限界线所得的许可舱长的两倍；对 $L \geq 100\text{m}$ 的船，首尖舱以后的第一个水密横舱壁距首垂线应不大于许可舱长；若相邻的两水密主横舱壁的距离小于 $3.0\text{m} + 0.03L$ 或 $11.0\text{m}$ 中之小者，则只能把两个舱壁之一视为主横舱壁。

### 三、对破舱稳性的规定

规范对船舶分舱的规定只能说明船舶在一舱或数舱破损浸水后，破舱水线不致超过限界线，破损船舶仍具有一定的浮性飘浮于水面，但这并不能保证船在这种情况下仍然具有必要的稳性，因此还必须根据规范对破舱稳性的要求进行核算。

#### 1. 主要要求

要使船舶具有必要的破舱稳性，其前提是要求船舶必须具有足够的完整稳性（即破舱前稳性），因此规范首先要求船舶在所有营运状态下均应具有足够的完整稳性，足以支持一舱制船在一个主舱浸水，二舱制船在任意相邻两主舱浸水，三舱制船在任意相邻三主舱浸水后仍能处于规范所允许的下述最终状态：

对称浸水情况下，用固定排水量法求得的剩余初稳心高 $\bar{GM}$ ，必须为正值，且不小于 $0.05\text{m}$ ；

因不对称浸水引起的总横倾角，经采取平衡措施后不得超过 $7^\circ$ ，特殊情况下，经验船部门同意，由不对称力矩产生的横倾角可超过 $7^\circ$ ，但在任何情况下，最终横倾角不应超过 $15^\circ$ ；

在任何情况下，船舶浸水的终了阶段不得淹没限界线。

#### 2. 计算前提

在进行破舱稳性核算时，应先研究与计算密切有关的三个问题，即破损范围的选取，核算破舱稳性的载况选取，以及淹水舱的选取。

##### ① 破损范围的选取。

破损范围对破舱稳性有重要的影响，规范采用下列假定数值进行计算：在船长方向，对一、二舱制船取 $3.0\text{m} + 0.03L$ 或 $11.0\text{m}$ 中的较小者；对三舱制船，破损范围可以增加，使能包括任意相邻两个水密横舱壁在内；船宽方向，在最深分舱载重线水平面上，由船内舷侧向船体中线垂直量取 $1/5$ 船宽的距离；垂直方向则自基线向上不受限制。同时，规范也要求考虑任何破损范围虽小于上述假定数值，但由此引起的横倾或初稳心高的损失却更为严重的破损情况。

##### ② 核算载况的选取。

规范规定应以船舶稳性假定处于能预计到的最恶劣的营运状态，即完整稳性最差的载况为准。通常货船取满载到港、客船取满客无货到港（只剩下少量油水，且未加压载水）时进行

破舱稳性的核算。

### ③淹水舱的选取。

船舶主体内部舱室众多,各个舱室破损浸水后对船的浮态和稳性的影响不会相同,因此计算时应选取使船破损后的浮态和稳性出现最不利情况的淹水舱。下面分别就对称浸水和不对称浸水两种情况加以阐述。

**对称浸水情况** 应按水线面惯性矩损失最大、并使浸水后的浮心升高最小,也即初稳心高损失最大(用固定排水量法计算)的条件来选取淹水舱。通常为破在内底以上(这使浮心升高最小)的长而宽的舱如机舱,或破在水线以下、平台以上的长客舱。

**不对称浸水情况** 除按水线面惯性矩损失最大、浸水后的浮心升高小的条件以外,重要的是还应按浸水后造成的横倾最大和残余干舷最小来选取淹水舱。通常以船中部的舱顶高出水线的边舱(图8-3a)最为不利(横倾最大),但也可能为几个舱,如图8-3b中为两个舱,将造成残余干舷最小的不利情况。并注意在不对称浸水情况下双层底计入破损状态比不计入将造成更为不利的横倾,这与对称浸水情况正好相反。

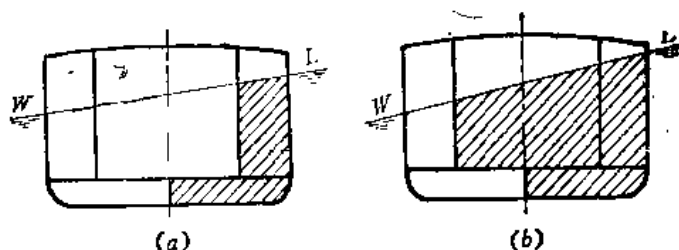


图8-3 不对称浸水时淹水舱的选取

以上介绍了规范有关破舱稳性规定的主要内容。在具体计算时,先对总布置图和各种载况稳性的计算结果进行分析,选取初稳性最差的载况作为核算载况,然后,根据对破舱后浮态和稳性最不利的条件选取淹水舱,并假定多种破损情况,用固定排水量法或增加重量法计算船舱破损浸水后的浮态和稳性。总的说,有关抗沉性计算的工作量是很大的,但现已编有计算机程序,可供使用。

### 四、对开口及其关闭装置等的规定

在破损浸水后船舶虽然能具有一定的浮性和稳性,但由于使用上的要求,在船舶的水密舱壁和船壳板上总会有一些开口。如果这些开口的位置及其关闭装置处理不当,船舶一旦破损浸水也会带来严重的后果,因此规范对限界线以下水密舱壁和船壳板上的开口,限界线以上的水密完整性等方面作出了规定,这涉及到舷窗、舷门、装货门及梯道等的布置和技术要求。此外,规范对船体结构如防撞舱壁和双层底的设置等方面也有规定,这些在船舶设计中均应加以注意。

## §8-3 “客船分舱与稳性的等效规则”简况

国际海事组织在1973年11月通过的“客船分舱与稳性的等效规则”以将近300艘实船的海难资料作破损统计,得出破损长度、破损深度、破损位置的分布函数,求得某一舱或一组舱浸水概率的计算公式,以模型试验及船舶碰撞时的海况报告为基础,得出某一舱或一

舱浸水后, 船舶不致倾覆或沉没的概率的计算公式。

“客舱分舱与稳性等效规则”的主要要求如下所述。

### 1. 要求的分舱指数 $R$

$$R = 1 - \frac{1000}{4L_s + N + 1500}, \quad (8-7)$$

式中,  $N = N_1 + 2N_2$ ;  $N_1$  为船上备有救生艇的人数;  $N_2$  为船舶准予搭载多于  $N_1$  的人数 (包括船员);

$L_s$ ——船舶分舱长度(m), 是船舶在淹没限界 (即舱壁甲板边线) 以下部分的最大型长。

### 2. 达到的分舱指数 $A$

$$A = \sum a \cdot p \cdot s \quad (8-8)$$

式中,  $a$ ——在船舶长度内舱室位置对破损概率的影响;

$p$ ——纵向破损范围变化对所考虑的舱或舱组破损概率的影响;

$s$ ——所考虑的舱或舱组在最终浸水状态时的影响。

等效规则对式(8-3)中的  $a$ 、 $p$  及  $s$  提出了相应的计算公式。

### 3. 要求

①要求  $A \geq R$ 。

②对称浸水的要求。在浸水最终阶段, 用固定排水量法求得的船舶正浮时的  $\overline{GM}$  (m) 应不小于按下列各式算得的最大值:

$$\overline{GM} = 0.003 \frac{B_2 (N_1 + N_2)}{\Delta \cdot F_1},$$

$$\overline{GM} = 0.015 \frac{B_2}{F_1},$$

$$\overline{GM} = 0.05,$$

式中,  $\Delta$ ——未破损情况的排水量(t);

$F_1$ ——有效平均破损干舷(m);

$B_2$ ——舱壁甲板在船长中点处船的最大型宽m。

③不对称浸水的要求。一舱浸水情况的横倾角不得超过  $7^\circ$ , 对两个或两个以上的相邻舱同时浸水时准许的横倾角为  $12^\circ$ 。

由于用等效分舱规则计算抗沉性需求出破舱后的平衡位置, 因此工作十分繁复, 一般须借助电子计算机计算。我国船检部门已有这方面的计算程序。

## §8-4 抗沉性的主要影响因素

### 一、主要要素与抗沉性的关系

船舶的主要要素与抗沉性有着密切的关系, 因此对抗沉性有要求的船舶, 特别是客船在选取其主尺度及船型系数时, 应考虑它们对抗沉性的影响程度。

#### 1. 船长 $L$



船长对抗沉性有着重要的影响,一般说船长的增加对抗沉性是有利的。然而,由于影响船长的因素很多,在设计中通常是从全局考虑,而不从抗沉性角度来选取。

## 2. 船宽 $B$

船宽  $B$  改变时,可浸长度保持不变,但随着  $B$  的增大,初稳心高  $\overline{GM}$  增大。如  $\overline{GM}$  一定时从破舱稳性角度出发,随着  $B$  的增加,破舱稳性的损失也随之增加,因此对  $B$  大的船,破舱稳性要特别注意。

## 3. 型深 $D$

型深决定了储备浮力的大小,因此在主要要素中增加型深  $D$  (吃水不变)是提高船舶抗沉能力最有效的措施。对客船还常从有利于分舱、便于舱室布置的角度来选取  $D$ ,因为足够大的干舷可避免因可浸长度过短带来的不利影响。但也应考虑到  $D$  的过份增加将导致重心高度  $Z_g$  有较大提高,使  $\overline{GM}$  下降,影响破舱稳性的满足。

## 4. 吃水 $T$

当型深一定时,减少吃水可增加储备浮力而有利于抗沉性,但对船舶的其他尺度影响大,因而在设计中并不采取改变吃水的措施。

## 5. 方形系数 $C_b$

方形系数虽然与抗沉性有关(小则有利),但影响不大,而且也不是选取  $C_b$  时所考虑的主要因素。

## 6. 水线面系数 $C_{wp}$

水线面系数增加时,可浸长度增加而破舱稳性损失也增大。

## 7. 舷弧

首尾舷弧与储备浮力密切相关,舷弧增加时首、尾端的可浸长度与破损后的残余干舷增加,因而往往成为提高抗沉性的有力措施。

# 二、总布置对抗沉性的影响

在总布置设计中,水密舱壁及液舱的合理布置对抗沉性有着重要的影响,在设计中应引起重视。

## 1. 水密舱壁的合理布置

用水密舱壁对船舶分舱是从结构上保证抗沉性的主要措施之一。按规范的精神看,水密舱壁布置得越多,船的安全程度越高。实际上这是与破损范围的假定有关,然而在一定条件下反而会使得船舶破损浸水的长度增加。在图 8-4 中,如设两个各长 8 m 的舱室之间设置一个长 5 m 的短舱时,如果破口长度比 16 m 略短,则浸水长度就有可能比增设短舱前要大,从原来的 16 m 或 24 m 增加到 21 m 或 29 m。此例说明,舱壁的数量及合理布置对抗沉性的影响是很大的。但实际划分水密舱时涉及的因素很多,其

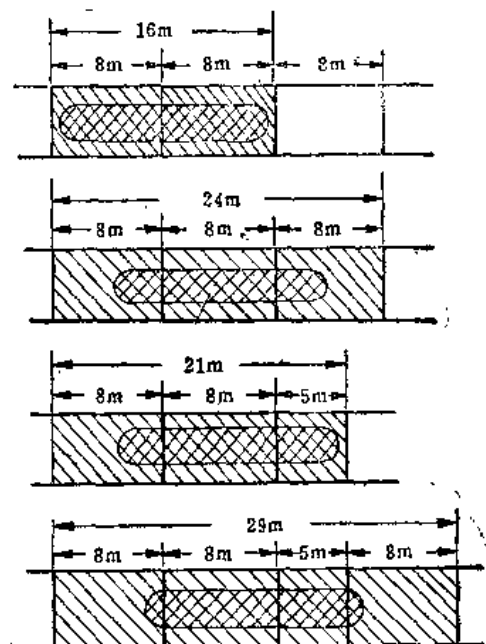


图8-4 几种舱壁分布对浸水长度的影响

中使用上的要求就是分舱时所考虑的主要因素，因此要综合权衡处理。

## 2. 液舱的布置

通常，双层底内多用来布置油水舱，为了减少自由液面影响，常通过水密的中桁材将油、水舱分为左、右各半。但这种布置方式在不对称浸水后将产生较大的横倾力矩，特别是在双层底舱较长时更是如此。因此，如在船体中线两侧各设一道水密旁桁材，根据不同的用途将双层底舱分成左、中、右三个舱，不仅有利于抗沉性，而且油、水舱的布置也合理，因而现代船舶常如此布置。

在布置双层底内的油、水舱时，还应注意在沿船长的对角线方向各舱长度不要相差过大，否则不利于破损后采用“对角扶正灌注”的方法进行横倾的调整。

显然，当船舶设置边舱时，也将会引起不对称浸水情况下很大的横倾力矩。为了满足破舱稳性的要求，可考虑在左、右边舱之间采取设置横贯浸水装置的措施。

## 三、设计中的几点考虑

抗沉性是船舶的一项重要性能，在确定船的主要要素和总布置设计时就应加以考虑，其中有些考虑因素已在前面述及。归纳起来在初始设计时可从以下几方面加以控制：

### 1. $D$ 或 $D/T$

前已述及，型深对船舶的抗沉性有重大影响，因此对有抗沉性要求的船舶，特别是客船在初始设计阶段可参照船长 $L$ 和旅客数相近的型船选取 $D/T$ 值( $D$ 为至分舱甲板型深)，然后结合总布置草图对可浸长度及破舱稳性进行核算。

### 2. $\overline{GM}$

在确定 $\overline{GM}$ 值时就应顾及到破舱稳性的要求。对客船， $\overline{GM}$ 的最低值要考虑到破舱稳性的要求，小型客船常因破舱稳性的要求而使横摇性能大大恶化。为保证必要的破舱稳性，通过增大船宽 $B$ ，而获得足够的 $\overline{GM}$ 值时，应注意 $B$ 不宜过大，否则引起破舱稳性损失的增加，反而不利；最有效的措施是降低重心高度 $Z_g$ 。

### 3. 注意合理布置

在总布置设计中应注意合理分舱，且减少不对称淹水舱的布置。在确定机舱长度(特别是中机型船)时要注意对称浸水后的破舱稳性。为减小破损后水线面惯性矩的损失，有时可将机舱分为主机舱和辅机舱。

## 复 习 思 考 题

1. 什么是船舶抗沉性？船舶破损进水后是否会沉没或倾覆取决于哪些因素？
2. 我国《海船分舱和破舱稳性规范》适用于哪些船舶？规范从抗沉性出发对船舶的要求有哪些方面？
3. 分舱载重线、最深分舱载重线各自的含意是什么？
4. 什么叫舱壁甲板？机器处所指什么？
5. 什么是限界线？
6. 什么是渗透率？规范对渗透率有什么规定？
7. 为什么说分舱因数 $F$ 体现了对船舶抗沉性要求的高低？通常所说的一舱制、二舱制、

### 三舱制是指什么？

8. 客船的分舱因数是如何求取的？设计中如何进行分舱校检？
9. 规范对船舶破舱稳性有哪些规定？核算破舱稳性时对破舱数目、破损范围、核算载况及淹水舱应如何考虑？
10. “客船分舱与稳性的等效规则”有哪些主要要求？
11. 船舶主要要素与抗沉性的关系如何？
12. 划分船主体的水密舱壁时应考虑哪些因素？舱壁越多抗沉性能是否越好？
13. 液体舱布置对抗沉性有何影响？
14. 初始设计阶段对船舶抗沉性问题应考虑哪些问题？

## 第九章 船舶耐波性

船舶耐波性是指船舶在风浪中遭受外力扰动而产生各种摇摆运动以及砰击、上浪、失速、飞车和波浪弯矩等，仍能维持一定航速在水面上安全航行的性能。

有关耐波性的理论、计算、实验等等已在“船舶耐波性”课程中讲授。本章仅结合船舶设计中有关耐波性的一些重要概念与结论，进行归纳提示，以便在设计中更好地分析、考虑。

### §9-1 概 述

耐波性对不同的船舶有不同的要求，对有的船舶(如海洋客船及海洋作业船舶等)要求很高，在设计初始阶段就必须作为一项很重要的性能，给予充分考虑；对有的船舶(如普通货船)要求相对较低，对内河船舶，甚至可以不予考虑。

在一般船舶设计中，通常是首先在满足重量与浮力的平衡、航速与主机功率、稳性与抗沉性、容量与干舷，以及考虑船舶经济性与使用性能的基础上，再根据耐波性对新设计船的重要程度，作为船舶的一项性能进行校核，如有需要时再对全船各方面进行综合分析，权衡处理，以适应耐波性的要求。

船舶耐波性，一般可从适居性、使用性及安全性三个方面加以考虑，亦即：船舶在海上航行，应使船上所有人员能不致因船舶运动过剧而难于忍受；船舶在风浪中航行，船上工作人员不致因运动严重而造成无法工作，以确保船舶安全航行；在风浪中航行，船舶的运动不致影响船上仪器、仪表的正常工作，以保证船舶的顺利操作；在恶劣的气候条件下，不致因船舶的运动造成螺旋桨经常而严重地出水、发生飞车、首部严重砰击、甲板严重淹湿等而不得不过多地人为降速，以免影响船舶的使用与安全。

世界各国均对船舶的安全性十分重视，长时期来，根据实践经验与理论研究，对各类船舶已制订有比较完备的规范、标准、公约等法定文件，以保障船舶的安全使用。但对于民用船舶的耐波性，至今还没有制定出定量的标准与规范。这主要由于影响耐波性的因素复杂，涉及多变的海洋环境，以及船与风浪之间的相互作用，至今还不能说在理论上已经研究得足够充分，而且在船舶的使用过程中，面对多变的海况，涉及到许多人为的因素，特别是涉及到使用的经验与技巧方面的问题，使问题的解决更为复杂。

但是，船舶耐波性作为一项重要的性能，已逐渐引起人们足够的重视。长期的理论研究、模型试验、实船测试等为船舶耐波性学科的发展，提供了丰富的资料与成果。在船舶设计中，运用这些成果能大大提高船舶的适航性能。

船舶在海上航行，由于受到外力的干扰，将产生运动，剧烈的运动给人带来有时是难于忍受的不舒适感，其中运动加速度和横摇影响较大。

#### 1. 运动加速度的影响

人们对加速度特别敏感。根据规则振荡试验得出的综合资料如图 9-1 所示。从图中可

见，振荡周期在3秒到4秒的范围内，人的忍耐力水平最低。而据美国研究表明，对线加速度

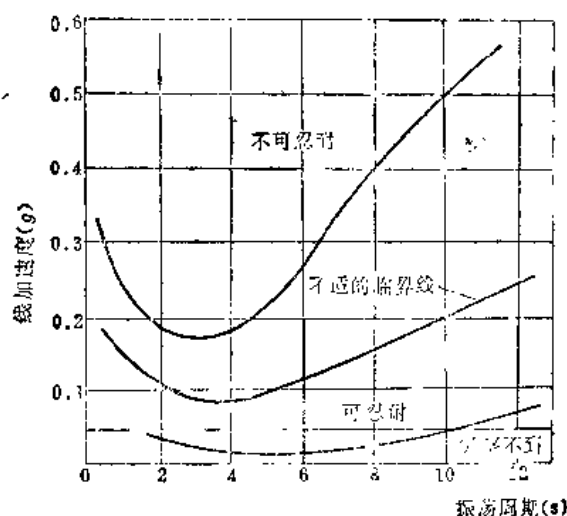


图9-1 人的忍耐力

的影响，人员较低忍耐力的水准是在振荡周期为5秒到6秒之间。当然，还会因人而异。

## 2. 横摇幅度的影响

横摇对人的身体运动能力的影响较大。对不同的横摇摇幅，人的工作能力有三个不同性质的区段：横摇摇幅从 $0^\circ$ 到 $4^\circ$ 的小幅度区域范围内，似乎能提高人的工作效率；从平均横摇 $4^\circ$ 到 $10^\circ$ 这一区段内，人的工作能力有明显下降，从有点疲劳降到需要补充人力才能完成用体力完成的工作任务；在大于 $10^\circ$ 时，人的正常活动，从困难下降到不可能。

## §9-2 横 摇

横摇是指船舶绕纵轴所作周期性的角位移运动。由于横摇复原力矩较小，船在风浪中最容易发生横摇，且摇幅较大，因此对船舶的航行性能影响也较大。

### 一、横摇的影响因素与减摇措施

#### 1. 初稳性对横摇的影响

船舶的横摇固有周期或称自摇周期 $T_\phi$ 的近似估算式，参阅式(7-1)及(7-2)。

横摇固有周期是船舶横摇的重要参数之一，对耐波性有较大的影响。船的固有周期随船的类型、大小和不同装载情况而不同，表9-1给出一般的范围。

表9-1

船 舶 类 型	$T_\phi$ (s)	船 舶 类 型	$T_\phi$ (s)
货 船	7~12	巡 洋 舰	13~15
客 船	10~15	驱 逐 舰	10~12
破 冰 船	6~10	护 卫 艇	7~9
拖 网 渔 船	6~8	巡 逻 艇	4~6

如设波长为 $\lambda$ , 则波浪周期 $T_w \approx 0.8\sqrt{\lambda}$ , 当船舶的航向与波浪前进的方向夹角为 $\beta$ , 航速为 $v$ 时, 遭遇周期 $T_e$ 为:

$$T_e = \frac{\lambda}{c_w - v \cos \beta}; \quad (9-1)$$

式中:  $C_w$ ——波速。

当 $\beta$ 为 $90^\circ$ (即横浪)时 $T_e = T_w$ , 调谐因素 $A$ 为:

$$A = \frac{T_e}{T_s} = \frac{T_w}{T_s}. \quad (9-2)$$

$A$ 与 $\phi_s/\alpha_m$ 的关系如图9-2所示。图中 $\phi_s$ 为横摇幅值,  $\alpha_m$ 为最大波倾角, 有时 $\phi_s/\alpha_m$ 称为放大因数,  $\mu$ 为无因次横摇阻尼系数。从图中可见, 当 $T_e$ (或 $T_w$ )等于或接近 $T_s$ 时发生谐振, 此时对船的安全及旅客舒适极为不利, 在设计时必须注意避免。

从图中也可看出, 在 $0.7 < A < 1.3$ 范围内为谐振区, 即此区内摇幅比较大, 设计船舶应尽量避免这一区域。例如大西洋风暴波浪的波长约为152~183m, 相应的周期为10s~11s, 如船的固有周期 $T_s$ 大于13~14s, 就将能避开谐振区。我国沿海波浪的波长在60~70m, 相应的周期为6.0~7.0s, 如船的固有周期大于8~9秒就可避免严重的谐振。

由式(7-1)或(7-2)可见, 增大 $T_s$ 值必须使 $\overline{GM}$ 下降, 或 $B$ 增大。为保证船有足够稳性的要求,  $\overline{GM}$ 值不能太小, 而且大船的要求并不一定比小船高, 同时大船的 $B$ 要大得多。所以在具体设计中大船的 $T_s$ 值往往易于符合要求, 而对小船来说要提高 $T_s$ 有时却难于做到。例如小型渔船要做到 $T_s > 8$ 秒常常是很困难的。

因此在设计中, 为顾及耐波性的要求, 船舶的 $\overline{GM}$ 值应在满足稳性要求时尽可能取得小些。

据式(9-1), 如在实际船舶操作中, 遇到危险情况, 还可改变航向及航速来避开谐振区域。

## 2. 船宽 $B$ 、吃水 $T$ 及垂向棱形系数 $C_{vp}$ 的影响

因为波浪扰动力矩正比于有效波倾角 $\alpha_0$ , 而 $\alpha_0 = \alpha_m \cdot k_T \cdot k_B$ ,  $k_T$ 为 $T$ 及 $C_{vp}$ 影响的修正系数;  $k_B$ 为 $B$ 影响的修正系数。修正系数 $k_T$ 如图9-3所示,  $k_B$ 由式(9-3)确定。

$$k_B = 1 - \sqrt{C_{vp}} \left( \frac{B}{\lambda} \right)^2, \quad (9-3)$$

式中:  $C_{vp}$ 为水线面系数。

从图9-4及式(9-3)可见, 随着 $C_{vp}$ 、 $T/\lambda$ 、 $B/\lambda$ 的增加, 修正系数 $k_T$ 及 $k_B$ 将减小, 因而波浪的扰动力矩亦将减小, 从而可减小船舶摇摆的摆幅。但应注意,  $B$ 的增大虽有利于扰动力

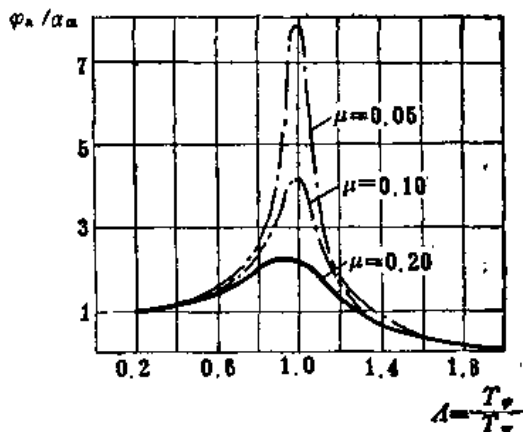


图9-2 横摇幅值响应曲线

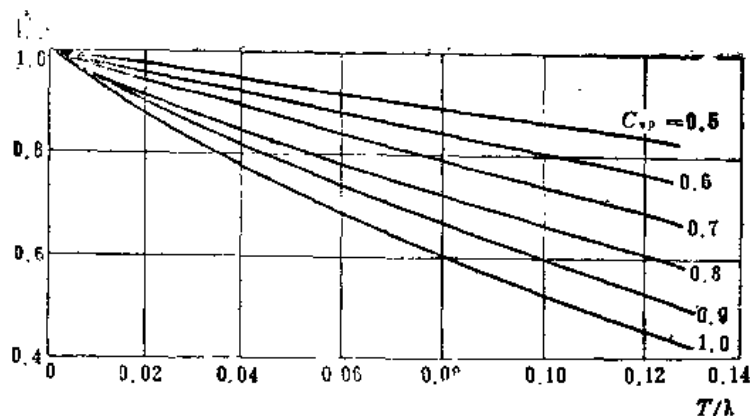


图9-3  $b_T$ 系数

矩之减小, 但  $B$  的增大将导致  $\overline{GM}$  的提高, 从而使横摇周期减小而摇摆加大。

### 3. 横剖面形状及附体对横摇阻尼的影响

从实验结果可知, 船舶的横摇阻尼随方形系数  $C_b$  及中剖面系数  $C_m$  的增大而增大。但在一般设计中,  $C_b$  的合适数值常是根据快速性结合考虑经济性而加以确定的。因此就改善横摇性能来说, 通常采取的方法是  $C_b$  不变而加大  $C_m$ 。

船舶横剖面的艏部愈尖, 则横摇阻尼愈大, 在一定的  $C_m$  值时, 通常把艏部升高加大而使艏部半径减小。但应注意, 过份尖的艏部会使船舶的横摇不均匀。

船宽  $B$  增大, 从横摇阻尼来看有利, 但  $B$  的确定常不从这方面来入手的。

附体如竖龙骨、舭龙骨、呆木等的存在都会增加横摇阻尼。

双螺旋桨及附加的轴、轴包架(或轴支架)都有增加横摇阻尼的作用。

### 4. 减摇装置

为了克服船舶在海上的剧烈运动, 已研究出种种以减小横摇为主的减摇装置, 有的装置能成功地减少剧烈的横摇运动(如主动式减摇鳍)。目前得到实用的减摇装置主要有:

重力式减摇装置——如  $U$  型、平面-槽型及可控被动式减摇水舱等等;

流体动力式减摇装置——如舭龙骨、主动式减摇鳍等等。

其中舭龙骨由于结构简单且经济、有效, 因而在海船上得到普遍运用。舭龙骨顺着流线安装在船的舭部, 其长度约为船长的 25~75%, 其宽度根据船的类型取为 0.3~1.2m 之间, 並应使其不超过船底及船侧为限, 最好考虑自舷侧向里缩进  $5^\circ$  或  $10^\circ$  的范围内, 以便舭龙骨在使用中(如船靠船或靠码头时)不致碰坏。

由于受经济性的影响, 除对耐波性要求特别高的船(如海洋客船及军舰等)外, 一般不装主动式减摇鳍。

## 二、横摇幅值的衡准

关于船舶在波浪中的运动幅值的标准, 不少学者进行过研究, 但迄今未有公认的统一标准。如下几种建议仅供参考。

1. 为使救生艇和工作艇在风浪情况下能顺利下放到水面, 通常要求横摇幅值不超过  $15^\circ$ 。

2. 从对船上人员的身体活动能力的影响来看, 横摇幅值不应超过  $10^\circ$ , 相应的横摇周期

应大于5~6s。

3. 为保证拖网渔船能正常工作, 横摇幅值应不超过 $10^{\circ}$ 。

4. 为保证直升飞机安全地起飞和降落, 应使横摇幅值小于 $3^{\circ}$ 。

### §9-3 纵摇与垂荡

#### 一、纵摇

纵摇是指船舶绕横轴所作的周期性角位移运动。船舶在波浪中航行时, 纵摇常和垂荡同时发生, 对船舶的航行性能影响较大。

##### 1. 纵摇周期的影响

剧烈的纵摇通常发生在波长等于船长的迎浪航行中。减小纵摇可从船舶的主尺度、型线设计、营运中配载及驾驶技术等方面采取措施。

纵摇固有周期 $T_{\theta}$ , 不象求横摇固有周期那样简单、准确。如采用横摇固有周期公式的形式, 即:

$$T_{\theta} \approx 2\pi \sqrt{\frac{I_y + I_{y_0}}{\nabla \cdot GM_1}} \quad (9-4)$$

式中:  $\nabla$  — 排水体积;  $GM_1$  — 纵稳心高。

如设纵摇的附加水质量惯性矩 $I_{y_0}$ 与船本身的质量惯性矩 $I_y$ 大体相等, 并用近似公式求出,  $GM_1$ 也用近似公式, 则经整理后可得

$$T_{\theta} \approx 2.8 \sqrt{\frac{C_b}{C_{wp}}} \cdot T_{\phi} \quad (9-5)$$

一般船的纵摇固有周期通常在横摇固有周期的 $1/3 \sim 2/3$ 之间。显然远小于横摇周期。

如图9-4所示, 纵摇幅度与调谐因数 $A$ 及波长船长比 $\lambda/L$ 有密切关系。通常 $\lambda/L \leq 0.75$ 时, 运动幅度不会很大, 且最大纵摇角发生在 $\lambda/L = 1.0 \sim 1.5$ 范围内。

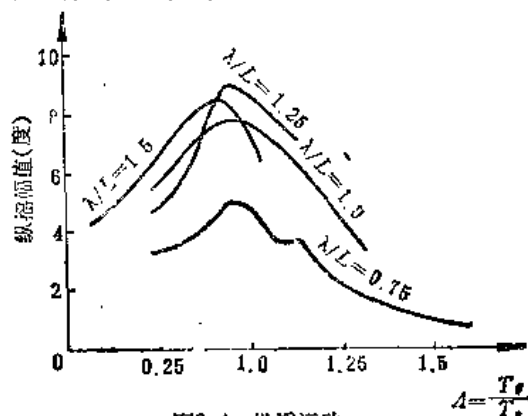


图9-4 纵摇运动

最大纵摇一般发生在 $A = 0.75 \sim 1.25$ 范围内, 尤其以 $A = 1.0$ 左右纵摇最为严重。

由于船长根据其他因素的要求确定后, 可调整的幅度不会太大, 所以为调节 $\lambda/L$ 值而改变船长, 从总体设计角度既不可取, 也不可能。从调谐因数 $A$ 来看, 要越出 $A = 0.75 \sim 1.25$ 的范围, 最主要的是调节遭遇周期 $T_0$ 。降低航速或改变航向, 可改变 $T_0$ , 使 $A$ 不在谐摇范围内。这是使用船舶时的操纵问题。



## 2. 船体尺度、型线等的影响

增大 $L$ 、 $B$ 及 $T$ ，一般对纵摇有利。球首对纵摇有减摇作用，作用的大小取决于球首的大小及形状。

船体线型的一般修改，通常对减小纵摇谐摇现象的作用是很小的，但对改进纵摇性能有一定作用，如型线用中 $V$ 型剖面(对应于 $C_{wp}/C_b$ 较大)，对减小纵摇幅度有利。

浮心位置后移，一般对纵摇稍有不利用。

重量分布，由式(9-5)可见，重量集中于船中部，则船的质量惯性矩小，因而 $T_z$ 也小；反之则大。所以为了提高纵摇固有周期 $T_z$ ，重量在全船的分布宜均匀些。

## 3. 纵摇减摇装置

可以说至今对纵摇减摇装置，还没有十分满意的方式，这是由于减摇装置自受力大，存在严重的结构强度问题，且容易发生振动，因此实用的很少。图9-5是一种减摇装置的示意图。

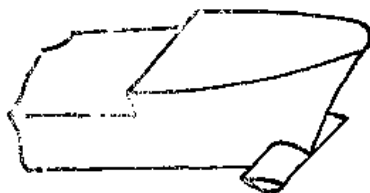


图9-5 纵摇减摇装置示意图

从以上分析可见，在设计中，如任务书已定，能改善纵摇性能的实际有效措施并不很多，如采用 $V$ 型剖面，重量的合适分布或船长的少量增加，只能在较小的程度上有所改进。如在任务书制定前，分析研究一定航线上合适的船型时，可考虑新船的船长 $L$ 取得更合乎该航线的风浪情况。例如我国沿海常见大波浪的波长 $\lambda = 60 \sim 70\text{m}$ 之间，如果船长能考虑在 $100\text{m}$ 以上，使 $\lambda/L \leq 0.75$ ，可望获得好的纵摇性能。

## 二、垂荡(即升沉)

垂荡是指船舶沿垂向轴所作的周期性上下平移运动。通常由波浪经过船体时，使浮力发生周期性变化而引起的。

### 1. 垂荡周期的影响

垂荡固有周期的近似式为：

$$T_z = 2\pi \sqrt{\frac{Z \cdot \nabla}{g \cdot A}} \approx 2.8 \sqrt{\frac{C_b}{C_{wp}}} \cdot T_z \quad (9-6)$$

式中： $\nabla$ ——排水体积( $\text{m}^3$ )；

$g$ ——重力加速度( $\text{m/s}^2$ )；

$A$ ——水线面面积( $\text{m}^2$ )；

$Z$ ——计及附加质量的系数，满载时取2。

从式(9-5)与式(9-6)相比可见，纵摇与垂荡的固有周期的近似式是相同的，即它们的周期很接近，大体都是横摇固有周期的 $1/3 \sim 2/3$ 之间。因此有可能同时产生纵摇和垂荡谐摇。

垂荡与纵摇有十分相似的结论，即 $\lambda/L \leq 0.75$ ，垂荡运动较小， $\lambda = 0.75 \sim 1.25$ 范围内，垂荡的幅值较大，尤其在1.0附近最为严重。

避开垂荡谐荡区域最有效的措施是改变船的航速与航向。

## 2. 其他影响

当排水量不变时, 水线面面积  $A_w$  增大, 即  $C_{wp}$  增大, 相当于横剖面取  $V$  型, 一般可使垂荡幅值减小; 增大  $L/V^{1/3}$  对垂荡一般稍有利; 浮心后移对垂荡稍有利。

从上述分析可见, 在船舶设计中, 要想通过船体主尺度及线型的改变, 来有效地减小垂荡运动, 事实上是比较困难的。

## 三、纵摇与垂荡的衡准

对纵摇与垂荡的衡准, 不少研究者从不同角度提出了如下的一些建议值:

1. 考虑到甲板上浪、船首砰击和螺旋桨空转等现象而迫使降低主机功率, 减低航速的极限纵摇幅值为  $3.6^\circ$ ;

2. 从保证直升飞机安全起降的要求, 允许的纵摇幅值是  $5^\circ$ ;

3. 通常要求救生艇或工作艇能安全地施放至水面, 船的纵摇幅度不大于  $7^\circ$ ;

4. 船舶纵摇和垂荡耦合运动造成螺旋桨直径的  $1/3$  出水, 作为螺旋桨空转的临界值;

5. 船舶迎浪航行时, 以首垂线后  $0.0375L$  处的加速度为  $0.81g$  作为临界值;

6. 根据船舶摇摆运动加速度与人员晕船的关系, 用所谓摇摆运动的力度来衡准, 即

$$\text{摇摆运动的力度} = Z_a \cdot f_e$$

式中:  $Z_a$  — 垂荡加速度的幅值 ( $m/s^2$ );

$f_e$  — 船与波的遭遇频率 ( $H_z$ )。

如  $Z_a \cdot f_e < 1.0 (m/s^2 \cdot H_z)$ , 一般人就会晕船。显然, 这是根据实测得到的结果。

## §9-4 甲板淹湿性与失速

### 一、甲板淹湿性

甲板淹湿性是指当船舶在波浪中的纵摇和垂荡异常激烈时, 在船首柱处, 船与波浪相对运动的幅值大于船首柱处的干舷, 波浪涌上甲板的现象。海水冲上甲板, 易使船体部分损伤, 甚至人员受害, 甲板上的设备及仪器等冲坏。甲板淹湿性的严重程度, 取决于波浪的大小与船在波浪中的运动。

对甲板淹湿性可作如下几点归纳:

#### 1. 甲板淹湿性的影响因素

如图9-6所示, 当船首干舷一定时, 甲板淹湿概率随船长的增加而减小, 随航速的增加,

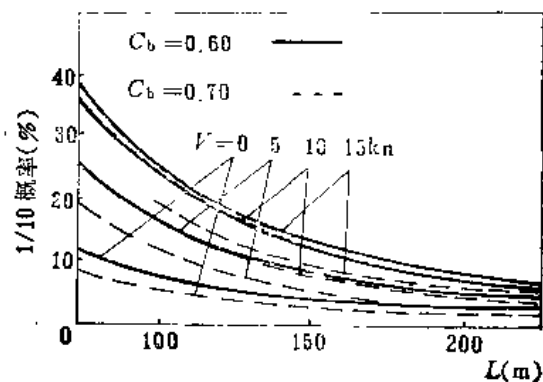


图9-6 甲板淹湿概率

而增加，随方形系数 $C_b$ 的增大而减小。

## 2. 干舷的建议值

为了减少甲板淹湿，对 $F/L$ (干舷船长比)值提出如下一些最小建议值。

①首柱处水线到首楼甲板的距离不应小于如图9-7所示的数值。

②有人建议 $F_n$ 在0.252~0.36范围内的船，取：

$$\frac{F}{L_{pp}} \geq 0.01[7 + 84.5(F_n - 0.252)]。 \quad (9-7)$$

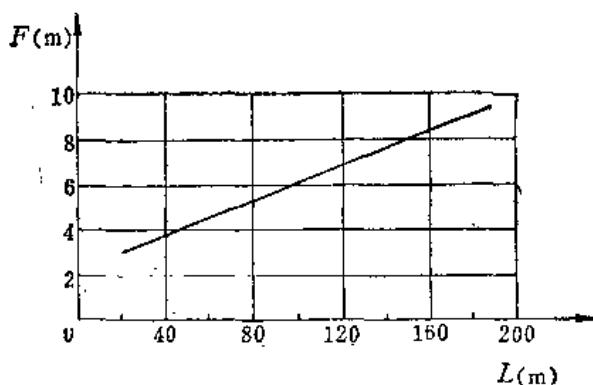


图9-7  $L$ - $F$ 关系

此式考虑到首部兴波对甲板不淹湿的影响。

③根据商船在海上航行时甲板淹湿的实际情况，经过分析，给出了干舷高度随船长而变化的临界值，如图9-8所示。图中干舷是指在首柱后15% $L$ 处的数值。

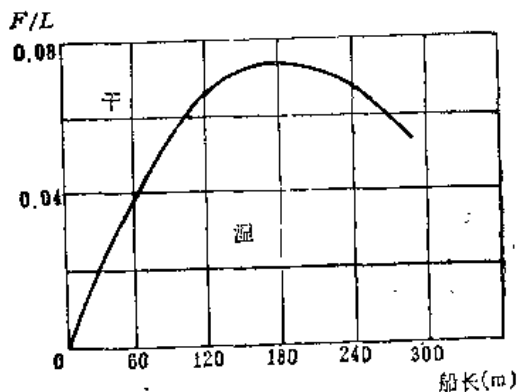


图9-8

## 二、失 速

风浪失速是指船舶在海上航行，由于受风和浪的扰动，航行的速度较静水条件时的减小量，这种速度损失有时是相当大的。如图9-9所示，该图是实船在风暴海洋中失速资料的统计结果。从图中可见，为了避免发生“严重的运动”及甲板上浪等，航速都降到调谐因素 $A=1.0$ 曲线以下。

图9-10为“Lubumbashi”号商船在恶劣气候下不同航向(I、II、III、IV)进行实船测试得到的失速结果。从图中可见，在蒲氏风6级时，迎浪航行失速达16%。

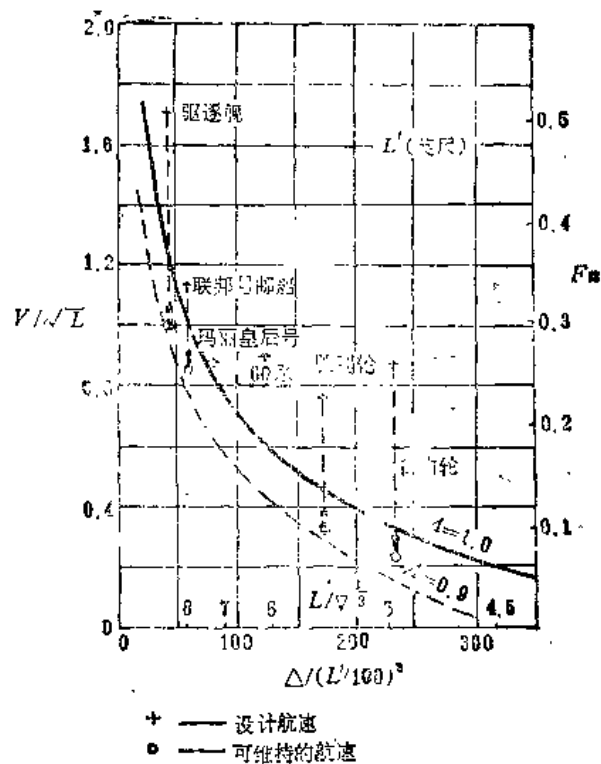


图9-9 迎浪航行时的失速

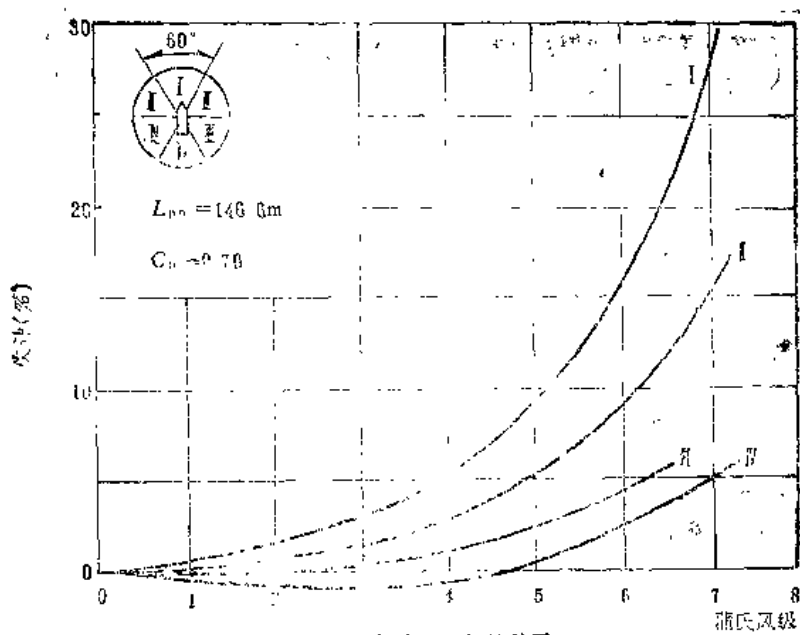


图9-10 失速与风级的关系

船舶在风浪中的失速通常可以分成二类，即自然减速及主动减速。

#### 1. 自然减速

自然减速是指推进动力装置的功率测定后，船在风浪中航行时，由于船的摇摆等运动引起的阻力增加、风引起的附加阻力和推进效率降低等所造成的减速。

摇摆运动引起的水阻力增加 船在海上航行由于纵摇和垂荡运动所引起的阻力增加，有

如下一般性的结论：波浪中的阻力增值与波高的平方成正比，而与船的静水阻力无关；波浪中的阻力增值主要取决于船的纵摇、垂荡运动及其与波浪的相位关系；波浪中阻力的增加与波长船长比  $\lambda/L$  关系很大，特别是当  $\lambda/L > 0.75$  时的影响更为严重。如图9-11所示，该图为理论计算结果，虽与实际有一定出入，但能反映一般规律。

此外，为了船在风浪中保持航向，频繁及大角度地操舵，也会产生附加的水阻力；首尾摇荡也会引起相当大的阻力。

**风阻力** 风对船体水线以上部分所形成的阻力。当风速较大且船在逆风航行时，风阻力在总的阻力增加中占有不可忽视的比例。据统计，定期货船在4级风时，风和浪造成的船舶功率增额中，将各占50%，随风级的增加，浪所引起的功率增值显著增大，但风阻力仍有相当比例。如7级风时，风与浪各占阻力增值总额中的20%和80%。

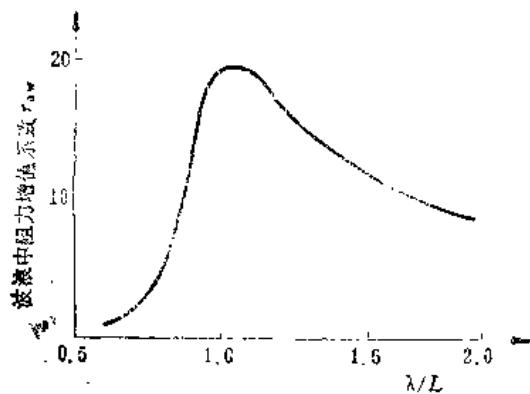


图9-11 阻力增值与 $\lambda/L$ 关系

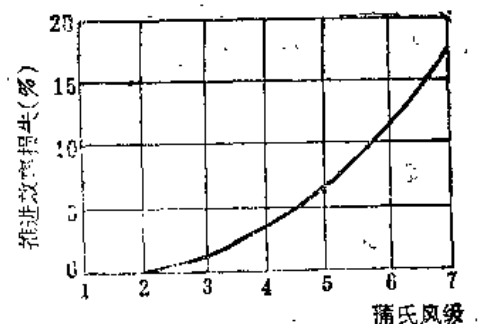


图9-12 迎浪时推进效率的损失与风浪的关系

在设计中，减少风阻力的影响，只有从适当控制上层建筑的大小来加以考虑。一般说，仅从失速角度而要求压缩上层建筑的可能性及能调节的余地是很小的。

**推进效率的降低** 风浪作用和船的运动影响了船在波浪中的推进效率。效率降低的原因是风和波浪的阻力增值使螺旋桨载荷增大所造成；同时在恶劣气候下，螺旋桨出水使有效桨叶面积减小和空泡、吸气的发生都使螺旋桨的效率降低。图9-12为迎浪时推进效率的损失与风浪的关系。从图中可见，在较大风浪时损失是相当大的。

在船舶设计中，通过改变主要要素来改善在风浪中船的失速，需要进行综合考虑。

例如，增大船长一般在中等风浪以下收益不大，只在严重海况下在航速上有收益。但这种海况的概率毕竟很小，且造价将随船长的增加而增大。因此，从总体上来权衡利弊，用增加船长来改善船在风浪中的失速就不一定可取。

## 2. 主动减速

在恶劣的气候条件下，船舶不仅会因为激烈运动使阻力与推进性能变坏而造成很大的失速，还会因为出现甲板严重上浪、砰击及螺旋桨飞车（一般认为螺旋桨的1/3直径以上出水）等现象时，被迫人为地降低其航速，即主动减速，或改变航向，这时驾驶人员将限制船的航速并使船的航行距离增加。

对一般船舶而言，满载时甲板的淹湿是降低船舶航速的主要原因。在中等装载条件下，螺旋桨的飞车及甲板淹湿可以是降低速度的原因。在压载时大的干舷可改善甲板的淹湿性，但螺旋桨飞车及严重的砰击对船体结构造成的危险也将被迫减速。

所以在设计中，除了改善船舶的运动性能外，通常在满载时考虑有充分的干舷，在空载时保持有必要的首、尾吃水以减少船在波浪中的失速。对首吃水，我国《钢质海船入级与建造规范》(1983)规定，凡在航行中首吃水小于 $0.04L$ 的船舶，离首垂线 $0.05L$ 之后的船底骨架应于加强。通常压载时的首吃水的范围为 $0.025\sim 0.04L$ 。对尾吃水，习惯上常要求至少为螺旋桨直径的 $70\sim 80\%$ 。增大空载吃水，对航行性能有好处，但需要增加压载水量。

根据统计，各种航速降低的原因及其发生的频率，如图9-13所示。因在大多数情况下减速的原因是综合的，所以图中百分数的总和大于 $100\%$ 。

综上所述，显然不同的主尺度及船型在对纵摇及垂荡，以及失速等等方面各有所侧重，这就需要根据具体情况进行考虑。例如，对大型船舶，船的尺度越大，出现 $\lambda/L > 1.0$ 的概率就越小，因此对这类船应注重于减小船在风浪中的阻力增加方面。对中小型船舶，相当于 $\lambda/L$ 较大，则注重于船的运动方面，这样不仅有助于减缓船舶因剧烈运动而造成的首底拍击。

运动加速度、甲板上浪等的一些情况，还有助

于减小船的被迫降速的幅度。因此从耐波性考虑，对中小型船舶适当增大船长，一般说是有利的。

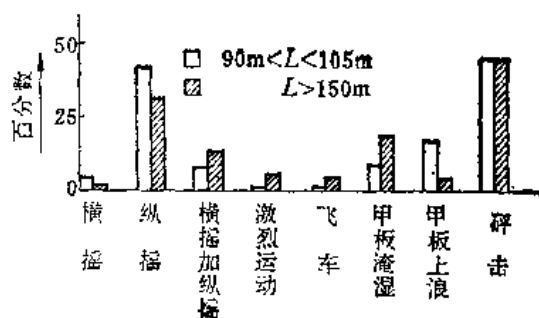


图9-13 失速原因其发生的频率

## 复习思考题

1. 什么是船舶耐波性？设计中对耐波性通常是从哪几方面进行考虑的？
2. 船舶横摇性能与哪些因素有关？设计中应如何考虑与控制？
3. 船舶横摇幅值衡准是考虑哪些因素而提出来的？
4. 影响船舶纵摇与垂荡的因素有哪些？设计中如何加以考虑？
5. 目前提出的纵摇与垂荡衡准包含哪些方面的因素？
6. 什么是甲板淹湿性？它与哪些因素有关？设计中应如何加以考虑？
7. 自然失速与被迫减速有什么不同？设计中应如何减少般船在波浪中失速？

# 第十章 船舶操纵性

本章扼要介绍操纵性的主要装置——舵，以及船舶尺度、系数等对操纵性的影响，以便在初步设计中对操纵性有一定的考虑。

## §10-1 概 述

### 一、船舶操纵性

船舶操纵性是指船舶能保持或改变航向、航速、位置的性能，即船舶按驾驶员的指令要求改变或保持其运动状态的性能。

根据船舶运动的特点，操纵性可分为下述三方面的内容：

#### 1. 航向稳定性

航向稳定性是指船舶能自动保持初始航向的性能，包括动态稳定性和静态稳定性。

**动态稳定性** 船舶在外力干扰作用下，偏离了原运动状态(匀速直线运动或定常回转运动)，当外干扰消失后，不加任何控制，船能回复到原运动状态，便称为具有动态稳定性。如原运动状态是直线匀速运动，外干扰消除后，仍能自动恢复到直线运动，称直线稳定性；如果恢复后的直线运动与原直线运动航向一致，称方向稳定性或航向稳定性；如果恢复后的运动与原直线运动在同一航线上，称位置稳定性。上述三种稳定性表示于图10-1。一般水面船舶不具备方向及位置稳定性。通常说航向稳定的船是指具有直线稳定性的船。显然，受到外干扰后，船不能维持在原方向上。

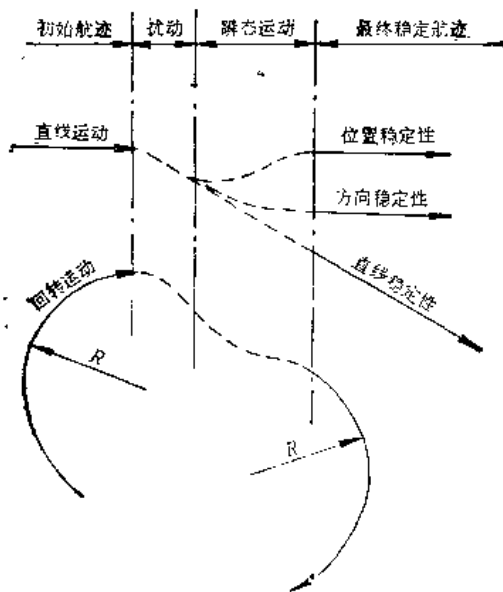


图10-1 各种稳定性图示

**静态稳定性** 又称风标稳定性。当外干扰一旦消除,船具有恢复原运动状态的趋势。例如在阵风作用下,船舶运动发生偏航,一旦阵风停止,船的偏航有减小的趋势,便为静态稳定,若偏航趋向继续增大则为静不稳定。

一般所说的航向稳定性是指在舵置于正中的直线航行中,船受外力(如风浪的作用)而偏离原航向,当外力消除后能逐渐稳定于一定航向的能力。

从实用角度,称船舶在弱控制(小舵角)下沿给定方向保持直线航行的能力为航向保持性。具有航向稳定性的船舶,容易保持其航向。但不论其航向稳定性有多好,一旦偏离原航向时,一般均需操舵才能使船回到原来的航向。航向稳定性与船舶的线型和主尺度,特别是水下的侧投影面积有关,例如,尾鳍(即加大尾部侧投影面积)能提高航向稳定性。

## 2. 回转性

船舶在操舵后绕瞬时回转中心作圆弧运动的性能,即指船舶能灵敏回转的性能。通常是指大舵角下的回转能力,即转舵后船舶作大角度改变航向,近似于 $360^\circ$ 的圆周运动的性能。一般用稳定回转直径表征船舶大角度回转的性能。相遇船舶作紧急规避或在狭窄水道及港湾调头时要在最大舵角下有最小的回转直径及迅速转向的能力。

## 3. 应舵性

船舶在操舵后最终进入定常回转之前的运动响应特性称为应舵性,它包括转首性与跟从性。

**转首性** 表示单位舵角引起的首向角变化快慢。平时,船员希望“来舵”快,就是指转首性好。

**跟从性** 指船舶进入新的稳定运动状态的快慢。直线稳定性好的船,其跟从性一般也好。

船舶操纵性是船舶的重要特性。在险情丛生、水急坡陡的急流航段(如长江上游),驾驶员除了应洞察“水情”外,还须了解“船性”,如不能及时操舵,或没能迅速应舵,就容易发生航行事故。

## 二、在设计中考虑操纵性的重要性

船舶操纵性是船舶重要的航海性能之一。随着船舶的大型化和船舶数量的急剧增加,港口及航道的拥塞现象愈趋严重,据统计,全世界100吨以上排水量的船舶中,每年约有160~170艘主要由于碰撞和搁浅等事故而沉没。每艘船一年平均要出现大小事故约4次之多。可见,操纵性对船舶使用安全的重要性。此外,航向稳定性差的船,尤其是大型油船,必须频繁操舵以纠正偏航,其航迹曲折,实际航程大大增加,由此增加的功率消耗约占主机功率的2~3%,严重的可高达20%,所以操纵性能的改善,也是节能的重要措施之一。操纵性还直接影响军舰的战斗能力。因此近年来人们对船舶操纵性的研究已大大加强,操纵性试验已列入新船交船试验大纲。因此,在船舶设计过程中,如何保证设计船具有良好的操纵性已成为设计中的一个重要内容。

## §10-2 舵 的 设 计

船舶操纵性是由船上的操纵装置来保证的。通常可用舵、转动导流管(包括 $360^\circ$ 回转导



流管)或者由推进器本身(如平旋推进器、喷水推进装置)等作为操纵装置。近几年来,在各种船舶上(如大型客船、渡船、滚装船等等)还配置有辅助操纵装置(如首、尾侧推器等)。在需要提高机动性的船上,有时还采用特殊操纵装置如主动舵、襟翼舵等等。

根据船舶的类型、尺度及其用途,按操纵性的要求可采用各种操纵装置以保证必要的操纵性。

由于普通舵造价便宜,制造方便,又能在螺旋桨后回收一定的桨尾流的能量,因此在大多数情况下,船上的操纵装置采用普通舵。在设计中一般先按普通舵设计,如不能满足操纵性要求时,再选择其他种类的操纵装置。

转动导流管基本上用于拖船,特别是港作拖船,近年来常采用 $360^\circ$ 回转导流管(Z型推进器),这对于提高拖力及改进操纵性有很大的优越性。在一般运输船上也有采用转动导流管的,但属极个别的情况。平旋推进器通常安装在港作拖船、起重船和其他港口浮动建筑物上以及短途运输的小型渡船上。喷水推进主要用在内河浅水船舶上。

### 一、舵面积的选择

增大舵的面积能使船舶的回转性、稳定性和应舵性都得到改善。因此,舵面积大小是通常情况下影响操纵性的关键因素,是舵的首要参数。

在实际设计中,舵面积通常是参考操纵性较好的型船资料,选取合适的舵面积比 $C_{\text{舵面积}}/(\text{水线长} \times \text{吃水})$ 确定,一般能得到较满意的结果。

#### 1.按船型选择

如对操纵性无特殊要求时,舵面积比一般可按表10-1选取。

表10-1 舵面积比 $C_{\text{舵面积}}/(\text{水线长} \times \text{吃水})$ 的一般范围

海 船	舵面积比(%)	内 河 船	舵面积比(%)
运输船舶			
单桨单舵	1.6~2.2	双桨客货船	4.6~8.0
双桨单舵	1.5~2.5	(深宽航道)	2.1~5.0
双桨双舵	2.0~2.2	机动驳	3.0~8.0
油 船	1.3~2.0	拖 船	4.0~8.5
大型高速客船	1.2~1.9	长江拖船	7.0~9.0
沿海船	2.3~3.3	推 船	6.0~11.0
渔 船	2.5~5.5	驳 船	3.0~6.0
拖 船	3.0~6.0	渡 船	3.5~5.5
领航船与渡船	2.5~4.0	L<35米的小艇	4.0~7.0

#### 2.按船长选择

根据统计资料,各类船的船长与舵面积比的关系如图10-2所示。

#### 3.从保证船舶的航向稳定性来选择

满足航向稳定性要求的舵面积,可参阅图10-3选取。②,③是J·伍德提供的上下极值范围。

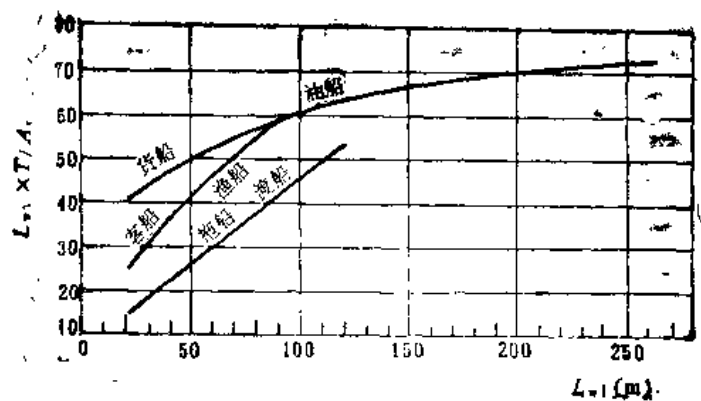


图10-2 船长与舵面积比的关系

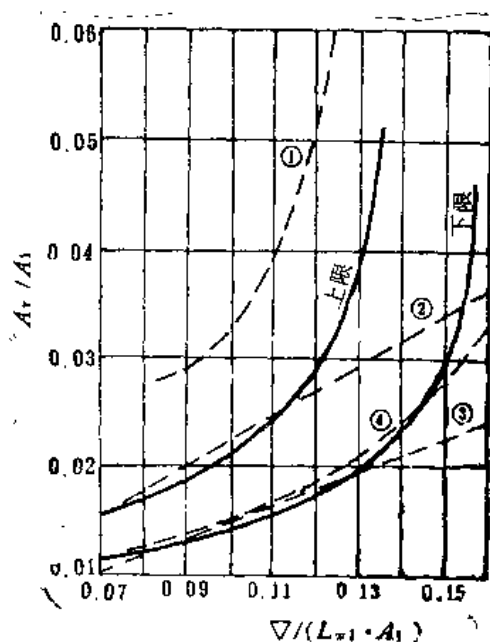


图10-3 达到航向稳定性的最小舵面积

图中, ①为渔船船模自航试验;

②为  $\frac{1}{C_b} \cdot \frac{h}{T} = 1.8$  时;

③为  $\frac{1}{C_b} \cdot \frac{h}{T} = 1.2$  时;

④为挪威船级社所推荐。

其中,  $\nabla$  为排水体积( $m^3$ );

$A_1$  为船纵中剖面面积( $m^2$ );

$L_{wl}$  为水线长(m);

$A_r$  为舵面积( $m^2$ );  $C_b$  为方形系数;

$h$  为舵高(m);

$T$  为吃水(m)

#### 4. 从满足回转性及稳定性要求选择

日本山田孝三郎根据日本120艘大型船试验数据统计资料, 绘成如图10-4的图形。在(a)图中按  $(C_b \cdot B)/T$  及  $k = 2T/L$  可查出满足回转性要求的最小舵面积比  $A_r/L \cdot T$ , (b)图中按  $(C_b \cdot B)/L$  和  $B/T$  可查得满足直线航行稳定性要求的舵面积比。该图适用于  $L/B < 6.0 \sim 6.5$ ,  $C_b > 0.8$  的单桨单舵船。如稳定性要求的舵面积超过回转性要求的舵面积, 超过部分可做成固定尾鳍。

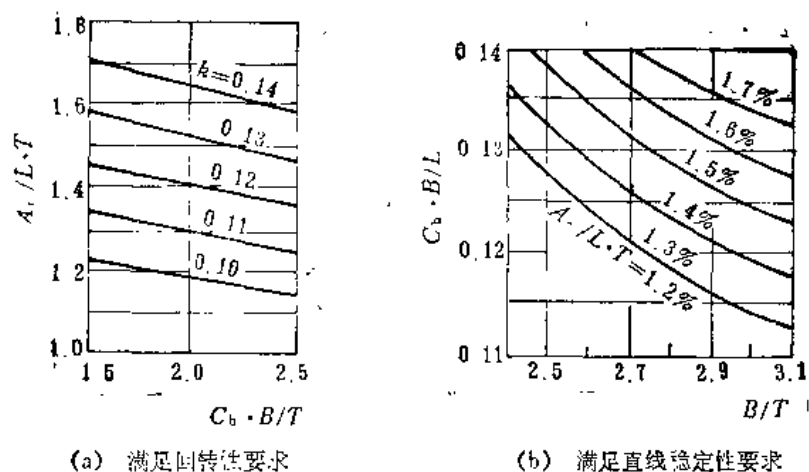


图10-4

### 5. 从船舶具有一定的抗风能力选择

对水线以上受风面积较大的船舶应具有一定的抗风能力。图10-5为风速不超过4.5倍船速时，在任意风向下使船舶能保持航向要求所需舵面积比的图谱。图中， $A_v$ 为水线以上侧投影面积( $m^2$ )； $a_m$ 为水线以上侧投影面积中心到船中距离( $m$ )，船中前为正。

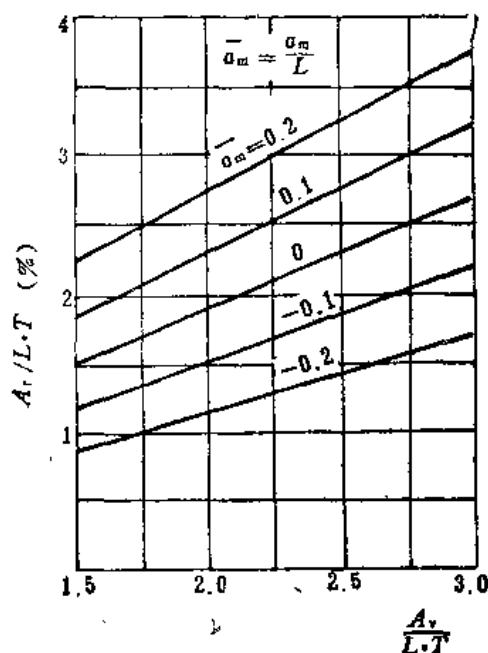


图10-5

## 二、舵的展弦比与舵平衡系数

根据模型试验资料表明，当舵的面积及展弦比一定时，舵的外形对舵的水动力特性无显著影响。

### 1. 展弦比

舵的展弦比 $\lambda$ 对舵效影响甚大，见图10-6。从图中可见，在分离角 $\alpha$ 前，同样舵角值时的升力系数，展弦比大的舵比展弦比小的舵来得大。因此在一般情况下，应力求增大舵的展弦比。各类船的展弦比值可参考表10-2。

但展弦比过大(即狭而高)的舵，由于舵压递增过快，流体涡流分离出现较早，反面会造

成对操纵性的不利影响。

表10-2 各类船的展弦比值

船 类	展 弦 比 $\lambda$
单 桨	
货客船	~1.82
海河船	1.04~1.16
拖船、领航船	~1.73
渔 船	1.54~3.3
双 桨	
有下支点舵	~1.51
半平衡舵	~1.11
边 舵	~2.20

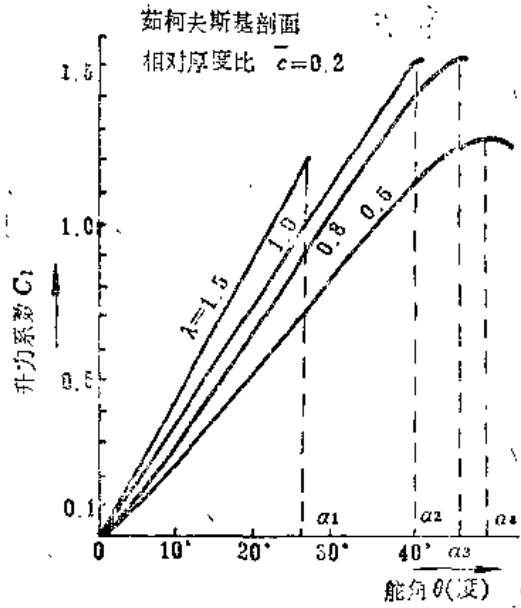


图10-6 展弦比对舵的影响

2. 舵平衡系数

舵平衡系数 $k$ 是指平衡舵在舵杆中心线之前的面积与整个舵面积的比。选择平衡系数的原则，是使需要的舵机功率最小。通常使前进时舵杆力矩曲线尽可能对称于横坐标轴分布，参阅图10-7。但是在后退时舵杆力矩最好不大于前进时的力矩，这就有可能在许多情况下要增大平衡系数。

通常根据展弦比、舵叶剖面形状和舵的布置，平衡系数在0.20~0.30之间。

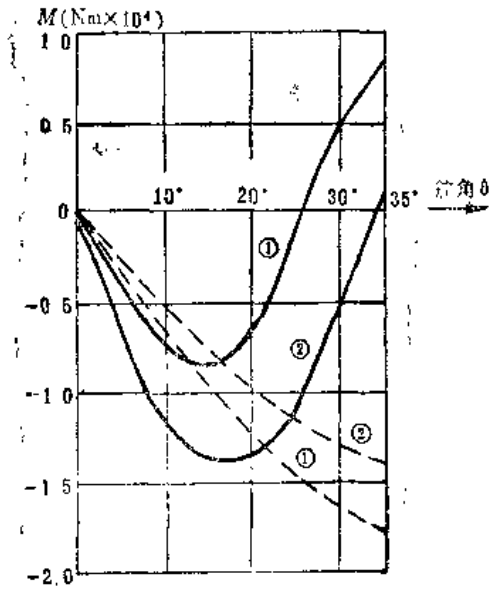


图10-7  $M=f(\theta)$ 示例

曲线① $k=0.28$ ；② $k=0.34$ ；实线表示前进状态；虚线表示后退状态。

§10-3 船舶操纵性估算

在船舶操纵性研究中，通常采用模型的试验研究、理论研究及半经验方法。由于船舶在

操纵过程中流体动力方面的复杂性,从理论上目前还未完全解决。本节所列举的一些估算方法,偏于经验,供船舶初步设计中采用。

## 一、回转性

### 1. 回转直径的估算式

回转直径是衡量船舶回转性的最重要的特征量。满舵时的回转直径标志船舶的最大回转能力。

1981年16届ITTC会议上介绍了里斯特——奈茨公式,该公式是根据115条单桨船,13条双桨单舵船,13条双桨双舵的实船及船模,425个回转圈资料(其中单桨船方形系数 $C_b$ 从0.56~0.87,双桨船 $C_b$ 从0.42~0.62,舵角 $\theta$ 从 $10^\circ \sim 45^\circ$ )回归分析得出的。

单桨船的稳态回转直径 $D_c$ 为:

$$\begin{aligned} \frac{D_c}{L} = & 4.19 - 203 \frac{C_b}{|\theta|} + 47.4 \frac{\tau}{L} - 13.0 \frac{B}{L} \\ & + \frac{194}{|\theta|} - 35.8 \frac{h \cdot b}{L \cdot T} \times (ST - 1) + 38.2 \frac{h \cdot b}{L \cdot T} \\ & \times (ST - 2) + 7.79 \frac{A_b}{L \cdot T} + 0.70 \times \left( \frac{T}{T_d} - 1 \right) \left( \frac{\theta}{|\theta|} \right) (ST - 1); \end{aligned} \quad (10-1)$$

式中:  $L$ ——垂线间长;

$\tau$ ——纵倾,  $\tau = \frac{t}{L} \times 100$ , 尾倾为正;

$h$ ——舵高;

$b$ ——舵弦;

$ST$ ——尾型, 开式(敞水)尾 $ST = 2$ ; 闭式尾 $ST = 1$ ;

$T_d$ ——设计吃水;

$T$ ——试航吃水;

$A_b$ ——首艏侧面积, 突出首柱外为正, 空缺为负;

$\theta$ ——舵角, 左舵为正, 右舵为负。

双桨船的稳态回转直径 $D_c$ :

$$\begin{aligned} \frac{D_c}{L} = & 0.727 - 197 \frac{C_b}{|\theta|} + 4.65 \frac{B}{L} + 41.0 \frac{\tau}{L} + 188 \frac{1}{|\theta|} \\ & - 218 \frac{h \cdot b}{L \cdot T} (n_r - 1) + 3.20 \frac{V_a}{\sqrt{L}} + 25.56 \frac{A_b}{L \cdot T}; \end{aligned} \quad (10-2)$$

式中:  $V_a$ ——直航速度(kn);

$n_r$ ——舵数。

### 2. 一般船舶适宜的回转直径

民用船舶的适宜回转直径的概略数值如表10-3所示。

表10-3 一般船舶般宜的相对回转直径

航 区	船 类	相对回转直径( $D_0/L$ )
海 船	油 船	3.45~7.5
	客货船	3.0 ~5.0
	货 船	4.0 ~6.1
	拖 船	1.5 ~2.5
江 河 湖 船	客(货)船	1.5 ~3.5
	货、油船	2.5 ~4.0
	拖 船	1.0 ~2.5
	30米以下小艇	1.5 ~3.5

## 二、航向稳定性

船舶受外力干扰后,偏离了直线运动,航向 $V$ 与船体中线面夹角称为漂角( $\beta$ )。此时船体受到了偏航引起的位置(漂角)阻尼力 $Y_v$ 和转首阻尼力 $Y_R$ 、回转离心力 $Y_I$ 。 $Y_v$ 一般作用于船中之前,力臂用 $l_v$ 表示, $Y_R$ 及 $Y_I$ 一般作用于船中之后及重心 $G$ 上,如图10-8所示。

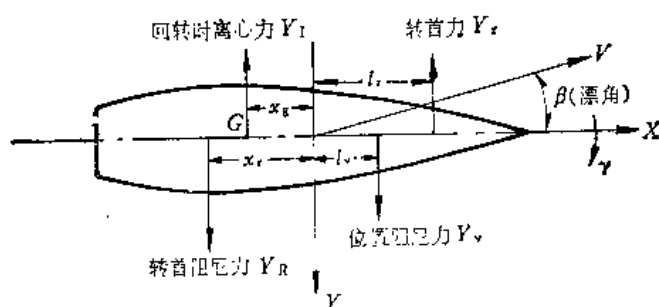


图10-8 回转时船舶的受力

对一般船舶,离心力与转首阻尼力方向相反,合力为 $Y_r$ ,且 $Y_r = Y_R - Y_I$ ,合力矩为 $Y_R \cdot X_r - Y_I \cdot X_g = Y_r \cdot l_r$ ,称 $Y_r$ 为转首力, $l_r$ 为转首稳定力臂。

当 $l_r > 0$ 时,在 $Y_r \cdot l_r$ 作用下,船向右转,使 $\beta$ 增大;反之, $l_r < 0$ 时,使 $\beta$ 减小。因此, $l_r < 0$ 为静稳定条件。一般排水量船 $l_v$ 都大于零,都是静不稳定的。

另外,当 $Y_r < 0$ ,且 $l_v < l_r$ ,则船具有直线稳定性,根据这个直线运动稳定性判据,如加大尾鳍,切割首踵,后体采用V型剖面,使 $Y_R$ 增大,且向船尾移动,因而转首力 $Y_r$ 向首移动, $l_r$ 增大,而位置阻尼力 $Y_v$ 向船中靠近, $l_v$ 减小,从而增加了稳定度。然而对于肥大船, $L/B$ 小,后体丰满,一般为U型剖面,使 $Y_R$ 向前移, $Y_r$ 向后移, $Y_v$ 略向前移,甚至 $l_v > l_r$ ,所以一般肥大船皆动不稳定。

利用细长体理论,可以导出动稳定的简易判别式:

$$\frac{4L}{\pi T} > \frac{L}{C_b \cdot B} > \frac{2L}{\pi T} \quad (10-3)$$

《内河船舶设计手册》提出一个综合参数 $\Phi_s = L/C_b \cdot B$ ,并且以 $\Phi_s \geq 9$ 作为内河船动

稳定性的判据, 这与(10-6)式是一致的。但是, 随着船舶的肥大化, 以及新型节能船型的不断出现, 这一判据的值可能变动, 且应与 $L/T$ 的大小有关。

### 三、按型船预报新船操纵性

#### 1. 与型船具有相同航向稳定性的舵面积计算

例如, 某型船的 $C_{b0} = 0.80$ ,  $L_0/B_0 = 7.0$ ,  $A_{r0}/L_0 \cdot T_0 = 1/72$ 。新船的 $C_b = 0.80$ ,  $L/B = 6.5$ , 要保证两船的航向稳定性相同, 求新船的 $A_r/L \cdot T$ 。

##### ①求型船的回转阻尼。

已知型船的 $\frac{\nabla_0}{L_0^2 \cdot T_0} = \frac{C_{b0}}{L_0/B_0} = 0.114$ ,  $A_{r0}/L_0 \cdot T_0 = 1/72$ , 从图10-9可

查得 $A_{r0}/L_0 \cdot T_0 \cdot K'_0 = 0.0056$ 。式中 $K'_0$ 是无因次回转性指数;  $A_{r0}/L_0 \cdot T_0 \cdot K'$ 为无因次相当回转阻尼系数。

##### ②求设计船的回转阻尼。

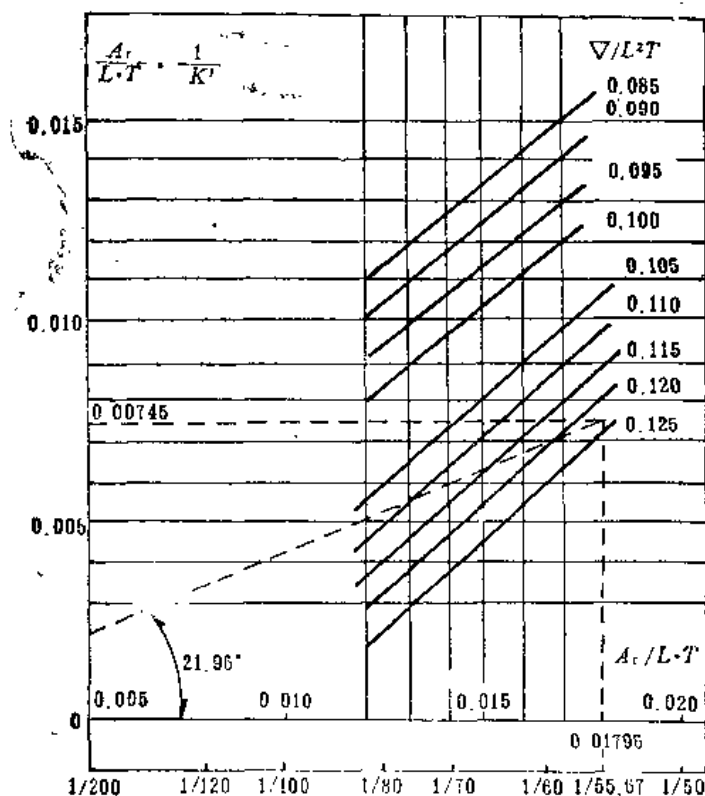


图10-9  $K'$  预估图

要使两船具有相同的航向稳定性, 即两船的无因次航向稳定性指数 $T'$ 相同, 按图10-10的 $K'-T'$ 相关统计曲线可知, 必须使 $\frac{A_r}{L \cdot T \cdot K'} \cdot \frac{L^2 T}{\nabla}$ 相等。设计船的 $\frac{\nabla}{L^2 \cdot T} = 0.123$ , 型船的 $\frac{\nabla_0}{L_0^2 \cdot T_0} = 0.114$ , 因此设计船的无因次相当回转阻尼系数

$$\frac{A_r}{L \cdot T \cdot K'} = \frac{A_{r0}}{L_0 \cdot T_0 \cdot K'_0} \cdot \frac{L_0^2 T_0}{\nabla_0} \cdot \frac{\nabla}{L^2 \cdot T} = 0.0056 \cdot \frac{0.123}{0.114} = 0.006。$$

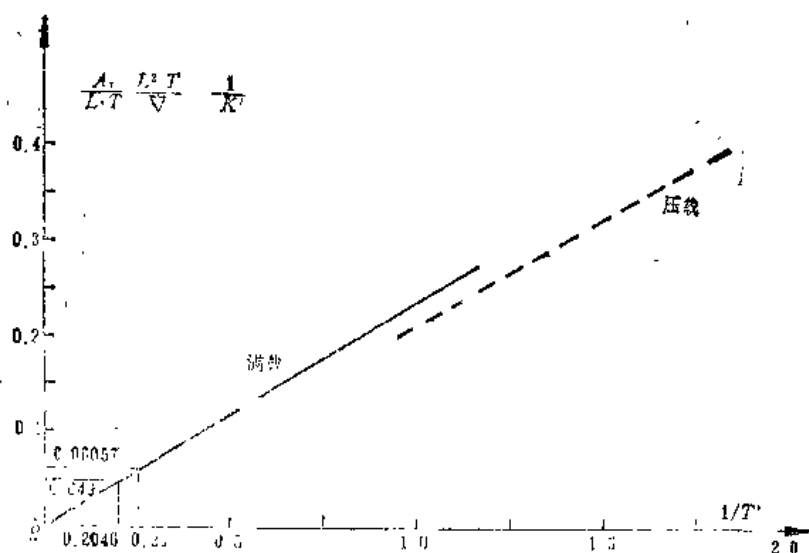


图10-10  $K'$ 、 $T'$ 相关的统计曲线

③求设计船的舵面积比。

根据设计船的  $\frac{\nabla}{L^2 \cdot T} = 0.123$  及  $\frac{A_r}{L \cdot T \cdot K'} = 0.006$ ，查图10-9可得设计船的  $\frac{A_r}{L \cdot T} = \frac{1}{61}$ 。

④新船与型船的回转性检验。

表征回转性的无因次回转阻尼性指数  $K'$  为：

$$K'_0 = \frac{A_{r0}}{L_0 \cdot T_0} \cdot \frac{1}{0.0056} = \frac{1}{72} \cdot \frac{1}{0.0056} = 2.43 \text{ (型船)},$$

$$K' = \frac{A_r}{L \cdot T} \cdot \frac{1}{0.006} = \frac{1}{61} \cdot \frac{1}{0.006} = 2.732 \text{ (设计船)}。$$

可见当两船稳定性相同时，回转性不一定相同，设计船  $K'$  值大于型船的  $K'_0$ ，即表示设计船的回转性略优于型船。

2. 与型船具有相同回转性的舵面积计算

①求型船的  $K'_0$

按图10-9得  $K'_0 = 2.48$

②求设计船的舵面积比

从图10-9中取直线的斜率为  $\text{tg} \alpha = \frac{\frac{A_r}{L \cdot T} \cdot \frac{1}{K'}}{\frac{A_r}{L \cdot T}} = \frac{1}{K'_0} = \frac{1}{2.48} = 0.4032$ ， $\alpha = 21.96^\circ$ ，过

原点作  $\alpha = 21.96^\circ$  射线与  $\frac{\nabla}{L^2 \cdot T} = 0.123$  的斜直线相交，交点给出舵面积比  $\frac{A_r}{L \cdot T} = 0.01796$

$$= \frac{1}{55.67}, \quad \frac{A_r}{L \cdot T \cdot K'} = 0.00745。$$

③新船与型船的航向稳定性

表征船舶航向稳定性的无因次航向稳定性指数  $T'$  为：



设计船的  $\frac{(A_r/LT) \cdot 1/K'}{\nabla/L^2 \cdot T} = 0.06057$ , 查图10-10可得  $\frac{1}{T'} = 0.26$ ,  $T' = 3.82$ 。

型船的  $\frac{(A_{r0}/L_0 \cdot T_0) \cdot 1/K'_0}{\nabla_0/L_0^2 \cdot T_0} = 0.049$ , 查图10-10可得  $\frac{1}{T'_0} = 0.2046$ ,  $T'_0 = 4.887$ 。

可见当两船回转性相同时, 航向稳定性不一定相同, 设计船的  $T'$  值小于型船的  $T'_0$ , 即表示设计船的航向稳定性略优于型船。

从图10-10可知, 如  $A_r/L \cdot T$  及  $\nabla/L^2 \cdot T$  不变, 则  $K'$  与  $T'$  同时变大或变小, 说明回转性的改善(如仅改变尾鳍、前踵等)必然损害航向稳定性和跟从性, 反之亦然。

## §10-4 影响操纵性的主要因素

### 一、船型

#### 1. 修长度 $\nabla/L^2 \cdot T$

修长度也称肥瘦度, 代表了惯性大小, 对操纵性影响很大。修长度大, 表示船具有肥而短的特征, 因而回转阻尼小, 回转直径小, 回转性及转首性好, 但航向稳定性差。如图10-11所示, 若  $A_r$  不变, 随修长度增大, 回转性变好, 即  $D_r/L$  减小。所以在初步设计阶段, 为提高船舶的稳定性, 在船体尺度方面, 可考虑取  $C_b$  的下限,  $L/B$  的上限。

#### 2. 宽度吃水比 $B/T$

从图10-4(b)可见, 在舵面积及其它因素已定的情况下,  $B/T$  增大, 满足直线稳定性要求的舵面积比相应要加大, 这是由于  $B/T$  增大使回转阻尼下降, 对稳定性不利。反之,  $B/T$  减小, 对回转性不利。

#### 3. 纵中平面面积 $F_1$ 及其形心位置

船长一定时,  $F_1$  增大即吃水  $T$  增大, 所以  $B/T$  下降, 对稳定性有利。 $F_1$  的面积形心如在船体重心之后, 相当于流体动力合力向后移, 可提高稳定性, 削弱回转性。切去首踵, 加大尾鳍, 增加尾倾都能有效地使面积形心后移, 使稳定性及跟从性改善, 而回转性恶化。反之, 切去尾鳍, 对航向稳定性极为不利, 但对回转性有利。

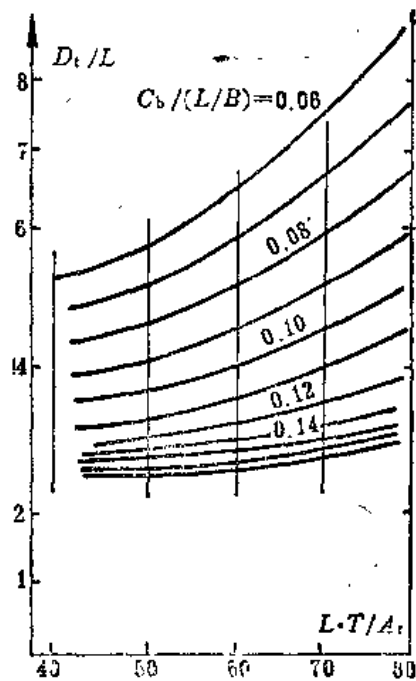
试验研究表明, 当舵角  $\theta = 10^\circ \sim 20^\circ$  时, 纵倾影响较大, 纵倾改变 1%, 回转半径的改变可达 10%; 当  $\theta > 20^\circ$  后, 这一影响稳定下来而不再增大。

#### 4. 首、尾肋骨形状

V形剖面可增大回转阻尼, 使稳定性改善; U形剖面使回转阻尼减小, 对回转性有利。

球首相当于使  $F_1$  的形心前移, 使稳定性变差, 回转性略有改善。比较起来球首对正车操纵性影响不显著, 而对倒车时的稳定性有改善。

尾部形状, 试验表明巡洋舰尾的回转阻尼可比普通尾增大 25%, 对稳定性有利。但单桨船尾框不宜过大, 否则将削小尾鳍面积, 对稳定性不利。



$D_r$ —战术直径

图10-11

### 5. 重心位置

重心位置涉及船体重量分布。重心前移, 相当于 $F_1$ 面积形心后移, 对稳定性有利。所以一般肥大型船, 浮心及重心在船中之前, 可使稳定性得到一些改善。

### 6. 水上受风面积

减少受风面积 $A_r$ , 並使其形心向尾部移动可改善稳定性, 从而可减小满足稳定性要求的舵面积。

### 7. 航速

$F_n < 0.1$ 的极低速船, 舵效差, 回转性及应舵性都差。

低速船航速对回转性的影响不大。

高速船 $F_n > 0.3$ , 兴波较大並产生尾倾, 对航向稳定性有利, 跟从性也得到改善, 但回转直径增大, 且当 $F_n > 0.5$ 后, 这种影响更有跳跃式增长。

### 8. 吃水水深比

吃水水深比 $T/h > 0.25$ , 开始出现浅水影响,  $T/h > 0.5$ 时影响明显加大。对瘦船, 浅水效应使航向稳定性和跟从性得到改善, 但回转直径变大, 对回转性不利。对肥胖型船通常存在有一段危险水深, 使航向稳定性产生严重恶化。

## 二、附体面积及位置

当船体尺度及线型不能变动时, 可考虑变更附体的大小及位置。

### 1. 加大尾鳍

减少尾部空缺面积, 加大尾鳍面积, 相当于 $F_1$ 的形心后移,  $F_1$ 放大, 可改善稳定性。反之, 在尾鳍上开孔(如渔船上所见)可改善回转性。

### 2. 加装稳定鳍

稳定鳍可安装在悬挂舵上方, 桨上方(尾框内), 位于水线与基线之间, 也可突出于基线以下, 如吃水没有限制, 基线以下的鳍效果更佳(在伴流区外)。螺旋桨上方的鳍是消除不稳定流动及异常现象的有效措施。

## 三、舵

### 1. 舵面积

增大舵面积能增大转舵力矩, 提高回转性, 同时当舵角为零时, 大的舵面积有大的鳍效应, 也提高了稳定性。但舵面积并非越大越好, 这是由于船尾吃水是有限的, 舵的高度受到限制, 舵面积过大, 势必展弦比减小, 使升力系数减小, 所以有一个最佳舵面积。从图10-12中可见, 舵面积比为 $1/40$ 左右时回转直径为最小, 大于或小于 $1/40$ 的回转直径都变大。舵面积过大, 往往造成舵机功率过大、舵设备效率降低以及布置困难等不利因素。此外, 舵弦过长, 伸出船尾, 得不到船体遮蔽与保护, 又增加了阻力, 这都是不利的。

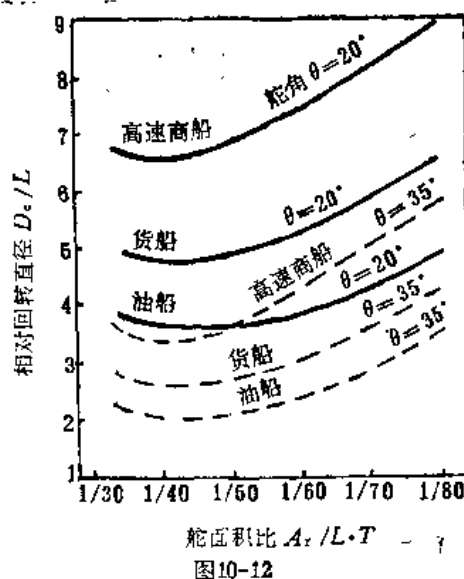


图10-12

## 2. 舵的数量

在双桨后设双舵、三舵，既可增大舵面积，又可保持大的展弦比。三舵的中舵虽处于高伴流区，又得不到桨的尾流，舵效差，但它的效应不可忽视，对提高稳定性是有利的。

## 3. 特种舵

采用特种舵，是提高舵效的有效措施，但这一般只能提高回转性，对改善稳定性不一定有利。除普通舵外，目前还有如下几种型式：

①襟翼舵，使升力大大增加。

②转柱和转柱舵，能提高升力。

③反应舵，能提高推进效率，但对改善操纵性作用不明显。

④倒车舵，安装在螺旋桨盘前面，倒车时能吸收桨尾流，从而提高倒车舵效，改善倒航时的操纵性。

⑤在普通舵上加装制流板，相当于增加展弦比，提高舵效；加装鱼尾板以提高舵效；在螺旋桨轴线处加装整流帽，成为整流舵，能吸收桨的根涡，有利于提高推力。

⑥主动舵，在低速航行时，能提高舵效。高速时对操纵性意义不大，反而会增加航行阻力。通常只在海洋调查船上采用。

⑦推力操纵器。如平旋推进器(又称直翼推进器)；侧推器，一般高速时无效，零速时极有效；转动导流管；360°转动导流管(又称Z型推进器)等。

⑧锚、桨、舵的联合操作，在浅水区特别有效。

船舶要素对操纵性的影响可综合归纳如表10-4。

表10-4 船舶要素对操纵性的影响

要素的变化	回 转 性		航 向 稳 定 性	
舵面积比增大	变	好	变	好
尾踵切除	稍	好	变	差
前踵切除	稍	差	变	好
$L/B$ 减小	变	好	变	差
$C_b$ 减小	变	差	变	好
$\nabla/L^2 \cdot T$ 增加	变	好	变	差
$B/L$ 增大	变	好	变	差

各类船舶对操纵性的要求是不一样的，而且在操纵性中对回转性及航向稳定性的要求也各有所侧重。例如对内河船、沿海船，由于内河航道窄，弯道多，进出港口和靠离码头次数频繁等特点，要求有较好的回转性及应舵性；尤其如军舰及港内作业船舶应具有更好的回转性能；对长航程的远洋船及浅吃水肥大型船，则要注意航向稳定性；海洋调查船在调查采样时，长时间处在低速航行，又要保证很好的航向，因此需要有很好的微速舵效；大型客船、滚装船、渡船等还常在首或首尾都加装侧向推进器等等。

在设计中应根据船舶对操纵性的不同要求，权衡各方面的船舶性能，把操纵性作为综合分析中的一个因素，进行适当考虑，在现代船舶设计中是很有必要的。

如像设计中考虑其他性能一样，对操纵性能的分析中，选取合适的型船，特别是使用中

反映满意的与存在这样或那样问题的型船资料，对在设计中选择船体尺度、船型系数、线型、总体布置、操纵装置的型式及大小以及特殊操纵装置的采用等等都是很好的借鉴，是搞好设计的重要工作方法，应充分重视。

### 复习思考题

1. 什么是船舶操纵性？船舶设计中操纵性通常包括哪几方面的内容？
2. 目前用于船舶操纵的装置有哪些？为什么大多数情况下是采用普通舵？
3. 舵面积是根据哪些因素加以选择确定的？
4. 舵的展弦比、平衡系数与操纵性有什么关系？设计中如何确定？
5. 影响船回转直径的因素有哪些？设计中如何估算船的回转直径？
6. 初步设计时，如何考虑船的航行稳定性？
7. 影响船舶操纵性的主要因素有哪些？设计中应如何根据不同类型船舶的特点进行考虑？

# 第十一章 船舶最小干舷与登记吨位

对于运输船舶，最小干舷与登记吨位是与船的使用、安全及经济性等有关的重要因素。

## §11-1 船舶最小干舷

### 一、概述

从船舶静力学已知，船的干舷 $F$ 是指船舶浮于静止水面时，自水面至露天甲板上表面舷边处的垂直距离。通常是指船中处载重线上的距离，即 $F = D - T + t$ ，其中 $t$ 为甲板厚度。所谓最小干舷，对海船来说，就是根据《海船载重线规范》的有关规定计算得的 $F_{min}$ 值，它是从保证船的安全性出发，为限制船舶在营运过程中的最大吃水而提出的要求。所以要规定船的最小干舷，是从两个方面来考虑的：

#### 1. 减小甲板上浪

因为船的干舷低，航行中甲板容易上浪，而甲板上浪造成的后果是：船的重量增加，重心升高，初稳心高 $\overline{GM}$ 下降；有可能冲坏甲板上的设备及封闭设施；影响船员作业及人身安全。

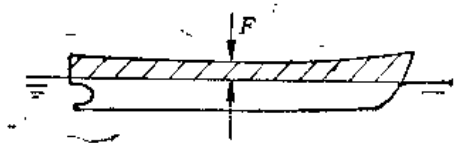


图11-1

#### 2. 保证一定的储备浮力

干舷 $F$ 的大小代表着船的储备浮力，如图11-1所示。如果干舷(即储备浮力)过小，当海水打到甲板上来不及排掉，或者甲板上封闭开口被冲坏，大量海水灌入船主体内，船将容易下沉，且浮起迟缓，甚至发生沉没或倾复。

装载过重，干舷不足，常常是海损事故的一个重要原因。为了保证安全，必须使船的干舷有一定的数值。这一事实很早就已引起人们的重视。国际上曾于1930年制订了《国际载重线公约》，作为核算国际航行船舶的最小干舷的标准，并在1966年对该公约作了修订。我国于1959年颁布了《海船载重线规范》，1975年进行了修改。对内河船也有相应的规范，下面对我国《海船载重线规范》的主要精神及内容作简要介绍。

### 二、规范的基本精神

规范适用范围为：规范定义的船长 $L \geq 24\text{m}$ 、总吨位在150t以上的一般民用国际和国内航行船舶。规范不适用于军船、 $L < 24\text{m}$ 的新船、150t以下的现有船舶和非营业游艇及渔船等。

规范对最小干舷的规定的着眼点是保证船舶具有必要的储备浮力。而储备浮力的大小除了干舷以外，还取决于下列因素：

#### 1. 甲板上浪的程度

船甲板上浪的程度与其在波浪中的纵摇、垂荡运动幅度、船舶舷弧的大小、上层建筑的

地位和大小等有关。在其它条件相同时, 仅就船舶相对于波浪的运动幅度而言, 显然与航区的风浪情况及船长的关系密切。因此, 规范根据各海区在一年内各时期的风浪情况, 划分若干“季节区”, 并把季节区与船长作为确定最小干舷的基本参数。

季节区分为: 冬季北大西洋区、冬季区、夏季区、热带区、夏季淡水区、热带淡水区等。其中冬季区大体为北纬 $35^{\circ}\sim 36^{\circ}$ 以北和南纬 $33^{\circ}\sim 34.5^{\circ}$ 以南的一些风浪较大的海域。夏季区大体对应于蒲氏8级以上风力发生频率不超过10%的海域; 热带区对应于蒲氏8级以上风力发生频率不超过1%的海域。季节区还与时间有关, 规范中有详细标明各海域一年内自何月何日起到何月何日止属于哪一季节区的图, 可供查对, 它与日常所说的冬、夏季属于不同的概念。我国沿海只有夏季区和热带区。如我国的黄海、东海海域每年的4月16日至9月30日为“热带区”; 10月1日至4月15日为“夏季区”。

## 2. 影响储备浮力大小的其他因素

船体的丰满度(方形系数 $C_b$ 值)、上层建筑、舷弧等都对储备浮力有一定影响。规范中计算最小干舷时, 假定了 $C_b$ 、上层建筑及舷弧等一定的标准船型。 $C_b$ 的大小影响储备浮力的百分比, 显然 $C_b$ 大者其水下体积大, 海水可灌入的量也多, 因而对 $C_b$ 大的船的干舷也应取大些。上层建筑及舷弧都形成一定的储备浮力, 故实船的最小干舷可依它们的大小而有所增减。当然, 上层建筑的有效性还取决于开口的封闭条件和位置。

## 3. 水灌进船主体内部的可能性程度

规范根据船主体内部灌进水的的可能性程度把船舶划分为A型和B型两大类。

**A型船舶** 载运液体货物的船舶(如油船)。因这类船舶具有货舱口小且封闭条件好, 露天甲板的完整性较高, 再如油船甲板上设备少, 较易排水, 货物的渗透率低, 抗沉的安全程度较高等特点, 规范将其划归一类, 称为A型船舶, 其最小干舷可低些。

规范对A型船舶的抗沉性要求为:  $L > 150\text{m}$ 的船, 当装载至夏季载重水线时如有空舱, 则当其任一空舱淹水后(体积渗透率 $\mu = 0.95$ )应保持不沉;  $L > 225\text{m}$ 的船, 机舱淹水时( $\mu = 0.85$ )应保持不沉。破舱稳性要求达到: 淹水后的最终水线处于可能继续淹水的任何开口的下缘以下; 不对称淹水的最大倾角不超过 $15^{\circ}$ ; 淹水后初稳心高为正值。

**B型船舶** 不符A型船舶特点的其它船舶, 它们的最小干舷应大些。但运木船的甲板木料货本身有浮力且可阻止甲板上浪(木材堆放较高, 不易上浪; 上浪也仅进入木材空隙, 量不多), 所以其最小干舷也可适当低些。

按规范确定的最小干舷称为形状干舷。

## 三、最小干舷计算

计算船的最小干舷, 首先要按规范的定义, 确定干舷甲板及船的主尺度及系数。

**干舷甲板** 用以计算干舷的甲板。通常为上层甲板, 即最高一层露天全通甲板, 该甲板上所有的露天开口有永久性的封闭装置, 甲板下船侧的所有开口有永久性水密封闭装置。也可选取较低一层甲板作为干舷甲板, 但该甲板至少沿机舱和首尾尖舱壁之间是全通的并且连续横贯全船。对于具有不连续甲板的船舶, 取露天甲板的最低线及其平行于部分升高甲板的延伸线作为干舷甲板。

**船长 $L$**  在吃水等于 $0.85D$ 的水线处从首柱前缘到舵柱后缘或舵杆中心线(无舵柱时)的长度, 但均不得小于该水线长度的 $0.96$ ,  $D$ 为干舷甲板最低点处的型深。

计算型深 $D_s$ 按下式计算:

$$D_s = D + t + \frac{t_1(L-l)}{L} \quad (11-1)$$

式中,  $t$ ——干舷甲板边板(中部)的厚度;

$t_1$ ——干舷甲板露天部分的敷料平均厚度;

$l$ ——上层建筑的长度。

具有圆弧形舷边的船舶, 规范对 $D_s$ 的确定方法另有规定。规范定义的最小干舷( $F$ )为从实际水线到计算型深处的最小高度。

计算方形系数 $C_{bs}$ ——系指吃水等于 $0.85D$ 处的方形系数, 即 $C_{bs} = \nabla_{0.85D} / (LB \times 0.85D)$ ,  $\nabla_{0.85D}$ 为吃水等于 $0.85D$ 处的型排水体积, 通常 $C_{bs}$ 可从静水力曲线图中查得。

得到以上数据后, 就可计算夏季最小干舷, 然后对夏季最小干舷加以修正得出其它季节区干舷。

### 1. 国际航行船舶的夏季最小干舷

规范对国际航行船舶和国内航行船舶的最小干舷分别作了规定。其中夏季最小干舷是计算其它季节区干舷的基础。规范要求国际航行船舶的夏季最小干舷不小于用下式计算得的值:

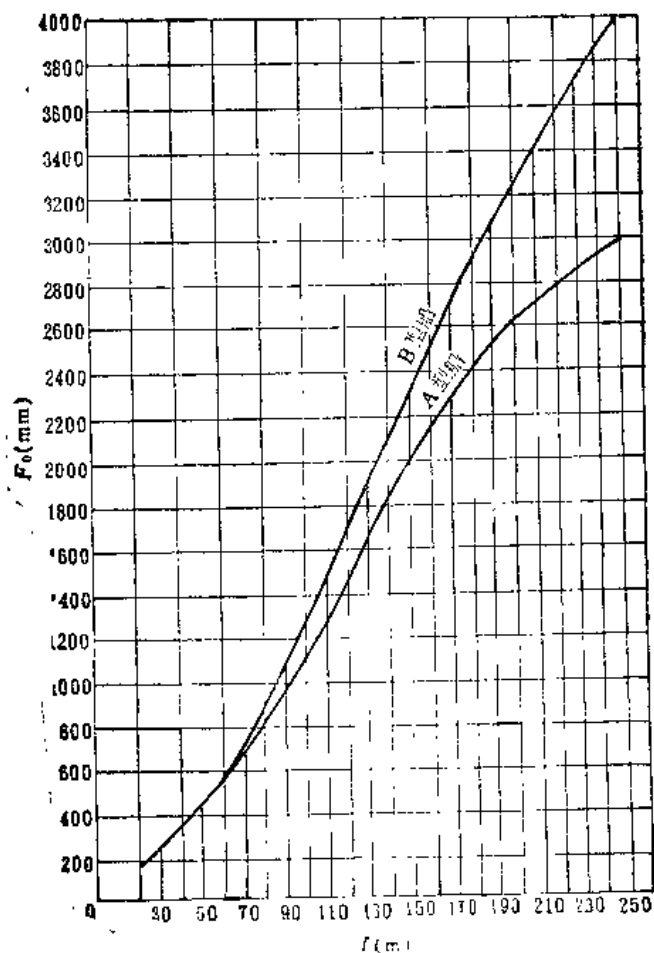


图11-2  $L$ 与 $F_0$ 关系曲线

$$F_x = F_0 + f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5. \quad (11-2)$$

式中各量的意义及计算如下:

①  $F_0$ ——规范规定的“标准船”的夏季最小干舷, 该标准船具有以下特征: 平甲板船(干舷甲板上无上层建筑), 计算  $C_b = 0.68$ ,  $L/D_s = 15$ , 标准舷弧。

$F_0$ 值随船长  $L$  变化, 且按 A 型船及 B 型船列表给出数值, 绘成曲线如图 11-2 所示。根据实船的类型及计算船长  $L$  就可查得  $F_0$ 。图 11-2 表明,  $L$  在 60~160m 左右的范围内,  $F_0$  随  $L$  的增率先大后小, 这是考虑船长与波长之比对船舶运动的影响之故。小船 ( $L < 60\text{m}$ ) 在大浪中的御浪性能较好(随浪飘浮), 而  $L > 160\text{m}$  的大船一般可脱离运动的不利区域。

②  $f_1$ ——对  $L < 100\text{m}$  且封闭的上层建筑的有效长度  $l_e < 35\% L$  的 B 型船舶的干舷修正值 (mm)。

$$f_1 = 7.5(100 - L)(0.35 - \frac{l_e}{L}), \quad (11-3)$$

上层建筑的有效长度 规范所定义的上层建筑系指干舷甲板上如首楼、桥楼及尾楼等伸到舷边或距舷边不大于  $0.04B$  的第一层建筑。结构上符合建造规范的规定、端壁上设有永久性的强固的水密门者称为封闭上层建筑。封闭上层建筑的有效长度等于其建筑长度(首、尾楼只计入计算  $L$  范围的长度)。如果上层建筑的高度低于表 11-1 的假定标准高度, 则有效长度还应乘以上层建筑的实际高度与标准高度之比。

表 11-1 上层建筑的标准高度 (m)

$L$ (m)	$\leq 30$	75	$\geq 125$
后升高甲板	0.90	1.20	1.80
其它上层建筑	1.80	1.80	2.30

注: 中间长度标准高度用线性插值法求得。

围蔽室的有效长度 位于干舷甲板上, 结构及封闭条件等符合规范规定, 但不伸到舷边的宽度在  $0.6B$  与  $0.96B$  之间的建筑称为有效围蔽室。其有效长度等于有效围蔽室的长度乘以其宽度与船宽之比。如果围蔽室的高度小于表 11-1 的标准高度, 还需再乘以实际高度与标准高度之比。

③  $f_2$ ——对于船的计算方形系数  $C_{bs} \neq 0.68$  时的干舷修正值 (mm);

$$f_2 = (F_0 + f_1) \left( \frac{C_{bs} + 0.68}{1.36} - 1 \right). \quad (11-4)$$

当实船的计算方形系数  $C_{bs} \leq 0.68$  时, 取  $f_2 = 0$ 。意思是船体水下部分比较瘦, 相应灌水量少, 相当于储备浮力与排水量之比大, 对安全性有利, 但干舷值不减小。而当计算方形系数  $C_{bs} > 0.68$  时, 水下体积大, 从储备浮力考虑, 要求适当加大干舷值。

④  $f_3$ ——对于船的  $L/D_s \neq 15$  时的干舷修正值 (mm);

$$f_3 = (D_s - \frac{L}{15}) R, \quad (11-5)$$

式中,  $R$  为系数, 当  $L < 120\text{m}$  时,  $R = L/0.48$ ;  $L \geq 120\text{m}$  时,  $R = 250$ 。



当船的 $D_s/L \geq 15$ 时, 因为相当于增加型深, 所以要求增加干舷值。

如 $D_s < L/15$ , 取 $f_3 = 0$ , 即通常情况下干舷不减小。但如中部有长度不小于 $0.6L$ 的封闭上层建筑, 或具有全通的围蔽室, 或具有延伸全船的分立上层建筑与围蔽室的组合体时, 可用上式计算 $f_3$  (为负值)。

⑤ $f_4$ ——考虑船舶上层建筑和围蔽室影响的干舷修正值(mm);

$$f_4 = f_0 k; \quad (11-6)$$

式中,  $f_0$ 为上层建筑和围蔽室的有效长度 $l_s = L$ 时的干舷减小值:  $L = 24\text{m}$ ,  $f_0 = -350\text{mm}$ ;  $L = 85\text{m}$ ,  $f_0 = -860\text{mm}$ ;  $L \geq 120\text{m}$ ,  $f_0 = -1070\text{mm}$ ; 中间 $L$ 值的 $f_0$ 用插入法求。

$k$ 为 $l_s < L$ 时 $f_0$ 的折扣系数, 从表11-2求,  $A$ 型船依 $l_s/L$ 而定,  $B$ 型船依 $l_s/L$ 和上层建筑的型式而定。

表11-2 系数  $k$  的 值

$l_s$		0	0.1L	0.2L	0.3L	0.4L	0.5L	0.6L	0.7L	0.8L	0.9L	L
A型船k值(%)		0	7	14	21	31	41	52	63	75.3	87.7	100
B型船k值(%)	有首楼无分立中桥楼	0	5	10	15	23.5	32	46	63	75.3	87.7	100
	有首楼和分立中桥楼	0	6.3	12.7	19	27.5	36	46	63	75.3	87.7	100

在表11-2中, 中间 $l_s$ 的 $k$ 值按内插法求;  $B$ 型船当桥楼有效长度小于 $0.2L$ 时,  $k$ 值应在两种情况中间用内插法求得;  $B$ 型船当首楼有效长度 $l$ 大于 $0.4L$ 时,  $k$ 取第二种情况的值; 当 $l < 0.07L$ 时, 表列 $k$ 值应减去 $5 \times (0.07L - l) / 0.07L$ 。

⑥ $f_5$ ——船的实际舷弧与标准舷弧不同的修正值(mm);

$$f_5 = \left( \frac{w+u}{2} \right) \left( 0.75 - \frac{l}{2L} \right); \quad (11-7)$$

式中,  $l$ 为封闭上层建筑的总长度,  $w$ 及 $u$ 分别为船的后半段和前半段的标准舷弧平均高度与实际舷弧平均高度之差(mm)。规范规定的标准舷弧线为二次抛物线, 首尾垂线处的舷弧高(mm)分别为:  $50(L_{pp}/3 + 10)$ 及 $25(L_{pp}/3 + 10)$ ,  $L_{pp}$ 以m计, 故首、尾段的标准舷弧平均值分别为

$$\frac{1}{3} \times 50(L_{pp}/3 + 10) \text{ 及 } \frac{1}{3} \times 25(L_{pp}/3 + 10)。$$

实际首、尾段舷弧的平均值( $L$ 范围以内)可用其侧投影面积的平均高值来确定, 但在有上层建筑的情况还需注意到以下的规定: 如在干舷甲板上设有贯通全船的标准高度上层建筑时, 其舷弧应量自上层建筑甲板, 而且在上层建筑的高度大于标准高度时, 平均舷弧可增加上层建筑的实际高度与标准高度之差的三分之一; 对分立的上层建筑, 如封闭首楼或尾楼为标准高度但其舷弧大于干舷甲板的, 或其高度大于标准高度时, 则船的前半段或后半段的实际平均舷弧可增加 $2yl_1/(3L)$  (mm), 其中 $y$ 为首垂线或尾垂线处上层建筑高度与标准高度之差(mm),  $l_1$ 为首楼或尾楼的长度(m)。

计算 $w$ 及 $u$ 时还应注意以下规定: 如后半段的实际舷弧大于标准的, 而前半段实际舷弧小于标准的, 则取 $w = 0$ , 只计入 $u$ ; 如前半段的实际舷弧大于标准的, 但后半段实际舷弧不小

于标准值的75%，仍用实际 $u$ 值，但如后半部的实际舷弧小于标准值的50%，则取 $u=0$ ；中间情况用内插法算 $u$ 。

舷弧不足，按式(11-7)计算需增加的干舷值。

如果实际舷弧大于标准值，且封闭上层建筑处于船中前后各 $0.1L$ 时，则按式(11-7)计算 $f_s$ （为负）；但如无中部上层建筑则取 $f_s=0$ ；中部上层建筑在船中前及中后部分不到 $0.1L$ 时，按前两种情况的 $f_s$ 用内插法计算。对多余舷弧的干舷修正量（减小）不得超过每100m船长为125mm。

## 2. 国际航行船舶的季节区最小干舷

对于无限航区的船，应计算各季节区的最小干舷。规范以夏季最小干舷 $F_x$ 为基础，进行计算。

热带区最小干舷 $F_R$ (mm)

$$F_R = F_x - \frac{1}{48} T_x; \quad (11-8)$$

式中， $T_x$ 为夏季最小干舷吃水(mm)， $T_x = D_s - F_x$ 。

注意夏季干舷及热带干舷均不得小于50mm。当位于开敞的干舷甲板和后升高甲板上，以及距离首垂线  $L/4$  以前的开敞的上层建筑甲板上的舱口盖不符合建造规范有关要求的船舶，或不符合A型船规定的船舶，其 $F_x$ 和 $F_R$ 均不得小于150mm。

冬季区最小干舷 $F_D$ (mm)

$$F_D = F_x + \frac{1}{48} T_{xo} \quad (11-9)$$

冬季北大西洋区最小干舷 $F_{BDD}$ (mm)

$L > 100\text{m}$ 的船  $F_{BDD} = F_D$ ,

$L \leq 100\text{m}$ 的船  $F_{BDD} = F_D + 50$ 。

淡水最小干舷比对应季节区的海水干舷减小 $\Delta/4q$ (mm)， $\Delta$ 为排水量(t)， $q$ 为每厘米排水量吨数(t/cm)。夏季淡水用 $F_Q$ 表示，热带淡水用 $F_{RQ}$ 表示。

## 3. 国内航行船舶的最小干舷

我国规范对国际航行船舶最小干舷的规定基本上和《1966年国际载重线公约》一致。但考虑到公约的计算太繁琐，根据我国沿海的风浪情况和实践经验，对国内航行船舶的干舷计算方法作了简化。如计算基本干舷 $F_0$ 时，取 $F_0 = kd$ ， $k$ 分A型船及B型船分别按 $L$ 查表；另外，干舷修正项中也只考虑 $C_b$ 、上层建筑及围蔽室的有效长度、舷弧三项。按国内航行船舶的规定计算出最小干舷比国际航行船舶的稍低。

## 四、载重线标志

为便于识别与监督，规范要求国际航行船舶按图11-3的式样在船中两舷绘制载重线标志，俗称保险圈。图中的字母表示船舶航行在不同海区及不同日期的载重线限制。如果船吃水超过相应的载重线标志，港监部门将不准出航或不让停港。

图中符号为(括号内为英文符号)：

ZC为中华人民共和国船舶检验局登记入级的船舶；

BDD为冬季北大西洋(WNA);

D为冬季(W);

X为夏季(S);

R为热带(T);

Q为夏季淡水(F);

RQ为热带淡水(TF)。

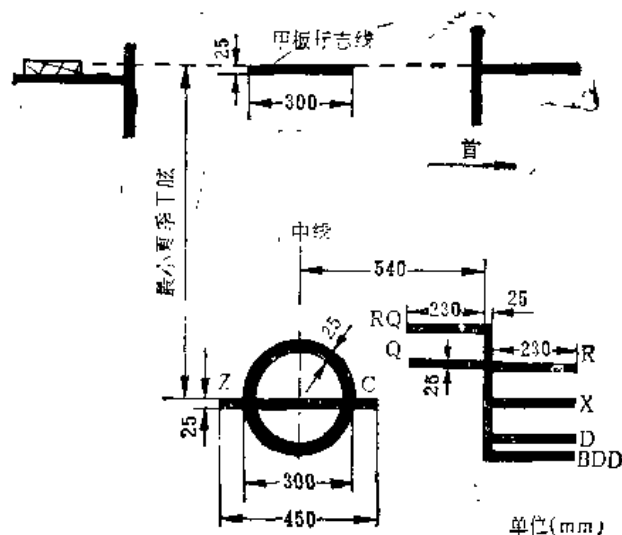


图11-3 载重线标志

舷边为圆弧形的船舶, 甲板线可勘划在某一适当高度处, 但在载重线证书中应注明它与计算型深( $D_s$ )的高度差, 这时最小干舷为载重线到甲板标志线顶面的距离再加上甲板标志线的高度差。

对于客船, 其最大吃水基本上取决于抗沉性的约束, 即最大吃水不超过分舱载重吃水, 因此要求在载重线标志之旁, 勘划分舱载重线标志。

对于运木船, 应加绘载运甲板木料时的载重线标志。

应当注意的是, 根据船舶载重线规范确定的最大载重吃水时的船体强度、稳性等都必须符合要求, 否则应降低吃水使用, 并按低的载重吃水勘划载重线标志。

对于国际航行船舶, 规范还要求首垂线处从夏季载重水线至露天甲板(干舷甲板或首楼)顶西的最小高度应不小于下列数值(mm):

$$L < 250\text{m时} \quad F_t = 56L \left(1 - \frac{L}{500}\right) \left(\frac{1.36}{C_{bs} + 0.68}\right), \quad (11-10)$$

$$L \geq 250\text{m时} \quad F_t = 7000 \left(\frac{1.36}{C_{bs} + 0.68}\right), \quad (11-11)$$

式中,  $L$ ——船长(m);

$C_{bs}$ ——计算方形系数,  $C_{bs} < 0.68$ 时取为0.68。

有首楼时, 首楼长度应不短于 $0.07L$ (首垂线以后); 无首楼时干舷甲板的首舷弧线在首垂线以后 $0.1L$ 范围内应是连续的。

## 五、设计中的一些考虑

前已述及,一般可以认为船的干舷 $F=D-T$ ,对于货船来说,干舷的大小主要考虑两个方面的要求:一是载重线规范要求的最小干舷值;二是货舱容积要求的型深 $D$ 所确定的干舷值。规范要求的 $F_x$ 等是从安全出发提出的最低值,对实际船的干舷值,应根据使用要求不同而具体确定。通常,设计中有如下几种情况:

**最小干舷船** 对于货船,如运载积载因数小( $C<1.3$ )的重货(煤、矿石等),可按《载重线规范》来决定最小干舷,从而可确定船的型深 $D$ ,这种船称为最小干舷船,其 $D$ 既符合最小干舷的要求,也满足容积要求。

**富裕干舷船** 当设计 $C$ 较大的货船时,按载重线规范求得的最小干舷 $F_x$ 所决定的 $D$ ,不能满足货舱容积的要求。型深 $D$ 需根据舱容确定,船的实际干舷大于最小干舷,这种船称为富裕干舷船。

油船因其油舱不再兼作压载舱,所以一般也是富裕干舷船。

**变吃水船** 对于富裕干舷船,在设计时根据规范核算最小干舷,求得最大装载吃水 $T_{\max}$ ,并使船体结构设计符合 $T_{\max}$ 的要求,此时 $T_{\max}$ 又称结构吃水。这样,在一般情况下,装载至满载吃水(设计吃水);又可在装重货时,吃水达到 $T_{\max}$ ,根据这种要求设计的船就称变吃水船。显然这种船在使用时灵活方便,经济上有利可图。如我国有的远洋货船就是设计成变吃水船。因为考虑到我国出口货多为轻泡货,如装满舱时船的满载吃水较小;而在回航时进口货多半为钢材、设备等重货,为充分利用货舱容积,多装货,此时吃水可达 $T_{\max}$ ,符合最小干舷的要求。如果设计时只按满载吃水来考虑结构尺寸,则装重货时吃水不可能增大,造成舱容不能充分利用,营运经济性差。

通常,在设计初始阶段是参考型船或统计资料,选取适宜的 $D/T$ 值,然后核算舱容及最小干舷。深入设计时,应注意到规范从船舶安全出发,对船壳及甲板开口的封闭性及甲板泄水的顺畅性和保证船员安全所作的规定,如水密门、开敞甲板上开口的围板高度及门槛高度、机舱开口的保护、舷窗结构、通风管及空气管的高度和结构、舷墙排水口的大小等等,以及A型船的步桥及出入通道等等,都应在总布置及结构设计中加以贯彻。

## §11-2 船舶登记吨位

### 一、概述

所谓船舶登记吨位 $RT$ 是指按《船舶吨位丈量规范》的有关规定计算得到的船内部容积,1登记吨位 $=2.832\text{m}^3$ (100英尺 $^3$ )。

船舶登记吨位的概念起始于海上商船的萌芽时期,目的是寻求一种衡量船舶载运能力的简便技术指标,作为税收和买卖船舶等的一种依据。早期,人们用船装桶酒,认识到船的内部容积与装载量有关,曾利用 $LBD$ 作衡准;但由于型深 $D$ 不易丈量,改用 $LB\cdot B/2$ 作衡量指标,致使有的船 $B/D$ 过小,造成不少翻船事故。1833年英国贵族摩逊提出丈量船的内部容积以衡量“吨位”的提案,直至1854年才在英国上院获准立法,经过长时期的演变,最后确定了以船舶内部体积作为衡量准则的计算体系,且定每100立方英尺( $2.832\text{m}^3$ ) $=1$ 登记吨位。

船舶登记吨位有两种,一是总吨位 $GT$ ,它是量计除“免除处所”以外的全船所有“围蔽处所”而得到的登记吨位;另一种是净吨位 $NT$ ,是不计及船员舱室、机舱处所等非营利容积而量计可用于营业的有效容积所得到的登记吨位。

登记吨位是影响船舶经济性的重要因素。现在,世界各国对运输船的一些收费常是按其登记吨位来计算的。

总吨位的主要作用有:①表示运输船的大小;②统计世界或一个国家或一个公司的船舶拥有量;③造船或租船费用,以及有些国家用作造船补助金、航海津贴以至船员工资等的计算标准;④在某些公约和船舶法规中,如作为公约生效的条件、区分船舶等级、船员配备、技术管理及某些船舶设备(如安全设施)的配置要求等的标准;⑤船舶检验、船舶登记、丈量的收费标准;⑥其它收费标准,如引水费、拖驳费、浮筒费和进坞费等。

净吨位的主要作用是作为一些费用的收费标准,如吨钞税、港口费、引水费、灯塔费、码头费和代理费,以及计算运河的通行费等等。

各国和世界各港口当局对于各种收费的计算,是按总吨位还是净吨位,并无统一规定,通常均由各国或各港口自行决定。但登记吨位与运输船的营运成本关系密切,因而新船的登记吨位数值是船东十分注意的一项指标。

由于历史的原因,各国的吨位计算办法不尽一致。1969年国际会议制订了《国际船舶吨位丈量公约》,并于1982年7月18日生效。我国已于1980年4月8日正式接受了1969年国际吨位公约,成为缔约国,同时,相应地也已于1982年制订了《船舶吨位丈量规范》,其内容基本上与国际公约相同。下面主要对《国际船舶吨位丈量公约》作简要介绍。

## 二、登记吨位计算

### 1. 1969年《国际船舶吨位丈量公约》

公约的计算比原有各国规范简化很多,计算时应注意其定义及有关规定。

**上甲板** 定义与《载重线规范》的定义相同(参见“干舷甲板”),有时也称为量吨甲板。

**船主尺度** 造船学科通用的定义,为型尺度。

**围蔽处所** 指由船壳、固定的或可移动的隔板或舱壁,甲板或盖板所围成的处所,但由永久的或可移动的天蓬遮盖的处所除外。围蔽处所的开口情况,只能部分影响围蔽处所吨位的计算体积。

**免除处所** 只包括按照下列规定确定的围蔽处所之开敞部分:一端敞开,开口宽度大于 $0.9B$ (船宽),则从该端向内 $B/2$ 距离的空间可以免除,其余部分仍认为是围蔽处所;如开口的宽度小于 $0.9B$ ,就不能认为是开敞的,不予免除。舷侧有较大开口时,开口长度一段的体积可以免除。甲板上敞开时,直接在开口下的那部分体积可免除。端壁缩入深度(距甲板端)小于宽度的两倍,缩入部分的体积可免除,等等。详细参看《公约》附录中的图示。

根据所有围蔽处所的容积计算,总吨位 $GT$ ,计算公式为:

$$GT = k_1 V = (0.2 + 0.02 l_2 V) V; \quad (11-12)$$

式中,  $V$  — 扣去免除部分后的船内所有围蔽处所的型容积之和( $m^3$ );

$k_1$  ——可根据 $V$ 查表,也可直接计算。

根据产生经济效益处所如货舱等容积计算净吨位 $NT$ ,计算公式为

$$NT = k_2 V_c \left( \frac{4T}{3D} \right)^2 + k_3 \left( N_1 + \frac{N_2}{10} \right), \quad (11-13)$$

式中,  $V_c$ ——各载货处所的总容积( $m^3$ ), 载货处所是指适宜于载运由船上起卸货物、且已计入总吨位中的处所;

$T$ ——型吃水( $m$ ), 对于适用国际载重线公约或适合于各国规范的船舶,  $T$ 对应于夏季载重线; 对客船,  $T$ 对应于最深分舱载重线; 对未勘划载重线标志的船,  $T$ 为最大允许吃水; 其他船舶,  $T$ 为 $0.75D$  ( $D$ 为型深)。

$N_1$ ——不超过8个铺位的客舱中的旅客人数

$N_2$ ——其他旅客数。并且 $N_1 + N_2$ 应等于乘客证书中所载的准许乘客总数, 当 $N_1 + N_2 < 13$ 时,  $N_1$ 及 $N_2$ 取为零。

$k_2$ 、 $k_3$ ——系数, 分别为

$$k_2 = 0.2 + 0.02 I_s V_{c1}$$

$$k_3 = 1.25 \left( \frac{GT + 10000}{10000} \right).$$

《公约》並明确规定: 计算 $NT$ 时, 因数 $\left( \frac{4T}{3D} \right)^2$ 应不大于1;  $k_2 V_c \left( \frac{4T}{3D} \right)^2$ 应不小于 $0.25GT$ ;

$NT$ 应不小于 $0.3GT$ 。

## 2. 登记吨位的近似估算

在设计初始阶段, 有时为使用某些公约或规范, 需要估算新船的登记吨位, 可用下述近似方法。

### ①总吨位。

与船主要尺度有关的近似公式

$$GT = \frac{LBDC_b}{2.832} \cdot k, \quad (11-14)$$

式中,  $k$ ——系数, 取自相近型船或统计资料。

与载重量有关的近似公式

$$GT = k_1 \cdot DW, \quad (11-15)$$

式中,  $DW$ ——满载载重量( $t$ );

$k_1$ ——系数, 根据统计资料或相近型值, 一般平均值在0.60左右。

### ②净吨位。

净吨位可近似比例于货舱容积, 按同类型船加以换算, 大体为货舱舱容的0.30左右 (多甲板货船其净吨位较小者除外)。净吨位 $NT$ 的数值大体在 $(0.63 \sim 0.70)GT$ 的范围; 而净吨位与载重量之比在 $0.37 \sim 0.43$ 范围, 平均为0.40左右。初始设计阶段应按同类型船且建筑特征相近的型船加以估算。

## 三、设计中应注意的问题

船舶登记吨位尤其是净吨位数值, 是影响船舶营运经济性的重要因素, 设计时应给予足够重视。显然, 船舶登记吨位与船的排水量、载重量是属于不同的概念, 但它们之间又有联系, 对于同样载重量的船舶, 其登记吨位小者经济性要好些。

此外,熟悉了解规范的内容及有关航运规则十分重要,特别是设计国际航线的船舶更是这样。如苏伊士运河、巴拿马运河当局,至今尚未承认1969年国际吨位公约,它们都有各自的船舶吨位丈量规则,其特点与要求也同各国规范有较大的差别。显然,要通过这两运河的船舶,应按其规范丈量船的吨位,交纳运河通行费。通常,按登记吨位收费时,往往分为若干档次,若在设计中稍不注意,船的登记吨位虽仅有较小的提高,而收费标准却可能属于上一个档次,致使设计船的营运支出有较大的增加。同时,其它方面如船舶等级、舱室标准、设备配置等要求也可能随之提高。因此,在设计中决定船的主尺度及进行总布置设计时,应注意尽可能使船的登记吨位设计在经济上合算和其他方面也有利的限度以内,这对于设计国际航线的船舶更有重要意义。

## 复习思考题

1. 什么是船的最小干舷、《海船载重线规范》等为什么要规定船的最小干舷?
2. 船的最小干舷大小取决于哪些因素?
3. 什么叫干舷甲板? 船舶设计中最小干舷的计算是如何进行的? 夏季最小干舷与其它季节区最小干舷有什么不同?
4. 为什么要刻画载重线标志? 对不同船舶有什么不同?
5. 最小干舷船与富裕干舷船有什么区别?
6. 什么是船舶登记吨位? 其主要作用有哪些?
7. 总吨位与净吨位有什么不同? 设计中如何进行计算(根据规范)或估算(设计初)?
8. 设计时对登记吨位应如何加以考虑?

## 第十二章 船舶经济性

在船舶设计过程中,无论是运输类型、运输方式的论证,还是船型的论证,作为最终评价,往往取决于经济性的好坏,因此经济与技术是船舶设计研究中二个密切相关的方面。

本章所述,并不包括经济性的广泛范畴,而只限于对船舶设计过程中的有关内容作一些扼要的叙述,且着重于单船经济论证,因为这是船舶经济性中最基础的内容。

### §12-1 船舶经济性评价的重要性

船舶经济性历来受到人们的注意,并日益受到更加广泛的重视。随着船舶吨位的急剧增大和各项船用设施的现代化以及新的船型的不断发展与涌现,在船舶设计中能精确而认真地评价船的经济性已成为十分迫切的要求。对要不要建造及造什么样的船等一些重大问题上,只有作出经济评价后,才有可能作出正确的决策。否则,不仔细研究经济性问题,决策不当,后果将不堪设想。

显然,最佳的船应是能最大限度地满足使用要求的船,但是仅用技术指标,如最小阻力等等,已显得不够了。现在已公认,确定船舶好坏的主要标志是经济性,即在确定技术要素的同时必须突出考虑经济性,或者说是在经济性的主导下充分考虑技术要素。可以说,在保证安全性的条件下,最能赚钱的船是最佳设计的船。

由于围绕着造船财务方面的问题日益复杂化,如要考虑贷款及其利息、加速折旧、津贴和减免税,以及预测在船舶使用年限内的各种价格波动等因素,这就增加了计算船舶盈利方面的困难。

由于上述原因,在船舶工程中经济性问题就变得日益重要了。

现代运输船舶是一种建造复杂、投资较大、使用期长的水运工具,它受到一定使用年限(近期及远期)、一定的服务对象(货种及旅客)、一定的作业条件(航道及码头等)的相互制约。

设计建造一艘新船时,应根据已定的运输任务和使用条件,在总结现有同类型营运船舶经验的基础上,建立各种船型方案,再通过技术经济论证,选择技术上可能先进,营运上经济合理的船型,以提高船舶的运输效率,发挥经济效益,促使船舶现代化,更好地为发展经济服务。

在同样的运输条件下,为完成已定的运输任务,从技术上说,可采用不同的船型方案。而这些技术方案,其经济效果则是不同的。对各个技术方案进行经济效果评价,就能选出经济效果最好的船型技术方案。

因此,在船舶设计中每采取一种技术措施,必须体现在经济上的有利,否则就失去了采用这一技术的意义。可以这样理解,采用一项技术(特别是先进技术)或一种设备(特别是先进的设备)要从实际出发,通过科学管理,采取切实措施,达到较好的经济效益。

在以往,船舶设计的过程仅仅理解为确定船舶技术形态的过程,对一个或多个方案常不



作或很少作经济评价的工作，这显然不符合现代船舶设计的要求。现代船舶的设计方法要求技术与经济密切结合在一起考虑，而且往往以经济评价作为最主要的衡量指标。这种把技术与经济密切结合进行的设计过程，体现出现代工程设计的特点，是一种完整的过程。图12-1是一种船舶设计完整过程的简要框图，其主要步骤如下所述：

1. 研究运输需求和相应的市场调查，进行运输类型、运输方式的论证以及进行不同船型的初步论证，对各方案进行技术经济评价。在此基础上提出设计任务书。

2. 根据任务书的要求，分析可能的技术问题(如先进技术的采用、机型及航速的选择等)、船舶尺度的选择与组合等，提出可能的方案。

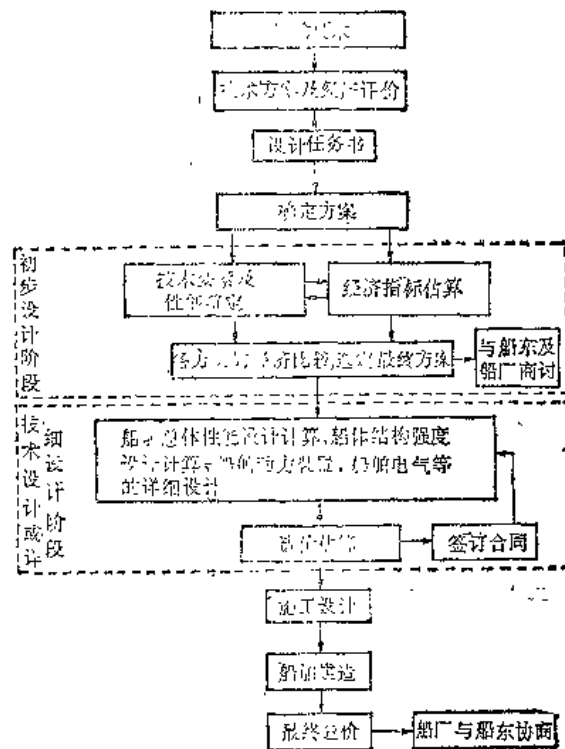


图12-1 船舶设计的完整过程示例

3. 确定各方案的技术性能，淘汰不符合技术要求的方案。估算剩余方案的造价、营运费用和收入等，计算各方案的经济指标，作出经济评价，选定最终方案。

4. 设计部门与船厂及船东讨论所推荐的方案及经济评价的情况。

5. 对商定方案进行技术(或详细)设计，估算造价，与船东签订合同，并按合同要求适当调整有关设计要素。

6. 进行施工设计、建造完工并按船厂实际情况结算最终船舶的造价，并按规定协议与船东商谈加帐或减帐的项目。

总之，技术与经济在整个设计以至建造过程中都是不可分割的两个方面，只有密切结合才能获得最终满意的结果。当然“实践是检验真理的标准”，能否达到预期的效果，还得通过营运中实践的考验。

## §12-2 船舶经济指标

船舶经济指标是指测定船舶在生产过程中的经济效果各类指标,如成本、盈利、投资效果及投资回收年限等。

船舶的经济指标是很多的,本节将扼要介绍几种国内外常用的经济指标。

### 一、单位运输成本

指船舶完成单位运量所支出的费用。

$$S_1 = \frac{Y_2}{Q},$$

$$S_2 = \frac{Y_2}{Q \cdot D_2},$$

式中:  $S_1$ ——单位运量的运输成本,元/吨或元/人次;

$S_2$ ——单位周转量的运输成本,元/吨海里(公里)或元/人海里(公里);

$Y_2$ ——包括折旧费的年营运成本;

$Q$ ——年货(客)运量,以吨(人次)计;

$D_2$ ——平均运距,海里(公里)。

单位运输成本指标,在船型技术经济论证中,大多是作为评价船型的主要指标,目前仍广泛采用。但这个指标评价的是船舶的支出方面,而没有反映收入,因此为了减少支出,会造成使设计航速偏低等的倾向。

### 二、单位投资

按船舶的单位运量平均分摊的投资

$$P_{21} = \frac{P}{Q},$$

$$P_{22} = \frac{P}{Q \cdot D_2},$$

式中:  $P_{21}$ ——单位运量投资,元/吨或元/人次;

$P_{22}$ ——单位周转量投资,元/吨海里(公里),或元/人海里(公里);

$P$ ——投资,元。

单位投资指标考虑了投资的影响,是一个辅助指标,由于没有计及营运收入,用这个指标衡量,将导致船舶尺度取小,航速偏低,设备简单等的倾向。

### 三、投资回收期

指船舶年营运收入扣除年营运成本(包括折旧费)以后的利润,不计利息地偿还其投资的年限。其倒数为“投资利润率”。

$$T_p = \frac{P}{A_2},$$

式中:  $T_0$ ——投资回收期, 年;

$A_2$ ——年利润。

投资回收期指标包含有投资及利润二方面, 因此在船型论证中被广泛采用, 常作为主要评价指标。

由于折旧费包括在年营运成本中, 因此年利润中不包括这一项, 所以在投资回收期内, 除全部回收了投资外, 还留有投资回收期内所提取的一笔折旧费。

投资回收期指标没有考虑船舶的使用年限, 以及每年收益变动的情况。

#### 四、综合经济指标

表示船舶投资和营运成本的综合性指标。

$$KS = S + P_A \cdot E,$$

式中:  $KS$ ——综合经济指标, 元/吨;

$S$ ——单位运输成本;

$P_A$ ——单位投资;

$E$ ——相对投资效果系数。

综合经济指标中由于相对投资效果系数难于确定, 通常要根据国家一定时期的政策与经济条件规定的全社会或部门的基准收益率, 这就限制了这个指标的应用。有人建议相对投资效果系数取为投资回收期的倒数, 以反映每一年的投资影响。总之, 对此有待于进一步研究。

#### 五、单位燃料消耗率

指以单位运量计的燃料消耗量。其倒数为“燃料产出率”。

$$R_f = \frac{Q_f}{Q},$$

式中:  $R_f$ ——单位燃料消耗率;

$Q_f$ ——船舶年燃料消耗量, t;

$Q$ ——年货(客)运量, 如用周转量, 则此指标改为“千吨海里(公里)燃料消耗率”。

这个指标在航线论证与船型规划中有重要意义, 在单船方案比较中一般用得不多。随着油价的上涨, 节能措施的研究, 船东对同样载重量且航速相仿的船, 日耗油量的指标很感兴趣。

除以上各经济指标以外, 考虑了资金的时间价值, 即以基本的利息关系式为基础, 现在国内外还常采用如下一些经济指标。

##### 1. 净现值

把各年的收入与支出, 按投资收益率折现后相减的结果。其含意是考虑到资金的时间价值后, 在使用期内, 能获得利润(还本付息后)的总现值。当其值为零时, 方案的收支相抵, 恰能达到投资收益率。如所得值为正, 表示投资可获得盈利, 而且越大越好。反之, 则表示亏损。

①一次投资, 各年营运收入与支出都不变的情况

$$NPV = (B - Y) \cdot SPW - P + L \cdot PW_n;$$

式中:  $NPV$ ——净现值, 元;

$B$ ——年运费收入, 元;

$Y$ ——年营运成本(不包括折旧费), 元;

$P$ ——一次投资, 元;

$L$ ——残值, 即指船舶报废时的价值, 元;

$SPW$ ——系列现值因数,  $SPW = \frac{[(1+i)^n - 1]}{(1+i)^n \cdot i}$ ,  $i$ ——利率,  $n$ ——期数(一般为年数);

$PW_n$ ——船舶使用年限(报废)时的现值因数,  $PW_n = (1+i)^{-n}$ 。

②分期投资, 且各年度营运收入与支出有变化的情况

$$NPV = \sum_{j=m+1}^{m+n} (B_j - Y_j) \cdot PW_j - \sum_{j=0}^m P_j \cdot CA_j + L \cdot PW_n;$$

式中:  $CA$ ——终值因数;

式中下标  $j$  指各该值在  $j$  年的数据。

对  $NPV$  指标可作如下几点分析:

a.  $NPV$  直接表示投资后的收益, 概念清楚, 效果直接, 受到投资者及管理人士的欢迎, 所以应用比较广泛。

b. 采用  $NPV$  指标需要测定年收入、已知投资、确定船舶使用年限  $n$  及投资收益率  $i$ 。其中投资收益率是考虑资金时间价值, 反映投资经济效益的系数, 一般由管理人员确定, 对投资来源于贷款的情况下, 它应当等于或高于贷款利率, 对危险性大的投资要适当取高些。

c.  $NPV$  指标用于方案比较中, 显然对投资大、使用年限长的方案有利。但在一般方案分析比较中, 由于船舶的使用年限在极大多数情况下相同, 投资也基本相同或仅有不大的差别, 这就是  $NPV$  指标被广泛采用的原因。

## 2. 净现值指数

单位投资的净现值。净现值指数  $NPVI$  适用于投资额相差大而使用期相等的方案论证。

①一次投资

$$NPVI = \frac{NPV}{P},$$

②分期投资

$$NPVI = \frac{NPV}{\sum_{j=0}^m P_j \cdot PW_j}。$$

## 3. 平均年盈利

指船舶使用期内平均每年的盈利, 即  $NPV$  在使用年限  $n$  年内的平均分摊

$$AAB = NPV \cdot CR;$$

式中:  $AAB$ ——平均年盈利;

$$CR——资金回收因数, CR = \frac{1}{SPW} = \frac{(1+i)^n \cdot i}{[(1+i)^n - 1]}。$$

此指标与  $NPV$  相比, 消除了使用年限不等的影响, 但仍受投资额大小的影响。

#### 4. 平均年盈利指数

单位投资的平均年盈利。平均年盈利指数  $AABI$  适用于投资相差悬殊, 收入已知而使用期不等的方案论证。

$$AABI = \frac{AAB}{P}。$$

#### 5. 内部收益率

指还本付息期内使净现值等于零的投资收益率, 表示方案负担得起的贷款利率, 因而取它的值最高的方案为最优方案。

如忽略残值  $L$ , 则一次投资时

$$NPV = (B - Y) \cdot SPW - P = A \cdot SPW - P = 0,$$

$$\frac{A}{P} = \frac{1}{SPW} = CR = \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1}。$$

若  $n$  已知, 根据年收益  $A$  及投资  $P$  即可求得  $i$ , 此即内部收益率  $IRR$ 。

对  $IRR$  指标可作如下几点分析:

a.  $IRR$  与  $NPV$  相比无使用年限及投资额大小的影响, 因此是一个获得比较广泛应用的指标。

b. 但与  $NPV$  相比, 在收益方面不太直观, 它是以利率的形式反映出来的, 如投资是贷款, 则  $IRR$  大于贷款利率, 表示有利可图。有些管理人员甚至更喜欢用  $IRR$  指标。

c.  $IRR$  指标与  $NPVI$  及资金回收因数  $CR$  在实质上没有什么差别, 用在方案比较时, 会得到同样的结论。

#### 6. 平均年费用

将总投资的现值用复利计算平均分摊到每年, 再加上每年平均的营运费用。如设一次投资, 各年费用相等情况, 则

$$\begin{aligned} AAC &= P \cdot CR + Y - (L \cdot PW_n) \cdot CR \\ &= (P - L)CR + Y + L \cdot i; \end{aligned}$$

式中:  $AAC$ ——平均年费用, 元/年;

$Y$ ——年营运成本;

$L$ ——使用  $n$  年后的残值;

$CR$ ——资金回收因数;

$PW_n$ ——现值因数。

$AAC$  指标适用于使用期不同, 而不考虑收入 (即仅衡量支出) 的方案论证, 如交通船、调查船等等。显然  $AAC$  最小的方案最佳。

#### 7. 必要运费率

为了达到预定的投资收益率, 单位运量所需要的支出。即单位运量的平均年费用。

$$RFR = \frac{AAC}{Q},$$

式中:  $RFR$ ——必要运费率, 元/吨或元/人次;

$Q$ ——年货(客)运量,船舶在一年内实际运送的货(客)量。旅客按人次计,货以吨计。

$RFR$ 指标可理解为每运输一吨货(或人次)的成本,适用于收入不能预估,运量不同的方案论证。显然, $RFR$ 值越小的方案越好,也可以看作竞争能力越强。

以上扼要介绍了当前国内外在船舶经济论证中一些常用的经济指标,现小结如下几点:

①所有的经济指标是评价船舶的投资、利润及成本中的一项或二项。

②经济指标是很多的,它们各自反映了船舶经济性的某一侧面,可以说很难有一个指标能全面概括起来以适用于各种具体情况与要求。

③虽然一般认为在上述指标中 $NPV$ 、 $IRR$ 及 $RFR$ 应用比较广,但在方案论证中最好多提供一些指标,供有关人员正确作出判断与决策。

④各经济指标的计算,从方法上看不存在困难,但计算中数据的正确性却至关重要,在具体计算中稍有疏忽,必将导致错误的结果,这是十分关键的。

### §12-3 经济性计算

进行船舶经济性计算,很重要的是必须估算出投资,运费收入及营运成本。

#### 一、造价

船舶的造价,船东、船厂及设计部门都是很关心的。因此造价的估算十分重要。一般造船厂都有专门的估价部门进行造价估算。

船舶设计的主要图纸及技术文件(特别是材料及设备清单)出来后,估价部门根据市场情况逐项列表进行估价。这个估价可作为船厂报价或与船东谈判签订合同的依据。由于各造船国家之间的竞争,要报出具有竞争性的船价,不只按船厂估算的计划成本及计划利润,而必须“随行就市”,否则无法适应当前船舶市场的现状。

在造价初步估算中,通常采用如下二种方法。

##### 1. 整船一次估价法

在缺少资料,且对估价的精度要求不高的情况下,可根据载重量或排水量(客船可根据载客量、拖船可按主机功率)等,参考有关型船资料进行估算。如图12-2为海船每载重吨造价

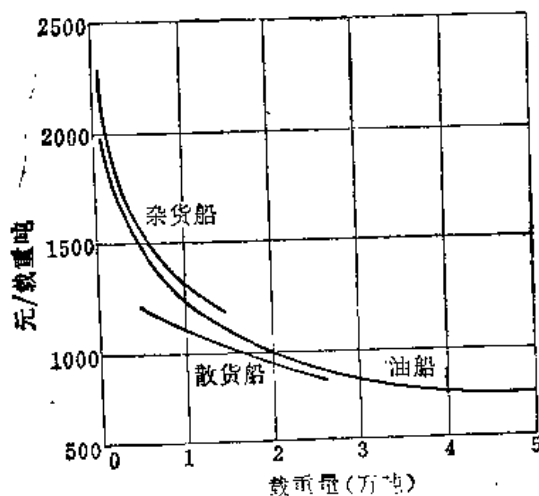


图12-2 海船每载重吨造价

的统计资料，表示了造价与载重量的一般规律。其绝对值则应按当时国内外船舶的实际价格进行修正。事实上，船舶造价受种种因素的影响，在估价时要逐一进行修正。例如：

①机型修正。图12-2的造价中，船舶的主机为重型低速柴油机，如现为中速柴油机，每载重吨造价约减2%；高速机约减3%等。

②航速修正。图12-2的航速约在12~15kn范围，航速每增加1kn，货船及油船造价约加5%。

③批量修正。如为批量建造，则造价可降低5~20%。

④设备修正。如采用新技术、新设备、特殊要求(如冰区加强等)等，均需按具体要求及市场价格进行修正。

此外，造价还受物价的影响及市场供需关系的影响等等。凡此种种，都会在造价中反映出来，需作适当调整。

## 2. 分项估算法

根据设计工作的进程，如资料比较完整，可采用分项估算法，分项愈详细，估算结果则愈准确，在设计初始阶段，不可能分得过细，此时，一般可分为船体、舾装、机电及其它四大项来估算。

①船体造价。这一项主要包括全船钢料。如船体重量已估出，乘以每吨单价，即得船体造价。应注意在设计中估算的重量为净重，而船厂估价中采用毛重，根据实际情况，毛重比净重要增加10%~15%。每吨单价根据船厂情况以及材料来价与人工费等而变动。由于我国目前钢材紧张，如用议价钢材，则单价将大大增加。

②舾装造价。这一大项包括船体木作、船舶属具、船舶设备与装置、舾装木作、生活设备及工作用具、甲板敷料、油漆、冷藏通风及船舶管系等。根据舾装重量，乘以每吨单价，即得舾装造价。

③机电造价。这一大项包括主辅机、锅炉、管系、轴系、电气等。可采用两种方法估算：一是按机电重量乘每吨单价；另一种是按主机功率乘每马力单价。此外还采用把机电部分造价分为主机部分与其他部分，主机价格按主机出厂价格估算；其他部分可按主机每马力单价乘主机马力求得，也可按其他部分重量乘每吨单价估算。

④其它造价。这一大项包括准备费用与辅助工程、胎架、放样、下水等费用；利润，税金，验船费，企业管理费，科研设计费等。

我国各种船舶的其它造价约为前三项造价总和的15%~30%。

## 二、营运成本

营运成本是指船舶全年消耗的费用，一般分为船员费、折旧费、修理费、保险费、燃料费、润料费、物料费、港口费、企业管理费及其他费用。

### 1. 船员费用

分为基本工资(取船员工资的平均数，包括病假、公休顶替人员和培训人员的工资)，伙食费，航行津贴，奖金和工资附加费等项。

我国的船员费用约占总成本的3~5%。随着国民经济的发展，船员技术水平和人民物质文化生活水平的提高，船员费用将不断调整。

### 2. 折旧费、维修费与保险费

这三项统称为“与造价有关的费用”。

①折旧费。交通部在1977年曾组织船舶使用年限调查,经研究后提出各类船舶的使用年限建议如下:

杂货船	25~30年,
客货船	25年左右,
原油及轻质成品油船	18~20年,
重质成品油船	25~30年。

随着生产和技术上的迅速发展,船舶使用年限有不断减小的趋势。在折旧费计算中,一般残值取造价的10%。

②修理费。我国现行船舶修理,分为岁修与特检两种。年修理费可按船舶造价提成,所提取的百分数分别为:长江船4.5%,沿海船3.5%,远洋船2.5%,一般认为远洋船的百分比偏小。

③保险费。一般根据船舶使用情况,由航运公司提出保价(保价不等于造价),为简单起见假定保价与造价相等。年度保险费率,一般取0.45%~0.7%,其高低取决于船的新旧、大小、航程长短、货物种类、航区条件等多种因素。一般杂货船取0.55%,油船取0.7%。

### 3. 燃料费

已知主机、辅机、锅炉的马力和单位油耗量,使用时间并根据当时的燃料价格,可以求得航行与停泊的燃料,进而求得年度燃料费。

主机常用持续功率为最大持续功率的80~85%。所用轻、重油的比率(进出港用轻油,航行用重油),长江、沿海与近洋为20%:80%;远洋为15%:85%。

柴油发电机常用功率,在航行与用船上起货设备进行装卸货时为80%,停泊时为70%。

锅炉的使用,随主机而异。一般柴油机船航行时用废气锅炉,停泊时用燃油锅炉(点火时间为停泊时间的20%~25%)。原油与重质成品油船要考虑暖油问题。

燃料费可按主辅机与锅炉的润滑油消耗率来细算,但一般取燃料费的一个百分比。海船低速机约7~10%,中速机10~15%;长江船取16.7%。

### 4. 港口费

港口费在成本中所占比重,大体远洋船约为1/3,长江船约为1/5,沿海船约为1/10。最近几年来港口费有上升趋势。

国外的港口费名目繁多,各港规章制度不同,同一费用的费率各港相差悬殊,每项费用还有节外生枝,有种种附加费,而且受通货膨胀影响,不断涨价。

港口费一般可分为与船吨有关和与货吨有关两大类。

与船吨有关费用,包括拖船、引水、码头、港务、代理费等。一般以净吨或总吨计算。

与货吨有关费用,包括装卸费、理货费、代理费、税金等,随货种不同而不同。

年度港口费 = 航次数 × 净吨位 × 与船吨有关费率 + 年货运吨数 × 与货吨有关费率。

### 5. 其他费

包括材料(供应品)费、管理费、其它开支等。在年度总成本中一般占15%左右。

从以上可见,年度总营运成本为:

$$\text{总成本} = \frac{1}{0.85} (\text{船员费用} + \text{与造价有关费用} + \text{燃料费} + \text{港口费})。$$

我国基本建设资金改拨款为向银行贷款,这样在计算营运成本时应予考虑。有人建议可



分三大项计算,即:

资本费用 包括偿还贷款及支付利息等。

日常营运费 包括船员工资、修理费、保险费和企业管理费等。

航行营运费 包括燃料料费、港口费、货物装卸费等。

### 三、运费收入

年运费收入等于年运输能力乘货运费率。

年运输能力常用年货(公)运量和年货(客)运周转量表示。

$$Q_t = 2C_c \cdot W_c \cdot n;$$

$$Q_{tm} = 2C_c \cdot W_c \cdot n \cdot R;$$

式中,  $Q_t$ ——年货运量(t);

$Q_{tm}$ ——年货运周转量;(t·n mile或t·km);

$C_c$ ——载货量平均利用率(%);

$W_c$ ——载货量(t);

$n$ ——年航次数(往返算一次);

$R$ ——预定航线的航程(n mile或km)。

#### 1. 年往返航次数 $n$

年往返航次数  $n$ , 系指船舶在一年营运期内船舶往返周转的次数, 其计算式为:

$$n = T_n / t_{rt};$$

式中,  $T_n$ ——年营运期(天);

$t_{rt}$ ——往返航次时间(天)。

#### 2. 年营运期 $T_n$

船舶营运期系指船舶全年参加营运的天数, 它主要由每年的平均修理时间所确定。对于封冻航道, 还受通航期的影响。年平均修理时间为船舶在整个使用期内各类修理总时间的分摊, 它与船舶使用年限、修理周期、修理范围和每次的修理时间直接有关; 同时亦随船舶类型、主机类型和航行区域的不同而变化。在实际计算时可取同类型船舶航行的实际资料选取。一般油船营运期为295~315天, 杂货船为310~330天。国外资料中取得还要高些。

#### 3. 往返航次时间 $t_{rt}$

往返航次时间系指船舶在航线上往返一次所需时间, 其计算式为:

$$t_{rt} = \sum t_s + \sum t_p;$$

式中,  $t_s$ ——航行时间(天), 包括全速航行时间和进出港及通过运河等限速航段所需的时间;

$t_p$ ——停泊时间(天), 包括装卸货等辅助作业时间在内。

## §12-4 船型选择中的一些规律

本节将叙述经济性计算后分析出的一些规律, 并从中引出的一些基本概念。

### 一、运距愈长, 船舶吨位愈大, 经济性愈好

#### 1. 从运输能力来看

在一定的航速和装卸条件下,运距愈长,载重量愈大(吨位愈大)的船,年运输周转量愈大。在一定的运距条件下,如货源不受限制,港口及航道对船的尺度也没有限制时,大吨位船的运输能力比小吨位船的大;运距愈长,运输能力的增长也愈快。这说明,大吨位船宜用于长运距,反之则用于短运距。

从图12-3对油船的论证分析可见,从运输能力来看,不同吨位的油船有一定的合理运距。图中表示  $2 \times 10^4$ 、 $6 \times 10^4$ 、 $7 \times 10^4$  t油船的合理运距,根据资料分别为3000、5000及7000 n mile。

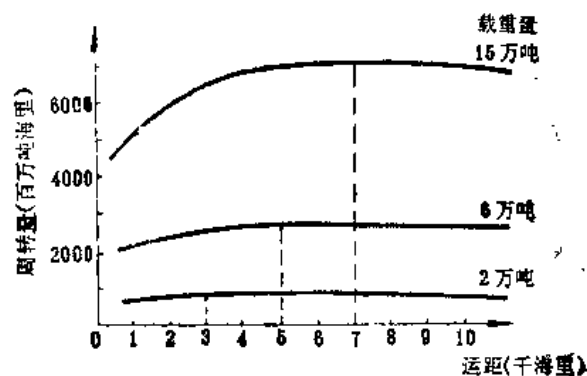


图12-3

## 2. 从单位运输成本及利润来看

图12-4是油船经济分析资料,从图中可见,在一定的航速和装卸效率条件下,每吨货物的运输成本随运距增长而增加;而每吨海里的成本则随运距增长而降低。同时,在各种运距下,大吨位船的运输成本均较小吨位船为低。此外,从图中也可看出,当运距小于五千海里时,运距增长,运输成本降低的幅度较大;超过10000 n mile,成本降低的幅度平缓,这是因为运距增加而年周转量反而下降之故。

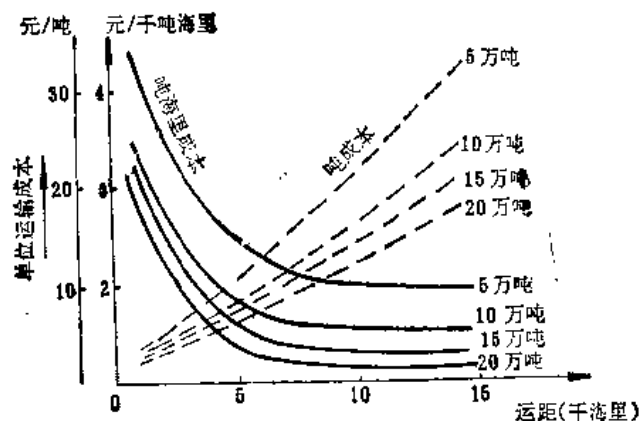


图12-4

图12-5是在预定航线上航速一定时的典型分析曲线。该图的上半部表示单位运输成本与船舶吨位的关系曲线。随着船舶吨位的增加,单位运输成本下降,至C点为最低点。图的下半部,表示年营运成本( $F'A'C'E'$ 曲线)及年运费收入( $F'B'D'E'$ 曲线)。对应于最小单位运输成本C的船舶吨位,具有最大的年利润 $D'C'$ 。但一般来说,在该吨位时尺度往往偏大,要注意受外界条件的限制(如航道、港口、船台...等)。此外,还可能受到货源的限制。如货源受限制,此时年运费收入最多达到如图上 $B'E'$ 的最大收入,这时船舶的最佳吨位即在最大

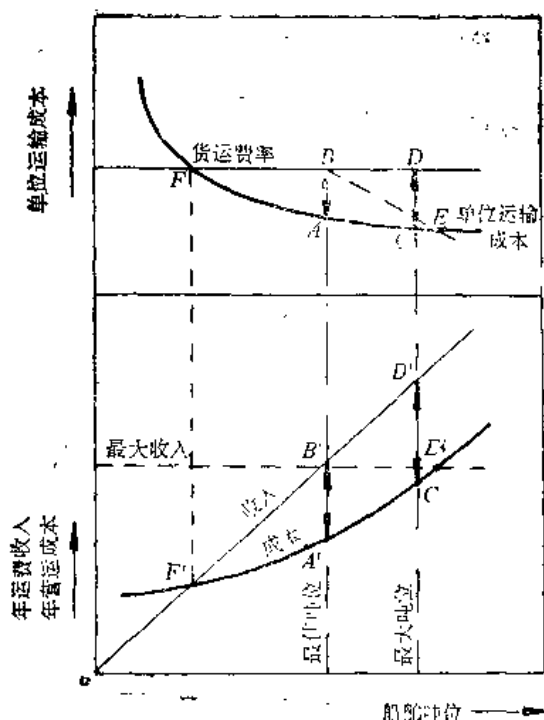


图12-5

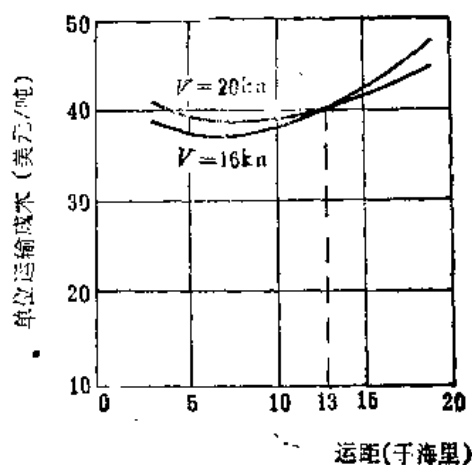


图12-6

收益值 $A' B'$ 处。任何超过最佳吨位的船舶，只是增加开支而收入保持不变。

## 二、运距长，高速船有利，反之，低速船为优

在一定的吨位和装卸条件下，随着航速的增大，单位运输成本增加；如以周转量（吨海里）计，随着运距的增加，单位运输成本降低。

图12-6为国外对8000t左右船舶采用两个航速方案计算的结果。从图中可见，当往返运距在13000n mile以下时，16kn航速方案有利，反之，20kn方案有利，即高航速的船航行于长航线经济性较好。

## 三、装卸效率愈高，船舶吨位愈大，经济性愈好

图12-7为对万吨级杂货船计算的结果。在一定的运距和航速条件下，如果装卸效率由500吨/天增加到5000/天，则3000吨级船的运输能力只增44%，而15000吨级船却可增加193%。由此可见，提高装卸效率对大吨位船是十分有利的。

## 四、装卸效率愈高，愈有利于采用高速船

如图12-8可见，在一定的船舶吨位和运距条件下，单位运输成本随装卸效率的提高而下降。当装卸效率由1000吨/天提高到2000吨/天

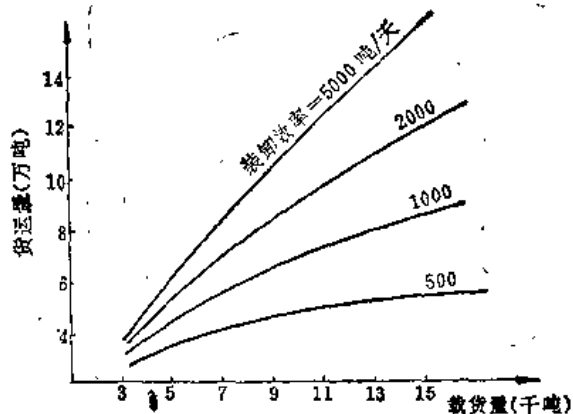


图12-7

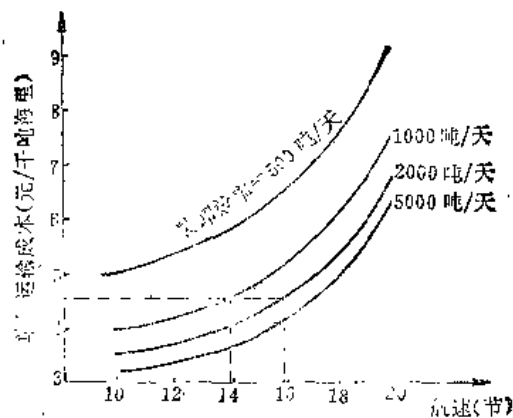


图12-8

时，在同一运输成本情况下，航速可提高2节左右。由此可见，提高装卸效率有利于采用高速船舶。集装箱船采用较高航速，就是由于集装箱有较高装卸效率之故。

### 五、对载重量一定的船，一般有一个最佳航速

图12-9为一典型计算曲线。从图中可见，对一定吨位的船舶来说，随航速的增加年运费收入增加，但年营运成本增加得更快些，在某一航速处获得最大年收益，此即为最佳航速。如货运费率增加而收入增加或燃料费下降而支出减小，则相应的最佳航速要较通常的最佳航速为大。

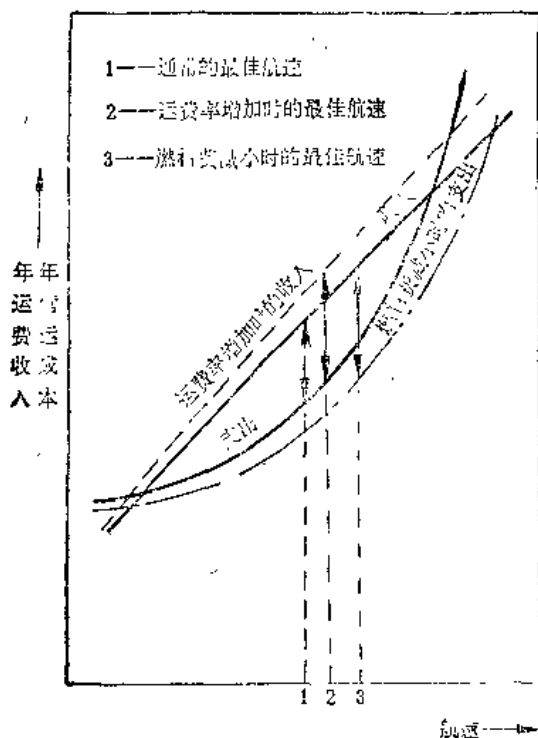


图12-9

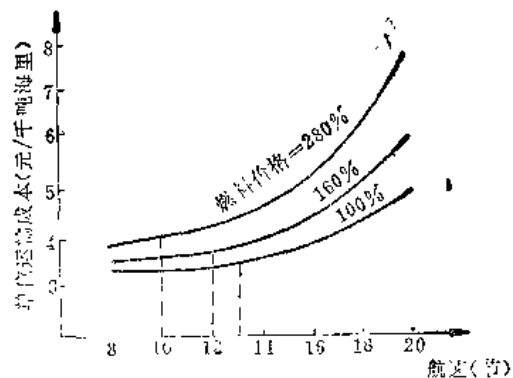


图12-10

从图12-10计算曲线可见，随着燃料价格的上涨，相应的航速下降。说明燃料价格对航速的影响很大。在我国船舶的营运成本中，燃料费占的比重较大，这一情况将更显著。自从

1973年能源危机以后,船舶的航速有所下降,也是出自上述原因。

船舶造价对船舶的航速也有很大影响。在同一单位运输成本时,造价较低的,相应的航速要高些。

在船型论证中,通常要对可能的各种船型方案,进行经济性计算,并将计算结果提供有关人员进行分析研究,最后权衡各方面的利弊,选定某一船型方案。在计算方法中,目前常用的有“网格法”,即在船型要素可能的变化范围内,等间距地选择若干数值,并组成各种方案,再分别进行技术经济计算;也可选用以某些经济指标为目标函数的优化方法;也有采用正交法进行方案比较。

在经济性计算时最关键的是原始数据的准确性,如原始数据出入较大,则计算结果将不能反映船舶的实际经济情况,反而会造成一种虚假现象,也会造成决策人员作出不当的判断。这是在经济性计算中要特别重视的。

## 复 习 思 考 题

- 1.为什么船舶设计中越来越重视经济性问题?
- 2.评价船舶及选择设计方案的主要指标是什么?
- 3.体现船舶技术与经济统一的设计过程是怎样的?
- 4.船舶经济性计算中的单位运输成本、投资回收期、年利润、净现值、必要运费率等是怎样计算的?
- 5.船的造价、营运成本、运费收入等是如何计算的?
- 6.运输距离、船舶吨位与经济性的关系怎样?
- 7.从经济性角度、应如何根据船的运输距离的长短来选择适宜的航速?
- 8.装卸效率与载重量同经济性有什么样的联系?
- 9.从经济性出发,船的航速选择与哪些因素有关?

# 第十三章 船体型线设计

## §13-1 概 述

船体型线设计是关系到船舶全局性的设计项目之一,对新船设计的成败有着重要影响。因此,在船舶设计的初始阶段确定总体设想及选择主要要素时就要进行考虑。

当新船的排水量和主尺度确定以后,在船体型线设计时又要注意与总布置设计相配合、协调。船舶设计的许多工作只有在型线图确定以后,才能正式进行下去,如总布置设计、结构设计、舱容及性能计算等等。

船体型线设计的成功与否,还直接影响到船的技术经济性能,如①性能。船舶的静力与动力性能,大多与船体型线有很大关系,包括船的浮态、快速性、耐波性、稳性、操纵性等等。②总布置。包括船主体内舱室的布置,特别对尾机型船的机舱;甲板面积及甲板上的设备、舱室的布置等都与船体型线有密切联系。③结构与工艺。包括结构上强度、振动等是否合理、施工建造是否方便等也与船体型线有关。

本章将讨论船体型线的各种形状特征与参数的选择等内容,最后还将联系前面各章的内容,对设计船体型线时应考虑的因素进行归纳分析,以加深对问题的理解。总之,船体型线设计是整个设计中的一项很重要的工作,应认真对待。

目前在船舶设计中生成型线或者说绘制型线图的常用方法有三种:

**优秀母型改造** 也就是选择优秀的实船船体型线作为母型,结合新船的使用要求及特点进行修改,从而得到新船的船体型线。由改造母型得出新船型线是常用的方法之一。

**船模系列资料** 对船体的外形,国内外许多船模试验池都进行了大量的试验研究工作,提出了很多的系列资料,如在第六章中已提到的美国的陶德60系列;英国的BSRA系列;瑞典的SSPA系列,我国的长江客货船系列等等都是较好的型线系列,而且试验资料比较齐全。

运用船模系列资料的好处是既可以很快得出船体型线的型值,很方便地绘出型线图,又能较准确地估算出船体阻力。当然,使用时应注意它们的型线特点与适用范围。

**电子计算机生成型线** 包括母型改造及数学型线。这方面的进展,对改进传统的设计方法,加快设计进度、提高设计质量都有重要意义。使用这种方法时,只要根据设计者所确定的若干个参数,很快就可以得出一个新船型线图的横剖型线、型值表以及各项静水性能等等数值。

通常,除了完全采用系列资料设计的型线或者是不重要的产品以外,一些重要的新船的船体型线往往都要通过船模试验,包括快速性与耐波性试验才能最后确定。有时还要做几个方案进行比较,分析,以选择一个最佳的方案。

显然,不论用哪种方法设计型线,都必须掌握船体主要形状参数和特征对船的性能、布置等各方面的影响规律,并以此作为设计型线的基础。

## §13-2 船体主要形状特征与参数的选择

船体型线设计就是决定船主体部分的形状,即露天连续甲板以下部分的形状,包括水下部分与水上部分,而研究的最主要方面是水下部分的形状。

表征船体外形的特征与参数主要是:①主尺度与船型系数包括 $L$ 、 $B$ 、 $T$ 、 $D$ 、 $C_b$ 等;②横剖面面积曲线形状;③设计水线形状;④横剖线形状;⑤首、尾轮廓及甲板线(脊弧线、舷弧线)的形状。其中②~⑤可称为“型线要素”。

在船舶设计中,确定 $\Delta$ 、 $L$ 、 $B$ 、 $T$ 、 $C_b$ 、 $D$ 以后,设计船体型线,通常是从横剖面面积曲线形状、设计水线面形状、横剖面形状、首尾轮廓线及甲板边线的形状等几个方面来进行控制与协调,并最后完成型线设计的。

### 一、横剖面面积曲线

通常型线设计是从横剖面面积曲线出发来进行的。

#### 1. 曲线特征

由船舶静力学可知,横剖面面积曲线有如下几个特征,

①曲线面积等于船体水下排水体积。曲线的纵座标代表船长方向相应点处的横剖面面积 $A_i$ ,因而整个曲线的面积就是排水体积 $\nabla$ 。所以船舶排水量的大小在型线设计时是用横剖面面积曲线下的面积来控制的。即设计型线时,使每站横剖面面积等于面积曲线相应站处的 $A_i$ ,如图13-1所示。

②曲线的形状表示排水体积 $\nabla$ 沿船长的分布情况。

③曲线面积的丰满度系数也就是船的棱形系数 $C_p$ ,且有

$$C_p = \frac{\text{面积曲线下的面积}}{L_{pp} \cdot A_m} = \frac{C_b}{C_m} \quad (13-1)$$

④面积形心的纵向位置等于船浮心的纵向位置 $X_b$ 。

⑤曲线的形状对摩擦阻力影响不大,但对剩余阻力有相当大的影响。

由此可见,该曲线下的面积及其形状在很大程度上决定了船体型线,因而是设计型线的出发点。

#### 2. 棱形系数 $C_p$ 的选择

$C_p$ 值表示排水体积的纵向分布,即当 $C_b$ 一定时, $C_p$ 小, $\nabla$ 集中在船中,首尾两端尖瘦;当 $C_b$ 一定时, $C_p C_m$ 大, $\nabla$ 沿船长方向分布较均匀,船两端比较丰满。通常选取 $C_p$ 时考虑的因素有:

①阻力方面。由船舶阻力可知, $C_p$ 的大小与剩余阻力 $R_r$ 的关系较大,对应于阻力上最佳的 $C_p$ 值是随傅汝德数 $Fn$ 的提高而增加的。

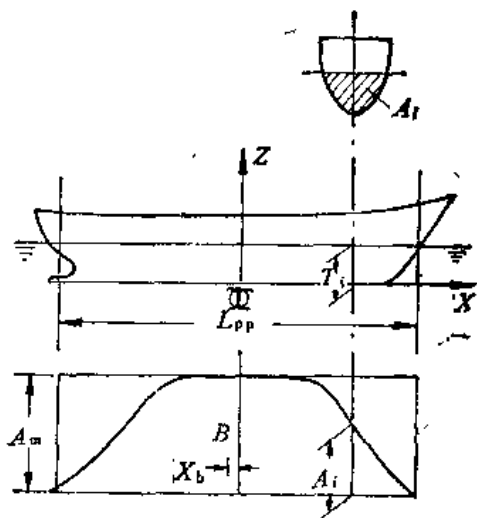


图13-1 船体横剖面面积曲线示意图

如 $F_n \leq 0.31 \sim 0.32$  航速较低的船,最佳棱形系数 $C_{popt}$  值在 $0.50 \sim 0.52$ 之间,这是因为低速时,兴波主要集中在船首部,将船的 $\nabla$ 集中在船中,使尾部尖瘦些对减小兴波阻力有利,所以 $C_p$ 取小些为好。

当船的 $F_n > 0.32$ 时,对应的 $C_{popt} \approx 0.53 \sim 0.65$ ,这是因为随着 $F_n$ 的增加,兴波范围自船首部向后扩展,直至延伸到中后,这时 $R_r$ 占总阻力的百分数也逐渐增加将达50%以上,所以将 $C_p$ 取大些,船的 $\nabla$ 向两端分散,使其沿船长方向分布均匀些,对减少 $R_r$ 是有利的。

②经济性。前面讲的是从阻力性能最佳考虑的 $C_p$ 值,实际上常从经济性角度进行选取。如对 $F_n = 0.2$ 的低速船,经济方形系数 $C_{be}$ 大致在 $0.75 \sim 0.80$ 之间,假定取为 $0.75$ , $C_m$ 值通常为 $0.98 \sim 0.99$ ,则 $C_p$ 应在 $0.76$ 左右,这与阻力上对应的方形系数 $C_{popt}$ 值 $0.52$ 有很大的差别。因此,除了对应于阻力最佳的 $C_{popt}$ 以外,还有一个从经济性出发的实用的 $C_{pe}$ 值。这是选取新船 $C_p$ 时应该注意的。根据统计资料, $C_{pe}$ 值的大致范围如表13-1。

表13-1 民用船舶 $C_p \sim F_n$ 统计表

$F_n$	$C_{popt}$	$C_{pe}$
$0.24 \sim 0.28$	$\sim 0.52$	$0.62 \sim 0.65$
$0.30$	$\sim 0.52$	$0.58 \sim 0.62$
$0.34$	$0.52 \sim 0.53$	$0.56 \sim 0.60$
$0.38$	$0.56 \sim 0.58$	$0.56 \sim 0.58$
$\geq 0.44$	$0.63 \sim 0.65$	$0.63 \sim 0.65$

当 $F_n > 0.38$ 时,阻力上最佳的 $C_{popt}$ 和实用上 $C_{pe} = C_p / C_m$ 值比较一致。

③总布置。 $C_p$ 值的大小影响到船体首尾两端的肥瘦程度。如对尾机型船, $C_p$ 取得太小,两端尖瘦,机舱布置将感困难。又如对双桨船, $C_p$ 的大小要顾及到螺旋桨的出轴情况。 $C_p$ 太小,轴过早穿出,悬臂轴很长,这对强度及振动等不利。

④建造工艺。对于小船来说, $C_p$ 太小,船体两端过份尖瘦,施工建造将带来困难。

⑤其他。 $C_p$ 、 $C_b$ 、 $C_m$ 的协调配合对船体型线光滑及流体动力性能有较大影响。

如 $L/B$ 小的船, $C_p$ 不能太小,因为当船的排水量 $\Delta$ 一定时,船长短了,若 $C_p$ 太小,则前体容易产生“突肩”,出现附加的横波系,使阻力增加。

又如 $C_b$ 小的船, $C_m$ 相对也应小些,否则较难做到型线光滑;但 $C_b$ 小的船,若 $C_m$ 太小,也容易产生突肩,导致兴波阻力增加。而对 $C_b$ 大的船,为减小 $C_p$ ,应尽量取大的 $C_m$ 。同时,对 $L/B$ 小的船, $C_m$ 也应适当小些,否则也难以使曲线光滑协调,等等。这些都是在设计型线时应加以注意的。

$C_m$  值对阻力的影响很小,主要是从与 $C_b$ 、 $C_p$ 的良好配合上加以确定。

图13-2(a)、(b)分别表示出 $C_p$ 、 $C_m$ 与 $C_b$ 以及 $F_n$ 之间的配合关系,可作为设计时参考。

### 3. 浮心纵向位置 $X_b$

当船的排水量 $\Delta$ 、主尺度和 $C_p$ 确定以后,影响横剖面面积曲线形状的一个重要参数是 $X_b$ 。 $X_b$ 表示 $\Delta$ 的前后分布情况,也就是说 $X_b$ 的变化,可以使面积曲线前后移动。选取 $X_b$ 应考虑的因素是:



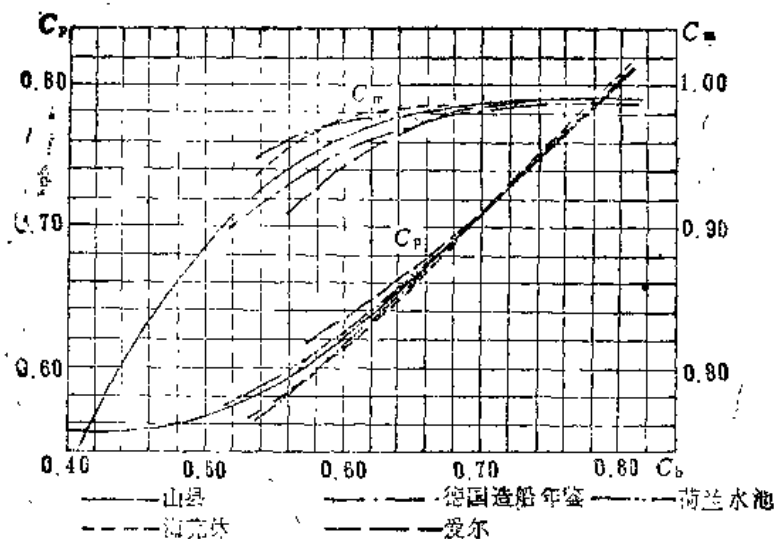


图13-2(a)  $C_b$ ,  $C_m$ ,  $C_p$ 的关系曲线

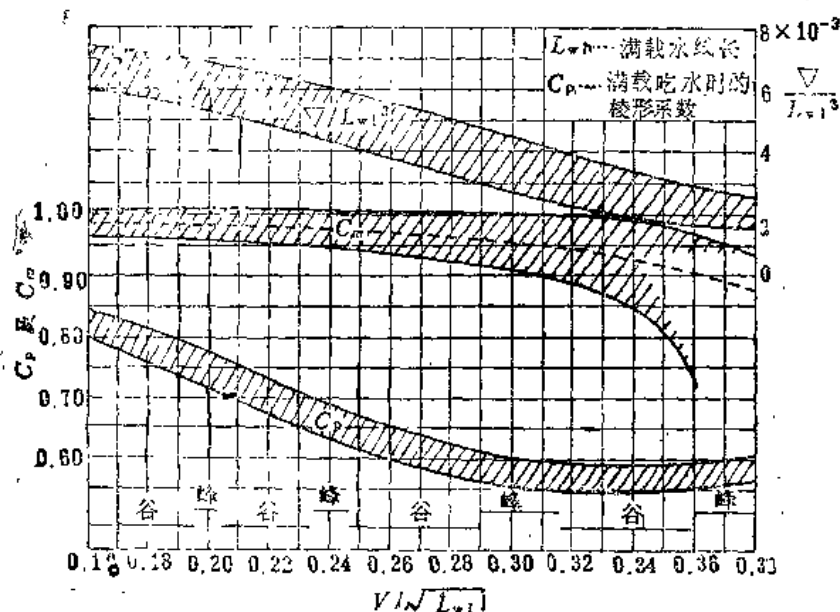


图13-2(b)  $C_p$ ,  $C_m$ 及 $\nabla/L$ 与 $F_n$ 的关系

①阻力性能。因为 $X_b$ 的位置影响到横剖面面积曲线前后体的比例，对阻力是有影响的。横剖面面积曲线的前体形状与兴波阻力 $R_w$ 的关系较大，而后体的形状对形状阻力 $R_a$ 的影响较大。一般的规律是，当 $F_n$ 减小时，浮心位置 $X_b$ 前移。这是因为对低速船来说，兴波阻力 $R_w$ 与形状阻力 $R_a$ 相比， $R_w$ 所占比例较小，而形状阻力 $R_a$ 所占比例较大，也就是说剩余阻力的主要成分是 $R_a$ ，将船体浮心位置向前移，以便加长去流段、削瘦船体后端，这对减少形状阻力是有利的。而前体稍胖，对兴波阻力影响不大。潜水艇的艇体做成水滴形就是因为在水下航行时不用考虑兴波阻力(其 $R_w = 0$ )，而形状阻力却可大大减小。对于中高速船，或者说，随着 $F_n$ 的不断升高，通常浮心位置 $X_b$ 向后移，原因正好相反，因为随着 $F_n$ 升高， $R_w$ 在剩余阻力中所占比例逐渐增加，这时将 $X_b$ 后移以削瘦船体前端，增加进流段长度对减少 $R_w$ 是有好处的。

综上所述，在某一 $F_n$ 数值或确定的 $C_p$ 值下，应该有一对对应于阻力最佳的 $X_{bopt}$ 值，通常

有一个范围，以曲线的形式表达可以如图 13-3 所示。关于  $X_{b, opt}$  与  $Fn$  或  $C_D$  的关系人们做了大量的试验，结论不尽一致。原因是多方面的。

一是导致  $X_b$  的变化因素很多，包括  $C_b$ 、 $L/B$ 、 $B/T$ 、 $Fn$ ，平行中体长度等等，通常采用传统的型线设计方法来改变  $X_b$  时，不大可能保持其他所有因素都不改变；二是不同的船体型线特征对阻力的影响是不同的，同一  $X_b$  值，不同型线所得到的阻力值也不相同。试验表明，对特定的型线来说  $X_b$  在  $1\%L$  的范围内变化，阻力所受影响较小，双桨船的最佳浮心位置要比相应的单桨船后  $1\%L_{pp}$  左右；快速双桨船的最佳浮心位置约在船中后  $2.0\sim 3.5\%L_{pp}$ 。此外从总的推进效率上看，实际浮心位置稍后于阻力上最佳位置（如向后  $0.2\sim 0.3\%L_{pp}$ ）是有利的。在选用某一系列资料时，可根据它所提供的  $X_b$  最佳位置，再考虑其他因素来选择合适的  $X_b$  值。但是，应该指出的是，一般试验资料给出的最佳浮心位置都是以  $C_b$  与  $Fn$  的适宜配合为前提的。如果由于使用等原因要求  $C_b$  ( $C_D$ ) 相对于船主要使用状态下的  $Fn$  偏大（上限界值附近），则浮心位置应适当偏后，以降低船首部的兴波阻力。对于设计储备功率较多的定期船，为了使船能有效地使用储备功率来增加航速，不因气候等因素的影响而延误班期，浮心位置也应比正常使用航速下所对应的最佳浮心位置稍后些。

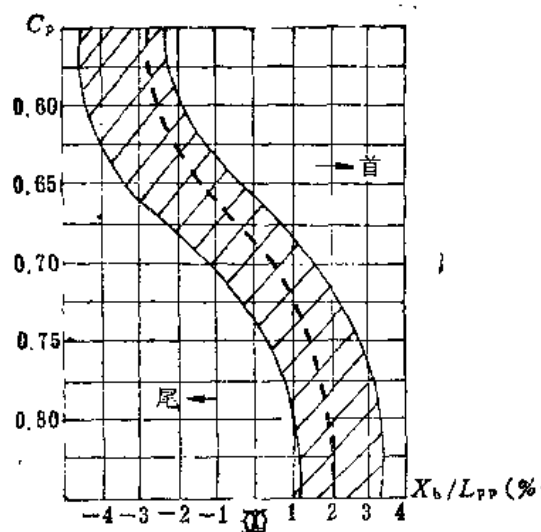


图13-3 浮心纵向位置

②纵倾调整。由静力学可知，船的浮心与重心的纵向位置决定着船的浮态，就是说由于浮心与重心相对位置不同，船可以是正浮、也可以出现首倾或尾倾。对于尾机型货船来说，空载时容易出现尾倾；满载时如处理不当则容易发生埋首现象（首倾）。因此纵倾调整是设计中应十分重视的一个问题，因为浮态对船的使用及阻力性能等都有影响。最好是通过总布置的舱室划分与布局合理调整，使船达到适宜的浮态，又使  $X_b$  处于最佳位置附近。但有时因各种因素的限制使改变重心纵向位置发生困难，这时则有可能要对阻力作出一定牺牲，从保证有适宜的浮态出发选择  $X_b$  值。

某些尾机型船，为了便于机舱布置，缩短机舱长度，或某些较瘦的快速双桨船为了避免尾轴伸出过早过长、轴包架或轴支架尺度过大，将浮心适当取后些比起将  $C_D$  适当取大些在总的效果上更为有利。

③特殊要求。如破冰船  $X_b$  在船中前很多，原因是要使船体首部胖些，以利于破冰。

综合起来，在设计中选择  $X_b$  的数值时，通常主要是从阻力出发，顾及纵倾调整的需要来确定的。同时应考虑到其他方面的要求。图13-4为单桨船的最佳浮心位置与棱形系数的关系曲线，可供设计时参考。

#### 4. 平行中体或最大横剖面的位置

平行中体是指横剖面面积曲线中部的一“直线段”，即在此长度范围内，船体的横剖面形状相同；对没有平行中体的船，则有最大横剖面位置问题。

①平行中体长度  $L_p$  及位置。通常，平行中体只适用于低速、较胖的船舶，其对应的  $Fn$  与

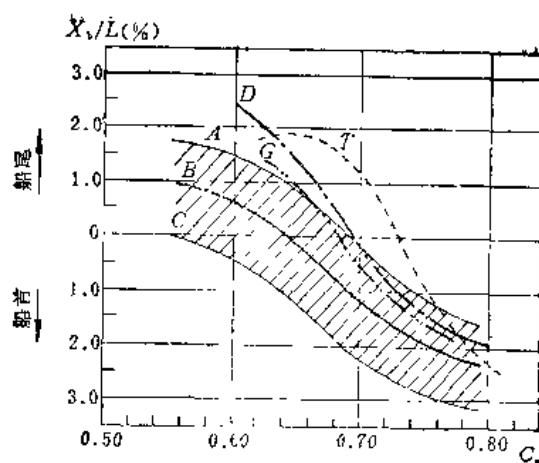


图 13-4 单桨船最佳  $X_b$  与  $C_b$  的关系

A、B、C—荷兰试验池，B为平均值，A、C间为范围；  
D—爱尔；G—陶德(1945年)；T—60系(试航航速)

$C_b$  的大致范围是：

$$Fn < 0.24 \sim 0.26,$$

$$C_b \geq 0.62 \sim 0.66.$$

通常在设计低速运输船时，都希望将平行中体长度取大些，原因是：平行中体长度  $L_p$  加大，削瘦两端，对  $Fn$  低的船减小阻力有利； $L_p$  加长，中部方整，对装货有利；有利于施工建造。

当然， $L_p$  也不宜过长，原因是：首部会产生突肩，引起额外的兴波阻力；此外，尾部水流分离，使旋涡阻力增加。通常  $L_p$  有一适当长的范围，一般规律是  $L_p$  随  $Fn$  的增加而减小，随  $C_b$  的增加而加长。

平行中体的位置与浮心纵向位置  $X_b$  有关。为了使尾部的水流光滑，对螺旋桨的供水较好，通常可用贝克公式核算去流段(尾尖体)的长度。

$$\left. \begin{aligned} L_r &\geq 4.08 \sqrt{A_{\max}}, \\ L_r/L_{pp} &\geq 4.08 (B/L_{pp}) \sqrt{\bar{C}_m (T/B)}. \end{aligned} \right\} \quad (13-2)$$

图 13-5 为平行中体相对长度  $l_p = L_p/L_{pp}$  随  $C_b$  变化曲线，可供参考。

②最大横剖面位置。当  $Fn > 0.25$ ，或  $CN < 0.60$  时，通常就没有平行中体，这就需考虑最大横剖面  $A_{\max}$  的位置问题。

一般说来，对航速相对较低，而没有平行中体的船，其  $A_{\max}$  的位置在船中(B)处。随着  $Fn$  提高到一定数值以后， $A_{\max}$  向后移动，因为从阻力角度， $Fn$  加大，兴波范围自船首向中部扩大，兴波阻力  $R_w$  占总阻力的百分数增加，最大横剖面  $A_{\max}$  后移可以使进流段尖瘦，从而使  $R_w$  减小。如高速舰艇，快速民船大多在中后  $5\% L_{pp}$  左右处。值得提出的是， $L/B$  较小的小型船舶如渔船、拖船，有时考虑到去流段水流和顺， $A_{\max}$  还要设在船中前  $3\% L_{pp}$  左右的范围内。

在设计时， $A_{\max}$  的位置线应尽可能取在站线上，如 \*11，\*9，等等，或者放在半站，或放在肋骨站线上，否则画图、计算都有不便。

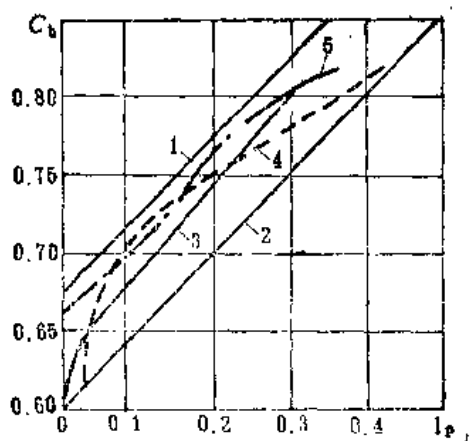


图13-5 平行中体相对长度  $l_p$

1, 2—系德极限曲线; 3—60系列;  
4—BSRA系列; 5—什图普夫“A”系列

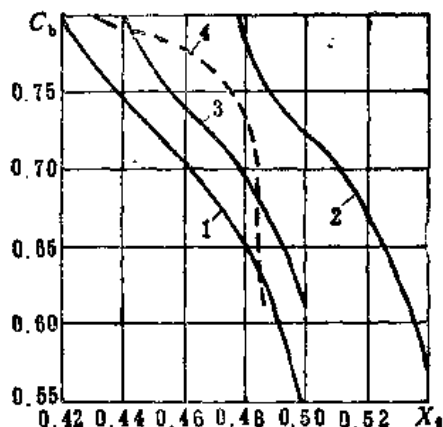


图13-6 最大横剖面或平行中体长度中点距首垂线的距离与船长之比  $X_b$

1, 2—系德极限曲线; 3—60系; 4—BSRA系列

图 13-6 为最大横剖面或平行中体中点位置随  $C_b$  变化曲线, 可供设计时参考。

#### 5. 横剖面面积曲线的首尾端形状

横剖面面积曲线端部形状与前体棱形系数  $C_{pf}$  和后体棱形系数  $C_{pa}$ 、平行中体的长度和位置(进流段和去流段长度  $L_e$  和  $L_r$ )密切相关, 实际上这几个参数就决定了进流段和去流段的棱形系数, 因为:

$$C_{pe} = 1 - \frac{1 - C_{pf}}{2(L_e/L_{pp})}$$

$$C_{pr} = 1 - \frac{1 - C_{pa}}{2(L_r/L_{pp})}$$

前后体棱形系数  $C_{pf}$  和  $C_{pa}$  与浮心纵向位置  $X_b$  密切相关, 依船型而变。式(13-3)为一般的统计关系式, 式(13-4)为陶德系列船模的近似关系式, 可供设计时参考。

$$\left. \begin{aligned} C_{pf} &= C_p + (1.4 + C_p)(X_b/L_{pp}) \\ C_{pa} &= C_p - (1.4 + C_p)(X_b/L_{pp}) \end{aligned} \right\} \quad (13-3)$$

$$C_{pf} - C_{pa} = 0.895 \bar{X}_b \quad (13-4)$$

式中,  $\bar{X}_b = X_b/L_{pp}$ , 相对浮心纵向位置。

在  $C_{pe}$ 、 $C_{pa}$  或  $C_{pe}$ 、 $C_{pr}$  已知的情况下, 就要确定横剖面面积曲线两端的适当形状, 现在分别介绍如下:

① 首端形状。有如下几种形状: 即凸、微凸、直线、微凹、凹形等等。其形状大体随  $Fn$  的变化而变化, 着眼点是从兴波阻力考虑。如  $Fn < 0.22$  的低速船, 从阻力出发应该是凹形或微凹形较好, 因为这类船的首波集中于前端。但是一般情况下, 因为  $C_b$ 、 $C_p$  比较大, 即  $C_{pf}$  或  $C_{pe}$  较大, 做成凹形往往容易形成突肩, 即肩点明显(如图13-7); 同时这类船的兴波阻



图13-7  $C_p$ 较大, 做成凹形易产生角点

力所占比重较小, 所以可做成微凹, 如突肩明显也可以做成直线, 甚至微凸, 这样可使曲线光顺, 反而对阻力有利。

随着  $Fn$  的加大, 通常采用微凹或直线形状较为适宜。一般趋势是  $Fn = 0.22 \sim 0.28$ , 随着  $C_p$  减小, 可由直线过渡到凹形,  $Fn > 0.28$  以后, 则由凹形过渡到微凹, 以至直线形。

② 尾端形状。主要是考虑避免水流分离, 造成旋涡, 使尾端型线尽可能和顺, 通常设计成直线或微凹形。

前已述及, 横剖面面积曲线代表着船体水下体积的纵向分布, 但还不能确定船水下体积的竖向分布, 船体水下体积的竖向分布主要由设计水线的形状与横剖线的  $UV$  度来确定, 下面就简要讨论这两方面的问题。

## 二、设计水线 DWL

对一般船舶来说, 所谓设计水线也就是满载时的水线 LWL。型线设计时要考虑设计水线的形状是出于下面的原因:

① DWL 形状对阻力  $R$  的影响较大。船航行时兴起波浪就在水面附近, 所谓船体设计水线的形状也即船体在水面处的形状, 对兴波阻力有重要影响, 对  $V_s$  较高的船 ( $Fn$  较大) 更是这样。

② DWL 对应于设计吃水  $T_d$ , 船的各项性能往往是以设计状态来衡准的, 使用中的吃水  $T_1 < T_d$  (除有的船有超载状态外), 如果在  $T_d$  时有较好的性能, 一般也可望其他装载情况下能较好的满足要求。

③ 从型线光顺的角度, 设计水线处于水下部分与水上部分的分界线, 控制设计水线形状对水下到水上的过渡和顺有重要作用。

因此, 设计型线时, 对设计水线的形状应注意认真考虑, 加以控制。

设计水线的特征包括: 水线面系数  $C_{wp}$ 、首部形状与半进流角  $i_e$ 、尾端形状。下面分别作些简要介绍。

### 1. 水线面系数 $C_{wp}$

水线面系数  $C_{wp}$  与多种因素有关, 包括稳性、快速性、耐波性、总布置、型线协调等等。显然, 取大的  $C_{wp}$ , 即表示水线面面积大, 对稳性 ( $\overline{GM}$  值) 和总布置有利, 但对快速性不利, 通常会使阻力性能变差。

船舶设计中, 一般对  $C_{wp}$  的选取是从快速性出发, 然后校核稳性、总布置及型线配合等方面是否合适。通常  $C_{wp}$  与  $C_b$  或  $C_b$  有一个大体的协调范围, 如

$$C_{wp} = (0.97 \sim 1.01) C_b^{2/3} \quad (13-5)$$

设计实践表明  $C_{wp}$  在此范围内变化, 对快速性的影响不大, 图13-8为几种不同系列及建议资料的  $C_{wp} = f(C_b)$  曲线; 式(13-6)~式(13-10)为考虑船横剖面形状及  $C_b$ 、 $C_p$  等的近似估算公式[18], 可作为初步设计时选择  $C_{wp}$  的参考。

对U形横剖面, 船尾都没有突出物的船型,

$$C_{wp} \approx 0.95 C_b + 0.17 \sqrt{1 - C_p} \quad (13-6)$$

中间形式横剖面的船型,

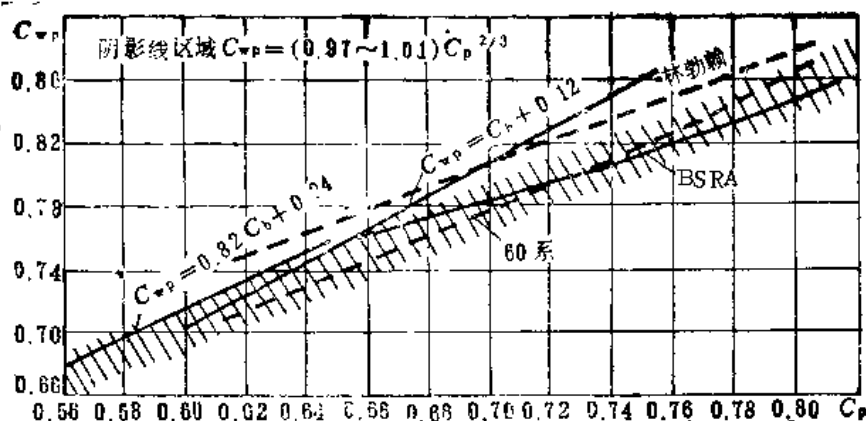


图13-8  $C_{wp}=f(C_p)$ 曲线

$$C_{wp} = \frac{1 + 2C_b}{3} \quad (13-7)$$

对V形横剖面, 可能有船尾突出物的船型,

$$C_{wp} = \sqrt{C_b} - 0.025; \quad (13-8)$$

$$C_{wp} = C_p^{2/3}; \quad (13-9)$$

$$C_{wp} = \frac{1 + 2C_b\sqrt{C_m}}{3} \quad (13-10)$$

式(13-6)~(13-10)适用于巡洋舰尾和切平的巡洋舰尾型, 但不适用于方尾。

## 2. 首部形状与半进流角

### ① 首端形状。

与横剖面面积曲线相似, 设计水线首端的形状也有多种, 包括凸、直线、微凹、凹等等。选取何种形状, 主要取决于船的 $Fn$ , 通常是随着 $Fn$ 的增大, 设计水线的形状由凹逐渐过渡到凸。高速船通常采用直线形式, 且延伸范围较大。

适宜的首部水线形状大体是:

$Fn = 0.16 \sim 0.19$ 由凸形到直线形;

$Fn = 0.20 \sim 0.22$ 直线形或微凹形;

$Fn = 0.22 \sim 0.32$ 微凹形;

$Fn > 0.32$ 直线形, 整个进流段保持和缓的曲度。

### ② 半进流角 $i_e$ 。

半进流角为在首柱处切线与中线的夹角, 因为首柱剖面往往是一圆弧形, 如图13-9所示。半进流角 $i_e$ 在很大程度上决定着首部水线的形状, 对兴波阻力的影响较大, 特别是 $Fn$ 高的船, 对 $i_e$ 的选取更应注意。与 $i_e$ 相关联的因素很多, 如 $Fn$ ,  $C_b$ ,  $L/B$ 及 $C_{wpt}$  (前半体的水线面系数) 或者 $C_p$ ,  $C_{pt}$  (前半体棱形系数) 等等。图13-10和图13-11分别为 $i_e = f(C_p)$ 及 $i_e = f(C_{pt})$ 曲线。这些资料为对应于 $L/B = 7.0$ 左右的情况。显然 $L/B$ 较小时,  $i_e$ 应随 $L/B$ 的减小而适当加大。在 $C_{wpt}$ 相对于 $C_{pt}$ 较大时(即V形横剖面形状),  $i_e$ 也应

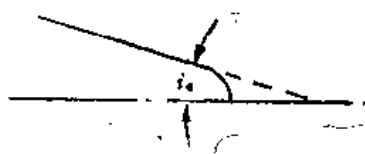


图13-9

水线半进流角示意图

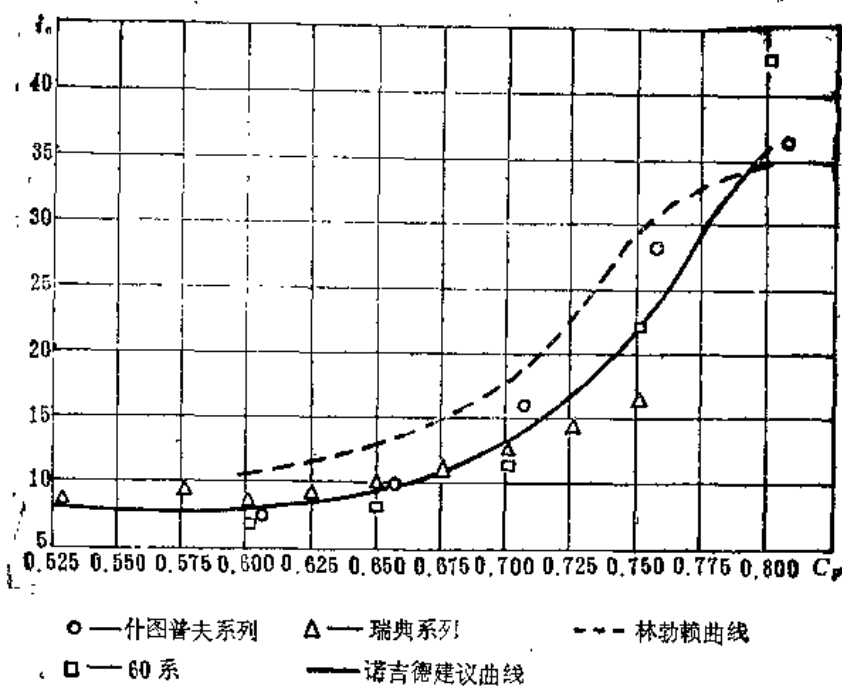


图 13-10 设计水线半进流角  $i_e = f(C_p)$

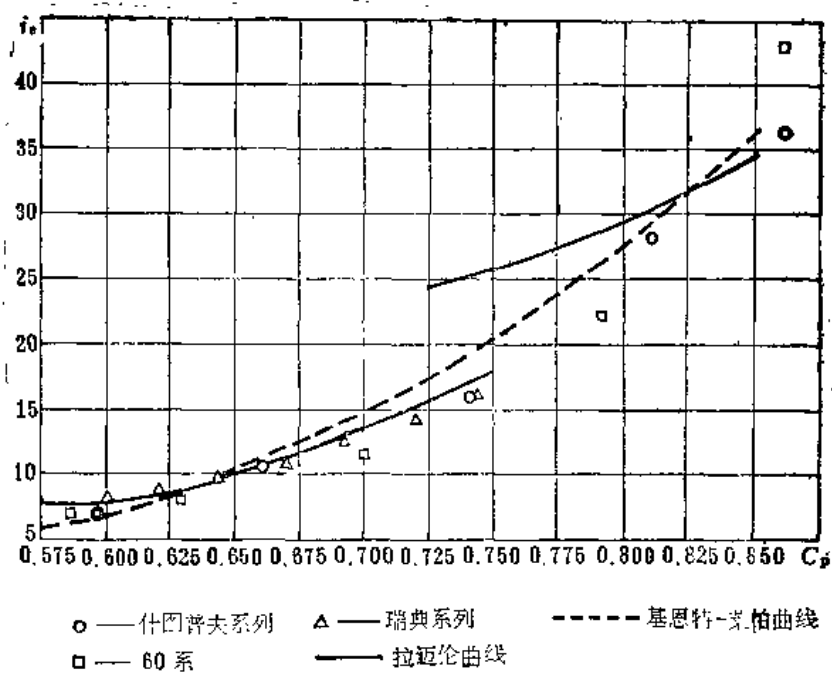


图 13-11 设计水线半进流角  $i_e = f(C_{pt})$

适当加大。总之不能孤立地选取  $i_e$  值。

$C_{wpt}$  实际上取决于  $i_e$ 、水线首部形状及平行中段长度，即  $C_{wpt}$  的选择应与  $C_{pt}$ 、首部横剖面的  $U$ 、 $V$  度联系起来考虑。如陶德 60 系列船型 ( $U$  形首部横剖型线) 的  $C_{wpt}$  为：

$$C_{wpt} = 0.09057 + 0.9191C_{pt} \quad (13-11)$$

通常所采用的普通首部横剖型线的船舶,其 $C_{wpt}$ 应比按式(13-11)求得之值为大。设计中一般都通过分析型船资料来决定。

初步设计阶段,可以先按图13-10确定 $i_e$ 。画型线图时根据曲线协调情况再行修改,就是说 $i_e$ 的大小要与横剖面面积曲线的形状、横剖面形状(UV度)等进行协调加以确定。

### 3. 尾端形状

从阻力与推进方面考虑,为使曲线平顺过渡,以避免水流分离,减少旋涡阻力,改善螺旋桨的工作条件,取直线或微凹过渡为宜。通常设计水线尾部的纵向斜度应不大于 $30^\circ$ (如图13-12);而单桨船为使其水线平直,纵向斜度以不超过 $20^\circ$ 为好。

从布置上考虑,一是尾部甲板面积的需要,直接影响到尾端形状及半宽。为了尽量加大尾部露天甲板的布置面积,目前有设计成自船中部至尾部同宽的“全宽型甲板”,这时设计水线尾部的宽度较大,纵向斜度就很小;二是对于双桨船,要考虑甲板宽度能使螺旋桨处于船体的保护范围之内。

如果将水线面系数 $C_{wp}$ 分为 $C_{wpt}$ 和 $C_{wpa}$ (后半体值)来选取,则 $C_{wpa}$ 应结合稳性、布置,快速性等因素综合考虑。

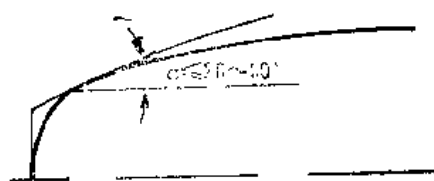


图13-12 设计水线尾部纵向斜度示意图

对设计水线最后再补充两点:

- ① 对于有平行中体的船舶来说,设计水线的平行中段通常大于平行中体长度 $L_0$ ;
- ② 设计水线上下的各条水线的变化应均匀、和顺,绘制型线时应注意。

## 三、首尾部分型线

在型线设计中还应考虑首尾端的型线特征,包括侧面轮廓、甲板边线轮廓、横剖型线等等。现在分别加以介绍。

### 1. 侧面轮廓

侧面轮廓包括首部轮廓、尾部轮廓和甲板边线或脊弧线。

#### ① 首部轮廓。

首部侧面轮廓,通常是指首柱线。船首的外形往往给人以重要的印象,对整个船的外观造型有较大的影响。一般船舶的首柱做成外斜式(图13-13)。首柱线与首垂线的夹角一般为 $15^\circ \sim 30^\circ$ ,有时角度较大,要看多方面的需要与协调。

首柱在水上外斜有几个好处:减小首端激浪;迎浪时纵摇与垂荡运动将缓和;改善碰撞时的安全性;增大首部甲板面积。

首柱水下部分的形状对操纵、阻力、工艺等有影响,一般是自上向下和顺过渡。有些小船将下端(前踵)切去一块,目的在于减少水下湿面积,改善操纵性,并且避免首部横剖面下部过分狭窄,有利于施工造建。

同时首柱的形状及前倾角度还应与首部横剖面

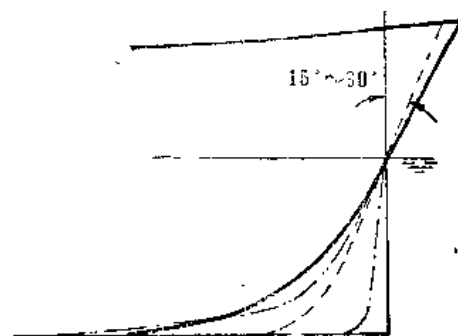


图13-13 典型首柱侧面轮廓



的形状相配合,以保证整个首部型线的协调、和顺。

## ② 尾端轮廓。

船尾的型式通常有三种,即“巡洋舰尾”、“切平的巡洋舰尾”和方尾。通常民用船舶上,尾端形状采用最多的是“巡洋舰尾”,如图13-14所示,它的好处是:水线拉长、使水流和顺;特别是水上部分形成尾悬体,加大尾部甲板面积和长度,对保护舵有好处。但注意尾悬体不能过长。因为结构上可以把尾悬体看作一个悬臂梁,越长强度要求越高。同时螺旋桨引起的船体振动也将更为严重,因此要注意权衡考虑。通常尾悬体的长度在 $3.5\sim 4.5\%$   $L_{pp}$  的范围内较为适宜。

现在不少船在尾部做成平面形,即所谓“切平的巡洋舰尾”,有利于简化建造工艺。如图13-14中虚线所示。

方尾是大多数高速舰艇所采用的尾部形式。方尾板有一定的浸深,水流自纵剖面线向后冲去时形成一个“虚长度”,对阻力性能有利,如图13-15所示。

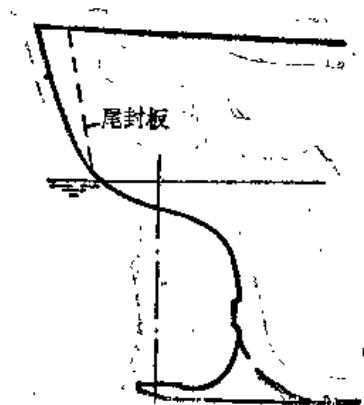


图13-14 巡洋舰尾

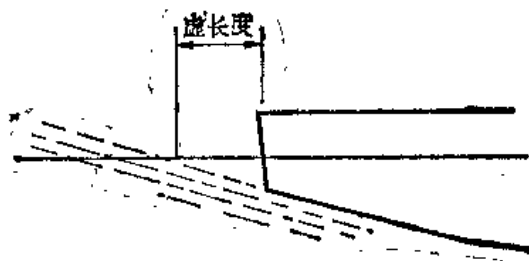


图13-15 方尾形成的“虚长度”

尾部轮廓要考虑螺旋桨、舵、船体之间的配合,除了考虑舵应置于船体的保护之下以外,还要注意它们之间的间隙,间隙太小容易影响舵效,引起振动。对于螺旋桨,也同样要注意这一问题(参见图13-16)。通常在设计螺旋桨时,先估算出其最佳直径(特别是单桨船),再校核尾框轮廓能否放置得下。如果船的吃水受限制,尾框小,螺旋桨的直径可能受到限制,将影响效率。如果相差不多,则可考虑适当放大尾框,以保证螺旋桨叶梢与船体之间的空隙合理;如相差大,则应按限制直径来设计螺旋桨。当然,尾框的形状也影响到各水线的和顺过渡。

总之,尾框形状要看具体情况而定,要考虑船体型线的和顺及舵、螺旋桨等多方面的因素。对于功率较大的单桨船,因螺旋桨效率、空泡、激振力等方面问题比较突出,尾部轮廓的设计要权衡阻力,推进等多方面因素,一般都将推进器的设计(包括采用导管桨)和船体特殊尾型(如半隧道式、外加导流鳍、球尾等)的采用结合起来考虑。现在常见的尾框形式有如图13-16所示的两种——闭式和开式。开式尾框可适当加大螺旋桨直径,便于采用不同型式的船体特殊尾型以使伴流均匀,对减少螺旋桨的空泡,激振力及提高其效率有好处。因此,近年来应用较广泛。

## ③ 甲板舷弧线与脊弧线。

甲板舷弧线是指甲板边线的侧投影线,脊弧线是指甲板中线,如图13-17所示。

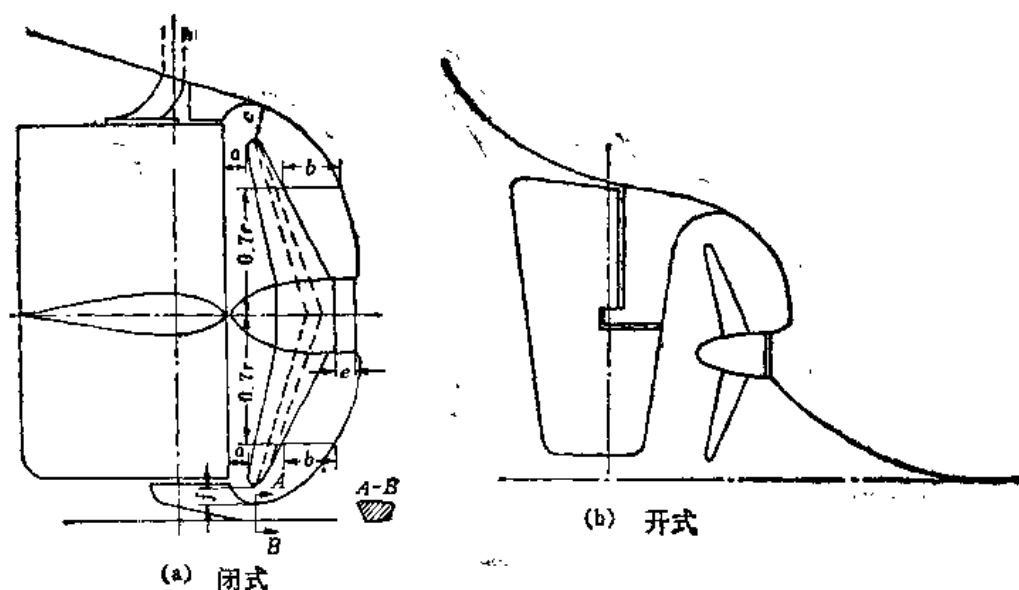


图13-16 尾框型式

$$\begin{aligned} a &\leq 0.06d; & b &\leq (0.15 \sim 0.17)d; \\ c &\leq (0.15 \sim 0.25)d \text{ (快速船用大的数字)}; \\ e &\leq 0.08d; & f &\leq (0.04 \sim 0.05)d. \end{aligned}$$

甲板边线即舷弧线自船中部向首尾以曲线或直线形式升高。首部的升高程度一般是根据耐波性(甲板上浪和淹湿性)的要求,由首垂线处的首干舷 $F_t$ (自吃水线量起)来控制,或者由首舷弧高 $h_t$ (自型深 $D$ 的水平线量起)来控制。尾部舷弧线则拉平或略有升高,通常尾舷弧高 $h_a$ 取为 $h_t$ 的一半。升高往往是考虑尾部甲板上浪(海船)或尾部舵机舱高度(小船)的需要。

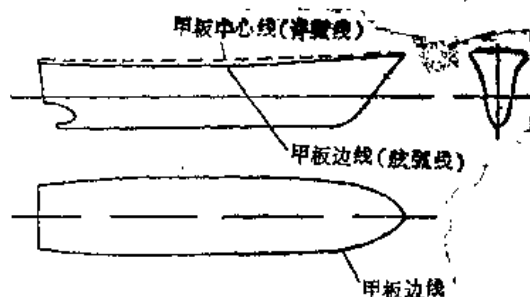


图13-17 甲板线示意图

现在设计新船时,通常是先确定脊弧线,且往往采用直折线升高,反过来再根据沿船长每站处的甲板边线宽度、梁拱等定出首尾舷弧线,这既可在反造时简化工艺,便于定位,又可以保证脊弧线在首尾端不发生“倒昂”现象。

## 2. 甲板平面轮廓线

甲板平面轮廓线是指甲板的水平投影线,它反映甲板的面积大小及首尾部分的形状。

船首部甲板的宽度及轮廓线与总布置有关,主要考虑锚泊设备的布置,如抛锚、起锚时锚爪与船底、船侧,特别是球首的碰撞,且应与首柱前倾程度、首部横剖面水上部分的外飘情况配合起来考虑。

尾部甲板宽度主要也是考虑布置系泊设备、作业等要求,双桨船还考虑到对螺旋桨的保护。

总之,船体的侧轮廓线和甲板边线的形状与总布置的关系极大,主要是从满足总布置要求並考虑外部造型来确定的,因此型线设计与总布置图的相互协调、配合是非常重要的。

### 3. 横剖面形状

选择与确定横剖型线是型线设计中, 很重要的内容, 下面分水下部分与水上部分来讨论;

#### ① 水下部分的横剖型线

水下部分的横剖型线, 特别是首尾部型线通常包括如下几种型式:  $U$ 、 $V$ 、中 $U$ 、中 $V$ 。图13-18及图13-19为首部横剖型线及一般单桨船的尾部横剖型线的形状。几种剖面型式的优缺点分述如下:

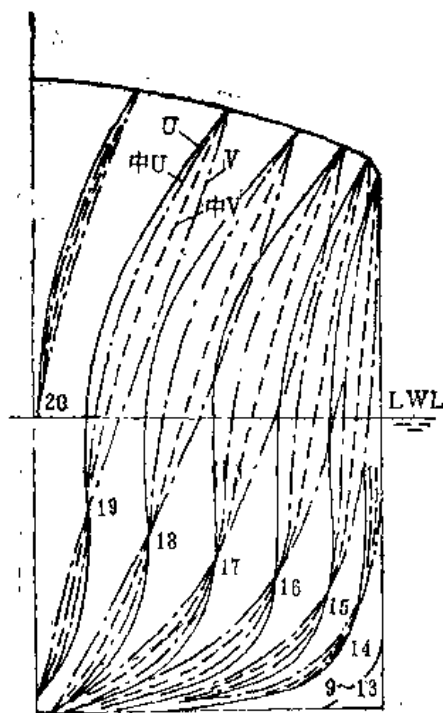


图13-18 首部横剖型线的形状

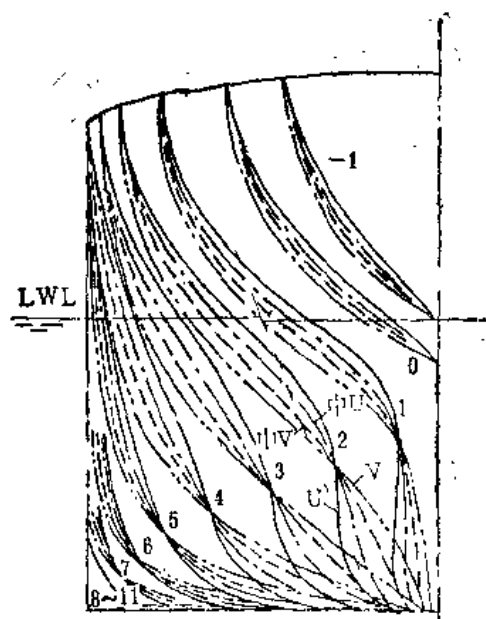


图13-19 一般单桨运输船几种典型的尾部横剖型线形状

**$U$ 型** 面积上下分布均匀, 也就是将排水体积尽量沿吃水高度均匀分布, 使设计水线削瘦, 就首部来说, 导致半进流角 $i_0$ 减少, 有利于降低兴波阻力 $R_w$ , 对尾部,  $U$ 形剖面使伴流比较均匀, 有利于提高船身效率, 改善螺旋桨的工作条件, 且有利于降低螺旋桨的激振力。但相对于 $V$ 形,  $U$ 形剖面的湿面积较大, 摩擦阻力 $R_f$ 大些。且 $U$ 形剖面的耐波性如纵摇与垂荡, 首底拍击等, 相对于 $V$ 形要差些。大型运输船及中高速船舶, 采用 $U$ 形剖面的较多。

**$V$ 型** 面积的分布偏于上部。因为湿面积较小, 对减少摩擦阻力 $R_f$ 有利。对尾部来说,  $V$ 形剖面使去流段水流顺畅, 可减少旋涡阻力。此外,  $V$ 形剖面对耐波性有利, 纵摇、垂荡的阻尼增加, 使幅值(纵摇角度与垂荡幅度)降低。小型船舶如渔船、拖船及快艇等多采用 $V$ 形剖面。

中 $U$ 或中 $V$ 型 大都是中型船舶采用, 它兼顾到阻力、耐波性两个方面的要求。

首部 $V$ 型、尾部 $U$ 型或首部中 $U$ 型、尾部 $V$ 型等 有不少船是从提高耐波性和改善螺旋桨的工作条件出发, 或兼顾到阻力性能等, 采用首尾不同的横剖面型式, 以适应设计船的具体特点和使用要求。

如果从首部型线和尾部型线特征来进行归纳, 大致有如下的趋势。

首部型线：大型船舶因其船长、干舷都较大，航行中很少遇到波长超过船长的波浪，首部不易上浪，纵摇运动也不大，因此，从静水阻力性能为主考虑，选取U形为宜；中型船舶则常用两种性能（快速性与耐波性）都兼顾的中间型；小型船舶除从耐波性考虑采用V形外，又因其 $L/B$ 较小，水线面系数 $C_w$ 相对于棱形系数 $C_p$ 较大，从而在几何联系上也不得不采用V形横剖面；对 $Fn \leq 0.20$ 的低速船，因摩擦阻力占总阻力的比例大，也常采用V形横剖面；而对中、高速船舶，则采用U或中间型较为有利。

尾部型线：试验证明，对单桨船，从减小轴功率看，低转速桨最好采用中U形；高速桨则用中V形；双桨船用V形可保证螺旋桨有较好的供水，提高推进效率。某些尾机型单桨船，有时为了压缩机舱长度，采用一段较长的极U形。除了上述常规的尾部横剖型线形状以外，在螺旋桨直径受限制的船上，为提高推进效率，也可考虑采用隧道型船尾。

## ② 水上部分的横剖型线

选择与确定水上部分横剖型线时主要考虑的因素有：

- 水下部分向水上部分过渡和顺，避免突变，特别是在设计水线附近要注意。
- 首部适度外飘，可以减少船在波浪中航行时的甲板上浪与淹湿性。但对高速船舶，设计与航行实践表明外飘过大，在波浪中纵摇与垂荡时，可能外板与波浪拍击产生所谓“外飘碰击”，出现整个船体“颤振”。浪花也容易飞溅上甲板影响工作。
- 甲板面积的需要。前面已提到了主要是锚机布置及考虑锚泊的情况。

关于横剖型线的UV度的定量衡量，已有不少研究与讨论。就是说，不仅根据设计者的目测，而是用更加科学的方法来进行判定。但目前还没有得到一致公认的标准。

有人建议用下式表示：

$$x = \frac{C_p}{C_{wp}}$$

系数 $x$ 小者偏V； $x$ 大者偏U。

## 四、中横剖面形状

对于船体中横剖面来说，当 $B$ 、 $T$ 、 $C_m$ 以及 $D$ 确定以后，形状也基本上确定了，特别是对于低速船， $C_m \approx 0.98 \sim 0.99$ ，舷侧通常为直壁式，形状接近于矩形（参见图13-20）。

确定船中横剖面形状时，要注意以下二点：保证面积 $A_m$ 的大小， $A_m = C_m \cdot B \cdot T$ ；确定合适的船底升高 $d$ 、平板龙骨半宽 $f$ 、舳部半径 $R$ 的数值。其中， $f$ 根据建造规范的要求，并结合钢板的规格来确定； $d$ 根据 $C_m$ 大小而定，并与 $R$ 配合考虑。

$C_m$ 小者 $d$ 应取大些，但对设双层底的船，应考虑到规范对双底高度的要求，施工方便，内底对舳部的保护等因素。双机船还应考虑到主机座结构高度的要求等。快艇的 $d$ 值一般很大，如有的底斜升角度可达 $18^\circ$ 。 $C_m$ 大者， $d$ 可取小些； $C_m$ 特大的丰满船， $d$ 一般只有 $0.1 \sim 0.3m$ ，且目前有将 $d$ 取为0的趋势，以简化工艺。 $R$ 可

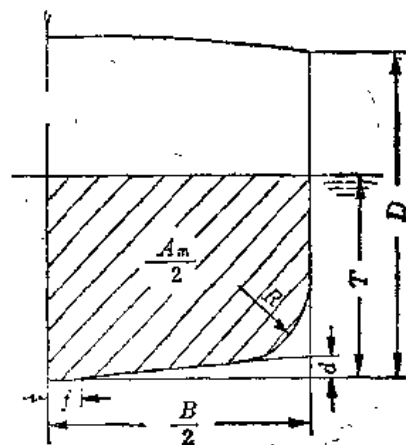


图13-20

根据几何关系用式(13-12)、式(13-13)计算。

$$d \neq 0 \text{ 时, } R = \left[ \frac{BT(1-C_m) - (B/2 - f)d}{2(0.215 - d/(B - 2f))} \right]^{1/2}, \quad (13-12)$$

$$d = 0 \text{ 时, } R = \left[ \frac{BT(1-C_m)}{0.43} \right]^{1/2} \quad (13-13)$$

确定了上述参数以后,通过作图可画出中剖面的形状。对于 $C_m$ 较小的中剖面,为避免底部升高过大,通常采用抛物线形的艉部,如图13-21所示。设图中的阴影部分面积近似为 $ab/6$ ,则可得:

$$ab \approx 3BT(1-C_m) - 3(B/2 - f)d \quad (13-14)$$

设计时,一般是根据有关参数用式(13-14)求得 $a$ 、 $b$ 值,可以选取几种 $a$ 、 $b$ 、 $d$ 的组合,作图试绘出几个剖面形状,看其适宜性加以选择与调整。显然,中剖面形状应与其他横剖面形状,特别船中附近的剖面形状相协调、和顺。

型线设计除上述的有关形状特征及参数的一般规律外,还具有很强的实践性,需具体实践即通过型线设计并绘制型线图后,才能有深一步的理解与体会。

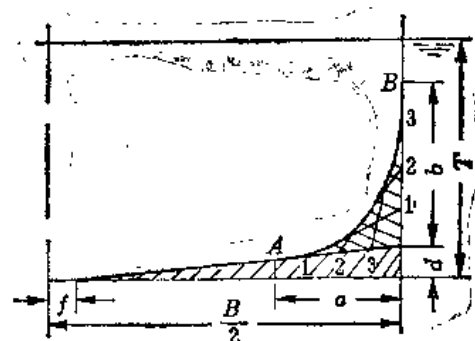


图13-21

### § 13-3 特种型线简介

本节将扼要介绍非常规的首部线型、尾部线型和简易线型等的基本特征,设计中选用时应考虑的一些基本问题,以便根据设计船的使用要求与特点,进行选用。

#### 一、球首线型

选用球首船型时,必须综合考虑快速性、耐波性(尤其是首底砰击)、操纵性、各种载况下的纵倾调整、结构强度、造价及工艺性、航行使用和锚泊设备的布置等影响。泰勒首先提出了球首减小阻力的原因是一种兴波干扰现象。以后的理论与试验研究表明,球首产生的球首波系,如波系恰好与主船体波系(主要是首波系)的波峰相重合,就可取得消波的效果。

为了达到既消波,又降低球首本身的阻力和球首对船体其他阻力成分可能产生的不利影响,必须很好地选择球首的主要要素。

##### 1. 球首要素

近代球首常用的侧面轮廓及横剖型线形状有很多,叫法也不一样。图13-22为海涅尔-拉伯研究的几种典型形状。此外,还有根据不同观点设计的,诸如菱形(可简化工艺)、瓜子形等,也有将除撞角型外的其他型式统称为流线型球首的。不同的球首型式反映了球首体积重心高低、前后的不同。为了表征球首对船舶阻力的影响,根据大量的试验研究,其中最重要的参数是首垂线处的剖面面积 $A_b$ 与船中剖面面积 $A_m$ 之比 $f_b = (A_b/A_m) \times 100$ ,简称球首面积比(%);相对次要的参数是球首极端点到首垂线的距离(球首长度) $L_b$ 与船长 $L_{TP}$ 之比 $l_b = (L_b/L_{TP}) \times 100$ 。

$L_{pp}) \times 100$ , 简称球首相对长度(%). 此外, 也有用如球首体积与船体排水体积之比、球首体积重心距首垂线距离与船长之比、重心距水线的高度与吃水之比等, 但使用上都不够方便。

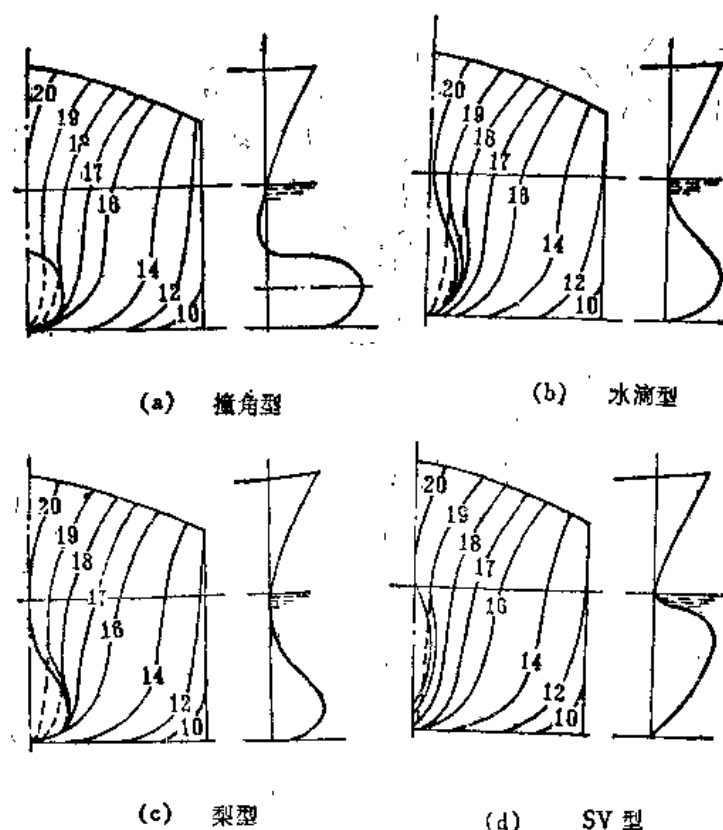


图 13-22 球首型式

## 2. 球首要素的初步选择

一般在  $0.25 < Fn < 0.35$  时, 采用球首可有较好的收益, 在  $Fn = 0.30$  左右的兴波阻力峰区, 效果尤为显著。另外, 当船的  $Fn$  与船型配合偏高时, 或本体型线的兴波阻力性能较差时, 采用球首也可取得较好的效果。据上分析, 阻力上适宜的球首要素是船型要素和  $Fn$  的函数; 同一船型时, 球首面积比  $f_b$  应随  $Fn$  的增大而增加; 同一  $Fn$  时, 适宜的  $f_b$  应视船型而变, 例如  $C_b$  大、 $L/B$  小者其  $f_b$  应比  $C_b$  小、 $L/B$  大者为大。

适宜的球首大小及其可取得的收益的规律性较复杂, 难以用简单的关系式来反映。因此, 下面只介绍一些资料, 供初始设计时参考, 最后的选用要通过船模试验来决定。

赛维尔雷夫等通过大量试验资料的分析, 提出了判断球首有利性的粗略准则, 即如果这

$$C_b = 1.216 - 2.40Fn, \quad (13-15)$$

时采用球首一般得不到明显的收益, 甚至可能起反作用; 在超界限配合时, 对快速运输船及客船  $f_b = 5\%$  的球首可能取得如图 13-23 的平均效果。莫尔对  $C_b = 0.55 \sim 0.65$  的快速运输船及客船类似统计研究, 得出的结论基本上是一致的。

诺吉德等分析比较了上述两个资料后得出: 总阻力上的收益近似与  $f_b$  成比例, 当  $f_b \leq 12.5\%$  时可用式 (13-16) 估算:

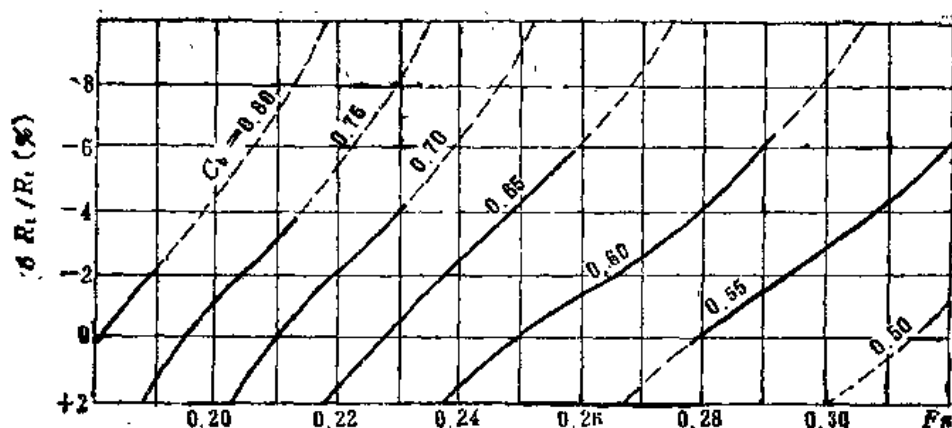


图 13-23  $\delta R_t/R_t = f(Fn)$

$$\delta R_t/R_t = 0.2f_b(\delta R_t/R_t)_0 \quad (13-16)$$

式中,  $(\delta R_t/R_t)_0$ —— $A_b/A_m = 5\%$  时的值, 可根据图 13-23 查得;

$f_b$ ——实际采用的球首面积比(%).

然而, 应用上述结论时, 必须注意船舶使用中航速变化的影响。表 13-3 为荷兰船池对  $\nabla = 15593\text{m}^3$ 、 $L_{pp} = 150\text{m}$ 、 $B = 22.0\text{m}$ 、 $T_f = 7.16\text{m}$ 、 $T = 7.62\text{m}$ 、 $C_b = 0.62$  的船型的球首试验结果。船的预定试航航速为 20 节 ( $Fn = 0.267$ ), 满载服务航速为 18.0~19.0 节。从此资料可见, 本船在服务航速范围内不宜采用大球首, 如果航速超过 20 节 ( $Fn$  超过配合界限较多时), 采用大球首, 尤其是流线型球首效果极为显著。

表 13-3 荷兰船池的一个试验结果 (总阻力减小%)

航速(节)	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0	21.5	22.0
球型球首 $f_b = 16.7\%$	2.5	2.1	1.5	2.2	5.3	9.7	14.4	16.6	17.6
球型球首 $f_b = 12.0\%$	7.1	5.7	4.0	2.8	4.2	6.8	10.1	11.0	10.9
流线型球首 $f_b = 16.7\%$	-12.9	-12.3	-9.4	-3.4	5.5	15.4	23.0	27.1	29.8

球首的大小及形状对其他载况 (尤其是压载航行) 的阻力性能尤为重要。表 13-4 为前述海涅尔等对一艘快速货船的研究资料。船的主要要素为:  $L_{pp} = 165\text{m}$ 、 $B = 23.6\text{m}$ 、 $T = 9.34\text{m}$ 、 $\nabla = 20000\text{m}^3$ 、 $C_b = 0.55$ 。研究表明: 航速超过 20 节 ( $Fn > 0.26$ ) 后, 采用球首在设计载况下可降低主机功率 5~10%, 航速可提高 0.4~0.7 节,  $f_b$  大为有利; 压载 ( $\nabla = 10000\text{m}^3$ , 尾倾) 航行时, 航速损失 1~2 节,  $f_b$  越大越不利。就球首的形状来说, 几种球首在设计载况时效果差别不大, 但在压载航行时, 则流线型球首尤其是下部削瘦的 SV 型为有利; 球首的相对长度影响不大, 视球首型式不同, 设计载况时  $f_b$  大体在 2.5~5.0% 范围为宜。

大球首在压载情况下的不利性, 可粗略地解释为: 球首造成了激波 (局部碎波)。首部流线的变坏使形状阻力增加, 摩擦阻力也增加, 而球首波系与船波的有利干扰则降低。因此, 为改善快速船及一般船压载航行时的快速性, 球首尺度不宜大, 且需很好地注意下部的尖瘦性, 球首极 endpoint 以在压载水线之上为宜。

表 13-4 球首要素对剩余阻力的影响

$\nabla(\text{m}^3)$	型 式	$f_r(\%)$	$l_b(\%)$	$\Delta R_r$ 变化(%)		
				$Fn=0.25$	$Fn=0.29$	$Fn=0.32$
20000	撞角型	9.0	4.0	-20.7	-21.3	-23.6
	梨 型	9.0	3.4	-23.9	-23.3	-23.6
	水滴型	9.0	3.2	-20.7	-21.3	-22.7
	水滴型	3.0	1.4	- 6.5	- 6.4	- 8.7
	SV 型	6.0	2.5	-13.7	-14.0	-15.1
10000	撞角型	15.0	4.0	+111.0	+67.0	+39.0
	梨 型	15.0	3.4	+92.0	+57.0	+35.0
	水滴型	15.0	3.2	+63.0	+36.0	+27.0
	水滴型	5.0	1.4	+5.5	-3.0	-3.9
	SV 型	10.0	2.5	+1.3	-3.4	+0.8

考虑到球首压载情况性能和平坦底部对砰击的不利性,现在快速运输船的球首 $f_b$ 多在5~6%左右,对吃水变化范围较小的客船、军舰等,可以根据设计载况的快速性来选择,但应注意,如果球首过大则不利于锚泊设备的布置和靠离码头的安全性。

在少数海洋拖网渔船上也有采用 $f_b=5\%$ 小球首的。在一定的速度范围内也能得到相当的功率降低。这类资料,也可作为设计其他小型快速船舶的借鉴。

对肥大型低速船,球首的主要作用是改善首部流场,减少艀部和底部旋涡。根据柯伦资料,满载时球首可使主机功率降低10~20%,压载时可降低20~25%。我国在24000t载重量油船、25000t及35000t载重量散装货船、50000t载重量油船的船型研究中也证明了这一点。

## 二、特殊船尾

近十多年来,主要因为快速货船及巨型运输船单轴功率的增加,推进效率尤其是螺旋桨空泡及激振力问题日益突出,特殊尾型的研究受到了特殊的重视。

### 1. 球尾

肯伯夫最早提出球尾的设想,企图使新尾型在阻力上优于V型,推进上优于U形横剖型线,但他的设想未获得成功。以后,沿这一思路,从快速性出发,发展了许多尾型,统称为球尾。比较典型的是雪茄形球尾(又称霍格纳球尾)。这种尾型最早用于快速运输船“航海者”上,当 $Fn>0.28$ 时主机功率稍有收益。荷兰船池对 $C_b=0.774$ 的油船所做的系列船模试验发现,雪茄形尾(见图13-24)在 $Fn=0.194$ 时(满载)阻力及主机功率比普通尾形分别增加7.3%和3.2%,但如果配以导管螺旋桨,则为各尾型中收益最大者。由于雪茄形尾可使螺旋桨的来流较均匀,因此,对减小螺旋桨的空泡和激振力较为有利。



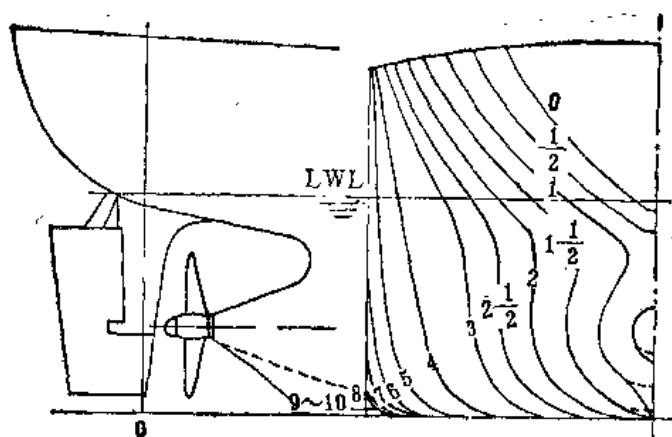


图 13-24 雪燕形尾

## 2. 涡尾及不对称尾型

近年来国内外都在研究涡尾及不对称尾(图13-25)。涡尾是使流过尾部的水流形成一股涡旋, 来提高螺旋桨的效率; 不对称尾型是通过由其产生的旋向伴流, 与预旋流螺旋桨相配合, 使推进效率提高。

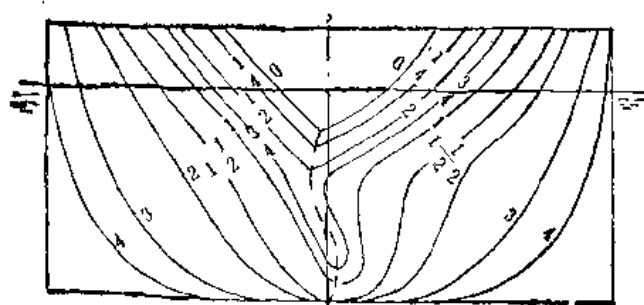


图 13-25 不对称尾型

## 3. 隧道尾型

航行于浅水河道以及有些螺旋桨直径受限制的船舶, 常采用隧道尾型, 以便装置直径较大的螺旋桨, 以提高螺旋桨的效率。

### ① 隧道型线的型式。

从中纵剖面看隧道有闭式和开式之分, 如图13-26; 从横剖面看隧道有深隧道和浅隧道(或称全隧道和半隧道); 从隧道个数看, 分双隧道和单隧道。



图13-26 隧道型式

闭式 隧道的尾封板在水线下者, 即为闭式。其阻力比开式大, 但倒车性能较开式为好。适用于  $D/T_a = 1.0 \sim 1.1$  的浅隧道(其中,  $D$  是螺旋桨直径,  $T_a$  是尾吃水), 双桨船多有采用。

开式 隧道尾端露出水线者为开式。航行时阻力较小，但倒车时因尾端未封闭而吸入空气，使倒车性能变坏。为弥补这一缺点，可在尾部加活动舌盖，倒车时放下舌盖，防止空气吸入；顺车时吊起，可减小航行阻力。这样可兼顾开式和闭式两者的优点，但结构较复杂，操作也麻烦。

开式适用于 $D/T$ 较大时的深隧道，深隧道的特点是隧洞较深，多用于单桨船舶，螺旋桨直径可较大，推进效率较高。但单螺旋桨深隧道船的水流基本上是由沿着隧道流向螺旋桨，当船航行于极浅的航道时，螺旋桨供水困难，有时会引起抽空现象，使船尾倾加大。

隧道型线不论是开式还是闭式，为使尾部水流畅顺地流向螺旋桨，隧道以长而开敞为佳。

## ②隧道型线形状参数的选择。

决定隧道形状的主要参数如图13-27所示。

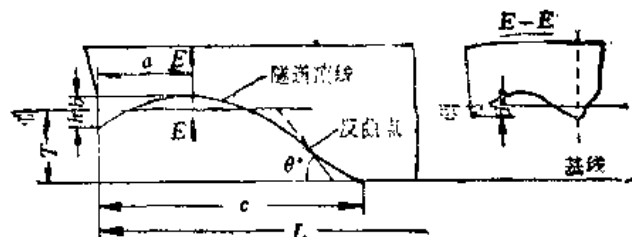


图 13-27 隧道型线的主要参数

隧道长度  $c$  一般取为  $l/3$  船长为宜。隧道线越平坦越好。隧道顶线反曲点切线之夹角为  $\theta$ ，通常要求高速船  $\theta < 15^\circ$ ，最好  $\theta < 12^\circ$ ；低速船  $\theta < 18^\circ$ 。隧道顶线最高点在桨盘处，其至水线的距离  $b$  约为  $(0.06 \sim 0.20)T$ ；至尾垂线距离  $a$  约为  $(1.2 \sim 1.5)D$ 。 $c/a$  值在 3.8 左右。闭式隧道尾封板在水下浸深  $h$  约为  $(1/10 \sim 1/120)D$ ，至少为 50mm。闭式隧道之船尾应采用方尾或带折角线之尾型，如图13-28(a)所示，而不宜采用图13-28(b)所示的圆弧形船尾。因圆弧形尾不能很好地压住螺旋桨打出的水流，水流将沿着圆弧向上翻滚，使螺旋桨效率降低，同时还增加施工的困难。在螺旋桨盘面处隧道侧壁在水下浸深为  $d$ ，见图13-27中  $E-E$  剖面。一般  $d$  约为  $(1.5 \sim 1.65)b$ ，至少应为 50~75mm。隧道进口处宽度约为螺旋桨直径的 2.5~3.5 倍，以保证有足够的水流进入隧道供给螺旋桨。具体数值视航道水深与吃水比  $h/T$  的大小而定， $h/T$  小者取大值，否则取小值，一般单桨船取为  $3D$ ，双桨船取为  $(2 \sim 2.5)D$ 。

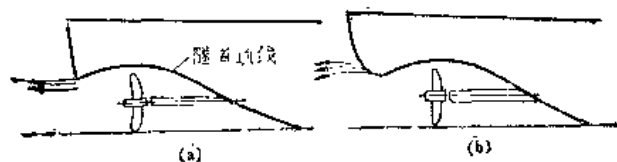


图 13-28 隧道船型尾部型式

对于双桨船，隧道船型应考虑使螺旋桨更好地获得两舷来的水流，即将隧道顶线设计成自船中向尾部逐渐延伸到螺旋桨轴中心线处。

近年来分节顶推船队的发展，某些推轮的尾部设置倒车舵，故必须考虑倒车舵对型线的要求。隧道顶部要尽量宽阔，隧道顶线要尽量平坦光滑，以利倒车时水流由桨盘畅顺地沿纵剖面线向船首流动，从而提高倒车舵的舵效。

### 三、双尾船型

双尾船型的形状特征是:与双轴双桨相配合,在尾部形成两个尾体,形似双体船(图13-29)。

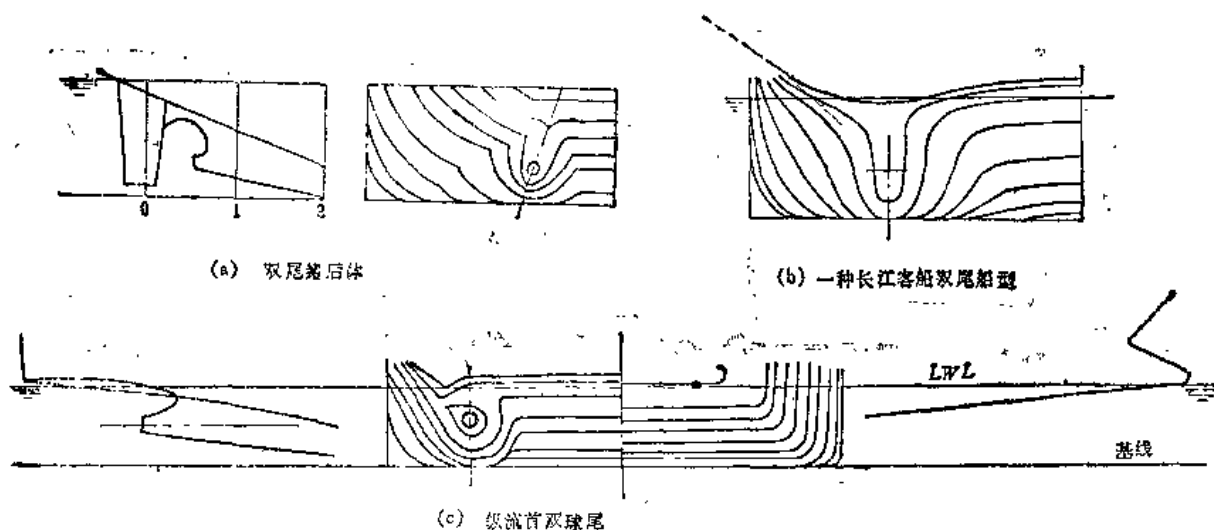


图 13-29 双尾船型

双尾船型与单桨船相比,其特点如下:

①螺旋桨的敞水效率高。双桨的功率系数 $B_p$ 大大减小,如采用了叶桨与采用4~6叶的单螺旋桨相比,敞水效率可提高40%以上(低速船)或可提高5~15%(高速船)。

②船身效率显著提高。由于螺旋桨在两个后体之后,置于较大的摩擦伴流的尾流中,且能得到充分的供水。因此具有较大的伴流和较小的推力减额,使船身效率显著提高;

③螺旋桨直径相对较小。由于直径相对较小,与大直径螺旋桨的单桨船相比,空泡、螺旋桨激振力引起的船体振动以及压载航行时的空气吸入等问题,都较容易解决。

④摩擦阻力增加而兴波阻力及形状阻力减小。由于湿面积的增加,摩擦阻力较常规船型稍有增加,对高速船约增加10%,低速船不超过2~5%。兴波阻力由于双尾船型的浮心可稍向后,前体进流角稍小而稍有减小,对低速船则几乎无影响。由于尾部分成两个尖瘦的船尾,可使形状阻力大为减少。

⑤操纵性及安全性提高。由于采用双桨、双舵,船的操纵性改善,安全性提高,对稳性也稍有利。但是船体结构及工艺较复杂。

鉴于双尾船型具有上述优越性,其适用范围很广,如可用于集装箱船、滚装船、高速渡船和客船等船型。双尾船型也适用于中低速的大型油船和散货船,节能率可达15~20%。对于 $L/B \leq 4$ 、 $B/T > 4$ 的超浅吃水肥大船型,采用双尾船型可较常规船型节能5~10%。

图13-29(b)为应用于长江客船的双尾船型。实验证明,常规双桨船的 $\eta_h \cdot \eta_r$ 在0.92~0.96之间,而双尾船型则在1.17以上。如川江客船“江汉57”号在采用双尾船型之后,其总推进效率比原船型提高了20~25%以上。

### 四、纵流船型

内河船因受航道水深的限制, $B/T$ 、 $L/T$ 都比较大,而 $L/B$ 则偏小。对这种主尺度比的快

速船,如按一般船型的阻力规律,即从适宜的水线形状的角度来考虑,常使船的首波(尤其是散波)较大,阻力性能较差,特别是首波对航道中小船的安全性及堤岸的保护极为不利,对在浅水急流的险滩航道航行时冲过滩险也不利。因此,有关单位在总结我国内河浅水急流船型的基础上,发展了水流主要沿纵剖面流动的纵流船型。图13-30(a)为纵流首配以常规巡洋舰尾型线的长江船型( $L_2$ 模),图13-30(b)为首尾都为纵流型( $M_2$ 模)。两船的总长为77m(水线长分别为72m和70m)、 $B=13\text{m}$ 、 $T=2.4\text{m}$ 、 $\nabla=1500\text{m}^3$ ,与定型的汉渝线客船“东方红38”号相当。

由船模试验中测得的波高(船模与池壁中间处的值)及阻力的对比可见,纵流船型的消波(尤其是首波)及阻力方面都有显著的效果。用纵流型线建造的“东方红118”船、川江120HP航标艇、源水100客位客船,实船试验及实际使用都证明效果很好。1975年,四川省船舶选型定型工作中,对七型主尺度及船型系数相近的船舶做了试验,测得的首部波高如表13-5所示,资料充分证明,纵流船型的内河船舶在快速性和消波性能方面都具有很大的优越性。

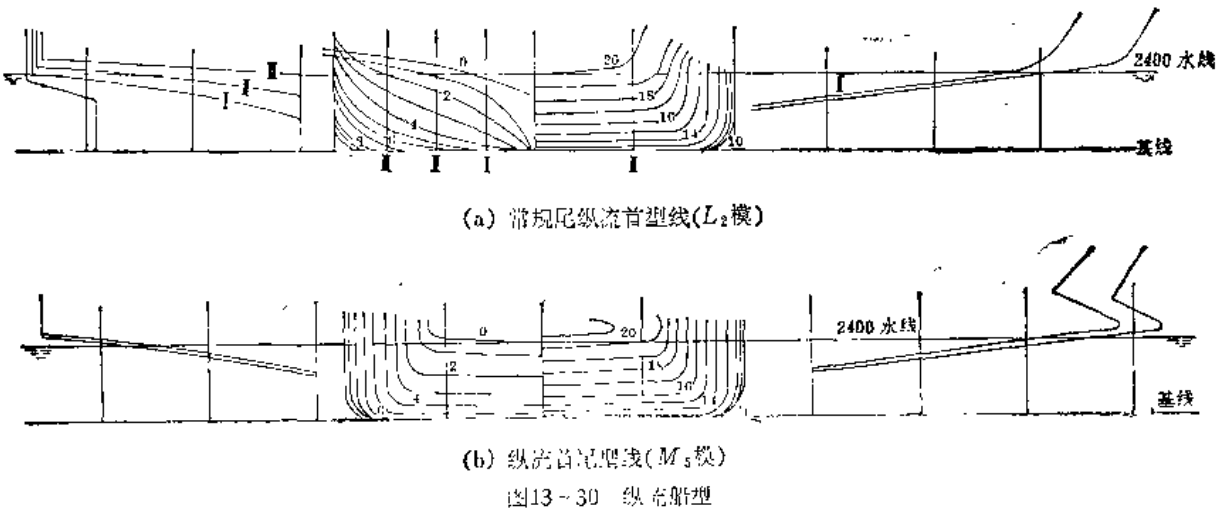


表 13-5 几型四川省内河船试验

型 线	常规优秀	平底川筏	隧道船型	纵流压浪	简易型线	圆弧鸡胸	尖弧鸡胸
特 征	尖头	纵流	尖头	纵流	纵流	纵流	纵流
波 高 (m)	0.87	0.48	0.98	0.30	0.41	0.58	0.70
波 高 相 对 值	100	55.2	112.7	34.5	47.1	66.7	80.7

纵流船型兴波阻力上的优越性可粗略地解释为:在特定大的 $L/T$ 及 $B/T$ 下,其诱导速度低,大部分水流以较短的路径沿船底向后流动。纵流压浪船型(见图13-31),首部伸出水线之上并与水面成较小的夹角,约制了水流的升高并迫使水流向底部流动,起了压浪板的作用,因此,消波的作用更强。另外,纵流船型的水线较平直,也有利于减少兴波,尤其是首散波。

试验表明,图13-31表示的压浪长度( $l$ )及纵流角( $\psi$ )是纵流压浪船型的两个重要参数。当 $Fn=0.27\sim 0.35$ 时,适宜的 $l/L_{w1}=4\sim 3.5\%$ ( $Fn$ 大时取低值), $\psi\approx 6^\circ$ , $l'/L_{w1}\approx 5\%$ , $l'/T\approx 1/5$ 。

另外，纵流船型还有这样的一些优点：甲板面积大、稳性好，型线简单、容易施工，内河中可用船头顶岸停靠。

它的缺点是在风浪中或在对开船舶造成的横浪中航行时底部容易发生砰击。因此，航行在开阔水域里的船舶，是否采用这种船型就得很好地研究，为此，湖南源水客船采用了鸡胸型首部线型，使首部船底横剖型线呈曲度不大的弯曲，以降低砰击。

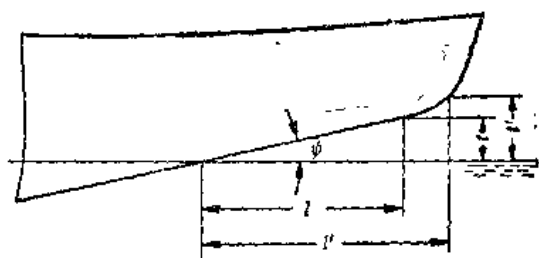


图13-31 纵流压浪船型

顺便指出，内河拖船为了获得更好的螺旋桨来流，也常设计成纵流型尾。但应注意尾部纵剖线的斜度要小。为此，常不得不将浮心位置前移，使阻力有所增加。有时，因抬高了尾部，使机舱地位及轴系安排上产生了一些困难。

## 五、简易船型

简易船型是指船体型线整体地或部分地简化成易建造施工的简单形状的船型，如肋骨简化成直线或折线型，船体表面简化成简单平面或可展曲面等。其实，简易船型在木船建造中早已使用，后来只不过沿袭木船的习惯用于非自航船舶、内河小船和其他船舶。

第一次世界大战时，为了急需补充战争损失的大量海上运输船舶，开始采用简易型线来建造大型运输船舶和小型辅助船舶。第二次世界大战时，这种船型也有所应用。战后，因这种船型在快速性上存在着疑问和争论。所以，极少采用。60年代之后，人们对简易船型的兴趣又有所抬头。特别是船厂为了降低造价，力求使整个船体百分之百地由单曲面(可展曲面)组成，而同时还保持甚至更进一步地改进船的流体特性。图13-32表示一种船体曲面划分成不同区域，使各区域内的曲面为可展曲面的例子。

有人认为，即使对最简单的单折角形船型，其阻力增加也须小于6%才能与常规船型竞争。

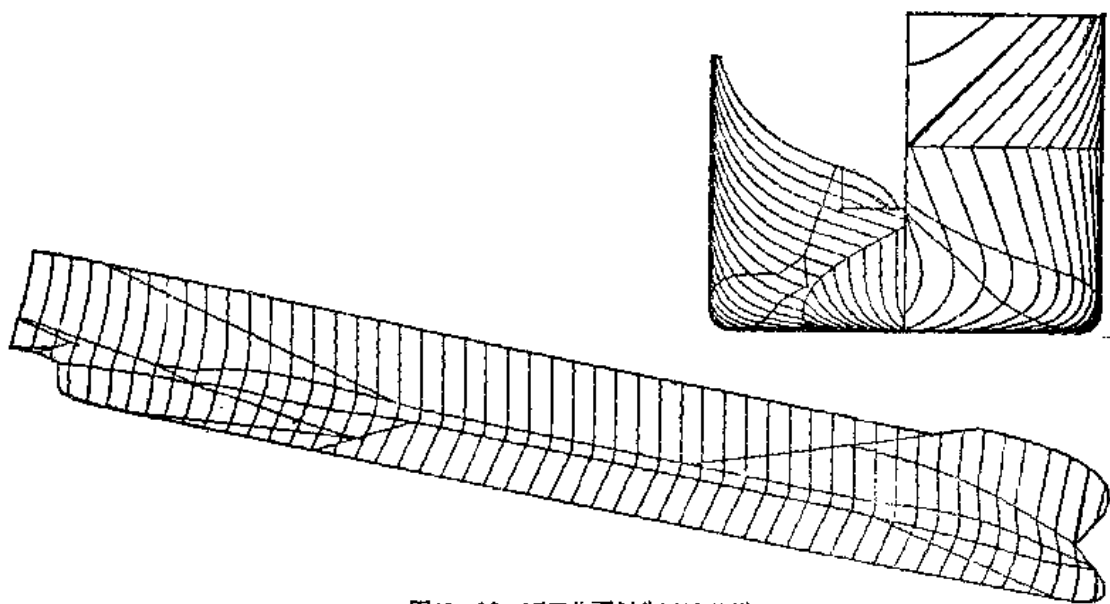


图13-32 可展曲面划分区域示例

图13-33所示是“锥式”简易船型,这种船型的首部水流沿斜剖线方向流动,尾部水流沿纵剖线方向流动,具有较好的快速性和耐波性。

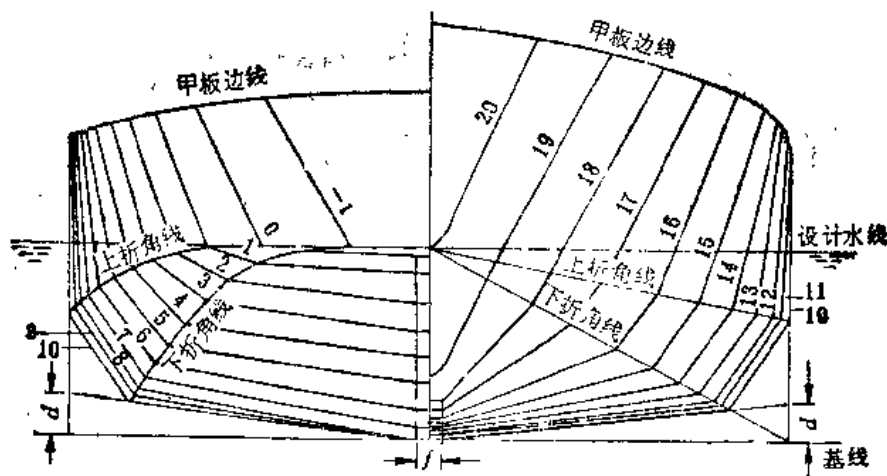


图13-33 “锥式”简易船型

我国采用简易船型,还只限于内河船,其中单折角型线限于驳船及航速较低、吃水较浅的自航船舶。双折角可展表面(类似于锥式)船型则用于 $C_b$ 较小,吃水不太浅的几型拖船上(主机功率最大者为1040HP),其优点是可加大桨径,使水流均匀化,改善推进性能。

## § 13-4 型线图的手工绘制法

在选取了新船的型线特征和参数以后,接下来就是绘制船体型线图。前已述及,型线设计及生成的方法有三种,包括优秀母型改造、船模系列资料和电子计算机生成型线等。如果从绘制船体型线图的方法来看,可以分为两大类:一是手工法——即完全靠手工绘制,这是传统的方法;二是电子计算机辅助设计型线并绘制型线图,包括母型变换(改造)、数学船型等方法。这一节只讨论手工绘制型线图的方法与步骤。下节再对电子计算机辅助型线设计进行简要介绍。

手工绘制型线通常是先绘制网格线、画草图,再绘制正式型线图。

### 一、绘制网格线

网格线是绘制正式型线图的基准,对图纸的准确性影响很大。绘制网格线的大体步骤如下:

- ① 安排好图面布置,选取恰当比例,绘基线,设计水线及中线和半宽线。
- ② 选取站号数,等分站号,作站线。
- ③ 选取水线数,作水线。
- ④ 选取纵剖线数,作纵剖线,纵剖线一般取3~4根。可等分半宽,也可取整齐数字。
- ⑤ 绘制横剖型线图的格子线。

上述各条直线形成的网格,是绘制型线图的基准,尺寸务必准确,线条细而均匀。通常先用铅笔绘出,待校对、检查满意后,再用蓝、红颜色墨水描出,以免修改图线的过程中被擦掉。

## 二、绘制横剖面面积曲线——确定每站的横剖面面积 $A_i$

当棱形系数 $C_p$ 和相对浮心纵向位置 $\bar{X}_b$ 确定以后,就可以按照§13-2所述,确定有关特征参数,绘制横剖面面积曲线。通常是找一般相近的优秀系列船型或实船作型船,以其横剖面面积曲线作参考,结合新船的特点与要求,将其面积曲线作适当改造面得。具体方法为:

### 1. 选择 $C_p$ 与设计船相近的型船

根据型船资料,在方格纸上画出无因次形式表达的横剖面面积曲线。即 $A_m=1.0$ ,各站相对面积为 $A_i/A_m$ ,船长等于1.0。这时已知型船的 $C_{p0}$ 和 $\bar{X}_{b0}$ 。

### 2. 改造曲线,使其符合设计船的 $C_p$ 值

一般通过目测手段,注意变化趋势,局部修改曲线而得出新曲线,对修改后的新曲线要核算 $C_p$ 值,使其等于设计船的 $C_p$ 值为止,并计算出曲线面积的形心纵向坐标 $\bar{X}_b$ 。

### 3. 调整 $\bar{X}_b$ 值

前已述及,设计船的 $\bar{X}_b$ 值是根据阻力等因素选择确定的,而用修改型船曲线得到 $C_p$ 符合要求的曲线,其 $\bar{X}_{b0}$ 值则往往与设计者所取之值有所区别。通常可以用作图法,将两者调整到一致。

图13-34为保持 $C_p$ 基本不变而改变浮心位置的横剖面面积曲线改造法的示意图。该方法通常称为“迁移法”。

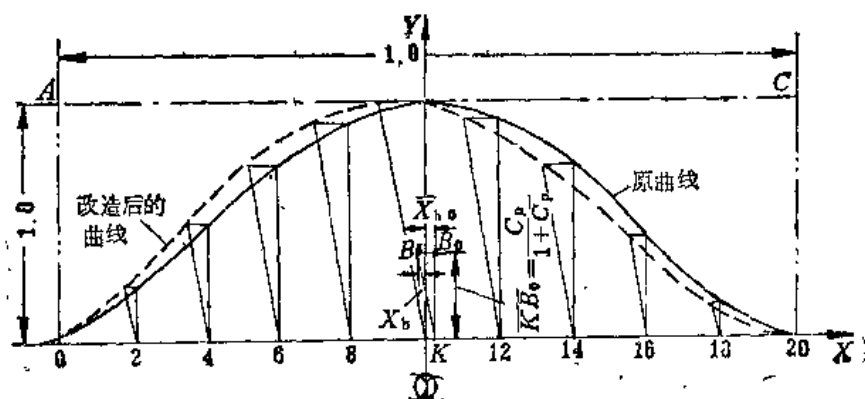


图13-34 迁移法示意图

如设横剖面面积曲线的形变函数为:

$$x_1 = x + \delta x = x + by,$$

式中 $b$ 为系数,

$$b = \frac{\bar{B}_0 \bar{B}}{\bar{K} \bar{B}_0} = \frac{\bar{X}_b - \bar{X}_{b0}}{\bar{K} \bar{B}_0} = \frac{\delta \bar{X}_b}{\bar{K} \bar{B}_0}.$$

如设横剖面面积曲线近似为高次抛物线,坐标原点取在船中,则方程为:

$$y = 1 - (2x)^{2n}$$

横剖面面积曲线所围面积对 $X$ 轴的静矩为:

$$M_{ox} = \int_{-1/2}^{+1/2} \frac{y^2}{2} dx = \int_{-1/2}^{+1/2} \frac{[1 - (2x)^{2n}]^{\frac{1}{2}}}{2} dx$$

$$= \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{2}{2n+1} + \frac{1}{4n+1} \right)。$$

横剖面面积曲线所围的面积

$$A = \int_{-1/2}^{+1/2} y \cdot dx = \int_{-1/2}^{+1/2} [1 - (2x)^{2n}] dx$$

$$= 1 - \frac{1}{2n+1} = C_p。$$

即得

$$2n = \frac{C_p}{1 - C_p}, \quad 4n + 1 = \frac{1 + C_p}{1 - C_p}。$$

因此,横剖面面积曲线形心  $X_{b0}$  的  $y$  坐标为:

$$\overline{KB_0} = \frac{M_{ox}}{A} = \frac{2C_p^2}{2C_p(1 + C_p)} = \frac{C_p}{1 + C_p}。 \quad (13-17)$$

平行于  $X$  轴取  $\overline{BB_0} = \delta \overline{X_b} = \overline{X_b} - \overline{X_{b0}}$ , 连  $KB$ , 过各站线作  $\overline{KB}$  的平行线, 则可得到改造后的曲线。因为该公式是近似的, 所以求得新曲线后应对  $C_p$  及  $\overline{X_b}$  作校核计算, 如误差嫌大, 应再作修正, 直至符合要求为止。

有了新船的横剖面面积曲线, 则每站的水下剖面面积  $A_i$  也就确定了。

### 三、绘制设计水线——确定每站的水线半宽值 $y_1$

可以采用绘制横剖面面积曲线相类似的方法, 参考型船的水线形状, 并根据新船的水线面系数  $C_{wp}$  和半进流角  $i_e$  等特征参数的要求, 进行修改得到。

设计水线也可画在方格纸上, 并对  $C_{wp}$ 、 $i_e$  进行校核, 直至符合要求为止。设计水线画好以后, 则每站处的半宽值  $y_1$  也就确定了。

### 四、绘制中横剖面

根据  $B$ 、 $T$ 、 $C_m$ 、 $f$ 、 $R$  可以绘制出中横剖面图, 绘制时应参考型船的型线, 校核  $C_m$ , 使其符合要求。中横剖面图同样可画在方格纸上, 但比例应取得与正式型线图相同。

### 五、画侧面轮廓面

因侧面轮廓及甲板边线(包括首尾轮廓线、上甲板的舷弧线和水平投影线)与总布置关系密切, 画图时既可参考母型型线, 更要与设计船的总布置进行协调, 通常是根据总布置图的要求来绘制的。

可用铅笔轻轻画在正式图上, 待其他型线协调后再最后确定。

### 六、绘制各站的横剖面

在确定横剖面面积曲线和设计水线时, 就应考虑到横剖型线的特征, 特别是首尾两端的



横剖线的问题。绘制各站的横剖线时，要保证其 $A_i$ 值和 $y_i$ 值符合要求，绘在中横剖面图上。

下面介绍两种方法：

### 1. 自行凑画

以#16为例，已知#16处的水下横剖面面积 $A_{16}$ 和设计水线半宽 $y_{16}$ ，先求得 $y'_{16} = A_{16} / 2T$ ，则如图13-35(a)中的矩形面积为 $A_{16}/2$ ，并根据#16处甲板边线的高度(侧面图)和半宽(平面图)，可以得到#16处舷侧与甲板的交点 $P$ ，画横剖线并用目测或数格子方法使图上两阴影部分面积相等。曲线自 $f$ 宽度处通过设计水线半宽 $y_{16}$ 点，延伸到 $P$ 点。画曲线时首先注意水下部分曲线的形状，同时注意水下部分与水上部分的光顺连接，可应用面积仪或计算方法校核 $A_i$ ，使其符合要求。同时待其他站处的横剖线画好后，应注意各站的曲线变化均匀协调。

绘制时，也可采用使折线形的剖面面积等于 $A_i$ 的方法，如图13-35(b)、(c)所示。

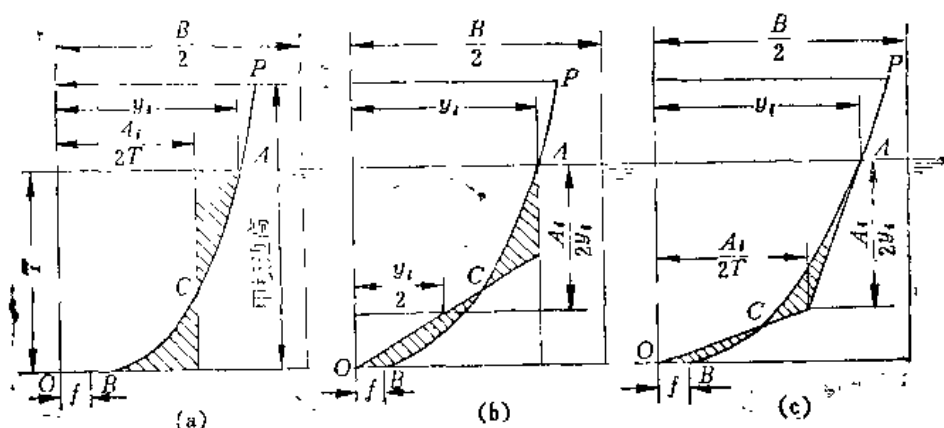


图13-35 横剖线的绘制方法

### 2. 参考型船的型线图

如果有 $C_p$ 值相近的型船的横剖面面积曲线、型线图，这时借鉴型船的型线图可以较顺利地各横剖型线的绘制工作，具体步骤如下：

①利用横剖面面积曲线上两船的差别，找到与设计船某站同 $A_i$ 的位置。如图13-36所示。以#16为例，型船对应于 $A_{16}$ 的位置在 $a$ 处。

②在型船的半宽水线图上，量取 $a$ 处的各水线半宽值 $y_{10}$ 。

③取设计船与型船的水线数相等，可求出设计船对应的各水线半宽 $y_i = \frac{B}{B_0} \cdot y_{10}$ 。

④根据 $y_i$ 画出设计船#16的横剖线。

水上部分的各水线半宽也可以用同样方法求出。

通常这样得出的横剖型线能较好地保持光顺、协调，且 $A_i$ 易接近要求之值。但由于型船的型线图往往是蓝图，要顾及到纸张收缩的影响，因此新船横剖型线画好后，仍应核算 $y_i$ 及 $A_i$ 。

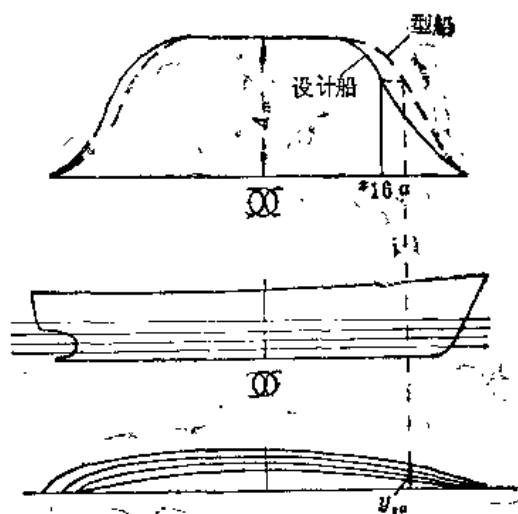


图13-36

绘图时,为了节省工作量,可先每隔一站绘一剖面,待水线光顺后再从半宽水线图上转画出其他站的横剖面。

### 七、绘半宽水线图

根据横剖型线图绘半宽水线图,通常直接绘在正式网格图上。如水线不够光顺,则应将样条调顺,并使横剖面也光顺协调。绘制时应注意使每根水线都光顺,不要有突变、肩点或折线,且各根水线之间变化均匀、协调。

上述水线与横剖面协调后,船体的光顺性大体有了保证,进而可补充绘出平底线等。

关于水线端部的形状与尺寸,需要根据首、尾柱的结构型式与尺寸,并参考相近型船的型线图来加以确定。要注意使水线端部的弧形与水线的切点成一光顺的空间曲线。显然,它的侧投影线与水平投影线也是光顺的。

### 八、绘横剖型线图

在正式型线图上绘横剖型线图。一般根据已绘正式型线图上的半宽水线图绘制。并注意修改、协调。

### 九、绘纵剖型线图

从横剖型线图及水线图量取该纵剖线的各交点的位置,然后连成一曲线即得纵剖面。纵剖面不够光顺,一般可先检查水线的光顺性,然后再检查横剖线的交点,并作局部修改,直至三个投影点符合为止。

通常为了检查船体曲度较大的艏部的纵向光顺性,还在纵剖型线图上加绘斜剖面。如果斜剖面不光顺,则可局部修改对应站的艏部来加以调整。为保证船体表面的光顺性,型线的绘制必须十分仔细认真。

### 十、量取型值,编制型值表,标注必要的尺寸

正式图画好后,应及时量取型值,编制型值表,标注必要的尺寸,并画好边框及标题栏等。图面的规格可参考其他船的型线图,及有关的船舶制图标准。

## § 13-5 电子计算机辅助型线设计简述

50年代后期,开始应用电子计算机来进行型线光顺,即数学放样的研究工作,取得了显著成果。稍后又开展了根据新船的设计要求(给定船的主尺度及型线特征要素)利用电子计算机直接生成型线的研究工作。目前用电子计算机产生型线的方法有改造母型法和数学船型法两种。

### 一、改造母型法

改造母型法又称母型变换法,就是选用已有较适当的优秀船型作母型,运用数学变换方法产生新船的型线,使其既保持原型线的特征,又能符合新船设计的要求。

改造母型方法是以莱肯贝提出的方法为基础。有几种变换方法,它们都是通过数学变换,

对型船的横剖面面积曲线作适当变换,产生新的横剖面面积曲线,从而确定新船的型线。

### 1. $1-C_p$ 法

如果沿船的中横剖面把横剖面面积曲线分成前后两部分,则每一部分都可看成图 13-37 的无因次形状。今后只需讨论变换对半条船的横剖面面积曲线的影响,而对整条船横剖面面积曲线的影响可看成前后两部分的合成。下而就只讨论前半部分曲线的变换情况。

在图 13-37 中,型船的横剖面面积曲线用实线表示,其前体棱形系数为  $C_{pt0}$ ,要改造到虚线,即新船的横剖面面积曲线,棱形系数要改变  $\delta C_{pt0}$ 。

就  $X$  轴方向看,该型船的横剖面面积曲线在  $X$  处的点平移了  $\delta x$ ,而到新船的位置  $x_1$ ,

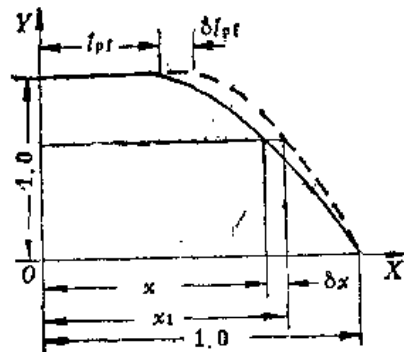


图13-37

则  $x_1 = \delta x + x_0$ 。

这里,  $\delta x$  可以用多种方法来求取。莱肯贝建议可采用一次或二次多项式。如当  $\delta x$  用一次多项式表示时,就成为  $1-C_p$  法。即

$$\delta x = C(1 - x),$$

式中,  $C$  为常数。由图 13-37 可知:

当  $x = 1$  时,  $\delta x = 0$ ;

当  $x = l_{pt}$  时,  $\delta x = \delta l_{pt}$ 。

其中,  $l_{pt}$  和  $\delta l_{pt}$  分别为型船首部平行中体的相对长度及其改变值。从而,

$$\delta l_{pt} = C(1 - l_{pt}),$$

$$C = \delta l_{pt} / (1 - l_{pt}).$$

再考虑到图中虚线部分比实线部分所增加的面积,系代表棱形系数的增加值,从而有

$$\int_0^1 \delta x dy = \delta C_{pt}.$$

考虑到:

$$\int_0^1 x dy = C_{pt},$$

则有:

$$\begin{aligned} \delta C_{pt} &= \int_0^1 \delta x dy = \int_0^1 C(1 - x) dy \\ &= \int_0^1 C dy - \int_0^1 C x dy \\ &= C - C \cdot C_{pt} = C(1 - C_{pt}) \\ &= \frac{\delta l_{pt}}{1 - l_{pt}} (1 - C_{pt}), \end{aligned} \quad (13-18)$$

或者

$$\delta l_{pt} = \frac{\delta C_{pt}}{1 - C_{pt}} (1 - l_{pt}). \quad (13-19)$$

求得  $\delta l_{pt}$  后,即可求得常数  $C$ ;

$$C = \frac{\delta C_{pt}}{1 - C_{pt}}.$$

从而求得每一点 $x$ 处的改变量 $\delta x$ 。

这个方法的优点在于变换公式简单，而且当型船的横剖面面积曲线和水线光顺时，新船的相应面积曲线和水线也一定光顺，因此应用得很普遍。但是，这个方法的缺点是 $\delta l_p$ 和 $\delta C_{pt}$ 是联系在一起的，要改变 $C_{pt}$ 就要改变 $l_{pt}$ ，反之亦然。要单独改变 $l_{pt}$ 或 $C_{pt}$ 是不行的，对于无平行中体的船，就不能采用此方法。这就要求研究更普遍的办法。

## 2. 二次多项式表示法

在 $x_1 = x + \delta x$ 中，形变函数 $\delta x$ 采用二次多项式，即

$$\delta x = a(1-x)(x+b),$$

式中， $a$ 和 $b$ 为两个常数。显然，此式满足当 $x=1$ 时， $\delta x=0$ 的边界条件。

因为当 $x=l_{pt}$ 时， $\delta x=\delta l_{pt}$ ，则

$$\delta l_{pt} = a(1-l_{pt})(l_{pt}+b),$$

从而

$$b = \frac{\delta l_{pt}}{a(1-l_{pt})} - l_{pt}.$$

代入原式中得，

$$\begin{aligned} \delta x &= a(1-x) \left[ x + \frac{\delta l_{pt}}{a(1-l_{pt})} - l_{pt} \right] \\ &= a(1-x)(x-l_{pt}) + \frac{\delta l_{pt}}{1-l_{pt}}(1-x). \end{aligned}$$

又因为：

$$\delta C_{pt} = \int_0^1 \delta x dy,$$

从而

$$\begin{aligned} \delta C_{pt} &= \int_0^1 \left[ a(1-x)(x-l_{pt}) + \frac{\delta l_{pt}}{1-l_{pt}}(1-x) \right] dy \\ &= a \int_0^1 (x-x^2-l_{pt}+l_{pt} \cdot x) dy + \frac{\delta l_{pt}}{1-l_{pt}} \int_0^1 (1-x) dy \\ &= a(C_{pt} - 2C_{pt} \cdot X_{bt} - l_{pt} + C_{pt} \cdot l_{pt}) + \frac{\delta l_{pt}}{1-l_{pt}}(1-C_{pt}). \end{aligned}$$

式中， $X_{bt}$ 为型船前体面积曲线形心的纵向坐标，由图13-38可知：

$$\begin{aligned} X_{bt} &= \frac{\int_0^1 x \cdot \frac{1}{2} x dy}{C_{pt}} \\ &= \frac{\frac{1}{2} \int_0^1 x^2 dy}{C_{pt}}. \end{aligned}$$

从而

$$\int_0^1 x^2 dy = 2C_{pt} \cdot X_{bt},$$

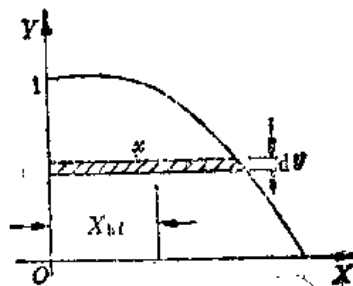


图13-38

于是,

$$a = \frac{\delta C_{pt} - \delta l_{pt} \frac{1 - C_{pt}}{1 - l_{pt}}}{C_{pt}(1 - 2X_{bt}) - l_{pt}(1 - C_{pt})} \cdot$$

令  $A_t = C_{pt}(1 - 2X_{bt}) - l_{pt}(1 - C_{pt})$ 。

可知  $A_t$  是一个常数, 可根据母型资料来求得。于是

$$a = \frac{\delta C_{pt} - \delta l_{pt} \frac{1 - C_{pt}}{1 - l_{pt}}}{A_t} \cdot$$

$$b = \frac{A_t \cdot \delta l_{pt}}{\delta C_{pt}(1 - l_{pt}) - \delta l_{pt}(1 - C_{pt})} - l_{pt} \cdot$$

将  $a$ 、 $b$  代入  $\delta x$  中, 化简后可得

$$\delta x = (1 - x) \left[ (x - l_{pt}) \frac{\delta C_{pt} - \delta l_{pt} \frac{1 - C_{pt}}{1 - l_{pt}}}{A_t} + \frac{\delta l_{pt}}{1 - l_{pt}} \right] \cdot \quad (13-20)$$

以上讨论的是前体, 所用数据都加了下标 “f” 表示, 如把下标改为 “a”, 则表示船的后体。

这个方法的优点是比较灵活, 可同时满足棱形系数和平行中体变化的要求。缺点是变换公式复杂, 变换后的横剖面面积曲线和水线可能失去光顺性, 使用时应特别注意。

### 3. 整条船的控制方法

当把上述方法应用于整条船的控制(如船的棱形系数改变为  $\delta C_v$ , 浮心纵向位置改变为  $\delta X_b$ )时, 就涉及到两个问题。一个是半条船的横剖面面积曲线下面积的形心到  $Y$  轴的距离, 这涉及到静矩及对  $X_b$  的影响, 另一个是前、后半体的棱形系数各改变多少, 现分别分析如下:

① 前后半体面积的增量的形心至  $Y$  轴的距离  $h_f$  和  $h_a$ 。

由图13-39可见,

$$\delta C_{pt} \cdot h_f \approx \int_0^1 x \cdot \delta x \cdot dy \cdot$$

把前面求得的  $\delta x$  代入后可得:

$$h_f = B_f - C_f \frac{\delta l_{pt}}{\delta C_{pt}} \cdot \quad (13-21)$$

式中:

$$B_f = C_{pt}[2X_{bt} - 3K^2 - C_{pt}(1 - 2X_{bt})]/A_t;$$

$$C_f = [B_f(1 - C_{pt}) - C_{pt}(1 - 2X_{bt})]/(1 - C_{pt});$$

$$K^2 = \frac{1}{C_{pt}} \int_0^1 x^2 y dx \cdot K^2 \text{ 实际上为原面积对船中的二次矩臂。}$$

同样对后半体有:

$$h_a = B_a - C_a \frac{\delta l_{pa}}{\delta C_{pa}} \cdot \quad (13-22)$$

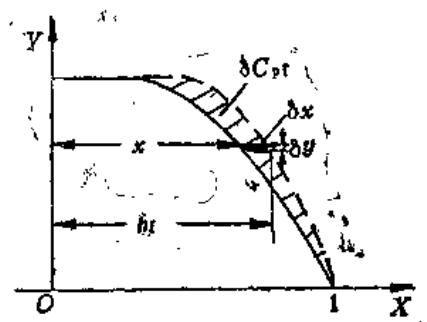


图13-39

②前、后半体棱形系数的改变值 $\delta C_{pt}$ 、 $\delta C_{pa}$ 。

当总的棱形系数改变为 $\delta C_p$ 、浮心纵向位置改变 $\delta X_b$ 时，需确定前、后半体的棱形系数的改变值 $\delta C_{pt}$ 和 $\delta C_{pa}$ 。

$$\text{因为} \quad C_{pt} = \frac{\nabla_t}{A_m \cdot \frac{1}{2}L} = \frac{2\nabla_t}{A_m \cdot L} ;$$

$$C_{pa} = \frac{2\nabla_a}{A_m \cdot L} .$$

式中， $\nabla_t$ 、 $\nabla_a$ 为前、后半体的排水体积， $A_m$ 为中横剖面面积， $L$ 为船长。于是：

$$C_{pa} + C_{pt} = \frac{2(\nabla_a + \nabla_t)}{A_m \cdot L} = \frac{2\nabla}{A_m \cdot L} = 2C_p ,$$

$$\text{或者} \quad \delta C_p = \frac{1}{2}(\delta C_{pt} + \delta C_{pa}) ,$$

式中， $\nabla$ 为总排水体积。

再根据各部分面积对 $Y$ 轴的静矩之和等于总面积对 $Y$ 轴之静矩，並注意到前体静矩为正，后体静矩为负。可得：

$$2C_p \cdot X_b + h_t \cdot \delta C_{pt} - h_a \cdot \delta C_{pa} = 2(C_p + \delta C_p)(X_b + \delta X_b) .$$

解联立方程组：

$$\begin{cases} \delta C_p = \frac{1}{2}(\delta C_{pt} + \delta C_{pa}), \\ 2C_p X_b + h_t \cdot \delta C_{pt} - h_a \cdot \delta C_{pa} = 2(C_p + \delta C_p)(X_b + \delta X_b) . \end{cases}$$

于是可得：

$$\delta C_{pt} = \frac{2[\delta C_p(B_a + X_b) + \delta X_b(\delta C_p + C_p)] + C_t \delta l_{pt} - C_a \cdot \delta l_{pa}}{B_t + B_a} . \quad (13-23)$$

$$\delta C_{pa} = \frac{2[\delta C_p(B_t - X_b) - \delta X_b(C_p + \delta C_p)] - C_t \delta l_{pt} + C_a \delta l_{pa}}{B_t + B_a} . \quad (13-24)$$

这样，如果已知 $\delta C_p$ 、 $\delta X_b$ 、 $\delta l_{pt}$ 、 $\delta l_{pa}$ ，则可求得前、后半体的棱形系数的改变值 $\delta C_{pt}$ 、 $\delta C_{pa}$ ，並可根据(13-20)式，计算得出满足要求的横剖面面积曲线值。

上述方法基本上是通过横剖面在船长方向的位移变换来进行型线设计的。在使用这些方法时应注意到：

①这些变换方法虽然能达到改变船舶形状及主要船型系数的目的，但很难估计出船舶的航海性能的变化(如快速性、适航性等)。因此，一般仅用于对母型作很小变化的船的型线设计，以便可望新船的性能也变化不大。

②即使原型的水线线型是光顺的，变换方法也可能造成新的不光顺。在具体绘图时常要进行适当的修饰。

③上述的各种方法不适宜用于改变横剖面的形状，尤其是当中横剖面差别很大时。为此索丁和拉宾提出了一种新的变换方法，即

$$x_{\text{new}} = \Delta x + x ,$$

$$y_{\text{new}} = \Delta y + y,$$

$$z_{\text{new}} = \Delta z + z.$$

而 $\Delta x$ 、 $\Delta y$ 、 $\Delta z$ 都是 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 的函数。这种方法能适合各种要求,但计算工作量大,函数的构成也较复杂。

## 二、数学船型

数学船型就是用数学模型来表达船体曲面。与手工绘制型线图相比,数学船型方法有许多优点。首先,数学船型是直接设计三维船体曲面,然后绘成型线图的,这样就能充分保证型线图上三个部分(半宽水线图、纵剖型线图和横剖型线图)的一致性。其次,数学船型生成的是连续曲面,不是型线网格,因此不再需要用手工作图插值的方法去求肋骨型值,有助于提供各种精度高的数据。况且,数学船型设计船体型线图的速度快,不仅缩短了设计周期,而且便于设计人员作交互设计,很快得出线型光顺、美观,性能优良的船体曲面。

当然,不同的设计者、设计思想和方法可以得出不同的型线表达方式。但不论哪种方法都必须考虑到曲面应满足的边界条件,使曲面在船中部和首尾部的形状与中横剖面及首尾轮廓相匹配,此外,考虑到在大部分数学船型方法中,产生前半体曲面和后半体曲面的方法大致类似。为了便于叙述,对前后两半体采用图13-40的坐标系。

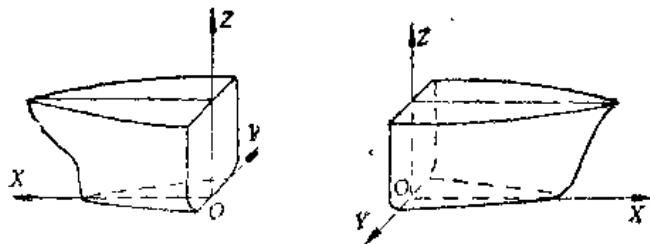


图13-40

数学船型方法可分为一步法和两步法,分别简述如下。

### 1. 两步法

两步法先用带参数的数学方程表达船体一个方向上的曲线,然后使参数在另一个方向上变化而形成船体曲面。先表达水线再构成曲面的叫吃水函数法;先表达横剖线再构成曲面的叫纵向函数法。下面就以吃水函数法为例,介绍数学船型的基本原理。这种方法的关键在于解决两个问题,即船体水线的数学方程形式和水线在吃水方向上的变化。

#### ①水线的数学表示方法。

最常见的水线表达形式为多项式,即

$$\begin{aligned} y &= a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n \\ &= \sum_{i=0}^n a_ix^i. \end{aligned} \quad (13-25)$$

式中, $a_i$ 为系数, $n$ 为多项式的最高次数,通常 $n$ 取4或5。当 $n=4$ 时得

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4; \quad (13-26)$$

系数 $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$ 可根据边界条件来求解。由于半条船的水线具有如图13-41的形式, 因此可建立下列边界条件:

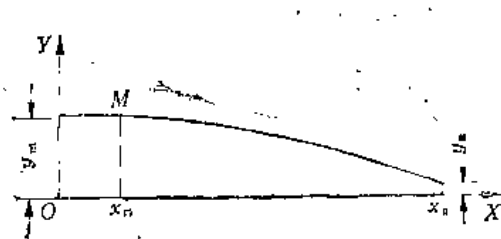


图13-41

i. 在船首(尾)轮廓处, 水线半宽等于角点线半宽。因此, 当 $x = x_n$ 时,  $y = y_n$ 。

ii. 在水线平边点M处斜率为0, 因此 $y'_{x=x_n} = 0$ 。

iii. 在水线平边点M处的水线半宽可由中横剖面半宽求得。因此, 当 $x = x_n$ 时,  $y = y_m$ 。

iv. 水线面积应等于预定设计值, 即 $\int_0^{x_n} y dx = A$ 。

v. 水线在船首(尾)端点处进流角应等于设计值。因此,  $y'_{x=x_n} = i_c$ 。

也有把第V个条件定为水线对OY轴的面积静矩。

这样, 由上述五个条件就可解出 $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$ 来, 从而得出一条水线的方程。当然这五个条件要配合适当, 以避免出现不必要的拐点或波动。

水线方程式还可如多项式链、广义箕舌线、余弦函数等表示, 这里就不多述了。

## ②水线方程系数在高度方向上的变化

由于每根水线的边界条件为 $x_n, y_n, x_m, y_m, A$ 等都是沿高度方向变化的(叫吃水函数), 从而介得的水线方程系数 $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$ 也是沿高度方向变化的, 即为 $z$ 的函数, 可表示为:

$$a_1 = f_1(z)。$$

通常 $f_1(z)$ 可用不同类型的函数, 也可用多项式表示, 即

$$a_1 = t_{10} + t_{11} \cdot z + t_{12} \cdot z^2 + \cdots + t_{1j} \cdot z^j。 \quad (13-27)$$

这多项式的最高次数可由设计者自行确定, 一般也不宜太大。这样, 船体曲面方程就能表示成:

$$y(x, z) = f_0(z) + f_1(z) \cdot x + f_2(z) \cdot x^2 + f_3(z) \cdot x^3 + f_4(z) \cdot x^4。 \quad (13-28)$$

在初次进行船体曲面设计时, 可按设计要求并参考母型来确定曲面的一些边界条件。例如, 船首(尾)轮廓 $x_n$ , 角点线半宽 $y_n$ 、中横剖面处半宽 $y_m$ 等可由设计要求来确定, 而各水线的面积 $A$ 、静矩 $M_{oy}$ 等可参考母型来确定, 从而解出不同高度处的 $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$ ; 再分别对 $a_i (i = 0, 1, 3, 4)$ 进行多项式拟合, 得出系数 $t_{ij} (i = 0, 1, 2, 3, 4; j = 0, 1, 2, \cdots, l)$ 。正如已指出的, 为求得较光顺的船体曲面, 吃水函数之间的配合很重要, 尤其是水线面积 $A$ , 它与许多条件有关。

## 2. 一步法

一步法就是直接用空间曲面方程来描绘船体曲面。设计者应按设计要求直接确定曲面方程的各个参数。当然这种船体曲面方程应满足船体曲面的边界条件, 并尽量做到三向光顺。如以多项式曲面方程形式为例。用来表示船体曲面的多项式方程为:

$$y = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n C_{ij} x^i z^j; \quad (13-29)$$

式中 $m, n$ 不宜太大, 以免引起不必要的波动。

如果取 $m = 4, n = 2$ , 则可得曲面方程:



$$y = \sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^2 C_{ij} x^i z^j. \quad (13-32)$$

用来确定系数 $C_{ij}$ 的边界条件为:

- I. 在中部即 $x=0$ 处满足中横剖面的形状要求。
- II. 在中部处的 $x$ 方向偏导数为0。
- III. 曲面在首(尾)轮廓处应准确地通过角点线。
- IV. 曲面在设计吃水以下部分所围的体积应等于新船设计所要求的排水体积。

此外, 为了便于控制曲面形状, 还可根据统计资料或型船确定曲面对基线面的一次矩、二次矩等。然后就可按这些条件解出方程的系数 $C_{ij}$ , 从而得出用多项式表示的曲面方程。

由于计算几何的迅速发展, 已提出了许多种曲面片方程, 可用来拼接和构成较复杂的几何体的外形曲面, 如飞机、汽车、船体等。常用的曲面片有: 孔斯曲面片、贝齐尔曲面片, B样条曲面片等。详细内容, 读者可参阅有关研究文献。

总的来说, 数学船型方法在解决船体曲面的初步设计方面比手工设计前进了一大步。但目前数学船型还不能达到工艺上的光顺性。因此所设计的曲面在施工前一般还要经过放样。此外, 与任何工程设计一样, 采用数学船型以生成型线, 也不存在万能的方法, 设计者应根据船型特点选择适当的方法, 並要注意到解决各种细节问题, 如折角线、艤部升高等, 需在船舶设计的实践中进一步丰富这方面的经验。

## § 13-6 设计中应注意的问题

船体型线设计是船舶设计中影响全局的重要工作, 涉及面很广, 要考虑的问题很多。下面进行简要归纳与分析, 以加深对问题的理解。

### 一、要综合考虑多方面的因素

船体型线与多方面的因素有密切联系

#### 1. 性能

水下部分型线(包括 $C_D$ 、 $C_{wp}$ 、横剖面形状及 $UV$ 度、水线形状及半进流角 $i_s$ 等)——除特殊情况外, 通常主要是从快速性出发, 兼顾耐波性、操纵性等要求。

水上部分型线(包括首、尾舷弧、外飘度、甲板宽度等)——主要考虑耐波性, 兼顾稳性、抗沉性及使用要求等。並应注意与水下部分的光顺过渡。

首部型线——主要考虑兴波阻力与耐波性, 还有操纵性。

尾部型线——主要考虑螺旋桨的工作条件(包括提高推进效率、减少激振力等)和旋涡阻力, 以及操纵性等。

#### 2. 总布置

船体型线对总布置也有重要影响。如设计中要注意:

货舱口——船中前接近首部的上甲板宽度如太狭, 影响舱口的尺寸; 如下甲板太窄, 上甲板很宽, 对货舱容积的利用有影响。这与 $C_{wp}$ 的选择及水上部分外飘有关。

机舱布置——对尾机型船, 如船型太瘦则机舱底部的宽度太窄将影响机器的布置与安装; 如双桨船型线太瘦导致出轴太早, 轴长度大, 有时甚至要加两个轴支架, 结构复杂, 阻

力增加。这与 $C_p$ (特别是 $C_{pa}$ )以及 $X_b$ 的大小有关。在设计中,有时往往需要勾画横剖面草图及机舱平面图,并与全船布置相协调。

首楼甲板(或上甲板前端)——不能太狭,否则锚泊设备布置困难,起锚时可能钩住船底或碰到船侧板或球首等,这与首柱斜度及首部横剖面水上部分的外飘程度有关。

纵倾调整——设计中要求 $X_g = X_b$ 。阻力方面有所谓最佳的浮心位置 $X_b$ ,但布置上船的重心 $X_g$ 如不能协调配合,则需在设计型线选择 $X_b$ 时,顾及到总布置的重量分布,进行仔细分析权衡利弊后,协调处理。

### 3. 结构与工艺

型线设计与结构强度也有密切关系,如大船首悬体太长,从强度、进坞搁墩木等都是不利的。尾悬体太长,同样对强度和尾部振动带来不利影响。此外,船体曲度太大,给施工造成困难;首部剖面太狭长也难以施工。一般民用船舶将巡洋舰尾切平;以及小船结合操纵性考虑,有将首部水下部分切去一部分(即切去前踵)等,都是从简化工艺,便于施工出发的,如图13-42所示。

有时为了施工建造方便船体型线应注意简化,如采用单曲面或直线连接等。有的船上甲板以上的型线比较简单,如采用首折角线等(图13-43),这既简化了工艺,又不影响船舶性能。因此,在设计型线时,对便于施工建造应有足够的重视。

### 4. 船体型线本身的协调合理

船体型线是一光顺连续的整体,其构成的各要素间相互联系与制约,在设计型线时要协调好各方面的关系,以保证整个型线的光顺、和谐与合理。

如选取U形的首横剖面,则应配合以 $C_{wp}$ 较小的水线面,水线下的首柱斜度不能取大等。

再如首部横剖面是U形,但甲板高度较低,要使水上部分的外飘大往往也难以做到,如图13-44所示。这时只有将甲板提高(干舷或首舷弧增加)或设计成V形横剖面,才能保证有较大的外飘度。

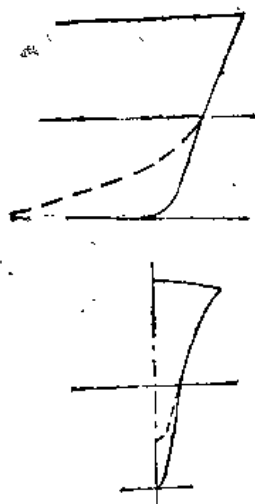


图13-42

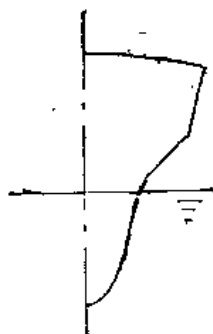


图13-43

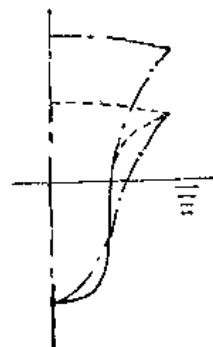


图13-44

总之,设计船体型线时应考虑多方面的因素。设计者应根据新船的任务特点及使用要求,综合分析,权衡处理问题。

## 二、要分析运用型船的资料

优秀的相近型船的型线图对设计新船型线有重要参考价值。对已有实船的型线图,可以

从以下几个方面进行分析,考虑,以判定其作为型船的适宜程度。

特征数,包括 $L/B$ 、 $B/T$ 、 $D/T$ 、 $C_b$ 、 $C_D$ 、 $C_m$ 、 $X_b$ 、 $i_e$ 、 $L_D$ 、 $V_s$ 、 $Fn$ 、主机功率及型号、单桨或双桨等,与设计船的接近程度如何?横剖面型线特征 $UV$ 度,水上部分外飘程度如何?与设计船的要求是否适应?型线是否经过放样?光顺性怎样?有无肩点、拐点等需要改进?有无球首、球尾等,如有其特征如何?效果怎样?设计船是否适宜采用?首柱形状、尾框大小及型式,与水线的配合怎样?首尾的外形怎样?船体尾部对舵的保护,螺旋桨的布置及其配合如何?甲板面积,是否满足布置的要求?有无首、尾楼?舷弧、梁拱的情况如何等等。经过实际营运,船在航行时的快速性、耐波性等性能是否优良?

总之,应对型船的型线图从各方面作全面了解,对照新设计船的任务特点及使用要求进行比较、分析,然后确定新船船体型线设计的重点及综合处理方案。

## 复习思考题

1. 为什么说船体型线设计是关系全局的项目之一?
2. 常用的船体型线的生成方法有哪几种?
3. 表征船体外形的特征与参数有哪些?
4. 横剖面面积曲线有哪些特征?
5. 选择棱形系数 $C_D$ 应考虑哪些因素?为什么低速运输船不是从阻力上最佳出发考虑 $C_D$ 的选取?
6. 浮心纵向位置 $X_b$ 与哪些因素有关?设计中如何选取?
7. 什么样的船舶具有平行中体?平行中体有什么好处?如何确定平行中体的相对长度及适宜位置?没有平行中体船舶的最大横剖面的位置如何确定?
8. 如何选择横剖面面积曲线的首尾形状?
9. 为什么型线设计中选择适宜的满载水线形状有重要意义?设计水线的一些特征是如何确定的?
10. 船体首尾部分型线特征包括哪些方面?首柱外倾有哪些优缺点?
11. 船的尾部轮廓与尾框形状的选择应考虑哪些因素?
12. 首、尾横剖面型线有哪几种形式,与哪些性能有关,各自适用于哪种船舶?其水上部分的型线设计应考虑哪些因素?
13. 什么叫 $UV$ 度?目前的衡准方法有哪些?
14. 船中剖面形状是如何确定的?
15. 选用球首型线应考虑哪些因素?
16. 船体型线尾部有哪些特殊型式?各有哪些优缺点?
17. 纵流船型有什么特点?在什么情况下采用较合适?
18. 什么是简易船型,有何实际意义?
19. 型线图手工绘制法的步骤与方法是怎样的?
20. 电子计算机辅助型线设计有什么特点?什么是改造母型法?数学船型有哪些优点?
21. 船体型线设计与哪些因素有关,如何综合考虑?
22. 型线设计中如何分析运用型船的型线资料?

# 第十四章 船舶总布置设计

## §14-1 概 述

通常,在船舶设计的初始阶段,确立总体设想、选择与确定船的主尺度时,就要对新船的总布置格局,包括甲板层数、建筑特征、上层建筑大小、机舱位置等进行构思,勾画总布置草图。特别是容积型船舶如客船、汽车渡船、调查船等更是这样。等到经过重量与浮力、舱容、快速性、稳性等技术经济性能初步估算,把船的排水量和主尺度确定以后,就要分别进行总布置设计和型线设计。因为两者是相互联系与制约的。下面对总布置设计的内容及重要性作一简要介绍。

### 一、内容

所谓总布置设计,简单地说就是完成新船总布置图的设计绘制工作。

主要工作内容有:

区划船舶主体及上层建筑 包括机舱位置,水密横舱壁和甲板的设置、货舱、油水舱、居住及工作舱室的划分,还有水上部分的造型设计等等。

纵倾调整 妥善考虑船的各部分重量沿船长方向的分布,保证船具有一定的浮态(首尾吃水)。

舱室与设备的布置 舱室包括居住、生活、工作等舱室的内部布置。设备包括舱室内部及露天甲板上各种设备的布置,如通风机、空调装置、消防器材、应急发电机以及锚、绞车、起货吊杆、救生艇等等。

规划通道与梯口 包括全船上下左右的通道、梯子(内部与露天甲板部分)、逃生口等等。这是总布置设计中的一个十分重要的内容,对客船来说就显得格外重要。

总之,总布置设计的内容十分广泛,它是整个船舶设计中最复杂、最困难的工作之一。

### 二、重要性

总布置设计是整个船舶设计中极为重要的一个环节,是船的主尺度确定以后,进一步开展各部分设计与计算工作的主要依据之一。它与型线图一样,是影响全局的设计工作。总布置设计的合理与否几乎对新船的所有性能都有影响,如:

使用要求 ——对货船,影响到舱容利用,装卸速度与效率;对客船,关系到旅客的舒适、方便与安全;对拖船、渔船影响到拖带与捕捞作业的方便与安全等等。

技术性能 ——如稳性(重心高度、受风面积)、抗沉性(分舱)、快速性(纵倾情况)、驾驶视线(驾驶室位置及高度)等等,此外,船舶的防火也是一个十分重要的问题。

经济效益 ——前已述及,经济与适用有密切关系。如货船的分舱是否合理,货舱口的大小等,对装卸效率有影响。对客船,其内部布局包括舱室标准、装潢美工、公共处所及设施,对旅客的吸引力影响极大。国外各航运公司竞争激烈,总布置的优劣对船经济性的影响就更大、更直接。

结构工艺——如舱壁、支柱等的设置与大面积餐厅等公共处所的划分等是影响结构强度和施工等的因素之一。总布置设计时要注意与船体结构设计(包括建造工艺)相互协调、密切配合,应考虑到结构、强度、振动、建造、工艺等方面的要求。

设计绘制总布置图是一项重要而细致的工作,修改完善往往需要很长时间,当船、机、电各部分设计工作深入后,反馈回来的意见、要求,往往又都会集中到总布置图上。而总布置图上稍有改动将可能引起船机电等许多图纸的修改。因此,总布置图的确定应广泛听取各方面的意见,尽量把问题考虑得仔细深入些。

在这一章中,将对总体布局划分、舱室及梯道的布置、纵倾调整、设备的配置及舱面布置等内容作概要介绍。要能设绘好总布置图,特别是比较大的船舶的总布置图,必须通过认真学习、仔细研究、较长时间的实践与积累经验,才能做到。

## §14-2 总体布局的确定

所谓确定总体布局,就是根据船的技术特点及使用要求,参考有关型船资料,对全船空间进行合理的区划,如对船主体部分区划出各种不同用途船舱的位置及大小;上层建筑部分则是确定其型式、层数、长度及内部划分等。

总体布局的确定,关系错综复杂。下面分船主体及上层建筑两部分进行讨论。

### 一、主体内船舱的划分

前已述及,所谓船主体就是指船的连续露天甲板(通常为上甲板)以下的部分。这部分的总布置设计,首先是确定水密舱壁、甲板、机舱位置、边舱及双层底等的设置与划分等,这涉及到以下的一些因素:满足有关规范的要求;船舱大小符合使用要求;各种装载情况下有适宜的浮态和稳性;考虑总纵强度、局部强度、振动、结构的合理性及建造的工艺性等。

下面分别对船主体内船舱划分的一些问题进行讨论。

#### 1. 水密舱壁

对一艘普通货船来说,船主体沿船长方向,首尾两端是首尖舱与尾尖舱,中间是货舱与机舱,各舱由水密舱壁分隔。水密横舱壁的数目和位置应结合建造规范及总体布置要求确定。确定横舱壁的位置,需先确定肋骨间距。

##### ① 肋骨间距。

确定肋骨间距,划分肋位,这是进行船体构件计算和绘制总布置图的基础工作。我国《钢质海船建造规范》规定:标准肋骨间距为:

$$S = 1.6L_{pp} + 500\text{mm}; \quad (14-1)$$

式中,  $L_{pp}$  为垂线间长(m)。

首尾尖舱范围内的  $S \geq 600\text{mm}$ , 防撞舱壁至距首垂线  $0.2L_{pp}$  区域内,  $S \geq 700\text{mm}$ ; 离尾垂线  $0.15L_{pp}$  至尾尖舱壁之间的间距  $S \geq 850\text{mm}$ 。也可以不采用标准肋距,此时规范规定有关构件的尺寸要相应增加。《长江钢质船舶建造规范》建议内河船的肋骨间距  $S$  为  $500 \sim 600\text{mm}$ 。

民船肋骨号一般从尾编起,以舵杆中心线或其前  $250 \sim 350\text{mm}$  为 \*0, 向首排列。\*0 至尾尖舱壁为一种肋骨间距;尾尖舱壁到距首垂线  $0.2L_{pp}$  处为另一种,其值可由标准肋骨间距

和舱长凑配而得；再向前到首尖舱壁为一种过渡肋距，其值大体为首尾尖舱与主段肋骨间距的平均值，但不大于700mm，首尖舱壁以前为一种肋骨间距，其值与尾尖舱相同。

设计中小型船舶时，当计算得的标准肋距 $S \leq 600\text{mm}$ 时，通常取全船一致、数值比较整齐的肋距，如取600，550，500mm等，以便于计算。

### ②水密舱壁的数目与位置。

《钢质海船建造规范》规定海船的水密舱壁，一般要求不少于表14-1所列的数目。并且规定，机舱的端壁应水密；除尾尖舱舱壁外，其他水密舱壁均应通到舱壁甲板，等等。

表14-1 海船水密舱壁的舱小数目

垂线间长 $L_{pp}(\text{m})$	$L \leq 60$	$60 < L \leq 85$	$85 < L \leq 105$	$105 < L \leq 125$	$125 < L \leq 145$	$145 < L \leq 165$	$165 < L \leq 190$	$190 < L \leq 210$	$L > 210$
中机型船	4	4	5	6	7	8	9	10	另行考虑
尾机型船	3	4	6	6	6	7	8	9	另行考虑

规范还规定货船的防撞舱壁（通常为前尖舱舱壁）距前垂线的距离不小于 $0.05L_{pp}$ （ $L > 200\text{m}$ 的船， $\leq 10\text{m}$ ）但不大于 $0.08L$ ；对于客船，其值 $\geq 3\text{m} + 0.05L_{pp}$ 。这些都是从船碰撞后的安全考虑的。单桨船的尾尖舱舱壁距尾垂线的距离主要考虑尾轴管在尾尖舱内所需的长度，使轴线穿过舱壁有足够的宽度，且涉及尾轴管的密封与安装等问题，一般为 $(0.035 \sim 0.045)L_{pp}$ 。双桨船尾尖舱的长度也大体如此，但为避免尾尖舱前移过多，尾轴管的支持多用另设轴隧舱的办法解决。据统计资料，一般干货船前尖舱与尾尖舱的长度（ $L_a + L_t$ ）约占垂线间长 $L_{pp}$ 的9~12%左右。

从表14-1可知，水密舱壁数目与船长 $L$ 和机舱位置有关。规范只是从结构强度出发规定了最少数目，实际设计时船舶应设几道水密舱壁，主要与货舱数有关；而各水密舱壁的位置，则由机舱的位置及长度和各货舱的长度来定。

必须指出，对于特殊用途的船舶，如车辆渡船、长大件搬运船，其水密舱壁的数目与位置不必满足上述要求，可根据情况进行特殊处理，《日本钢船建造规范》曾对此作过规定。

### ③机舱部位与长度。

机舱部位与长度是总布置设计时必须认真研究的一个重要问题。因为它影响到其他水密舱壁的划分与布局、上层建筑的型式，从而也影响到船的使用效能与技术经济性能。

通常，按机舱的部位可以把船分为尾机型船、中尾机型船、中机型船等等，它们有各自的优缺点。总布置设计时，应根据新船的具体任务与使用特点，选择合理的机舱部位与长度。下面对不同机舱部位型式作简要分析。

**尾机型** 现代运输船大多采用尾机型，其中油船早已全部为尾机型，而货船采用尾机型者也达70~80%以上，包括干货船、专用散装货船、集装箱船、一般货船等。尾机型得到广泛采用是因为它具有突出的优点。如对于干货船，尾机型可使中部方整的船体设置货舱，便于装货理货，散装货船易于清舱；且有利于货舱口的布置，以提高装卸效率，合理地利用船体空间，这对于提高货船的经济效益非常有利。此外，尾机型可缩短轴系长度，提高轴系效率，

降低造价，且不需设轴隧舱(室)而使舱容有所增加，並有利于结构的连续性与工艺性。对于油船，尾机型船的轴隧可不通过货油舱、可使货油舱都相毗连设置，便于管路布置，有利于防火安全，且船体结构也有更好的连续性。

尾机型船也存在不少问题：如浮态调整比较困难，因机舱的单位体积重量比货物轻，船满载时重心偏前，易出现首倾，而压载航行时又重心偏后，出现尾倾。此外，适居性差，因上层建筑位于机舱之上，尾部的振动(螺旋桨及机器)及纵摇与升沉幅值及加速度大，使船员容易感到不舒适。且机舱布置较困难，对型线较瘦的集装箱船、滚装船及快速杂货船，更是这样。另外，对有抗沉性要求的船舶，因机舱相对较长，不易满足规范的要求。

由于舱容与装卸效率是货船使用要求的中心，因此，尽管有上述各种缺点，现代大多数货船仍然采用尾机型。为克服尾机型船(尤其是尺度不大者)在纵倾调整、抗沉性及布置方面的困难，设计中应预先对主机选型、型线设计加以分析考虑，力求压缩机船长度、把浮心纵向位置 $X_b$ 适当提前，尾舷弧适当放大，尾部横剖型线适当取 $U$ 些，等等；不得已时，在船首设置空舱以解决浮态调整问题。此外，考虑到振动、噪音等问题，在现代船舶上有对船主体与上层建筑采用分隔措施，即做成所谓“悬浮式”上层建筑，以改善适居性。

**中尾机型** 当船的主机功率加大，或采用双机双桨时，尾机型船布置上的困难就比较突出。如果过份加长机舱，又浪费舱容，因此将机舱及主上层建筑前移，尾部保留一个货舱，构成中尾机型式。中尾机型船保持了尾机型船的部分优点，且使居住条件有所改善，浮态调整及抗沉性不易满足的矛盾得到克服与缓和。航速较高、主机功率较大的货船、集装箱船及客船有采用中尾机型的。

**中机型** 中机型船的优缺点正好与尾机型船的相反。通常多为客船与小船所采用。客船有防火区域划分的要求，采用中机型或偏后中机型，可把机舱的前后舱壁作为防火舱壁，並向上层建筑延伸，有利于将首、尾、中划分为几个防火主竖区( $\leq 40m$ )，也便于旅客分区布置。拖船、渔船根据舱面作业布置的要求，並考虑纵倾调整、前后部位船舱的安排等因素，一般也都为中机型或偏后中机型。杂货船也有采用中机型的。

**中前机型** 滚装船(特别是中小型滚装船)、尾滑道拖网渔船等，因其使用要求与后部布置地位的需要，有采用中前机型的。有的小型交通艇因考虑轴系布置等因素，将机舱布置在艇首，即为首机型。

综上所述，机舱部位不同各有优缺点，适用于不同类型的船舶。设计中应根据新船的具体使用要求与特点，並参照相近型船的使用情况，权衡各方面的利弊，决定机舱部位的型式与长度。在设计开始阶段机舱长度的决定可通过统计资料或相近型船估算，然后与动力装置设计人员共同协商，根据实际机舱布置加以确定。

#### ④货舱及客舱等的划分。

对于货船，当确定了首、尾尖舱舱壁的位置及机舱的部位和长度后，则要考虑货舱的数目及各舱的长度。实际设计时，机舱与货舱的位置等应该一起协调考虑。

**杂货船** 当机舱部位及长度确定后，货舱的数目及长度，除应保证建造规范要求的最少水密舱壁数、有抗沉性要求船的可浸长度对舱长的限制外，杂货船首先应考虑的是满足使用要求，如“大理”型大舱口远洋货船，为适合载运钢轨和机车，设置了一个长达35.25m的特大货舱；其次，再从装卸效率、装卸时间的均衡性、起货设备的配置来划分其他货舱。首、尾货舱尖瘦，不利于装卸，一般只在舱口的一端设起货设备，但仍需保证适当的舱容，以与

其他舱的装卸时间协调。其余货舱可按体积相近或大小舱结合等方式加以划分。小舱一般只在一端设置起货设备。舱长不宜过短,以免起货吊杆操作时的仰角过大,使舷外跨距减小。通常大舱又称重点舱,一般都在两端设置起货设备,舱容要计及两端起货设备的干扰,一般仅取小舱(一端起货设备)容积的1.5~1.6倍为宜。

**散装货船** 专门载运散装谷物、煤及矿砂等的货船,除两端货舱可适当长些以外,其他各舱以等舱长划分为宜。舱数多些,一般尚可减少装卸时间,但清舱的工作量增加,且船体重量和起货设备数量也有所增加。设置起货设备的船,要结合起货设备的配置使舱长与船宽保持适当的比例,以便于装卸;不设置起货设备的船,可根据装货、卸货港的装卸条件来考虑舱长划分。谷物兼运矿砂的散装船,因两种货物的比重差别极大,为了不使装运矿砂的重心过低,初稳性过大,引起剧烈的横摇,可采用大、小舱结合的布置方式,用小舱装运矿砂;或者采取隔舱配载的方式。这方面的建议布局形式有多种,具体设计时,应根据两种货物积载因数的比例,它们对弯矩、剪力的影响情况来决定。大小舱结合的布局,小舱一般不宜太短,以免重量过分集中,大多取为大舱长度的0.65~0.75倍。

**集装箱船** 舱长应根据所载运集装箱的箱长和行数来决定。舱长(型值)与箱子总长之比为1.20~1.30为宜(箱子大者取小值)。

从上面的几种货船可知,货舱划分时各舱可以各有长短,也可以等长(首尾应适当大些)各有利弊,前者配载装货方便,如长舱可装钢轨、火车头大件货,短舱可装重货(矿砂等);后者装卸时间均匀,有利于减少停港时间等。对新船来说,货舱的数目及各舱长度,应根据船的具体情况来定,但更好地满足使用要求和提高装卸效率是考虑问题的中心。现在的趋势是,货舱数减少,使舱口盖及吊杆数也相应减少,以降低造价。但每一舱的舱容加大,每台起货设备的能力也应增大,以保证一定的装卸速度。

**客船** 客船主体内船舱的划分,其舱长除应满足建造规范要求外,还必须满足抗沉性规范的规定,并结合防火主竖区长度不超过40m的要求来考虑,对二舱制船,还要考虑相邻舱的总长。通常把机炉舱区划为一个单独的防火主竖区。此外还往往要设置行李舱、冷藏舱等。

**油船** 划分油船的货油舱时,总的水密舱壁数应符合表14-1的要求。此外对油船的货油舱尺度规范也相应规定:设置一道纵舱壁时,舱长度不大于10m和 $0.15L_{pp}$ 中之大者;设置两道及两道以上纵舱壁时,舱长应不大于 $0.2L_{pp}$ 。船长大于90m者,货油舱区至少设两道连续纵舱壁,小于90m者,可只在中心线处设一道连续纵舱壁。此外,并规定货油舱与机舱、锅炉舱、干货舱、居住舱室之间,应设置隔离空舱,隔离空舱的距离不小于760mm,泵舱、压载舱可作为隔离舱。对于大型油船,国际防污染公约对其底部和舷侧的保护面积有严格规定,以防止船万一发生搁浅或碰撞时油类外流。货油舱及专用压载水舱的划分必须满足这些规定。

## 2. 双层底

关于双层底的设置,规范从安全性出发有明确要求。《钢质海船建造规范》规定:对于货船,除液货船以外,应尽可能从防撞舱壁到尾尖舱设置双层底。对于客船,当 $50\text{m} \leq L_{pp} < 61\text{m}$ 时,至少应在机舱前舱壁至防撞舱壁(或尽可能接近该处)之间设置双层底;当 $61\text{m} \leq L_{pp} < 76\text{m}$ 时,至少应在机舱以外设置双层底,并应延伸至防撞舱壁及尾舱壁(或尽可能接近该处);当 $L_{pp} \geq 76\text{m}$ 时,应在整个船中部的防撞舱壁和尾尖舱壁之间设置双层底,或尽可能延



伸至两端。

规范规定双层底的高度 $h_d$ 在任何情况下不得小于700mm,且不小于按下式计算所得之值:

$$\left. \begin{aligned} \text{当 } L_{pp} < 90\text{m} \text{ 时, } h_d &= L_{pp} + 42T + 530(\text{mm}), \\ \text{当 } L_{pp} \geq 90\text{m} \text{ 时, } h_d &= 4L_{pp} + 42T + 260(\text{mm}); \end{aligned} \right\} \quad (14-2)$$

式中,  $L_{pp}$ 、 $T$ ——垂线间长和吃水, 单位均为m。

《长江水系钢船建造规范》也对内河船舶设置双层底问题作了相应规定。

设置双层底, 有利于搁浅触礁时的安全性, 且可以作为燃油、清水及压载水舱之用。同时, 大中型船舶的双底对总纵强度也有很大作用。通常, 除小型船舶因地位限制难以采用外, 中型以上船舶都设双层底。确定双层底高度 $h_d$ 应考虑的因素为: ①对内底起保护作用; ②便于人员施工, 满足管路安装、检修的要求; ③计及油、水舱容积上的需要。双层底高度过高, 将增加结构部分重量, 减小货舱容积。因此, 对一般船来说, 双层底高度以满足规范要求, 并兼顾施工及油水舱容需要, 等于或略大于式(14-2)计算值为宜。有时, 为了配合主机(柴油机)的安装, 首尾狭窄部分的施工以及油水舱容量等方面的需要, 可适当增加局部双层底的高度, 但必须注意船中 $L_{pp}/2$ 区域和机舱端部结构过渡时的连续性。

双层底的型式因船类不同而有区别。杂货船的内底常做成水平的, 或从艏部向下倾斜, 如图14-1(a)中的实线和虚线所示。散装谷物船及运煤船的内底, 常做成向两舷升高的型式, 如图14-1(b)所示, 以便卸货时减少清舱的工作量。矿砂船因其所需的货舱容积较小, 且为避免货物重心过低, 初稳性过高, 在货舱底部一段宽度内, 双层底常抬高很多, 如图14-1(c)所示。集装箱船一般只在边舱以内部分设双层底, 如图14-1(d)所示。

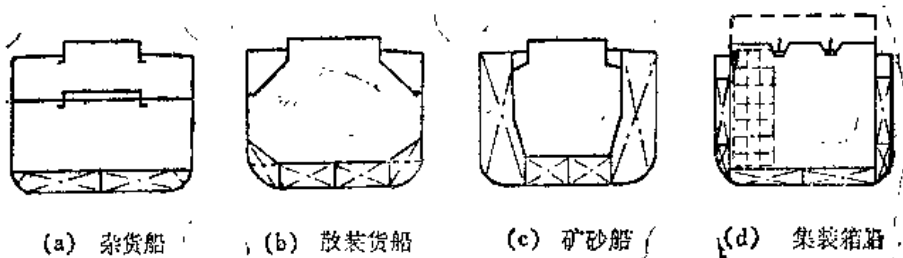


图14-1 干货船的双底型式

油船是运输船中最重要的船型之一。常规型的货油舱区多是单底, 如图14-2(a)所示。由于国际防污染公约的规定, 现代大型油船的货油舱结构都已发展到设置双层底, 如图14-2(b)(c)所示。

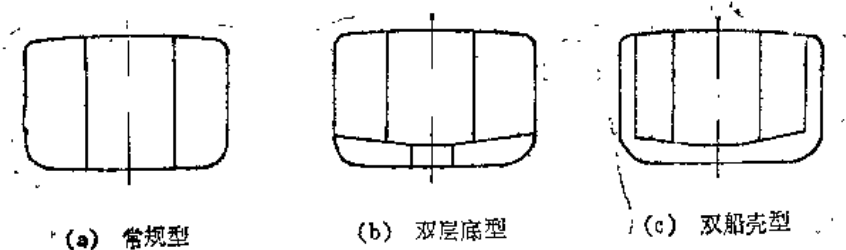


图14-2 油船货油舱的结构形式

### 3. 甲板与平台

船主体部分甲板(或平台)的设置,涉及到层数及层高(甲板间高)两个方面。

①层数。新船设几层甲板,没有统一的准则,主要从使用要求与布置上考虑,大体上为:油船、矿砂船、小船——单甲板;杂货船——双层或三层甲板;海峡渡船——多层甲板;客船——根据主体内设置旅客层数(我国规范规定客舱顶甲板不宜在水线以下)及其他舱室的要求,可以有二、三层及多层甲板及平台。使用要求是考虑甲板层数的主要因素,对杂货船,因载运土产、杂货(如各种工业成品)和各种包装货,货种多样化,为便于理货分票,不压坏货物,中型以上的船舶常设2~3层甲板。有的载运家禽(活鸡、活鸭)的小船,为便于装舱,虽然排水量只有500t左右,也设双层甲板。而国外海峡渡船,乘客大多带小汽车,则设多层甲板。中间甲板及平台现在多趋向于不用梁拱与舷弧,以利于施工与使用。

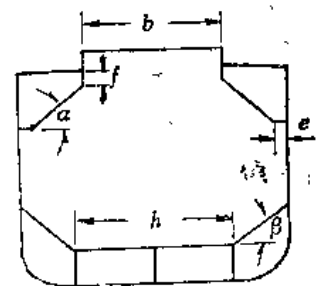
②层高(甲板间高)。对于货船,主体部分的甲板间高主要根据货种及作业条件等使用特点来定。杂货船甲板间高一般在2.45m以上,因为太低将不利于充分利用布置地位。具体设计时,应从船的型深、货种(载运汽车等要求有一定的净高)、码头理货机械(铲车)的高度、货舱口下纵桁材高度等因素综合加以决定,目前有加大甲板间高的趋势,有的达到2.75m,甚至3m左右。大型远洋杂货船趋向于增大到3m以上,以提高其适应性。运输水果及其他冷藏货的船,则以2.35~2.45m为宜。客船设双层铺的甲板间高不宜低于2.4~2.6m,以保证有适宜的净高度,设置空调管的客舱更是这样。按规定双层铺从地板到下铺顶面高度应不小于0.3m,上铺顶面到天花板或横梁下缘高度不小于0.9m(对航行时间大于12小时的船)和0.85m(航行时间小于12小时的船)。

### 4. 边舱与深舱

有些船舶如散装货船、集装箱船等,常设置顶边舱、舷边舱等,如图14-1(b)、(c)、(d)所示。它们的作用是既可用于装油、水及压载水,并可调节船的重心,以改善船不同装载情况下的稳性。舷边舱的设置对大开口的船在结构强度上也有利,因具有双层船壳,提高了船的安全性。

散装谷物船都采用顶边舱,这主要是因为一般型式的货舱,因谷物落舱时有一自然堆角而不易装满舱,横摇时谷物移动而产生较大的横倾力矩;顶边舱使货舱上部与谷物堆放时的 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 的自然坡角相近,装货较满实,谷物因摇荡下沉的距离较小,下沉谷物的顶面仍保持在较小的舱宽范围内,所以可大大减小谷物的移动力矩。此外,占据舱容不多的顶边舱可用来装压载水,增大压载量,提高压载时的重心高度,改善了船的横摇性能,这对几乎有50%为空放的船更显得有利。如不设顶边舱,装谷物时要人工平舱,且必须按规范要求增加特殊的止移设施,给经济上及使用上均带来不利。因此,散装货船包括多用途散货船、谷物散装船、矿砂船等,多设置顶边舱。散装货船为便于清舱,常配以向两舷升高的内底。顶边舱及内底的适宜尺度,如图14-3所示。可供设计时参考。

集装箱船大多设舷边舱,因为既可充分利用不便装箱的边舱容积来多装压载水,又可调整不同装载时船的重心高度,对稳性及横摇性有利。同时,货舱范围内的舷边舱,犹如有些油船、矿砂船的双壳船型,对船体强度和安全性都是有利的。



$$e=0.6\sim 1.2\text{m} \quad f=0.7\sim 0.8\text{m}$$

$$\alpha\leq 30^{\circ} \quad \beta=35^{\circ}\sim 50^{\circ}$$

$$h=b+(4\sim 8)\text{m}$$

图14-3 散装谷物货舱特征

## 5. 油、水等舱柜的布置

船主体船舱划分时, 还应对燃油、滑油、清水、压载水等舱或柜进行划分与布置。有关油水舱的划分, 应与机舱布置及管系设计相协调, 配合进行。一般的布置原则如下。

①燃油舱。燃料重油通常部分布置在双层底内, 一小部分则贮放在机舱前端深油舱或两舷的舷边舱内, 並从中划出一个沉淀舱, 向日用油柜供油。辅机用的及主机启动和进出港用的轻油通常都布置在机舱双层底内。因重油需要加热才能抽出, 其热源一般为锅炉的蒸汽。所以希望双层底内的重油舱能离机舱近些, 以节省管路和减少热量损耗。但尾机型船燃油消耗后容易首倾。因此, 重油舱、淡水舱及压载水舱的布置要考虑各种装载情况下合适的浮态进行权衡处理。大船上的日用油柜一般都布置在机舱内的平台上。小船因考虑重油加热管的敷设, 重油常布置在深舱或局部升高的双层底内; 其日用油柜也常设在机舱内。

②滑油舱柜。滑油贮存柜、沉淀柜、气缸滑油柜等的容积不大, 一般都放在机舱平台上。滑油循环柜和污油柜、溢油柜的容积也不大, 一般设在主机下双层底内。滑油循环柜也常设在机舱平台上或双层底内。

③炉水、食用淡水、洗涤用水舱柜及海水柜。这些舱柜在双层底、首尾尖舱等处均可布置。容积较小的日用水柜可设在机舱平台上机舱棚顶或烟囱内等。

④压载水舱。压载水舱可设置在双层底、首尾尖舱、舷边舱及顶边舱等处。其位置应根据压载水量及保证不同装载情况的适宜的浮态及稳性值来加以确定。

划分油、水舱时, 在油舱与清水舱之间、燃油舱及滑油舱之间、不同滑油舱之间以及炉水舱、食用淡水舱与压载水舱之间应设置隔离空舱。燃油舱与压载水舱之间一般可以不设隔离舱。应注意燃油舱柜的出气管不要通过生活舱室。燃油舱尽可能避免与客舱直接相邻, 即应留有一定间隙或加设防火敷料。

为了不使燃油、淡水消耗后船的浮态变化过大, 布置时应注意尽可能使它们的公共重心接近船中附近为宜。

此外, 布置油、水舱时, 在满足使用要求的同时, 要注意缩短管路, 防止油管穿过淡(炉)水舱, 或者淡(炉)水管穿过油舱, 否则应采取建造规范规定的措施加以保护, 不使因渗漏而造成污染。

## 二、上层建筑部分

在总布置设计中, 对上层建筑部分的区划与布置是指包括对其型式、尺度、层数、外部造型及内部各舱室的划分及布置等多方面的工作。

### 1. 型式

上层建筑是对上甲板以上各种围蔽建筑物的统称。上层建筑分为船楼和甲板室二种。

**船楼** 船楼是指上甲板上两侧伸至两舷或距舷边的距离小于 4 % 船宽的上层建筑。如图 14-4 中中实线所示。船楼有首楼、尾楼及桥楼之分, 首(尾)楼又有长首(尾)楼和短首(尾)楼。因船楼与主体有同样宽度, 其优点是增加了内部面积和有利于舱室布置(尤其是中部), 且有助于提高船的安全性; 但由于上甲板没有外走道, 人员不能在上甲板上自首至尾通行, 必须经过船楼内部或从上一层甲板上通过, 有不便之处。对于设有全空调的现代大中型海上客船, 常有不设外走道而

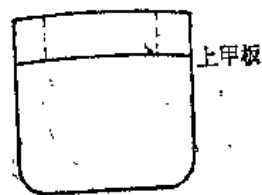


图14-4

把上层建筑都做成船楼的形式。其他中小型海船也有采用的。

**甲板室** 指其两侧壁不延伸到船两舷的上层建筑,即留有外走道,如图14-4中虚线所示。甲板室也有长、短之分,或在船中部,或在尾部。由于人员可以在上甲板上自首至尾通行,且人员上下船方便,还有利于旅客在外走道散步、观赏。所以,一般船舶的中部上层建筑大多采用甲板室。

设计船的上层建筑型式、位置等,要根据其具体情况加以确定。

## 2. 尺度

包括整个上层建筑的大小与高度,即层数、层高及各层的长度等等。确定上层建筑尺度应考虑的因素有:

**舱室布置** 现代船舶的居住舱室(包括客舱及船员舱)大都布置在上层建筑内,此外生活、工作、贮藏及某些机电设备舱室也需要有足够的布置甲板面积等,这些是决定上层建筑尺寸的主要因素。

**重心高度** 对客船等上层建筑发达的船舶,因其尺度对全船重心高度 $Z_g$ 有重要影响,而 $Z_g$ 过大,将使船的稳性不足,对船的使用性能及安全性不利。所以在设计中对上层建筑的增大加高,一定要严加控制。

**受风面积** 上层建筑过份庞大,导致风倾力矩大,影响船的大倾角稳性;此外,水上侧面积与船的水下侧面积之比值过大,使船受横风作用时,横漂严重,靠离码头困难加大。因而确定上层建筑尺度,要考虑到受风面积对船各种性能的不利影响,注意加以适当限制,尤其是小型船舶。

**驾驶视线** 对驾驶视线的要求无确切的标准。如果从驾驶员眼睛到首端舷墙顶点引一直线,通常把这一直线与水面(设计水准)的交点到首柱的区域称为“盲区”,盲区应尽量小些,以便航行时能发现船首附近的障碍物,及时采取必要的避让措施。设计时,一般参考实船资料来决定。客船的盲区长度大体为 $(0.60\sim 0.70)L_{pp}$ ;货船及油船满载时平均为 $1.25L_{pp}$ 左右,压载航行时约为 $2L_{pp}$ 。各船的盲区长度往往差别很大。对内河船应多加注意。盲区较大的船舶,进出港时常要有专人瞭望加以补救。显然,驾驶视线的要求对上层建筑的高度及位置有影响。

其他诸如对上层建筑的总高度,受桥梁或船闸高度的限制;船上层建筑各层的长度,受露天甲板上设备布置及船员作业需要地位的影响;救生艇设备的布置,要求艇甲板有足够宽敞的地位,因而其下的上层建筑应有足够的长度;一般尾机型货船的上层建筑前壁的位置,应尽可能少跨出货舱舱壁,以免货舱口距货舱端壁太远,增加装卸货物的困难,上层建筑的长度、高度等要考虑船的造型,等等。

总之,设计船的上层建筑尺度应考虑到多方面的因素,加以确定。

## 3. 上层建筑的设置与内部划分

对于上层建筑的设置与划分,应根据船的使用要求与特点,参考同类型船进行考虑,不同船往往有其具体情况。

①首楼。首楼的设置主要考虑船迎浪或斜迎浪时的甲板上浪。甲板上浪严重将威胁着甲板上船员、货物、设备和甲板开口封闭装置等的安全。因此,《海船载重线规范》对首部露天甲板的最小干舷高度和首楼的设置作了明确的规定。首楼的长度与高度应符合规范要求。同时,首楼甲板的宽度与长度还应顾及锚泊设备和其他特殊设备布置的需要。

一般海船的首部干舷都不够高,故多设置短首楼。短首楼内部,布置着锚机控制室、灯间、油漆间、缆索与索具、木匠工作室等等。有的海洋拖船、渔船,为布置居住舱室而将首楼加长,有时甚至与中部甲板室相连。但因首部碰撞机会较多,首尖舱范围段的首楼内不能用作居住舱室。有的货船为弥补货舱舱容不足,将首楼延长至\*1货舱的后端,货舱范围内的首楼容积可用于装货,且均衡了装卸时间(\*1货舱与其他货舱相比舱容偏小)。显然,这将增加船体重叠与受风面积。小型船舶考虑到驾驶视线或重心高度,有设置半升式首楼(首楼底在上甲板以下)的。

②中部与尾部上层建筑。客船及其他需要较大舱室地位的船舶,上层建筑常从中部向首尾延伸,并有相当的长度,以满足布置面积的需要。其型式可以是甲板室,也可以是船楼。海洋调查船及海洋拖船等因耐波性及布置地位的需要,常有采用自船首延伸到船中后的长首楼型式。

其他船舶的上层建筑通常都设在机舱上面的区段,作为布置船员生活舱室、某些工作舱室及储藏室之用。这样的布置容易解决内部通道及电缆、管路的问题,节约地位与造价,方便船员工作与生活,也有利于机(炉)舱棚的布置和进出通道的安全。对于运输船,这样设置更有利于加大货舱口尺度,提高装卸效率。

图14-5为典型尾机型货船与客船的上层建筑示意图。

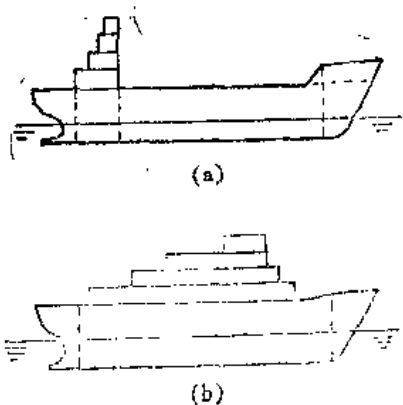


图14-5 货船(a)和客船(b)上层建筑示意图

图。

在个别尾机型大船上,或水上固定建筑高度受航道条件限制的船舶,因尾部驾驶视线不佳,有在中部或首部另设置短的上层建筑,以布置驾驶室及人员居住舱室等。

某些需要较大露天甲板作业地位的船舶,如尾滑道式拖网渔船,为克服机舱过前所引起的一些缺点,也有采用半封闭式机舱(机舱上面无舱棚),在这种情况下,主要上层建筑也就不设在机舱之上了。

### 3. 舱室划分

对于新船上层建筑各层的舱室划分与布置,应根据各舱室的使用要求、特点进行考虑,具体勾画总布置平面草图时,可参考型船进行,但应注意改进,使之更完美、更适用。对于客船,因防火主竖区(将客舱区沿船长方向划分成若干个主竖区,失火时能使其彼此隔离而不使火势蔓延)划分的需要,最好能将主竖区限界面的横舱壁自船主体向上延伸到最上层甲板,即上下对齐,这对于节省防火材料、便于建造施工等都有好处。

总之,上层建筑的尺度与旅客舱室标准、船员的居住、生活及工作条件和船的性能、造价等都有关系,设计中应注意控制标准,权衡各方面的因素加以确定。

### 4. 上层建筑的外观造型

船舶作为浮动在水上的一座工程建筑,或以其体型高大,或以其速度快捷,常常成为引人注目的建筑形象。其中,上层建筑的大小和层数对船的造型外观有直接的影响。总体布局时,除按前述使用要求去考虑外,还必须根据船的用途、尺度和航速,把主体、上层建筑以及烟囱、桅杆、救生艇等单体,从总体外观的协调上进行研究,使不同用途的船舶在造型上有各自的特性。例如,货船应取其简洁、朴实的外貌,任重持远的气魄;客船应有平稳、轻

快的特色,给人以亲切可信的感觉;拖船则应表现出勇猛顽强的风格。

造型设计时,应使船舶轮廓鲜明、完整、主次分明并具有稳定向前的动态感,为此,上层建筑的前壁不宜过前,也不要陡然升起,可做成1~2个阶梯形;上层建筑的侧面形心要适当偏前,烟囱的位置要放在上层建筑的重心附近;上层建筑的前壁、前桅、烟囱和后桅的后倾度应自前向尾逐渐增大,由此得出的上层建筑轮廓都包括在一条自然的流线内,参见图14-6。

各个单体之间要表现出平衡、协调、紧凑,做到整体与局部、局部与局部、单体本身之间,由首至尾,自下而上的尺度比例要匀称,变化应有韵律性和节奏感,这是造型美观的一个方面。为此,要合理安排上层建筑和船舶设备,使上层建筑的前后阶梯形、烟囱与前后桅、前桅与上层建筑前壁等都成均衡的比例。造型设计的线条运用上,随着生活舱室标准化工作的进展,为简化造船工艺,外型日趋平面化和直线化。上层建筑的轮廓和尺度还要与舱室标准化工作结合起来。

此外,也应注意从各个视角观察船的造型,对船正面的造型,各层上层建筑自下向上形成阶梯,适当内缩,不仅有稳的观感;而且从使用上看,能减少两船邻靠停泊时,因船横摇而碰坏上层建筑的可能性。

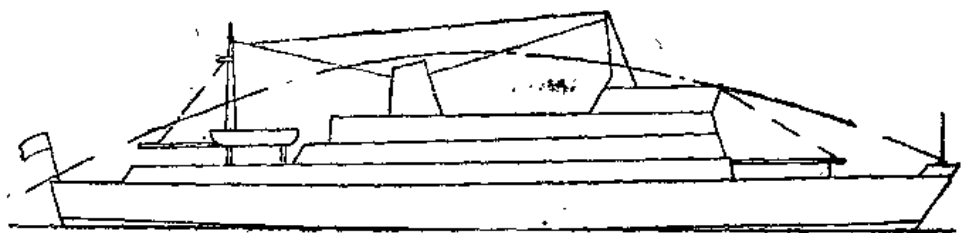


图14-6

### §14-3 纵倾调整

在总布置设计中,通常在完成了总体布局、初步确定了上层建筑的型式、尺度及大体区划以后,就要进行纵倾计算及调整,以保证船有适宜的浮态。

#### 一、问题简述

所谓纵倾调整,就是调整 $X_L$ 及 $X_B$ 至合适的数值,以期获得在各种装载情况下具有适宜的浮态。在设计中通常以调整 $X_L$ 为主,即在总布置设计时,根据船合适浮态的要求,调整载重量各部分沿船长的分布。这是影响船的总体布局、舱室划分等的重要因素。

通常,对船合适浮态的要求表现在:满载出港时,平浮或略有尾倾;压载航行时,首吃水 $T_f = 2.5 \sim 3.0\% L_{pp}$ ,尾吃水 $T_a = 0.6 \sim 0.7D$  (螺旋桨直径),有资料认为应是 $0.8D$ 。其它载况时,平浮或纵倾值不大,因为处于中间装载情况,如满载出港和空载(压载)航行时有合适的浮态,则其它的中间载况容易通过调整达到要求。

在运输船中,尾机型货船的浮态应特别加以重视,因为这类船的纵倾调整难度较大。

目前发展中的多用途船,因要装载的货种较多,要使各种载况的浮态都符合要求,纵倾调整往往是较复杂的。因此,有人提出,对于尾机型货船,出于调整纵倾的困难,可采取满

载出港时设计成稍有首倾,原因是:①船首通常因有舷弧升高上翘,稍有首倾看上去不影响外形美观;②油水如果设在船的中前(接近首部),出航以后陆续消耗,船即可达到平浮或略有尾倾;③在实际营运中,全部货舱都装满匀质货的机会不多,因而按匀质货设计成略有首倾,实际使用中可通过配载使船平浮或略有尾倾。

虽然一般认为,设计新船时满载有尾倾不是很合适,但上述看法似乎也有一定道理。在进行船舶设计中应根据具体情况,灵活处理一些问题,并提出新的设想与看法。

调整纵倾的目的是使船在各种载况下都有适宜的浮态。为此,先应校核船的浮态,如不符合要求,就要进行纵倾调整。通常浮态校核的典型载况与稳性校核载况相同,且与初稳性一起列表进行。其中满载出港是基础,其他载况通常可以采用消耗不同油水舱的次序,或用油水调拨等方式调整浮态,也有通过在船长的适当位置处加装适量的压载水,以使其符合要求。下面先简要介绍核算浮态的步骤,再介绍调整纵倾的方法。

## 二、校核浮态的步骤

以杂货船为例,校核浮态的一般步骤为:

### 1. 画容量图

根据型线图及总布置图画出船主体部分的容量图,如图14-7所示。在设计初始阶段可以根据所选择船体型线估算各站横剖面面积,画出沿船长的面积曲线,再按拟定的总体布局及舱室划分,得到各舱的位置与容积。比较准确的容量应是在型线图等资料齐备以后才能画出,参见§5-3中所述的方法,及图5-8容量图。

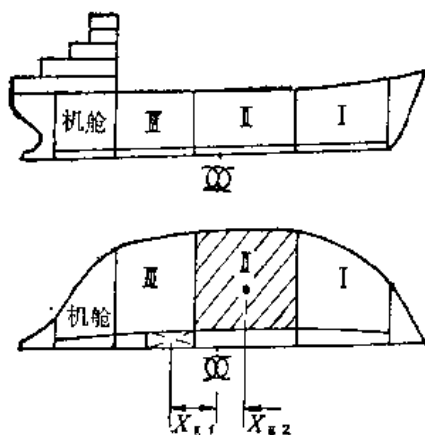


图14-7

### 2. 在容量图上表示出油、水舱的位置

### 3. 计算各油、水舱的油、水量及其重心位置 $W_i$ 及 $X_{Gi}$

各舱的油或水重量 $W_i$ 即舱容图上的相应面积乘以舱容利用系数 $k$ 。容积图上面积的形心纵向位置,即为重心纵向位置(距船中或尾垂线的距离) $X_{Gi}$ 。

### 4. 计算各货舱之 $W_{ci}$ 和 $X_{Gi}$

方法与油、水舱相同。

### 5. 计算人员、行李、食品等的重量和重心位置

重量计算如第四章所述,重心位置 $X_{G1}$ 根据总布置草图确定。

### 6. 计算空船重量、重心 $LW$ 和 $X_{G1}$

设计初始阶段, $LW$ 和 $X_{G1}$ 可用第四章所述方法结合总布置图估算,随着设计的深入,条件具备时,应精确计算。

由于校核浮态的同时将核算初稳性值,因此要同时算出各项重量的重心高度 $Z_{Gi}$ 。

### 7. 计算所核算载况时的重心位置

列表计算各种载况的重量重心,如表14-2所列。

### 8. 计算首尾吃水及初稳心高

列表计算,如表14-3所示。表中 $M_{cm}$ 在设计初始阶段可按式估算:

表14-2 载况重量及重心计算

重量项目	重量	重心高度	垂向力矩	中前(+)		中后(-)	
				重心距中	纵向力矩	重心距中	纵向力矩
	$W_i(t)$	$Z_{gi}(m)$	$M_{zi}(t \cdot m)$	$X_{gi}(m)$	$M_{xi}(t \cdot m)$	$X_{gi}(m)$	$M_{xi}(t \cdot m)$
I 空 船							
II 货 物							
1号货舱							
2号货舱							
...							
合 计							
III 燃 油							
1号燃油舱							
2号燃油舱							
...							
合 计							
IV 滑 油							
...							
合 计							
V 淡 水							
食 用 水							
...							
合 计							
VI 食 物							
VII 人员与行李							
VIII 压 载 水							
1号压载舱							
2号压载舱							
...							
合 计							
总 计							
	$\Delta = \sum W_i$	$Z_g = \sum M_{zi} / \Delta$	$X_g = \sum M_{xi} / \Delta$				

$$M_{cm} = \frac{\Delta \overline{GM}_1}{100 L_{pp}}; \quad (14-3)$$

式中,  $\overline{GM}_1$ ——纵稳心高, 近似等于纵稳心半径  $BM_1$ , 可用近似估算式求得, 如

$$\overline{BM}_1 = k_1 \cdot \frac{C_{wp}^2}{C_b} \cdot \frac{L_{pp}^2}{T}; \quad (14-4)$$

其中,  $k_1$ ——系数, 取自型船或取1/14。

表中  $X_g$ ——在设计初始阶段, 可按型船比例于  $L_{pp}$  估算, 或用下列近似公式估算:

$$X_g = 0.225(C_{wpt} - C_{wpa})L_{pp}. \quad (14-5)$$

深入设计时,  $M_{cm}$ 、 $X_g$ 等值都可从静水力曲线查得。

计算出首尾吃水以后, 就可知该载况的浮态是否合适, 如不符合要求, 则应采取措施,



如改变载重量及压载水沿船长的位置等等,使之能有适宜的浮态为止。

表14-3 载况浮态及初稳性计算

序号	项 目	单位	符号及公式	数 值
1	排水量	t	$\Delta$	
2	平均吃水	m	$T$	
3	重心距船中	m	$X_g$	
4	浮心距船中	m	$X_b$	
5	纵倾力臂	m	$X_g - X_b$	
6	纵倾力矩	t·m	$M_t = \Delta(X_g - X_b)$	
7	每厘米纵倾力矩	t·m/cm	$M_{cm}$	
8	纵倾值	m	$t = \frac{M_t}{100 M_{cm}}$	
9	漂心距船中	m	$X_f$	
10	首吃水增量	m	$\delta T_f = \left(\frac{L}{2} - X_f\right) \frac{t}{L}$	
11	尾吃水增量	m	$\delta T_a = -\left(\frac{L}{2} + X_f\right) \frac{t}{L}$	
12	首吃水	m	$T_f = T + \delta T_f$	
13	尾吃水	m	$T_a = T + \delta T_a$	
14	重心距基线	m	$Z_g$	
15	横稳心距基线	m	$Z_m$	
16	初稳心高	m	$\overline{GM}_0 = Z_m - Z_g$	
17	自由液面修正值	m	$\delta \overline{GM} = -\frac{1}{\Delta} \sum W_{li} x_i^2$	
18	修正后初稳心高	m	$\overline{GM} = \overline{GM}_0 - \delta \overline{GM}$	
19	横摇固有周期	s	$T_\phi = 0.58 \sqrt{\frac{B^2 + 4Z_g^2}{\overline{GM}_0}}$	

### 三、调整货船满载时纵倾的方法

通常满载出港时的浮态作为纵倾调整的基础状态,如出现尾倾偏大或首倾,可用下列一种方法或几种方法进行调整。

#### 1. 改变油、水舱的位置

即把燃油或淡水舱的位置,适当移动,使船的重心位置改变。

如移动重量为 $W_1$ ,移动距离为 $l$ ,则移动力矩

$$\delta M_x = W_1 l_0 \quad (14-6)$$

船的重心移动为

$$\delta X_g = \delta M_x / \Delta_0 \quad (14-7)$$

## 2. 移动机舱位置

如果不是尾机型船, 即中机型或中尾机型船, 可考虑用移动机舱位置的方法来调整纵倾。

通常由于机舱单位重量要远小于货物的重度( $t/m^3$ ), 因此, 移动机舱位置是改变中机型或中尾机型船重心纵向座标 $X_g$ 最有效的方法。

## 3. 首部设空舱(小货舱)

对于尾机型船, 如果船重心 $X_g$ 偏前, 浮心 $X_b$ 在后, 出现了不允许的首倾。这时如能将机舱缩短 $\delta l_m$ , 则货物重量 $W_c$ 的重心至少能后移 $\delta l_m/2$ , 产生的移动力矩为 $W_c \cdot \delta l_m/2$ , 全船的重心变化 $\delta X_g$ 至少为 $(W_c/\Delta) \cdot (\delta l_m/2)$ 。可见, 尾机型船的机舱长度 $l_m$ 对纵倾的影响较大, 设计时应加以注意。但一般情况下, 机舱长度是由机舱的布置所决定的, 不能随意减短。这时往往在首部设一空舱, 目的是将货物重心后移, 以缩小 $X_g$ 与 $X_b$ 的距离, 但这时货舱容积减小了。实际使用中, 可把它作为小货舱, 在载运非匀质货时可装货, 通过重轻货配载以调整纵倾; 装匀质货时空着。尽管这不太理想, 但有些尾机型船还是在首部设置了小空舱(货舱)。

由上所述, 设计尾机型船时, 对纵倾调整要给予特别注意。在选择主尺度校核舱容时, 如无合适的型船, 可使船的总容积 $V_b$ 略大于各类舱所需的容积之和 $\Sigma V_i$ , 特别是使货舱容积 $V_c$ 留有一定的裕度是很有必要的。

## 4. 改变浮心位置

如通过改变载重量的布置来调整纵倾, 还不能使船达到适宜的浮态, 这就要根据 $X_g$ 来调整浮心位置 $X_b$ , 重新设计船体型线。这在第十三章中已提及, 选择 $X_b$ 时既要从快速性考虑, 又要顾及到纵倾调整, 需要时应牺牲一点阻力性能而满足合适浮态的要求。因此设计型线与总布置要相互配合, 协调进行, 权衡处理各方面的需要, 以期获得全局上的成功。

最后必须指出。有时船有适当的纵倾并不是坏事。有人认为, 为了确保经济航行, 无论压载状态还是满载状态, 都存在一个最佳纵倾值。因此建议对船模进行扩充试验, 即对船模进行变排水量、变航速、变纵倾的试验, 然后根据试验资料利用微机程序求出航行时的最佳纵倾值, 指示出油、水分布, 以节省燃料消耗或增加航速, 提高经济性。

## 四、其它载况下的浮态核算及纵倾调整

其它载况包括满载中途(油、水等消耗50%)、满载到港(油、水等消耗90%)、压载(空载)出港、压载中途、压载到港等典型载况。对于载重型船舶, 因油、水等重量占 $DW$ 的百分数较小, 如满载出港时船有适宜的浮态, 且油、水舱布置比较得当(因船浮心随吃水减小而前移, 所以油、水舱的公共重心最好在全船重心稍后的位置), 则满载中途与满载到港时的适宜浮态一般不难保证。

货船空载时, 吃水减少很多, 需要加压载水, 因而有压载出港、中途、到港等载况, 为保证船压载航行时的适宜浮态, 设计中对压载水重量及压载舱的布置应给予足够重视。因此下面简要介绍压载出港时的浮态核算及纵倾调整, 并对压载舱的布置作些归纳。

### 1. 压载出港时的浮态核算

压载航行时船的排水量 $\Delta_b$ 取决于要求达到的首尾吃水 $T_f$ 和 $T_a$ 值。在设计初始阶段,  $\Delta_b$ 可根据相近型船求得,  $\Delta_b = (\Delta_{b0}/\Delta_0) \cdot \Delta$ ; 或者根据压载水量 $W_b$ 占 $DW$ 的百分数的统计值加以确

定。这时核算浮态的步骤与满载出港时相同，其中货物的重量 $W_c = 0$ ；压载水的重心位置根据总布置图上压载舱的位置确定；计算 $T_b$ 、 $X_{bb}$ 、 $X_{tb}$ 及 $R_b$ 等可以根据相近型船( $C_b$ 和 $C_{wp}$ 相近)的静水力曲线图来估算，近似公式为

$$\begin{cases} T_b = T \cdot (T_{b0}/T_0), \\ X_{bb} = X_{b0} + (L_{pp}/L_{pp0})(X_b - X_{b0}), \\ X_{tb} = X_{tb0} + (L_{pp}/L_{pp0})(X_{tb0} - X_{tb0}), \\ \overline{GM}_{lb} = \overline{GM}_{lb0} (L_{pp}/L_{pp0})^2 (T_{b0}/T_b) (C_{wp0}/C_{wpb})^2 (C_{b0}/C_b). \end{cases} \quad (14-8)$$

式中带下标“0”者为型船之值，均从型船静水力曲线查得。

如果有了设计船的静水力曲线图，则 $T_b$ 、 $X_b$ 、 $X_t$ 等可按 $\Delta_b$ 查得，然后列表(表14-3)计算压载航行时的浮态与初稳性。一般经过几次反复，可调整到各种载况都满意为止。当然这也包含着对各种技术性能的权衡处理。在调整过程中必须注意到自由液面对稳性的影响，一般是要求压载舱装满压载水，或者空着，不采用半舱压载的办法，以免产生过大的自由液面。如果嫌整个压载舱太大，可考虑分割成两个舱，且应左右对称布置。

## 2. 压载舱的布置

压载舱的位置对保证船压载航行时的浮态及初稳性都有重要影响。

杂货船为满足压载航行时的尾吃水 $T_{tb} = 2.5 \sim 3.0\% L_{pp}$ 和一定尾吃水的要求，压载水量一般很大，单在正常高度的双层底和首尾尖舱内设置压载舱常常容积不够，尤其是燃油舱不兼作压载舱时是这样。因此，一般多利用装货不便的首部\*1货舱底部、轴隧两侧设平台构成压载舱，或在首尖舱后设短的深压载舱。但从强度观点出发，首部压载过大，使压载航行时中拱弯矩过大，满载时中垂弯矩加大。似应以增加双层底高、在中部的适当区域设舷边舱(尾机型船)或在下甲板以下设短的横向压载深舱为宜。使用部门因货舱容积减少且船的重心高度较低，有时不太欢迎上述措施，但因各航线的风浪情况、空载航行的概率不同，对船压载航行时的性能要求也不同，因此，在尾机型的远洋船上仍有采用压载深舱的。主要载运集装箱的货舱，采用其舷边舱作为压载水舱，既可充分利用容积，又可提高压载时船的重心高度，缓和摇摆性能。有人建议在甲板间货舱口两端或两舷设置压载水舱，但实际采用极少。杂货船由于压载舱容量增加而引起一系列矛盾，常使船压载航行时的浮态达不到前述的要求，低者 $T_{tb}/L_{pp}$ 只有2%左右。

散装货船的双层底高度、顶边舱和底边舱的尺度既要考虑到压载水容量、浮态和适宜稳性值的要求，又要顾及强度上要求。一般以在船中段区域设置顶边舱和底边舱较为合适。

油船的专用压载水舱的设置同样要考虑上述多方面因素，其压载水量常取为载重量 $DW$ 的30~40%左右。如果布置得当(主要在适当加高的双层底内)，可使满载、压载时的计算弯矩减小，同时，由于加大型深对强度的有利影响，可部分地补偿因设置专用压载水舱而使型深加大所造成的重量增加。

## 五、容积型船舶的纵倾调整

客船、客货船、渡船等容积型船舶的纵倾调整相对比较方便，因为这类船舶的载重量占排水量的百分比比较小，一般都不需要很大的压载水量。在总布置设计时，这给利用燃油、淡水及压载水舱来调整纵倾提供了方便，纵倾调整也容易些。调整纵倾同样可以用上述的一些方法。但因这类船的机舱区的相对重量一般要比其他区大，所以，机舱地位对纵倾调整有较

大的影响。这些船常需用压载水来解决油、水消耗后的浮态，尤其是客货船有客无货时的稳性不足等问题。压载舱的布置与调整应多注意船在各种载况下稳性的要求，并与纵倾情况结合起来考虑。采用固体压载，灵活性就更大了。

## §14-4 舱室及梯道的布置

在进行总布置设计时，确定了上层建筑的型式及尺度以后，就要对上层建筑内的各种舱室进行划分，并对其内部进行布置；与此同时要规划全船上下及前后左右的通道与梯口。舱室及梯道的布置与船主体内的船舱划分及上层建筑尺度有着密切的联系，只有当上层建筑内的各种舱室、梯道划分与布置妥当，才能使船的总体布局最后确定下来。

船上的舱室可以分为生活舱室、工作舱室、机械仪器设备舱室、各种用途的贮藏室等。舱室设计的基本要求是在适用、经济的前提下，按实际可能，努力改善乘员的工作、生活和学习条件，尽量做到舒适、方便、安全，特别是客船更应如此。由于不同船舶的布置要求不同，难于规定统一的模式。下面只就生活舱室的面积和设备标准，各种用途舱室的布置，机炉舱棚的布置，舱室内部空间的设计及通道和梯口的布置等共性问题作简要的介绍。

### 一、生活舱室的面积和设备标准

生活舱室的面积和设备标准，一方面要考虑乘员的工作和生活条件，另一方面也要照顾经济性和实际可能性，既要防止忽视乘员的工作、生活条件而过分压低标准的倾向，又要避免片面追求高标准而不顾船舶的技术经济性能的现象，做到与我国的经济水平相适应。实际上由于各船的大小、乘员人数的相对比例的不同，实船可能达到的标准极不相同。我国已经对海船及内河船分别颁布了“乘客定额及舱室设备规范”。有关部门正在编制《沿海客货船船员及乘客舱室面积及主要家具设备标准》（下称《标准》）。《标准》从使用、安全、经济等方面出发考虑到有关规范的要求，对船员和乘客居住的舱室采用简化和统一方法，以减少舱室型号和非标准舱室的建造，对方便设计与建造，提高经济效益都是大有好处的。设计船舶时可根据船的具体情况加以执行，并参考近期的型船进行考虑。

#### 1. 居住舱室

##### ①沿海客货船船员居住舱室。

国外不少国家有政府颁布的或海员工会拟订的船员舱室、公共舱室及生活设施的最低标准。我国正在编制的《标准》，对沿海1000~10000总吨位（分为1000~3000吨和3000~10000吨两级）的客货船作了规定。

《标准》将船员居住舱室按职务分为四类：

一类舱室：船长，政委，轮机长，大副。

二类舱室：大管轮（有条件的可按一类舱室处理），二副，二管轮，电机员，三副，三管轮，报务人员，客运主任，业务员或管事。

三类舱室：正副水手长，正副机匠长，生火长，服务组长，货运员，客运员，会计，医务人员，航警队长。

四类舱室：一水，二水，机匠，电工，生火，加油，厨工，服务员，航警，广播员，驾驶员，售货员，理货员。

船员每一类住室的人数、面积及住室内的主要家具设备配置与船的总吨位、舱室类别有关，如表14-4、表14-5所列，可供设计时参考。

表14-4 沿海客货船船员居住舱室的每室人数、净面积标准

舱室类别	每室人数	船 舶 总 吨 位 级 ( 吨 )			
		1000~3000		3000~10000	
		面积适宜值(m <sup>2</sup> )	面积最小值(m <sup>2</sup> )	面积适宜值(m <sup>2</sup> )	面积最小值(m <sup>2</sup> )
一类舱室	1	9~12	6.5	12~20	7.5
二类舱室	1	6.5~7.5	6.5	7.5~9	7.5
三类舱室	1	4~5	3.8	5~7	3.8
	2	7~9	4.7	9~11	6
四类舱室	2	6~7	4.7	7~9	6
	4	11~13	9.6	13~15	12

实际设计中，对各类舱室面积适宜值的选取，对同一总吨位级的客货船，总吨位大者可选较大值。同一船的各类舱室应基本相同，但根据工作需要可以略有差别。对于航行时间大于24小时的客货船船员的居住舱净面积按表14-4要求选取；对航行时间小于24小时者，面积适宜值可比表14-4所列值适当减少。

关于远洋船舶及小型沿海船舶也有相应的建议标准，可供参考。

除表14-5所列以外，对会计、业务员、管事室或管钱粮船员室应各增设小型保险柜一只。

表14-5 沿海客货船船员住室主要家具和设备配置表

主要设备	舱室类别	一类舱室	二类舱室	三 类 舱 室		四 类 舱 室	
	人 数	1	1	1	2	2	4
单 人 床		△	△	△	△* <sub>1</sub>	△* <sub>1</sub>	
双 层 床					△* <sub>1</sub>	△* <sub>1</sub>	△
衣 柜		△	△	△		△	△
写字台(包括座椅)		△	△	△	△* <sub>2</sub>		
桌 子					△* <sub>2</sub>	△	△
洗 脸 盆		△* <sub>2</sub>	△	△	△	△	△
椅 子		△	○	○	○	○	○
沙 发		△	○	○	○	○	○
文件柜(或书柜)		△					

注：△表示必须设置的设备；○表示有条件时设置的设备；\*<sub>1</sub>单人床与双层床二者选其一；\*<sub>2</sub>写字台与桌子二者选其一；\*<sub>3</sub>设置专用或二人合用的卫生间，内有大便器、淋浴设施及洗脸盆。

图14-8~图14-13为不同类别船员住舱室内布置示例。其中图14-8~图14-9适用于船员

一类舱室；图14-10适用于船员二类舱室；图14-11~图14-12适用于船员三类舱室；图14-13适用于船员四类舱室。此外，图中设备尺寸选择必须满足标准ISO3827-5-1977对设备配合尺寸的规定，其模数限制为： $n \times 100\text{mm}$ 或 $n \times 50\text{mm}$ （ $n$ 为包括1在内的任何自然数）。图示中 $S$ 为舱室净甲板面积。

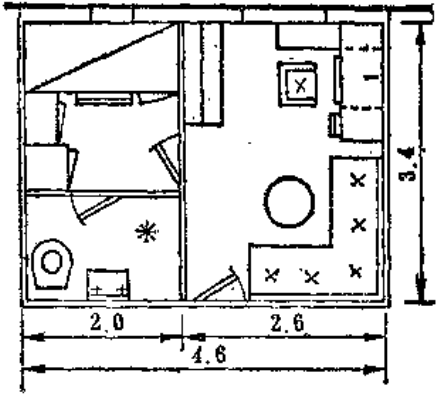


图14-8  $S=15.64\text{m}^2$

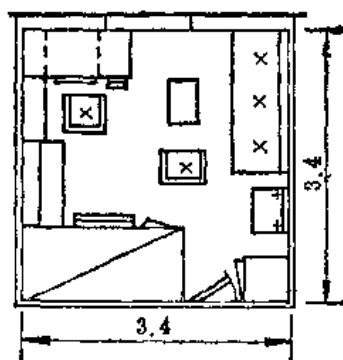


图14-9  $S=11.56\text{m}^2$

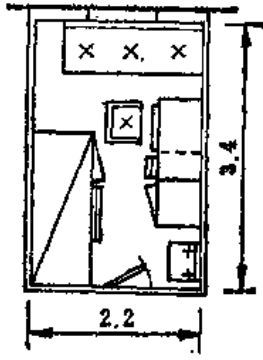


图14-10  $S=7.48\text{m}^2$

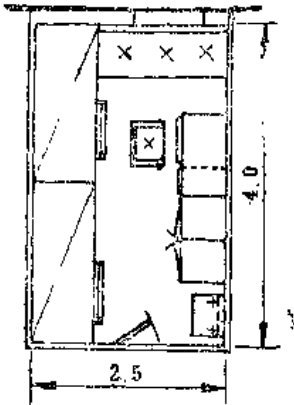


图14-11  $S=10\text{m}^2 (5\text{m}^2/\text{人})$

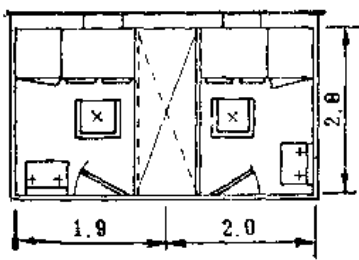


图14-12  $S_1=3.8\text{m}^2$   
 $S_2=4.0\text{m}^2$

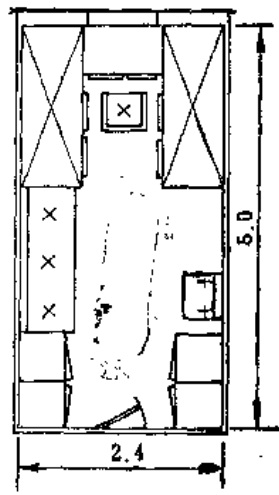


图14-13  $S=12\text{m}^2 (3\text{m}^2/\text{人})$

### ②沿海客货船旅客居住舱室

《标准》将乘客居住舱室划分为一等，二等，三等，四等，五等卧铺舱室，需要时可设特等舱室。下面作简要介绍。

各等客舱每室居住人数适宜值如表14-6所列。

表14-6 沿海客货船客舱的每室人数

客舱级别	特 等	一 等	二 等	三 等	四 等	五 等
每室居住人数	1~2	1~2	2~4	4~8	8~24	≤100

乘客居住舱室每人占有的净甲板面积( $\text{m}^2$ )与客舱级别及船的总吨位有关，如表14-7所列。对于1000~3000总吨级客货船，且航行时间大于24h者，其净甲板面积最小值应按3000~10000总吨级选取。此外，对适宜值的选取要考虑到舱室所在甲板层位置，上甲板以上可小些，

上甲板以下要大些。

表14-7 沿海客货船每位乘客占有净甲板面积(m<sup>2</sup>/人)

乘客舱室等级 船舶总吨级(t)	一 等		二 等		三 等		四 等		五 等	
	适宜值	最小值	适宜值	最小值	适宜值	最小值	适宜值	最小值	适宜值	最小值
1000~3000	6.0	3.0	2.3	1.7	1.3	1.3	1.24	1.1	1.1~1.13	1.1
3000~10000	6.0	3.5	3.0	2.2	1.4	1.4	1.25	1.2	1.2~1.4	1.2

表14-7中未列出特等舱的数值,设计时可根据船的使用要求与特点,结合布置上的可能性加以确定。

对短途客船,设置软座或硬座客位时,其最小居室面积应不小于0.5~0.6m<sup>2</sup>/人。具体标准应按航线的具体情况并参考型船选取。

各等客舱的主要家具设备见表14-8所列。表中未列出特等客舱,其室内陈设可参考近期的母型船确定。特等客舱应设独用卫生间,一等客舱可设独用或合用卫生间。

表14-8 沿海客货船客舱主要家具和设备配置表

客舱等级 主要设备	一 等	二 等	三 等	四 等	五 等
单层硬席卧铺	△				
双层硬席卧铺		△	△	△	△
衣 柜	△				
写字台(包括座椅)	△	△			
桌 子			△	△	△
椅 子	○	○	△	△	
洗 脸 盆	△*	△	○		
沙 发	○	○			
救生衣箱			△	△	△
行李架				○	○

注:△表示必须设置的设备;○表示有条件时设置的设备;\*设独用或合用卫生间。

图14-14~图14-19为不同等级客舱的室内布置示例,可供设计时参考。其家具设备尺寸限制规定同船员住舱布置图。图14-20、图14-21为某客船的特等客舱、一等(二等)客舱布置图,其中图14-21的双层床为可升降型式,住4人时为二等舱,床变为单层铺住2人,则为一等舱。

### ③内河客船的船员及旅客舱室标准

对于以总吨位来划分的长江船舶的船员舱室面积标准有如表14-9所列,可供设计长江船

及其他内河船舶时参考。

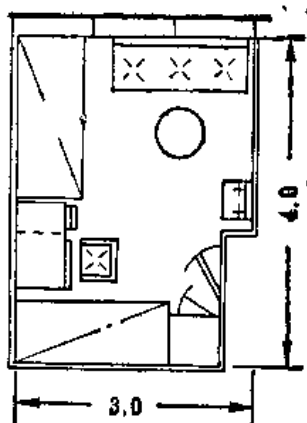


图14-14  $S=12\text{m}^2$  ( $6\text{m}^2/\text{人}$ )

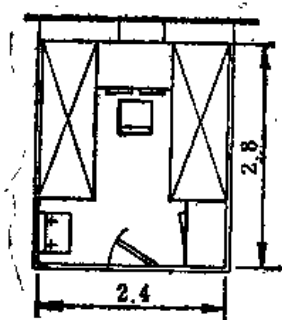


图14-15  $S=6.72\text{m}^2$  ( $1.68\text{m}^2/\text{人}$ )

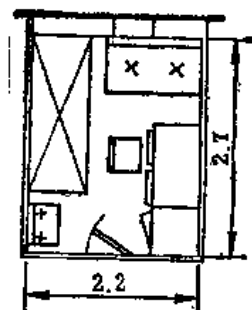


图14-16  $S=5.94\text{m}^2$  ( $2.97\text{m}^2/\text{人}$ )

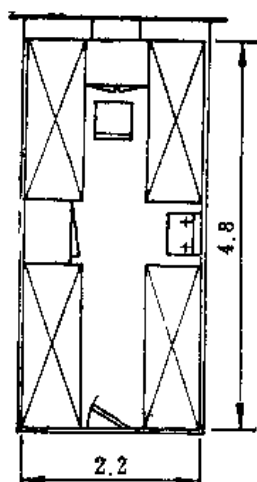


图14-17  $S=10.56\text{m}^2$  ( $1.32\text{m}^2/\text{人}$ )

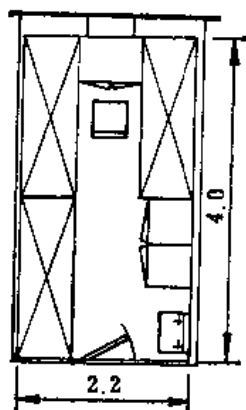


图14-18  $S=8.8\text{m}^2$  ( $1.47\text{m}^2/\text{人}$ )

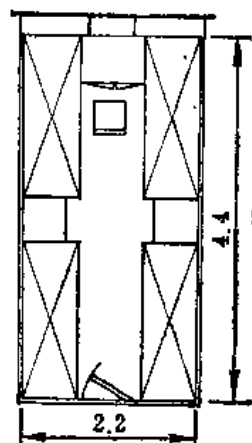


图14-19  $S=9.6\text{m}^2$  ( $1.2\text{m}^2/\text{人}$ )

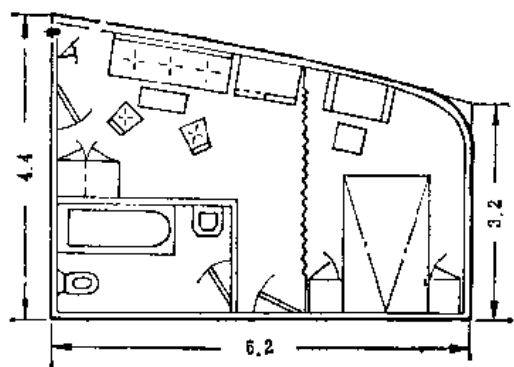


图14-20

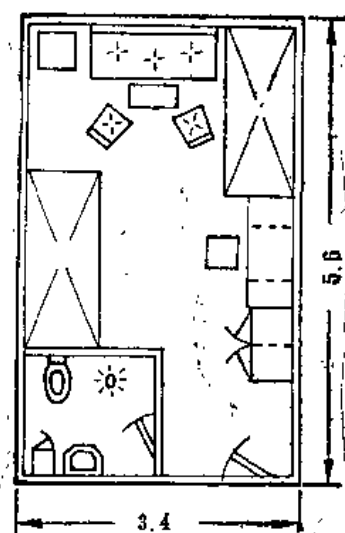


图14-21



表14-9 长江船舶船员每人所占用最小面积(m<sup>2</sup>)

项 目		船 类 总 吨 位	钢质机动船				钢质驳船	
			>1000	500~1000	200~500	50~200	>300	<300
船长(驾驶员)室			9.0	6.5	4.5	3.0	3.5	3.0
干部船员单人间	一床一沙发		5.5	4.5	4.0			
	不带沙发		4.5	4.0	4.0			
干部船员双人间	单层铺		3.0	2.5	2.5			
	双层铺		2.5	2.0	2.0	1.50		
一般船员(双层铺)			1.4	1.25	1.25	1.10	1.25	1.10

注：对于50总吨以下的机动船及小驳，应根据实际情况确定；500总吨以下的机动船，可以将干部船员布置在多于2人的舱室内，但每一船员所占用的面积仍不应小于表中规定值。

我国内河客船的客舱等级及载客数，通常为：二等舱不大于2人；三等舱不大于10人；四等舱不大于24人；五等舱的人数可以多些，甚至超过100人。有的旅游船上设有特等舱或一等舱，通常为1人或2人。

对长江客船，按其航行航段各等级客舱的每人所占面积如表14-10所列，其中船型可分为四种：PA指航行于长江下游汉申线的长途客船；PB指航行于长江上中游渝汉线的长途客船；PDA指航行于长江下游汉申线内任一区段的客船；PDB指航行于长江上中游渝汉线内任一区段的客船。

表14-10 长江客船各等级客舱每一旅客占有面积(m<sup>2</sup>)

客舱等级		船 型	PA	PB	PDA	PDB
二	等		4.00	3.80	3.70	3.50
三	等		1.95	1.85	1.75	1.65
四	等		1.20	1.15	1.10	1.10
五	等		0.90	0.90	—	—

根据《内河船舶乘客定额及舱室设备规范》，按船的总吨位可分为大、中、小三型，其中大型客船指总吨位≥1000t的客船；中型客船指总吨位为200~1000t的客船；小型客船指总吨位<200t的客船。

内河客船依大、中、小型，规定了固定卧铺的净尺寸(自床架的内边缘量度)及舱室内通道宽度，并列于表14-11中。

内河客船依航行时间可以分为四类：第一类客船为自出发港到终点港逆水延续航行时间超过24h的定期客船；第二类客船为在规定港埠间、作业区间航行的客船，其逆水航行时间在12~24h者；第三类客船为短途客船，其逆水航行时间在4~12h者；第四类客船为市内渡船或邻近港口间航行的客船，其逆水航行时间不超过4h者。

表14-11 内河客船固定卧铺及船道尺寸(m)

项 目	软 卧	硬 卧	
		大型客船	中小型客船
床铺的净尺寸	1.90×0.85	1.85×0.70	1.80×0.6b
床铺的高度 下铺到上铺、上铺到横梁下缘	视具体情况而定 ≤0.85(如有困难可减为0.80)		
床铺之间、 床铺与舱壁之间通道	通道两边床铺数≥12个时, ≤0.60 通道两边床铺数>12个时, ≤0.80 三层床铺时, ≤0.90		

上述表14-10、表14-11所列数值为卧铺旅客的情况。有的航线较短、航行时间较少的短途客船或交通船,往往只设座席而不设卧铺,象PDA、PDB两型客船的五等舱也是设座席。

内河客船坐椅的最小尺寸(m)、坐椅间的最小距离(m),如表14-12、表14-13所列。

表14-12 内河客船坐椅的最小尺寸(m)

客船类别	软 座 席		硬 座 席		备 注
	宽	深	宽	深	
第一类	0.50	0.48	0.45	0.45	第二、三、四类大型客船按第一类客船要求
第二类	0.50	0.48	0.45	0.40	
第三类	0.50	0.48	0.45	0.40	
第四类	—	—	0.40	0.38	

表14-13 内河客船座席椅与椅间的最小距离(m)

客船类别	第一类	第二类	第三类	第四类
对向排列	0.60	0.55	0.50	0.45
同向排列	0.38	0.35	0.30	0.28

注①座席舱室必须设置纵向通道,其宽度≤0.7m;

②座椅可数人並坐,但任一座位与通道距离≥2.5m;

③第二、三、四类大型客船的椅间距离按第一类客船要求。

## 2. 公共处所及服务处所

①餐厅及厨房。我国一般船上通常只设一个船员餐厅。中、大型船的船员餐厅面积尽可能满足全体人员同时进餐,一般至少满足2/3人员同时就餐。餐厅面积按每人1.0~1.5m<sup>2</sup>考虑。餐厅常兼作开会、放映电影之用。客船餐厅面积按《海船乘客定额及舱室设备规范》最低为:每批进餐人数占一类客船乘客总人数的40%(每人占甲板面积不小于1.0m<sup>2</sup>)及占

二、三类客船的乘客总人数的25%和20%(每人不小于 $0.8\text{m}^2$ )；餐桌宽度应不小于 $0.6\text{m}$ (对向而坐)，或 $0.4\text{m}$ (同向而坐)；每人占餐桌长度不小于 $0.5\text{m}$ 。餐厅可设一个或两个，设两个时，其中小餐厅供软席乘客用。有的短途客船(尤其是夜航船)，一般只由小卖部供应点心。餐厅近厨房一端常设置配餐室和餐具洗涤间。厨房面积按供膳人数和设备情况，参考相近的实船来定。

②卫生设备。大船上少数高级船员的舱室设有卫生间，其余船员可按各层平板上的人数分设厕所、盥洗室和浴室。浴室设在底层机舱棚附近为宜，一般为1~2间。规范对旅客卫生设施规定了最低要求。

洗澡设施：航行超过一昼夜的船，浴盆或淋浴喷头在一、二、三等客舱分别按每30人、40人和50人设一只，第三、四、五等客舱则分别为每60、80、100人设一只；航行于热带及南洋的客船，可比上述数目适当增加。盆浴室的面积应不小于 $2.5\text{m}^2$ ，每个淋浴喷头下的面积应不小于 $0.8\text{m}^2$ 。近来设计的客船，一、二等常设单独的卫生间。

盥洗设施：规范建议一、二等软席客舱设专用盥洗盆，并尽可能与厕所分开。公共盥洗室的最少水龙头数为：30人及以下的客舱每15人设1副；不超过100人的统舱，每20人设1副，但不得少于2副；超过100人的统舱，每超过40人增添1副，每副的间距不得小于 $0.6\text{m}$ （“1副”指冷热龙头各1）。

大便器数：500人及以下不少于旅客人数的 $1/40$ ；500人以上到1000人以下，不少于 $13 + (\text{旅客人数} - 500)(1/80)$ ；1000人以上不少于 $21 + (\text{旅客人数} - 1000)(1/80)$ 。另外，并规定对每一分隔的旅客居住区分别按以上规定计算，而且至少应设男女大便器各一具。设置单人大便器的厕所尺码应不小于 $800 \times 1000(\text{mm})$ ，如装有小便器还应增加 $0.4\text{m}$ 。

③其他舱室：以上所讲的舱室只是生活上所需的最低要求。视各船的具体情况和用船单位的要求，还需设置其他用途的一些舱室，如客船增设为旅客生活服务的商店、阅览室、休息室、文娱室等，客船和远洋船需设医务室和病房，货船常设码头工人休息室，油船需设吸烟室等。《标准》对有关舱室作了具体规定。

船员文娱室 设在船员生活区内，其面积可按每人 $0.33\text{m}^2$ 左右计算。文娱室内主要设备为：长桌(或乒乓球桌)、沙发、椅子、报架、书柜或茶具柜等。

广播室 广播室面积的适宜值：1000~3000总吨客货船约为 $5\text{m}^2$ ，3000~10000总吨级约为 $8.5\text{m}^2$ 。广播室内配有广播桌、椅子、唱片录音带箱等。广播员可居住在广播室内，其生活设备应配齐。

民警值班室 应设置于船员生活及工作区域以外，其面积应不小于 $4\text{m}^2$ 。民警值班室的主要设备为桌子、椅子，有条件可设沙发。

客运办公室 面积不小于 $4\text{m}^2$ 为宜，内设桌子、票证柜、椅子等。应布置在乘容易见和易到之处。

小卖部 最小面积为 $6\text{m}^2$ ，小卖部内主要设备为玻璃柜台、桌子、货架，有条件时设冷饮冰箱。小卖部附近设货物储藏室，其面积大小根据需求和可能决定。

乘客阅览室 航行时间大于24h的国内沿海客货船应设乘客阅览室，其面积可按全船乘客数乘以 $0.10\text{m}^2$ 左右计算。航行时间小于24h者建议设阅览室。阅览室内的主要设备为图书书柜、杂志架、报架，以及桌子、椅子、沙发等。

此外，有条件时可在一、二等客舱附近设置专用休息室。

表14-14为我国几艘沿海及长江客货船的旅客舱室及公共活动舱室实际面积,可供设计时参考。

表14-14 几艘沿海及长江客货船旅客舱室及公共活动舱室面积(m<sup>2</sup>)

船 名			7500吨级 沿 海 客 货 船	5000吨级 沿 海 客 货 船	3000吨级 沿 海 客 货 船	长 江 申 汉 线 客 货 船	长 江 汉 渝 线 客 货 船	长 江 渝 宜 线 客 货 船	长 江 中 游 短 途 客 货 船
项 目									
总 长			138.0	120.0	106.67	113.0	77.0	68.5	45.5
甲 板 宽			17.6	18.8	15.8	19.6	15.4	13.2	8.66
型 深			8.4	8.4	7.7	4.7	3.4	3.5	2.9
甲板间高			2.3~2.5	2.5~2.55	2.2~2.4	2.3~3.1	2.25~2.4	2.3~2.4	2.0
甲板层数			6	7	5	5	5	4.5	3
载 客 人 数	总 数		820~824	1302	915	1182	800	960	651
	特 等		4~8	2	1	—	—	—	—
	二 等		8	64	12	32	20	4	—
	三 等		204	546	318	224	222	—	—
	四 等		344	690	280	674	342	302	28
	五 等		260	—	304	252	216	(座)654	(座)623
人 均 面 积 (米 <sup>2</sup> /人)	特 等		21.2~10.6	10.08	27	—	—	—	—
	二 等		4.19	3.00	2.85	4.30	3.80	5.40	—
	三 等		1.77	1.65	1.4~1.78	2.16	1.92	—	—
	四 等		1.54	1.26	1.40	1.46	1.30	1.12	1.06
	五 等		1.75	—	2.00	0.87	0.88	(座)0.524	(座)0.315
公 共 活 动 所	餐厅总面积		195.6	374.4	132.0	210	174	90	—
	人均面积(米 <sup>2</sup> /人)		0.237	0.288	0.144	0.174	0.218	0.094	—
	文体室、乒乓室、 俱乐部等		203.5	173.95	—	—	—	—	—
	人均面积(米 <sup>2</sup> /人)		0.247	0.133	—	—	—	—	—
	二等客休息室面积		75.6	83.2	—	56.0	40	—	—
	人均面积(米 <sup>2</sup> /人)		4.73	1.26	—	1.75	2.0	—	—
所	阅览室面积		140.10	—	74.9	62.0	—	—	—
	人均面积(米 <sup>2</sup> /人)		0.17	—	0.082	0.052	—	—	—
处	厨房总面积		96.1	106.2	80.3	117.0	78*	85*	26*
	人均面积(米 <sup>2</sup> /人)		0.117	0.082	0.088	0.099	0.098	0.089	—

\* 表示船员与旅客合用的厨房。

## 二、生活舱室的区划和布置

### 1. 舱室区划

船员舱室 船员居住位置应便利于他们的日常工作,力求接近工作地点,并有方便的通道;业务性质相近的船员舱室应成相邻布置;居住室及休息室尽可能布置在较安静较舒适的地方。一般靠外侧布置有利于自然通风和采光;驾驶部船员常按职务自上而下地布置在右舷,轮机部船员则自上而下居住在左舷。

**客船旅客舱室** 客船上旅客与船员的生活舱室尽可能分成各自独立的区域。旅客舱室尽可能分级分区布置,高级客舱布置在上层建筑的上层,再逐级向下安排;公共处所(如餐厅、俱乐部)的地位应适中,方便各区的旅客来往,也应注意不要集中于一处,以免过于拥挤;不同性质的公共处所(热闹的、安静的)应根据它们的特点选择适宜的地位,避免干扰;并注意结合防火区和防火方式的选择、梯道布置等来考虑客舱分区;各区应尽可能有独立的卫生设施。

按规范规定,对室内净高不满1.9m(海船)及不满1.85或1.75m(长江船)者、距首垂线 $1/8L_{pp}$ 的区域、上甲板以下首防撞舱壁以前的处所、与危险品相邻的处所等,不得作为布置旅客用,设计客船时应特别注意。

生活舱室布置要点 a.统筹安排使用上相互配套的处所。例如厨房、配餐间、餐厅的位置应考虑饭菜输送方便,防止厨房的烟、气影响餐厅;食物库位置应便于厨房取送食物;考虑到厨房的环境和工作情况,最好将它布置在上层建筑底层的后端部,或在机舱棚的一侧。b.力求把纵桁、支柱安排在内壁和横分隔壁上。c.浴室、厕所、盥洗室最好上下层对齐,并尽可能布置在一舷,这样可简化管路,避免污水管穿过其他舱室,便于污水及粪便排出口集中于一舷,有利于海底门吸入清洁的海水(按防污染要求,设置粪便柜,将不存在此问题)。浴室、厕所、盥洗室不要布置在厨房、餐厅之上或邻近。

d.每间旅客舱室的纵横尺寸,不仅要满足面积的要求,而且要结合家具的配置,床铺的安排来考虑。具体设计时,应预先对一些典型舱室加以布置,再划分舱室。居住室的分隔壁不一定要在肋位上。

e.浴室、厕所、盥洗室、厨房等须用钢围壁与其他处所分隔开,此种钢围壁也用来分隔防火区。

f.对国内船舶(尤其是客船)舱室布置和设备选型应特别注意不同地区的生活习惯和气候条件,对国外航线船舶,则需注意国际航线的某些特殊需要。

## 2. 舱室内部布置

不同用途生活舱室的内部布置,可参考一些实船资料,结合舱室的具体尺寸、形状和设备情况进行安排。

①舱室布置要有明快感。家具的安排应配称、适用。高大的家具最好布置在隐蔽的角落里,以免给人有拥挤之感,各种家具的相互位置应符合使用要求,要注意利用自然采光,便于清扫,客船要充分注意舱内通道来往的方便性。

②大的公共舱室,如客船的餐厅布置上最好形成小的“区块”(如用屏风加以适当分隔),以免给人以低沉感,并注意内部有宽敞方便的通道。

③床铺有纵向和横向两种布置方式。船横摇时纵向布置要比横向布置舒适些,但所占的舱室地位较大,因此,视具体情况两者都有采用。中小型船舶常因地位限制而采用横向布置,客船也是这样。非单床的舱室,纵、横结合有时更有利于合理安排各种家具,充分利用地位。设置长沙发的舱室,床铺和沙发纵横结合便于风浪中调换使用。床一般不要沿外壁布置,否则,不仅不利于办公桌的布置,且人也易受染风湿。

④海船上居住室的门都设在内舷围壁上且向室内开。通向露天走廊的门则向外开,根据建造规范的要求上层建筑的底层要设置水密门,上层设置一般门。大的公共处所应有两个出口,相距位置应远些,门应向外开或用双摇门,以利安全。

⑤海船各部位的窗的形式应根据建造规范及载重线规范对舷窗水密性的要求来选取,客船还须满足抗沉性规范的规定。居室窗的尺寸应大些,以利于危急时逃生。窗的位置应有利于舱室采光,并应位于两根肋骨或扶强材之间。

### 三、工作舱室与其他舱室的布置

#### 1. 驾驶室、海图室、报务室、雷达室

驾驶室一般都位于最上层驾驶甲板上。视设备情况,大船上驾驶室前后方向长度一般有2.5~3.0m,内河小拖船则只有1m左右;驾驶室横向一般不通到两舷,留着的两舷驾驶甲板,用于驾驶员瞭望观测,驾驶室两边设有扶梯通罗经甲板。为保证驾驶员的视野,驾驶室的窗应尽可能大些,窗框尽可能细些,驾驶室应有通海图室的门和到报务室便捷的通道。

海图室一般设在驾驶室后紧邻着的右舷。室内设置海图桌、航海资料文件柜、测位仪、表等。一般有(6~16)m<sup>2</sup>。小型船舶因地位限制,海图室常并在驾驶室内。

报务室一般设在驾驶室后左舷,其面积主要根据设备台数、工作台的大小来决定,从5m<sup>2</sup>(小船)到11~20m<sup>2</sup>(大船)大小不等。

雷达室通常设在驾驶室同层、靠近雷达天线下的地方。有些船因受地位限制,不单独设置雷达室,而将雷达装置放在海图室内或驾驶室内。

#### 2. 应急发电机室、应急蓄电池室

它们是海损时的应急电源,因此,规范要求把它们放在较高较安全的地方,一般多设在艇甲板上,并有直通露天甲板的单独的门,供应急时使用。

#### 3. 变流机室、电罗经室

报务用的变流机,多放在报务室同层的变流机室内,并有通向露天甲板的门。电罗经的变流机最好放在主罗经旁的单独房间内。电罗经室应尽可能设在船的摇摆中心附近。

#### 4. 各种贮藏室

灯间、油漆间、缆索具间一般都设在首楼内,灯间和油漆间应用隔壁分开,并有通向露天甲板的出口。其他贮藏室则根据其用途不同安置在不宜做生活舱室的地方。

消防用的灭火剂(如CO<sub>2</sub>, 1211)多贮放在舱室内或上甲板上专门的房间内,但不可放在生活舱室区。

其他为各种用途而设的一些特殊舱室或其它工作舱室,这里不多赘述。

表14-15为我国几艘海洋及沿海船舶的工作舱室及公共舱室的实际面积情况,可供设计时参考。

### 四、机(炉)舱棚的尺度与布置

舱室区划和布置还涉及到机(炉)舱棚的大小和位置。机(炉)舱棚的作用是把机(炉)舱围蔽起来,保证机(炉)舱的安全,减少机(炉)舱的噪音、热气对舱外的影响,也有利于机(炉)舱的通风采光。上层建筑甲板间机(炉)舱棚的最小尺度应能方便地吊进(出)主机、锅炉和其他设备。但考虑到主机、锅炉等大件吊进后一般不再吊出,因此,可采用先吊进主机、锅炉等大件设备,再安装舱棚的施工工艺,这时舱棚的尺度只需供布置某些设备(如日用油箱、风管、烟箱、主机及锅炉的突出部分、格栅及扶梯等)以及维修时便于柴油机气缸吊出的空间,这样,可节省地位,缩小上层机舱棚的尺度。

集装箱船、滚装船、尾甲板作业渔船、车辆渡船等船舶，因需要大的甲板地位，采用了尺寸较小的机型，保证主机顶部到甲板之间必要的维修间隙，也不在主机上面设置大的舱棚，而利用甲板上可拆舱盖或封蔽的开口来吊进主机，在其他部位设小的舱棚，作为进出机舱，吊送物料、配件的通道。

表14-15 我国几艘海洋货船及沿海客货船的工作舱室及公共舱室面积(m<sup>2</sup>)

船名 舱名	“庆阳”号 干货船	“郑州”号 散货船	“大庆61”号 油船	5000吨级货船	7500吨级沿海 客货船	3000吨级沿海 客船
驾驶室	33.5	47	36.0	32.5	34.13	47.12
海图室	16.5	19	21.0	13.5	17.32	14.69
报务室	15	14.5	20.0	14.5	12.93	17.60
会议室	54	107	62.5	34.0	35.13	27.84
理货室	7.2	9.0	9.6	4.5	—	—
电工间	6.5	10.0	10.5	5.0	15.96	6.27
木工间	6.0	15.5	20.3	9.5	15.96	8.96
艇务室	9.0	—	13.5	—	13.11	13.60
电罗经室	5.0	8.8	5.4	6.5	—	—
广播室	4.0	—	5.0	3.5	6.99	8.0
休息室	35	43	22.8	15.0	78.09	74.88
舵机室	70	72		30	52.03	73.04
厨房	28.5	45	32	35	97.4	71.68
餐厅	53	85	89.5	38.5	456.1	317.82
配餐室	7.0	11.0	11.5	6.0	35.7	30.69
应急发电机室	14.0	20.0	18.5	—	27.5	16.13

机舱按规范规定，应有两个出口，一般船都在舱棚左右舷各开一个，此外，还在轴隧后端设置通上甲板的逃生口。

救生艇甲板上设置整体可拆式天窗用于通风采光。

## 五、通道与扶梯的布置

通道与扶梯的布置是总布置设计中一个十分重要的问题，特别对客船是这样。梯道设置应便捷、安全、实用，并节省地位。

1. 满足有关规范的规定：表14-16及表14-17为我国《海船乘客定额及舱室设备规范》关于走廊、扶梯数目和宽度最低要求的规定。表中所列人数系指相邻上下两层中较多一层的人数。规范并提出：扶梯应尽可能纵向布置，有利横摇时的安全，但占地位较多。扶梯斜度应不超过45°。经验船部门同意，可放宽到50°。《消防规范》及《国际海上人命安全公约》对客船防火主竖区内的扶梯数及技术条件作了规定。其他船舶的梯道尚无规范规定，设计中可参考表14-16和表14-17及相近实船资料来定，但采用的扶梯斜度可大些(≥65°)，只少数人使用的扶梯可更狭些、陡些，以至用直梯来节省地位。

表14-16 海洋客船走廊宽度(m)

位 置	客船类别	
	第一、二类	第三、四类
露天甲板两舷	≥1.2	≥1.0
由客舱到露天甲板	≥1.0	≥1.0
客舱内: 50人及以下 50人以上	≥0.8	≥0.8
	≥1.0	≥1.0
乘客铺位之间	≥0.8	≥0.8

注: 海洋客船分四类: 第一类为航行时间为24小时和24小时以上的国际航行客船; 第二类为航行时间在24小时以下的国际航行客船和航行时间为24小时及24小时以上的国内航行客船; 第三类为航行时间在24小时以下的国内航行客船; 第四类为航行时间不超过4小时的国内航行客船。

表14-17 海洋客船扶梯数目及宽度

乘客人数	扶梯数(具)	扶梯最小宽度(m)
≤100	2	0.8
101~150	2	1.0
	3	0.8
151~200	2	1.3
	3	1.0
≥200	2	1.5
	3	1.0

注: 如乘客不超过30人的处所设置两个扶梯有实际困难, 经船舶部门同意, 其中一个可以用应急出口代替。

表14-18、表14-19和表14-20为我国规范对内河客船客舱通道及扶梯数目, 对舱室的应急出口(或应急扶梯口)数等也有具体规定, 设计时应注意满足规范要求。

表14-18 内河客船卧席客舱通道的最小宽度(m)

舱室内床铺数	纵向内通道			横向通道				舱室出入口	
	宽 度	出入口		通道数	宽 度	出入口		数	宽 度
		宽 度	数			数	宽 度		
<12	—	—	—	—	—	—	—	1	0.6
12~30	—	—	—	—	—	—	—	2	0.6
31~100	1.2	1.2	1	1	1.2	2	0.8	—	—
101~200	1.3	1.0	2	2	1.1	4	0.8	—	—
			1	1	1.3	2	1.0	—	—
≥201	1.4	1.2	2	2	1.2	4	1.0	—	—

注: ①表列床铺数, 对纵向或横向通道, 是指纵向通道通过的所有各节室床铺数之和。

②如纵向通道并不通向甲板敞开部分, 仅能占梯口通向上层甲板的横向通道, 然后通向甲板敞开部分, 则应计入上下两层所包括床铺数之和。



表14-19 内河客船硬席客舱的  
出入口数及宽度(m)

舱室内乘客人数	出入口	
	数	宽度(m)
≤50	1	0.8
51~100	2	0.8
	1	1.0
101~150	3	0.8
	2	1.0
151~200	3	1.0
	2	1.4
≥201	4	1.2
	2	1.6

表14-20 内河客船乘客用  
扶梯的最低要求

上层甲板乘客 人数 $N$	扶 梯 数	每具扶梯的 最小净宽度(m)
≤100	1	0.8
101~150	2	0.8
≥150	2	$0.8 + N/1000$

2. 建筑内部各处所之间, 内部与外部之间的通道要直通, 不要迂回曲折。单出口的走廊要短, 且不应超过13m。各层的扶梯尽可能上下对齐, 扶梯的位置应明显易寻。在任何情况下旅客居住舱室门的宽度不应小于0.6m。

3. 梯道要分主次, 主梯道应宽敞, 客船主梯道应保证旅客上下船、去公共场所、登艇甲板方便, 但不宜过分集中。每一个大的下层客舱尽可能在两端设扶梯各一部, 便利交通, 保证安全。图14-22为内部扶梯的各种型式, 其适用性视具体情况而定, 以使用方便, 占地小为原则来考虑。几层甲板之间的扶梯最好重迭设置, 这样可使乘客上下方便, 又节省地位。外部主要扶梯基本为钢质斜梯, 扶梯有标准规格, 设计时可按所在位置的使用要求选配。

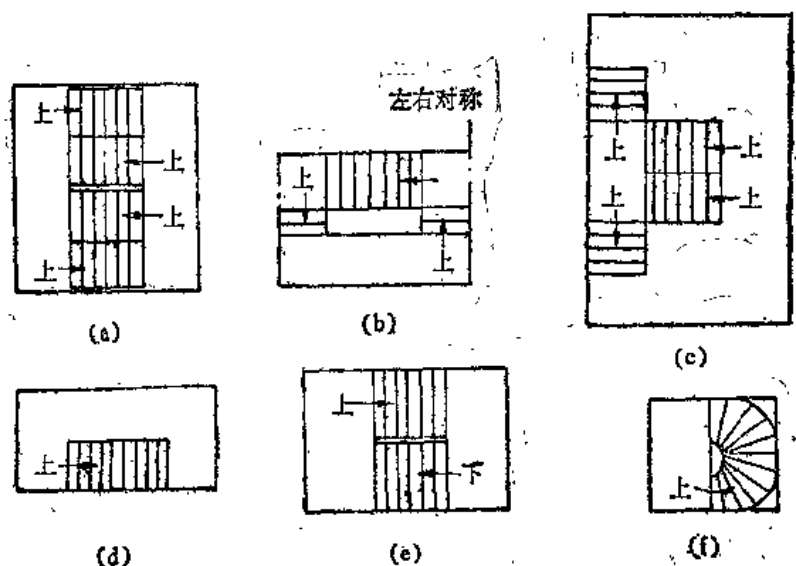


图14-22 内部扶梯的几种型式

有人从行走舒适及安全方面进行研究, 提出船上扶梯尺寸的适用范围的建议, 如表14-21所列, 可供设计时参考。

表14-21 船用扶梯尺寸适用范围的建设值

扶 梯 种 类		仰 角 (度)	台 阶 高 度(mm)	台 阶 宽 度(mm)
旅客用	适宜值	30~45	150~210	190~297
	极限值	55	235	147
船员用	适宜值	45~55	190~235	147~210
	极限值	60	245	136
甲板梯	适宜值	30~55	150~235	147~297
	极限值	60	245	136

## 六、舱室内部空间设计中的一些问题

舱室与梯道的布置设计, 不仅应从平面布局角度着眼, 还应从舱室内部的空间设计方面考虑, 只有这样才能使总布置设计能更好地利用布置地位, 提高船的使用性能与经济效益, 改善乘员的生活与工作条件。下面就舱室空间设计中的一些问题作些介绍。

### 1. 矮空间的设计

空间低矮是船舶舱室的特点之一。上层建筑的层高受船重心高度及受风面积的制约。因此, 如何把层高不太大的舱室设计好是总布置设计中要周密考虑的问题。

①协调船体结构及机电方面的要求, 合理布周, 以求有较大的净高度, 给居住者以舒适宽敞的感觉。纵桁、横梁、强横梁等构架高度与必须设置的风管、电缆、管路、照明灯具等都是影响舱室净高度的因素。因此, 设计中如有可能, 应使内走廊或舱室的围壁置于纵桁之下; 主风管应自走廊内或在舱室的两侧纵向通过, 支风管则夹在横梁之间; 各层卫生间尽量对齐, 减少水平交叉, 从而不使排污管穿过生活舱室等。

②结构上采用“反梁法”, 以增加舱室高度。所谓“反梁法”, 是把纵桁或强横梁的部分高度反向甲板的上部, 以此减少空间损失。

如图14-23所示。

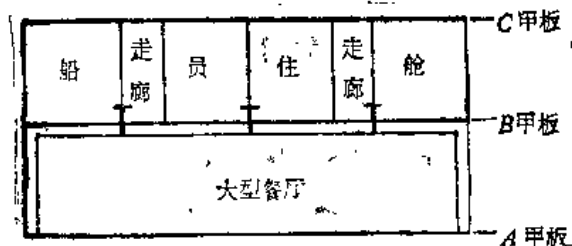


图14-23 用反梁法增加舱室高度

③利用甲板开口或局部升高以增加舱室高度。对于客船, 在没有“连续甲板”要求的地方, 可以采用去掉一层甲板的措施, 使两层空间合为一层, 以设计成电影院或剧院。图14-24系利用中间甲板的开口做成双层餐厅, 图14-25则表示大餐厅局部借用上一层空间的情况。

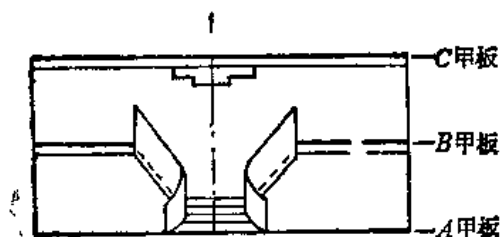


图14-24 双层餐厅

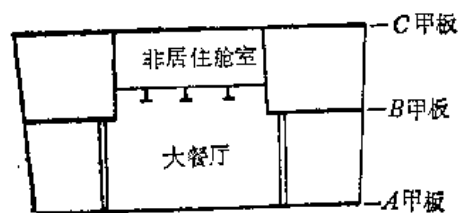


图14-25 大餐厅

④采用色彩、工艺装修等技巧，以取得升高的效果。在既定的低矮舱室内，采用色彩、装修工艺等技巧，可取得增加舱室高度感觉的效果。例如：利用错觉效果。图14-26中通过采用直线条的花纹壁面，并引伸一部分到天花板，使人感到室内墙壁高度似乎是 $b$ ，比实际高度 $a$ 要高一些。利用“色彩效果”。采用白色或浅色的天花板，同时不使地坪的色彩过深，要比采用深色的天花板及地坪能给人以舒畅开阔的感觉。利用“反射效果”。当不得不使用深色地坪与天花板时，可将材料表面处理得很光滑，使其具有反光效果，达到类似镜面反射的作用，可使舱室低矮的感觉减轻或消失。采用“视线阻隔”方法，使长距离或大的舱室不致一望到底，可减少低矮的感觉，如在狭长舱室入口处做半透空的屏风，或在大厅入口正面做艺术性屏风等。

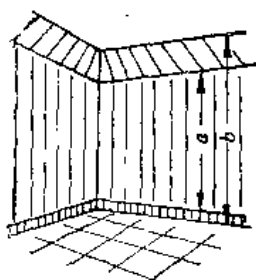


图14-26 错觉效果

## 2. 狭窄空间的设计

船舶是一种受尺度限制较严格的建筑物，一艘船的主要出入通道关系到人员的流通、疏散的安全性，其基本尺度应给予保证。但通道及各舱室不可能很宽敞。因此，要使人们一上船就有一种开阔、舒畅的感觉，还需从各方面想办法，进行精心设计。

①搞好平面布局，争取好的效果。有时，将一些舱室的位置布局合理，或稍加更换，就能取得比较宽敞的感觉。

②设置交通与休息两用的处所，以获取宽敞的门厅作为交通枢纽。图14-27表示将主楼梯部位扩大结合作为休息室，既提供了较理想的公共处所，又便于交通与人流疏散。

③利用装修技巧改善观感。通常可以用通透、反射或灯光虚构等方法。如在狭窄的梯口或公共舱室用镜子反射，可使开阔感增加。也可利用灯光艺术，使通道或舱室产生虚构的室外空间感。

④合理布置狭长形舱室。合理布置家具，如用纵向床铺分割房间或将零星空间集中于舱室中部等，往往可取得较好的效果。

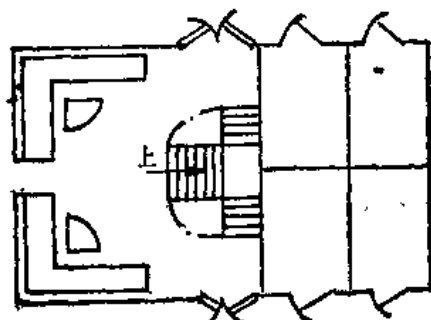


图14-27

⑤合理利用空间断面的组合。特别在小型船舶上，通过巧妙地利用空间断面组合，常可使狭小空间得到充分的利用。如图14-28为单人房间与小便间毗邻，断面错开布置使两者的实际使用宽度加大了。

## 3. 弧形围壁舱室的设计

船主体接近首尾部分的舱室，往往是利用船体型线所构成的空间，在中小型船上更为多见。根据其弧形围壁的特定条件，利用好倒三角形的空间值得注意。

上甲板下首尾舱室内的客舱多为四、五等舱，规范规定上下床铺不允许错开布置，以免上铺旅客呕吐或跌落物件伤害下铺旅客。因此，上甲板下的一定高度空间可用于设置存放旅客物件的柜子或行李架。也可以利用三角形空间设置柜床、柜子、桌面、吊橱等，以扩大室内面积。

## 4. 带有斜坡地坪的舱室设计

通常，船舶每层甲板，不是纵向就是横向都有一定高度的脊弧与梁拱，使房舱的地面都

不是水平的,尤其是横向梁拱几乎使每间舱室都带有斜坡,在进行室内设计时应注意以下问题。

①横向壁面开大门孔问题。对于船一侧的大型餐厅或休息室横向围壁上要开大门孔,可采用不对称的装饰手法来使本来不对称的墙面感觉协调,如图14-29(a)和(b)所示。同时,在这样围壁上,宜用不对称的装饰小品来避免不平正的感觉。

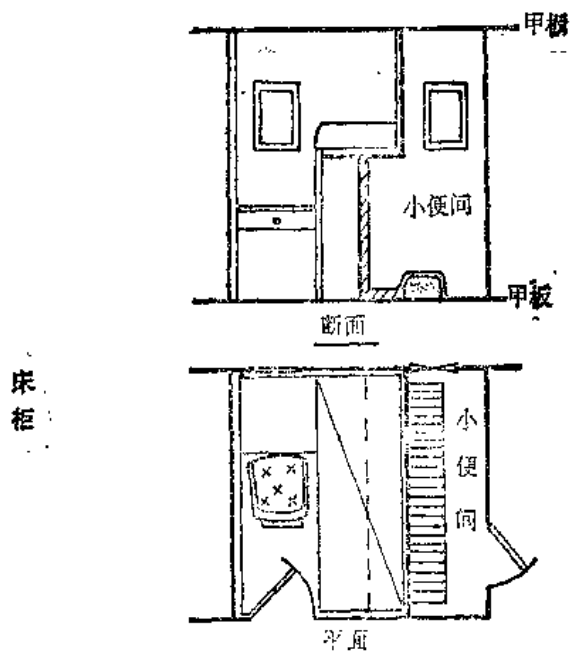


图14-28 空间断面组合示例

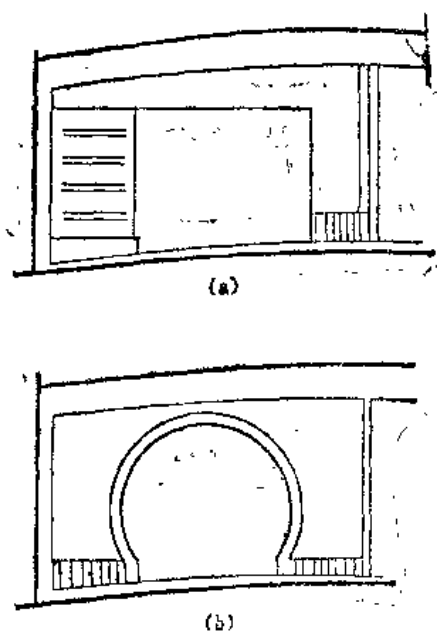


图14-29 横向围壁开孔示例

②家具布置问题。不宜在横向布置过长的餐桌,否则餐桌两端脚不一样高;若用非固定式转椅则会使椅脚摆不平。床铺布置应根据梁拱及脊弧的大小,使床头朝向船首或船中心线,避免船航行时出现头低脚高的情况。

③地面坡度与卫生设施。舱室地坪的坡度给排水带来有利条件,但疏水孔的位置应在低的方位。又如水池、锅灶应尽量横向布置;浴缸便槽则宜纵向设置,坐式便器应面向船首尾,以免船激烈横摇时水冲到人身上。

#### 5. 门窗开设与舱室空间利用的关系

门窗的开设对空间利用有很大影响。

①门位置对舱室布置的影响。在同样面积的舱室内由于房门位置和开门方向不当,会直接影响室内空间的利用。在有些情况下,当厕所布置在公共出入口时,厕所门的方向应注意保证公共场所的美观与清洁。

②门与交通安全的关系。保证内外通道畅通,关系到海上人命安全,在总布置设计中要十分注意。如房门与通道、梯口之间设计不当,容易产生碰撞堵塞现象,这时宁可损失局部舱室面积,以保证人流畅通与交通安全。

③窗的开设。对于船上的舱室来说,窗户不存在朝向问题。因为,为了船舶的安全性与水密性,在船上主要依靠人工照明,窗户的设置无论从数量、大小及窗户之间的距离,都不宜过多过大,特别是设全空调的船舶更是这样。有条件利用自然通风之处,则应尽量利用窗户。同时窗户的开设对船舶的内表外观有直接影响。如对室内,每个房间的窗户位置适当,

使光线照入均匀;对面积较大的舱室,要求窗户在围壁上的分布有规则与韵律,成为一种艺术性的组合。而对室外,则要求直接开在两舷或上层建筑外围壁上的舷窗与方窗的组合,具有韵律,以增加船外部造型的艺术性与美感。

## §14-5 船舶设备的配置及舱面布置

船舶设备是一门专门的学科。具体设计时,船舶设备的选型与配置需参阅有关的手册和资料。本节仅介绍几项主要设备。

### 一、货舱口及起货设备

#### 1. 货舱口

货舱口面积与舱底面积之比,通常称为货舱敞开系数。装卸上自然希望这一系数越大越好,因此,争取扩大舱口尺度一直是干货船设计的一个重要课题。

**货舱口宽度** 专用谷物运输船的货舱口宽度(见图14-1(b)),在确定主尺度时,一般就应结合货舱舱容和边水舱压载水量的核算初步加以确定。如果按图示的剖面尺寸关系来确定,装卸上的影响不大。舱口过宽,压载水量不足,甲板增厚较多,增加焊接工作的困难。专用集装箱船的货舱口与货舱同宽(见图14-1(d)),为满足船体强度、甲板作业等需要,剩下的甲板宽度一般不宜过小,货舱口宽度大体在 $(0.75\sim 0.85)B$ 的范围内。大型集装箱船,为解决舱口盖过大,重量过重和船体强度上的矛盾,视不同情况,采用二或三排货舱口。集装箱船货舱口的宽度也应在确定主尺度时就结合着来确定。杂货船货舱口宽度一般没有上述两种船那样大的约束,除从装卸效率、结构强度、舱盖重量上考虑外,装运甲板货、大件货等的特殊要求也是必须计及的因素,大体为 $(0.4\sim 0.6)B$ 。选用定型舱盖时,舱口宽度应按舱盖尺度来决定。

**舱口长度** 装卸上希望舱口尽量长,但具体设计时,往往受到起货设备(桅屋、起货机平台)占据的位置、舱盖堆放的地位、甲板纵桁的强度(杂货船)等因素的限制。长舱口会使杂货船甲板舱口纵桁深度增加较多,不仅引起结构和重量上的问题,而且影响两舷舱容的有效利用,因此,有采用箱形纵桁结构、悬臂梁结构等型式。各舱的舱口长度最好结合舱盖的片数和宽度加以协调,减少舱盖的规格品种。两端都有起货设备的舱口,为避免起货设备间干扰过多,长度一般不小于12m。装载特大件的舱口,最小长度应根据便于装卸的要求来定(如“大理”型特大舱口长度达24m)。集装箱船的舱口长度应等于舱内集装箱堆放的总长。

#### 2. 起货设备

定航线船(如定线集装箱船)各港口都有良好的码头装卸设施时,船上可不设起货设备,其他的干货船都应装设适当的起货设备。船上常用的起货设备有起货吊杆和旋转式吊车(克林吊)。吊车的优点是占地位小,可以放长舱口,吊臂的仰角可自行调整,落舱点好,缺点是速度不够快,一般认为适宜于用抓斗来卸散装货。目前,起货吊杆仍是一种主要的起货设备,优缺点正好与吊车相反。起货吊杆分双杆联吊和单杆操作两种方式。也可见到有的船上既装吊杆,又在首尾的小货舱装吊车的。

①起货设备的能力。应根据货类和船的大小而定。杂货船主要是装运轻包货,加大吊举能力对提高装卸效率作用不大,中型以上船舶都采用 $3/5t$ 安全负荷的吊杆(即单杆操作为 $5t$ ,

双杆联吊为3t)或3~5t起重量的旋转式吊车,小型货船可配更小起重能力的起货设备,大型远洋杂货船,除首尾小舱外,其他舱常配5/10t的起货吊杆,以提高重货的装卸效率,有时还配1副30~120t的重型吊杆,以装卸某些重大件。散装货船因用抓斗卸货,为提高吊卸货物的净重(扣除抓斗重量),宜采用5/10t以至更大的吊杆或8~15t的旋转式吊车。从均衡装卸时间考虑的起货设备副数要结合货舱划分。设计任务书除对起货设备的能力、型式和数目提出要求外,有的也对吊索的升降速度,舷外跨度、起货机的类型等提出规定。

## ②起货设备的其他技术要素。

**吊杆长度** 一般规定吊杆伸至舷外的水平偏角为 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ,仰角为 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 时,轻型吊杆的吊钩能跨出舷外3~5m,重型吊杆为5~6m,吊钩距相近一舱舱端的距离至少为舱口长度的 $1/2\sim 2/3$ 。吊钩处于最高位置时,距甲板的高度不小于6~7m。吊杆有标准可查。

**桅(或起重柱)的型式及其选用** 桅有T字桅、人字桅、龙门桅等型式。T字单桅最常用,其优点是结构较简单。无支索的单桅当起重量较大时,其直径较大,可改用人字桅。龙门桅及起重柱用于船宽相对于舱长较大时,一般用于负荷较轻的吊杆。另外,桅还影响驾驶视野和造型外观。桅的高度与其结构及强度有关,它与吊杆长度之比大体为(0.6~0.8),具体应结合“船舶起重设备规范”通过强度核算和结构分析来选定。

**起货机平台的布置** 起货机一般布置在起货机平台上。平台下的桅屋用于布置起货机控制室、货舱鼓风机、二氧化碳瓶和其他贮藏室,并开有通货舱的梯口。平台上还布置有缆绳绞车、起货机操纵室。为增加地位,力求保证起货机操作时看清舱内情况,平台常伸出桅屋的横围壁。平台的高度应符合舱盖堆放和人员通行方便的要求,视船的大小为2.25~3.5m。

## 二、锚泊和系缆设备

建造规范用舳装数 $N$ 来规定船的首锚总重量及数目、锚链总长及直径、拖曳及系泊缆索的根数、每根的长度及直径等。 $N$ 用下式计算:

$$N = \Delta^{2/3} + 2Bh + A/10; \quad (14-9)$$

式中,  $\Delta$ ——夏季载重水线时的排水量(t);

$B$ ——最大型宽(m);

$h$ ——夏季载重水线时的干舷高度加宽度大于 $B/4$ 的各上层建筑高度(m);

$A$ ——夏季载重水线以上的侧投影面积( $m^2$ )。

根据总布置图算出舳装数 $N$ 后,查规范的附表即可求得所需配备的锚泊和系缆设备的规格尺寸,再根据有关的标准选用之。

初步设计时,选定有关设备后,就可参照相近的型船,初步布置锚泊和系泊设备,待技术设计时再细化。

### 1. 锚泊设备的布置

图14-30(a)为某船锚泊设备的组成和布置。布置时,可参考型船资料。

锚链筒的位置与尺度参阅图14-30(b)各符号。锚链筒的位置由 $b$ 、 $b'$ 、 $a$ 、 $l$ 、 $\alpha$ 及 $\theta$ 决定。 $b'$ 显然应与起锚机链轮的位置相适应,在 $\alpha \leq 15^{\circ}$ 时, $b' = b/2$ ;  $\alpha > 15^{\circ}$ 时, $b'$ 可取为 $b/2 - (1\sim 2)d$ ( $d$ 为锚链直径)。  $a$ 取决于前部布置的需要,首部丰满船可取 $(80\sim 90)d$ ,瘦削船可取 $(90\sim 110)d$ 。 $l$ 取决于甲板地位,一般取为 $(60\sim 70)d$ 。 $\theta$ 角不仅与起锚、抛锚有关,而且影响锚出口离水线的高度,太近锚易着水,增加阻力,一般以 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 为宜。 $\alpha$ 影响起锚、抛锚

时的阻力, 以小为宜, 一般取 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ , 最大不超过 $20^{\circ}$ 。

$\alpha$ 及 $\theta$ , 尤其是 $\alpha$ 决定了锚链筒下口距船中线的距离, 设计时要求船反向横倾 $4^{\circ}$ 起锚时, 锚爪不能钩住首部底龙骨、或撞击船壳板, 希望这一距离能有足够大; 另外, 还要求锚收起时, 锚与船壳服贴。因此, 锚链筒位置的最后确定, 应根据型线图来作详细校核。大球鼻首船, 为使 $\alpha$ 、 $\theta$ 适度, 有时需加大链轮距离或采用两部锚机。

锚链筒的内径按锚链直径来决定, 一般为 $(10.5 \sim 9.5)d$ 。锚链筒长度应使锚卸扣在锚爪紧贴船壳板时不露出锚链筒, 标准无杆锚取其为 $(15 \sim 16.5) \cdot \sqrt[3]{G}(\text{cm})$ ,  $G$ 为锚重(kg)。

链轮轴线距锚链筒上口中心一般为 $(60 \sim 70)d$ , 锚链的水平夹角 $\beta$ 罗注意不能过小, 以免抛锚时发生困难。锚链管的内径大体为 $(7.5 \sim 6.5)d$ , 布置时应力求竖直并对准锚链舱中心。锚链舱的体积可按锚链长度及链环直径来决定, 一般取每 100m 锚链的体积为 $(0.00085 \sim 0.001)d^2$  ( $d$ 为链环直径, mm), 这一要求很容易满足。锚链舱以圆柱形为宜, 其内径可取为 $(24 \sim 30)d$ 。主要是考虑深而窄的锚链舱, 便于自动盘链。

锚、锚链、止链器、起锚机等都有标准产品可供选用。

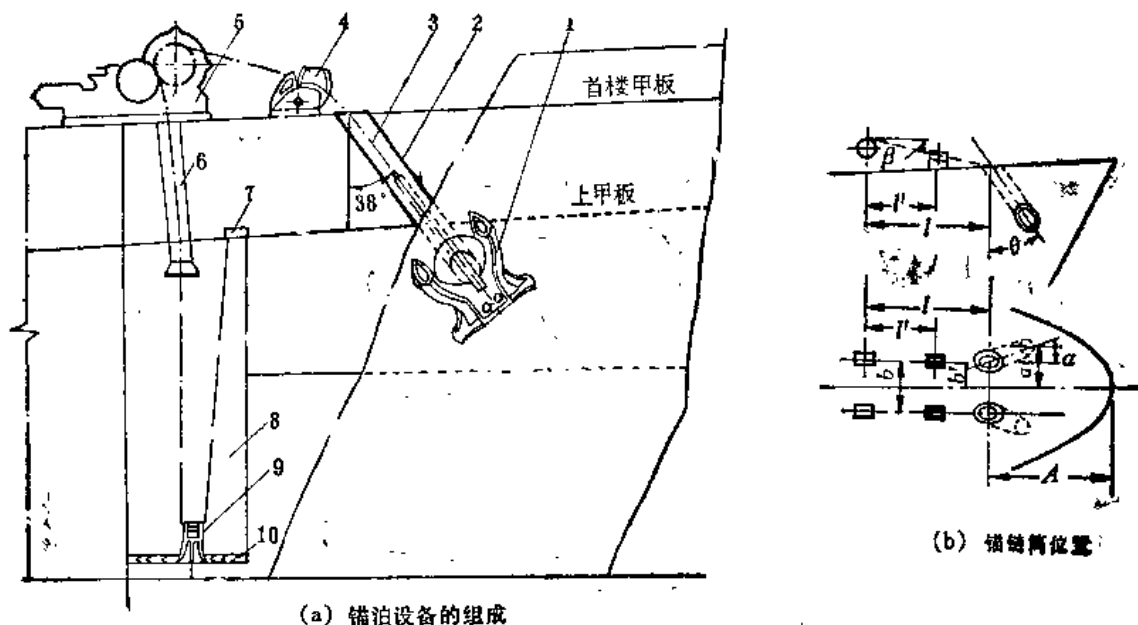


图14-30 锚泊设备的布置

1—锚; 2—锚链筒; 3—锚链; 4—掣链器; 5—起锚机; 6—锚链管;  
7—弃锚器; 8—锚链舱; 9—转向器; 10—木铺板

## 2. 系缆设备的布置

图14-31为系缆设备布置示意图。

①带缆桩。带缆桩的配置、数目及规格一般可参考使用要求相近、大小相差不大的船来确定。表14-22为带缆桩配置的大体情况。首部和尾部需各设一对与船中线平行的兼作拖带用的带缆桩, 前部布置在锚机前的外侧, 尾部布置在尾甲板绞车的前面。系缆用的缆桩布置在靠两舷舷侧, 与舷墙保持操作的距离, 此距离一般不小于1.5倍桩柱直径。首部布置在锚机略后的两舷, 尾部在绞盘前面的两舷。

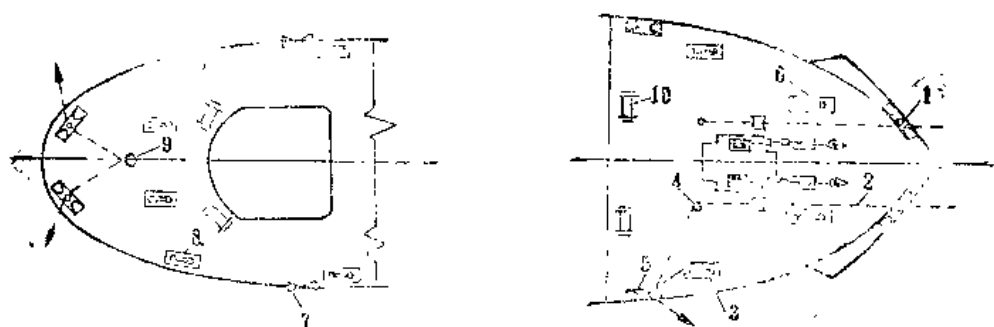


图14-31 系缆设备布置示意图

1—三滚轮导缆器；2—拖索；3—系缆索；4—导向滚轮；5—双滚轮导缆器；  
6—拖缆桩；7—导缆孔；8—带缆桩；9—绞盘；10—绳车

表14-22 全船各部位带缆桩设置数

船长 (米)		30~60		60~100		100~150		150~180	
主上层建筑位置		中部	尾部	中 部	尾 部	中 部	尾 部	中部	尾部
首楼甲板(长首柱除外)		2~4	2~4	4	4	4	4	4~6	4~6
上 甲 板	前 部	0~4	0~4	4	4	4	6	4	8
	后 部			4		4		4	
尾 部		2~4	2~4	2~4	2~4	2~4	4	4~6	4~6

②绞缆机械及绳车。首部用锚机绞缆卷筒来绞缆，尾部设绞车或立式绞盘。货船中部用起货机绞缆，油船常另设绞车。绳车设在便于收藏又不影响系缆操作和交通的地方。

③导缆器(孔)。导缆器(有舷墙处设导缆孔)每只带缆桩配1~2只。小船可采用无滚轮导缆钳，大船则采用带滚轮导缆钳，以减少钢索的磨损。导缆孔、导缆器、导向滚轮的地位，应和绞缆机的卷筒及带缆桩的位置结合起来，以充分发挥绞缆机械的作用。例如：首楼甲板首端的三滚轮导缆器的中心和导向滚轮应与锚机卷筒中点成一直线并高度相当。导缆器(孔)与邻近的带缆桩应保持不小于6倍桩柱直径的距离。

带缆桩、导缆孔、绳车、导向滚轮等可根据缆索直径按标准选用。

### 三、救生设备

救生设备按《海船救生设备规范》，视船的航区、人数、船类及长度来决定。表14-23为规范中救生设备定额一部分标准。例如Ⅲ类航区客船每舷设救生艇或可吊式气胀救生筏的人数占船上总人数的35%(但每舷至少有一艘救生艇)，並在全船设乙型气胀式救生筏的人数占船上总人数的40%。

确定了救生设备的配备定额后，结合布置地位，从救生艇、救生筏及其属具标准中，选配救生艇(筏)的规格及数量。表14-24为救生艇的尺度及容纳人数，例如50人的救生艇的尺度为艇长8.0m、艇宽2.6m、艇深1.1m。

规范对机动救生艇的规定：一般运输船因人数较少，每舷设一艇，其中一艘是机动艇，油船则应全部是机动艇，並且必须是金属耐火救生艇。



表14-23 海船救生设备定额

船 类	航 区	总 吨 位	船长L(m)	应设置救生设备的乘员数对船上总人数的百分比				
				每舷救生艇	每舷可吊式 气胀救生筏	全船甲型气 胀救生筏	全船乙型气 胀救生筏	全 船 救 生 浮 具
客 船	国际及 I 类			37.5	12.5	25	3	—
	短程国际			37.5	12.5	10	5	—
	II 类			20	15	—	40	—
	III 类			35*		—	40	—
	港区			—	—	—	20	80
货 船	国际及 I 类	$\geq 1600$		100	—	50	—	
		$< 1600$		100*		50	—	
	I 类	$\geq 500$		—	—	100*	50	
	II 类			—	—	60	50	
	港区			—	—	—	100	
油 船	国际及 I 类			100		50△	—	
	I 类			100		—	50△	
	II 类及港区			50		—	50△	
渔 船	国际及 I 类		$L \geq 75$	25**		150	—	—
			$75 > L \geq 45$	150*		150*	—	—
			$45 > L \geq 24$	—		—	150	
	I、II 类		$L \geq 24$	—		—	125***	

注：\* 每舷至少一艘救生艇，其乘员定额数计入救生设备乘员定额数。

\*\* 其中一艘应为机动救生艇。

\*\*\* 特殊情况下可用40%的救生浮具代替救生筏。

△ 应为破度或耐油的气胀救生筏。

表14-24 救生艇尺度及容纳人数

艇 长(m)	艇 宽(m)	艇 深(m)	容 纳 人 数
9.0	3.0	1.20	70
8.5	2.8	1.15	60
8.0	2.6	1.10	50
7.5	2.45	1.00	40
7.0	2.25	0.90	30

规范还对救生艇、筏、浮具的布置地位和吊艇架的技术条件作了规定，如救生艇筏的存放应尽可能靠近起居和服务处所；救生艇筏的存放应不突出于船舷，在防撞舱壁之后，并远

离推进器；对总吨位 $\geq 3000$ 吨的油船，应使救生艇尾端至少在船的推进器之前相当于1.5倍艇长处。艇在载足全部乘员及属具后，船舶在不列纵倾并向一舷横倾 $15^\circ$ 时，仍能安全降落；艇架周围应空敞；落艇要迅速；此外，还要求布置注意把舷侧污水排泄孔与落艇地位错开，尤其是兼作工作艇的机动艇，落艇地位处不能有排水孔。

#### 四、其 他

除上述设备外，船上还有通风空调设备、消防设备、信号设备等，布置时也须加以考虑。

##### 1. 通风设备

货舱按具体情况采用机械通风和自然通风。杂货船多采用机械通风。生活舱室和工作舱室采用自然通风、机械通风或空调，常按任务书的要求而定。因通风筒的位置、规格，通风管的尺寸、路线影响船体结构，舱室有效高度和通风效果。设计时应注意其布置和规格的合理性。

##### 2. 消防设备

应按建造规范消防设备部分的规定来配置和布置。总布置图中应标出有关设备的地位。

##### 3. 信号设备

包括号灯、号型和声号、信号旗。所有号灯、号型、信号旗都需要按《国际海上避碰规则》和我国《海船信号设备规范》的规定来配置。图14-32为规范对信号旗悬挂位置的规定。号灯设置，按规范对桅灯的规定为：总长大于45.75m的机动船应设前、后白桅灯各一盏；前桅灯的纵向位置应在船首 $1/4L$ 之内；除后桅灯和桅顶式避碰闪光灯外，前桅灯应高于其他号灯和遮蔽其灯光的障碍物，且距连续上甲板的高度不低于6.1m，如船宽大于6.1m，则不小于船宽，但毋需大于12.2m，后桅灯应高出前桅灯4.75m；两桅灯的水平距离至少为两者高度之差的三倍，并尽可能大于船的总长之半，但不必大于100m；前后桅灯应位于船的纵中平面内。总长小于45.75m的机动船可以只设一盏灯。

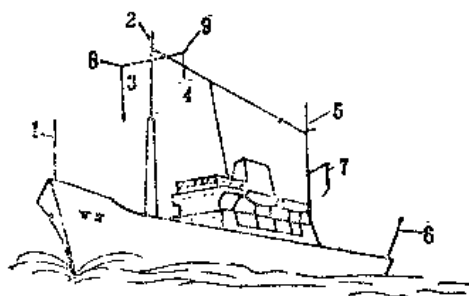


图14-32 信号旗悬挂位置

1、5—局(公司)旗；2—锚泊港国旗；3、4—通信旗；6、7—国旗；8、9—国家首脑旗

从信号设置的要求可见，总布置设计还必须结合信号灯、旗的设置要求来安排桅和雷达、无线电天线。

## §14-6 船舶工程美学概述

### 一、船舶的美

美——往往被视作抽象而玄妙的东西。但是，美是寓于艺术品实体中的。对于一件艺术

作品,包括建筑艺术在内,能以某种得体的形式,恰当的表现它丰富的内容就是美。

美还具有一定的感染力。美的形象,通过人们视觉、大脑等感官,形成的感染力,在心理上或生理上给人们以轻松、愉快、安详、宁静、朴实、典雅、庄重、华丽等的感受,这是一种精神上的满足。美,是人们精神生活所不可缺少的内容。

船舶是水上的工程建筑物,同陆上建筑的不同之处在于,前者是动态的,而后者是静态的。

建筑物本身就是一件“技术-艺术”作品。它应具有完善的功能(适用性),合理的结构,优美和谐的外观(包括外部和内部的形象)。因而,美观是建筑物整体中不可缺少的内容。

对船舶来说,除功能、结构方面的要求外,还涉及一系列静态和动态的航海性能——如浮性、稳性、快速性、耐波性等方面的要求。

因而,船舶的美,应该通过外部造型,内部格局,细部修饰,材质、色彩等一系列表现,恰如其份地体现其特征(指船型特征)、特性和时代感。即通过外观的形态美显示船舶具有的内在美。达到形式美和内在美的统一。

船舶外部和内部的形态美所形成的轻快敏捷,稳健持重,舒适安详,有条不紊,赏心悦目的感受,将促进人们身心的健康,愉快和满足。从而增进对所乘坐的船舶的安全感和信赖感。这就是美的感受,“船舶美”所产生的效果。

因而,“美观”也应该是评价船舶设计质量的重要因素之一。在设计中,为船舶创造“美”的品质,是船舶设计者不容推卸的职责。

船舶工程美学所涉及内容比较广泛,概括地说,船舶工程美学是研究船舶技术特性和艺术表现力,及技术-艺术有机结合的一门学科。

现仅就船舶的外部造型和内部装潢两部分内容进行简要叙述。

## 二、船舶外部造型设计

船舶外部造型设计有其丰富的内容。

1.外部造型的“美学原则”:造型应体现船舶的特征(或个性);造型应表现船的“前进感”和“速度特性”,显示“动态的均衡与稳定”;造型力求均衡、协调、匀称和统一,体现构图的统一,形式与内容的统一,并在变化中求统一;造型应具有独特的风格和时代感。

2.外形各组成部分:主船体——主要指水上部分,它主要通过船首尾形状,舷弧线以及轮廓线来勾画船体外形;上层建筑和甲板室——这部分是随船类不同而变化较大的体量,也是最富有表现力的内容;设备及部件——它们在整个船舶造型中的地位不亚于前者。表现力强,能起到丰富图面,反映个性,突出重点,画龙点睛的作用。

以上各部分,在整个造型构图中应形成统一的整体。不应孤立地、随心所欲地处理,应注意与功能和结构的有机结合,并恰到好处地去表现它们。

3.造型设计的处理手法:造型设计犹如谱曲、作画,既无典型规范可依,更无统一的格调可习。它应是丰富的,多样化的,并富有创造性的。应通过观察、感受、联想、构思,从而丰富构图的内容和表现手法。下面列举要领一、二。

总体布局的处理上,注意外形轮廓曲线的光顺,呈流线型形状,首、尾形状,弧线,轮廓线和整个形体的分布表现仰首向前的速度感。在形体的比例和分布的安排上注意均衡和稳定。

恰当的比例关系和合理的尺度。注意各部分尺度的合理,过分夸张手法,得到的效果往往适得其反(如,有的船想用特大的烟囱来表现强大的动力,结果显得臃肿而不协调)。整体、局部及部件,应注意其本身的尺度比例,以及它们之间的比例协调。

门、窗,开孔,栏杆等部件的细部处理上,注意韵律感和节奏感。注意各部分的协调一致。图形的协调;方向性的一致;过渡处的渐变等。

注意线条的运用以及视觉差的利用。用直线表现刚劲有力,坚固稳定,但应避免生硬。垂直线可造成高大,庄严的形象。水平线表现物的修长和平稳。倾斜线给人以动感和压缩感。曲线表现优美,柔和的形象和变化、流畅的特性,但若运用不当,会形成软弱,形变和不安全感。

视觉差是人们观察图形、物象时产生的错觉。有时可以利用这种错觉达到特殊的效果。它能使物体显得比实际高大;把物体“扩大”或是“缩小”;造成直线扭曲;形成物体增速感等等。这在造型和内装设计中都有成功运用的实例。

突出视觉的焦点,达到画龙点睛的作用。

阴影和色彩的作用。若处理得好会产生出奇的效果。

通过一系列的手法,最终使整个船舶的外部形态,体现力感,质量感,匀称美和魅力。

### 三、船舶内装设计

近二十年来,科学技术的飞速发展,促进新技术、新材料、新设备在船上广泛应用。另一方面,人们生活水平的提高,对船上生活条件的要求也更高。这些变化,丰富和扩大了船舶内装设计的内容。

内部设计涉及:

平面布置——按功能分隔船舶内部空间;划分舱室和确定尺度;结合活动路线和舱室分布作总体的布置设计。

各舱室的内部设计——舱室内部六面图的装饰设计。涉及家具的选型和布置,材料的选用,室内装璜,色彩等的艺术处理。

环境控制——这是按照客观物理现象,根据人们的心理和生理需要而对船舶环境提出的要求。

此外,还涉及家具设计,安全防火等问题。

下面侧重谈谈舱室内部设计中的美学问题。

#### 1. 舱室设计中的“美学原则”:

恰当而完善地体现舱室功能,服从于舱室功能。

舱室面积、空间的大小,室内家具、设备等的尺寸和位置,应与人体尺度,人体的动作和活动尺度配合、协调。

舱室的一切设施和布局的安排,应以人为中心,为人服务。应体现形式和内容的统一。

合理地处理室内空间,设施等的尺度比例关系。

室内布局匀称(规则的和不规则的),格调和谐。规整而不呆板,变化而不杂乱。在变化中求得统一。

#### 2. 内装设计内容:

室内空间的处理——包括尺度、体形、分隔、形变等的处理。

家具——包括选型、材质、色感与质感、布置等。

平面和立面修饰——指天花板、地面、四壁的装修。涉及选材、装饰造型、色调和图纹的协调等。

装璜处理——灯具、幕帘、纺织品、小五金等。

艺术修饰——装饰品选配，色调的协调，灯光配置，质感的处理，细部的点缀。

### 3. 内装设计的处理手法：

内装设计的处理手法灵活多变，没有统一的法则。加上各人的审美观不同，很难说某种处理手法绝对有效。

下面仅举例说明：

“对比”手法 狭小的空间用小巧的家具和紧凑的布局来改变空间感。

分隔空间的手法 受层高限制，大尺寸的公用厅堂显得低矮，压抑。利用半壁的隐现效果，花墙、玻璃壁面的透视效果，形成隔而不断的局面。既使各个小的空间融为一体，又减少空间压抑感。

突出视觉焦点的手法 大厅里在一个壁面上用壁画、装饰，吸引视线，形成中心，体现主题，並起渲染气氛的效果。避免每个面都设，显得平淡乏味。在需要吸引人们的大厅门外，在需要引导人们去向的地方，注重装饰也是很有效的。但在不需人们集聚的交通要道，安全通道上，不应设立视点。

错觉的利用 镜面效应使空间产生扩大感；大幅墙面壁画可以引田园风光入室。

色彩的处理 色彩可以使平庸的建筑增辉，但也会使精致的作用变得粗俗，关键是使用得当。色彩的视觉效果，可以使物体形变色变，可陶冶人们情绪等等。室内色彩处理应考虑舱室功能需要（如文娱室鲜艳热烈，阅览室应淡雅宁静）；应根据突出或引退需要；应考虑民族习惯，人们爱好等等。更重要的是，一个房间同时用色宜少不宜多，否则变得眼花缭乱。

质感 室内各物件选用材质要适当。全不锈钢面料的家具和瓷砖面料安排在住房中就显得冷如冰窖。而它们放到厨房内则显得清洁有序。

总之，舱室设计应时时想到“以人中心”这一条。

## §14-7 设计中应注意的几个问题

总布置设计，是整个设计中极为重要的一个环节，对船的使用效能、航行性能及经济效益等都有很大影响，也是全面开展设计工作的主要依据之一。为搞好总布置设计，除了应掌握前几节所述的内容外，还应在设计中注意以下几个问题。

### 一、遵循正确的设计原则

前已提及，对新船的基本要求可以归纳为安全、适用、经济、美观等几个方面，总布置设计应遵循的指导原则就是使新船能更好地符合上述基本要求。对于不同类型的船舶，因其用途及航行条件等不同，总布置设计中考虑问题的侧重点也有所不同。

货船——合理利用舱容，提高运输能力与装卸效率，确保运输质量。包括机舱部位与长度的合理选择，以便增加装货的容积；注意合理分舱，並与起货设备相协调配合，使装卸时间

缩短,且各舱基本上能同时装卸完毕;货舱口开大一些,并选择合适的货舱、双底及顶边舱等型式,以减少装货死角及清舱时间,等等。当然,保证船的安全性是应加以注意的前提条件。

客船——在保证船的安全的前提下,使旅客安全、舒适、方便。包括对上层建筑及船主体部分进行仔细划分,应把旅客居住舱室与公共处所的布置放在第一位考虑,在满足稳性、抗沉性、防火等前提下,尽量为旅客创造安全、舒适、方便的环境。安全包括船的客舱区域划分符合防火要求,救生设备、栏杆、梯道(斜梯)等符合规范规定,以及旅客登救生艇方便,全船交通上下左右畅通,人流易于疏散等等。舒适包括旅客与船员分区布置,旅客应占有船上最好的布置地位,旅客舱室面积标准及家具配置等应符合相应的客舱等级,公共的娱乐、生活场所齐全,旅客居住与生活处所的内部装饰、色彩、灯光、通风等实用且富有艺术感,旅客住舱远离机舱(距船首尾也宜不过近),使振动、噪音都较小,同时船在波浪中的运动缓和等等。方便则包括上下客迅速,内外通道设置合理,公共处所(如餐厅、小卖部、厕所等)容易到达等等。

拖船——以安全性为重点,考虑拖曳设备的布置与上层建筑的型式。

渔船——在保证安全及耐波性的条件下,以满足捕捞作业所需的甲板面积及船舱来考虑其布置。

对于各种类型的船舶,应注意到船员长期工作、生活在船上,在可能的情况下,努力改善其工作与生活条件也是总布置设计中不可忽视的一个重要方面。

总布置设计还应顾及到船的性能、结构、工艺、外部造型等各方面,以使新船能更好地达到安全、适用、经济、美观的要求。

## 二、与各方面协调配合

总布置设计是关系全局的设计项目,涉及面广。在船舶设计中,船体、轮机、电气三个专业都要以总布置图为基础去开展下一步的工作;而在船体方面,总布置图的设计又与总体性能、结构、设备、舾装等都有密切关系。可以说,成功的总布置设计的实现,一方面取决于负责总布置的设计者的创造性劳动,另一方面离不开各专业、各方面的支持与配合。总布置图往往是各方面矛盾的集中处所。进行总布置设计时,应特别注意与各方面的协调配合。

总布置与结构、强度方面应协调一致,使两者可能发生的不利影响最小。船的基本结构图通常是根据总布置草图来进行设计的,显然,起支承作用的舱壁应设在需要分舱的地方;上一层的支柱应落在舱壁线上或不在开阔的公共场所如餐厅、休息室等舱室的中央;大型结构纵材、横梁和肋骨不应伸到舱里以损害舱容的有效容积等。同时,又不能要求结构设计迁就总布置,而使结构变成无效的,也不能把结构设计得过重。有时,要求结构服从某种预定的总布置,可能会产生应力集中,破坏结构的连续性,对强度不利,且有可能容易发生振动。因此,总布置设计中应充分考虑结构特点并随时进行协调,最后的总布置图应是与船体结构密切协调一致的产物。

总布置与船体型线关系密切,型线设计应保证总布置提出的甲板面积(特别是首尾部分)的需要等,但总布置设计也应顾及到船体型线的光顺协调及可能性;并为达到适宜的浮态,在载重量沿船长的分布上应妥善设计。显然,两方面的设计工作应该同时着手,相互配合。

在总布置设计时,主体划分舱室时要顾及机舱布置长度与地位需要,对机舱棚尺寸、位

型、机舱通道和逃生口等要妥善安排;对机电设备有关舱室如应急发电机室、电瓶室、控制或操纵室、通风机室、管路通道、电缆线路等提供合适的位置及面积;对客船的主体与上层建筑的舱室划分及通道设置应考虑到防火主竖区(长度 $>40\text{ m}$ )、各舱室舱壁级别及梯道环围等的要求;有抗沉性要求船舶的分舱应注意到破损后浮态及稳性的要求;船的上层建筑的尺度及重心位置要顾及到船的稳性要求等等。

因为总布置是影响全局的设计项目,总布置图的任何修改(包括一道舱壁、一处开口等的变动)都将造成结构等所有涉及该部分的设计的修改。设计中,一方面应根据新船的使用要求与特点,仔细布置,画出工作图;同时对结构、轮机、电气、设备、舾装等各方面反馈回来的意见与要求,应认真分析、研究,权衡各方面的影响,确定修改方案,再动手修改总布置图。一旦经过各专业及船东会签以后的总布置图不要轻易修改,以免影响设计进度。因此,在总布置设计中,能善于综合各方面的意见,从全局上处理各方面的技术矛盾,是设计好总布置的关键之一。

### 三、满足各种规范的要求

根据船舶的航运历史及失事的经验教训,从保证船舶及人员的安全及使用要求出发,相继制定了许多规范、公约及规则。船舶总布置设计涉及面广,与许多规范都有密切关系,设计者应对有关规范的内容熟悉、理解,并在设计中加以贯彻执行。

对海上运输船舶,我国船舶检验局颁布的主要规范有:《钢质海船入级与建造规范》,《海船稳性规范》,《海船分舱和破损稳性规范》,《海船载重线规范》,《海船救生设备规范》,《海船航行设备规范》,《海船信号设备规范》,《海船无线电设备规范》,《海船起货设备规范》,《船舶吨位丈量规范》,《海船乘客定额与舱室设备规范》等。

对于内河船舶,也有相应的《长江水系钢船建造规范》等。

由于船舶的使用经验教训及科学技术的发展等情况,通常各种规范都在不断地完善、修订,使用时应选用新的版本并注意有关的修改通报。

对于出口船或国际间航行的船舶,设计中应符合要求的规范就更多,与船的航线、航区及停靠港等有关,如我国为香港联成航运公司设计建造的“27000t载重量散货船”要求符合18种规范、公约和规则。

1.1974年国际海上人命安全公约;2.1966年国际载重线公约;3.苏伊士运河当局的航行规则;4.巴拿马运河管理航行的规范和规则;5.圣劳伦斯海道规则;6.1976年(日内瓦)国际无线电通信公约(及修正案,包括监听收讯机);7.1974年美国码头工人安全与健康规则;8.1970年澳大利亚航行规则(装货和卸货——安全法令);9.美国海岸警卫队关于外国籍船的规则;10.印度及巴基斯坦码头工人规则(关于起货设备);11.海协1974年防污染规则;12.美国海岸警卫队关于防止污染和航行、卫生规则(包括燃油输送设备);13.大湖航道规范;14.1972年国际海上避碰规则;15.澳大利亚港口规则(关于起货设备);16.加拿大港口规则(关于起货设备);17.登记国政府(巴拿马)的规范和规则;18.劳氏船级社的规范和法规。

### 四、注意借鉴与创新

综上所述,总布置设计是一项实践性很强的工作,设计中必须注意分析与研究已有同类型优秀实船的总布置设计和使用情况,学习与借鉴一切成功的实践经验,同时又要善于吸取

过去设计中存在的缺点与教训,这是成功设计总布置的基本方法。

同时,总布置设计更是创造性很强的工作,一切新船型的出现,除了需要在技术上有重大突破之外,在总布置设计上常常需要有所创新。例如,象集装箱船、滚装船、载驳船、自卸船等,这些装卸效率有显著提高的船型,在总布置设计方面都各具特点并有新的创造。对于客船,随着经济的发展与人民生活水平的提高,也应有新的布置格局及特点,使其在经济、舒适、安全、方便、美观等方面不断得到发展,以适应时代的要求。

总之,借鉴与创新,对搞好新船的总布置设计有着十分重要的意义。

## 复 习 思 考 题

1. 为什么说总布置设计是船舶设计中的极为重要的环节?
2. 船主体内船舱划分要考虑哪些因素?
3. 如何确定水密舱壁的数目及位置?
4. 为什么现代大多数货船采用尾机型?
5. 不同类型船的货舱划分应如何考虑为宜?
6. 双层底有哪些作用?设计中应怎样确定双层底型式与高度?
7. 总布置时应如何考虑船主体内的甲板与平台设置?
8. 设置边舱与深舱有什么作用?通常在哪些船上采用?
9. 油、水舱柜的布置应怎样考虑?
10. 什么叫上层建筑?通常船舶的上层建筑有哪几种型式,各有什么优缺点?
11. 确定上层建筑的尺度应考虑哪些因素?
12. 如何根据不同类型船来设置上层建筑及进行内部划分?
13. 为什么说舱室及梯道的设置会影响到船的总体划分与布局?设置舱室及梯道的基本要求是什么?
14. 《沿海客货船船员及乘客舱室面积及主要家具设备标准》有什么特点?居住舱室划分成几个等级、相应的面积标准怎样?
15. 公共处所的布置包括哪些方面,应如何考虑?
16. 对船上生活舱室的布置应注意哪些问题?
17. 船上工作舱室、机(炉)舱棚等的布置应符合哪些要求?
18. 船上通道与扶梯布置应遵循哪些原则?
19. 进行总布置时,如何注意搞好舱室内部空间的设计?
20. 一般货船上配置有哪些主要设备?总布置设计中应如何考虑合理安排与布置?
21. 何谓纵倾调整?通常对船的合适浮态要求表现在哪些方面?
22. 载重型船舶校核浮态的步骤是怎样的?初始设计阶段如何估算船的首、尾吃水值?
23. 调整货船满载状态的纵倾的方法有哪几种?各适用于什么情况?
24. 船舶其他装载情况下的浮态如何校核与调整?
25. 什么是船舶工程美学?在船的外部造型及内装设计中如何运用?
26. 为搞好船舶总布置设计,应注意哪些问题?



# 第十五章 船舶主要要素的确定

前已述及, 船舶主要要素中的船长  $L$ 、型宽  $B$ 、吃水  $T$ 、型深  $D$  以及方形系数  $C_b$  等基本参数, 既决定着船的排水量  $\Delta$  的大小, 又影响着船的技术经济性能, 是船舶设计中应首先解决的最重要工作之一。本章在前十四章的基础上作归纳分析, 并举例介绍多用途货船、客船和拖船选择与确定主要要素的过程, 最后就影响设计结果的因素作简要分析。

## §15-1 各主要要素的综合分析

### 一、船长 $L$

船长  $L$  是表征船舶大小的最主要的因素之一, 所联系的面非常广泛。

①浮力。 $L$  的增减, 对排水量  $\Delta = \rho k L B T C_b$  的影响很大。当船的各部分重量之和大于  $\Delta$  时, 可以通过加大  $L$  来解决重量与浮力的平衡问题, 但影响的面较广。

②航速。 $L$  对船舶阻力有较大影响, 在不同的傅氏数  $F_n$  下,  $R_t$  及  $R_v$  占总阻力的百分数是变化的。对  $F_n > 0.30 \sim 0.40$  的中高速船舶, 加大船长有利于减少阻力。而对  $F_n < 0.25 \sim 0.30$  的低速船舶, 要特别注意不使阻力激烈增加而经济上有利的经济船长  $L_e$  的概念。

③总布置。包括舱容与甲板面积两个方面,  $L$  选小了, 布置不下;  $L$  太大又不紧凑。这里也存在一个满足容积及甲板面积要求的适度  $L$ 。

④经济性。这里主要是指船体重量等变化引起的船造价的增减。增加  $L$  将导致船体钢料  $W_s$  等重量有较大增加, 如要保持船有相同的载重量, 则船的排水量  $\Delta$  将加大。造价及相应的费用增加。同时,  $L$  的大小又将使船的快速性能不同, 会影响到船的营运成本。

⑤耐波性。 $L$  与船舶耐波性关系很大, 当船的  $\Delta$  一定时, 采用较大的船长, 对改善耐波性有利, 如可减小纵摇与砰击, 减小甲板浸水及在波浪中维持较高的航速等等。特别是对中型高速船舶是这样。

⑥抗沉性。增加船长  $L$  对改善抗沉性有利, 包括可浸长度增加和海损时稳性损失相对下降。

⑦操纵性。加大  $L$  将使船舶全速回转时的直径加大, 且使船在曲折和狭窄的航道中航行增加困难, 但有利于保持航向稳定性。

⑧限制因素。选择船长时应考虑到港口、航道、船台、船坞等的限制条件。

在上述的诸因素中, 有不少往往是相互矛盾的, 如航速与经济性; 耐波性与经济性; 操纵性与快速性等等。设计者的责任就是从技术与经济两个方面权衡考虑以选择适宜的船长  $L$ 。

对于不同类型的船舶, 由于其使用任务及特点的不同, 选择船长所应考虑的重点也有所不同, 如(在  $L$  不受限制的条件下): 载重型船主要考虑浮力、航速; 容积型船为舱容及甲板面积、航速; 港作拖轮为操纵性; 海洋客船、救助拖船、舰艇则是航速和耐波性。对于国际航线的船舶, 取短的船长有利于降低有关的营运开支。

## 二、型宽 $B$

选择 $B$ 时应考虑的因素有:

①浮力。 $B$ 是构成船的浮力的因素之一。

②稳性。 $B$ 对初稳性的影响很大。增加 $B$ 会引起初稳心高 $\overline{GM}$ 的迅速提高,在排水量 $\Delta$ 基本不变时,用减少吃水 $T$ 的办法以增加 $B$ ,比用减少 $L$ 的办法来增加 $B$ 效果更好。 $B$ 的大小要适中,即在保证 $\overline{GM}$ 值符合安全与使用要求的情况下,应兼顾到船的横摇缓和。

③总布置。 $B$ 的大小与布置有关,如客船的床位、座位数、集装箱船的集装箱列数等,特别是中小型双桨船的机舱布置等与 $B$ 的关系较大,要引起注意。

④快速性。在 $\Delta$ 和 $L$ 基本不变的情况下,如结合减小方形系数 $C_b$ 以增加 $B$ ,一般对阻力是有利的,特别是对中高速船舶,且其 $C_b$ 偏大的情况更是这样。如果是用减小 $T$ 来增加 $B$ ,对阻力一般影响不大,但对推进不利。

⑤耐波性。通常认为增加 $B$ 对改善船的纵摇与升沉是有利的,但若导致 $\overline{GM}$ 过大,将使船的横摇固有周期 $T_x$ 减小,船在波浪中的横摇加剧。

⑥造价。如果从船体结构重量角度考虑,减少 $L$ 以增加 $B$ 是有利的。

⑦限制因素。 $B$ 的大小还受到河道、闸门、船坞等宽度的限制。

通常,选择与确定 $B$ 时,在不受限制因素约束的情况下,从技术与使用角度考虑的基本因素是浮力、布置地位和初稳性。最小船宽 $B$ 常由初稳性的下限条件和布置地位要求决定,尤其是小型船舶及容积型船舶更是这样。

从技术-经济的综合角度,因为 $B$ 对船体钢料重量等的影响低于 $L$ ,所以,从保证浮力、布置和降低造价角度,以减少 $L$ 加大 $B$ 较为有利。但这也有一定的限度(可行范围)。如 $B$ 过大会使 $\overline{GM}$ 也过大,横摇激烈,且 $B$ 过大, $L$ 过小,也会使快速性变差,包括风浪中的阻力增大。因此,选择 $B$ 时应结合 $L$ 的选择综合考虑。又如增大 $B$ 以减小 $C_b$ ,对增加初稳性更为显著,但这在重量及造价上不利,而对快速性有利,尤其是原来的 $C_b$ 对于 $F_n$ 的配合偏大时是这样。总之, $B$ 的选择也应从技术-经济的综合效果上进行考虑。

在吃水受限制的情况下,常不得不采用较大的船宽。当 $B/T > 4.0$ 后,则应特别注意处理纵摇、横摇、推进效率等方面的问题。

## 三、吃水 $T$

选择与确定 $T$ 应考虑的因素有:

①浮力。 $T$ 是构成船的浮力的因素之一。如果 $T$ 不受限制,加大 $T$ 以增加 $\Delta$ ,是比较有利和合理的措施。

②造价。在排水量 $\Delta$ 基本不变时,增加 $T$ 以减小 $L$ 或减小 $B$ ,都会使船体钢料重量等减轻,其中尤以减小 $L$ 的效果更为显著,对降低造价有好处。

③快速性。在 $\Delta$ 一定时,保持 $L$ 、 $B$ 不变,增加 $T$ 以减小 $C_b$ ,将使剩余阻力有所降低,且对增大螺旋桨直径,提高推进效率有利,对耐波性也有好处。

④稳性。增加 $T$ 而减小 $B$ 将使船的初稳性下降。

⑤操纵性。如果靠减小 $L$ 来增加 $T$ ,对船舶的回转性和航向稳定性都是有利的。

⑥限制因素。航道、港口的水深是限制船吃水的主要因素。

通常,选择吃水 $T$ 是从保证浮力及螺旋桨有适宜的直径两方面考虑。在船的吃水不受限制时,在不影响 $L$ 、 $B$ 符合其他技术、经济性能及使用要求的情况下,选取尽可能大的 $T$ 是有利的。而当吃水受限制时,通常也将设计吃水取得接近于或等于限制值,以便在快速性、造价等方面取得较好的效果。

#### 四、方形系数 $C_b$

选择与确定 $C_b$ 时应考虑的因素有:

①浮力。 $C_b$ 也是构成船的浮力的因素之一。

②快速性。加大 $C_b$ 以减小构成 $\Delta$ 的其他要素,将使船体摩擦阻力减小,剩余阻力增加。高速舰船减小 $C_b$ 通常对改善阻力性能有利,特别是减小 $C_b$ 以加大 $L$ 更为显著。中低速船舶因其摩擦阻力 $R_f$ 占总阻力比例相对较大,减小 $C_b$ 对阻力的影响不太突出。当 $F_n$ 已定时,有与其相配合的 $C_b$ 值,以保证船的快速性及经济性。

③造价。从减小船体重量以降低造价的观点看, $C_b$ 值取大一些有利。

④耐波性。减小 $C_b$ 对改善船在波浪中的纵摇和垂荡运动是有利的;尤其是同时加大 $L$ 的效果更为显著。

⑤总布置。从保证布置地位的观点看,大的 $C_b$ 有利于货船舱容的合理利用,同时如果 $C_b$ 取得过小,船体尖瘦,首尾两端的舱室,特别是尾机舱布置发生困难;对双桨船还可能导致轴出口过前。

选择方形系数 $C_b$ 主要根据浮力、快速性两个基本条件,再结合布置地位(舱容和舱内地位的合理利用)、经济性等因素来综合考虑。

载重型船舶为保证浮力的需要,且为减少 $L$ 和 $B$ ,常取与 $F_n$ 配合上不引起阻力显著增加的 $C_b$ 值,即所谓“经济方形系数 $C_{be}$ ”,这也有利于货舱装卸货及机舱布置。但注意 $C_b$ 值过大,对耐波性不利。所以中小型海船不宜取过大的 $C_b$ 值,如 $C_b \geq 0.75$ ;而大型船舶则不受此约束。

容积型船舶的 $C_b$ 值,因 $L$ 和 $B$ 往往为舱容及甲板面积要求所决定,故通常根据重量对浮力的要求,并结合 $F_n$ 与 $C_b$ 的适宜配合、螺旋桨直径对吃水的要求、舱内布置等因素,与吃水 $T$ 相互调节、综合考虑加以确定。

#### 五、型深 $D$

型深 $D$ 的影响是与干舷 $F$ 联系在一起的,当吃水 $T$ 一定时, $D$ 大者 $F$ 就大,所以在某种意义上讲,两者的影响是一致的。选择 $D$ (或干舷 $F$ )应考虑的因素有:

①容积。型深 $D$ 与舱容等要求的关系极大,包括货舱容积、船主体内的甲板分层和双层底高度等。对小型船舶, $D$ 的选择更受机舱高度要求的影响。

②抗沉性。 $F$ 加大,浮力储备增加,对抗沉性有利。

③稳性。 $F$ 增加,通常将使船的大倾角稳性提高;但由于 $D$ 的增加将导致船的重心升高,使初稳性值下降。

④耐波性。 $F$ 增加,对改善耐波性有利,特别是减少甲板上浪,保持甲板干燥等有重要意义。

⑤造价。从船体重量角度,加大 $D$ 有利于提高船体的总纵强度和刚度,对于大型船舶船

体重量一般不会由此而增加,有时甚至有所下降。小型船舶的船体重量将随 $D$ 的加大而增加。

⑥限制因素。内河船舶的型深 $D$ 与上层建筑的总高度要考虑过桥等因素的影响。

对一般的海船和水上高度不受限制的内河船,其型深的选择可分以下几种情况加以考虑:

对于载重型船舶,积载因数 $C$ 小的重货船的 $D$ 按《载重线规范》要求的最小干舷来决定,即 $D \approx T + F_{\min}$ ;而积载因数 $C$ 大的轻货船(如 $C > 1.4 \text{ m}^3/\text{t}$ ), $D$ 按舱容要求决定。从增加舱容的角度,以增加型深 $D$ 最为有利,因为它对船体重量的影响最小且基本上不影响快速性,而对抗风能力、抗沉性等有利。

对于容积型船舶,选择 $D$ 主要取决于上甲板以下各层甲板间高度及舱室高度的要求。

对于小型船舶,选择 $D$ 既要注意它对重心高度及风压倾侧力矩的不利影响;同时又需注意使船有适当的干舷值,以免静稳性曲线的极大点及消失角不符合要求,甲板入水角过小,从而影响船的抗风能力。干舷对海洋小型船舶的安全性十分重要,故宜适当取大些,并可考虑用固定压载以降低船的重心。

对有抗沉性要求的船舶(如客船),确定 $D$ 要注意有足够的干舷值,以免可浸长度过短,不利于分舱。

对于大型船舶(尤其是载重型船),选择 $D$ 要注意总纵强度的要求, $L_{pp}/D$ 值不宜过大。

表15-1按各要素与各项因素的联系的严重程度,用“主要”、“重要”、“有关”、“—”(即“无关”)进行归纳,使之更为清晰、简洁。

表15-1 船舶主尺度及船型系数的联系方面综合表

联系方面 尺度及系数	航 道 尺 度	码 头 尺 度	船台及船 坞的尺度	总布置 要 求	浮力 快 速 性	稳性及 横 摇	纵摇短 荡及失 速	抗 沉 性	最小干 舷规定	重量 及 造 价	操 纵 性	强 度	国际航行 税收及服 务 费	
$L$	有关	重要	大型船舶重要	主要	主要重要	—	重要	重要	主要	主要	主要	大型船舶主要	重要	
$B$	有关	—	大型船舶重要	主要	主要有关	主要	有关	重要	—	重要	有关	大型船舶重要	有关	
$D$	有关	—	—	主要或重要	—	—	重要	—	主要	主要	有关	—	大型船舶重要	有关
$T$	主要	重要	—	—	主要重要	有关	有关	有关	有关	—	有关	有关	有关	有关
$C_b$	有关 (较次要)	—	—	有关	主要主要	有关	重要	有关	有关	有关	有关	—	—	有关
$C_{wp}$	—	—	—	有关	—	有关	重要	重要	重要	—	—	—	—	—
$L/B$ 或 $L/\Delta^{1/3}$	有关	—	—	—	—	有关	—	有关	—	—	有关	有关	—	—
$B/T$	有关	—	—	—	—	有关	主要	有关	重要	—	有关	有关	—	—
$B/D$	有关	—	—	—	—	—	重要	—	—	—	—	—	重要	—
$D/T$	有关	—	—	—	—	—	—	—	主要	重要	—	有关	有关	—
$L/D$	有关	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	大型船舶重要	—	—

## §15-2 确定主要要素的步骤

在船舶设计开始阶段,接到任务书后,首先应对任务书进行分析,並开展一系列的调查研究,形成总体设想,然后着手选择与确定船的主要要素。下面分别加以介绍。

### 一、总体设想

所谓总体设想是对新设计船的总体概念及下一步开展设计工作的初步设想。

#### 1. 任务书分析

对设计任务书进行仔细分析,搞清新船的设计任务特点,任务书各项要求的合理程度,找出设计船的主要矛盾,明确设计指导思想等等,是开始设计时最重要的准备工作。

#### 2. 调查研究

向港、航、船及船舶设计有关的部门和人员进行调查。收集国内外同型船舶的有关资料及论著,並加以消化吸收,选取合适的型船等等。这项工作十分重要,不仅在设计之初要着重进行,而且应贯彻于设计的始终。

#### 3. 总体设想

在分析任务和调查研究的基础上,对新设计的船要逐步形成一个总体的概念,並对下一步的工作提出初步的设想。总体设想的内容大体有以下几个方面:新船各主要要素可能的范围及船体型线的大体特征;对总布置格局,包括上层建筑型式、机舱位置、货舱划分、结构型式等有一个初步的设想;初步考虑新船的主要技术装备,包括主辅机型式、台数;起货设备的选择;救生设备的配置;通风空调的方式;选用特殊设备(如减摇鳍、侧向推进器等)的可能性,等等。

这样,对新设计船在全局上有了一个初步的设想,为开展下一步的设计工作及与其他专业(如机、电、舾装)方面工作的协调与配合,做到了心中大体有数。因此,有一个初步的总体设想是开始设计阶段必不可少的、重要的环节。

### 二、确定主要要素的一般步骤

这里的主要要素是指船的排水量 $\Delta$ 、主尺度 $L$ 、 $B$ 、 $T$ 、 $D$ 及方形系数 $C_b$ 等。

在分析任务书、调查研究、逐步形成初步的总体设想之后,具体的设计工作,常常先从船的排水量和主尺度的确定开始的。因为 $\Delta$ 和主尺度同使用要求、各种技术性能及经济指标等都有密切联系,而且后续的绘图、计算等设计工作也只有在确定好 $\Delta$ 和主尺度的基础上进行。因此,选择与确定新船 $\Delta$ 和主尺度往往是船舶设计中第一步要做的工作。

船舶设计有三大特点:一是设计中对问题的综合分析、权衡处理;二是设计过程的逐步近似;三是设计方法的灵活多样,设计结果的多样化。确定新船主要要素的过程与方法也具有上述的特点。从方法上看,通常有两种,即一为“从个别扩充寻优”,二是“从一般收缩选优”。下面分别加以说明。

#### 1. “从个别扩充寻优”

通常的方法步骤是(以载重型船舶为例说明):

##### ①粗估 $\Delta$ 。

方法可以有很多, 如

a. 新船的  $\Delta = DW/\eta_{\text{a. 船}}$

b. 假定  $W_b = C_b \Delta$ ,  $W_f = C_f \Delta^{\frac{2}{3}}$ ,  $W_m = C_m \Delta^{\frac{2}{3}}$ ,

有  $\Delta = C_b \Delta + C_f \Delta^{\frac{2}{3}} + C_m \Delta^{\frac{2}{3}} + DW$ ,

且令  $X = \Delta^{\frac{1}{3}}$ ,

则可以得到  $X$  的一元三次方程, 解方程可得新船的  $\Delta$ 。

②选取各主要尺度和系数的第一次近似值。

船的  $\Delta$  初定后, 估算确定主尺度的方法也有很多, 且相当灵活, 如:

a. 按第六章所讲的各种近似方法选取与估算  $L$ 、 $B$ 、 $T$ 、 $C_b$ 、 $D$  等值。

b. 比例于型船法, 如新船与型船相近时, 可以有:

$$L_{\text{pp}} = L_{\text{pp0}} \left( \frac{\Delta}{\Delta_0} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad B = B_0 \left( \frac{\Delta}{\Delta_0} \right)^{\frac{1}{3}},$$

$$T = T_0 \left( \frac{\Delta}{\Delta_0} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad C_b = C_{b0}.$$

c. 根据对各种因素的考虑, 参考型船或统计值, 选取  $L/B$ 、 $B/T$ 、 $D/T$  或  $D/B$  等尺度比, 並先确定一方形系数  $C_b$  值, 则可按下列式子估算各主尺度:

$$L_{\text{pp}} = \Delta^{\frac{1}{3}} (WK_{\Delta})^{-\frac{1}{3}} (L/B)^{\frac{2}{3}} (B/T)^{\frac{1}{3}} C_b^{-\frac{1}{3}},$$

$$B = L_{\text{pp}} / (L/B),$$

$$T = B / (B/T),$$

$$D = T \cdot (D/T).$$

d. 其他方法。如船的  $B$ 、 $T$  根据限制条件已定, 则根据浮力方程式可求得  $L \cdot C_b$  等于某一数值。然后可先定  $C_b$  再求  $L$ , 或者先定  $L$  再求  $C_b$ 。

③从各方面对主尺度进行第一次校核。

如浮力与重量的平衡, 舱容, 航速, 初稳性, 干舷, 经济性分析等等。值得注意的是校核项目的顺序与情况可以有所不同, 应注意选取合适的近似估算公式, 参考相近的型船, 並比较新船与型船的差别, 进行修改。

④调整主尺度。

通常, 根据已确定的第一次近似的主尺度, 估算得到的新船各项性能及经济指标, 往往有一项甚至几项指标不能满足需要, 这是很自然的事。值得提出的是, 不要估算一项发现不满足, 立即就调整主尺度。如在估算出各技术性能以后, 发现稳性正好满足, 舱容又不够, 这在增加型深  $D$  的同时, 应该使型宽  $B$  也适当加大, 以保证稳性不致因重心升高而下降。总之, 要掌握各主尺度与各性能之综合联系, 不要片面、孤立地看问题。

通过几次调整, 就可以得到一组对各项性能都能满足的主要尺度。

⑤变方案估算。

在选定的主尺度附近设立若干方案, 如  $L$ 、 $C_b$ 、 $B$ 、 $T$  或  $D$  各若干个, 算出各个组合方案的各项性能, 最后选取比较优良的方案。

这种方法的好处是工作量相对较少, 实用价值大, 结果比较可靠。

2. “从一般收缩选优”

这一方法的思路是先设立许多方案，撒大网，然后再计算所有方案的技术性能及经济指标，以得出可行域，找出优秀的方案具体步骤是：

- ①在一定范围内设立较多的方案组合(主要要素)；
- ②计算每个方案的各项性能；
- ③比较分析，确定选择各方面较优的方案。

这种方法的工作量的大小根据方案的多少而定。如选取的范围广、方案多，则由于工作量太大，往往是手工难以完成的，需要借助于电子计算机。这一方法的优点是可以清楚地反映出各组主尺度与各种性能指标之间的内在联系，也就是能看出变化规律性，便于设计者下决心，择优选取方案。

目前，国内已开发有几类船舶(如货船、油船、集装箱船、多用途船等)确定主要要素的计算机程序系统，使方案选取更为快速、合理与准确。

### 三、确定新船主要要素过程的几个框图

图15-1和图15-2用框图形式表示确定新船主要要素的基本步骤。图15-1为“从个别扩充寻优”的举例，图15-2为“从一般收缩选优”的举例。上述框图仅从一般意义上说明确定主要要素的过程，在实际工作中应根据船舶的类型等确定具体流程。

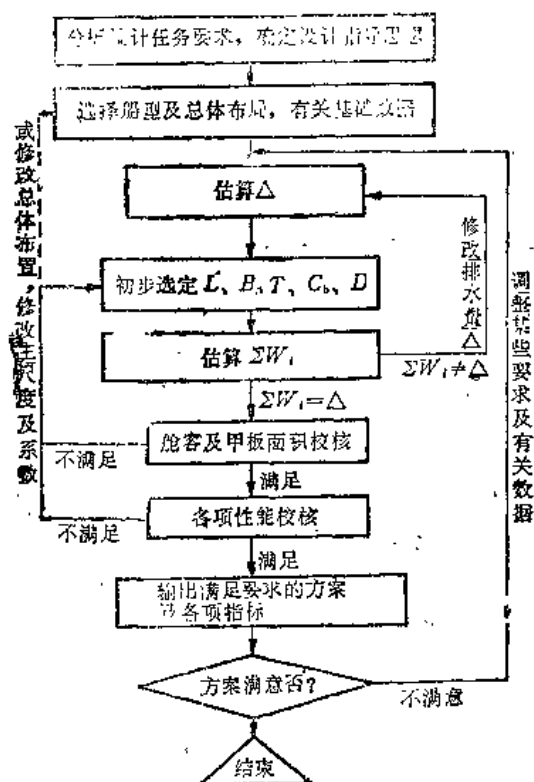


图15-1 确定新船主要要素的基本步骤之一

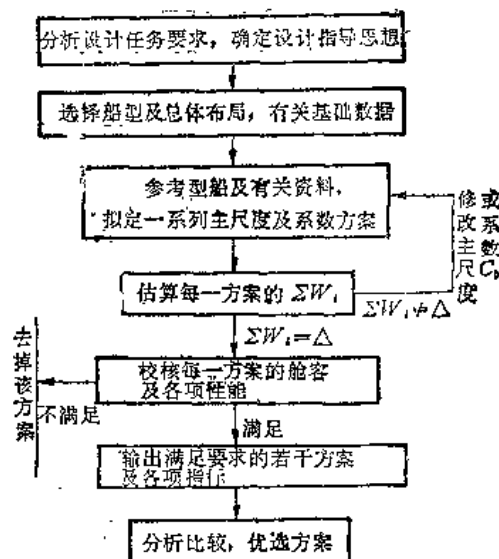


图15-2 确定新船主要要素的基本步骤之二

### §15-3 多用途货船主要要素的确定

多用途杂货船的设计涉及的因素较多，具有典型性，所以选择作为载重型船确定排水量与主尺度的实例。在例子中作了一些简化与假定，目的在于说明问题。

## 一、多用途船设计的主要特点

多用途杂货船是六十年代后期发展起来的一种新船型，其原因在于货源组成上的变化，大宗散货(矿砂、煤、谷物等)的运输已为大型化的专用或多用途散装货船所担负。杂货运输也有集装箱化的趋势。在不少航线上原来承运杂货的一般杂货船已为更经济的专用集装箱船所取代。因此，为使一般杂货船更适应新情况下的运输要求，提高其营运效率，就需发展一种既能装各种杂货，也能装载集装箱，同时也便于装载批量不大的谷物、矿砂等散货的新船型，即多用途杂货船。至于各种用途中，以何者为重点，则视预定的航区的具体情况(主要是货源和装运方式)而定。下面，对这型船舶设计上的一些主要问题作扼要说明。

①起货设备。考虑它不是以停靠专用集装箱船码头为主，起货设备应根据装卸集装箱的要求，在个别舱或全部舱设置20t以上起货能力的起货设备(包括用两部吊车联吊)以适应重箱，有的舱则设置低于20t的起货设备。但现在有些船则是全部都设25t吊车的。

②货舱口的长与宽。货舱长度及船深应适应集装箱装载的要求。例如在表15-2中，载重量20000t左右的多用途船的船宽多在22m以上，以便船中部能装下6列 $2.438 \times 2.438 \times 6.058$ m( $8 \times 8 \times 20$ 英尺)标准箱，且使船能满足稳性和强度要求；型深多在13.2m以上(依舱口围板高度而变)，以便舱内能容下五层标准箱。舱长则按集装箱行数所需的舱口长度再加上起货设备和堆放舱口盖所需的长度来决定。甲板上一般堆放二层集装箱。

国际标准化组织(ISO)对国际海运所推荐的标准箱中最常用的是 $8 \times 8 \times 20$ 英尺及 $8 \times 8 \times 40$ 英尺的集装箱，其内部容积分别为31.7及60.5 $\text{m}^3$ ，限定最大总重分别为20.23及30.48t。此外高度为 $8\frac{1}{2}$ 英尺及9英尺的箱近年来发展较快。

表15-2为国际标准化组织(ISO)对国际海运所推荐的部分标准箱的外部尺度及重量。

表15-2 部分标准箱的外部尺度、容积与重量

箱 型	高(mm)		宽(mm)		长(mm)		最小内部容积 ( $\text{m}^3$ )	限定最大总重 (kg)
	尺 度	公差	尺 度	公差	尺 度	公差		
1AA	2591 (8'6")	0 -5	2438 (8')	0 -5	12192 (40')	0 -10	64.8	30480
1A	2438 (8')	0 -5	2438 (8')	0 -5	12192 (40')	0 -10	60.5	30480
1CC	2591 (8'6")	0 -5	2438 (8')	0 -5	6058 (20')	0 -6	31.7	20320
1C	2438 (8')	0 -5	2438 (8')	0 -5	6058 (20')	0 -6	29.6	20320

③建筑特征。为充分利用船体中部的方整地位，便利装货，一般采用尾机型或中尾机型，为便于装载杂货，一般设一层中间甲板。以往还常以第二甲板作为装载轻货和集装箱时的干舷甲板和量吨甲板，以减小船舶的登记吨位，节省吨位费。考虑到装载谷物时规范对稳性的要求，为限制舱内谷物的自由表面宽度，一般设双排货舱口，并利用第二甲板舱盖竖起后在船中线处构成止移板，或在甲板间设中纵舱壁，图15-3为前一种型式的示意图，图中也



给出了装集装箱和一般散、杂货时的装载方式。现都将第二甲板舱盖堆于舱口端而将舱内集装箱直接叠堆，这样可降低型深。

④注意各典型使用情况，包括装载重货时、装集装箱时及谷物时的性能，尤其是稳性。根据航线货运的具体特点，在满足基本性能要求下，抓住重点统筹兼顾。对有的航线，也可适当加强船体结构，使船能以最小干舷吃水航行，以增加载运重货的能力，这样对营运经济性有利。考虑到各种使用情况的稳性和浮态要求，设计中应保证一定数量的压载舱，并合理地加以分布。

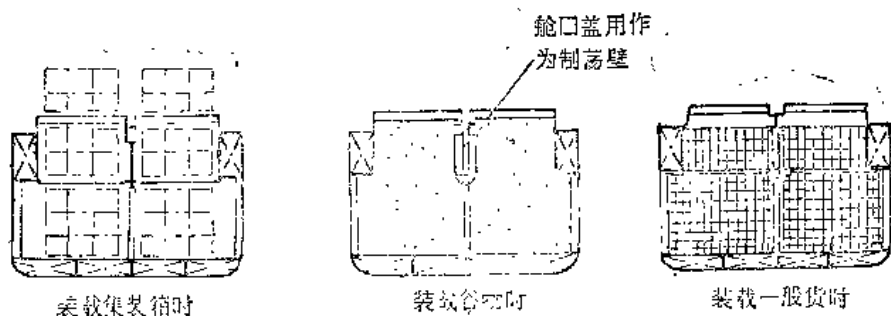


图15-3 双排货舱口

⑤考虑到舱口较宽以及装重货等要求，应注意船体总纵强度、扭转强度、内底及其它部位的局部加强(注意规范规定)。

## 二、17500t载重量多用途船排水量与主尺度的确定

### 1. 任务要求的简要分析

17500t载重量多用途船的设计任务书已列在表3-1中，现对任务要求作如下分析，

国内杂货船(万吨级“风”字、“阳”字号)、散货船(25000t“州”字号)的设计建造已有一定的经验，但集装箱的装载是个新问题。国际航行，设备是个大问题。目前有的国内产品尚不能满足要求。对有关国际规范与标准要充分的熟悉、了解。

### 2. 收集资料与调查研究

①搜集同类型的船的各种资料，了解多用途船的发展与现状及其优缺点等。表15-2列举了一些国内外货船及多用途船的主要要素。收集这方面资料的目的是：研究发展趋势，了解最新多用途船的设计观点与设计思想，以及采用新技术、新设备、新材料等的情况。研究使用特点，对这类船的优缺点要进行细致的分析归纳。对收集到的资料要进行分析、研究，确定其可靠性程度。

②调查货源、航线、港口、码头要求等等，最好深入有关航线及实船了解情况，掌握第一手资料。

③确定设计思想，主要是抓住多用途的特点，很好考虑集装箱的装卸，並要考虑散货，大部件货的装运等。

### 3. 船型设想及尺度范围

#### ①关于船型设想。

采用尾机型。机舱长度根据机舱布置的要求并同其它船比较后，取其长为24m左右。

设二层甲板。第二甲板为平甲板，上甲板从第一货舱开始有直线斜升脊弧，首垂线处脊弧高为1.1m，其余部分为平脊弧。

设四个货舱。船中间两舱(第二、第三货舱)为长舱,放置四行集装箱。两端的两舱(第一、第四货舱)为短舱,放置两行集装箱。

设长短货舱便于在长舱中装运长件货,而短舱则在装载谷物及矿砂时易于配载。

为了提高装卸效率,减少劳动强度,本船采用大开口舱口,在第一货舱设一列舱口,在第二、第三、第四货舱设二列舱口,各舱的舱口宽度相等,以便于舱口盖规格化。

在双列舱口的甲板间设置一道纵舱壁,以增加船之总纵强度。此外,在装运散货时还可兼作止移板用。

表15-3 国内外一些多用途船及杂货船

序号	船名	船型	$L_{oa}$ (m)	$L_{pp}$ (m)	$B$ (m)	$D$ (m)	$T$ (m)	$DW/\Delta$ (t)	容积 ( $m^3$ )	速度 (kn)	主机功率 (HP)
1	WILRI	多用途	154.00	145.00	22.86	13.20	10.03	$\frac{16997}{24319}$	23696	16.6	11400
2	若重丸	多用途	158.00	148.00	23.00	13.00	9.63	18195	27046	15.5	8250
3	CROWN CHERRY	多用途	154.00	145.00	22.86	13.50	9.928	$\frac{19425}{25992}$	26477	15.5	11400
4	APOLLO PEAX	货	161.00	153.00	23.70	13.85	10.313	$\frac{20181}{26792}$	27073	17.1(?)	11500
5	VALERIA	多用途	167.80	155.00	22.86	13.85	10.20	20523	26519	16.88	12800
6	VAN DYCK	多用途	164.10	153.12	25.80	13.70	9.999	20632	31593	17.2	14400
7	伊培利丸	多用途	161.00	150.00	25.00	13.30	9.624	$\frac{20700}{27456}$	27120	15.7	11400
8	15000吨级货船	多用途	149.70	140.0	21.80	12.5	9.0	$\frac{14913}{20800}$	22322	15.71	8460
9	15000吨级经济 货船	干货	149.90	140.0	21.2	12.3	9.0	$\frac{15572}{20384}$	23026	14.45	7590
10	海建号	多用途	164.30	154.00	22.86	13.2	9.28	17558	26575	16.1	11200

为改善船的强度以及压载航行时的横摇性能,在第二、第三、第四货舱范围内,上甲板到第二甲板间设置舷边顶舱。

在第二、第三、第四货舱范围内,将双层底分成四列,近中心线两列双层底舱作油舱用,两个边舱作为压载舱使用。

为了确保装运集装箱时的稳性,在底舱中还增设局部边舱。同时从耐波性考虑,为减少船在波浪中的失速与拍击,以及考虑到航速已能达到,为了简化建造工艺等因素,本船不设球首。

总布置格局(侧面)如图15-7所示。

②主尺度及系数范围。

根据统计资料,这类船的尺度比范围及 $C_b$ 大致为:

$$L/B = 6.2 \sim 7.0,$$

$$B/T = 2.2 \sim 2.5,$$

$$C_b = 0.72 \sim 0.78。$$

然后考虑选定若干方案，以确定主要要素，如  $L/B$  取5个， $B/T$  取4个， $C_b$  取3个，等等。下面用“从个别扩充寻优”的方法选择确定  $\Delta$  与主尺度。

#### 4. 初估排水量 $\Delta$

首先，用载重量系数法初估  $\Delta$ ：

$$\Delta = \frac{DW}{\eta_{dw}}$$

$DW$  为 17000 ~ 20000t 范围内的船载重量系数  $\eta_{dw}$  大多在 0.70 ~ 0.75 之间，如初步选取  $\eta_{dw} = 0.73$ ，则

$$\Delta = \frac{17500}{0.73} = 24000t。$$

$\eta_{dw}$  值的选取，最好是在分析设计船与型船之间的特点与区别后再确定。当然，在初步选取时，也不必过分追求  $\eta_{dw}$  的确切性，因为下一步设计中还有反复逐步近似的步骤，可使其达到要求之值。

#### 5. 初估主尺度

初步选择主尺度的方法可以有多种，下面举例介绍一种方法。本船先从船宽、吃水着手，主要是考虑装载集装箱、进港与过运河等的条件。

##### ① 船宽 $B$ 、吃水 $T$ 的选取。

本船的  $DW = 17500t$ ，初定  $\Delta \approx 24000t$ ，船东要求该船能进世界上各个主要港口、能航行于各主要海域。为此，先要了解世界上几个主要航道对新船主尺度的限制情况，如表15-4所列。

表15-4 世界几个主要航道对船主尺度的限制

航道名称	总长 $L_{os}$ km(英尺)	最大船宽 $B_{max}$ m(英尺)	最大吃水 $T_{max}$ m(英尺)
圣·劳伦斯海道	222.5(730.0)	23.16(76.0)	7.925(26.0)
巴拿马运河	274.3(900.0)	32.3(106.0)	10.973(36.0)
苏伊士运河	335.3(1100.0)	48.9(160.5)	11.6(38.0)

现在世界上许多船舶的主尺度及载重量等往往都与航道限制有关，如型宽  $B$  取为 22.86m 者，则是考虑要过圣·劳伦斯海道的缘故。国际上一种载重量为 6 ~ 8 万吨的巴拿马型船，则是考虑过巴拿马运河。在使用航道资料时，要注意时间，如对吃水的限制就可能因疏浚而有变化。

对 17500t 多用途船  $T$  和  $B$  的选取是这样考虑的：

吃水  $T$  既要考虑尽可能深些，以提高推进效率；又要考虑世界上绝大多数的航道、港口都能去。根据对世界上各大港口货运码头的统计资料，有 60 ~ 70% 要求  $T \geq 9.14m$  (30 英尺)。但是考虑到使用中可以通过调节装货来满足进港要求；同时满载到港时因油水消耗使船的吃水降低。所以设计吃水  $T$  取得稍大些是允许的。如表15-3中所列 16000 ~ 20000t  $DW$  多用途的吃水  $T$  都在 9.6m 以上，大多在 10m 左右。而它们大多要通过圣·劳伦斯海道到北美的五大湖区，要求其淡水的  $T_{max} \geq 7.925m$ 。

本船设计吃水  $T$  初取为 9.2m 是可以的。

船宽 $B$ 主要考虑两方面的因素。

a. 考虑到集装箱的运输。根据集装箱的标准尺度,为了能装下6列20'标准箱(高 $\times$ 宽 $\times$ 长的尺寸为 $2.438 \times 2.438 \times 6.058\text{m}$ ),则船宽应在22m以上,如图15-3所示。

集装箱的排列名称为:横向称列;纵向称行;高度方向称层。

b. 考虑过圣·劳伦斯海道,所以本船的 $B$ 取为22.86m。

如取附体体积系数 $k_a = 1.005$ ,海水密度 $\rho = 1.025$ ,因 $\Delta = \rho k_a L B T C_b$ ,则有

$$L_{pp} \cdot C_b = -\frac{\Delta}{1.03 B T} = 111.33\text{m}。$$

②船长 $L_{pp}$ 和方形系数 $C_b$ 的选取。

初步确定 $L_{pp}$ 的方法很多,可以分析型船,也可以采用近似公式估算等等。下面介绍的方法是根据设计任务书对新船的快速性要求,把决定 $L_{pp}$ 和 $C_b$ 连在一起考虑。

已知 $L_{pp} \cdot C_b = 111.33$ ,且参看表15-2,可知 $DW$ 相近的船的 $L$ 在145~165m的范围。因此,取以下5个满足上述要求的 $C_b$ 和 $L_{wl}$ 的组合方案:

$L_{wl}(\text{m})$	145	150	155	160	165
$C_b$	0.768	0.742	0.718	0.696	0.675

注意这里取水线长 $L_{wl}$ 是因为估算阻力的需要。初步设想选用陶德60系列模型资料。该资料是以 $L_{wl}$ 为标准估算阻力的,而计算浮力仍用 $L_{pp}$ 值。

一般 $L_{wl}$ 与 $L_{pp}$ 的关系为:

$$L_{wl} \approx 1.02 \sim 1.03 L_{pp}。$$

利用陶德系列60的图谱资料估算各个方案的阻力,计算结果再加附体阻力8%;同时参考型船的资料,选取总推进系数约为0.66,则螺旋桨发出的推力功率为:

$$P_t = P_b \cdot \eta = 10200 \times 0.66 = 6732(\text{马力})。$$

各方案的有效功率 $P_e$ 曲线如图15-4所示。从图上可以看出,随着 $L$ 的加大和 $C_b$ 的减小,阻力有较大幅度的下降。当 $P_t = 6732$ 马力(水平线)时,可以得到不同 $L_{wl}$ 时船可能达到的航速 $V_t$ 值。再根据不同 $L_{wl}$ 所对应的不同 $V_t$ 值,作 $V_t = f(L_{wl})$ 曲线,如图15-5所示。由曲线可知,要使航速 $V_t > 15.9\text{kn}$ ,水线长 $L_{wl}$ 应大于154m,考虑到留有一定的裕度,取 $L_{wl}$ 在157m左右,对应的 $L_{pp}$ 约为150m,且可得 $C_b = 0.723$ 。

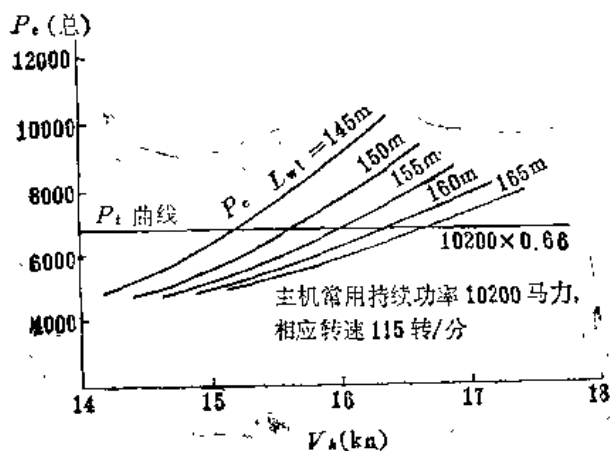


图15-4

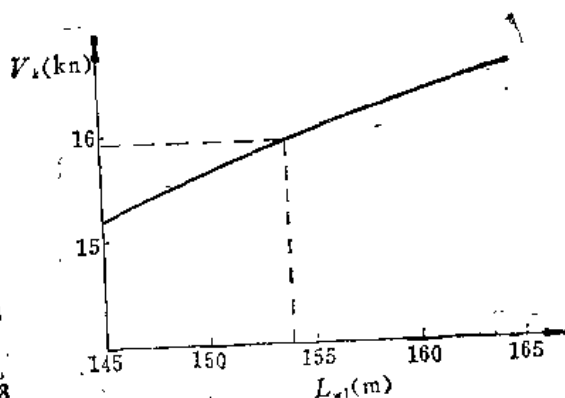


图15-5

再校核 $C_b$ 值与 $F_n$ 的配合情况。

先用瓦特生统计曲线(图6-3)校核,查得当 $F_n = \frac{V}{\sqrt{gL_{pp}}} = 0.212$ 时, $C_b$ 的平均值为0.75左右,即 $C_b = 0.75$ 将是对航速及经济上都较适宜的值。

再用亚历山大公式(6-5)估算,可得:

$$C_b = 1.08 - 1.68F_n = 0.724。$$

由此可见,从经济性角度,初步取 $C_b = 0.723$ 略小了些,但考虑到进一步设计中存在 $C_b$ 适当放大的可能,先初定 $C_b = 0.723$ 。

### ③确定型深 $D$ 。

$D$ 的选定考虑了两方面的因素。

a. 包装容积要求 $25000\text{m}^3$ , 货约 $15000\text{t}$ , 则有 $C = 25000/15000 \approx 1.67\text{m}^3/\text{t}$ , 可见要求的积载因数较大, 因此 $D$ 应从舱容方面考虑确定。

参考表15-3中的1号型船, 包装容积为 $22770\text{m}^3$ , 设计船与型船相比, 要求容积增多 $25000 - 22770 = 2230\text{m}^3$ ,

型船的 $L_{pp} = 145\text{m}$ , 设计船为 $154\text{m}$ , 增长了 $9\text{m}$ , 初估可增加容积:

$$9 \times 22.86 \times (13.2 - 1.5) = 2407\text{m}^3$$

因此设计船和型船取同样的型深( $D = 13.2\text{m}$ ), 预计舱容能满足要求。

b. 集装箱高度方向的要求。

现以“1CC型”标准箱来校核 $D$ , 具体计算如下:

单个箱高 $2.591\text{m}$ , 垫板 $0.025\text{m}$ , 合计为 $2.616\text{m}$ 。

则五层箱子 $5 \times 2.616 = 13.08\text{m}$ , 双层底高 $1.50\text{m}$ , 内底板厚 $0.013\text{m}$ , 舱口盖高 $0.40\text{m}$ , 供舱口盖变形用间隙(通常为 $0.1 \sim 0.2\text{m}$ ), 取 $0.15\text{m}$ , 共为 $15.143\text{m}$ 。

如取舱口围板高 $1.50\text{m}$ , 梁拱高 $0.45\text{m}$ (参见图15-6), 则布置五层集装箱时要求的型深为:  $D = 15.143 - 1.95 = 13.193\text{m}$ , 初步选取 $D = 13.2\text{m}$ 。

综上所述, 第一次估算得船的主要要素为:

$$DW = 17500\text{t}, \Delta = 24000\text{t},$$

$$L_{pp} = 154.00\text{m}, B = 22.86\text{m}。$$

$$T = 9.20\text{m}, C_b = 0.723, D = 13.20\text{m}。$$

对上述主要要素需进行各种性能校核, 现分别介绍如下。

### 6. 重量与浮力平衡校核

对载重型船舶来说, 首先要校核重量与浮力的平衡。已知设计船的排水量 $\Delta = 24000\text{t}$ , 载重量 $DW = 17500\text{t}$ , 则空船重量 $LW = 24000 - 17500 = 6500\text{t}$ 。下面估算 $LW$ 值。

由于当时找不到合适的型船重量资料, 就以一艘大舱口的货船作为型船, 具体数据如下:

$$\Delta_0 = 18600\text{t}, L_{pp0} = 147\text{m}, B_0 = 20.8\text{m}, T_0 = 9.2\text{m}, C_{b0} = 0.652, D_0 = 12.8\text{m}, P_0 = 12000\text{马力}, W_{b0} = 3600\text{t}, W_{f0} = 1218\text{t}, W_{m0} = 1058\text{t}。$$

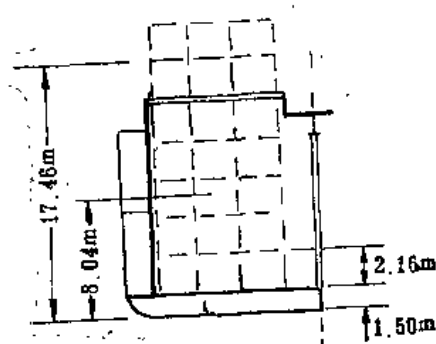


图 15-6

因  $LW = W_h + W_f + W_m$ ，下面分别估算

①船体钢料重量  $W_h$ 。

估算式  $W_h = C_h L_{pp}^{1.5} BD^{0.5} (1 + 0.5C_h)$ ，

式中， $C_h$ 为重量系数，取自型船。

求得  $W_h = 4428t$ 。

据统计资料，通常  $W_h/L_{pp}^{1.5} \cdot BD^{0.5} = 0.025 \sim 0.028$ ；而本设计船的  $W_h = 4428t$ ，该值相当于0.0279，属于统计值的上限，故认为估算结果是合适的。

②木作舾装重量  $W_f$ 。

用两种方法估算

a. 如用估算式  $W_f = C_f L_{pp} B$ ，可得本船的  $W_f = 1403t$ 。

分析设计船与型船的区别：因装载集装箱，货舱口大，舱口盖大，重量将增加；且起货机由吊杆改为克林(Crane)吊车，比型船重。所以如直接用型船的  $C_f$  值来估算，得到的  $W_f$  值可能偏低。

b. 参看图4-6上，为各种船的  $\frac{W_f}{L_{pp} B} = f(L_{pp})$  统计资料，若取集装箱船的上限  $W_f/L_{pp} \cdot B = 0.45$ ，由此估算得本船的  $W_f = 1584t$ ，比a法结果要大181t。

分析后决定取  $W_f = 1584t$ 。

③机电设备重量  $W_m$ 。

因为两船在主机，辅机方面基本相近，故  $W_m$  值取与型船相同，即： $W_m = 1058t$ 。

考虑到在估算  $W_h$  和  $W_f$  时，所得结果都已达到同类型船统计值的上限，所以不再加储备。这样，估算得到的空船重量  $LW = 4428 + 1584 + 1058 = 7070t$ 。

由估算所得的结果可知，设计船的空船重量  $LW$  比要求的  $6500t$  大了，两者相差  $\delta LW = 7070 - 6500 = 570t$ ，出现了  $\Delta \neq \sum W_i$  的问题。

④浮力与重量的平衡。

$\Delta \neq \sum W_i$ ， $DW$  差了  $570t$ ，为使  $DW$  符合要求，可以用以下几种办法。

a. 用诺曼系数法。将第一次结果作为型船，增加  $\delta DW = 570t$ 。

如假定  $W_h = C_h \Delta$ 、 $W_f = C_f \Delta^{0.85}$ 、 $W_m = C$ ，则诺曼系数  $N$  为：

$$N = \frac{1}{1 - \frac{W_h}{\Delta} - 0.65 \frac{W_f}{\Delta}} = \frac{1}{1 - \frac{4428}{24000} - 0.65 \times \frac{1584}{24000}} = 1.294。$$

$$\delta \Delta = \delta DW \cdot N = 570 \times 1.294 = 737.58t。$$

即船的排水量应增加到  $\Delta = \Delta_0 + \delta \Delta = 24738t$ 。然后重复上面的估算主尺度和估算重量的工作。

b. 以第一次结果为型船，用  $\eta_{dw}$  法再估算  $\Delta$ ，直到满足要求为止。开始时取  $\eta_{dw} = 0.73$  计算得的结果是

$\Delta = 24000t$ ， $DW = 16930t$ 。这时的载重量系数

$$\eta'_{dw} = \frac{16930}{24000} \approx 0.705$$

按  $\rho_{\omega'} = 0.705$  估算新船的  $\Delta' = \frac{17500}{0.705} \approx 24823\text{t}$ 。

重复前面的各项计算，重复几次，直到规定的  $\delta DW$  小于某一数值为止（可利用计算机程序迭代法完成）。

c. 考虑增加  $C_b$  值以加大  $\Delta$ 。根据前面所做的工作，考虑要使  $\Delta$  增加，以满足  $DW$  的要求，似乎通过加大  $C_b$  为好。因为开始确定  $\Delta$  和主尺度、系数时，已知道  $C_b = 0.723$  是偏小些，适当增加一些对经济性有好处。而且对阻力性能等影响不大。同时由第四章分析，加大  $C_b$  对  $W_b$  等的影响较小。当然， $C_b$  加大， $LW$  也会稍有增加。如设  $W_t$  及  $W_m$  保持不变，并假定  $W_b \propto (1 + 0.33\delta C_b)$ ，则当  $LW$  加大到 7070t， $C_b$  的增加值为：

$$\begin{aligned} \rho k_a LBT(C_b + \delta C_b) &= (1 + 0.33\delta C_b)W_b + W_t + W_m + DW \\ 1.03 \times 154 \times 22.86 \times 9.2 \times (0.723 + \delta C_b) &= \\ (1 + 0.33\delta C_b) \times 4428 + 1584 + 1058 + 17500. \\ \delta C_b &\approx 0.018 \end{aligned}$$

则  $C_b = 0.723 + 0.018 = 0.741$

根据前面的分析可知，虽然新的  $C_b = 0.741$ ，比亚历山大公式估算值 ( $C_b = 0.724$ ) 大了一些，但仍在瓦特生统计曲线的范围之内 ( $C_b \approx 0.75$  左右)，所以认为是可用的，并且，通过再校核航速，可得  $V_t \approx 15.9\text{kn}$ ，仍符合要求。

所以，第二次船的主要要素为：

$$\begin{aligned} \Delta &= 24600\text{t}, & T &= 9.2\text{m}, \\ L_{pp} &= 154\text{m}, & D &= 13.2\text{m}, \\ B &= 22.86\text{m}, & C_b &= 0.741. \end{aligned}$$

且重量与浮力是平衡的。

$$LW = 7100\text{t} (\text{其中 } W_b = 4458\text{t}), DW = 17500\text{t}.$$

应该说明的是，在初始设计阶段，排水量与重量之间相差一定的数值是可以的，当然，考虑一定的裕度， $\Delta$  取适当偏大为好。

## 7. 舱容校核

分两方面来考虑：

① 船主体上甲板以下的总型容积计算。

$$V_b = C_{bd} \cdot L_{pp} B \left( D + \frac{1}{2} f + S_m \right) = 37085\text{m}^3,$$

其中，梁拱  $f = B/50 \approx 0.45\text{m}$ ；

平均舷弧  $S_m = \left( \frac{1}{2} \times 30 \times 1.0 \right) / 154 = 0.097\text{m}$ ， $S_m$  计算式括号内的“30”，是指首部舷

弧升高范围约为 30m；而“1.0”是指首舷弧高为 1m。参见图 15-7。

$C_{bd}$  为计算至型深处的方形系数，可取自型船，或用式 (4-13) 估算。

② 各种舱室所需容积计算。

a. 甲板下货舱所需型容积。估算舱容时应结合总布置草图来进行。

本船甲板上货舱口能装货的容积为  $1700\text{m}^3$ ，估算时根据货舱口尺寸进行。而任务书要求的包装容积为  $25000\text{m}^3$ ，考虑骨架等因素，型容积利用系数  $k_v$  取为 0.91，则上甲板以下货

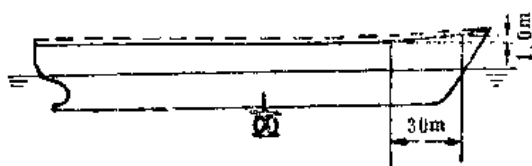


图 15-7

舱所需型容积为

$$V_0 = \frac{25000 - 1700}{0.91} = 25600 \text{ m}^3。$$

b. 机舱部分所需容积。本船为尾机型, 取  $C_m = 0.99$ ,  $C_p = C_b/C_m = 0.748$ , 双底高度  $h_d = 1.5 \text{ m}$ , 根据有关资料并参照相近的型船, 机舱长度初取为  $24.0 \text{ m}$ , 估算得机舱长度范围内容积约为  $V = 5261 \text{ m}^3$ ; 双底容积  $\approx 462 \text{ m}^3$ , 实际机舱所占容积约为  $V_m = 5261 - 462 = 4799 \text{ m}^3$ 。

c. 燃油舱型容积。主机的耗油率  $g_r = 0.165 \text{ kg/HP} \cdot \text{h}$ , 加上辅机等的  $15\%$ , 则总的耗油率  $g_o = 0.165 \times 1.15 = 0.19 \text{ kg/HP} \cdot \text{h}$ , 再考虑风浪因素等, 加  $15\%$  的裕度, 则总的燃油储备量为

$$W_o = 0.001 \times 1.15 \times 10200 \times 0.19 \times \frac{12000}{15.9} = 1682 \text{ t}。$$

在总的燃油储备量  $W_o$  中,  $20\%$  为轻柴油, 其  $\rho = 0.84 \text{ t/m}^3$ ;  $80\%$  为重柴油, 其  $\rho = 0.91 \text{ t/m}^3$ 。轻柴油的价格比重柴油高得多, 所以如果主机能多用重油, 将对经济性有利, 但一般总需用一部分轻柴油, 在主机启动及船进出港口主机工况变化大时使用。

考虑扣除骨架和供油膨胀用的容积, 取型容积利用系数  $k_c = 0.95$ , 则燃油所需的总型容积

$$V_o = \frac{(0.2 \times 1682)}{0.95 \times 0.84} + \frac{(0.8 \times 1682)}{0.95 \times 0.91} = 2003 \text{ m}^3。$$

假定有  $10\%$  左右的燃油是放在机舱内的日用油柜内, 则实际需要的储油型容积为

$$V_o = 2003 - 200 = 1800 \text{ m}^3。$$

d. 滑油舱型容积。滑油重量取为燃油的  $5\%$ , 即为  $84 \text{ t}$ ,  $\rho = 0.84 \text{ t/m}^3$  左右, 则需要型容积为  $95 \text{ m}^3$ , 考虑到其中  $35 \text{ m}^3$  存放在机舱内, 则实际需要的滑油机舱容积为

$$V_1 = 95 - 35 = 60 \text{ m}^3。$$

e. 淡水舱型容积。因有制淡装置, 取淡水储备量为  $300 \text{ t}$ , 型容积为  $310 \text{ m}^3$ 。考虑其中  $70 \text{ m}^3$  置于机舱内, 则淡水实际所需容积为

$$V_w = 310 - 70 = 240 \text{ m}^3。$$

f. 其他舱容积。包括锚链舱, 隔离舱等, 参考型船, 取为  $100 \text{ m}^3$ ,

在上述估算中, 还剩下压载舱的容积没有考虑。

前面已经根据船的主尺度估算出船所能提供  $V_b$ , 同时估算出了除压载舱以外的各舱所需容积  $\Sigma V_c$ 。显然, 两者之差就是设计船所能提供的压载水舱型容积  $V_b$ 。

因为在设计船舶时, 压载舱的容积有一变化范围, 而其他舱的容积往往可根据重量或其他因素确定, 所以估算出船主体能提供的总型容积后, 再从压载舱容积是否合适来核算容积的方法还是可取的。

根据前面估算的结果, 船的压载舱容积  $V_b$  为:

$$\begin{aligned} V_b &= 37085 - (25600 + 4799 + 1800 + 60 + 240 + 100) \\ &= 4486 \text{ m}^3。 \end{aligned}$$

分析  $V_b$  值, 通常有三种情况:  $V_b$  正合适, 说明船的主尺度选取恰当;  $V_b$  不够, 说明船的主尺度偏小, 特别是  $D$  偏小;  $V_b$  太大, 说明船的主尺度偏大。

压载舱容积  $V_b = 4486 \text{ m}^3$ , 当海水  $\rho = 1.025$ , 如取舱容利用系数为  $0.98$ , 则压载海水重量



$V_b = 4506t$ , 可算得设计船的  $W_b/DW = 25.7\%$ 。

根据统计资料, 一般多用途船的压载水量与载重量的比值为:

$$W_b/DW = 20 \sim 30\%。$$

同时, 还有一种意见, 认为多用途船的  $V_b$  可适当取小些, 因为这类船所需压载航行的可能性较少, 与一般货船相比, 只占20%左右。

对本设计船来说,  $\Delta = 24600t$ ,  $DW = 17500t$ ,  $W_b$  达到  $25.7\% DW$ , 是够大了。设计实践表明, 对于大船来说, 要达到20%也是相当困难的。当然, 要注意的是, 压载问题, 不仅是提供压载舱容积  $V_b$  问题, 还有压载航行时船首尾吃水应符合要求, 这涉及到压载水量及其沿船长的分布, 总布置设计时要注意解决好。

以上核算说明, 从满足舱容的角度, 第二次所确定的主尺度是合适的。

在设计的最初阶段中, 也可以利用另一种方法来校核舱容。如已计算得货舱所需型容积  $V_c = 25600m^3$ , 船主体容积中最主要的是  $V_c$ 。这时, 货舱总长  $l_c$  及所提供的货舱容积  $V_c$  为:

$$l_c = l_{PD} - (l_m + l_t + l_a);$$

$$V_c = C_0 \cdot l_c B (D - h_d);$$

式中,  $C_0$ ——系数可取自型船;

$l_m$ 、 $l_t$ 、 $l_a$ ——参照相近型船, 并绘制总布置草图确定。

比较所要求的  $V_c$  和船主体所能提供的  $V_c$  值, 就可以判断所定主尺度在满足舱容方面的合适程度。

## 8. 稳性校核

为粗略核算稳性, 应先画一总布置草图, 以便于估算出各部分的重心高度。本船总布置草图见图15-8。

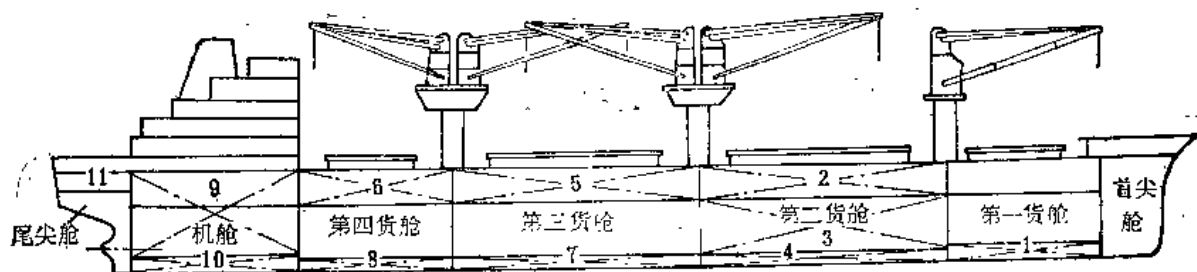


图 15-8

1—燃油舱; 2—舷边压载舱; 3—舷边压载舱; 4—中间设燃油舱, 两侧设压载舱; 5—舷边压载舱;  
6—舷边压载舱; 7—中间设燃油舱, 两侧设压载舱; 8—中间设燃油舱, 两侧设压载舱; 9—机舱内  
设燃油柜、滑油柜、淡水柜; 10—滑油舱、污油舱、压载舱; 11—清水舱、压载舱。

### ① 重心高度估算。

空船重心高度估算: 国产的几艘远洋货船的  $\xi_1 = Z_{g1}/D$  值约在0.73左右, 考虑到本船之货舱盖及起货设备重量较大且重心又高, 故  $\xi_1$  取0.76, 则得:

$$Z_{g1} = 0.76 \times 13.2 = 10m。$$

除货物外, 其它装载重心高度估算见表15-5。

表15-5 除货物外, 其它装载物重心高度估算

项 目	重 量 (t)		重 心 高 (m)		力 矩 (t·m)	
	出 港	到 港	出 港	到 港	出 港	到 港
燃料	1682	170	1.8	10	3027.6	1700
滑油	84	80	6.5	6.5	546	520
淡水	300	30	11	11	3300	330
粮食	8	0.8	14.8	14.8	118.4	11.84
船员及行李	8	8	21	21	168	168
备品	80.0	80.0	14.6	14.6	1140.8	1140.8
空船	7100	7100	10	10	71000	71000
总计	9262	7468.8	8.59	10.07	79300	74870.6

注: 到港时, 燃料绝大部分均在机舱的油柜内, 故重心提高。滑油循环使用, 消耗5%。

货物重心高度估算: 由于是多用途船, 货种多, 要取几个典型的装货情况进行估算, 作为举例, 取集装箱及杂货两种情况。

a. 集装箱: 集装箱全部按6.1m计算, 在货舱内可放378只左右, 在上甲板舱口盖上放置集装箱152只左右, 共计530只左右。

在舱内之集装箱重量每箱取为13.5t, 舱盖上每箱取为12t, 经取得船东同意, 且统计资料也表明, 甲板箱通常要轻些。因如果取同样重量(13.5t), 重心过高, 对稳性不利。当然, 这也给使用部门在装箱配载时带来一定困难。但采用配载仍能使上述条件满足。同时船东还考虑到要求箱重相同, 有可能使压载增加, 不利于多装货。

装集装箱时的重心高度估算如下:

舱内箱重  $378 \times 13.5t = 5103t$ ,

舱盖上箱重  $152 \times 12.0t = 1824t$ 。

舱内集装箱高5层, 横6列, 去掉双底高1.5m, 每只箱高 $(2.591 + 0.025) = 2.616m$ , 所以舱内箱子的重心高度为8.04m。

舱口盖上的箱的重心高度为17.46m。

注意舱内的378箱中有34箱是2层堆放的, 置于舱口范围以外的内底板上, 如图15-9所示, 重心高度为4.12m。

所以舱内集装箱的重心高度实际应该是:

$$\frac{(378 - 34) \times 13.5 \times 8.04 + 34 \times 13.5 \times 4.12}{5103}$$

$$= 7.68m。$$

总的集装箱重心高度

$$Z_{sc} = \frac{5103 \times 7.68 + 1824 \times 17.46}{5103 + 1824}$$

$$= 10.26m。$$

b. 装杂货(匀质装载): 假定货充满全舱, 且舱内  $23300m^3 \times 7.48m$ , 舱口内  $1700m^3 \times$

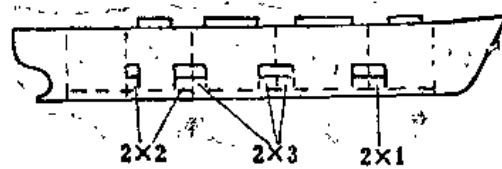


图 15-9

14.25m。

则

$$Z_{gc} = 7.94\text{m}。$$

几种典型装载情况的重量和重心计算参见表15-6。

②满载(杂货)出港及到港时的初稳性。

出港：本船拟采用U形首尾横剖面，取水线面系数 $C_{wp} = 0.82$ ，则计算 $\overline{GM}$ 时， $Z_b$ 及 $\overline{BM}$ 可用近似估算式(7-4)、(7-6)和(7-10)。则有(下标*i*指出港)：

$$Z_{bi} = a_i T = \frac{0.82}{0.82 + 0.741} \times 9.2 = 4.83\text{m},$$

$$\overline{BM}_i = a_i \frac{B^2}{C_b T} = \frac{1}{11.4} \times \frac{0.82^2}{0.741} \times \frac{22.86^2}{9.2} = 4.52\text{m},$$

$$GM_i = Z_b + \overline{BM}_i - Z_{gi} = 4.83 + 4.52 - 8.17 = 1.18\text{m}。$$

到港：在非设计满载情况的吃水 $T_i$ 、浮心高度 $Z_{bi}$ 及稳心半径 $r_i$ 可用如下近似公式加以估算：

$$\left. \begin{aligned} T_i &= T(\Delta_i/\Delta)C_b/C_{wp}, \\ Z_{bi} &= Z_b(T_i/T), \\ \overline{BM}_i &= \overline{BM}(T_i/T)^{\frac{C_{wp}}{C_b}-2} \end{aligned} \right\} \quad (15-1)$$

式中， $\Delta$ 、 $T$ 、 $Z_b$ 及 $\overline{BM}$ 是设计吃水时的排水量、吃水、浮心高度及稳心半径，带下标“*i*”的对应各量则为计算载况值。用满载到港排水量 $\Delta_i = 22836.8\text{t}$ 及满载出港的 $\Delta$ 、 $T$ 、 $Z_b$ 及 $\overline{BM}$ 代入式(15-1)后可得(下标*a*指到港)：

$$\text{吃水} \quad T_a = 9.2 \left( \frac{22836.5}{24600} \right)^{\frac{0.741}{0.82}} = 8.65\text{m},$$

$$\text{浮心高} \quad Z_{ba} = 4.83 \times \frac{8.65}{9.20} = 4.54\text{m},$$

$$\text{稳心半径} \quad \overline{BM}_a = 4.52 \left( \frac{8.65}{9.20} \right)^{\frac{0.82}{0.741}-2} = 4.75\text{m},$$

$$\text{初稳心高} \quad \overline{GM}_a + \overline{BM}_a - Z_{ga} = 4.54 + 4.75 - 8.62 = 0.67\text{m}。$$

③集装箱满载出港及到港时的初稳性。

$$\text{排水量} \quad \Delta_i = 19739\text{t},$$

$$\Delta_a = 17945.8\text{t}。$$

$$\text{吃水} \quad T_i = 9.2 \times \left( \frac{19739}{24600} \right)^{\frac{0.741}{0.82}} = 7.54\text{m},$$

$$T_a = 9.2 \times \left( \frac{17945.8}{24600} \right)^{\frac{0.741}{0.82}} = 6.86\text{m}。$$

$$\text{浮心高} \quad Z_{bi} = 4.83 \times \frac{7.54}{9.2} = 3.96\text{m},$$

$$Z_{ba} = 4.83 \times \frac{6.86}{9.2} = 3.60\text{m},$$

$$\text{稳心半径 } \overline{BM}_1 = 4.52 \times \left( \frac{7.54}{9.2} \right)^{\frac{0.82}{0.741} - 2} = 5.4\text{m},$$

$$\overline{BM}_a = 4.52 \times \left( \frac{6.86}{9.2} \right)^{\frac{0.82}{0.741} - 2} = 5.87\text{m},$$

$$\text{初稳心高 } \overline{GM}_1 = Z_{b1} + \overline{BM}_1 - Z_{g1} = 3.96 + 5.4 - 8.39 = 0.97\text{m},$$

$$\overline{GM}_a = Z_{ba} + \overline{BM}_a - Z_{ga} = 3.6 + 5.87 - 9.32 = 0.15\text{m},$$

④压载航行出港时的初稳性。

根据 $\Delta = 14152\text{t}$ , 可得:

$$\text{吃水 } T = 9.2 \times \left( \frac{14152}{24600} \right)^{\frac{0.741}{0.82}} = 5.85\text{m},$$

$$\text{浮心高 } Z_b = 4.83 \times \left( \frac{5.85}{9.2} \right) = 3.07\text{m},$$

$$\text{稳心半径 } \overline{BM} = 4.52 \times \left( \frac{5.85}{9.2} \right)^{\frac{0.82}{0.741} - 2} = 6.49\text{m},$$

$$\text{初稳心高 } \overline{GM} = 3.07 + 6.49 - 7.72 = 1.84\text{m}.$$

从上述核算可知, 几种装载状态之初稳心高均能满足要求, 只是装集装箱到港时偏低。大倾角稳性的校核可参照第七章所介绍的方法进行。

表15-6 几种载况的重量与重心计算

项目	装载情况	集装箱满载出港、到港						杂货满载出港、到港						压载航行出港		
		出 港			到 港			出 港			到 港					
		重量 (t)	重心 高 (m)	力 矩 (t·m)	重量 (t)	重心 高 (m)	力 矩 (t·m)	重量 (t)	重心 高 (m)	力 矩 (t·m)	重量 (t)	重心 高 (m)	力 矩 (t·m)	重量 (t)	重心 高 (m)	力 矩 (t·m)
货 物		6927	10.26	71100	6927	10.26	71100	15368	7.94	122021.9	15368	7.94	122021.9	—	—	—
空 船 及 它		9262	8.59	79300	7468.8	10.02	74870.6	9262	8.59	79300	7468.8	10.02	74870.6	9262	8.59	79300
压载①②		3550	4.3	15270	3550	4.3	15270	—	—	—	—	—	—	4890	6.15	30073.5
总 计		19739	8.39	165670	17945.8	9.32	1672406	24630	8.17	201321.9	22836.8	8.62	196892.5	14152	7.72	109373.5

①在装运集装箱时, 由于重心较高( $Z_g = 10.26\text{m}$ ), 故必须加足够的压载水, 以确保船的稳性。

为了压低总的装载重心, 把双层底内的压载舱全加满, 除此以外, 还将第二货舱中约底舱的舷边压载水舱及首尖舱装满。

所有压载水重量为3550t, 重心高为4.3m。

②无货压载航行时, 将船内所有的压载水舱以及首尾尖舱全加满。

压载量为: 4890t; 重心高: 6.15m。

## 9. 横摇周期的估算

各种装载状态时横摇固有周期 $T_4$ 估算结果见表15-7。

表15-7 各种装载状态时的横摇周期

装 载 状 态	$\sqrt{B^2 + 4Z_g^2}$	$\sqrt{GM}$	$T_4 = 0.58 \frac{\sqrt{B^2 + 4Z_g^2}}{\sqrt{GM}}$
满载集装箱出港	23.36	0.98	16.78
满载杂货出港	23.10	1.08	15.09
空船压载出港	27.59	1.36	11.77

#### 10. 小结

根据以上计算, 可认为 $\Delta = 24600\text{t}$ ,  $L_{pp} = 154\text{m}$ ,  $B = 22.86\text{m}$ ,  $T$ (设计吃水)  $= 9.2\text{m}$ ,  $C_b = 0.741$ ,  $D = 13.2\text{m}$ 的方案能满足任务书的要求, 可据此进行型线设计及总布置设计, 再根据型线图进行静水力性能及舱容计算, 并对船舶各项性能作较仔细的校核(包括大倾角稳性核算), 最后调整并确定出新设计船的主要要素。然后开展下一步设计工作, 包括轮机、电气、结构及舾装方面的设计等等。

### §15-4 客船及拖船主要要素的确定概述

#### 一、客船主要要素的确定概述

客船是典型的容积型船舶之一。这类船舶的设计任务书通常给出: 载客人数、各级客舱的舱室标准(面积及设备条件)、公共处所的面积及设备条件、船员人数及其舱室标准等; 载货量及舱容; 航速及机型; 续航力等。一般来说, 设计任务须适应航线的具体客流情况、旅客成份、环境条件(包括经济水平、社会风俗习惯)等的特定情况而制定。故不同航线客船的特点往往变化很大。

这类船舶的设计步骤如下所述。

首先, 这类船舶的最小尺度主要依赖所需的甲板面积。船舶所能提供的内部甲板面积又主要依赖于 $L_{pp}$ 及 $B$ 。因而, 最低的 $L_{pp}$ 及 $B$ 值首先应从要求的甲板面积来分析。 $L_{pp}$ 及 $B$ 偏小, 满足不了总布置地位上的要求, 过大又增加造价和营运成本。客船的上层建筑是提供甲板面积的重要部位, 分析时应注意到上层建筑的大小(包括长度及层数等)与 $L_{pp}$ 及 $B$ 的密切联系。

从舱室布置来说, 增加船长比增加船宽更有效。然而, 结合各居住舱室的横向尺度的要求及走廊的安排, 适当调整船宽常可更有效地利用船上地位, 故选取船宽时应对此点很好地加以分析。

其次, 因这类船舶的载重量相对较小, 其空船重量占满载排水量的极大部分, 故设计中应特别重视船的尺度、设备及舾装条件(标准及材料)、总布置及建筑特征等等对空船重量及重心高度的影响。

就重量与浮力来说, 在满足布置条件下, 通常排水量(浮力)不会紧张。因而从浮力角度, 一般可采用较浅的吃水和较小的方形系数。这时, 常先从适宜的螺旋桨直径对 $T$ 进行估算, 再结合 $C_b$ 与 $F_n$ 的配合以及其它因素加以调整, 以保证重量与浮力的平衡。必要时, 也可考虑用固定压载以增加吃水和降低重心高度。

再次, 因稳性、抗沉性等不仅与船的主尺度(尤其是船宽与型深等)有联系, 也与船的具

体布置情况密切相关,故确定客船的主尺度应和各种性能、总布置的分析研究配合起来进行。从破舱稳性和耐波性的角度考虑,应注意控制船宽适当、不宜过大。型深影响船的重心高 $G$ 和风压力矩,故一般应力求压低些。小型客船的型深可根据舱室高度、大倾角稳性和初稳性等要求的干舷来确定。需满足抗沉性要求的客船的型深,要结合分舱甲板下的客舱层数和层高、抗沉性要求的干舷高度来确定。

最后,客船的快速性包括风浪中的失速对保证班期、降低营运开支有重要意义,选择主尺度(尤其是船长)时要多加比较分析,对快速客船更需注意。一般而言,适当增加船长,对改善快速性有利,但增加造价,故需综合布置地位、快速性及造价等因素,以选择适宜的船长及其它尺度、系数。

第五章表5-1列举了我国沿海几型客船的资料。从表中可见,同样长度的客船,其宽度、型深、吃水、排水量、载客人数、舱室总面积等都相差很大,这反映了客观的不同情况对客船的种种不同的要求。

## 二、拖船主要要素的确定概述

拖船是又一典型的容积型船舶。现在简要介绍拖船的任务与设计特点,以便对这类船型有一概括的了解。

拖船按其主要使用任务可分为:

**运输拖船** 是以拖带驳船队为主要任务的内河及海上拖船。这种运输方式的优点是较经济。随着拖驳运输的进一步发展,在航道条件较好(宽阔、弯度小)的内河和风浪较缓和的沿海,已采用顶推船队。顶推船队的优点是船队的总阻力降低,推船螺旋桨的尾流不影响驳船阻力,消除了拖索的阻力损失,因而水动力性能比拖船队高。驳船上的船员人数也可减少、甚至可做成无人驳。

**辅助作业拖船** 其中包括协助大船进出港、靠离码头、掉头等用的港作拖船以及船厂用的调动船舶泊位、进出坞、协助试航等等用途的拖船。

**救助拖船** 主要用于救助海上失事船舶。配备有对失事船舶进行排水、灭火、潜水作业等设施 and 供油、供水、供电的能力,并能拖回失事船舶。

**海洋开发用拖船** 供海上钻井平台的曳调、抛锚、供料、水陆交通以及拖带工程船舶等用,实为一种多用途拖船。

以上划分系按其用途,如以航区划分又可分为内河拖船、港口拖船、沿海拖船与远洋拖船等。

拖船性能上共同的突出问题是其拖带时的稳性要求较高;操纵性较重要。此外,依各型拖船的使用任务的差别,又各有其设计上的特殊问题,要根据具体情况采用不同的处理方法,包括在建筑、布置和主尺度选择上的相应措施。

①对于运输拖船及推船,应以保证拖带或顶推时有最大的拖推力为基本前提,并应具有好的航向稳定性、能力和倒车性能(尤其推船)以控制驳船队。

从快速性角度看,拖带或顶推时,拖、推船本身阻力所占船队总阻力百分比较小,故设计重点是保证拖、推时有较高的推进性能。为此,尾吃水应力求保证在拖、推状态时能使螺旋桨的直径最佳,且尾部线型要保证水流的流畅性。

从操纵性来说,大的尾吃水及较纤瘦的尾体有助于增加舵面积,对航向稳定性、倒车性能、回转性能都有利。推船为改善其倒车性能,可用倒车舵。推船及拖船为改善其操纵性能

可采用双桨、回转螺旋桨及360°带导管的回转螺旋桨。

拖船或推船一般为单甲板船。内河拖船设甲板室或半高棚，海拖一般均设首楼。推船常设上层上部建筑以利驾驶视野。

拖钩纵向位置或海拖用的自动拖缆机宜布置在船中后0.15~0.25 $L_{pp}$ 范围内，这有助于安全性和拖船拖带时的航向稳定性。拖钩以后为空敞甲板，拖钩距甲板宜低，以利安全。

②对于辅助作业拖船，其操纵灵活性、倒车性能对作业很重要，故船长宜短，若采用360°回转螺旋桨尤为适宜。设计上除注意拖带时拖力外，应适当兼顾自由航速。

上层建筑应保证上甲板比较空敞以利作业，故一般只设甲板室，且船员人数较少，故居住舱室所需地位也较少。

因燃油、淡水、生活供应品等数量相对较少，故在布置上较易处理，也有将港作拖船兼作短程沿海拖带用。

③对于救助拖船，应尽快赶到失事现场并且不受天气条件的影响，故抗风能力特别重要，此外，对自由航速和耐波性性能的要求也较高，同时它在拖曳时的拖力也较重要。因此，这型拖船常配功率较大的主机且采用双桨和可调螺距螺旋桨。因主机功率较大，续航距离较远，加之施救设备和救助供应(油、水、食物等)的要求，船员又相对较多，因而需较多的建筑地位和浮力，故同其它型拖船相比，其排水量和主尺度都较大。建筑上常采用长艏楼型和较大的压载舱体积(调整油水消耗后船的浮态与稳性)。当船长大于50m时，应能一舱不沉。

④对于海洋开发用拖船，除性能上应具备拖船的性能要求(稳性、拖力、操纵性)外，并应具备小型运输船的某些技术性能。为此，上层建筑应尽可能集中在前部以留出较大的后部开敞甲板地位来布置货舱和堆放甲板货。主机功率主要根据拖带钻探平台的要求来考虑。推进上也以采用可调螺距螺旋桨为宜。这型拖船在不同使用情况的纵倾调整是个较复杂的问题，故应注意其油、水舱及压载舱的前后分配。

表15-8为我国部分内河及港作拖船的主要要素。

表15-8 我国部分内河及港作拖船的主要要素

要素 船名	$L_{pp}$ (m)	$B$ (m)	$D$ (m)	$T$ (m)	$C_b$	$\Delta$ (m)	$C_m$	$C_p$	$C_{wp}$	自由航速
135马力内河拖船	16.2	4.1	1.9	1.45	0.43	42	0.75	0.57	0.76	15.5km/h
270马力内河拖船	21.0	5.0	1.7	1.20	0.50	63	0.90	0.55	0.768	18.0km/h
370马力内河拖船	24.5	5.8	2.3	1.5	0.466	99.5	0.835	0.558	0.764	20.0km/h
480马力内河拖船	25.6	5.8	2.2	1.5	0.468	104.8	—	—	—	20.0km/h
400马力港作拖船	24.5	6.8	3.2	2.3	0.484	192	0.865	0.551	0.745	10.5kn
520马力港作拖船	27.6	7.5	3.7	2.8	0.50	290	0.812	0.616	0.749	10.7kn
600马力港作拖船	26.6	7.6	3.6	2.6	0.476	25	—	—	—	10.6kn
600马力港作拖船	24.0	7.0	3.35	2.4	0.463	200	0.828	0.559	0.753	11.0kn
1080马力港作拖船	27.0	8.0	3.8	2.8	0.475	286	0.81	0.586	0.738	12.0kn
1670马力港作拖船	29.7	8.2	4.2	3.0	0.473	356.4	0.821	0.576	0.74	13.3kn
1670马力港作拖船	34.0	8.6	4.45	3.30	0.479	462.4	0.825	0.580	0.75	13.0kn

## §15-5 设计过程中应注意的几个问题

一艘新船设计成功与否的标准大体可以归纳为“安全、适用、经济、美观”四个方面，也就是说，看船建造好投入营运后的使用价值及经济效益如何。船的主要要素是决定船体形态和技术、经济性能的基本参数，对船舶最后成功或失败有着重要影响。有关设计的内容在以前各章中都已讲过，本节将再着重归纳如下几点应注意的问题，作为小结。

### 一、设计任务书

设计任务书集中反映了新船的使用任务、特点和船东的要求，是进行船舶设计工作的依据。设计任务书中规定的各种技术性能指标与要求是否合理，直接影响着船的主要要素的确定。经过较充分的技术-经济论证而制定的设计任务书，是保证新船在全局上成功的首要环节。但是，如果任务书本身的要求不够合理或者某些要求过于苛刻，难以实现，或者有的要求又偏低等等，就会使船的主要要素的选择与确定不能在全局上取得较佳效果。因此，在设计中既要认识任务书的重要性，将其作为设计的依据，使新船满足所规定的各种指标与要求；同时，又要通过仔细分析、研究，判断任务书各项规定的合理程度，发现问题，及时提出与船东协商妥善解决。

### 二、调查研究

调查研究是搞好设计的基础性环节，从设计工作开始以至整个设计过程都应进行调查研究工作。调查研究的内容应是多方面的，包括船东建造新船的意图，任务要求情况，货物或旅客数量及特点，航线及港口的情况，建造厂(包括设备厂)的情况，现有同类型船的设计资料及航行营运实况，国外同类型船的现状与发展趋势，国内外设备配套情况等等。调查的对象应包括船东、船员、港务、码头工人、旅客等多方面的人员。只有通过广泛的调查，掌握大量的资料，并且进行整理归纳，作去粗取精、由表及里的分析研究，才能使设计者心中有数，有利于下决心、定方向。比如，了解港口的水深情况，对选取船吃水有重要影响，但及时掌握港口疏浚后的新资料更为重要。又如掌握了航线的风浪资料(波浪长度、周期等)、船台情况等，对于选取船长 $L$ 及型宽 $B$ 等有重要意义。此外，国际航行船舶应该满足的现行的各国、各地区及各船级社的规范、公约以及它们的修改通报等，都是对船舶设计有重要影响的资料。显然，没有调查确究，就不可能有成功的设计。只有通过任务书分析及调查研究，才能逐步形成新船全局上的初步设想。

### 三、设计指导思想

船舶设计是具有创造性劳动的过程，在设计中确定设计指导思想或者说设计出发点，是一个非常重要的问题。例如对客船是实用经济，还是追求先进豪华，设计结果是不大相同的。又如设计一艘货船，是强调有高的航速，还是追求好的经济性，显然，两艘船的设计结果也是不会相同的。实践表明，设计出发点，即设计指导思想的合适与否将影响设计结果的成败。

正确的指导思想除了设计者来源于对设计任务进行认真的分析判断、对情况作调查研究，



客观地抓住主要矛盾,定出合理的措施以外,还与当前国家的发展方针,经济情况、技术政策以及船东的要求等多种因素有关,应认真研究。至于设计的成败,最终有待于新船建造好投入营运,经过实践检验才能做定论。

#### 四、关于资料及近似公式

船舶设计的一个重要的原则是继承与创新,即在借鉴已有船舶设计建造经验教训的基础上,结合现有的技术水平和条件加以改进、提高,以使新船能有更好的使用价值与经济效益。在船舶设计中,为了提高估算结果的准确性,一是要选取合适的型船及其相应的可靠资料;二是要采用合适的估算公式或方法。

通常型船是经过实践证明是优良的船。型船可以有多艘,即对不同内容,型船可以不同。如估算快速性,应选取排水量 $\Delta$ ,相对速度( $F_n$ )、船体型线、动力装置等相近的同类型船;估算船体钢料重量,则应选取船主尺度、结构型式、建筑特征等相近以及航区、船体材料等相同的船作型船;估算、确定机舱长度和机电部分重量,则应选取机舱位置(中机型、尾机型等)相同、主机类型相同、功率相近等的船,等等。同时,对型船的资料也应有分析、判断,最好选用完工图纸文件及船模和实船试验资料。如重量资料,特别是分项重量,则应弄清各项重量所包含的部件名称,且应注意设想的新船与型船在结构等方面的区别等等。显然,型船及其资料对估算结果有重要影响。

常用的近似估算方法或公式,一般都有特定的适用范围,如估算重量时的船舶类型、大小、航区;估算阻力的船模型线特征,相对航速、船型参数范围;估算初稳性时应考虑船体型线、横剖面形状等等。此外,要根据设计船的使用任务特点和设计考虑,选用合适的方法与公式。最好能用已有的实船资料进行验算,以掌握该方法或公式的误差范围。同时应注意新船与型船的各种差别,修正估算公式中的相应系数,使结果更符合实际情况。

总之,在设计中,特别是在初始阶段,选取合适的型船与估算方法对确定适宜的主要要素方案有重要意义,否则将引起不良后果,造成返工等。

#### 五、设计中的权衡处理

船舶设计的一个重要特点是权衡处理各种问题。一艘新船的要求往往可归纳为技术与经济两个方面。前已述及,技术性能包括快速性、耐波性、稳性、抗沉性、操纵性、强度等等,经济因素包括载货量、装卸效率、造价、耗油量及其他营运开支等等。往往,有时在技术与经济之间、技术的某些性能之间、经济性的某些因素之间存在矛盾。此外,还有技术先进性与现实可能性之间矛盾等等。如果片面追求某一指标,就会影响到船的其他方面性能指标,甚至影响船的使用要求及经济效益。如过分强调高航速指标,有可能使船长加大,方形系数偏小,而使造价增加,其经济上的损失有可能超过高航速带来的好处;又如,船的尺度过小,船体过胖( $C_b$ 偏大),虽然造价上有所下降,但为达到同一航速所需的主机功率增加,油耗量增加,主机型号改变,或者同一主机时,航速降低,运输能力减少等,可能得到的总的经济效益也不理想。再如,过高的初稳性值,将导致横摇激烈,影响船的舒适性;较大的船长,有利于改善快速性、耐波性等,却给操纵(狭窄航道及港域航行)带来困难。此外,某些设备虽然指标先进,但不可靠,选用到船上将造成不良后果,等等。因此,如何综合分析、权衡处理技术和经济等各方面的问題,以较小的代价(投资及支出)换取更大的效益(包括使用价

值及经济效益), 是设计过程中应认真对待的问题。

## 复习思考题

1. 船舶各主要要素的选择、确定, 各自要综合考虑哪些因素? 其中的主要因素是什么?
2. 什么是总体设想? 包括哪些内容?
3. 船舶设计有哪些特点? 请举例加以说明?
4. 载重型船舶确定主要要素的一般步骤是怎样的? “从个别扩充寻优”与“从一般收缩选优”各有什么优缺点?
5. 多用途船设计时应注意哪些特点?
6. 17500t载重量多用途船的主尺度 $B$ 、 $T$ 、 $L$ 、 $C_b$ 的选择确定考虑了哪些因素?
7. 为什么说17500t载重量多用途船的型深 $D$ 选定为13.2m是合适的?
8. 为什么说17500t载重量多用途船第二次所定的主尺度对舱容来说是合适的?
9. 如何用近似公式估算非设计(满载)情况下的吃水、浮心高度及稳心半径?
10. 通过17500t载重量多用途船的实例了解确定载重型船主要要素的一般过程与步骤。
11. 客船设计时应考虑的一些主要问题是什么?
12. 拖船设计有哪些特点?
13. 设计任务书对船舶的设计结果有什么影响?
14. 为什么说调查研究是搞好船舶设计的基础性环节?
15. 设计指导思想对船舶设计的结果有何影响?
16. 如何正确地运用型船资料及近似公式、图表?
17. 如何理解权衡处理问题是船舶设计的重要特点之一?

# 第十六章 船型研究与论证

## §16-1 船型及船型研究

船型是船舶类型之简称。在我国，船型一词的使用比较广泛。通常所说的某一船型，是指该船具有与其它船舶相区别的特征，这些特征包括如船的大小、船舶总布置与上层建筑型式、船体结构、型线、动力装置、主要设备及性能等方面。就船舶设计来说，船型的确定是一艘船舶取得优异成效的最基础的工作，也是带有全局性的战略步骤，如这一步决策不当，那么在以后的各阶段设计工作中就很难挽回这一步的失算了。

从国内外船舶及运输事业发展的过程来看，船型的发展与更新很快，船舶的使用年限也有明显缩短的趋势，如果一个船型不能很快地发展、改进以至更新换代，在造船市场上就将失去竞争力，从而被运输效率更高、经济效益更好、使用效能更强的新船型所取代。因此，世界各国的造船厂商无不把船型的开发研究看作为与其企业的失败或发展息息相关的大事。近年来我国各有关单位对船型的开发研究日益重视，做了大量工作，取得了可喜的成果。

船型发展(特别是运输船舶)的最普遍、最活跃的因素是经济性。一种新的船型的出现、巩固与发展的关键是在经济上显示出优越性，否则就没有生命力。一代代经济效益更高的新船型，不断替代旧船型，这是船型更新发展的根本规律。

就运输船舶来说，围绕经济性，通常有如下几个方面的研究工作：

### 1. 改进运输方式，提高运输效率

人们对船舶运输的全过程进行深入研究后，认为提高船舶运输经济性的途径，不仅限于船舶的本身，而应把船舶看成整个运输系统中的一个环节。船舶作为运输工具，只有在运行中才能充分发挥其作用，停泊就意味着损失。集装箱船、载驳船、滚装船等一代新型船舶的出现，使件杂货的运输出现了带根本性的变革，并为提高运输中的机械化、自动化提供了广阔的前景，极大地提高了船舶的运输效率，而且这种变革还具有社会性的经济效益。

### 2. 提高船舶适用性

提高船舶适用性对提高船舶的经济性有着重要意义。适用性具有多方面的含意，如适用于不同的航区、航线；适用于不同的用途；适用于不同的货源、客源，等等。

就货物运输船来说，在发展专用船的同时，多种用途船舶能适应货源多变因而获得很大发展。虽然多用途船在造价上要高些，且与专用船相比，载运某一类货时的效率要低些，但在整个营运期间，能减少空放率，有较强的揽货能力，则在总的经济效益方面无疑是很有利的，这就是发展多用途船的依据。多用途干货船的研究开发就是典型的例子。为替代二次大战期间的不定期干货船“自由轮”，而研究成功的英国“SD 14”和日本的“Freedom”等新船型，以它们能适应国际形势的发展，采用件杂货与散装兼用，船价经济而实惠，营运费用低廉，船舶吨位适中而赢得航运界的赞赏，以后相继又出现了多种多用途船型，以至象B & W公司设计成所谓泛多用途船“汉姆莱特”型，能适用于装载件杂货、散货、集装箱、滚装货及重大件货等，具有很强的适应性。

当前确定一艘船的多用途功能的大小,主要取决于这类船对客观运输要求的适应性及其实际的营运经济效益,如货源情况,各运输公司的船队组成及对今后运输前景的预测等等。但如随着造船技术的不断发展,用途增多而造价不太高,而且在运载某一类货物或混装不同类型的货物时又均有较高的营运效率,显然用途多的船必将具有更大的吸引力。

此外,如适宜于浅水航行的浅吃水船型;适应所谓“全海快”的小水线面双体船型等都是从提高船舶适用性方面开发新船型的实例。

### 3. 提高船舶载运量

船舶朝大型化发展,在于其载运量大而可获得巨大的经济效益。特别在油船及散货船方面,围绕提高载运量而研究开发的浅(超浅)吃水船型,能减少单位投资与运输成本,节省燃料等,可获得显著的经济效益,因而得到迅速发展;在客船方面,双体船型因能提高载客量且稳性好等,也是一种可以进一步开发完善的船型。

一种新的船型的出现,通常是造船或有关学科科学研究成果的反映,并依此作为新船型得以发展的保证。例如船舶阻力、推进、机型、自动化及新材料等方面的大量科研成果能大大加速船型的发展,并已取得显著成效。近些年来为了节能而积极开展的包括改进船体线型,采用低转速大直径螺旋桨、研制先进的机型、减少辅机燃料消耗等方面工作的进展,也促进了船舶的不断更新换代。

实践一再表明,船型的不断更新给船舶科学研究提出了许多课题和愈来愈高的要求,促使科学研究不断发展;而在科研中每取得一个进展与突破,又为开发新的船型奠定新的基础。

此外,为适合航线、航区等的实际情况(如客流、货流、航速、风浪等),而在现有船舶的基础上进行改型,以提高船舶的适用性与经济性;或者为开辟新的航线,而选择与确定合适的船型,也是船型研究与开发的工作内容。

下面将对船型论证的内容作简要介绍,并通过几型船舶的发展实例,来说明船型研究与开发的含意及其重要性。

## §16-2 船型论证简述

在提出一艘新船的设计建造任务时,必须进行多方面的可行性研究,探讨能达到最佳经济效益的途径以及所应采取的有关技术措施,从而明确对新船的各项使用要求及技术经济指标。一般就称这为船型论证。

通常,对运输船的船型论证大体要进行以下几方面的工作。

### 一、调查研究

主要在如下几个方面进行深入调查研究:

**任务要求** 对货船,如调查货物流量及流向的现状和发展趋势,包括货物批量的大小、货种、货物的积载因数、物理化学性质等。对客船和客货船,则主要是客流量、流向的现状和发展趋势,旅客成份,客流的均衡程度,搭载货物的情况等等。

**航线的水文、地理、气象条件** 包括航线(航区)各段航道的水深、宽度及弯道等对船主尺度的限制条件;航区的风浪情况对船的稳性、耐波性的要求;航道对船操纵性的要求等等。

**港口情况** 除了解港口的水文、地理、气象条件以及行船密度等对船的主尺度的限制及有关性能要求外,还应调查码头装卸设备的条件、装卸能力、货物集散条件及工作制度等对船舶装卸设备的配置、货舱口的数目和布置等的要求,并搜集各港口的规章、收费标准、装卸效率、进出的货批量、货种等资料,并加以分析。

**建造厂及修理厂的技术、经济资料** 包括了解生产设备、建造工艺、船台、船坞情况,并搜集建造厂的估价方法、相近实船的造价资料、典型设备和舾装品的造价等等。

**主要机电设备的配套情况** 包括主机、发电机组、甲板机械标准系列等的主要技术性能参数、价格及生产(包括进口)供应情况,新机型的研制计划等。

**现有我国运输船舶的技术、营运、经济资料** 技术资料包括船型特征、主尺度、布置、结构、性能、机型、重量、重心等。营运资料包括年营运天数,航行率,装卸效率,载重量利用率,生产时间和非生产停泊时间等历年资料。经济资料包括历年各项成本的情况,各项费用的计算方法、年收入、运量、营运收入等。企业的营运成本核算方法和考核指标。

**国内外同类型船舶情况** 包括当前的水平和发展趋势,主要技术资料、营运资料和经济资料等。

**国内外现行规范及公约** 了解我国现行规范及国际上有关的规范、规则及公约对设计船的特殊要求及限制等。

## 二、设立船型方案

在掌握了上述基础资料之后,就可以根据运输任务的要求和航线的各方面条件,从技术和经济综合的角度,即考虑技术上的可行性和合理性,经济上的有利性,设立船型方案。运输货船一般采用由不同载重量、航速、动力装置等组合成若干方案。客船(客货船)则由不同的客位、班期、客货比例等组合成若干方案。

方案中各变量的数值和范围依具体情况而定。大体有这样两种基本情况需加以区别而采用不同的处理方法:

第一种是属于具体航线的特定船型(如特定港口间的客船、客货船或货船)这种情况的具体使用任务要求较明确,各有关限制条件也较具体,故船型方案数目可少些。

第二种是属于某一标准船型的研究。这种船型因适应的使用条件较广泛,批量大,要结合航线、港口的各方面条件做系列的分析,首先应进行航线营运分析,并在此基础上设立较多的船型方案。这种情况中又可区分货物吨位受批量限制(如杂货船)和不受限制的情况(如大多数散货船和油船)。前一种情况的货物吨位变化数目可简化,后一种情况的吨位则根据航线的吃水、尺度的限制条件及经济性来确定。一般情况下应考虑的主要影响因素如下所述。

**载重吨位** 在货物批量不受限制的条件下,一般以取大的吨位有利,尤其是远航程船。在货物批量有限制的情况,也以取接近较大的货批量的平均值为有利,但应注意,如设立的吨位偏大,载货利用系数会降低,隐含着虚假的经济指标。

**航速** 航速对船的使用、造价、营运成本都有重要影响,是船舶选型的一项很关键的因素。因此,除客船、客货船需根据班期的要求来确定航速外,一般运输船在设立船型方案中,航速方面需要考虑的因素有:可选用的主机机型、主机价格、燃料和润料消耗及费用、单位运输成本、货运费单价、资金和物资周转以及竞争能力等,应根据具体情况选择与设立不同的航速方案。

**机型** 如有几种适用的机型可供选用,也常设立不同的机型方案。选取机型时,应特别注意耗油率、燃油的种类、维修的方便性、使用的可靠性等,对中、高速柴油机(用于中高速船舶)还应注意到主机的重量、尺寸、寿命、价格等等。

### 三、技术及经济计算

**技术计算** 确定各方案的主要要素及技术性能,如排水量、主尺度、重量、航速、稳性等等,达到能初步判定所论证的方案在技术上的可行性,并提供出经济计算所必需的 有关数据。

**经济计算** 进行经济性计算,主要要估算造价、计算营运成本及营运收入,并按实际情况确定主要及辅助经济指标。由于经济指标的计算并不复杂,一般可从衡准成本、收益、造价等方面多选取一些指标,提供选择方案时参考。在计算中要特别注意各种经济原始数据的准确性,以免造成假象。

### 四、选取最佳船型

对各方案的技术、经济计算结果进行分析比较后,选取最佳船型方案。但是不同的经济指标通常会反映出不同的最佳船型,例如以单位投资指标得出的最佳航速要比以最小单位运输成本的高些,而反映出的最佳船长则要短些。

总之,选取最佳船型实际上是一种综合分析的过程,采用何种经济指标为主,何种为辅,应根据当时的客规条件(如资金、航线等)研究确定。此外,选取船型方案时,有些技术性能(如稳性、耐波性等)在满足一般技术标准要求下,具体数值的高低难以与经济指标直接联系起来。因此,在选择船型方案时往往要凭借经验加以判断。

### 五、拟订设计任务书

将所选定的船型方案的技术要素加以明确规定,并补充营运上的其他要求或希望,提出如第三章所述的设计任务书。设计任务书是新船设计的依据。

## §16-3 船型开发举例

各类船舶总是沿着各自的规律而发展,有的船型不适合时代的要求而淘汰了;有的新船型被开发出来了;有的船型在沉默了一个时期后又在新的条件下新生了。历史的发展,形成了现今丰富多采的船舶世界。显然,船型的不断推陈出新,是造船事业兴旺发达的重要标志。下面对国内外几类船型的发展过程及实船船型情况作简要介绍,以说明船型研究与开发的重要意义,并期望能开阔视野、启发思路。

#### 一、沙船船型

沙船是我国古代传留下来的最著名的船型之一。我国长江口南北水域的情况有很大不同。南方海域海阔水深,多岛屿,因而有首尾尖瘦、吃水较深,有较好耐波性能和较大续航力的福船和广船。然而在北方,则由于西北高原自西向东的河流流向,水中夹带大量泥沙汇入东海,在沿海地区造成多沙多滩,甚至在海潮的顶托下形成沙洲,真是潮来一片水,潮退一片

滩。为了适应这种航区特点，古代人民创造了一种“履险如夷，走船如马”的沙船。这种船的特点是方头、方尾、平底及吃水浅等。由于平底，具有“坐滩”的特性；方头、方尾则增加了抗纵摇的阻尼；船身宽而扁平，如置扁平的木筏在水里不易倾覆而具有稳的特色。

由于这种船型的上述特点，极不利于“快跑”，于是人们利用稳性好的优点，增加船上帆的面积与高度，使之能更好地接受风力，这样就把稳性好转变为推力大，即这种船失之于阻力而得之于推进。

沙船至今仍活跃在江海的原因是它能很好地适应地域环境，性能优良之故。

## 二、从“长字”型到5000t级沿海客货船型

我国沿海各省人口稠密，水运条件优越，不冻良港很多，海上交通发展具有广阔的前景。但沿海的客运长期存在运力不足、亏损严重的局面。提高沿海客船的经济性是客船船型研究中急待解决的问题。下面从“长字”型到5000t级型的过程，根据前几年的营运情况，说明从减少成本、增加收入着手，提出符合实际情况的新船型是十分重要的。

在当前我国沿海客货船中，“长字”型已成为客运的主力之一，该型船为解决我国沿海客运的紧张状况起了重大的作用。这型船已建造10多艘，主要航行于申-青及申-连二条航线，经过约10年的使用，在完成客运任务方面，反映还是比较满意的。图16-1为“长字”型客货船简图，表16-1为其主要要素。

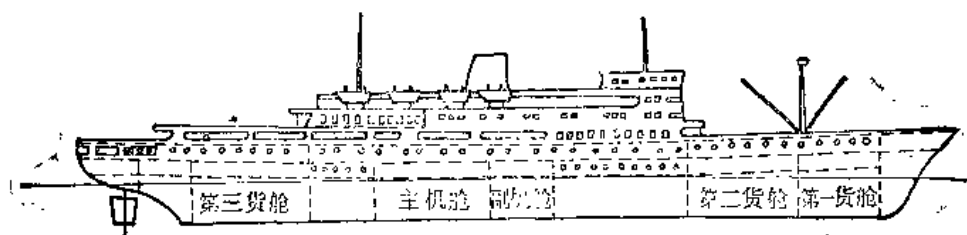


图16-1 “长字”型客货船简图

表 16-1 二型客货船的主要要素

项 目 \ 船 型	“长字”型	5000t级
总 长 (m)	133.00	120.00
垂线间长 (m)	124.00	108.00
型 宽 (m)	17.60	17.00
吃 水 (m)	6.00	5.80
型 深 (m)	10.90	9.80
方形系数	0.571	0.533
排 水 量 (t)	7703.00	5900.00
主机功率 (马力)	2×4500	2×3000
试航航速 (kn)	18.10	16.80
载 客 量 (人)	900	802
载 货 量 (t)	2000	1000~1200

但如从“长字”型的经济性方面分析, 这型船亏损情况比较严重。如其中七艘船前几年营运的平均年亏损情况见表16-2

表16-2 “长字”型客货船年平均亏损情况

项 目 \ 航 线	上海—大连	上海—青岛
平均航次客运量 (人)	749	846
平均航次货运量 (t)	1078	352
停 港 时 间 (h)	34~36	20~24
100%营运率年亏损 (万元)	-15.07	-45.68
80%营运率年亏损 (万元)	-34.93	-59.87

从表16-2可见, 营运率为80%时, 上海至大连航线年亏损近35万元(人民币, 以下同), 上海至青岛航线近60万元, 亏损情况比较严重。由于以往我国客船的投资由国家拨款, 故不计投资利息。如贷款造船, 则亏损将更严重。从实际营运情况看, 上海至大连航线的成本结构的平均值如表16-3。从表中可见, 与造价有关的成本(折旧费及修理基金提存)及燃料开支在总成本中所占份额很高, 达70~80%, 这是该型船亏损的重要原因。因此对新设计的船要改变亏损状态, 需从降低造价及减少燃油消耗两方面入手。对“长字”型进一步分析发现: ①上海至大连及上海至青岛这两条航线上的航次平均货运量各为1078t及352t, 其所需的舱容远低于此船的实有能力(参见表16-2), 既亏载又亏舱, 说明该船船型与航线不相配合; ②按班期要求, 选用的航速(试航航速18.10kn)偏高, 致使配备的主机功率过大, 造成造价上的浪费和燃油的消耗过大。基于上述分析, 结合航线的实际需要(如增加载客量, 减少载货量, 降低设计航速), 需建造新一代的客货船, 即以后建造的5000t级客货船。该船的简图见图16-2, 主要要素见表16-1。在实际营运中, 此船型航次收入仅较“长字”型少约9%, 然而航次总成本却要低约27%, 其中燃料费降低约33%, 折旧费及修理费降低约29%, 这样由于造价及

表16-3 上海至大连航线营运实际的平均成本比例

项 目 \ 折旧费标准	折旧费按船价的百分比计	
	2.22%	3.24%
总成本	100%	100%
其 中: 折旧费	17.88%	23.71%
修理基金提存	21.91%	20.36%
燃 料	33.51%	31.13%
工 资	8.96%	8.33%
润 料	3.63%	3.38%
物 料	2.22%	2.06%
港什费	11.87%	11.03%



燃料费的降低，在满足同样的客运要求下，经济性明显好转，基本上可做到扭亏为盈，该船的年盈亏情况见表16-4。

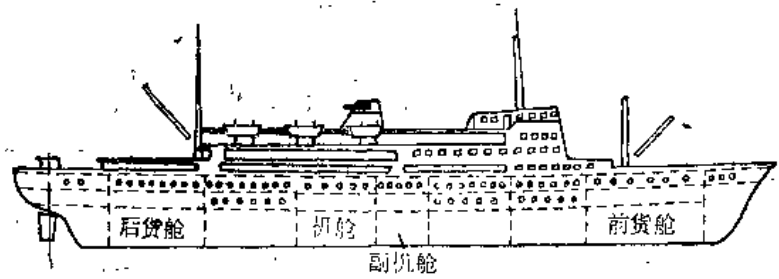


图16-2 5000t级客货船简图

表16-4 5000t型客货船的年盈亏情况(计算值)

航 线	营 运 率	
	100%	80%
上海-大连	盈约24.2万元	盈约1.79万元
上海-青岛	盈约0.97万元	亏约16.77万元

从上述二型船的比较可见，在船型研究上，弄清航线实际所需的基础数据，对设计建造一艘经济节能船型十分重要，对于有一定批量的船型，这点更显重要。

此外，在客船船型研究中如何“开流”，即增加旅客载量，以提高客船的收入，也是一个重要的方面。现已投入营运的申温线1500客位双体客船就是从这方面出发而提出来的新船型。

三、我国沿海的运煤、运油船型

在我国沿海货运中，煤及原油的运输所占的比重很大，如何总结现有船舶的营运实绩，采用新的措施，改进并开发经济效益高的新船型是一个十分现实而又非常重要的课题。

如从选择最佳经济航速来看，一般对一定航线及吨位的船相应有一个最佳的经济航速。且最佳经济航速随运费的提高及燃油价格的下降而提高，反之则减少。众所周知，大宗货物的运输，一般以较大吨位的低速船型为经济。下面以我国15000t级沿海运煤船为例来说明。该船主要要素为：垂线间长152m、型宽20.6m、吃水8.8m、方形系数0.741、主机功率8820 马力、航速为16kn，于1969年建成并投入营运。之后，由于运煤任务的繁重和旧船的退役需增加新船，就在该船的基础上进行改型，改型船的主要要素为：垂线间长153m、型宽22.0m、吃水8.8m、方形系数0.77、主机功率9000马力、航速15.7kn，即将载货量提高到16895t。该二型船在近年来的平均营运实绩(航行于同一航线)如表16-5(以百分比计)。

从表中可见，新船型每年平均多运约10万吨煤，而单位运输成本约低17%，单位耗油降低14%，可见收益之大。而且可以看出这一改进船型还有进一步提高效益的潜力。

再如1980年初，对沿海某地计划建立的一个燃煤火力发电厂用的运煤船方案进行技术经济论证时，从提高载货量入手，以求有较大幅度地降低每吨运输成本。目前在电厂附近的沿海海域，由于吃水所限以及其它一些原因，主要为载货量不超过3000t的船型。该型船船长为

表16-5 二型运煤船的营运实绩比较分析

	15000t级船	16000t级船	为15000t级船的百分数
总成本	100%	100%	108.3%
燃料	17.83%	16.93%	102.9%
润料	4.38%	3.24%	
材料	3.39%	4.23%	
港口费	11.36%	10.72%	
工资及附加费	6.39%	5.86%	
折旧费	23.36%	24.61%	114.2%
修理基金	31.27%	32.92%	114.2%
管理费	0.27%	0.25%	
其他(淡水、劳保等)	1.23%	1.25%	
年货运量(万吨)	55.2	65.8	119.2%
单位运输成本	100%		83.06%
单位耗油费	100%		86.00%

92m, 主机功率为3000HP, 航速为13.5kn。如新船型设计吃水限在5.8m以下, 并仍用原机型, 并考虑到避免在冬季北向逆风影响下航速过低, 且便于赶潮, 满载服务航速不宜低于10.5kn作为要求, 探索比较合理而经济的新船型。通过系列方案分析, 可得如图16-3所示的结果。由图可知。随载重量的增大, 吨成本下降而单位投资利润增加, 且DW大于1.0万吨后增长的趋势减缓。如取DW为1.0万吨的方案, 其主要要素为: 垂线间长130m、型宽21.0m, 最大吃水6.8m, 方形系数0.795、航速11.05kn, 则每吨成本约4.66元, 完成350万吨的年运煤任务约需8~9艘船, 投资约1亿元。与现在营运中的3000吨运煤船相比, 从成本来看, 完成350万吨运煤任务, 每年至少可为国家节省2000多万元; 从投资来看, 至少可减少5000万元。可见船型研究能获得多么大的经济收益。这仅从一个厂的运煤任务而言, 如在更大范围内采用新船型, 那么提供的经济效益就更可观了。为了能实现在5.8m以下吃水的万吨级船, 对大方形系数浅吃水船型进行了详细的技术可行性研究, 调查了现有船的营运情况, 参考并吸收了国外有关的经验及美国大湖船的模型试验资料, 进行了方案设计及船模试验。通过论证, 证明这一方案在经济上是十分有利的, 在技术上也是切实可行的。

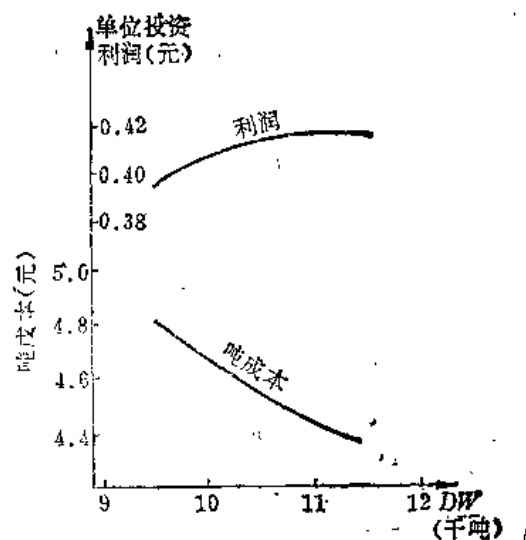


图16-3

同样, 在沿海运油船中, 改造船型可提供的潜力也是很大的。如在15000t级油船的基础上, 尺度适当加大, 主机保持不变, 载重量提高到24000t, 则从1980年、1981年两年营运实

绩的平均值相比,每吨运输成本可下降接近10%。

以上实例说明,我国沿海吨位甚大的煤、油运输船船型,虽然取得了很多研究成果,但提高经济效益的潜力仍很大,不失为船型研究与开发的一个重要方面。

#### 四、超浅吃水船型

自60年代开始,首先以油船作先导开始大型化,跟着散货船也朝大型化发展。在这些船舶的大型化中带来了明显的经济效益。

在船舶大型化的过程中,碰到了港口及航道水深的限制。因此各国开始着手研制浅吃水船。采用的主要措施是减少长宽比( $L/B$ ),增大宽度吃水比( $B/T$ ),增大方形系数( $C_b$ ),从而形成一种短胖型的船舶,称浅吃水肥大型船。60年代以来各国相继开展的研究大体尺度在  $L/B > 5$  和  $B/T < 4$  的单桨船(常规船的 $B/T$ 在2.5左右)。目前这类船舶的技术已趋成熟,其实践表明,可大大降低运输成本,减少投资,节省燃料,提高经济效益。例如吃水小于7m的常规船载重量为五千多吨,而浅吃水船可达一万多吨,载重量增大了一倍左右,而每吨运输成本要降低20%左右,可见浅吃水船经济上的优越性。

近年来又开展了 $B/T > 4$ 的超浅吃水船型的研究。日本三菱重工开发研制的超浅吃水船,最初拟由两艘狭长的动力推进船中间夹一宽大的驳船组成。后来,采用了类似的结构,建成10万吨级的超浅吃水油船,其示意图如图16-4。该船船体扁平肥大,两只螺旋桨分置于两舷侧,尾部设有隧道。该船吃水为10m,载重量达10.5万吨, $B/T = 6.4$ ,而一般常规船10m吃水的载重量仅为4.0万吨左右,即载重量为一般船的2.5倍。 $B/T$ 为6.4的超浅吃水船已有交付使用的,这表明 $B/T$ 增大后所产生的一系列重大技术问题已得到解决,这种船型将成为一种具有广泛发展前途的新船型。

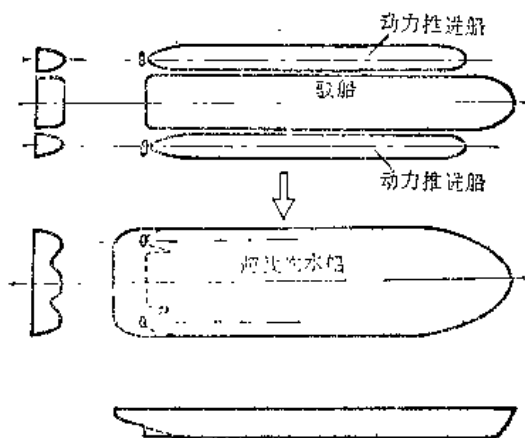


图16-4 超浅吃水船示意图

从以上几例可见,船型研究是客观需要的反映,船型开发必需考虑使用环境的限制,船型发展(特别是运输船舶)的最普遍、最活跃的因素是经济性。一种船型的出现、巩固与发展的关键是在经济性上显示出优越性,否则就没有生命力。一种船型如不能不断地更新与发展,必将为其他船型所淘汰;同样过去或现在未能获得发展或已遭淘汰的船型,在将来,在另一种条件下,又有可能大放异彩。这些都已为造船及航运的历史所证实。

事物总是在发展的,随着客观形势的要求,科学技术的不断发展,一代代具有更高运输

效率，更好经济性的船型必将不断的涌现出来，而层出不穷的新的船型又会把造船科学推向更高级的阶段，造船工作者有着施展才能的广阔天地。

### 复 习 思 考 题

1. 什么叫船型？船型研究包含哪些方面的内容？
2. 船型论证的方法、步骤是怎样的？
3. 简述进行新船型研究开发的重要意义，并举例加以说明。

# 第十七章 现代船舶设计方法概述

## §17-1 概 述

从方法论的角度来看,船舶设计大体经历了与一般工程设计相似的与生产发展相适应的发展阶段,即直觉设计、经验设计及模拟试验设计阶段。

由于在传统的工程设计,如船舶设计中,在许多方面还得凭经验,还不能全面运用数学方法,因此严格说还不算“真正发展了”的科学。在客观上,掌握设计规律带有很浓厚的经验性,这表现在评定设计时,不仅难以定量地、精确地确定最佳值,而且常常出现“公说公有理、婆说婆有理”的局面。设计质量也常常取决于设计者个人的素质、工作经验和知识结构。因此,长期以来虽然这些方法有效地为工程技术人员所掌握、运用,设计出了一艘艘船舶,起到了并将继续起着重要的作用。但是随着人们对船舶产品的精神、物质与功能要求日益复杂,如船舶的安全性、经济性、适用性、舒适性、美观性与先进性等等,都要求设计者作出更周密的考虑,这种客观发展的要求,必然迫使设计向更严密的科学方向进化。

从设计学科发展的过程来看,当前的进一步发展,往往并不体现在新的设计公式的发现,而是反映在设计手段及方法的进步与创新。

现代设计法是集近代与现代各种科学方法论之精髓,运用于设计领域,揭示与描述了现代设计与分析的特征、途径、方法、规律、属性与法规,它使设计活动产生了质的飞跃,从随意的、经验的、感性的、静态的与手工式的传统设计跃变为必然的、科学的、理性的、动态的与计算机化的现代设计。

科学方法论是理想与现实之间的桥梁与纽带,因此特别是在一些复杂的工程中,运用现代设计法更具有重要性与紧迫性。

根据当前科学方法论的发展,涉及广义设计与分析方法的方法论,经聚类分析后可简要归纳为下列具有普遍意义的方法(其特征为具有定量数学模型)<sup>[57]</sup>:

1. 信息论方法 其中包括有预测技术法、方差分析法、相关分析法、谱分析法及信息合成法等。

2. 系统论方法 其中包括有系统分析法、聚类分析法、逻辑分析法、模式识别法、系统辨识法及人机工程及设计方法学等。

3. 控制论方法 其中包括有动态分析法、振荡分析法、柔性设计法、动态优化法及动态系统辨识法。

4. 优化论方法 其中包括有优化设计法及优化控制法等。

5. 对应论方法 其中包括有相似设计法、模拟分析法、仿真技术及仿生技术等。

6. 智能论方法 其中包括有计算机辅助计算法、CAD、CAE及智能机器化方法等。

7. 寿命论方法

8. 离散论方法

9. 模糊论方法

## 10. 突变论方法

以上就是在设计与分析领域应用的十大科学方法论,其他如决策论、运筹论等,有的用于大系统,有的只是上述十大科学方法论的综合运用;符号论、模型论、数学方法等则属于一般科学方法论。

船舶设计方法在现代设计法不断发展的背景下,正在发生深刻的变化,並已取得了一些明显的进展。

从前几章叙述的内容可知,本书中所讲的船舶设计,主要是指从任务书确定,在所论的范围内提出各种尺度方案,对各方案通过技术性能与经济指标的计算,並根据计算结果,设计人员凭藉自己的知识和经验进行由此及彼、由表及里的综合评判,最后选出一套最优的方案(包括船的尺度、型线及总布置等)。这个过程,具有涉及面广且各因素之间相互制约,需要经过多次反复才能完成,其示意图如图17-1。

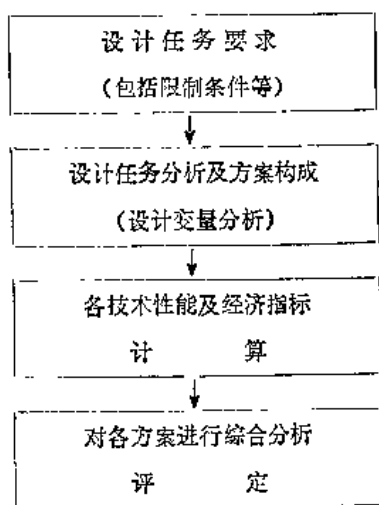


图17-1 船舶设计过程示意

自60年代以来,计算机在我国船舶设计中的应用,已经历了几个阶段性的历程,即从单项计算程序→单项程序的组合系统→集成程序系统→交互设计系统等,为船舶设计开创了新的途径,並已成为船舶设计中不可缺少的有力工具,並使设计工作无论在速度还是在质量等方面都有了极大的提高,並显示出光辉的前景。

另一方面,随着计算机应用技术的发展,在船舶设计方法上也发生了巨大的变化。如今在制订设计任务书时的船队分析或运输系统分析或多种运输方式的综合分析等已逐步采用系统论方法中的系统分析法及对应论方法中的仿真技术等;在设计前对运输需求的预测已采用技术预测法中的复合预测、模糊回归分析法等;在船舶方案分析中,从开始采用的网格法(或称变值法,即系列改变各设计变量组成一系列方案),到逐步采用优化论方法中的优化设计法及正交设计法等等都取得了明显的进展;但对各方案的最后综合评判,由于船舶的综合目标函数难于用数学公式表达,目前通常采用多目标加权处理法、多目标分层序列法等,或采用由设计人员凭经验经综合评判后最后选定。所以有关船舶多目标寻优的综合评判方法的研究,至今仍在发展开拓之中。

在船舶技术美学中,以统计分析美学信息为基础的科学——信息论美学及系统论方法中的人机工程已引起船舶设计人员的重视。

根据船舶设计的特点,当前在设计领域里,对智能论方法——专家系统及模糊论方法,已引起人们很大重视,并在各个方面进行探索性的研究。

以下对优化设计法、正交设计法、模糊论方法及专家系统等有关方法作一简要介绍。

## §17-2 优化设计法简介

优化设计法就是根据选定的目标,遵循某些规定的限制(约束),运用数学方法,去探求最优设计方案。

### 一、基本情况

在船舶主要要素确定中,最优化的基本过程大体如图17-2所示。

关于在船舶工程中的应用的最优化算法,已有不少论著,如文献[50]、[52]、[53]等,因此这里不详述了。

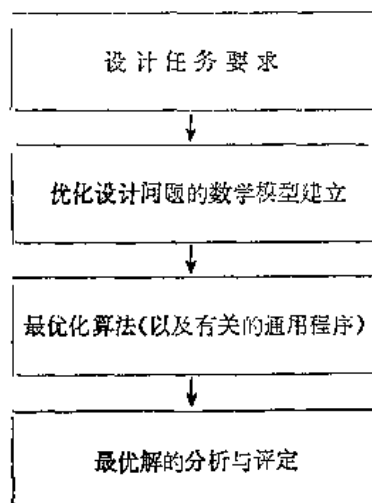


图17-2 优化的一般过程

### 二、数学模型

1. 设计变量 是由设计者根据任务要求自由确定的变量。在船型方案论证中,设  $X$  为设计变量的某个组合, $X$ 可理解为由某方案的  $n$  个变量  $x_1, x_2, \dots, x_n$  定义的  $n$  维空间中的一点,即

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T. \quad (17-1)$$

在船舶设计中,设计变量主要有主要尺度、船型系数、载重量及主机功率等。

2. 约束条件 在船舶设计中,设计变量一般总要受到某些条件的限制,这些限制统称为约束条件。设计约束一般分为二类,一类是直接关于设计变量变化范围的限制称限界约束,如船长小于等于某一数值,  $C_b$  在某一范围内,等等;另一类是关于状态变量的限制,称为状态约束,如对设计船舶技术性能及经济指标所提出的一些限制条件,如初稳心高的下限值、横摇周期的下限值、货舱容积的下限值、造价的上限值及航速的下限值,等等。因为状态变量也可以表示为设计变量的函数,因此,上述限制经过解析和整理,都可以归结为关于

设计变量的不等式条件或等式条件, 记为:

$$\begin{aligned} g_j(X) &\geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, J, \\ L_k(X) &= 0, \quad k = 1, 2, \dots, K. \end{aligned} \quad (17-2)$$

每一个约束条件, 在 $n$ 维设计空间中, 表现为一个超曲面(或超平面), 所有这样的超曲面(或超平面)共同组成约束界面, 它将设计空间分为两个区域: 一个是可行域; 另一个是非可行域。在可行域内的设计方案, 是满足所有约束条件的, 称为容许点; 在非可行域内的设计方案, 是不满足或不全满足约束条件的, 称为非容许点。

3. 目标函数 一般来说, 处于可行域内的点是非常多的, 它们所对应的设计方案往往有很大的差别。在其中寻求一个最合适的方案, 就是设计所要达到的目标。为了用数学方法对目标的实现进行指导, 需要把所追求的目标数量化, 这可以通过引进一个或几个表征设计优劣、由设计变量所决定的函数来实现, 这种函数, 就称为目标函数, 记为 $F(X)$ 。

$$F(X) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (17-3)$$

在所有可行方案中, 使目标函数达到最小的那个解 $X^*$ (或最大值, 即 $-F(X)$ 的最小值)称为最优方案。

随着对设计对象的要求不同, 目标函数可以有不同的内容, 如航速最大、造价最低、净现值最大、必要运费率最小, 等等。

#### 4. 优化设计问题的数学表达

综上所述, 优化设计问题可表达如下:

$$\begin{aligned} \text{选择设计变量} \quad & X = \{x_i\}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ \text{满足约束条件} \quad & g_j(X) \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, J, \\ & L_k(X) = 0, \quad k = 1, 2, \dots, K, \\ \text{并使目标函数} \quad & f(X) \Rightarrow \min(\text{或} \max). \end{aligned}$$

或简记为:

$$\begin{aligned} \min f(X), \quad & X \in R^n; \\ \text{S.T.} \quad & g_j(X) \geq 0, \\ & L_k(X) = 0. \end{aligned} \quad (17-4)$$

### 三、最优方案选择

对多目标的设计问题, 最优方案的评定可采用加权法或凭设计者的经验选择等方法确定。有的采用多目标分层序列混合整数规划法<sup>[64]</sup>, 此法就是把多目标问题化为一个单目标问题序列, 如设取五个目标函数, 首先按重要程度排成一个序列, 若设此序列为造价、年利润……、等等, 则首先找出造价最低的方案, 然后在造价允许变动(即目标函数的宽容限度)的可行域内(如5%)接着找出年利润最高的方案, 这样一直到计算完最后一个目标函数为止。例如当以造价为目标函数的最优解找到之后, 根据造价的宽容限度构造一个约束条件, 加到以年利润为目标函数的优化中去。造价宽容限度构造的约束条件为:

$$G = \frac{P}{(1+\alpha)P^*} - 1 \leq 0; \quad (17-5)$$



式中,  $P$ ——搜索过程中任意点所对应的造价;

$P^*$ ——造价的最优解;

$\alpha$ ——对造价的宽容限度。

#### 四、结语

用优化设计法确定船的主要要素的基本内容,可归纳成如图17-3所示的框图。图中设计模型即根据输入的设计变量及有关数据,计算各主要要素及目标函数。

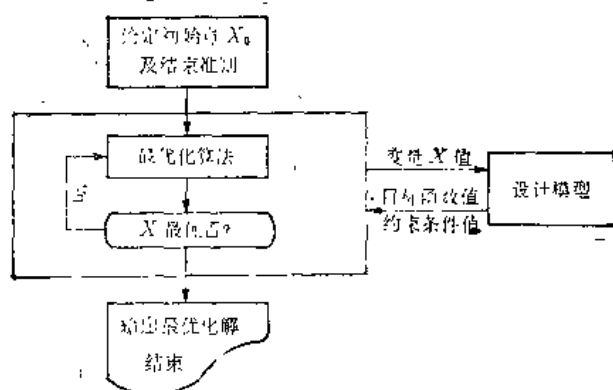


图17-3 优化设计法确定主要要素的框图

因此用优化设计法确定船的主要要素的过程可简要归纳如下:

- ① 根据具体设计问题确定设计变量、目标函数及约束条件;
- ② 给定设计变量的初始值 $X_0$ 及结束准则(即计算精度);
- ③ 在设计模型中建立有关技术性能及经济指标的数学模型,并据此计算出口标函数及约束条件的数值;
- ④ 选择适当的优化算法,利用优化模型,按一定的寻优规律,产生出新的 $X$ 值,输入给设计模型,设计模型按新的 $X$ 值计算目标函数及约束条件值,再返回到优化模型,如此反复,逐步向最优解逼近;
- ⑤ 当新旧 $X$ 值间的目标函数值差距在计算精度以内时,此时的 $X$ 值即可认为是最优解 $X^*$ 。

最优化方法能以很快的速度给出最优解。但设计者往往还要知道目标函数在最优解附近的变化情况,此时可在最优解附近按一定规律取若干点进行计算并得出计算结果。这样,在用最优化方法取得最优解的基础上,再以最优解附近的稀疏网格加以补充,可达到既能求得最优解,又能知道其附近情况的目的。

### §17-3 正交设计法简介

确定船的主要要素时,通常采用网格法及优化设计法。近年来正交设计法引入了船舶主

要素优化的领域<sup>[67]</sup>。采用正交法的优点是,计算工作量小、直观、方法简便。现结合某散货船主要要素优化,介绍正交设计法的应用<sup>[68]</sup>。

### 一、设计变量及其范围的确定

例如对散货船在优选时常用的设计变量有:  $L/B$ 、 $B/T$ 、 $C_b$ 、 $DW$ 、 $P$ (主机最大持续功率)等。若尺度受航道限制,如吃水 $T$ 取为某一定值,则可仅取 $L/B$ 、 $C_b$ 、 $DW$ 及 $P$ 等为自变量。若主机型号已选定, $DW$ 已由任务书确定,则可取自变量为 $L/B$ 、 $B/T$ 及 $C_b$ 等,其余类推。

根据国内外实船资料分析,1~10万吨常规散货船的尺度比及系数的大致范围为: $5.5 \leq L/B \leq 7.5$ ,  $2.1 \leq B/T \leq 3.0$ ,  $0.76 \leq C_b \leq 0.85$ 。

### 二、目标函数的选择

船型论证的目标函数一般可分为技术衡准和经济指标两大类。对于常规散货船的技术衡准有:满载初稳心高、压载时横摇固有周期、航速等。常用的经济指标有:造价、吨成本、投资回收年限、净现值、吨海里油耗、必要运费率等。

在计算目标函数时,最重要的是合理地选择(或建立)数学模型(如重量估算公式、阻力估算图表等),否则无论采用何种优化方法,也得不出合理的结果。

### 三、正交表的使用

正交表是正交设计的基本出发点。数学家们已经构造出很多正交表<sup>[69]</sup>供使用者选用。选用时可根据变量的个数和变量取值的水平数,选取合适的正交表。例如,对某散货船进行船型论证时,选取五个变量,每个变量等距地取五个水平,即自变量的取值如表17-1所示。

表17-1 自变量的取值举例

自变量 水平	$L/B$	$B/T$	$C_b$	$DW$	$P$
1	6.9	2.5	0.79	8000	2500
2	7.0	2.6	0.80	9000	3000
3	7.1	2.7	0.81	10000	3500
4	7.2	2.8	0.82	11000	4000
5	7.3	2.9	0.83	12000	4500

据此可选取如表17-2的 $L_{25}(5^5)$ 正交表。

表17-1中的数字是与表17-2中相应的各变量的水平号。因此按表17-2的排列就组成25个方案。如方案5,其变量取值如表17-3。

表17-2  $L_{25}(5^6)$  正交表

方案号	$L/B$	$B/T$	$C_b$	$DW$	$P$	空列
1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4	4
5	1	5	5	5	5	5
6	2	1	2	3	4	5
7	2	2	3	4	5	1
8	2	3	4	5	1	2
9	2	4	5	1	2	3
10	2	5	1	2	3	4
11	3	1	3	5	2	4
12	3	2	4	1	3	5
13	3	3	5	2	4	1
14	3	4	1	3	5	2
15	3	5	2	4	1	3
16	4	1	4	2	5	3
17	4	2	5	3	1	4
18	4	3	1	4	2	5
19	4	4	2	5	3	1
20	4	5	3	1	4	2
21	5	1	5	4	3	2
22	5	2	1	5	4	3
23	5	3	2	1	5	4
24	5	4	3	2	1	5
25	5	5	4	3	2	1

表17-3 方案5的变量取值

变 量	$L/B$	$B/T$	$C_b$	$DW$	$P$
水 平 号	1	5	5	5	5
取 值	6.9	2.9	0.83	12000	4500

利用上述25个方案选优相当于在 $5^6 = 3125$ 个方案中选优。

#### 四、主要尺度及目标函数计算

在确定了基本参数和建立起数学模型后,就可对表17-2中的25个方案进行主要尺度及目标函数计算。如以航速( $V_s$ )及吨成本( $cost$ )为目标函数,可得如表17-4的结果。

表17-4 计 算 结 果

主要要素 方案号	L	B	D	T	$C_b$	DW	P	$\Delta$	$V_s$	cost
1	118.30	17.14	9.09	6.86	.790	8000	2500	11329	11.97	4.98
2	124.06	17.98	9.18	6.92	.800	9000	3000	12724	12.25	4.93
3	129.60	18.78	9.25	6.96	0.810	10000	3500	14143	12.45	4.89
4	134.82	19.54	9.30	6.98	.820	11000	4000	15541	12.53	4.90
5	139.82	10.26	9.34	6.99	.830	12000	4500	16942	12.56	4.94
6	128.04	18.29	9.60	7.32	.800	10000	4000	14133	13.02	5.03
7	133.30	19.04	9.64	7.32	.810	11000	4500	15525	13.11	4.99
8	137.37	19.62	9.64	7.27	.820	12000	2500	16563	10.79	4.16
9	122.62	17.52	8.45	6.26	.830	8000	3000	10500	11.86	5.62
10	131.48	18.78	8.64	6.48	.790	9000	3500	13028	11.95	5.19
11	135.68	19.11	10.01	7.64	.810	17000	3000	16551	11.76	4.18
12	121.28	17.08	8.75	6.57	.820	8000	3500	11508	12.54	5.77
13	127.16	17.91	8.84	6.63	.830	9000	4000	12926	12.62	5.71
14	135.74	19.12	9.02	6.83	.790	10000	4500	14431	13.63	5.24
15	140.01	19.72	9.05	6.80	.800	11000	2500	15485	11.23	4.34
16	125.58	17.44	9.18	6.98	.820	9000	4500	12918	13.11	5.81
17	130.02	18.06	9.22	6.95	.830	10000	2500	13954	11.01	4.63
18	138.56	19.25	9.37	7.13	.790	11000	3000	15431	12.14	4.39
19	143.87	19.98	9.39	7.14	.800	12000	3500	16922	12.34	4.43
20	128.50	17.85	8.24	6.15	.810	8000	4000	11787	13.15	6.04
21	133.69	18.31	9.62	7.33	.820	11000	3500	15346	12.00	4.72
22	142.14	19.47	9.74	7.49	.790	12000	4000	16882	13.03	4.78
23	127.16	17.42	8.51	6.45	.800	8000	4500	11786	13.71	6.21
24	131.89	18.07	8.61	6.45	.810	9000	2500	12839	11.55	4.86
25	137.67	18.86	8.68	6.50	.820	10000	3000	14274	11.73	4.89
总 平 均									12.36	5.01

#### 五、变量效应的直观分析

在正交设计中,对表17-4的计算结果可用多种方法进行分析,如方差分析、回归处理、变量效应的直观分析等。在船舶的尺度优化中,利用变量对目标的效应进行直观分析是十分

简单而又有效的分析方法。现作简要介绍。

### 1. 计算各变量取各水平时对目标函数的效应

自变量 $X$ 取第 $i$ 水平时, 目标函数 $Y$ 的平均值 $\bar{Y}$ 与 $Y$ 的总平均值 $U$ 之差称为 $X$ 第 $i$ 水平时对目标函数 $Y$ 的效应。

从表17-4中知,  $V_s$ 的总平均 $U = \sum V_s / 25 = 12.36 \text{ kn}$ 。

当 $C_b$ 取第二水平时, 即 $C_b = 0.80$ , 从表17-2知, 所对应的方案号是2、6、15、19、23这5个方案, 其对应的 $V_s$ 的平均值为:

$$\bar{V}_s = (12.25 + 13.02 + 11.23 + 12.34 + 13.71) / 5 = 12.51。$$

所以 $C_b$ 取第二水平时的效应 $= 12.51 - 12.36 = 0.15$ 。

与表17-1对应, 将各变量对目标的效应列成表格, 则表17-5是各变量取各水平时对 $V_s$ 的效应; 表17-6是对 $\text{cost}$ 的效应。

从表17-5中的“平方和”行可以看出, 在本例的自变量取值范围内,  $P$ 对航速影响最大, 其次是 $C_b$ 和 $DW$ 。因此 $P$ 、 $C_b$ 、 $DW$ 是主要影响因子。 $L/B$ 、 $B/T$ 对航速的影响甚小, 可以忽略。

表17-5 各变量取各水平时对 $V_s$ 的效应

变量 水平号	$L/B$	$B/T$	$C_b$	$DW$	$P$	空列
1	-.01	.01	.38	.28	-1.05	-.01
2	-.02	.03	.15	.13	-.41	.00
3	-.01	-.02	.04	.01	.09	-.02
4	-.01	.02	-.22	-.16	.51	.03
5	.04	-.04	-.35	-.27	.86	-.00
平方和	0.0023	0.0034	0.339	0.194	2.278	0.0014

表17-6 各变量取各水平时对 $\text{cost}$ 的效应

变量 水平号	$L/B$	$B/T$	$C_b$	$DW$	$P$	空列
1	-.08	-.07	-.16	.71	-.42	-.01
2	-.02	-.05	-.03	.29	-.21	.01
3	.04	.06	-.02	-.08	-.01	.01
4	.04	-.00	.09	-.35	.22	.01
5	.02	.07	.11	-.58	.42	-.02
平方和	0.0104	0.0159	0.0471	1.053	0.445	0.0008

同理, 从表17-6中“平方和”行可以看出, 对 $\text{cost}$ 影响最大的是 $DW$ , 其次是 $P$ 及 $C_b$ 等。

### 2. 确定自变量的最优搭配及其目标函数最大估计值 $V_s$ 最大值的估算

$$\begin{aligned}
 C_b & \begin{cases} \text{取第一水平, 即 } C_b = 0.79, \text{ 效应最大为 } 0.38; \\ \text{取第五水平, } C_b = 0.83, \text{ 效应最小为 } -0.35. \end{cases} \\
 DW & \begin{cases} \text{取第一水平, 即 } DW = 8000, \text{ 效应最大为 } 0.28; \\ \text{取第五水平, } DW = 12000, \text{ 效应最大为 } -0.27. \end{cases} \\
 P & \begin{cases} \text{取第五水平, 即 } P = 4500, \text{ 效应最大为 } 0.86; \\ \text{取第一水平, } P = 2500, \text{ 效应最小为 } -1.05. \end{cases}
 \end{aligned}$$

此时 $V_s$ 的最大估计值为:

$$\begin{aligned}
 V_s &= \text{总平均} + \text{各主要因子的最大效应} \\
 &= 12.36 + 0.38 + 0.28 + 0.86 = 13.88(\text{kn})
 \end{aligned}$$

当取 $C_b = 0.79$ ,  $DW = 8000$ ,  $P = 4500$ , 並任取 $L/B = 7.3$ ,  $B/T = 2.6$ 时, 再对此方案计算目标函数 $V_s$ , 可得最大值 $V_s = 13.87\text{kn}$ 。比较估算值与计算值可得:

$$\text{绝对误差} = |13.87 - 13.88| = 0.01,$$

$$\text{相对误差} = \frac{0.01}{13.87} = 0.07\%。$$

$V_s = 13.87$ 比表17-4中的25个方案的 $V_s$ 都大。而且 $C_b$ 最小、 $DW$ 最小、 $P$ 最大, 得到航速最大, 符合客观规律。因此, 对于 $V_s$ 可直接应用变量效应分析方法, 找出 $V_s$ 最大时的各变量的取值, 同时可用效应相加求得 $V_s$ 的最大值。其余技术指标也有相同的规律。

同理可求得 $C_b = 0.83$ ,  $DW = 12000$ ,  $P = 2500$ 时,  $V_s$ 得最小值, 且 $V_s = 12.36 - 0.35 - 0.27 - 1.05 = 10.67\text{kn}$ 。

$\text{cost}$ 最小值的估算

当 $L/B = 6.9$ ,  $B/T = 2.5$ ,  $C_b = 0.79$ ,  $DW = 12000$ ,  $P = 2500$ 时,  $\text{cost}$ 取得最小值, 即

$$\text{cost} = 5.01 - 0.08 - 0.07 - 0.16 - 0.58 - 0.42 = 3.7。$$

如再对此方案直接计算目标函数 $\text{cost}$ , 则可计算得 $\text{cost} = 3.95$ , 此值比表17-4中的25个方案的 $\text{cost}$ 均小, 符合客观规律, 确属最小值。比较估算值与计算值, 则得

$$\text{绝对误差} = |3.95 - 3.7| = 0.25,$$

$$\text{相对误差} = \frac{0.25}{3.95} = 6.3\%。$$

从上述比较中看出, 对于吨成本直接用效应相加作为目标值, 误差较大, 可见变量间的交互作用不可忽略。但是用效应的直观分析法求得的变量水平的最优搭配是正确的。其余经济指标也有相同的规律。

## 六、几点结论

在确定主要要素时, 利用正交设计法选优是可行的。而且计算工作量少, 计算机程序处理也简单, 易于在微机上实现;

对各项指标, 可用直观方法选出自变量的最优搭配, 并用各变量的效应直接相加求得目标值。对于经济性指标可找出自变量的最优搭配后, 重新计算目标值;

当 $DW$ 、 $P$ 的变化范围较大时, 它们对经济性指标的影响特别显著, 因此在尺度论证时, 可先假定 $L/B$ ,  $B/T$ ,  $C_b$ 不变, 优化 $DW$ 和 $P$ , 然后再在确定的 $DW$ 和 $P$ 下, 优化 $L/B$ ,  $B/T$ 及 $C_b$ 。

## §17-4 船舶设计中的模糊性

以1965年美国控制论专家查德教授发表《模糊集合》论文为起点,诞生了模糊数学<sup>[53]</sup>。模糊数学是用数学方法研究处理“模糊性”现象的数学。模糊数学的出现为电子计算机仿效人脑,对复杂系统进行识别、判断提供了新的途径,引起了广泛的重视。

深入研究船舶设计中的模糊因素,努力在船舶设计中探索模糊数学方法的运用,无疑是推进船舶设计现代化的重要途径。

### 一、船舶设计中的模糊性

所谓模糊性主要是指客观事物差异的中间过渡中的不分明性。例如“开水”与“非开水”之间,有明确的临界值。而“热水”与“凉水”之间,就没有清晰的分界点。处于中介过渡阶段的温水,不能简单地判定它是热水,还是凉水。它既可以说是某种程度的热水,又可以说是某种程度的凉水。客观事物在相互联系和相互过渡时所呈现出来的这种“亦此亦彼”性,就是事物的模糊性。

模糊数学的应用决不是企图取代那些现实生活中能够精确描述的方面,而只是把数学的应用领域加以扩大,用这种手段去描述“精确”所不能或难以说明的领域。

船舶设计包括功能因素和精神因素,尤其是大量的精神因素是一种有别于纯数值运算的创作活动,充满多样性及其它一些微妙的情趣,它浸染着模糊色彩。如船舶造型中的“雄伟”、“轻巧”、“简洁”以及色彩的感效果等都具有典型的模糊特性。从船舶总体设计方面(着重功能因素)来看,具有如下几方面的模糊因素:

#### 1. 限制条件(约束)所包含的模糊因素

外界环境对船舶设计的限制有时也表现出一定的模糊性,有些限制和要求常常不是严格的,具有一定的伸缩性。例如根据航道和码头等情况,对船长和吃水作适当限制等等,这些限制有时并不是用绝对的“是”或“不是”来回答。

#### 2. 评价指标(目标)所包含的模糊因素

一项工程设计的限制条件和质量指标一般是相关联的。当限制条件放宽时,表征质量指标的目标值就可能增加;反之,限制条件加严时,目标值就会下降。在实际设计中,就常常需要作出如下决策:在可以容忍的约束放宽情况下,尽可能增加目标值;或者在较为满意的目标值情况下,加严某些限制。比如,为减少成本而放宽精度限制;在可以接受的投资费用情况下,为了安全和舒适而加严船体强度和刚度限制等等。这类问题的解决,将涉及很多模糊因素,构成一个模糊判决问题。

#### 3. 多个评价指标间的协调

一项规模较大的工程,往往具有多种要求,相应存在着若干个评价指标,需要适当地“协调”和“兼顾”。比如,对一艘船舶的设计,要兼顾航速、成本、利润,及至能耗、舒适性等技术经济指标;侧重于航速时,将设计出较尖瘦的船舶;侧重于成本和利润时,将设计出肥大的船型。这里的“协调”、“兼顾”、“侧重”等,都是模糊概念,必须借助模糊数学来使之定量化,并进行运算,得到令人满意的最优方案,成为多目标模糊综合评判问题。

#### 4. 模糊主观信息的表达

任何工程项目,都是根据人们的某种需求来进行设计、建造(或施工)的,交付使用以后的运行、管理,也要靠人来进行。因此,一项设计是否“优”,需要考虑用户(或主顾)的要求;同时,也要体现设计者的经验、观点和判断。而人类的语言、心理、思维逻辑等,大都具有模糊性,这就导致人们经验、观点、意愿等,包含着模糊性,可以称为设计中的模糊主观信息。它必须借助模糊数学才能很好地表达,只有恰当地表达和处理了这类模糊主观信息,才能使设计方案真正实现优化。

## 二、模糊综合评判法举例<sup>[62]</sup>

某船在初步设计时,用经典优化方法获得了五个较好方案,整理如表17-7,试运用模糊综合评判方法进行方案的优选和排序。

### 1. 构造指标集

选取试航航速( $u_1$ )、年利润( $u_2$ )、吨(货运)成本( $u_3$ )、造价( $u_4$ )、投资回收年限( $u_5$ )等五个指标,组成指标集,记为:

$$u = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5) \quad (17-6)$$

表17-7 某船五个优化方案

方案			1	2	3	4	5
参数与指标	单位						
船 长	m		253.00	230.00	260.00	245.00	237.08
型 宽	m		34.67	36.72	34.43	34.96	35.78
吃 水	m		16.00	16.00	15.72	16.00	16.00
方 形 系 数	—		0.826	0.845	0.829	0.840	0.845
型 深	m		22.03	21.69	21.85	21.91	21.80
排 水 量	t		119143	117366	119368	118384	117817
载 重 量	t		100000	100000	100000	100000	100000
载 货 量	t		96924	96901	96920	96917	96909
主 机 功 率	HP		20100	20100	20100	20100	20100
初 稳 心 高	m		0.60	1.70	0.60	0.86	1.27
试 航 航 速	kn		16.29	16.00	16.31	16.19	16.09
年 利 润	万元		2120.4	2112.4	2113.7	2119.5	2116.2
吨 成 本	元/吨		8.75	8.57	8.85	8.67	8.61
造 价	万元		4266.8	4014.5	4369.2	4158.7	4078.3
投资回收年限	年		2.01	1.90	2.09	1.96	1.93

### 2. 给出恰当评判,确定满意度曲线或评分表

设计对象的每项品质指标,总是存在一个允许取值区间,记为 $[m_i, M_i]$ 。设在该区间上定义一个相应于最优值的模糊子集 $\tilde{A}_i$ :

$$\tilde{A}_i = \int_{u \in [m_i, M_i]} \frac{\mu_{A_i}(u_i)}{u_i} \quad (17-7)$$



式中,  $\mu_{\tilde{A}_i}(u_i)$  是模糊子集  $\tilde{A}_i$  的隶属函数, 它表征着对相应品质指标值的满意程度, 因此从工程角度称其为满意度函数(曲线)。对满意度随品质指标值单调增加的情况,  $\mu_{\tilde{A}_i}(u_i)$  的形式为:

$$\mu_{\tilde{A}_i}(u_i) = \begin{cases} 0, & \text{当 } u_i \leq m_i; \\ \zeta_i(u_i), & \text{当 } m_i < u_i < M_i; \\ 1, & \text{当 } u_i \geq M_i. \end{cases} \quad (17-8)$$

满意度随品质指标值单调下降的情况,  $\mu_{\tilde{A}_i}(u_i)$  的形式为:

$$\mu_{\tilde{A}_i}(u_i) = \begin{cases} 1, & \text{当 } u_i \leq m_i; \\ \zeta_i(u_i), & \text{当 } m_i < u_i < M_i; \\ 0, & \text{当 } u_i \geq M_i. \end{cases} \quad (17-9)$$

函数  $\zeta_i(u_i)$  表征着满意度的模糊分布。在图 17-4 中, 曲线 I 表示随着指标值的减少, 满意度由急剧下降逐渐平缓的情况; 曲线 II 则表示与上述相反的情形。

由满意度曲线, 就可给出一个模糊评定(评分或分等), 因此满意度曲线是对评分标准的数学描述, 它应该体现专家的经验、观点和某些公认的准则。

例如通过对国内外同类船舶的调查和分析并征询专家意见, 以容许值、期望值和满意度变化趋势的方式给出关于某船满意度的评定, 整理如表 17-8。

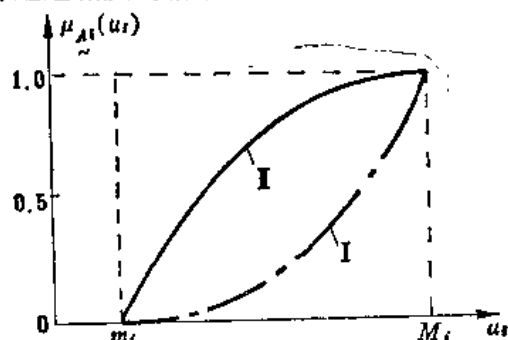


图 17-4 满意度分布示意

表 17-8 满意度的模糊分布

评定标准 品质指标	容许值	期望值	满意度的模糊分布
试航航速 $u_1$	14	尽可能大	$\mu_{u_1} = \begin{cases} 0, & u_1 \leq 14 \\ \frac{1}{1+(u_1-14)^2}, & u_1 > 14 \end{cases}$
年利润 $u_2$	1900	2150	$\mu_{u_2} = \begin{cases} 0, & u_2 \leq 1900 \\ \frac{u_2-1900}{250}, & 1900 < u_2 < 2150 \\ 1, & u_2 \geq 2150 \end{cases}$
吨成本 $u_3$	10.5	8.5	$\mu_{u_3} = \begin{cases} 1, & u_3 \leq 8.5 \\ \frac{10.5-u_3}{2}, & 8.5 < u_3 < 10.5 \\ 0, & u_3 \geq 10.5 \end{cases}$
造价 $u_4$	5000	4000	$\mu_{u_4} = \begin{cases} 1, & u_4 \leq 4000 \\ \frac{5000-u_4}{1000}, & 4000 < u_4 < 5000 \\ 0, & u_4 \geq 5000 \end{cases}$
投资回收年限 $u_5$	2.4	尽可能小	$\mu_{u_5} = \begin{cases} 1-e^{-10(\frac{2.4-u_5}{u_5})}, & u_5 \leq 2.4 \\ 0, & u_5 > 2.4 \end{cases}$

### 3. 确定评判矩阵

对各方案分别进行考评, 可得评判矩阵, 例如,

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (17-10)$$

如对某船的计算得到,

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} 0.840 & 0.800 & 0.842 & 0.827 & 0.814 \\ 0.882 & 0.850 & 0.855 & 0.878 & 0.865 \\ 0.875 & 0.965 & 0.825 & 0.915 & 0.945 \\ 0.733 & 0.985 & 0.631 & 0.841 & 0.922 \\ 0.865 & 0.928 & 0.797 & 0.894 & 0.912 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{试航航速} \\ \text{年利润} \\ \text{吨成本} \\ \text{造价} \\ \text{投资回收年限} \end{matrix} \quad (17-11)$$

### 4. 确定各指标的重要度

完成了单因素评定后, 还需要进行多因素的综合评判, 这其中也要考虑很多模糊因素, 这可通过重要度的概念来使其解析化、数量化。重要度记为:  $\omega_i, i=1, 2, \dots, n$ 。它表征着对设计对象各品质指标的重视程度。对设计对象各品质指标重要程度作出评定, 将是指标集上的一个模糊子集, 记为:

$$W = \left( \frac{\omega_1}{u_1} + \frac{\omega_2}{u_2} + \cdots + \frac{\omega_n}{u_n} \right) \quad (17-12)$$

将 $\omega_i$ 归一化, 令  $\alpha_i = \frac{\omega_i}{\omega}$ ,  $\omega = \sum_{i=1}^n \omega_i$ , 即得

$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \quad (17-13)$$

$\alpha$ 就是通常的权向量。在某些情况下, 重要度随各品质指标取值不同而会有变化。例如, 当品质指标接近最低允许值时, 它的重要性将会上升。因此, 各项指标的重要度应该是取值的函数, 则得到 $\alpha_i(u_i)$ 。显然, 重要度的确定也与评判者(专家)的经验和观点等模糊因素有关。

如例中, 对各指标评定为: 试航航速不重要(0.7); 年利润很重要(0.9); 吨成本较重要(0.85); 造价一般(0.75); 投资回收年限值得重视(0.80), 经归一化后, 可得权向量为,

$$\alpha = (0.175, 0.225, 0.213, 0.187, 0.2)。$$

从上述可见, 满意度和重要度的确定, 是进行方案优选和排序的关键, 通常可采用专家或用户评定法等。

调查总结现行同类设计的使用情况, 用户意见等, 获得关于各项指标的最低容许值、期望值和平均值等数据, 据此对设计对象各指标取值的满意度和重要度给出评定(评分或分等), 如表17-9和图17-5的形式, 再用解析函数拟合和平滑所得数据, 便可得到满意度(或重要度)

曲线。

表17-9 满意度(重要度)评定表

评定等级	最优 (1)	优 (0.9)	良 (0.8)	中 (0.7)	一般 (0.6)	...
品质指标						
$u_1$	100~110	90~100	⋮	⋮	⋮	⋮
$u_2$	15~16	14.5~15	⋮			
⋮	⋮	⋮				
$u_n$						

### 5. 进行综合评判

综合评判指数 $B$ 可表示为:

$$B = \alpha \cdot R = (\alpha_1 \alpha_2 \cdots \alpha_n) \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{vmatrix} \quad (17-14)$$

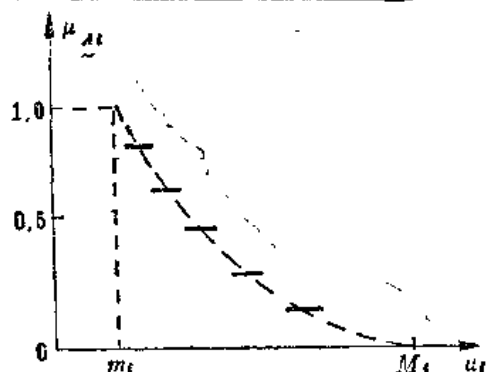


图17-5 满意度(重要度)曲线

如将某船的有关数据代入上式, 即得:

$$B = \alpha \cdot R = (0.840, 0.907, 0.793, 0.873, 0.893)。$$

因此各方案的优先序为:

方案2 > 方案5 > 方案4 > 方案1 > 方案3。

### 6. 讨论

如果通过征询专家意见, 将试航航速的容许值适当提高到15节; 造价的容许值适当提高到6000万元; 投资回收年限的容许值适当提高到2.5年; 且 $\mu_{u_1}$ 在 $u_1 > 15$ 时的模糊分布为 $\frac{1}{1 + (u_1 - 15)^{-6}}$ , 则可得新的评判矩阵, 若重要度评定不变, 可得新的综合评判结果为:

$$B = (0.892, 0.861, 0.859, 0.901, 0.888)。$$

因此有新的方案优先序, 即

方案4 > 方案1 > 方案5 > 方案2 > 方案3。

如果维持原评判矩阵不变, 只是改变关于各指标的重要程度的看法, 即权向量改为:

$$\alpha = (0.4, 0.4, 0.1, 0, 0.1)。$$

则可得下述结果:

$$B = (0.862, 0.849, 0.841, 0.863, 0.853)。$$

优先序列为:

方案1 > 方案1 > 方案5 > 方案2 > 方案1。

且方案4与方案1差别极小。

从本例说明,反映专家(或用户)观点、意向等的满意度(重要度)的确定,是模糊综合评判法中的关键,在实际工作中应十分重视这一点。

## §17-5 专家系统概述

专家系统是一种计算机程序系统,含有大量的经过整理的某一领域的专家的知识 and 经验,能象专家一样解决问题。其基本结构如图17-6所示。

目前,专家系统在医学、化学等领域已取得了实用成果。专家系统在船舶设计中应用也日见端倪。

一个专家系统,一般来说应具有:启发性,能运用专家知识进行推理和判断;透明性,具备良好的解释和应答系统,使它的推理过程似乎是透明的;自我学习、自我完善,知识和规则易于扩充、修改和删除等。

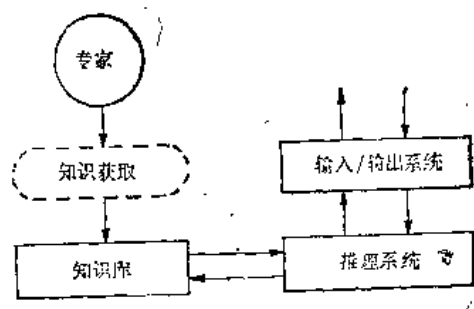


图17-6 专家系统的结构示意图

### 一、知识的获取与表达

知识的获取是把知识从专家或书本、资料中采集起来,有时还需要把一些零星的、不完整的、概念性的内容作进一步的归纳、完整与扩充,这是构造专家系统中最困难、最复杂的一步。

知识分两类:一类是公认的,确定性的;另一类是模糊的,不精确的。

知识表达就是关于如何描述事物的一组约定,即确定一套合适的逻辑结构和数据结构,使知识的表示具有以下特点:

- ①准确——能精确地表达专家的思维和知识;
- ②有效——能有效地通过计算机实现,并能提高信息搜索效率;
- ③简明——易于理解、扩充和修改。

### 二、知识库

知识库是知识的存储器。知识库的建立是构造专家系统的一个重要工作。知识库的建立有一个逐步充实、完善的过程,要在不断获取和提炼的过程中提高知识的数量和质量。同时知识库的管理要有利于对所有的知识与规则进行查阅、修改、删除、插入和更新等操作。

### 三、推理系统

推理系统是利用知识库的知识完成预定功能。推理系统是专家系统的核心部分,是模拟专家的思路过程。其基本做法是:输入一些事实(形式化),依次检索一组规则,并从中选用相应的规则,得到一个结论,得到的结论再作为事实,再去检索规则,再进一步得到结论。

推理一般有两种。

正向推理 是一种数据驱动策略,即从已知的初始条件出发,逐步推出相应的结论。在

向前推理过程中,采用回溯控制策略,当某一过程失败,退回到前一事实,变换相应条件重新推理,这一过程实际上为一个向前的互相递归的过程。正向推理在船舶设计中比较适于技术经济论证方面的问题。

**逆向推理** 是一种目标驱动策略。即从总目标、总要求出发,采用逆向递归求出满足这个目标的各项基本事实。这种方法对预测、规划等问题比较合适。

#### 四、人机接口系统(输入/输出系统)

**人机接口系统**是专家系统和用户的界面。用户可以利用该系统与专家系统对话,并可对推理系统进行必要的干预,求得自己所需的理想目标。

设计专家系统已成为一门专门技术——知识工程,它包括了知识采集、表达、管理和利用等知识信息处理技术。从事这门技术的人称为知识工程师。

目前在知识的获取和表达,设计能产生专家系统的专家系统,设计能自我完善的专家系统,模糊数学在专家系统中的应用等方面正在进一步研究,出现了可喜的进展,呈现出非常广阔的前景。

### 复习思考题

1. 为什么从某种意义上说,设计学科还不算“真正发展了”的科学?影响发展的关键是什么?
2. 船舶设计方法的特点是什么?应如何发展?
3. 优化设计法的主要内容包括哪些?
4. 正交设计法在船舶设计中应用的基本思路是什么?
5. 船舶设计中的模糊因素反映在哪些方面?并举例说明。
6. 模糊评判的基本概念是什么?在船舶设计中应用的关键何在?
7. 专家系统的基本概念及其组成部分是什么?各主要组成部分的功能是哪些?

### 参 考 文 献

- [1] 林杰人主编,《船舶设计原理》,国防工业出版社,1981年。
- [2] 席龙飞主编,《船舶设计原理》,武汉水运工程学院教材科,1986年。
- [3] 李树范、纪卓尚、王世连编,《船舶设计原理》,大连工学院教材科,1985年。
- [4] 《船舶科技简明手册》编写组编,《船舶科技简明手册》,国防工业出版社,1977年。
- [5] [美]阿·M·达尔坎格洛主编,王平庚等译,《船舶设计与建造》,国防工业出版社,1979年。
- [6] [美]托马斯·C·吉尔默著,龚九功译,《现代舰船设计》,国防工业出版社,1983年。
- [7] 船舶设计实用手册编辑委员会,《船舶设计实用手册》(第一分册),国防工业出版社,1962年。
- [8] 朱美琪、潘伟文、李树范编,《运输船舶设计特点》,武汉水运工程学院教材科,1986年。
- [9] 潘伟文主编,《几型运输船舶设计特点》,上海交通大学教材科,1985年。
- [10] 上海交大船舶设计教研室,《水面舰艇设计》,上海交通大学教材科,1981年。

- [11] 民用船舶发展专业规划组,《中国船舶工业总公司民用船舶船型发展规划背景资料汇编》,1984年。
- [12] 周良根,“对27000吨级散货船‘长城’号的若干分析”,《舰船科研与设计》,1985年第1期。
- [13] 周良根,“27000载重量散货船”,《船舶工程》,1982年第1期。
- [14] 姜次平、邵世明编,《船舶阻力》,上海交通大学出版社,1986年。
- [15] E.V.Lewis,《Ship speeds in irregular seas》,Trans.SNAME,1955。
- [16] H.Schneekluth,《Ship design for efficiency and economy》,Butterworth & Co.(Publishers)Ltd, 1987。
- [17] 盛振邦、杨尚荣、陈雪深编,《船舶静力学》(修订本),国防工业出版社,1984年。
- [18] 陶尧森编,《船舶耐波性》,上海交通大学出版社,1985年。
- [19] 朱文蔚编,《船舶操纵性——预报及设计》,上海交通大学教材科,1983年。
- [20] 长江船舶设计院编,《内河船舶设计手册》(船体分册),人民交通出版社,1977年。
- [21] A.Shaher Sabit,《An analysis of series 60 results. Part I Analysis of forms and resistance》,ISP,1972。
- [22] 张德洪主编,《运输船舶船型技术经济论证方法》,人民交通出版社,1980年。
- [23] [英]I.L.巴克斯顿著,顾家骏等译,《工程经济学与船舶设计》,人民交通出版社,1981年。
- [24] D.I.Moor,《Resistance propulsion and motions of high speed single screw cargo liners》,Trans.NEClES Vol 82,1966。
- [25] G.R.Thomson and K.M.N.Pattullo,《The BSRA trawler series(Part III):Resistance and propulsion tests with bow and stern variations》,RINA Vol.111 1969。
- [26] 上海交通大学船模试验池,“肥大船船首形状对阻力的影响”,《上海交大科技》,1978年第1期。
- [27] R.B.Couch and Moss,《Application of large protruding bulb to ships of high block coefficients》,Trans.SNAME Vol.74 1966。
- [28] J.J.Muntjewert,《Methodical series experiments on cylindrical bows》,RINA Vol.112 1970。
- [29] J.D.Van Manen, J.Kamps,《The effect of afterbody on propulsion》,SNAME Vol.67 1959。
- [30] J.Dawson,G.R.Thomson,《Model experiments with stern variations of 0.80 block coefficient form》,RINA Vol. III 1969。
- [31] A.Silverleaf J.Dawson,《Hydrodynamic design of merchant ship for high speed operation》,RINA Vol.109,1967。
- [32] 张仁颐,《船舶技术经济论证方法》,上海交通大学教材科,1985年。
- [33] G.R.Thomson,G.P.White,《Model experiments with stern variations of 0.65 block coefficient form》,RINA Vol. III 1969。
- [34] 上海交通大学造船系,“关于船尾激振资料汇编”,《上海交大科技》,1978年第2期。
- [35] 薛中川,“纵流压浪船型的基本原理”,《华中工学院学报》,1978年第2期。

- [36] Ronald N. Kiss,《Aspects of simplified hull forms,past, present and the future》,Marine technology, 1972.
- [37] N.V.Johnson,《Experiments with straight framed ships》Trans. RINA Vol.106 1964.
- [38] H.Lackenby,《On the systematic geometrical variation of ship forms》Trans.INA.1950.
- [39] 汪希龄,“用计算机作船体线型设计”,《中国造船》总第63期,1978年。
- [40] 周超骏,刘鼎元,“船体数学线型设计——曲面法探讨”,《上海交通大学学报》1981.4。
- [41] Chengi Kuo,《Computer methods for ship Surface design》,Longman Press,1971.
- [42] 朱永峨、汪希龄,“船舶前体横剖面UV度衡准”,《上海交通大学学报》,1981.2。
- [43] 汪希龄、朱文峨,“单桨船后体横剖面UV度衡准”,《上海交通大学学报》,1982.4。
- [44] 唐令方,“‘建筑学’在船舶舱室空间设计中的运用”,《上海造船学会论文集》,1981年。
- [45] 毛万基,“谈谈船舶舱室在断面上的空间利用与组合”,《上海造船学会论文集》,1982年。
- [46] 杨樾、裘泳铭,“干货船的主尺度分析”,《上海交大学报》,1978年第1期。
- [47] C.Kuo著,谢礼浩译,《船体曲面设计的计算机法》,国防工业出版社,1977年。
- [48] 戚昌滋主编,《现代设计法》,中国建筑工业出版社,1985年。
- [49] [日]水本雅晴,《模糊数学及其应用》,科学出版社,1986年。
- [50] 曾广武,《优化设计方法及其在造船工程中的应用》,国防工业出版社,1986年。
- [51] 纪卓尚、李树范、郭昌捷,“船舶优化设计中的一个实用混合整数规划方法”,《大连工学院学报》,1982年第1期。
- [52] 杨樾、秦士元、胡毓达,“干货船主要尺度的最优化计算”,《中国造船》,1981.1。
- [53] 纪卓尚、李树范、郭昌捷,“适用于混合型变量的通用优化程序及其在油轮设计中的应用”,《大连工学院学报》,1984.2。
- [54] 吴善勤、裘泳铭,“随机衡准下船型参数的正交设计”,《中国造船》,1983.4。
- [55] 北大数学力学概率统计组,《正交设计法》,化学工业出版社,1979年。
- [56] 高仁高,“专家系统及其应用”,《上海交大科技》1985.2。
- [57] Macfallum,K.I.,《Creative Ship Design by Computer》,ICCAS 82。
- [58] Bent A.Biemdal,《Marine Design Theory and the Application of Expert System in Marine Design》,ICCAS 85。
- [59] H.Yoshikawa and T.Koyama,《Artificial Intelligence and Design》,First International Marine Systems Design Conference,London, April,1982。
- [60] Zhou Chaojun, Liu Dingyuan《The Use of Bezier Surface in the Design of A Ship Hull Surface》, ICCAS'85。
- [61] 郭震西著,谢礼浩译《船体曲面设计的计算机法》,国防工业出版社,1977年。

317968

## 上海交通大学出版社

船舶与海洋工程类图书简介



书 名	作 者	单 价
螺旋桨激振力	何友生、王国强	3.85
船舶螺旋桨理论	董世汤	4.35
电子计算机辅助船舶设计	杨樵等	5.00
船舶阻力	姜次平	3.10
船舶结构优化设计	丁宝海、肖熙	2.70
计算机辅助船体建造	脱天禄等	3.40
船舶耐波性	陶尧森	6.40
船舶在波浪上的运动理论	刘应中 缪国平	2.50
海洋工程导论	严似松	1.80
船舶动力装置原理与设计	朱树文	5.90
船舶推进轴系振动	陈之炎	3.00
计算机辅助船舶电站设计	郑光栈 唐生庭	2.50