

方学智 主编

张正艺 王琳 副主编

船舶设计原理

(第3版)

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书阐述了船舶总体设计的原理、过程和方法。全书共分8章,内容包括:船舶设计概述、船舶重量与重心、船舶容量、船舶技术性能与法规、船舶经济性与船型论证、船舶主尺度确定、型线设计和总布置设计。

本书可作为高等院校船舶与海洋工程专业及相关专业的教材,也可供从事船舶与海洋工程、航海及航运管理领域的工程技术人员、院校师生阅读和参考。

版权所有,侵权必究。举报:010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

船舶设计原理/方学智主编. —3版. —北京:清华大学出版社,2022.11
ISBN 978-7-302-61966-6

I. ①船… II. ①方… III. ①船舶设计 IV. ①U662

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 181620 号

责任编辑:许 龙

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-83470000 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市龙大印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:19

字 数:460千字

版 次:1998年2月第1版 2022年11月第3版

印 次:2022年11月第1次印刷

定 价:59.00元

产品编号:096246-01

第3版前言

FOREWORD



本书是在2014年方学智主编的《船舶设计原理(第2版)》基础上,结合编者近几年的教学科研实践进行全面修订而成的。

本书继承了原版教材海河船舶兼顾、内容深入浅出、理论联系实际、注重实船设计应用的编写风格,系统地阐述了船舶总体设计的原理、过程与方法。为便于读者学习与思考,调整与充实了各章的复习思考题。

相对前一版,本书主要作了以下改进:

(1) 对原版教材的内容体系框架作了适当调整。将原版第9章“典型船舶设计实例”部分修改后作为“确定船舶主尺度实例”并入第6章;将原版第10章“节能船型”部分修改后作为“特殊型线”的一部分并入第7章,删除原版第10章与船舶原理重叠的“节能技术”内容;调整后的新版教材由原来10章简化为8章,使船舶总体设计的脉络更为清晰。

(2) 进一步强化实船设计应用。本书在重量与重心计算、舱容计算、航速预报、经济性与船型论证、主尺度确定、型线设计与总布置设计中都引入了实船设计计算举例(或图例),对读者学以致用大有裨益。

(3) 型线设计是本教材的重难点,着力进行了打磨:按实船型线设计顺序重新梳理了设计水线、横剖面与中纵剖面内容;将计算机技术融入型线生成方法中;以较大篇幅介绍了国内外船型试验与设计研究的新成果,列于特殊型线一节,简述了新船型的节能机理与设计要点以开拓读者视野、启发创新;增加型线设计实例一节,介绍实船型线设计中常用的母型改造法、系列船型法的具体步骤与方法。

(4) 注意全书内容的更新。在“船舶技术性能与法规”一章中,删除了部分与船舶原理重叠的快速性预报内容,又删除了过时的《绿色船舶规范》、代之以《绿色生态船舶规范》(2020);对全书涉及到规范与法规的内容都按照中国船级社最新文本进行了修订。

本书由方学智、张正艺(华中科技大学)、王琳(文华学院)共同修订完成。具体分工为:张正艺修订第2、5章,王琳修订第3、4章,其余4章由方学智修订;最后,由方学智对全书定稿。

本书的出版得到华中科技大学本科生院、船舶与海洋工程学院的大力支持;刘启国教授审阅了本书的部分章节,提出了很多宝贵意见;本书的修订还参考了许多同行专家的著作和论文;在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,本书的缺点与疏漏之处在所难免,恳望读者批评指正。

编者

2022年6月

清华大学出版社

第2版前言

FOREWORD



本书是基于1998年方学智、刘厚森、刘增荣编写的教材《船舶设计原理》，结合编者多年的教学科研实践与经验重新编写和修订的。

本书继承了原版教材的编写思想和内容体系框架。根据本课程任务特点，在理论上着力阐述船舶总体设计的原理与方法，实船则海河船舶兼顾；在内容编排上先铺垫基础、再核心内容、后举例应用，循序渐进，理论联系实际；为了巩固课程学习内容，培养与提高学生分析与解决问题的能力，教材各章都附有复习思考题。

相对前一版教材，本书作了以下改进：

(1) 与时俱进，注意创新。采用中国船级社最新规范(如《钢质海船入级规范 2012》)和中国海事局最新法规(如《国内航行海船法定检验技术规则 2011》)，更新原版过时的内容；采用计算机计算与绘图方法，替代原书手工设计方法的描述；顺应节能减排、绿色船舶设计制造的潮流，在国内同名教材中首次引入绿色船舶的概念，并综合给出了绿色船舶设计的举措。

(2) 强化船舶设计中遵守相关规范、法规的意识。将原书第4章《船舶性能预报》6节扩展为11节，并更名为“船舶技术性能与法规”，新增加了船舶消防、防止船舶污染、绿色船舶等规范和法规内容。同时将原第3章船舶登记吨位一节也归并集中到第4章。

(3) 注重实用性、力求便于学生与初学者自学、学以致用。在第3章中增加了1500吨集/散两用货船实例，说明船舶详细设计中舱容计算方法和结果表达；在第5章中增加了船舶动态经济计算举例，对原经济性计算实例一节，按目前船运市场实际进行了改写；在第6章中充实了载重型船主尺度确定的统计公式法和优化方法；第7章船舶型线设计是本课程的难点，为此，补充了一些实船设计资料和首尾型线图样，重写了首部及尾部型线一节，充实了系列船型法设绘型线的内容，使学生与初学者易于入门；第8章引入了6000吨级货船总布置图，反映了实船总布置的全貌，增加了典型船舶总布置特征一节；此外，在重量、容量、经济性计算及主尺度确定各章都增加了相应的计算习题，通过练习以加深学生对课程内容的理解，提高实船设计计算能力。

参加本书编写的有：方学智、孙江龙、罗志明、许小颖、刘增荣。其中，孙江龙编写第5、6章，罗志明编写第2、3章，许小颖编写第8、10章，刘增荣编写第9章，其余3章由方学智编写，并负责全书的修改和定稿。

本书的编写与出版得到了华中科技大学教务处、华中科技大学船舶与海洋工程学院及华中科技大学文华学院等相关领导的关心与支持,在此仅表示衷心感谢。同时,本书参考了兄弟院校相关教材的内容和国内同行的相关设计经验,在此也一并向参考文献的作者们顺致谢忱。

由于编者水平有限,本书疏漏欠妥之处在所难免,恳望使用本教材的师生与读者批评指正。

编 者

2014 年 1 月

第1版前言

FOREWORD



《船舶设计原理》是船舶工程专业的一门重要主干课。本书是遵照该课程教学的基本要求,吸取兄弟院校同名教材之长,根据作者多年来从事教学实践和船舶设计研究工作的经验编写的。

本书的编写贯穿了如下的指导思想:(1)海河船舶兼顾,以拓宽学生知识面;(2)紧扣船舶设计的基本原理与方法,引导学生综合运用船舶原理、结构、使用效能与经济性的知识分析处理船舶总体设计问题;(3)文字力图简练,既注意引进国内外船舶设计的必要资料、反映船型研究与船舶设计的新成果,又注意避免内容资料化。

本书内容的编排与实船设计程序相呼应,循序渐进,共分为三部分:第一部分(第1章~第5章)阐述了船舶总体设计方案构思所必备的基础知识,主要包括:船舶设计过程与方法、船舶重量与容量、船舶航行性能与经济性;第二部分(第6章~第8章)为核心部分,论述船舶主尺度确定、型线设计与总布置设计的原理和方法;第三部分(第9、10章)为应用部分,理论联系实际,介绍典型船舶(货船、客船及拖船)设计实例,并简介了节能船型与节能技术的新成果,以开拓读者在船舶设计中应用科研新成果与新技术的思路。

为便于自学,在论述船舶设计原理与方法的同时,书中提供了一些必备的图表资料,并在每章末给出了复习思考题。

本书是在我校1993年《船舶设计原理》讲义基础上由方学智、刘厚森、刘增荣共同修订完成。方学智编写了第1章(1.4),第2、3、5、6、8章、第9章(9.1,9.4)和第10章;刘厚森编写了第1章(1.1~1.3)、第4、7章和第9章(9.2);刘增荣编写了第9章(9.3)。最后,由方学智对全书定稿。

本书的出版得到校、系各级领导、同行专家及师生的热情支持与帮助,谨此表示由衷的感谢。

由于编者水平有限,本书的缺点与疏漏之处在所难免,恳望读者批评指正。

编 者

1998年2月于华中理工大学

清华大学出版社

目 录

CONTENTS



第 1 章 绪论	1
1.1 船舶设计概述	1
1.2 设计技术任务书	4
1.3 船舶设计阶段划分	6
1.4 设计工作方法	8
1.5 计算机辅助船舶设计简介	9
复习思考题	11
第 2 章 船舶重量与重心	12
2.1 概述	12
2.2 空船重量的分析与估算	14
2.2.1 空船重量分类	14
2.2.2 船体钢料重量的分析与估算	16
2.2.3 木作舾装重量的分析与估算	22
2.2.4 机电设备重量的分析与估算	23
2.2.5 固定压载与排水量储备	25
2.3 载重量估算	25
2.4 重心估算	27
2.4.1 重心高度 z_g	28
2.4.2 重心纵向位置 x_g	29
2.5 350 客位内河客货船重量重心计算	30
2.5.1 船体钢料重量重心计算	30
2.5.2 木作舾装重量重心计算	31
2.5.3 机电设备重量重心计算	32
2.5.4 空船重量重心计算	33

2.5.5 典型载况下的重量重心计算	34
复习思考题	35
第3章 船舶容量	36
3.1 货船的容积	37
3.1.1 船舶容积的有关概念	37
3.1.2 所需船主体型容积的计算	38
3.1.3 船主体所能提供的型容积估算	40
3.1.4 容量方程式	40
3.1.5 容量校核	41
3.2 客船的甲板面积	42
3.3 容量图与舱容要素曲线	44
复习思考题	46
第4章 船舶技术性能与法规	48
4.1 概述	48
4.1.1 船舶技术性能	48
4.1.2 船舶规范与法规	48
4.2 快速性	51
4.2.1 船舶主尺度系数与快速性的联系	51
4.2.2 快速性预报	53
4.2.3 改善快速性的设计措施	56
4.3 稳性	57
4.3.1 初稳性	57
4.3.2 大倾角稳性	60
4.4 分舱及破舱稳性	64
4.4.1 主要名词定义	65
4.4.2 客船的分舱与破舱稳性检验(确定性方法)	65
4.4.3 国际航行干货船的破舱稳性检验(概率衡准方法)	66
4.5 耐波性	68
4.5.1 横摇	68
4.5.2 纵摇与升沉	71
4.5.3 甲板上浪与失速	71
4.6 操纵性	72
4.7 船舶最小干舷	74

4.7.1	规定最小干舷的两点考虑	75
4.7.2	影响最小干舷的主要因素	75
4.7.3	最小干舷计算	76
4.7.4	载重线标志	81
4.7.5	新船实际干舷的确定	82
4.8	船舶登记吨位	83
4.8.1	登记吨位的概念与历史沿革	83
4.8.2	登记吨位计算	84
4.9	船舶消防	86
4.9.1	船舶消防名词术语	86
4.9.2	一般防火措施	88
4.9.3	结构防火措施	90
4.9.4	船舶消防设备及配备	92
4.10	防止船舶污染	93
4.11	绿色船舶	95
4.11.1	绿色船舶的内涵	96
4.11.2	绿色生态船舶规范的主要内容	99
4.11.3	绿色生态船舶设计目标与举措	105
	复习思考题	107
第 5 章	船舶经济性与船型论证	109
5.1	概述	109
5.2	基础经济数据计算	110
5.2.1	年运量	110
5.2.2	船价	111
5.2.3	年营运成本	112
5.2.4	年收入与年利润	114
5.3	船舶经济指标	115
5.3.1	投资不计利息时的静态经济指标	115
5.3.2	现代工程经济分析中采用的动态经济指标	116
5.4	经济性计算实例	121
5.5	船型对经济性的影响规律	123
5.6	船型论证简介	127
5.6.1	船型论证的一般步骤	127
5.6.2	船型论证举例	130

复习思考题	135
第6章 船舶主尺度确定	137
6.1 概述	137
6.2 选取主尺度的综合分析	139
6.3 载重型船主尺度的确定	142
6.3.1 船舶类型划分	143
6.3.2 排水量估算	143
6.3.3 主尺度初选	145
6.3.4 性能校核与主尺度调整	146
6.4 布置地位型船主尺度的确定	147
6.4.1 按布置要求初选主尺度	148
6.4.2 排水量估算	150
6.4.3 方形系数 C_b 的确定	150
6.4.4 性能校核	151
6.5 主尺度选优	151
6.5.1 概念	151
6.5.2 选优衡准	152
6.5.3 选优原理	153
6.5.4 优化方法	153
6.5.5 实例——用变值法求 50 000DWT 油轮的最优主尺度方案	156
6.6 确定船舶主尺度的实例	158
6.6.1 17 500t 多用途货船主尺度确定	158
6.6.2 1 200/1 500t 江海直达货船主尺度确定	168
6.6.3 平头涡尾 600 客位内河客货轮主尺度确定	173
6.6.4 3 234kW 海洋救助拖船主尺度确定	178
复习思考题	187
第7章 船舶型线设计	189
7.1 概述	189
7.2 横剖面面积曲线	190
7.3 设计水线	194
7.4 横剖线	196
7.4.1 中横剖面线	196
7.4.2 首、尾部横剖线	197
7.5 中纵剖线	199
7.5.1 首轮廓线	199

7.5.2	尾轮廓线	199
7.5.3	船底线	201
7.5.4	甲板线	201
7.6	型线生成	202
7.6.1	自行绘制法	202
7.6.2	母型改造法	204
7.6.3	系列船型法	209
7.7	特殊型线	211
7.7.1	球鼻首	211
7.7.2	球尾	214
7.7.3	高速方尾	216
7.7.4	平头涡尾与不对称尾	217
7.7.5	双尾鳍	221
7.7.6	双尾与双球尾	227
7.7.7	隧道尾	230
7.8	型线设计举例——15 000t 级货船	232
7.8.1	母型船选择	232
7.8.2	横剖面面积曲线绘制	233
7.8.3	绘制新船型线图	236
	复习思考题	239
第 8 章	船舶总布置设计	241
8.1	概述	241
8.2	总体布局区划	242
8.2.1	主船体内的船舱划分	245
8.2.2	上层建筑的规划	250
8.3	典型运输船舶的总布置特征	253
8.3.1	散货船	253
8.3.2	集装箱船	254
8.3.3	多用途船	256
8.3.4	油船	258
8.4	浮态计算与纵倾调整	261
8.5	舱室及通道的布置	266
8.5.1	生活舱室布置	266
8.5.2	工作舱室布置	276
8.5.3	机舱棚的尺度与布置	277
8.5.4	通道与扶梯的布置	277

8.6 舾装设备的选型与布置	279
8.6.1 锚泊设备	279
8.6.2 起货设备	282
8.6.3 其他设备	284
复习思考题	286
参考文献	287

清华大学出版社



第 1 章

绪 论

船舶是一种历史悠久的高效能运输工具。与其他运输方式相比,具有成本最低、单位能耗最省、装载能力最大等特点。服役于海军的各类舰船,在维护国家海洋权益、保卫祖国海疆、维护世界和平等领域发挥着越来越显著的作用。

船舶设计原理是在船舶原理、船体结构与强度、造船工艺学、船舶制图等课程的基础上,在长期的船舶设计、建造与营运的实践中总结出来的一门工程设计理论课,它为实船设计做出理论上的准备和指导。

本书主要以民用运输船舶作为研究对象,按照实船设计工作的先后次序编排章节内容,具有海河船舶兼顾、理论联系实际、文字简练、高效实用的特点。掌握了本书的基本原理和方法,辅以阅读实船图纸、计算书,也就具备了设计军用舰船、海洋工程船等其他类型船舶的必要基础。

1.1 船舶设计概述

1. 船舶设计的内容与特点

船舶设计是一项高度综合性的系统工程。新船设计不仅要考虑单船的技术经济性能,还必须从港、航、船整个系统着眼,使新船设计方案在预定的港口、营运航线上具有实际可行性和良好的系统经济性。

船舶设计主要包括船体、轮机、电气三方面的专业设计。为了实现新船的设计目标,需要船、机、电各专业技术人员发扬团队精神,共同协调努力。就船体设计而论,通常又分为总体设计、结构设计与舾装设计三个分支:总体设计主要解决新船的主尺度、外形(型线)、总体布置、航行性能及经济性;结构设计是基于型线和总布置,解决新船从外形到结构的具体实现,并保证新船的整体和局部强度、刚度和稳定性;舾装设计主要进行船上各种舾装设备的设计、选型与布置,以满足新船在航行和营运操作过程中的各种要求。

在船体设计的总体、结构与舾装设计三个分支中,总体设计居于先于一切和重于一切的

地位。先于一切是指船舶设计最先从总体设计开始,基于总体设计才能开展轮机、电气、结构与舾装设计;重于一切是指总体设计的优劣将在极大程度上决定新船的技术性能和经济性,从而影响新船的竞争力和生命力。

由上可知,船舶设计具有两个鲜明的特点:一是设计内容的复杂性与多专业的合作协调,设计人员要有系统工程思想,抓住主要矛盾,做到局部服从总体、总体兼顾局部;二是设计过程的逐步近似,复杂性决定了船舶设计不能一步到位,需要反复迭代完成,例如初选的主尺度往往需要经过多轮的计算、校验与修正之后才能最终确定下来。

船舶设计原理是研究船舶总体设计基本理论与方法的一门应用科学,它在船舶设计中的重要性显而易见。船舶设计原理的主要研究内容包括:船舶重量重心、船舶容量、技术性能与船舶法规、船舶经济性与船型论证、主尺度确定、型线设计和总布置设计。

民船总体设计的核心工作,是在满足规范、法规的前提下保证新船有良好的航行性能,并努力提高新船的经济性。新船航行性能与船舶原理(船舶静力学、动力学)关系最为密切,但二者的出发点是不同的。在船舶原理课程中,一般是已知船舶主尺度和型线,研究其航行性能;而在本课程中,则主要是从新船使用要求(任务书)出发,综合应用船舶原理、船体结构与制图、造船工艺等各专业课的知识完成新船的总体设计。

2. 船舶设计的指导原则

(1) 贯彻国家的技术政策

设计船舶与其他工作一样,要认真贯彻国家在交通运输方面所制定的有关技术政策和规定。例如能源政策,技术引进政策,国家在造船规划上船型、机型的标准化、系列化、通用化及重大项目要经过技术经济论证等规定。

(2) 遵守国际、国内相关公约、规则、规范和法规

有关船舶设计方面的国际和国内公约、规则、规范和法规,大多数都是基于保证船舶使用和航行安全而制定的,它是人们根据船舶使用的历史经验和不断发展的科学技术水平总结的成果,是带有法令性(技术法令)和强制性的文件,是船舶设计、制造、检验的重要依据。船舶设计工作者必须熟悉和深入理解公约和规范的精神实质,在船舶设计中遵照执行。

船舶营运经验的积累、新技术的发展、对新船型的需求等因素都会导致公约和规范的不不断改进和完善。因此,国际海事组织(IMO)和国内船级社(CCS)会隔一段时间,根据发展变化的情况,对公约和规范的内容加以修订。设计者要注意学习和执行其最新版本。

(3) 充分考虑船东的要求

船东作为船舶的所有者和使用者,一般会根据其使用经验及其特定情况对船舶设计提出使用、技术指标、设备、材料等方面的要求。设计者应充分考虑船东的意见,对合理的设计要求应尽量满足。

3. 船舶设计的基本要求

船舶种类多种多样,其使用要求各不相同;即使船种相同,不同的船东、不同的航区,其使用任务和技术要求也不尽相同;此外,对船舶的要求有些可用技术上或经济上的数量指标来衡量,而有些要求则很难量化;因此,要提出一个普遍适用的船舶设计衡准是困难的。但是,对新船设计普遍存在以下的基本要求。

(1) 适用

所谓适用就是新船能够较好地完成任务书中规定的使用任务。这一目标应该是设计中

处理一切技术经济问题的中心。对于民用运输船舶来说,保证和提高运输能力及运输质量是设计的着眼点。例如:在货船设计中,要保证新船载重量和相应的舱容;尽可能提高装卸效率,适应所载货物的理化性质,营运中方便理货;有良好的航行性能;满足航线和港口对新船的主尺度(尤其是吃水)的限制等等。为此,应围绕新船主尺度的确定、型线设计、建筑形式及总布置的考虑、起货设备的配置等方面,进行综合分析,以保证运输能力、提高运输质量。

(2) 经济

船舶完成规定任务时,资金的支出和收入标志着船舶的经济性。综观现代运输船舶的发展,新船型的出现,新技术的采用,无一不是受经济性的刺激。经济是技术发展的基础和动力,技术是实现经济目标的手段和工具,两者互相渗透、互相推动。因此,船舶设计者必须充分考量新船的经济性,使设计船具有强大的生命力。

例如,对某一航线的货运进行船型论证时,即使采用常规船型,也可以建立不同的船型方案:载货量大而航速低些的方案,载货量小但航速高些的方案,两种船型方案能完成同样的年货运量。显然,两种船型方案在投资和运输成本上会有所不同。选取哪一种方案更有利,就要从技术及经济角度进行计算分析、全面衡量。

针对设计任务书的某一具体要求,设计中也涉及经济性问题。例如,可采用主尺度小些但较丰满的船型方案,也可采用主尺度大些但较纤瘦的船型方案。显然,前者的造价可能低些,与造价相关的营运开支也会低些;但后者可能在航速上有利(假定用相同主机),因航速提高可使航次时间稍短些,年货运量会稍高些,且每个航次的燃料开支要省些等。究竟哪种方案有利,须从总的经济效益并结合技术性能作综合分析才能决定。在研究采用某项新装备的合理性时,也需从技术上的先进性和经济上的有利性两方面加以综合考虑。

(3) 安全

安全性是船舶的一个基本质量指标。为了保证船舶的安全,由国际海事组织、各国船级社颁布了各类规范和技术法规,对船舶建造、载重线、稳性、分舱、消防、救生、起重、信号、通信设备等方面都作了明确的规定,设计人员在船舶设计中必须贯彻执行,保证新船符合各种规范、法规及公约的要求,以保障船舶的安全。

还应指出,船上一些重要设备(如主机)和某些部件(如推进器、舵)的可靠性,对船舶的安全性影响很大,在选定设备和进行局部设计时,也应该充分注意其安全性。

(4) 美观

现代船舶设计对造型美也提出了更高要求。船舶造型是船舶建筑美学的一个重要研究方向,它包括船舶外观的造型美和从建筑角度合理又高效地利用船舶舱室空间等。船舶外观造型会给人以深刻的第一印象,是一种创造性的艺术。

上述四个方面,既统一又矛盾,要结合具体情况,认真分析,抓住主要矛盾及矛盾主要方面,妥善处理。

此外,节能环保近年来也受到船舶市场的高度重视,CCS 为此专门颁布了《绿色生态船舶规范》,以限制船舶的能源消耗和 CO₂ 排放,这方面的内容详见第 4 章。

1.2 设计技术任务书

设计技术任务书是新船研究设计的文字依据,通常由船东提出。任务书主要给出新船的使用任务、主要技术指标、主要装备以及设计的限制条件等。一般民用运输船的设计技术任务书包括以下基本内容。

1. 航区、航线

给出新船航行的区域或具体航线。中国船级社(CCS)将国际航行海船的航区划分为无限航区和有限航区两大类;将国内航行海船的航区划分为远海、近海、沿海和遮蔽海域四类航区;而将内河航行船舶的航区按照风浪和水流情况划分为A级、B级、C级航区及J级航段。

不固定航线的船舶,通常给出航区;定航线的船舶通常要给出停靠的港口。

2. 用途

明确新船的装载量与性质。

客船、客货船——包括人数(各等级舱的分配数、舱室标准)、载货吨数以及舱容要求。

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、燃油、滑油、淡水、食品、供应品及备品等的总装载量;有时给出“载货量”,即纯货物的装载量。货物有多种多样,如液货、散货、杂货、集装箱等。对于一般货物,要给出载重吨数;而对于集装箱船,则要给出标准箱的装箱数。

有时,对新船还会提出某些特殊要求,如装载大件货、重货等。

对于多用途船,要指明各种用途的装载量及舱容要求。

3. 船型

给出船舶的建筑特征,可包括上层建筑、机舱部位、货舱划分、甲板层数、甲板间高等。

4. 船级与船籍

船级是指新船要求取得何种船级标志,从而按照什么规范、哪一级别设计。例如,国内航行船舶的船级通常为CCS,设计与检验遵照CCS规范;而出口船舶的船级一般为LR(英国劳氏),设计与检验遵照LR规范。新船检验合格后由相应船级社颁发船级证书。

船籍是指船舶登记注册的归属国籍,确定新船应遵守船籍国的法定检验技术规则。国际航行货船有很多注册了“第二船籍”,如中远集团的远洋船舶很多都挂巴拿马旗(也称“方便旗”),原因是入籍方便、费用低,通过巴拿马运河既快又省钱。

5. 动力装置

指明主机的类型、功率、转速、台数等。

(1) 类型 船用主机有内燃机(柴油机和燃气轮机)、蒸汽轮机、推进电动机及核动力装置等,民用运输船舶的主机绝大多数为柴油机。

(2) 功率 主机在额定转速下,在规定的正常维修周期内按标准环境条件连续运转的最大功率称为最大持续功率(maximum continuous rating, MCR)或额定功率。考虑主机的经济性和维护保养,常将主机功率MCR扣除10%左右的裕度,扣除裕度后的主机功率为常用功率。在常用功率下的运转工况称为连续运转工况(continuous service rating, CSR)。

(3) 转速 船用柴油机根据转速不同,分为低速机、中速机和高速机,中速机和高速机一般需设置减速齿轮箱,以便使螺旋桨有适宜的转速和直径。通常螺旋桨的转速范围为:

远洋船舶 90~150r/min; 沿海船舶 100~200r/min; 沿海小型船舶和内河船舶 200~400r/min。

6. 航速、续航力、自持力

(1) 航速: 民船的航速常分为试航航速与服务航速。拖船一般提出拖带航速、拖力的要求及自由航速的要求。

试航航速 V_t : 指主机发出额定功率的新船以满载排水量在静深水中、不超过三级风、二级浪时试航所测得的船速。大型船舶常以压载状态试航, 然后再换算至满载状态时的航速。

服务航速 V_s : 指新船在一定功率储备下满载航行所能达到的航速。功率储备一般取为主机最大持续功率的一个百分数, 通常, 低速机取 10%, 中速机取 15%。

海船的航速以节(kn)为单位, 内河船则以 km/h 为单位, $1\text{kn}=1.852\text{km/h}$ 。

(2) 续航力: 在规定的航速和主机功率下, 船上所带的燃油可供船连续航行的距离(n mile 或 km), 或连续航行的时间(h)。

(3) 自持力: 指船上所带淡水、食品等能供人员在海上维持的天数, 也称自给力, 以天(d)计。

7. 船体结构

给出船体结构形式、船体与上层建筑材料、甲板负荷、特殊加强等方面的要求。

8. 设备

给出船上主要设备的形式及能力, 如锚和锚机、舵和舵机、起货设备、减摇装置、通风、空调、导航、通信等方面的要求。

9. 性能

提出船舶性能要求, 如稳性要求、压载航行状态的浮态要求、分舱及破舱稳性要求、对操纵性及摇摆周期的要求等。

10. 船员定额

给出船上编制人数, 包括干部和普通船员, 同时也包括对生活设施的具体要求。

11. 尺度限制

(1) 船长 L 它受泊位长度、港域宽度、河道曲率以及船闸、船坞等的限制。

(2) 吃水 T 它受航道与港口的水深限制。

(3) 船宽 B 它主要受运河、船闸、船坞等方面的限制。

(4) 船的水上部分高度 主要考虑桥梁高度的限制, 如南京长江大桥高出水面 28m、珠江大桥高出水面 8m 等限制。

设计技术任务书是进行船舶设计的依据和基础, 关系到新船设计的成败。在设计起始阶段, 设计人员要反复阅读、仔细消化任务书, 对任务书中的每一项要求都要拟订相应的技术措施予以满足; 对一些重要的指标要进行必要的论证分析, 如发现指标提得不合理、不匹配或难以达到, 就要及时向船东反映, 并协商修订任务书。一般来说, 任务书中的装载量(如货船的载货量、客船的载客量)和航速要求是新船设计的硬指标, 需要引起设计者的特别关注, 并在设计过程中采取多种措施保证指标的优质完成。按照国际惯例, 设计船的载重量允差为 1%、航速允差为 0.3kn, 如果超限就要接受船东的罚款, 有的船东甚至会拒绝接船, 以致造成严重的经济损失。

1.3 船舶设计阶段划分

船舶设计的一般程序是,首先由船东编制设计任务书,作为设计的依据;设计部门设计新船时,一般分阶段进行。目前,我国将新建船舶的设计阶段划分为:报价设计(必要时)、初步设计(含签订造船合同所需技术文件)、详细设计、生产设计、完工设计等阶段。

1. 编制设计技术任务书

设计技术任务书是船舶设计的依据,它全面地反映了对设计船使用效能及技术性能的要求,并对船的主要技术要素做了具体规定,如船舶类型、用途、吨位、航速、航区、机电设备等。设计技术任务书的各项技术要素不能凭空编造,必须经过充分的调查研究,有时还要辅以必要的技术经济论证,才能确定下来。而这些要素一旦确定后,设计船的技术、经济性能就大体可被确定了。从这个意义上说,任务书的编制也是船舶设计的一个重要组成部分。

船舶设计任务书,一般由船东编制提出;或者由船东提出对新船的主要设想,而由设计者形成文字,交船东认可后再正式提出。

2. 报价设计

报价设计也称投标设计,是根据用船单位提出的技术要求或招标说明书进行的。报价设计的主要内容包括:初步拟定新船的主尺度、选择船型、绘制总布置简图;进行装载量与舱容、航速与稳性的估算,从而编制船的简要说明书(也称主要技术规格书);编制全船主要设备供应厂商表,估算造价。报价设计是商谈造船合同之前的一项设计环节,船东接到报价文件后,如认为满意,即与中标单位进行技术与商务谈判,明确技术细则,同时就船价、付款方式、交船日期等达成协议。

通过报价设计,设计单位向船东提交报价文件、力争中标,船东则根据报价文件了解新船概貌及船价,挑选中标单位。

3. 初步设计

初步设计是依据设计技术任务书(出口船为意向书)完成新船的总体规划或方案设计。这一阶段,总体设计最为关键,同时需要船体结构、舾装、轮机和电气人员的协同设计,通过绘图、计算和试验,必要时进行多方案分析比较,最终确定船舶的基本技术形态,得出一个满足船东要求、指标较为可靠的船舶设计方案。

在初步设计阶段,需要完成的主要技术文件有:船体说明书;总布置图;型线图;中横剖面结构图及构件计算书;航速、稳性、干舷、舱容等估算书;机舱布置图;电力负荷估算书;钢料预估单、主要设备规格及厂商表。

初步设计为进行造船合同谈判提供必要的技术文件,也为进行详细设计奠定基础。

4. 详细设计

详细设计是依据造船合同及其技术文件,基于经审查修改后的初步设计方案进行的。这一阶段的设计工作,是在初步设计的基础上对各局部问题进行深入分析,并进行各个项目的详细设计计算和绘图,最终确定新船的全部技术性能,完成船体、轮机和电气的全套送审图纸及技术文件。

在详细设计阶段船体方面所完成的主要图样和技术文件有:

(1) 船体设计说明书;

(2) 详细的总布置图;

(3) 正式的型线图;

(4) 船舶结构图纸,包括:中剖面结构图、基本结构图、肋骨型线图、外板展开图、全船分段划分图、首部结构图、尾部结构图、机舱结构图、甲板结构图、主横舱壁结构图等;船体构件规范计算书及总强度计算书;

(5) 全船舾装布置图、防火控制图、锚泊、起货、救生、舵设备计算书与布置图;

(6) 船舶各项性能的详细计算书、说明书和试验报告书;

(7) 详细的船舶设备、材料规格明细表等。

详细设计所提交的图纸和技术文件,应能满足验船部门审查、船东认可、造船厂订购原材料和设备的需要,同时也是进行生产设计的依据。

5. 生产设计

在详细设计的基础上,根据承造厂的工艺装备条件、工艺水平、施工区域和组装单元,绘制有工艺要求和生产管理指标的工作图表,为新建船舶提供建造方案、施工要求、施工图纸和生产管理图表。在船体方面主要有分段结构施工图和工艺规程,以及设备、舾装的零件图等。

生产设计的主要特点是:

(1) 把船舶设计、生产和生产管理通过设计文件(图、表和其他信息)有机地体现出来,并以此作为组织生产的依据。

(2) 把船体、轮机、电气及其他工程的纵向专业系统进行横向融合沟通,构成纵横结合的综合系统,使各专业、各工种、各施工阶段能协调平衡,均衡生产,提高综合生产能力。造船生产设计是促使船舶设计、建造技术、生产管理现代化的有效措施之一。

生产设计在详细设计的基础上进行,从设计开始就把“造什么样的船”同“怎样造船”一起考虑,把船东的要求同承造厂的装备条件结合起来,体现了设计为建造服务的思想。

6. 完工设计(制定完工文件)

船舶在施工建造过程中,往往会对原设计计算作出修改,如材料的代用、设备的变动和替换,以及船舶倾斜试验后获得准确的空船重量和重心高等。因此,原来的设计图纸和技术文件(如浮态与稳性计算书)就与实船不完全相符了。为反映真实情况,在船舶竣工后,应按实际情况修改相应图纸及计算书,为用船部门提供竣工图纸和技术资料,即制定完工文件。

此外,新船竣工后还要进行各项实船试验并给出报告书,也归并到完工文件中。制定完工文件的目的是供船员使用以及作为维修管理的依据,并为以后的船舶设计和研究提供可靠的资料。

上述设计工作的几个阶段,在船舶设计过程中既相对独立,又相互联系。前一阶段是后一阶段设计的依据,后一阶段是前一阶段设计工作的深入和发展。船舶设计阶段的划分,也并不一定如上所述,可以根据产品特点、资料的完整程度、设计人员的经验等具体情况有所不同。如有的单位就把初步设计与详细设计合在一起称为扩大的初步设计;有些小型船舶,把初步设计、详细设计、生产设计合在一起,整个设计一次搞完等。

1.4 设计工作方法

1. 认真调查研究

设计人员从接受设计任务时起,就应着手进行调查研究,通常包括查阅资料 and 实际调研两方面。广泛搜集与设计船同类型、相近航线的有关实船资料(包括国外实船资料和文献),整理形成母型船要素一览表,对新船设计会大有裨益。实际调研的范围很广,包括征求用船部门及航道、港务、船厂等有关单位的意见和建议,在可能的情况下应到相近的实船上做深入调查和体验,以获得第一手资料,使设计工作从一开始就建立在符合客观实际的基础上。随着设计工作的深入,设计人员有时还需带着设计方案和问题,通过各种形式做深入的调查研究,征求意见,这样就可少走弯路。

2. 母型改造法——在继承与借鉴的基础上创新

现代船舶是人们造船和用船经验的结晶,也是科学技术不断发展的成果。各类船舶都有其独特的发展演变过程,都有由它们的使用任务所决定的共性问题,这就决定了它们必然具有许多相近的技术特征和内在规律。合理地吸取和利用这类经验和规律性,可以减少盲目性,使新船设计有可靠的基础。

在新船设计时,设计者经常采用一种行之有效的方法——母型改造法。所谓母型,通常是与设计船在若干主要方面(如尺度、外形、结构、布置等)相近的同类优秀实船;将母型船各项要素按设计船的要求用适当的方法加以改造变换,即可得到新船的相应要素。这是一种既方便又可靠的新船设计方法,被人们广泛采用。由于有经过实践考验的母型船作为新船设计中的借鉴,因此使新船的设计有了一个具体明晰的参考,设计者通过分析研究能够比较准确地抓住设计船的主要矛盾,确定设计船的改进方向及措施,比较有把握地选取设计船的各项技术参数,因而不但使设计工作大为简化,同时提高设计质量。设计中所选用的母型,可以不限于一条船,在不同局部设计中可选用不同的母型,以取众家之长,更好地满足设计船的需求。

应当指出,母型改造绝不是简单地照抄,而是借鉴母型,继承其精华,结合新船的使用要求与特点,考虑新技术、新设备、新工艺、新材料在新船上的应用,做到有所创新、有所前进。

3. 逐步近似法

如前所述,船舶设计的复杂性决定了设计过程的逐步近似。尤其是,当设计者无法找到一条合适的或资料完整的母型船时,就只能采用逐步近似法进行新船设计。

按逐步近似法进行船舶设计,是把复杂的新船设计工作分为若干轮循环。从船东的设计要求出发,依序进行:主尺度要素选择、总布置、型线、结构与性能检验。初次近似时只考虑少数主要因素,而后一次近似则计入更多的因素,后一次近似结果是前一次近似的修正、补充和发展。经过几轮循环后,最终得到符合各项要求的设计方案。逐步近似过程的每一轮循环不是简单的重复,而是螺旋形上升的过程。人们把这个过程用图 1-1 所示的螺旋线来描述,既富有哲理又十分形象。



图 1-1 船舶总体设计螺旋线

1.5 计算机辅助船舶设计简介

造船业应用电子计算机进行设计起步较早,20 世纪 50 年代国外就开始应用计算机进行船舶设计计算、数控切割与绘图。20 世纪 60 年代国外船舶 CAD/CAM 有很大的发展,陆续研制出了一批造船集成系统,如挪威的 AUTOKON 系统、西班牙的 FORAN 系统及瑞典的 VIKING 系统等。

我国从 20 世纪 70 年代开始船舶 CAD/CAM 研究,至 80 年代也获得了长足的发展。在此期间,完成了单程序运算—程序系统(程序包)—集成系统的进化。开始时研制的是分离的单一程序,如船舶设计中的静水力计算程序、抗沉性计算程序、下水计算程序等;继而,将若干单个程序按其在船舶设计中的先后次序串联起来形成一条流水线,存放在计算机外存中,需要时逐一调用,并且,前一程序为后续程序的执行准备数据,填写表格,减少了数据输入量,缩短了设计周期。随着计算机技术的发展以及人们在单项程序、程序系统研制与应用中积累了大量的经验,特别是数据库技术的兴起,以数据库为核心,以最少的数据输入和人机交互为特点的船舶 CAD 集成系统诞生了。例如,上海交通大学、上海船舶设计院等单位联合研制的多用途干货船辅助设计系统 MPSDS,上海造船工艺所研制的船体建造集成系统 HCS 等。

20 世纪 90 年代初,国外船舶 CAD/CAM 有了进一步的发展。如瑞典 KCS 公司开发的造船交互设计集成系统,功能极强,覆盖了船舶详细设计和生产设计中大部分内容,包含实用性很强的三维图形系统、船体系统、结构系统、电力系统、报表生成和数据管理等九大系统和 20 多个分类数据库。

20 世纪 90 年代以来,我国造船业先后引进了国外三维 CAD/CAM 系统,最具代表性的有瑞典 KCS 公司的 TRIBON、美国 PTC 公司的 CADD5,对提高我国船舶设计效率和设计质量起到了积极作用。但随着应用的深化,也发现一些问题。这些系统仅以解决设计信息为主,不能满足我国造船工艺的要求,特别在 CAM 上还要作大量的二次开发。但一些系统的开发是在国外第三方图形平台基础上进行,难以达到船舶设计各专业的集成和平行设计,更为重要的是这些系统的部分 Licens 版权在国外第三方公司,技术主动权仍不在开发者手中。

沪东中华造船集团积 30 余年 CAD、CAM 开发应用经验,在 Windows 操作系统下,基于 OpenGL 三维图形平台吸收各系统的优点,如 TRIBON 系统的三维船体结构拓扑关系技术,CADDS'5 系统的参数化设计思想,CATIA 系统、CADDS'5 系统的三维交互实体建模实时显示技术等研发了 HDS 造船 CAD/CAM 系统。考虑国内一些用户已使用 TRIBON、CADDS'5、CATIA 等三维设计系统,HDS 开发了与上述设计系统的接口,可把 TRIBON、CATIA 系统建立的船舶、管系、管附件模型导入 HDS,也可把 CADDS'5 船体模型导入 HDS。该系统能满足船体结构、机装、电装、舾装等专业设计的三维全数字化船舶产品建模,通过三维模型对船舶性能、结构强度、工艺合理性和制造可行性进行计算分析,是整个船舶数字化制造集成系统的基础,HDS 在国内数十家船舶企业获得了应用。

计算机应用于船舶工程,使船舶设计方法发生了巨大的变化。

在制定船舶设计任务书前的船型论证中已由单船论证和手工运算发展为系统论证和计算机辅助论证,并相继出现了系统分析法、复合预测与决策技术、仿真技术、不确定性和风险分析等新的科学论证方法。

在船舶主尺度方案分析中,从广泛采用网格法(也称变值法)发展为最优化方法、正交设计法等。对各方案的最终评判与选优,除设计人员凭经验评定外,还可借助计算机采用多目标加权处理、模糊综合评判和多目标分层序列法等进行评定。

船舶型线设计的计算机方法大体有两种:母型改造法和数学船型法。母型改造法,首先要广泛收集优秀母型船资料(如船舶类型、主尺度系数与排水量、航速及型值等)并存储到计算机内建立船型库;然后,设计者按一定的指令输入一组新船设计参数信息,调用船型改造程序,计算机就会自动从船型库中提取相近的母型船并加以改造,直到获得满足设计船性能与使用要求的型线为止。数学船型法,是用数学方程来表达船体曲面的方法。按数学方程类别的不同,又分为曲线法和曲面法。曲线法采用一组按某种规律变化的平行的平面曲线来构造船体曲面;曲面法则采用参数曲面方程来描述船体曲面。有关计算机辅助船体型线设计的详细方法可参阅相关专著、文献。

计算机辅助总布置设计(CAAD),离不开人机交互。交互的含义是指计算机在计算过程中人机间交流信息,程序开始时的数据输入一般不能称为交互。CAAD 中人机交互方式有数据交互和图形交互两种。数据交互比较简单,利用计算机显示屏(CRT)和键盘很容易形成一问一答的交互过程。当需要大量数据交互时,一般是把要修改的数据列成表格编成数据文件显示在荧光屏上进行修改,这样既清晰又不容易搞错。如何用图形交互来完成舱室布置工作呢?首先,把船舶设备(如主机、辅机、泵、甲板机械等)的外形图和舱室设备(门、窗、床、盥洗盆、家具等)的示意图等存入图形库,继而,利用型线设计数据在荧光屏上显示出要布置的甲板空间,然后用光笔将图形库的部件一一调出进行布置。这时可利用计算机的图形处理功能进行图形的局部放大、平移、旋转和镜像处理。

船体结构与绘图在船舶设计中工作量大。计算机辅助船舶结构设计,通常以船体建造规范为准则,以中横剖面每米船长结构重量最轻为目标进行中剖面结构优化设计,绘制中横剖面图和机舱横剖面图,最后进行船体总纵强度校核和总振动计算。大量结构图的绘制已由计算机和绘图机完成。目前国内造船界许多单位都利用 AUTO CAD 绘图,有的还在其基础上进行二次开发,按照船体结构制图的特点研制了包括图形初始化设计、线型库设计、常用图形、符号和汉字库设计以及 AUTO CAD 扩充功能开发的船体结构 CAD 系统。

近年来,随着计算机软、硬件技术日新月异的飞速发展,船舶 CAD 技术也不断完善和更新。它大大提高了船舶设计的质量,缩短了设计周期,把设计工作推向自动化和智能化,已逐步形成一门富有生命力的新学科。当然,目前我国船舶 CAD 技术还不尽完善,各单位的研究应用水平也很不均衡,与国外发达国家相比尚存在不小的差距,所有这些都有待船舶技术工作者,特别是年轻一代在熟练掌握船舶设计基本原理与方法的基础上勤奋努力,大胆创新去解决,把我国船舶 CAD 技术推向一个新高度,开创我国 21 世纪造船技术的新辉煌。

复习思考题

1. 为什么说船舶设计是一项具有高度综合性的系统工程?
2. 简述船舶总体设计与其他部分设计的联系与差别。
3. 船舶设计的指导原则和基本要求有哪些?
4. 船舶设计任务书通常是怎样制订的? 其主要内容有哪些?
5. 海船的航区是如何划分的? 国际航行船舶有没有航区问题?
6. 名词解释: 主机额定功率(MCR)、常用功率(CSR)、试航速度、服务航速、续航力、自持力。
7. 现代船舶设计分为哪几个阶段? 初步设计阶段主要完成哪些工作?
8. 什么是母型改造法? 什么是逐步近似法?
9. 船舶 CAD 使船舶设计工作发生了哪些变化?



第 2 章

船舶重量与重心

2.1 概述

船舶设计的基本要求之一是使船舶按预定状态浮在水面上,据《船舶静力学》知识,即要求船舶重量与浮力平衡,重心与浮心在同一铅垂线上;基本要求之二是使设计船满足预定的载重量,而船舶载重量通常是排水量与其自重的差值;基本要求之三是使设计船满足任务书规定的各项航行性能指标,而船舶排水量则往往是船舶性能估算或计算的一个重要基础。因此,船舶重量与重心计算是船舶设计中一项首要的基础工作,实船设计往往从重量估算开始。

1. 重量方程式与浮力方程式

船舶在某种装载情况下的总重量,称为重量排水量,它是船舶各部分重量之和(单位为 t),即有重量方程式

$$\begin{aligned}\Delta &= \sum W_i = LW + DW \\ &= W_h + W_f + W_m + DW\end{aligned}\quad (2-1)$$

式中, LW——空船重量(t);

W_h ——船体钢料重量(t);

W_f ——木作舾装重量(t);

W_m ——机电设备重量(t);

DW——载重量(t),包括货物、船员及其行李、旅客及其行李、燃油、滑油及炉水、食品、淡水、备品及供应品等重量。

同时,船舶所受浮力等于船体所排开水的重量 Δ ,故有浮力方程式

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

式中, ρ ——水的密度(t/m^3),海水密度为 $1.025 t/m^3$; 淡水密度为 $1.0 t/m^3$;

∇ ——该装载情况下的型排水体积(m^3);

L, B, T, C_b ——船长、型宽、吃水及方形系数(本书中 L 指垂线间长,即 L_{bp});

k ——附体体积系数,通常为 $1.004 \sim 1.01$ 。因为 ∇ 为型排水体积,不包括外板厚度及

附体(如舵、螺旋桨、轴支架、舳龙骨等)在内, k 值为考虑这些因素而定的系数。

在上述统计数值中,通常对小船取大值,大船取小值。

根据浮力和重量相等,可得浮性方程式

$$\Delta = \sum W_i = \rho k L B T C_b \quad (2-3)$$

2. 民船的典型载况及其排水量

船舶在营运及航行过程中,其载重量(货物、旅客及行李、油、水)是变化的。随着载重量变化,船的排水量及其浮心和重心的位置也不同,因而船的各种技术性能也就不同。为了掌握船舶在营运过程中的技术状况,须取若干种典型载况予以研究。

民船通用的典型载况是空载和满载,相应的典型排水量为空船排水量和满载排水量。

1) 空船排水量

空船排水量系指新船竣工交船时的排水量,即空船排水量 $\approx LW$ 。此时,动力装置管系中有可供主机动车的油和水,这部分油水重量包含在机电设备重量内,相应的机电设备重量称为湿重。但不包括航行所需要的燃油、滑油和炉水储备及其他载重。

2) 满载排水量(设计排水量)

船舶装载了预定的全部载重量的载况称为满载,相应的排水量即为满载排水量。如重量估算准确,则满载时船舶吃水等于设计吃水,因此,满载排水量也称为设计排水量。民船通常以满载载况作为设计状态,它是决定船舶主要要素的基础。

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、水重量,规定为设计状态时油、水储备量的 10%(不含滑油);

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——船上不装载旅客与货物,而油、水等为其总储备量的 10%。

对于客货船,除上述载况外,通常还要核算满客无货出港、到港载况,有时还要加算航行中途载况。

在船舶稳性法规中,对各类民船的典型载况都作了具体规定。

3. 重量重心估算的重要性

船舶重量重心估算准确与否将直接影响设计船的航行性能与经济性,因而必须仔细地进行估算,力求提高估算精度。

在设计过程中,如果将船舶重量估算得过轻,则完工船的实际重量值将大于估算值。即重力大于浮力,实际吃水将超过设计吃水,此时可能出现以下情况:①新船不能在预定的航线上航行,或必须减载航行。这是因为:对于沿海和内河船舶,往往是航道水深限制了船舶吃水;对于远洋船舶,则是停靠港的泊位水深限制了船舶吃水。②船舶干舷减小,储备浮力减少,船舶大角稳性与抗沉性恐难以满足,甲板容易上浪,船舶结构强度也可能不满足要求。反之,如果将船舶重量估算得过重,则船舶尺度选择势必偏大,船舶建造所需的原材料与工时消耗增加,显然,船舶经济性降低;同时,由于实际吃水小于设计吃水,螺旋桨可能露出水面而影响推进效率,海上航行时船舶耐波性也可能变差。

类似地,如果船舶重心纵向位置 x_g 估算误差过大,则实船将出现较大纵倾,影响船舶的浮态、快速性与耐波性;船舶重心高 z_g 误差过大,则实船初稳性高将产生较大的减少或增加,从

而影响船舶稳性与横摇性能；同时，重心 x_g 、 z_g 估算误差过大，都可能影响船舶的使用效能。

4. 重量重心计算的特点与方法

船舶重量重心计算特点有二：一是贯穿于整个设计过程的始终；二是逐步近似。所谓贯穿始终，就是在船舶设计的各个阶段都须进行重量估算或计算。一条船的设计，通常是由重量估算开始的，最后还必须经重量计算，确定重力与浮力达到平衡、重心位置适宜以后，再进行下一步工作。所谓逐步近似，就是重量计算不可能一次完成，不可能在设计的最初就估算到准确无误的程度，而是随着设计阶段的不断深入，重量计算也由粗到细，由最初阶段参考母型或统计资料的粗略估算到最后按设计船的施工图纸及施工文件分项精确计算，是一个逐渐深化、逐渐准确、多次循环螺旋式上升的过程。每后一次计算都是对前一次计算的检验和修正，都是认识的进一步深化。因此，企图一次就把重量重心搞得十分准确，而不需再经计算是不可能的。

在不同设计阶段，重量重心计算的方法是不一样的。在详细设计、生产设计及完工计算时，船舶的主要图纸均已具备，船舶的各主要部分均已确定，甚至实船也已造出，因此此时的重量重心计算可以按图纸(或在完工计算中按实船)进行详细的分项计算，然后逐项累计即可。但在设计初期即主尺度及排水量确定阶段，则不具备这些条件，设计船的重量重心只能依据母型或统计资料进行较为粗略的估算。

本章主要介绍初始设计阶段设计船重量重心的估算方法。从船舶重量的分类入手，对各部分重量进行分析、寻求船舶主尺度系数与各部分重量之间的内在规律；进而，介绍船舶重量、重心的估算方法；最后，给出一份实船重量重心计算书——介绍船舶设计中后期、图纸资料比较完备情况下重量重心的计算方法。

2.2 空船重量的分析与估算

通常，空船重量估算的准确度是船舶设计能否成功的关键之一。这是因为空船重量 LW 占了船舶排水量 Δ 的相当部分(见表 2-1)，而且其影响因素多，不容易估算准确。

表 2-1 各类船舶的空船重量与满载排水量之比

船舶种类	空船重量与满载排水量之比	船舶种类	空船重量与满载排水量之比
拖船	0.85~0.95	大型油船	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		

2.2.1 空船重量分类

构成空船重量的项目是十分繁杂的。为便于船舶设计者准确地计算出空船重量，避免重量项目计算的重复或遗漏，便于船舶建造者进行原材料及设备订货，同时也便于船厂经营部门进行船舶报价，需要将空船重量按一定的原则进行分类。按惯例，空船重量通常分为船体钢料重量 W_b 、木作舾装重量 W_f 和机电设备重量 W_m 三大部分，各部分又细分为若干组，各组再分成若干项，如表 2-2 所列。

表 2-2 船舶空船重量分类表

项 目 分 类	细 目
一、船体钢料部分	
1. 首尾柱及轴包架	首柱,尾柱,轴包架,舵踵,其他
2. 船壳板	竖龙骨,底板,旁板,平板龙骨,舳龙骨,船壳板上覆板
3. 底部及舷侧构架	底部纵向构件,底部横向构件,舷部纵向构件,舷部横向构件,首尾尖舱结构,其他
4. 甲板结构	上甲板结构,主甲板结构,平台甲板结构,其他
5. 舱壁及围壁	横向水密壁,纵向水密壁,部分舱壁及舱室围壁,货舱筒及舱口围壁,围板,其他
6. 支柱	各层甲板下支柱,舱面机械及梯口加强支柱,其他
7. 船体钢料杂项	轴隧及推力轴承室,钢质护舷材,舱柜内制荡板及顶盖,扶梯平台,污水井,其他
8. 底座	主机底座,主锅炉底座,机炉舱辅机底座,轴承底座,舱面机械底座,其他底座
9. 上层建筑钢料	首楼,桥楼,尾楼,各层甲板室,舷墙及走廊边板,其他
10. 电焊填料	焊料,铆钉头,板缝搭边接头及垫料,其他
二、木作舾装部分	
1. 船体木作	本甲板,舱底板及舱边护条,护舷木,栏杆上木扶手,木质上层建筑,其他
2. 船舶属具(金属)	桅及龙门架柱,栏杆,扶梯,旗杆,外烟囱,钢质舱口装置,天窗,门窗及人孔,特种属具,其他
3. 船舶设备及装置	操舵装置,锚装置,系统装置,救生装置,航行装置,消防设备,推进装置,特种装置和设备,其他
4. 舾装木作	木围壁,天花板,室内地板,木质门窗,家具,木质扶梯及舷梯,木质舱口盖,舾装木作杂项,其他
5. 生活设施及工作用具	厨房及餐室设备,卫生及洗涤设备,各种装饰及宣教文娱设备,小卖部及杂项设备,医疗用具,水手工具及备品,木工工具及备品,其他
6. 水泥及瓷砖	舱底水泥,舱柜水泥,甲板流水沟及舱面机械底座用水泥,起居室水泥及瓷砖,其他
7. 油漆	主船体部分,其他部分
8. 冷藏及通风	自然通风设备,机械通风设备,伙食冷藏库设备,制冷机及其冷藏舱或空调器连接管系,冷藏货舱设备,制冰设备,其他
9. 船舶管系	舱底水系统,压载水系统,消防系统,卫生及日用水系统,暖气设备,测深管及注入管系统,舱面机械系统,航行设备系统,特种机械系统,货油装卸系统,其他系统
三、机电设备部分	
1. 船舶电气	舱面机械电力设备,生活及照明用电,对外通信设备,船舶通信设备,助航设备,机炉舱辅机电力设备,输电电缆,配电板等
2. 轴系	推力轴及轴承,中间轴及轴承,尾轴尾管,隔舱填料函,轴系附件,轴系备件,其他
3. 主辅机械设备	主机,减速齿轮箱及联轴器,电站发电机组,空气压缩机组,各种热交换器,各种泵,各种容器,各种滤器,锅炉抽风机及鼓风机,其他
4. 动力管系	蒸汽及蒸汽管系,凝结水及泄水管系,燃油及滑油管系,压缩空气及废气管系,冷却水及循环水管系,冷藏或空调用管系,其他
5. 机炉舱杂项	工具,工作台,工具架及柜,工具备品,起吊设备,栏杆,格栅,扶梯及花铁板,各种仪表,供应品及记录台等,烟道,烟箱,锅炉鼓风及抽风管道,手提泡沫灭火器,其他
6. 机炉舱特种设备	遥控装置及联合操纵台,其他
7. 机炉及管系内液体	各种容器内液体,各种热交换器内液体,各种动力管系内液体,各项船舶管系内液体,各项机械内液体,其他

应当指出,国内外民船的重量资料在某些具体项目的归属上往往有些差别,在使用重量资料时应予以注意。

表 2-3 为各类民船的 W_h/LW 和 W_f/LW 的大致范围,可供重量估算时参考。

表 2-3 民用船舶的船体钢料及舾装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	0.22~0.36

2.2.2 船体钢料重量的分析与估算

由表 2-3 可知,船体钢料重量 W_h 占空船重量的比重很大。因此,准确估算 W_h 对决定设计船的 LW 和 Δ 有重要意义。

1. 影响船体钢料重量的因素

影响船体钢料重量的因素很多,大致有以下几个方面。

1) 船舶主尺度系数

船舶主尺度系数(即 L 、 B 、 D 、 T 、 C_b 等)对船体钢料重量的影响程度可以从它们对构件数量和强度条件的影响两个方面来分析。

(1) 船长 L 。从构件的几何尺度和数量上看,船体绝大多数构件(如外板、底部结构、甲板、舱壁、舷侧结构等)都与船长有关;从强度方面看,船长 L 越长,其在水中所承受的纵向弯矩 M 越大,对船体结构纵向构件的尺寸要求也大。从钢质海船建造规范的有关规定可以看出,船长如大于 60m,则将直接影响到构件的尺度。因此船长对船体钢料重量影响最大。

(2) 船宽 B 。从结构构件数量上看,一些横向构件(如船底与甲板横向构件、横舱壁、平台、甲板等)都与船宽 B 有关。船宽 B 对横向强度影响较大,但对船体纵向强度影响不大。综合起来看,船宽对船体钢料重量的影响次于船长。

(3) 型深 D 。从构件几何尺度和数量方面看,型深 D 对舷侧板、肋骨、舱壁、支柱等构件有影响,即型深 D 增加引起它们的重量增大;从强度方面分析,型深 D 增加,则船体梁的剖面模数增大,可使船体纵向构件断面尺寸减小,从而可减小它们的重量。从上述两方面综合考虑,对于大船,型深 D 增加,其船体钢料重量 W_h 不一定增加或增加不多,极端情况下甚至会减少;对于小船,其强度不是主要影响因素(一般能保证),结构构件的尺度主要取决于工艺和建造方面的要求,因此型深增加使船体钢料重量增大。

(4) 吃水 T 。吃水 T 不影响结构构件数量,但对总纵强度和局部强度有一定的影响。