

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

船舶设计原理

CHUANBO SHEJI YUANLI

方学智 刘厚森 刘增荣 编著

华中理工大学出版社



船舶设计原理

内 容 简 介

本书着重介绍了船舶总体设计的基本原理与方法。全书共十章,前八章系统地阐述了船舶设计方案构思必备的基础知识(船舶重量与重心、容量与登记吨位、船舶航行性能与经济性)、船舶主尺度确定、型线设计与总布置设计;第九章简要给出了典型船舶(货船、客船及拖船)的设计实例;最后一章介绍了节能新船型与新技术在船舶设计中的应用。

本书可作为高等学校船舶工程专业的教材,也可供船舶设计、建造部门及航运部门的工程技术人员参考。

前 言

《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(第一章~第五章)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(第六章~第八章)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(第九、十章)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。方学智编写了第一章(§ 1—4)、第二、三、五、六、八章、第九章(§ 9—1、§ 9—4)和第十章；刘厚森编写了第一章(§ 1—1~§ 1—3)、第四、七章和第九章(§ 9—2)；刘增荣编写了第九章(§ 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

目 录

第一章 绪论	(1)	§ 6-3 载重型船主尺度的确定	(83)
§ 1-1 船舶设计阶段划分	(1)	§ 6-4 布置地位型船主尺度的确定	(87)
§ 1-2 设计技术任务书	(3)	(87)
§ 1-3 设计工作方法	(5)	§ 6-5 主尺度选优	(89)
§ 1-4 计算机辅助船舶设计简介	(6)	第七章 船舶型线设计	(95)
第二章 船舶重量与重心	(8)	§ 7-1 概述	(95)
§ 2-1 概述	(8)	§ 7-2 横剖面面积曲线	(95)
§ 2-2 空船重量的分析与估算	(10)	§ 7-3 设计水线	(99)
§ 2-3 载重量估算	(19)	§ 7-4 首部及尾部型线	(100)
§ 2-4 重心估算	(21)	§ 7-5 甲板线	(104)
第三章 船舶容量与登记吨位	(24)	§ 7-6 型线生成	(105)
§ 3-1 货船的容积	(24)	第八章 船舶总布置设计	(113)
§ 3-2 客船的甲板面积	(29)	§ 8-1 概述	(113)
§ 3-3 容量图与舱容要素曲线	(30)	§ 8-2 总体布局的区划	(114)
§ 3-4 船舶登记吨位	(32)	§ 8-3 纵倾调整	(122)
第四章 船舶性能预报	(36)	§ 8-4 舱室及梯道的布置	(126)
§ 4-1 快速性	(36)	§ 8-5 舢装设备的选型与布置	(139)
§ 4-2 稳性	(39)	第九章 典型船舶设计实例	(146)
§ 4-3 分舱及破舱稳性	(43)	§ 9-1 17500吨多用途货船设计	(146)
§ 4-4 耐波性	(45)	§ 9-2 1200/1500吨江海直达货船设计	(155)
§ 4-5 船舶最小干舷	(48)	(155)
§ 4-6 操纵性	(52)	§ 9-3 平头涡尾600客位内河客货轮设计	(159)
第五章 船舶经济性与船型论证	(55)	(159)
§ 5-1 概述	(55)	§ 9-4 3234kW海洋救助拖船设计	(166)
§ 5-2 基础经济数据计算	(56)	第十章 新船型与新技术在船舶设计中的应用	(175)
§ 5-3 船舶经济指标	(60)	§ 10-1 节能船型在船舶设计中的应用	(175)
§ 5-4 经济性计算实例	(64)	(175)
§ 5-5 船型对经济性的影响规律	(65)	§ 10-2 节能技术在船舶设计中的应用	(184)
§ 5-6 船型论证简介	(69)	(184)
第六章 船舶主要要素的确定	(78)	参考文献	(192)
§ 6-1 概述	(78)		
§ 6-2 选取主要要素的综合分析	(80)		

第一章 绪 论

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,它为实船设计作了理论上的准备和指导。

船舶设计人员,除了在设计实践中不断地积累经验,以加深和充实设计理论外,还必须不断地提高自身的设计素质,树立正确的设计指导思想和应用科学的工作方法。

设计实践证明,设计人员在设计中必须注意以下几点:①认真贯彻国家的技术政策;②熟悉并遵守各项规范和公约;③认真做好调查研究;④注重在借鉴与继承的基础上创新;⑤采用逐步近似的方法,逐步深化,最终使设计结果接近最佳组合。设计的新船应达到以下基本要求:适用、经济、安全可靠、美观。

船舶设计是一门综合性的科学技术,必须从港、航、船整个系统着眼,不能只考虑单船的技术经济性,而要使整个系统的经济效益好。具体到船舶设计,又要涉及到船、机、电各专业的有效配合,才能保证船舶有良好的技术经济性能。

一艘船的设计,依据设计任务书,经过大量而详细的设计计算和绘图,提供船舶建造和使用所需的全部图纸和技术文件,工作量大,涉及面广。设计人员必须认真、细致地做好每一步工作,才能保证整艘船的设计质量。

§ 1-1 船舶设计阶段划分

一般的船舶设计程序,首先是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。大体上可划分为:初步设计、技术设计、施工设计和完工设计等四个阶段。对投资比较大或技术比较复杂的船舶,在初步设计和技术设计完成之后,要分别邀请有关专家进行审查,提出修改意见,然后再进行下一阶段的设计工作。

一、船舶各设计阶段的基本内容

(一) 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、航距、机电设备,等等。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以后,设计船的技术经济性能大体就被确定了。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。

(二) 初步设计

初步设计是按设计技术任务书进行的,是船舶设计的主要阶段。

在这个阶段里,要确定与船舶技术经济性能关系最大的一些项目,如船的主尺度和排水量、船体型线、建筑型式及总体布置、基本结构、主辅机及主要装置系统,等等。同时要要进行船舶主要性能计算,绘制型线图、总布置图、中剖面结构图等主要图纸,编制出全船说明书和材料设

备清单。

这个阶段所提供的各项技术文件应能表明船的总体性能,应能据此判断设计船在技术上及经济上的合理性、可靠性及满足任务书各项要求的程度,并作为审批的依据。

(三) 技术设计

在初步设计被审查批准之后,即可着手技术设计,技术设计是初步设计的进一步深入,是整个设计中的重要一环,新船的所有主要技术性问题,都须在这个阶段内解决,要做大量准确详细的计算工作,并绘制数量较多的图纸。

这个阶段所提出的技术文件,应能满足验船部门审查、承造厂进行生产准备、估算造价、订货以及绘制施工图纸等方面的需要。

(四) 施工设计

技术设计被审查批准之后,根据建造厂的具体生产技术条件和船舶各项标准文件,应制定建造该船所需的船体、轮机、电气三方面的全部图纸和技术文件,称为施工设计。在船体方面要绘制分段结构施工图和制定工艺规程,以及船舶设备、舾装的施工图等。

(五) 制定完工文件

船舶在建造施工中,往往会对原设计作一些修改,如房间设备变动、某一设备的更换,以及经倾斜试验确定了准确的重心竖向高度等。因此,原来的设计图纸和技术文件(如浮态与稳性计算等)就与实船不完全相符了。为反映真实情况,在船舶竣工之后,应按实际情况修改图纸及进行必要的修改计算,为用船部门提供竣工图纸和技术资料,即制定完工文件。

船舶设计阶段的划分,并不是一律如上所述,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的不同而有所不同。如有的单位就把初步设计与技术设计合在一起称为扩大初步设计。有些小型船舶,把初步设计、技术设计、施工设计全部合在一起,整个设计一次搞完,设计审批工作也只搞一次。

技术是为经济服务的,不管设计阶段如何划分,但其设计的内在的基本规律仍是不变的。

二、船舶设计阶段的改革

随着我国经济体制的改革,造船投资由国家拨款改为航运企业向银行贷款,广泛实行了合同制。为了适应国际造船市场的需要,中国船舶工业总公司制定了《民用船舶产品设计阶段划分和审批工作的若干规定(试行)》,这规定将新建船舶的设计划分为:制定产品设计技术任务书、报价设计(需要时)、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、编制完工文件等六个阶段。

(一) 报价设计

根据船东提出的技术要求或招标说明书进行设计。其主要内容为:初步确定新船的技术条件和形状、提供总布置简图、主要设备清单、简要说明书、估算造价。报价设计的目的是设计方向船东提出报价,力争中标,并使船东了解新船概貌及船价,挑选中标单位。报价设计是商谈造船合同之前的一项设计环节,它不作为最终签订造船合同的技术附件。

(二) 初步设计

初步设计依据设计技术任务书(出口船为意向书)和造船合同,对造船的总体方案作出规划,对船舶的总体性能和主要技术指标进行计算,对动力装置和各种系统原理图进行设计。通过理论计算和必要的试验,确定产品的基本技术形态、工作原理、主要参数、主要结构、主要设备选型等重大技术问题。在初步设计阶段,船体方面要完成的主要技术文件有:船体设计说明

书;总布置图;型线图;航速、稳性、干舷、舱容等计算书;船中横剖面结构图和总纵强度计算书;钢料预估单,主要设备明细表。

初步设计为进行造船合同谈判提供了必要的技术文件,也为进行详细设计提供了必需的技术依据。

(三) 详细设计

它是依据造船合同及其技术文件或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,是在总体设计的基础上,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,最终确定船舶的全部技术性能和船体结构,对重要材料和设备提出订货选型要求。详细设计所提出的技术文件和图纸,应能满足验船部门审查、船东认可、造船单位订购原材料和设备的需要,同时也是进行生产设计的依据。

(四) 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和表,为建造船舶提供建造方案、施工要求、施工图纸和生产管理图表。

生产设计的主要特点是:

(1) 把船舶设计、造船生产和生产管理通过设计文件(图、表或其他信息)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。

§ 1-2 设计技术任务书

一、制定设计技术任务书之前的论证工作

(一) 运输类型的论证

运输有五种形式:水运、铁路、公路、航空、管道等。要完成所需的运输任务,首先要研究采用哪一种运输形式或哪几种联运的形式,使得投资最少,经济效益最好。这一论证涉及的面比较广,一般由国家某部门或某地区才能完成。

(二) 船型论证

承担某一运输任务,如货运,可供选择的船型有:货船、集装箱船、顶推分节驳、载驳船等。在具体选取时要进行技术经济论证。

如果确定用普通货船来承运,还要探讨船舶的大小、航速的高低。要以最适用最经济的方案作为制定任务书的基础。

二、设计技术任务书

经过以上论证工作以后,便可提出新船的设计技术任务书。任务书的内容如下:

(一) 航区、航线

这是指新船航行的区域。海船航区分为:无限、近海、沿海、遮蔽等航区。内河船舶常按水系来分,如我国长江水系根据风浪及水流情况,分为A、B、C级航区及J级航段。不固定航线的

船,通常提出主要航行的航线或航区。定航线的船通常要给出停靠的港口等。

(二) 用途

这是指新船的装载数量与性质。

客船、客货船——包括人数(各等级的分配数、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、食品等的重量。有时给出“载货量”,即货物重量。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,则是给出箱数。

有时,对新船还会提出某些特殊要求,如装大件货、重货等。对于装集装箱的船,则要指明箱的尺寸。

对于多用途船,要指明各种用途的具体要求。

(三) 船型

这是指船的建筑特征,包括上层建筑、机舱部位、货舱划分、甲板层数、甲板间高等。

(四) 船级

这是指按什么规范、哪一级设计新船。要注意不同规范从不同角度提出的要求。走国际航线的船舶,还应符合有关的国际规则与公约,以及有关国家、地区、运河等颁布的特殊规则,按《海船入级章程》办理入级手续,发给相应的船级证书,方可进行国际间航运。

(五) 动力装置

这应指明主机的类型、功率、转速、台数等。

(六) 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。

试航航速 v_t ,一般指满载试航速度,即主机发出额定功率的新船在静深水中,不超过三级风、二级浪时满载试航所测得的船速。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 ,指船平时营运所使用的航速。一般取为主机功率的 85%~90%时的航速。

(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 这是指船上所带淡水、食品等能供人员在海上维持的天数,也有称自给力,以天(d)计。

(七) 结构

这是指船体与上层建筑材料、船体结构形式、甲板负荷、特殊加强等的要求。

(八) 设备

这是指起货设备的形式及能力,如锚和锚机、舵和舵机、减摇装置、通风、空调、导航、通信等方面的要求。

(九) 性能

这是指性能要求,如稳性要求、首尾吃水的浮态要求、分舱及破舱稳性的要求、耐波性及操纵性的要求等。

(十) 船员

这是指船上编制人数,包括干部和普通船员,同时也有对生活设施提出具体要求的。

(十一) 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 它受航道与港区的水深限制。

(3) 船宽 B 它主要受进运河、过船闸、进船坞等限制。

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

设计任务是进行船舶设计的基础,是关系到新船成败的关键环节。如果任务书中,对新船的使用任务和技术要求提得不合理,即使设计工作作了很大的努力,也不可能设计出一艘成功的新船,甚至会造成重大损失。因此,在设计分析阶段,如发现新船的使用任务及技术要求有问题,应即时向船东反映,并协商解决。

§ 1-3 设计工作方法

一、认真调查研究

设计人员从接受设计任务时起,就应考虑进行调查研究工作,广泛征求使用部门及航道、港务、船厂等有关部门的意见和看法,搜集有关的资料(包括国外实船资料和文献),在可能的情况下,更应到相近的实船上作深入调查和体验,以获得第一手资料。再经过一番去粗取精、去伪存真的改造制作过程,才能形成初步的设计方案,使设计从一开始就建立在比较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。

二、在借鉴与继承的基础上创新

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,这就决定了他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,设计者常采用一种行之有效的方法——母型改造法。此种方法正是以上述理论为基础的。所谓母型,即与新船在主要方面相近的实船或已设计好的船,将其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设计新船的办法,至今仍被人们广泛应用。

但是,借鉴并不是不加分析地生搬硬套,继承也只能继承过去的精华。要结合新船的特点,考虑到新技术、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。

三、逐步近似

由于船舶的内在矛盾错综复杂,设计工作不可能一次完成,而是循着一个逐步近似的过程。初次近似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。经过几次近似后,最终得到符合各项要求的设计结果。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。有人将这个过程用图 1-1 所示的螺旋线表达出来,既富有哲理又十分形象。

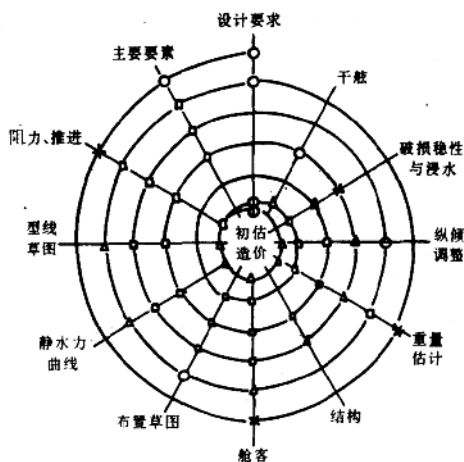


图 1-1 设计螺旋线

§ 1-4 计算机辅助船舶设计简介

造船业应用电子计算机来设计起步较早,50年代国外就开始应用计算机作设计计算、数控切割与绘图。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连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。90年代以来,船舶CAD/CAM有了进一步的发展,如瑞典KCS公司集各国之经验成功地开发了STEERBEAR造船交互设计集成系统。其功能极强,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。该系统已由大连造船厂等大厂全套引进,并被消化吸收,以作为国内船舶CAD系统开发的参考。

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方法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(亦称变值法)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 Δ 、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。曲线法是由一组按某种规律变化的平行的平面曲线来构造船体曲面的；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方法可参阅文献[9]、[10]。

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个个调出进行布置。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。计算机辅助民船结构设计，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 10 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平衡，与国外发达国家相比尚存在不小的差距，所有这些都还有待船舶技术工作者、特别是年青一代在熟练掌握船舶设计基本原理与方法的基础上勤奋工作，大胆创新去解决，并把我国船舶 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. 船舶设计的注意点有哪些？其基本要求是什么？
2. 一般说来，船舶设计分为哪几个阶段？各阶段主要任务如何？
3. 我国经济体制改革后，民船设计阶段划分有哪些变化？
4. 船舶设计任务书的主要内容是什么？
5. 什么是母型改造法？什么是逐步近似法？
6. 船舶 CAD 使设计工作发生了哪些变化？

第二章 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。

一、重量方程式与浮性方程式

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

$$\Delta = \sum W_i = LW + DW \quad (2-1)$$

$$LW = W_b + W_f + W_m \quad (2-2)$$

式中, LW ——空船重量(t); W_b ——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

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

式中, ρ ——水的密度(t/m^3),海水密度为 $1.025t/m^3$;淡水密度为 $1.0t/m^3$; ∇ ——该装载情况下的型排水体积(m^3); k ——附体体积系数,通常为 $1.004 \sim 1.01$,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; L, B, T, C_b ——船长、型宽、吃水及方形系数(L ,本书指垂线间长,即 L_{sp})。

根据浮力和重量相等,可得浮性方程式

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

二、民船典型载况

船舶在营运及航行过程中,其载重量(如货物、旅客及行李、油、水)是变化的。随着载重量的变化,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加以研究。

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

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、到港载况,有时还要加算航行中途载况。

在船舶稳性规范中,对各类民船的典型载况都作了具体规定。

三、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,因而必须仔细地估算,力求提高估算精度。在设计过程中,如果将船舶重量计算得过轻,则完工船的实际重量值将大于计算值,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,如果将船舶重量计算得过重,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 计算误差过大,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 计算误差过大,都可能影响船舶的使用效能。

四、重量重心计算的特点与方法

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,就是在设计的各个阶段,如初步设计、技术设计、施工设计,完工计算等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,而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。在技术设计、施工设计及完工计算时,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船舶重量重心的估算方法,寻求船舶主尺度系数与各部分重量之间的内在规律;同时,还将简略介绍船舶设计中、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

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		

一、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空船重量,避免重量项目计算的重复或遗漏,为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 、木作舳装重量 W_l 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。

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,在使用重量资料时要予以注意。

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

二、船体钢料重量 W_b 的分析与估算

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

(一) 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. 船舶尺度及系数

船舶主要尺度及系数(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。

表 2-2 船舶空船重量分类表

项目分类	细 目
<p>一、船体钢料部分</p> <p>1. 首尾柱及轴包架</p> <p>2. 船壳板</p> <p>3. 底部及舷侧构架</p> <p>4. 甲板结构</p> <p>5. 舱壁及围壁</p> <p>6. 支柱</p> <p>7. 船体钢料杂项</p> <p>8. 底座</p> <p>9. 上层建筑钢料</p> <p>10. 铆焊</p>	<p>首柱,尾柱,轴包架,舵踵及其他</p> <p>竖龙骨,底板,旁板,平板龙骨,舳龙骨,船壳板上覆板</p> <p>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</p> <p>上甲板结构,主甲板结构,平台甲板结构,其他</p> <p>横向水密隔壁,纵向水密隔壁,部分舱壁及舱室围壁,货舱筒及舱口围壁,围板,其他</p> <p>各层甲板下支柱,舱面机械及梯口加强支柱,其他</p> <p>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,污水阱,其他</p> <p>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</p> <p>首楼,桥楼,尾楼,各层甲板室,舷墙及走廊边板,其他</p> <p>焊料,铆钉头,板缝搭边接头及垫料,其他</p>
<p>二、木作舾装部分</p> <p>1. 船体木作</p> <p>2. 船舶属具(金属)</p> <p>3. 船舶设备及装置</p> <p>4. 舾装木作</p> <p>5. 生活设备及工作用具</p> <p>6. 水泥及瓷砖</p> <p>7. 油漆</p> <p>8. 冷藏及通风</p> <p>9. 船舶管系</p>	<p>木甲板,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</p> <p>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</p> <p>操舵装置,锚装置,系缆装置,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</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>主船体部分,其他部分</p> <p>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</p> <p>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</p>
<p>三、机电设备部分</p> <p>1. 船舶电气</p> <p>2. 轴系</p> <p>3. 主辅机械设备</p> <p>4. 动力管系</p> <p>5. 机炉舱杂项</p> <p>6. 机炉舱特种设备</p> <p>7. 机炉及管系内液体</p>	<p>舱面机械电力设备,生活及照明用电,对外通信设备,船内通信设备,助航设备,机炉舱辅机电力设备,输电电缆、配电板等</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>蒸汽及乏汽管系,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</p> <p>工具机,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</p> <p>遥控装置及联合操纵台,其他</p> <p>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</p>

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_b/LW	W_s/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) 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 增加要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_b 不一定增加或增加甚微,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,因此型深增加要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影响,吃水 T 增加,使船体所受静水压力增大,故船体梁的剖面模数要增加。从局部强度方面看,船底和舷侧构件尺寸也要加大。所以,吃水增加也会引起船体钢料重量增加。

(5) 方形系数 C_b C_b 增大(一般当 $C_b > 0.6$ 时),则需增大船体梁剖面模数 W 。这会引引起总纵强度构件重量增加;另外, C_b 增大,会引起外板、甲板、底部结构、舱壁等构件尺度和数量微小的增加。总之,方形系数 C_b 增大,会使船体钢料重量 W_b 有所增加,不过其影响甚微。

综上所述,可知主尺度及方形系数对 W_b 的影响程度是不同的,其顺序为 L 、 B 、 D 、 T 、 C_b 。它们对 W_b 的具体影响程度因船舶类型、建筑及结构特征、主尺度的大小等而异, W_b 与主尺度及方形系数之间的关系可用下式表示:

$$W_b = C_b L^\alpha B^\beta D^\gamma T^\delta C_b^\tau \quad (2-5)$$

式中, α 、 β 、 γ 、 δ 、 τ ——指数, $\alpha \geq 1$, 其他指数 < 1 ; C_b ——钢料重量系数。

对于大船与小船,主尺度对 W_b 影响程度也不同。小船强度要求低,如主船体的板厚主要是从使用年限、耐腐蚀以及焊接工艺要求等方面考虑的,所以小船的船体钢料重量 W_b 主要取决于其构件总尺度数量(总尺度数量正比于主尺度值的平方)。对于大船,其强度要求高,构件的尺寸正比于船长,由于构件总尺度数量正比于主尺度值的平方,故大船的船体钢料重量 W_b 近似正比于主尺度立方。对巨型油船和散货船,由于船长 L 对 W_b 影响更大,故 W_b 会高于主尺度立方关系变化,从 L 的影响指数 α 看,对于小船, $\alpha \approx 1$;对于大船, $\alpha > 1$ 。

2. 布置特征

船舶布置特征不同, W_b 也就不同,如甲板层数、舱壁数、上层建筑的大小等均对 W_b 有影

响。

甲板层数,取决于布置特点与使用要求;

舱壁数,规范有最小数目的规定,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,且不同船型也不同。

3. 船级、规范、航区

设计船入什么级,用哪国规范,都对船体结构要求有差别,因而对 W_h 有影响。同样尺度的船舶,如航行于冰区,船体的某些结构要加强,显然 W_h 值就会加大。

4. 结构材料

船体采用普通钢、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。

以上对影响 W_h 的几方面因素,进行了简单分析。分析讨论的目的是:①有助于对某些近似估算公式的理解;②在利用母型资料估算 W_h 时,可以根据上述影响因素,找出新船与母型的差别,并进行修正,以使结果更加符合实际情况;③将分析出的规律用于船舶设计,以便在满足使用和各种性能要求的前提下,尽量减轻空船重量,节省原材料。

(二) 粗略的估算方法

船体钢料重量的估算方法很多,在设计中重要的是要根据收集所得的资料情况,在不同的设计阶段选取合适的估算方法。下面介绍的一些粗略的估算方法可在设计初始阶段使用,也就是说在设计船的 L 、 B 、 D 、 T 、 C_b 等已初步确定,对船的布置特征已有粗略设想,但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 W_h 正比于 Δ ,亦即

$$W_h = C_h \Delta = C_h \rho k L B T C_b \quad (2-6)$$

式中, C_h 可根据母型船选取, $C_h = W_{hm} / \Delta_m$ (其中 W_{hm} 、 Δ_m 分别为母型船的钢料重量和排水量,本书字符凡带下标 m 者一般指母型船数据)。

如果已知 C_h ,则可根据 Δ 求出 W_h 值。此估算方法简单方便,缺点是把 L 、 B 、 T 、 C_b 各要素对 W_h 的影响看成同等的,因此较为粗略,通常只适用于油船、散货船等 Δ 较大且特征比较稳定的船。

估算船体钢料重量时所参考的母型船,应当是与设计船类型、船主体结构形式及船体材料相同、主尺度及船舶上层建筑丰满度相近的实船;其 C_h 应尽量采用多艘实船分析比较后确定。

2. 平方模数法

此法假定 W_h 正比于船体结构的总面积,并用 L 、 B 、 D 的某种组合来表征。最常见的形式为

$$W_h = C_h L(B + D) \quad (2-7)$$

式(2-7)中, $(B+D)$ 可近似看成是单甲板船从龙骨到甲板中心的周长,所以 $L(B+D)$ 实际上表征了船壳表面积及甲板表面积的一种面积特征数,亦称平方模数。

本方法对于总纵强度不突出的船,其计算结果比较准确,常用于内河船舶及小型船舶。

3. 立方模数法

此法假定 W_h 正比于船舶内部总体积,并以 LBD 作为内部总体积的特征数,简称立方模数,即