



普通高等教育船舶类规划教材

船体强度 与结构设计

王杰德 杨永谦 等编著

国防工业出版社

389536

船体强度与结构设计

王杰德 杨永谦 等编著

国防工业出版社

·北京·

(京)新登字 106 号

图书在版编目(CIP)数据

船体强度与结构设计/王杰德等著. —北京:国防工业出版社,1995.4

ISBN 7-118-01360-9

I. 船… II. 王… III. ①船体强度-船体结构②船体结构-结构设计 IV. U663.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 13896 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 21½ 496 千字

1995 年 4 月第 1 版 1995 年 4 月北京第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:12.45 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

出版说明

根据国务院国发(1978)23号文件批转试行的“关于高等学校教材编审出版若干问题的暂行规定”,中国船舶工业总公司负责全国高等学校船舶类专业教材编审、出版的组织工作。

为了做好这一工作,中国船舶工业总公司相应地成立了“船舶工程”、“船舶动力”两个教材委员会和“船电自动化”、“惯性导航及仪器”、“水声电子工程”、“液压”、“水中兵器”五个教材小组,聘请了有关院校的教授、专家60余人参加工作。船舶类专业教材委员会(小组)是有关船舶类专业教材建设的研究、指导、规划和评审方面的专家组织,其任务是做好高等学校船舶类专业教材的编审工作,为提高教材质量而努力。

在总结前三轮教材编审、出版工作的基础上,根据国家教委对“八·五”规划教材要“抓好重点教材,全面提高质量,适当发展品种,力争系统配套,完善管理体制,加强组织领导”的要求,船舶总公司于1991年又制定了《1991—1995年全国高等学校船舶类专业规划教材选题》。列入规划的选题共107种。

这批教材由各有关院校推荐,同行专家评阅,教材委员会(小组)评议,完稿后又经主审人审阅,教材委员会(小组)复审,然后分别由国防工业出版社、人民交通出版社以及有关高等学校的出版社出版。

为了不断地提高教材质量,希望使用教材的单位和广大师生提出宝贵意见。

中国船舶工业总公司教材编审室

1992年5月

前 言

本书在《船体结构与强度》讲义的基础上,根据 1991 年中国船舶工业总公司船舶类教材会议通过的船体强度与结构设计课程教学要求,结合多年来的教学实践编写而成。

根据教学大纲的要求,本书将着重介绍船舶强度原理和实用的传统设计计算方法,并简略介绍现代的新发展,在内容上扩充了船体结构有限元模型化及船体结构的“规范”法设计,恢复了概率强度这一专题,标题为“船体结构的可靠性设计”。此外,在具体内容的取舍、系统和阐述方面都有许多新特点。另外,书中还附有少量习题。

本书由王杰德主编。参加编写的还有杨永谦、王发祥、陈超核。具体分工是:绪论、第二、五、六、七、八、九章由王杰德编写,第三、四章由杨永谦编写,第一章由王发祥、陈超核编写,第一、二章的计算实例由陈超核完成,最后由王杰德统一定稿。

本书的撰写得到了海军工程学院、哈尔滨船舶工程学院、天津大学、大连理工大学等院校的同行们的大力支持,夏剑晖副教授提供了一些参考资料,郭昌捷副教授提供了一些习题资料。中国船舶工业总公司第七〇八所郑君镐高级工程师提供了宝贵的实船设计资料。本书由海军工程学院冯文山教授主审、贺小型教授复审,他们在百忙之中审阅了全部书稿,提出了许多宝贵意见。在此一并表示衷心的感谢。

由于我们学识水平和教学经验都很不足,书中不当之处在所难免,恳切希望广大读者和使用本教材的有关院校师生批评指正。

编 著 者

内 容 简 介

本书主要叙述了船体强度和结构设计的原理和计算方法。书中不仅阐述了经典的船体强度原理和计算方法,同时对船体结构的有限元模型化、实用的结构规范设计法和发展中的现代船体强度理论和设计计算方法都作了适当介绍。全书兼顾海船和内河船的不同特点,每一专题都有例题和少量习题,每一章附有参考文献。

本书为高等院校船舶设计与制造专业教材,也可供从事船舶结构设计与计算的工程技术人员应用,并可供海洋工程结构专业学生和技术人员参考。

目 录

绪论	1
第一章 引起船体梁总纵弯曲的外力计算	
1.1 船体梁受力与变形	7
1.2 重量曲线	10
1.3 静水剪力和弯矩计算	16
1.4 静波浪剪力和弯矩计算	21
1.5 计算机计算总纵弯曲力矩和剪力	32
1.6 弯矩和剪力的近似估算公式	36
1.7 剪力和弯矩计算实例	41
参考文献	50
第二章 船体总纵强度计算	
2.1 船体总纵弯曲应力的第一次近似计算	51
2.2 船体构件的稳定性检验和总纵弯曲应力的第二次近似计算	55
2.3 船体构件的多重作用及按合成应力校核总纵强度	66
2.4 船体梁弯曲剪应力的计算	70
2.5 许用应力	78
2.6 船体挠度的计算	82
2.7 船体极限弯矩的计算	85
2.8 总纵强度计算实例	87
参考文献	99
第三章 船体结构局部强度计算	
3.1 局部强度计算的力学模型	100
3.2 船体骨架的带板	108
3.3 典型船体结构的局部强度计算	111
3.4 结构分析有限元法模型化	126
3.5 船体结构局部强度计算的有限元模型	138
参考文献	146
第四章 船体扭转强度计算	
4.1 有长大舱口船舶的强度计算特点	147
4.2 作用在船体上的扭转外力	149
4.3 等直薄壁梁扭转理论	157

4.4 大开口船舶弯扭组合分析的有限梁法	168
参考文献	183

第五章 型材剖面设计

5.1 型材剖面的利用系数和比面积	185
5.2 型材的强度要求及剖面要素计算	187
5.3 型材的稳定性计算	192
5.4 型材剖面设计问题的一般提法与结构优化设计的基本概念	196
5.5 型材剖面最佳尺寸的实用设计公式	199
5.6 型材剖面设计示例	205
参考文献	208

第六章 船体中剖面算法设计

6.1 船体结构钢料和结构型式的选择	210
6.2 中剖面算法设计的基本任务和策略	212
6.3 中剖面纵向构件相当厚度的决定	215
6.4 纵向加筋板的设计——板与纵骨间的材料分配	223
6.5 考虑构件剖面折减后的中剖面设计	234
6.6 船体中剖面算法设计示例	236
参考文献	242

第七章 船体结构规范法设计

7.1 船体结构规范法设计的基本考虑	243
7.2 规范对船体纵向强度的要求	250
7.3 外板及甲板板的设计	257
7.4 船体骨架的设计	265
7.5 应力集中区的结构设计	273
参考文献	279

第八章 上层建筑设计

8.1 上层建筑的变形特征	280
8.2 上层建筑设计	282
8.3 主体在上层建筑端部的应力集中及加强设计	290
参考文献	293

第九章 船体结构的可靠性设计

9.1 结构可靠性理论的基本概念	295
9.2 结构概率设计方法的基本原理	298
9.3 海洋波浪的描述和统计	310
9.4 船体波浪载荷的统计分析	316
9.5 船体结构的极限状态分析	322
9.6 结构的安全水平和安全等级	324

参考文献	326
习题	327

绪 论

一、船体结构的强度计算——任务、内容和方法

船体强度是研究船体结构安全性的科学。所谓结构的安全性是指结构能承受在正常施工和正常使用时可能出现的各种载荷和(或)载荷效应,并在偶然事件发生时及发生后,仍能保持必需的整体稳定性。此外,结构在正常使用时,还必须适合营运的要求,并在正常的维护保养条件下,具有足够的耐久性。

在一般情况下,船体强度计算应包括下述内容:

- (1)确定作用在船体或各个结构上的载荷的大小及性质,即所谓外力问题。
- (2)确定结构剖面中的应力与变形,即结构的响应分析(亦称载荷效应分析);或者求使结构失去它应起的各种作用中的任何一种作用时的载荷,即结构的极限状态分析(亦称求载荷效应的极限值),即所谓内力问题。
- (3)确定合适的强度标准,并检验强度条件。

这三部分内容是一个综合的整体,但通常被分散到几门课程中讨论。

长期以来,结构的安全性衡准都普遍采用确定性的许用应力法。该法以预先规定某一计算载荷为基础,利用结构剖面中的计算应力 σ 与许用应力 $[\sigma]$ 相比较,即利用条件

$$\sigma \leq [\sigma]$$

来检验强度是否足够。因此,该法的特点是将计算中的有关参数都取为单一的决定值。

但是,实际上在船体强度计算中必须考虑许多不确定因素。首先,作用于船体的载荷具有很大的变动性和随机性,特别是波浪引起的载荷;其次,船体结构材料的性能,如屈服极限、疲劳极限的不确定性;此外,如建造质量(它对结构强度的影响特别大),分析计算中的简化、假设、近似所造成的误差等。由此可见,结构的安全性是属于概率性的,因此,在结构强度计算中,只有运用概率方法才能充分揭示作用在船体结构上的随机外力的真相和结构材料在随机载荷作用下的破坏机理。

由于船体结构本身及其环境条件和相互作用的复杂性,在船舶结构工程中概率方法的应用仍处于初步阶段。目前,在船舶建造规范中,对常规船舶,波浪载荷仍以传统形式表达,但应用了随机性波谱理论以一定概率水平预报;而对于超过规范规定的范围的船舶,则明确规定了一种半概率的“直接算法”作为补充,即对波浪载荷运用概率方法进行长期预报,但对船体结构的承载能力仍沿用许用应力的确定方法。

本书的大部分内容仍以常规的确定性方法为基础。鉴于传统的评定船体强度和确定性的设计方法终将会由船体结构的可靠性分析的概率设计计算方法所代替,所以增加了第九章船体结构的可靠性设计的内容。

通常,将船体强度分为总强度和局部强度来研究。

首先,把船体当作一根飘浮的空心薄壁梁(称为船体梁),从整体上研究其变形规律和抵抗破坏的能力,通常称为总强度。由于船体主要是纵弯曲变形,所以长期以来,总强度就是研究船体梁纵弯曲问题。本书第一、二章主要讨论的就是这方面的内容。但是,近若干年来,随着诸如集装箱船之类具有甲板长大开口的船舶的出现,计算扭转强度也成了十分必要的问题,在这方面的研究已取得了长足的进步,这些将在第四章讨论。

除了总强度之外,组成船体的各局部结构、构件、节点还会因局部载荷和(或)船体梁应力而发生变形或受到破坏。从局部上研究其变形规律和抵抗破坏的能力,通常称为局部强度。实践证明,即使船体不发生一折二段的破坏,局部的变形或破坏是经常发生的;此外,一些局部的破坏还具有整体性的特征。因此,在船体强度问题中,只研究总强度是不够的,所以本书第三章专门论述船体局部强度的计算。由于船舶结构力学课程已经详尽地介绍了船体结构的各种典型计算方案的具体计算方法,因此,第三章的重点放在结构计算方案的选择上。要永远记住,一个不正确的计算方案,计算无论多精确也是毫无意义的。

二、作用在船体结构上的载荷

作用在船体结构上的载荷,按其对结构的影响,可分为:总体性载荷和局部性载荷。总体性载荷是指引起整个船体的变形或破坏的载荷和载荷效应,例如,总纵弯曲的力矩、剪力、应力及纵向扭矩等;局部性载荷是指引起局部结构、构件的变形或破坏的载荷,例如,水密试验时的水压力,机器的不平衡所造成的惯性力、局部振动,海损时的水压力等。而对于最基本的载荷——装载的货物、油、水等重力及舷外水压力(静水或波浪下),显然既引起局部结构、构件的变形或破坏,同时又是引起船体梁总纵弯曲或扭转的基本载荷。

作用在船体结构上的载荷,按载荷随时间变化的性质,可分为:不变载荷、静变载荷、动变载荷和冲击载荷。

不变载荷,是指在作用时间内不改变其大小的载荷,例如,静水载荷(包括静水压力、货物压力、静水弯矩等)、水密试验时的水压力等。在不变载荷作用下的结构响应分析称为静力分析。

静变载荷,是指载荷在作用时间内有变化,但其变化的最小周期超过该受力结构构件的固有振动周期若干倍,故又称为准静态载荷。例如,作用于船体的波浪载荷(包括动水压力、波浪诱导弯矩等)、液体货物的晃动压力、航行中的甲板上浪、下水载荷等,其中最重要的是波浪载荷。由于波浪载荷的随机性以及载荷与响应之间的复杂的相互作用,其计算是一项复杂的任务,它涉及统计理论、流体动力学,以及系统分析等多种专门知识。显然,这些内容已远远超出本书的范围,为了使读者能够对这方面知识有所了解,我们仍在 9.3、9.4 节概要介绍这一领域的基本内容。

在造船中,自 19 世纪中叶以来一直沿用将船舶静置在波浪上的纵强度计算的标准方法。由于所有船舶的强度都是在同一计算原理的基础上进行比较,而作为比较标准的许用应力又是以大量安全航行的总纵弯曲应力计算、海损事故的纵强度分析以及实船测量所得的大量应力数据为基础,并按照安全要求制定出来的。实践表明,采用这种方法在一定范围内仍可以比较、判断船体强度,并且简单、方便。因此,本书仍以这一方法为基础,求出引起船体梁总纵弯曲的外力。这便是第一章的内容。

动变载荷与静变载荷不同,它是指在作用时间内的变化周期与所研究的结构构件响应的固有振动周期同阶,例如局部结构的强迫(机械)振动、由螺旋桨引起的脉动压力、船体梁的波激振动等。这方面已属于“船舶振动”课程内容,本书不予多述。这里仅指出,对比较“柔软”的长江船舶,其第一谐调固有振动周期常接近于经常遇到的波浪周期。这类船舶在波浪上航行时,便会发生总振动,这种现象称为波激振动。波激振动以 1s 量级的周期在船舶首端或尾端引起“挑扁担”式的显著的甲板抖动,这样不仅使船员感到不适,还引起附加弯曲力矩(在共振范围内它可能达到很大的值)。

冲击载荷,是指在非常短的时间内突然作用的载荷,例如砰击。

当船舶纵摇又恰巧遇到波谷,船底便从水中露出,而当船底再入水时,由于船与波之间存在的相对加速度,平坦的船底就会受到极大的水动力冲击,这种现象称为底部砰击。底部砰击持续的时间很短(常在 0.1s~1s),并伴有响亮的轰鸣声和砰击声。砰击不仅引起局部的变形或损坏,还引起船体梁的弯曲振动和附加应力。

在计算动变载荷及冲击载荷的响应时,通常需作动力分析才能有足够的精度。

通常静力分析和动力分析总是分开进行的,动力分析通常只研究对于静载荷的偏离,因此,结构的总的响应为这两种分析结果的和。

三、结构设计的基本任务和内容

大家知道,船舶是一个由许多子系统所组成的复杂工程结构物。船体结构是其中的一个子系统,它提供了一个使其它子系统可以结合为一个整体的实际空间,并确保完成船舶的指定功用。结构设计通常在船舶总体设计完成之后进行,此时船舶的主要尺度、船体型线及总体布置(船舶建筑型式、甲板层数、甲板与内底位置及舱室的划分等)已经确定。因此,结构设计的基本任务是,选择合适的结构材料和结构型式,决定全部构件的尺寸和连接方式,在保证具有足够的强度和安全性等要求下,使结构具有最佳的技术经济性能。

船体结构设计,一般随全船设计过程分为三个阶段,即初步设计、详细设计和生产设计。在不同的阶段完成不同的工作:

(1)初步设计,根据批准的技术任务书对整个结构的设计原则(例如,船体材料及结构型式的选择、重大技术措施的采取等)作出分析比较,对主要构件的布置与尺寸作出理论的估算,并绘制横剖面图,给出钢料预估单。

(2)详细设计,根据确认的初步设计及审批初步设计时所作的各项决定进行。在这一阶段中,全面解决结构设计中的技术问题,最终确定构件的布置、尺寸及连接方式,提交送验船部门审查所需要的设计图纸及技术文件。

(3)生产设计,主要绘制各部结构、构件连接的施工详图。

四、评价结构设计的质量指标

为得到一个优秀的结构设计,通常应考虑下述诸方面:

1. 安全性

结构要能承受正常使用时各种可能的载荷作用,并在偶然事件发生时及发生后,仍能

保持必需的整体稳定性(即仅产生局部损坏而不发生整体的破坏)。

2. 营运适合性

船体结构要尽可能满足船舶的使用要求,适合于营运的条件。例如,货舱的结构必须便于装卸货物,旅客、船员的居室必须具有适当的高度与通道。

3. 船舶的整体配合性

船舶在完成其功用时是一个整体,在船舶设计时,结构设计必须同总体、轮机、设备、电气及通风等其它方面的设计互相配合,以保证船舶在各方面都具有良好的工作性能。

4. 耐久性

所谓耐久性是结构维持其原来结构效率水平的能力,即在正常的维修保养条件下,结构能够使用到预定的年限。船体结构的耐久性主要决定于材料,但维修保养得当也很重要。因此,在设计时一方面要正确地估计结构的腐蚀磨损,同时应规定防止耗损的各种措施,例如,保证材料的质量,保证船体的通风,提供便于检查和油漆的工作条件(特别是空间),尽可能消除船体内部使锈蚀发展的条件(如避免结构有使水积聚的部分和设法排除船体内的积水)等。

5. 工艺性

设计的结构必须便于施工、保证施工质量,同时能最大限度地减少建造工作量,以降低制造成本。因此,在设计时要尽可能简化船体几何形状,例如,采用直线形舷弧和梁拱,采用折角形、折角线和平面;结论构件的形状和尺寸要尽可能规格化、标准化;不要采用在两个平面内弯曲的梁材构件;结构的布置要尽可能简单(特别是在首尾部);结构的连接设计要便于装配和减少施工质量等。此外,尚应根据承造厂的设备情况、生产组织等特点,合理地制订船体建造的原则方案,合理地实施结构的焊接过程。

6. 经济性

对民用船舶,通常设计的总目标是,使船舶在整个使用期内具有最大的经济效益(获利能力)。决定船舶获利能力的主要因素是初始成本和营运收入。结构设计不仅直接影响船舶的初始成本,同时还影响船舶的营运费用和船舶的营运收入。因此,结构设计中的经济性是一个需要仔细分析研究的问题。

上述第2、3项要求是指结构的适用性。而安全性、适用性、耐久性三者总称为结构的可靠性。在可靠性中,安全性直接关系到船舶,甚至人身安全,以及船舶经济效益问题,因此是最重要的要求。

上述各项要求,实质上是一个任务——设计出符合使用要求的优化结构。这就需要建立某种数学表达式作为评价结构设计的质量指标,这个评价指标便称为“目标函数”。目前,在结构设计中,一般将上述的一些要求(如安全性或可靠性)变为对设计的限制条件(约束),另外一些要求转化为经济性的要求。

因此,对民船可以经济性(最大获利能力)作为结构设计的目标。

在大多数情况下,结构设计对经济性影响最重要的方面是结构的初始成本。因此,设计时,可以“最低初始成本”作为评价设计质量的标准。由于初始成本包括材料费用和制造费用,材料费用受结构重量影响,制造费用与结构的工艺性密切相关(主要是焊装劳动量),故结构的初始成本很大程度上决定于结构的设计方案。对结构的各种设计方案作详细的成本核算后,就可找到最优的设计方案。一般,在初步近似分析时,可以用材料的体积

(或重量)与所有桁材、肋骨、加强筋的总长度作为比较的指标。

船舶的营运收入主要决定于船舶的生产率和周转率(载货能力即载重量与载货容积、航速、使用年限、修理时间、航期等)。降低结构重量可使材料耗费减少,同时增加船舶载重量或减少船舶航行阻力,减少运输成本。因此,大多数结构的优化设计都以最小重量(或最小体积)作为设计的目标。

但是,减小结构尺寸、降低结构重量,往往会增加建造工作量,从而增加制造成本,同时还会引起维护保养费用的增加。因此,应该研究怎样才能达到降低结构重量和降低初始成本这两个目标的最佳配合。这就要研究每一艘船的经济寿命,比较初始成本和由降低结构重量而增加其他费用之间的关系。

对于舰艇,其基本功用是作战,因此设计的目标应是在规定的成本限制下,获得尽可能大的战斗能力。在结构设计中,结构的重量及其重心高度对战斗力影响最大。降低结构重量既可提高航速,又可增设与作战有关的武器装备,或者增加舰艇的活动范围和续航力。降低结构重心高度,就可以保证在船体上部能配置足够数量及大小的武器装备,并具有足够的稳性。

五、结构设计的基本原理和方法

长期以来,民船的结构设计主要以各船级社颁布的有关规范为依据。现有的规范仍以船舶建造经验为基础,是基于许用应力的传统设计方法。这种方法简单、迅捷、实用,特别适用于常规船舶,因此至今尚具有很大意义。所以,本书特别增加了一章(第七章),来介绍采用规范进行设计的有关问题,并尝试运用强度的知识来理解规范的有关规定。

然而,按现行规范的传统设计方法存在着明显的缺点。例如,设计是否合理,设计者胸中无数;结构强度的保证,受到规范使用范围的限制;特别是,设计没有明确的目标,增加了盲目性等。

前苏联在造船中最先运用强度计算设计法。它在 50 年代就颁布了强度标准——强度计算的条件(外力、应力)和许用应力标准,但基本仍属于“分析和校核”的确定性设计方法。

从 60 年代开始,在造船业中发生了深刻的变化,比如,油船和散货船的尺度越来越大;新的运输方式、新的运输货物所要求的新船型层出不穷;新材料和新的建造方法,要求船舶更加安全可靠,同时又要要有更高的效率和经济性。因此,老的规范设计方法不能适应新的情况,迫切要求建立一个更加科学、通用的结构设计方法。另外,由于高速电子计算机的出现,结构分析的有限元方法和数学规划的优化技术飞速发展,使得结构设计工作者不仅有了一个强有力的快速计算分析工具,而且有了一套系统的方法来改进设计和优化设计。于是,如同在航空、土木建筑等工程结构设计领域发生的深刻变革一样,船体结构设计的基本原理和方法也正在逐渐发生着深刻的变化,一个全新的船体结构设计原理和方法的研究已经达到实用化的阶段。

首先,结构设计由确定性设计原理逐渐向概率性设计原理过渡。所谓概率设计法即可靠性设计,它以载荷和强度的概率模型为基础,即将结构寿命期内影响结构安全和性能的各种参数作为随机变量,用概率论和数理统计方法来分析结构在使用期内满足基本功能

要求的概率。许多国家和国际组织,已在一些领域里采用结构可靠性理论制订出新的设计标准和规范。在船舶工程领域中,由于所面对的问题更复杂,所以,以概率为基础的船体结构设计仍处于初步阶段,但应看到这一深远的变革正在逐渐深入。因此,本书在第九章论述这方面内容。

另外,随着电子计算机在结构分析中的广泛应用,以“结构的综合和优化”为特征的最优设计方法得到了迅速发展。结构优化设计不仅可以在保证强度和刚度的条件下降低材料消耗和造价,而且在需要时还可以提高结构的功能。但是,它本质上只是一种工具而已,不可能解决结构设计原理所未解决的问题。本书仅在第五章中结合型材剖面设计介绍结构优化设计的基本概念,而许多具体的方法可在有关专著中找到,本书就不一一介绍。

最后,就是关于设计的载荷状态和要防止的破坏形式。从70年代开始,各种工程结构设计普遍向着极限状态设计法过渡。所谓极限状态,是指在一个或几个载荷的作用下,一个结构或一个构件已失去了它应起的各种作用中任何一种作用的状态。这种设计自然要以概率论为基础。限于篇幅,本书仅在第九章介绍结构或构件的极限强度计算问题。除此之外,本书所介绍的保证结构系统完成它的给定功用目标的方法,仍采用众所熟悉的常规确定性设计原理。因为我们的目的,不拘泥于提供具体的设计方法(随着结构理论、数值方法以及计算机软件的发展,更新的、更好的方法会不断产生),更重要的是培养学生进行创造性设计的能力。

第一章 引起船体梁总纵弯曲的外力计算

1.1 船体梁受力与变形

在船体总纵强度计算中,通常将船体理想化为一变断面的空心薄壁梁,简称船体梁。并从整体上进行研究。船体梁在外力作用下沿其纵向铅垂面内所发生的弯曲,称为总纵弯曲。船体梁抵抗总纵弯曲的能力,称为总纵强度(简称纵强度)。本章所要讨论的问题就是确定引起船体梁总纵弯曲的载荷、剪力和弯矩。

将船舶静置在波浪上,求船体梁横剖面上的剪力和弯曲力矩以及相应的应力,并将它与许用应力相比较以判断船体强度,这是船体总纵强度计算的传统方法。本章所要讨论的就是这一传统方法中的一部分。

1.1.1 船体梁的受力与变形特征

船舶从建造到报废,一生中要经历建造、下水、航行、进坞修理等工作状态。其中,航行状态是经常性的工作状态,船体结构的合理型式及结构构件尺寸一般均由这一状态所决定。

船舶在波浪上航行时,作用在船体结构上的外力是相当复杂的。实践证明,重力与浮力是引起船体梁总纵弯曲的主要外力。

如图 1-1 所示,全船总的重力和浮力是大小相等、方向相反,并且作用在同一条铅垂线上,即全船处于静力平衡状态。对沿船长的任一区段来说,它们是不平衡的。假定重力沿船长的分布为 $p(x)$,浮力沿船长的分布为 $b(x)$,则它们的差值就是引起船体梁总纵弯曲的载荷 $q(x)$,即

$$q(x) = p(x) - b(x) \quad (1.1.1)$$

利用梁的理论,作用在船体梁横剖面上的剪力和弯矩为:

$$\left. \begin{aligned} N(x) &= \int_0^x q(x) dx \\ M(x) &= \int_0^x N(x) dx = \int_0^x \int_0^x q(x) dx dx \end{aligned} \right\} \quad (1.1.2)$$

载荷、剪力和弯矩的符号规定如图 1-2 所示,即载荷 $q(x)$ 以向下为正;剪力 $N(x)$ 以作用在梁微段 dx 左剖面上向下为正(或右剖面上向上为正);弯矩 $M(x)$ 则以使船体梁发生中部向上拱起,首、尾两端向下垂的弯曲为正(这种弯曲状态通常称为“中拱”;反之,船中部下垂,首、尾两端向上翘起的弯曲状态称为“中垂”)。图 1-3 表示了船舶在波浪上处于中拱、中垂状态的两个极端情况。

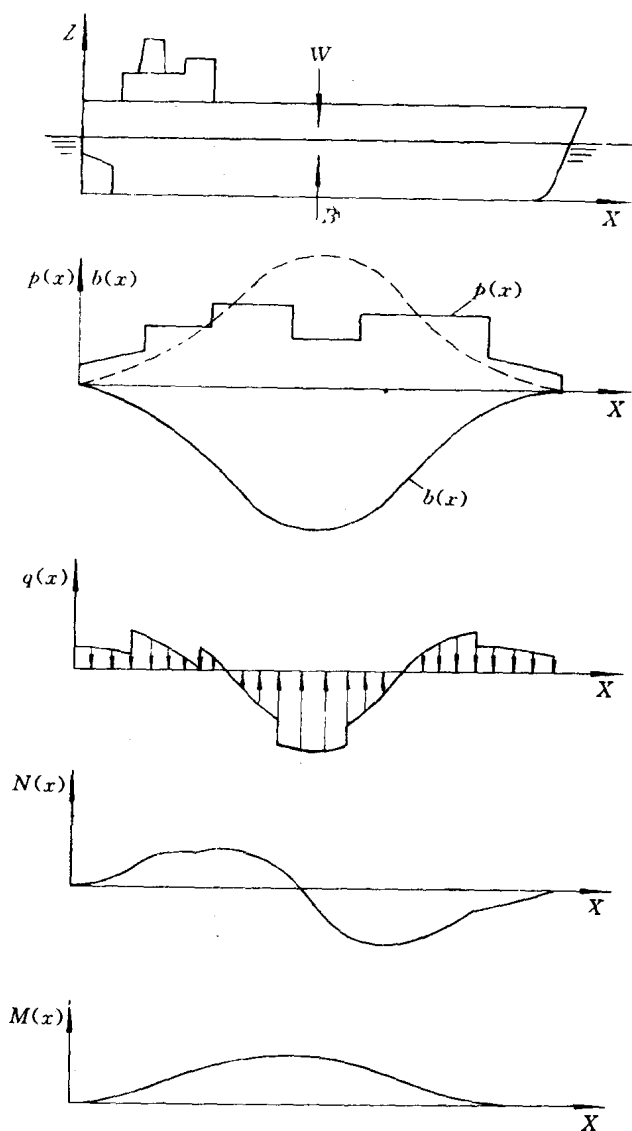


图 1-1 引起船体梁弯曲的外力

1.1.2 载荷、剪力、弯矩的基本公式和计算的一般步骤

为了计算作用在船体梁上的剪力和弯矩,必须首先计算重力和浮力沿船长的分布。对某计算状态来说,重量沿船长的分布状况是不变的。而船舶在波浪中的浮力沿船长的分布 $b_w(x)$ 可视为船舶在静水中的浮力分布 $b_s(x)$ 和由于波浪而产生的附加浮力分布 $\Delta b(x)$ 之和,即

$$b_w(x) = b_s(x) + \Delta b(x) \quad (1.1.3)$$

因此,利用梁的理论,作用在船体梁上的载荷、剪力和弯矩分别为: