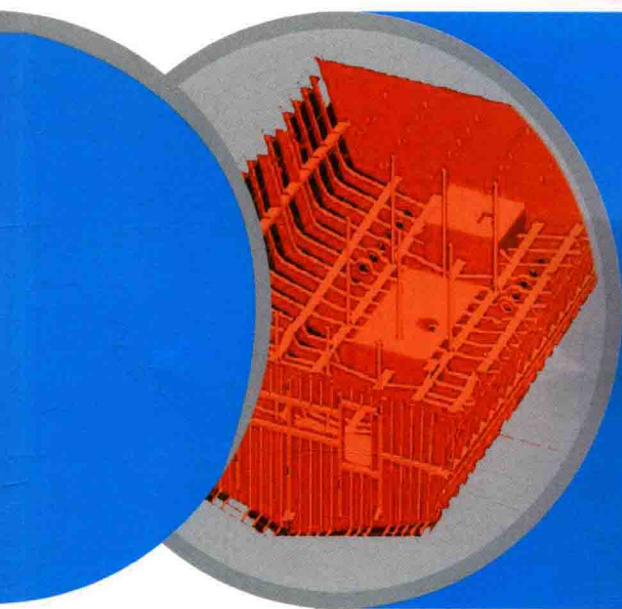



SPD船体结构设计

SPD CHUANTI JIEGOU SHEJI



◎ 主 编 杜友威 曹爱霞

◎ 副主编 周新院 李 丹 石 晓

 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

SPD 船体结构设计

主 编 杜友威 曹爱霞
副主编 周新院 李 丹 石 晓

内 容 简 介

本书着重阐述船舶各分段结构规范设计的基本知识、设计方法及典型实例,全书包括八章内容,分别是船体结构设计基础、工程管理与船体设置,以及外板和甲板板、船底结构、舷侧结构、甲板结构、舱壁结构、上层建筑与其他结构等模块化设计,每个模块化设计又按照结构设计基础知识、结构受力特点、结构设计要点、尺寸规范计算和结构建模实例教学等内容进行组织,符合船体结构设计的一般流程,可以以此开展船舶结构设计项目化教学。

本书主要作为应用型本科船舶与海洋工程专业教材,也可作为高职院校船舶工程技术专业课程(毕业)设计的参考教材,还可供从事船舶设计的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

SPD 船体结构设计/杜友威,曹爱霞主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2018.7
ISBN 978-7-5661-1973-5

I. ①S… II. ①杜… ②曹… III. ①船体结构-结构设计-计算机辅助设计 IV. ①U663-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 135091 号

选题策划 史大伟
责任编辑 雷霞
封面设计 刘长友

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区南通大街 145 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江龙江传媒有限责任公司
开 本 787 mm × 1092 mm 1/16
印 张 12.75
字 数 337 千字
版 次 2018 年 7 月第 1 版
印 次 2018 年 7 月第 1 次印刷
定 价 40.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

《SPD 船体结构设计》是一本知识面较广,创造性和实践性非常强的教材。本教材主要围绕船舶结构规范设计所涉及的一些基本问题,结合项目化教学改革的实际经验,按照“理实一体化”的教学模式编写而成。本教材的特色和创新点如下:

1. 设计思路新。本教材从船体结构设计的一般过程入手,模块化设计部分按照“船舶结构基础知识—结构设计—实例教学”的设计思路进行内容编排,符合船体结构设计的一般思路和流程,体现了教学过程与生产设计过程的对接。

2. 设计规范标准新。教材采用了船舶设计最新的国家标准和中国船级社《钢质海船入级规范》(2015),引入了新的且应用性很强的设计软件——SPD 船舶设计系统,体现了教学内容和企业标准的对接。

3. 教学形式新。本教材遵循“理实一体化”的原则,按照船体分段结构展开模块化教学,由浅入深,边讲边练的原则进行编写,有利于组织教学。

4. 编写模式新。本教材编写过程中,与上海东欣软件工程有限公司的设计人员进行多次交流,确定了教材的体系和内容,并由企业人员共同承担编写任务,使得该教材与生产实际相符合。

本书由青岛黄海学院杜友威、曹爱霞任主编,由青岛黄海学院周新院、李丹、石晓任副主编,由青岛黄海学院田玉芹、孙伟、刘丽丽、杨春萍、吕婧、樊锡勋,威海海洋职业技术学院刘璐,上海东欣软件工程有限公司党军利参编。

哈尔滨工程大学船舶工程学院高良田教授担任本书主审并提出了许多宝贵意见,特此致以谢意。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请广大同行和读者给予批评指正,以便在今后的教学过程中及本书再版时得以改正。

编 者

2018 年 4 月

目 录

第 1 章 船体结构设计基础	1
1.1 概述	1
1.2 船体结构设计的一般规定	3
第 2 章 工程管理与船体设置	12
2.1 系统运行界面	13
2.2 工程管理	14
2.3 船体设置	19
2.4 参数初始化建模实训	28
第 3 章 外板和甲板板设计	33
3.1 概述	33
3.2 外板和甲板板设计	34
3.3 外板和甲板板建模实例	39
第 4 章 船底结构设计	50
4.1 概述	50
4.2 船底结构设计	50
4.3 船底结构建模实例	57
第 5 章 舷侧结构设计	89
5.1 概述	89
5.2 舷侧结构设计	90
5.3 舷侧结构建模实例	93
第 6 章 甲板结构设计	107
6.1 概述	107
6.2 甲板结构设计	109
6.3 舱口结构设计	114
6.4 支柱结构设计	119
6.5 甲板结构建模实例	122
第 7 章 舱壁结构设计	150
7.1 概述	150
7.2 舱壁设计原则	151
7.3 舱壁结构设计	154

7.4 舱壁结构建模实例	159
第8章 上层建筑及其他结构的设计	180
8.1 上层建筑	180
8.2 基座结构	185
8.3 舦龙骨结构	185
8.4 舦墙及栏杆	185
8.5 上层建筑及其他结构建模实例	186
参考文献	197
[1]	1.1
[2]	1.2
[3]	1.3
[4]	1.4
[5]	1.5
[6]	1.6
[7]	1.7
[8]	1.8
[9]	1.9
[10]	1.10
[11]	1.11
[12]	1.12
[13]	1.13
[14]	1.14
[15]	1.15
[16]	1.16
[17]	1.17
[18]	1.18
[19]	1.19
[20]	1.20
[21]	1.21
[22]	1.22
[23]	1.23
[24]	1.24
[25]	1.25
[26]	1.26
[27]	1.27
[28]	1.28
[29]	1.29
[30]	1.30
[31]	1.31
[32]	1.32
[33]	1.33
[34]	1.34
[35]	1.35
[36]	1.36
[37]	1.37
[38]	1.38
[39]	1.39
[40]	1.40
[41]	1.41
[42]	1.42
[43]	1.43
[44]	1.44
[45]	1.45
[46]	1.46
[47]	1.47
[48]	1.48
[49]	1.49
[50]	1.50
[51]	1.51
[52]	1.52
[53]	1.53
[54]	1.54
[55]	1.55
[56]	1.56
[57]	1.57
[58]	1.58
[59]	1.59
[60]	1.60
[61]	1.61
[62]	1.62
[63]	1.63
[64]	1.64
[65]	1.65
[66]	1.66
[67]	1.67
[68]	1.68
[69]	1.69
[70]	1.70
[71]	1.71
[72]	1.72
[73]	1.73
[74]	1.74
[75]	1.75
[76]	1.76
[77]	1.77
[78]	1.78
[79]	1.79
[80]	1.80
[81]	1.81
[82]	1.82
[83]	1.83
[84]	1.84
[85]	1.85
[86]	1.86
[87]	1.87
[88]	1.88
[89]	1.89
[90]	1.90
[91]	1.91
[92]	1.92
[93]	1.93
[94]	1.94
[95]	1.95
[96]	1.96
[97]	1.97
[98]	1.98
[99]	1.99
[100]	1.100

第1章 船体结构设计基础

1.1 概 述

1.1.1 结构设计的主要内容

船体结构设计的主要内容是在满足船舶总体设计的要求下,解决船体结构的形式、构件的尺度与连接等设计问题,保证船体具有恰当的强度和良好的技术经济性能。衡量结构设计质量的优劣,主要从以下几方面来考虑。

(1)安全性。结构设计应保证船舶在各种外力作用下,具有一定的强度,以及必要的稳定性与刚度,不致因构件强度不足或失稳而引起结构的损坏,也不能使变形超过允许范围。同时应使船体结构具有良好的防震性能,使其在各种激振力作用下,不会产生频繁的振动。

(2)适用性。结构的布置与构件尺度的选用应符合营运的要求,例如,对于载运集装箱的货舱,结构的布置应便于装卸货物,居住工作舱室应保证具有适当的高度与通道。

(3)整体性。船舶是一个复杂的水上工程建筑物,各种机器、设备、仪表、家具以及各种系统与结构的布置及所选择的构件尺度有着密切的联系,因此结构设计必须与船舶性能、轮机、设备、电气及通风等设计密切配合,相互协调,分清主次,确保船舶在各个方面都具有良好的工作性能。

(4)工艺性。结构形式与连接形式的选择应便于施工,以提高劳动生产率。在选用结构材料品种时,应适当减少规格,以便于船厂采购和备料。此外,尚应按船厂的设备情况、生产组织管理等特点,合理制订船体建造的方案,采用先进的工艺措施,降低船舶的建造成本。

(5)经济性。在考虑了必要的结构强度、构件的腐蚀余量和使用、维修等方面后,应力求减小结构的质量,材料选用恰当,使船舶具有更好的经济性能。

1.1.2 结构设计方法

船舶具有造价高、使用期长、环境载荷恶劣等特点。在其使用期内可能遭遇到多种事故,这些随机的事故一旦发生,将对结构产生不利影响,导致整个船体结构失去工作能力,造成很大的经济损失。船体结构设计就是对船体结构的构件尺寸,根据所承受的载荷与能力进行计算和校核。主要方法有两大类:确定性设计法和结构可靠性分析法。

1. 确定性设计法

确定性设计法基本上又可分为两种,即:

(1) 规范设计法

根据船舶主尺度和结构形式,及各种营运、施工要求,按船级社制定的船舶建造规范的有关规定,决定构件的布置与尺度,再进行总强度与局部强度、结构稳定性等校核。若有不足之处,则修改原设计方案或按要求局部加强,重复校核,直至满足。但是规范中的简化公式未能充分考虑结构的详细应力分布、边界条件或结构布置,而为了获得较合理的构件尺寸,在规范中也规定了直接计算法,特别是超出规范适用范围的大型船舶和特殊船舶。这种按照结构力学的方法,根据某部分结构的各类构件的受载情况(载荷也有用概率法确定)、边界条件及构件的特性,将其建立一定的力学计算模型,在规定了构件的许用应力和稳定性标准的前提下,按规范要求校核构件。

(2) 直接计算法

由于船型及构件布置的不同,规范不可能罗列全部特征,所以要求基于结构力学的知识,按各种构件和受力情况,直接进行强度计算以求得构件尺度。具有较高的力学合理性,而且可以预先选择目标函数,进行优化设计,最有可能实现的是质量轻。然而,这种计算方法按现有条件难以顾及施工的工艺性,特别是使用上的要求,诸如舱容、腐蚀、维修和航运的要求等,这些都是设计变量的非线性函数,无法用显式来表达,优化的结果往往会陷入局部最优点的搜索,其结果不一定适用,因此近年来国内外在结构优化中开始采用基于知识(Knowledge - Based)的CAD法,即基于众多专家的设计经验、规范、标准等的计算机辅助设计。

2. 结构可靠性分析法

在船体结构强度的确定性设计法中,将有关参量都取为定值。所采用的安全系数表现为强度的储备,使人们对结构产生某种安全裕度的印象,甚至使人们产生一种错觉,认为结构是绝对安全不会被破坏的。这种方法沿用已久,用它来检验构件的强度及构件尺寸的设计。然而,船体结构,无论是哪种船型,采用哪种结构形式,都是空间的板梁组合结构。这样,结构中某个构件失效后,内力重新分配,整个结构还能继续工作,要延续到有相当数量的构件失效后,整个结构才失效,结构具有较富裕的安全性储备。这就促使人们研究船体某些构件产生破坏的可能性(尽管这种机会极少),及其对结构损坏的影响,从而形成了采用概率法对结构进行可靠性分析。

结构可靠性是指结构在规定的时间内与条件下完成预定功能的概率,即达到结构的功能极限状态就可以认为结构失效。

此外,一个结构系统某些独立构件的失效并不一定产生有害影响,而对于一个静定结构的失效可能会产生致命的后果。这就导致了风险评估技术的出现,它是综合安全评估(Formal Safety Assessment, FSA)的重要步骤。

风险评估是结构系统可靠性方法与结构损伤冗余设计的一个合理延伸与综合。近年来,结构系统风险评估与决策建议在船舶与海洋工程领域中的应用正逐步引起人们的重视并得以推广。世界上主要船级社已制定了风险评估方法与准则的规范性文件。

1.2 船体结构设计的一般规定

1.2.1 船舶形式的分类

1. 按航行区域分类

航区不同,对船体结构的要求亦不相同,一般可分为下列3种。

(1) 无限航区的海洋船舶

这类船舶可航行于世界上任一地区。由于航程长,海况复杂,因此,对结构强度等方面要求较高。

(2) 限定航区的沿海船舶

这类船舶仅航行于某些限制的特定海域,对结构强度等要求可较上一种为低。有的船级社又将这类沿海船舶细分为近海航区、沿海航区与遮蔽航区等3种。中国船级社对这3类航区的划分如下:

①近海航区 系指中国渤海、黄海及东海距岸不超过200 n mile的海域;台湾海峡、南海距海岸不超过120 n mile(台湾岛东海岸、海南岛东海岸及南海岸距岸不超过50 n mile的海域)。

②沿海航区 系指台湾岛东海岸、台湾海峡东西海岸、海南岛东海岸及南海岸距岸不超过10 n mile的海域和除上述海域外距岸不超过20 n mile的海域;距沿海有避风条件且有施救能力的岛屿海岸不超过20 n mile的海域,但对距海岸超过20 n mile的上述岛屿,将按实际情况适当缩小该岛屿周围海域的距岸距离。

③遮蔽航区 系指在沿海航区内,岛屿与海岸、岛屿与岛屿围成的遮蔽条件较好、波浪较小的海域。在该海域内岛屿之间、岛屿与海岸之间的横跨距离不应超过10 n mile。

(3) 特殊航区的船舶

这类船舶主要限于江、河、湖泊、水库等特殊水域中航行。

船舶又可以根据航区或水域的冰情,细分为有冰区加强者和无冰区加强者。前者可航行于冰区,后者只能在解冻期内航行。

上述类型的船舶的船体结构尺寸将取决于各航区的波浪、腐蚀及维修等情况,各国船级社均制定相应的规范或规定。

2. 按船舶用途分类

除特种用途的船舶,例如破冰船、起重船、挖泥船、拖船、调查测量船、实习船、车客渡船等外,船舶一般按用途分为客船和货船。货船又按运输货物的品种,分为装干货和装液货的两大类。前者又可分为装散货与装包装货两种,诸如运煤船、运粮食船、运矿砂船等的散装货船及集装箱船,后者又可根据不同的液货品种分成装水、装油及装气等数种,诸如运水船、油船、化学品船、液化气体船等数十种。由于载运货物不同,对其结构强度、结构形式、构件的腐蚀余量及其船用钢材等方面有不同的要求。

3. 按船体的材料分类

船舶按船体材料,主要分为金属材料的船舶和非金属材料的船舶两大类。

(1) 金属材料的船舶

目前世界上多数船舶是采用金属材料制造的,而且使用最普遍的是低碳钢。随着冶金工业的不断发展与船型的开发,在船舶建造中,采用高强度钢的日益增多。高强度钢用于主船体某些受力较大的部位,化学品船的货舱还需采用耐腐蚀的不锈钢材料。

(2) 非金属材料的船舶

①木船 木质船舶种类繁多,是能用于内河航运和江河与沿海的船舶。其结构采用木料建造,亦有采用钢骨木壳建造的。

②水泥船 有钢丝网水泥船与钢筋水泥船等。前者可用于建造内河拖轮、驳船等;后者适用于建造趸船、浮船坞等。

③玻璃钢船 目前限于制造救生艇、游览艇和赛艇等。

4. 按船体的结构形式分类

(1) 横骨架式

此种结构形式的构件沿船长方向布置得密,而沿船宽方向布置得稀。通常中小型船舶的结构和船体首尾部采用这种结构形式者居多。

(2) 纵骨架式

此种结构形式的构件沿船长方向布置得稀,而沿船宽方向布置得密。一般大型船舶货舱部分(诸如甲板、舷侧与底部结构)采用这种结构形式。

(3) 混合骨架式

船体构件的布置既有横结构,也有纵结构。较典型的是底部和强力甲板采用纵骨架,而舷侧采用横骨架。散装货船、集装箱船和车客渡船多采用这种形式。

1.2.2 确定结构尺寸的主要要素

关于船体构件尺度的设计及其计算方法见本章以后各章节,本节仅叙述与确定构件尺度有关的几个要素。

1. 载荷与强度标准

(1) 载荷的性质与类型

船舶承受的载荷有整体性的,亦有局部性的。整体性的载荷由船体整个结构来承受,如设计不良,将导致严重事故;局部性的载荷则由局部构件承受,局部构件设计不好也会产生损伤,在一定程度上会影响使用,如局部构件损伤所产生的裂缝蔓延,也会造成严重的事故。

表1-1为船舶在建造与营运过程中所受主要外载荷的类型。船舶承受的外载荷既有动力的,也有静力的。特别是船舶营运过程中受力异常复杂,而且具有随机性,为了便于分析与计算,做了某些假定。例如,构件受多种载荷时,可按每种载荷计算结果叠加;随机载荷分布函数可采用韦勃尔分布(Weihull)、瑞利分布(Rayleigh)等。

表 1-1 船舶所受主要外载荷的类型

船体承受载荷	载荷的类型
建造过程	加工与焊接的剩余应力; 变形校正应力; 吊运力; 坞墩或龙骨墩搁置力; 下水时水的冲击力
营运过程	静力: (1)船舶本身重力和装载重力; (2)静水加波面水压力; (3)冰块挤压力; (4)码头作业引起的不平衡力
	动力: (1)波浪冲击力; (2)船舶运动的惯性力; (3)振动惯性力
其他情况	(1)触礁或搁浅; (2)破舱后局部构件所承受的破舱水压力

资料来源:《船舶设计手册》。

(2) 强度标准

为了设计构件的尺度或校核结构的强度,根据海况资料、船舶营运的经验、实船或模型的试验结果,加以理论上的分析与研究,制定出一套载荷、计算方法与许用应力相对应的强度标准,作为判别结构强度的依据。在按规范设计时,各构件尺度可按相应规范的计算方法确定,因为船级社制定的规范已综合考虑了载荷与强度标准要求。

2. 船舶主尺度与船型系数

(1) 船舶主尺度

①船长 $L(\text{m})$ 沿设计夏季载重线,由艏柱前缘量至舵柱后缘的长度;对无舵柱的船舶,由艏柱前缘量至舵杆中心线的长度;但均不得小于设计夏季载重线总长的 96%,且不必大于 97%。

②船宽 $B(\text{m})$ 在船舶的最宽处,由一舷的肋骨外缘量至另一舷的肋骨外缘之间的水平距离。

③型深 $D(\text{m})$ 在船长中点处,沿船舷由平板龙骨上缘量至上层连续甲板横梁上缘的垂直距离;对甲板舷边为圆弧形的船舶,则由平板龙骨上缘量至横梁上缘延伸线与肋骨外缘延伸线的交点。

④型吃水 $T(\text{m})$ 在船长中点处,由平板龙骨上缘量至夏季载重线的垂直距离。

(2) 船型系数

船体结构设计中最重要船型系数是方形系数,它由下式确定:

$$C_B = \frac{V}{LBT}$$

3. 构件的类型

船体结构构件可分为纵向(沿船长方向)和横向(沿船宽方向)两大类。为了便于分析,人为地将纵向构件区分为下述4种:

(1) 第1类纵向构件

只承受总纵弯曲,如不装货的上甲板,该类构件所承受的总纵弯曲应力为 σ_1 。

(2) 第2类纵向构件

同时承受总纵弯曲应力 σ_1 和板架弯曲应力 σ_2 ,如底部结构的纵向桁材所承受的应力为 $\sigma_1 + \sigma_2$ 。

(3) 第3类纵向构件

同时承受总纵弯曲应力 σ_1 、板架弯曲应力 σ_2 与纵骨本身的局部弯曲应力 σ_3 ,如船底纵骨所承受的应力为 $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ 。

(4) 第4类纵向构件

同时承受总纵弯曲应力 σ_1 、板架弯曲应力 σ_2 、纵骨局部弯曲应力 σ_3 和板本身的局部弯曲应力 σ_4 ,如纵骨架式的板所承受的应力为 $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4$,而横骨架式的板,因这类构件的 $\sigma_3 = 0$,所以它所承受的应力仅为 $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_4$ 。

4. 船中剖面模数

船中剖面模数表征船体的总纵强度,可近似写为

$$W_{\min} \approx 7.90L^{\frac{5}{3}}BT$$

若部分采用高强度钢材料时,应考虑0.625~0.8的折减系数。

5. 局部强度

(1) 板架强度

板架是由两向正交梁系、板和支撑周界组成的结构,共同承受外载荷。板架的强度取决于板架尺度、两向梁的数量、布置与刚性比、外载荷,以及板架的支撑情况。

(2) 普通骨材强度

普通骨材(肋骨、纵骨、横梁、扶强材等)局部弯曲强度取决于外载荷、骨材的跨距与两端的支撑情况。

分析表明:对于承受横向载荷不大的纵骨,如上甲板纵骨,稳定性是决定构件尺度的主要因素;而承受较大横向载荷的纵骨,如船底纵骨,则强度条件是决定尺度的主要因素。

(3) 板的局部强度

船体的板格一般视作支撑在刚性周界上,承受横向载荷或轴向力的刚性板。在计算板的强度时,将板视作刚性固定于其周界上,而在校验板的稳定性时,则认为自由支撑于其周界上。

6. 构件的带板

在计算船体构件的剖面模数和惯性矩时,应计入一部分与构件相连的板(如甲板板、外板、内底板、舱壁板等),即带板。带板的厚度取附连板的厚度,如附连板厚度不同,则取其平均厚度。带板的宽度主要是按该构件的具体计算要求而选取。考虑构件稳定性时,带板的宽度为 $36t$ (t 为带板厚度)。

7. 钢材的选用

(1) 船体构件的材料级别的钢级

我国《钢质海船入级规范》(下文简称为《钢规》)将一般船体结构划分为 A、B、D、E 四个钢级。在常温下,当船长大于或等于 90 m 时,船体结构用钢应符合表 1-2 的要求。当船长小于 90 m 时,船体结构用钢一般可以使用 A/AH 钢级。为了防止断裂,全船不同部位的船体构件按其所承受的应力情况分为 3 个类别,即次要类、主要类和特殊类。船体各强力构件的材料级别应不低于表 1-2 的规定。表内没有列入的构件一般可以使用 A/AH 钢级。

表 1-2 材料级别和钢级的使用

构件类别	构件名称	材料级别或钢级	
		船中 0.4L 内	船中 0.4L 外
次要类	(1) 纵舱壁板,除主要类要求者外 (2) 露天甲板板,除主要类和特殊类要求者外 (3) 舷侧板	I	A/AH
主要类	(1) 船底板,包括平板龙骨 (2) 强力甲板板,不包括特殊类要求的甲板板 (3) 强力甲板以上的纵向连续构件,不包括舱口围板 (4) 纵舱壁最上一列板 (5) 垂直列板(舱口纵桁)和顶边舱的最上一列斜板	II	A/AH
特殊类	(1) 强力甲板处的舷侧顶列板 ^① (2) 强力甲板处的甲板边板 ^① (3) 在纵舱壁处的甲板列板 ^② (4) 集装箱船和其他有类似舱口角隅处与舷侧之间的强力甲板板 ^③ (5) 散货船、矿砂船、兼用船及其他有类似舱口的船舶在货舱口角隅处的强力甲板板 ^④ (6) 舳列板 ^{⑤⑥} (7) 长度超过 0.15L 的纵向舱口围板 ^⑦ (8) 纵向货舱舱口围板的端肘板和甲板室过渡 ^⑦	III	II (船中 0.6L 外为 I)

注:

- ① 船长大于 250 m 的船舶,在船中 0.4L 范围内选用应不低于 E/EH 钢级;
- ② 不包括双壳船在内壳纵舱壁处的甲板板;
- ③ 在货舱区域的长度范围内选用应不低于材料级别 III;
- ④ 在船中 0.6L 区域内选用应不低于材料级别 III,在货舱区域的其余长度范围选用应不低于材料级别 II;
- ⑤ 船长小于 150 m 且整个船宽范围内设有双层底的船舶,舳列板可以选用材料级别 II;
- ⑥ 船长大于 250 m 的船舶在船中 0.4L 范围内,舳列板选用应不低于 D/DH 钢级;
- ⑦ 选用应不低于 D/DH 钢级。

下面是《钢规》中关于材料级别选用的一些规定：

①船体构件应根据其所对应的材料级别和所取的厚度选用钢级，见表 1-3。

表 1-3 各材料级别要求的钢级

材料级别	I		II		III	
	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢	低碳钢	高强度钢
板厚 t/mm						
$t \leq 15$	A	AH	A	AH	A	AH
$15 < t \leq 20$	A	AH	A	AH	B	AH
$20 < t \leq 25$	A	AH	B	AH	D	DH
$25 < t \leq 30$	A	AH	D	DH	D	DH
$30 < t \leq 35$	B	AH	D	DH	E	EH
$35 < t \leq 40$	B	AH	D	DH	E	EH
$40 < t \leq 50$	D	DH	E	EH	E	EH

②用于制造艉柱、舵、挂舵臂和艉轴架的板材一般应不低于由材料级别 II 所对应的钢级。对于承受集中力的舵结构(如半平衡舵的下舵承或平衡舵的上部分)应取材料级别 III。

③在船中 0.4L 区域内，凡采用钢级 E/EH 或材料级别 III 的单列板的宽度应不小于 800 mm + 5L，但不必大于 1 800 mm。

④用于增强构件的材料级别，以及用于焊接连接件的材质(低碳钢或高强度结构钢)，例如流水沟的扁钢或舳龙骨，通常应与该处的船体外板相同。

⑤集装箱船的中部 0.4L 区域内的强力甲板、舷顶列板及抗扭箱形结构所用的材料级别，在整个货舱区域内应保持不变。

⑥在具有艉楼的液货船上，艉楼前的强力甲板向前延伸至任何泵舱开口的周围，其材质应保持一致。

⑦在船体结构为 T 形或十字形接头，且使用全焊透焊接处和板材在板厚方向承受重大拉应力的构件，建议采用具有全厚度特性的 Z 向钢板。

《钢规》还对冷藏室结构用钢和冰区航行船舶结构用钢提出了特殊要求，这里不再详述。

(2) 材料的选用原则

选用船体构件材料主要是考虑经济性，在保证船体强度和使用要求下尽量减少船体结构质量，以提高船舶的载重量。

选用船体构件材料在很大程度上取决于船舶的大小。就民用运输船舶而言，小型船舶采用高强度钢好处不大，800 箱以上的集装箱船及船长大于 150 m 的船舶才考虑采用高强度钢。

一般船用高强度钢的屈服极限为 315 ~ 390 N/mm²。由于高强度钢的弹性模数并未提高，而且其抗腐蚀性与低碳钢基本相同，因而即使高强度钢的屈服极限有相当大的提高，但构件尺寸的减小使得疲劳强度相应地下降。

一般高强度钢多用于主船体的强力构件上,对大型船舶(载重量10万吨以上的散货船与油船、1000箱以上的集装箱船),为了减少船体结构质量,除了货舱部分的纵向构件采用高强度钢外,某些横向构件(如横舱壁结构、强横梁、肋板等)也采用。

(3) 材料的换算系数

船体构件尺度大都是按规范设计的,规范所规定的构件尺度是以低碳钢为基础的,因而采用高强度钢时,必须注意高强度钢的材料换算系数。对于屈服极限在235~390 N/mm²范围的高强度钢,材料换算系数K值见表1-4。

表1-4 材料换算系数

$\sigma_s / (\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$	K
235	1.00
315	0.78
355	0.72
390	0.70

1.2.3 结构布置的一般原则和规定

结构的布置,将直接影响船体结构的强度、质量及工艺性等,必须高度重视。这里,仅从强度方面考虑应遵循的一些基本原则,以便对此有一个总的概念。

1. 结构的整体性原则

在结构设计时,应遵循的基本原则是:有关构件应布置在同一平面内,以组成封闭的整体框架结构,起到共同承受载荷的作用。例如,甲板纵桁—横舱壁竖桁—内龙骨或底纵桁,甲板纵骨—横舱壁垂直防挠材—内底纵骨、船底纵骨,肋板—肋骨—横梁,舷侧纵桁—横舱壁水平桁—纵舱壁水平桁等。

2. 受力的均匀性和有效传递原则

结构构件的布置要尽可能均匀,以避免构件规格太多或是造成材料的浪费。此外,结构应保证某一构件承受外力后,能有效地将力传递到邻近的结构构件上,以避免某一单独的结构构件承受外力。例如,支柱的上、下端应固定在纵、横强骨架交叉的节点上,并且上、下支柱应尽可能布置在同一垂直线上,使支柱所承受的力能有效地传递给甲板及船底结构;当甲板或船底为纵骨架式时,舷侧普通肋骨的端部应以肘板与邻近的甲板及船底纵骨相连;当舷侧采用普通肋骨与强肋骨交替建造时,一般应设舷侧纵桁,使普通肋骨承受的载荷能通过舷侧纵桁传递给强肋骨。

3. 结构的连续性和减少应力集中原则

构件的布置应力求保证其连续性,尽可能避免构件突然中断。必须保证尽可能多的主要纵向构件连续贯通至艏、艉,如有困难,纵向强骨架应中断在横舱壁或横向强骨架上,并在横舱壁的另一边,设置至少延伸两个肋距的肘板。在同一船体横剖面内,不允许有超过1/3的甲板纵骨或船底纵骨中断,也不允许有多于两根的甲板或船底纵向强骨架间断,纵向

构件中断的剖面彼此至少相距两个肋距,并要特别注意在大开口处的船体剖面上和高度应力集中的区域,绝对不允许中断船体纵向构件。在艏、艉应由纵向骨架式向横骨架式逐渐过渡。

为减少应力集中,所有船体构件的剖面形状应平顺过渡。例如,在甲板、平台、内底板、纵舱壁间断处,应装设衬板或其他结构使剖面逐渐消失;骨架梁腹板高度变化时,应有一过渡区,该区段的长度一般应不小于相邻腹板高度差的5倍。

4. 局部加强原则

在设计过程中,对那些在使用中要承受较大局部载荷的结构则进行适当的局部加强。例如,船首承受波浪砰击区域,艉部承受螺旋桨工作时水动力压力处的结构,船上吊杆、桅杆、救生艇架、系缆桩、炮座等与船体相连接处的结构,以及航行冰区的船舶承受冰块挤压和撞击区域的结构,均应做适当的加强。各规范对此均有规定。

5. 基本规定

各规范对结构布置都有一些具体规定,见表1-5。为保证船舶的安全,海船应尽可能从防撞舱壁到艉尖舱壁设双层底。客船当船长 $50\text{ m} \leq L < 61\text{ m}$ 时,至少应自机舱前壁至防撞舱壁或尽可能接近该处之间设双层底;当船长 $61\text{ m} \leq L < 76\text{ m}$ 时,至少应在机舱以外设置双层底,并应延伸至防撞舱壁及艉尖舱壁或尽可能接近该处;当船长 $L \geq 76\text{ m}$ 时,应在船中部设置双层底,并应延伸至防撞舱壁及艉尖舱壁或尽可能接近该处。

表 1-5 结构布置的基本规定

构件名称		海船	内河船
肋骨或纵骨间距		标准间距 $S_b = 1.6L + 500\text{ mm}$; 最大间距不超过 1 m ; 艉尖舱内不超过 600 mm ; 防撞舱壁距艏垂线 $0.2L$ 区域不超过 700 mm ; 离艏垂线 $0.15L$ 至艉尖舱壁间不超过 850 mm	一般不大于 600 mm
内龙骨		$B \leq 9\text{ m}$ 两侧至少各一道; $9\text{ m} \leq B < 16\text{ m}$ 两侧至少各两道	$L > 30\text{ m}$, 间距 $\leq 2.5\text{ m}$; $L \leq 30\text{ m}$, 间距 $\leq 2.0\text{ m}$
旁桁材	横骨架式	$10\text{ m} < B \leq 18\text{ m}$ 两侧至少各一道; $B > 18\text{ m}$ 两侧至少各两道; 在艏 $0.2L$ 内间距 ≥ 3 个肋距	间距 $\leq 4\text{ m}$
	纵骨架式	$12\text{ m} < B \leq 20\text{ m}$ 两侧至少各一道; $B > 20\text{ m}$ 两侧至少各两道; 在艏 $0.2L$ 内间距 ≥ 4 个肋距	间距 $\leq 4.5\text{ m}$
双层底高度		$h \geq 700\text{ mm}$, 且不小于 $h_0 = 25B + 42d + 300\text{ mm}$ 其中 B 为船宽, m ; d 为吃水, m	$h \geq 800\text{ mm}$; 平底船一般 $h \geq 700\text{ mm}$

表 1-5(续)

构件名称		海船	内河船
单 底 实 肋 板	横骨架式	每 1 肋位设置	每 1 肋位设置
	纵骨架式	一般不大于 3.6 m; 在机舱至少每隔 1 个肋位设置, 在主机座、锅炉座、推力轴承座下每 1 肋位上应设置; 横舱壁及支柱下应设置; 在艏 0.2L 区域内应每隔 1 个肋位设置	一般间距 ≤ 2.5 m; 在机舱间距 ≤ 1.25 m
	防撞舱壁	距艏垂线不小于 0.05L; 对 $L > 200$ m 的船舶, 应不小于 10 m; 但均不大于 0.08L; 对球鼻艏可适当减小	$L > 30$ m, 在距艏垂线 0.05L ~ 0.1L 内设置; $L \leq 30$ m, 距艏垂线应不大于 3.0 m

总之, 船体结构设计的一般流程大体经历这几个过程。首先, 选择合适的结构形式, 确定肋骨间距; 然后, 可按外板、甲板、船底骨架、舷侧骨架、甲板骨架及支柱、舱壁、艏艉柱、艏艉结构、上层建筑及甲板室、机炉座、总纵强度校核等顺序, 查规范公式进行计算, 并最后选定结构尺寸, 此时, 需要循环反复此过程。例如, 计算强力甲板厚度时, 需要纵向连续的甲板骨架尺寸, 而确定甲板骨架尺寸时又需要甲板厚度(作为骨架的带板)的资料, 同时还要校验船体剖面模数是否满足纵向强度的要求。

此外还要注意, 规范规定的尺寸是保证船舶安全可靠的最低标准, 最后选定的尺寸还要根据船舶的实际使用要求而适当调整。