

船舶制造基础

(第2版)

CHUANBO ZHIZAO JICHU



国防工业出版社

National Defense Industry Press

杨敏 编著

船舶制造基础

(第2版)

杨敏 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书介绍了与船舶制造技术密切相关的船用材料、船舶焊接、船舶动力装置、船舶电气系统等方面的应用基础知识,侧重船用材料、船舶焊接内容。从船舶生产制造的实际出发,在讲解基本理论的基础上,突出实际应用和工艺方法。每章后附有习题。

本书具有重点突出、图文并茂等特点,是高等学校船舶与海洋工程专业教材。可供船舶专业大专院校师生使用,也可供从事船舶设计、制造和使用的工程技术人员、管理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

船舶制造技术/杨敏编著.—2版.—北京:国防工业出版社,2009.7

ISBN 978-7-118-06434-6

I. 船... II. 杨... III. 造船—工艺学 IV. U671

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 113228 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 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 12 字数 276 千字

2009 年 6 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 26.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474

发行业务:(010)68472764

前 言

《船舶制造基础》课程是江苏科技大学教学改革的生产物,船舶工程专业的学生要掌握一些与船舶制造技术相关的基础知识,如船用材料、船舶焊接等,了解船舶动力装置和船舶电气方面的知识。这对学生打厚基础、拓宽知识面很重要,而目前各高校尚缺这方面教材。

本教材从船舶生产制造的实际出发,在介绍基本理论的基础上,突出实际应用,突出工艺方法和技术问题的分析、处理,将理论与实际结合;同时介绍了现代造船的理念、模式和先进方法,使学生在掌握基本理论、基本方法的同时也了解了现代造船的发展趋势,为船舶工程的后续课程打下坚实基础。教材各篇内容独立成章,自成体系,又相互协调,前后呼应。

本教材是在第1版的基础上重新修订而成,尤其是第二章和第三章在内容及编排上作了较大改动,突出重点,注重实用和知识点的衔接。本书是编者长期在船厂工作和多年教学实践经验的总结和提炼。在编写过程中,参阅了国内外相关资料,也得到了国内同行和专家的大力支持。本教材力求做到概念清楚,重点突出,联系实际,实例丰富。

全书由杨敏编著,王自力教授主审,胡毛宇副教授复审,教材的第三章和第四章分别由吴铭芳教授、周玉龙高级工程师审阅,第五章由蒋志勇教授审阅。他们工作认真细致,一丝不苟,对本书提出了许多宝贵意见,对此表示衷心感谢。

本教材内容涉及面广,限于编者学识水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者和同行批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
第一节 现代造船工艺流程	1
第二节 船舶制造基础课程的内容和任务	4
思考题	5
第二章 船用材料	6
第一节 对船用材料的主要性能要求	6
第二节 钢的冶炼与分类	10
第三节 船体结构用钢	17
第四节 船用钢材选用	18
第五节 船用铝合金	22
第六节 船舶与海洋工程用非金属材料	27
思考题	40
第三章 造船焊接	41
第一节 概述	41
第二节 电弧焊的基本理论	48
第三节 焊条电弧焊	65
第四节 埋弧自动焊	69
第五节 气体保护焊	72
第六节 金属材料的焊接	75
第七节 焊接应力和变形	80
第八节 焊接缺陷及其质量检验	97
第九节 焊接结构工艺设计	104
第十节 焊接结构的脆性破坏	111
思考题	117
第四章 船舶动力装置	118
第一节 船舶动力装置的含义和组成	118
第二节 船舶动力装置的基本类型	120

第三节	柴油机推进形式和特点·····	123
第四节	船舶轴系·····	126
第五节	船舶主机的安装·····	144
第六节	船舶管路系统·····	151
思考题	·····	155
第五章	船舶电气设备 ·····	156
第一节	概述·····	156
第二节	船舶电力系统·····	158
第三节	船舶机械电力拖动系统·····	168
第四节	船舶照明系统·····	171
第五节	船舶通信与导航系统·····	177
第六节	船舶自动化·····	182
思考题	·····	185
参考文献	·····	186

第一章 绪 论

船舶是复杂的水上工程建筑物,是大型综合型工程,有“水上活动城市”之称。它除了由数以万计的船体构件组成壳体外,还配有各种机器设备、电气设备和生活设施等,以满足船舶航行、停泊、工作和生活的需要。船舶制造和一般机械产品的制造有很大不同,技术密集、配套复杂、多工种立体作业多。船用材料、造船焊接、船舶动力装置和电气设备就是与船舶制造密切相关的几个学科。在系统学习船舶制造方面的课程之前,了解这几个方面的基础知识是完全必要的。

本章首先简要介绍现代造船工艺流程,然后阐述本门课程的内容和任务,使学生初步了解课程的基本情况。

第一节 现代造船工艺流程

现代船舶绝大多数为钢质焊接船,钢质船一般采用分段建造法建造。其建造的生产过程非常复杂,分为三大作业内容:船体建造、船舶舾装和船舶涂装。包括各种材料和设备的准备,材料的成型加工,船体的装配焊接,各种系统、机械设备、仪表等的制造和安装调试以及舱室绝缘、装饰、家具等的制作和安装,最后还要进行整体性的试验和交船工作。图 1-1 所示为现代船舶建造工艺流程。

下面就现代船舶主要建造工艺介绍如下。

1. 船体放样

船体放样的目的是光顺船体的型线,修改实际图纸中因各种原因产生的误差,确定各种船体构件的实际形状和尺寸,提供后续工序必要的施工资料。

船体放样通常有以下三种方法。

- (1) 实尺放样:把设计的型线图按 1:1 的比例绘在放样间的地板上。
- (2) 比例放样:把设计型线图按 1:5 或 1:10 的比例绘在放样桌的台面上。
- (3) 数学放样:运用数学方法编成程序,输入电子计算机进行船体放样。

无论采用哪种放样方法都要光顺型线、修正型值,然后再绘出肋骨型线图,进行结构线放样,展开船体结构和舾装件,从而绘制下料草图,制作样条、样板、样箱或投影底片、仿形图等。

2. 船体钢材预处理和号料

船用钢材经检验部门验收合格后,将船用钢材在矫形机上进行矫正,喷丸或抛丸除锈,涂防护底漆,这个过程即为钢材的预处理。钢材预处理从矫正、除锈、喷漆到烘干过程一般为自动完成的。

预处理工作完成后,再应用样条、样板、板箱或草图或投影底片、仿形图等放样资料,把放样展开后的各零件图形及其加工、装配符号画到平直的钢板或型钢上去,这个过程称

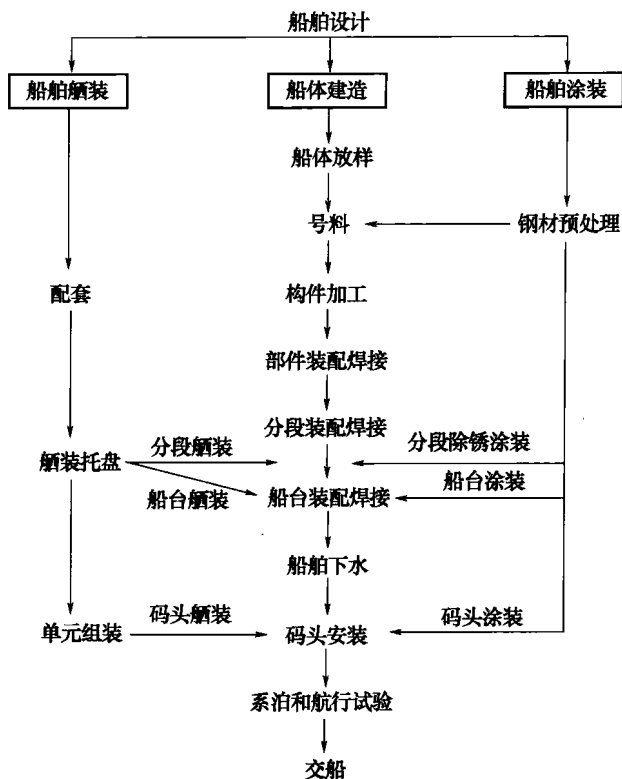


图 1-1 船舶建造工艺流程框图

为号料。号料的方法很多,通常有:

(1) 手工号料。包括样板号料(适宜复杂构件或批量生产)和草图号料(适宜构件比较简单)。

(2) 投影号料(自动化号料)。用光学投影机把按比例放样制作的底图投影放大到钢板上,得到船体构件展开后的实际形状和尺寸,依次进行画线、标注等作业。

3. 船体构件加工

1) 金属材料在常温下的三种特性

船体构件加工是继放样下料后的一道工序。它是利用金属材料在常温下具有以下三种特性。

(1) 钢的可延展性。如目前船体加工中的辊、折、压、轧、矫平等就是利用钢材有延展性这一特性。

(2) 当钢材单位面积上受到外力超过极限强度时,会使钢材断裂。如钢材加工中的剪、冲、刨就是利用钢材的这一特性。

(3) 钢材加热具有热塑性并产生热胀冷缩现象。水火弯板等工艺就是利用钢材的这一性质。

2) 船体结构加工分类

(1) 船体结构加工可分为冷加工和热加工。冷加工主要指构件的矫形、剪切、刨边、辊弯、压弯、折角或折边等。热加工主要指构件的切割(手工切割、半自动切割、数控切割

和等离子切割)、热压弯曲、水火成形等。

船体构件经冷热加工使构件加工成所要求的空间形状,为船体装配做好了准备工作。

(2) 船体结构加工又可分为边缘加工和成型加工。边缘加工主要指构件的切割、剪切、刨边、开坡口等。成型加工主要指构件的辊、压、折、矫形等。

4. 船体装配和焊接

船体装配和焊接,就是把加工后的船体构件,组装成整个船体的工艺过程。

船体装配和焊接分三个阶段:

(1) 由船体零件组合成部件。如板列、T 型材、肋骨框架、主辅机基座、首柱、尾柱、舵等。

(2) 由船体部件组合成船体分段。如底部分段、舷侧分段、甲板分段、舱壁分段、上层建筑分段、首尾立体分段等。

(3) 由船体分段和零部件组合成整个船体。这个阶段是在船台上或船坞内完成的,称之为船台(船坞)大合拢。

归纳上述三个阶段,船体装配和焊接包括船体结构预装配焊接和船台装配与焊接两部分内容。在现代造船中,船体装配焊接一般都采用分段建造法。它将船体划分成若干个局部结构(部件、分段、总段),预先在装焊车间或其他装焊场地制造,这个装焊工艺过程称为船体结构预装配与焊接。再将制成的局部结构吊运到船台(船坞)上装配成整体,这一过程称为船台(船坞)装配与焊接。

这里需要指出,由于产品对象和船厂生产条件各不相同,船台装配方式也就各式各样,例如有:

总段建造法:将装配焊接好的船中部(或靠近船中)的总段吊运到船台安装定位,然后依次吊装其首、尾方向相邻的总段,并完成总段大接缝的焊接工作。依此类推,直至最后装配成整个船体。

塔式建造法:在靠近机舱前端选定一个底部分段为基准分段,先吊上船台定位固定,然后向首尾及两舷,自下而上依次吊装各分段,这种建造过程中所形成的安装区域呈宝塔状,所以称塔式建造法。

此外,船体装配还有岛式建造法、串联建造法、两段建造法等。

总的来讲,现代船舶采用分段建造法比较优越,能使用流水和平行作业法,便于采用各种自动焊接设备,控制焊接变形,便于研制和应用各种新的工艺装备,使劳动条件得到改善。从零件到整个船体装配过程中,焊接是贯穿始终的,而且焊接是按着一定的工艺程序,即将已经装配好的船体部件、分段(或总段),整个船体的各种接缝按设计要求用焊接连接起来,从而使各种船体结构合成为一个船体。船体焊缝不仅要求表面质量合格,密性焊缝要进行密性试验,而且对重要结构焊缝应采用 X 射线透视,或超声波探伤,或其他无损探伤方法检查。

5. 密性试验

船舶中很多焊缝必须具有水密性,以确保水上安全航行。船体外板、甲板和舱室外壁板等都要进行密性试验。试验方法有:①水压试验;②气压试验;③煤油试验;④冲水试验;⑤淋水试验等。

6. 船舶下水

船舶虽然是水上建筑物,但却是在陆地上的车间、船台(船坞)上建造的。当船舶的大部分工程完成后,必须借助专门设备,采用专门的操作方法,将船舶从陆上移到水中去,这就称为船舶下水。

船舶下水有许多方法,大致可以分为三类。

(1) 重力式下水:在倾斜船台上,利用船舶本身重量的分力克服斜面上的摩擦阻力,使船舶自行下滑到水中去。

(2) 机械化下水:利用引曳滑道加小车或是浮船坞、升船机等机械设备,将船舶移到水中去。

(3) 漂浮式下水:将水引入造船坞内,让船舶自己漂浮起来,然后打开坞门,将船舶拖曳出去。

7. 船舶舾装

船体以外的部分统称船舶舾装。其特点:内容多、材料品种多、工种多。船舶舾装可分为机舱舾装、电气舾装、船体舾装(包括甲板舾装即外装和舱室内舾装即居装)。船舶舾装工艺阶段可分为:预舾装(包括单元舾装、分段舾装、总段舾装)和船内舾装(包括船台舾装和码头舾装)。

船舶舾装应尽量采用单元舾装、分段舾装、总段舾装,然后是船台(船坞)舾装,这样可以提高下水前舾装率。

8. 船舶涂装

船体和舾装件的除锈、油漆作业称为船舶涂装。它主要包括钢材预处理、分段涂装、总段涂装、船台涂装、码头涂装等。

9. 船舶试验

船舶建造基本竣工后,即开始进行船舶试验。船舶试验包括系泊试验和航行试验。系泊试验是为了检查船舶各种机械装置及设备的工作状况;航行试验是全面检查船舶的设计、建造完工后各种性能指标是否满足设计要求,各种设备的工作可靠性、稳定性等。

船舶航行试验完成后,对船舶存在的各种缺陷返修后即可交船。

第二节 船舶制造基础课程的内容和任务

船舶制造基础是船舶与海洋工程专业的一门技术基础课,它主要为船舶制造类、船舶设计类专业课程提供相关的技术基础知识。本课程的任务是通过各个教学环节使学生掌握或了解船用材料、船舶焊接、船舶动力装置、船舶电气设备等方面的应用基础知识。

船舶制造基础课程包含以下一些内容。

一、船用材料

船舶材料主要讨论建造船体所用的材料。船体是指不包括任何设备、装置、系统等在内的船舶壳体。船舶按船体材料可分为钢质船、木船、水泥船、铝合金船、玻璃钢船、混合材料船。这些船舶中,数量最多、吨位最大、也最普及的是钢质船,所以本课程重点讨论船用钢材。主要内容有钢的冶炼和分类、船用碳素结构钢、船用合金钢、船用钢材的选用。

另外也对船用非金属材料、船用铝合金作了相当的介绍。通过学习,要求学生掌握造船对材料的一般要求及船用钢材的选用方法,并对新材料的特点有所了解。

二、船舶焊接

在各种钢质船舶结构中,构件最普遍采用的连接方法是焊接。焊接技术几乎在所有工业部门都要采用,涉及面甚广,内容也极为丰富,但本课程不可能也不必要包罗焊接技术的全部内容,而只是介绍一些与造船有关的焊接方法、焊接工艺以及焊接应力与变形等。具体有以下一些内容:电弧焊的基本理论、焊条电弧焊、两种常用电弧焊方法介绍、金属材料的焊接、焊接应力与变形以及焊接接头的质量与检验。另外还对焊接结构工艺设计及焊接结构断裂的防止做了一些介绍。通过学习,要求学生了解电弧焊的基本理论、掌握船体结构的焊接变形规律和防止措施以及有关的焊接工艺知识。

三、船舶动力装置

船舶动力装置是主机再加上保证主机工作所需的辅机、管路、设备以及将主机功率传给推进器的轴系统称。它主要由主机、传动设备、轴系、机舱机械设备和动力管路、自动控制系统等部分组成。从广义上讲,船舶动力装置还包括甲板机械、特种机械和船舶系统。所以船舶动力装置所涵盖的内容是相当广泛的。限于学时,本课程只对与船舶制造密切相关的内容做一些基础性的介绍。主要内容包括船舶动力装置的类型、船舶轴系安装、船舶主机安装、船舶管路系统。通过学习,要求学生对船舶轴系的组成、结构以及轴系的校中和安装、船舶主机安装和船舶管路系统有一定程度的了解。

四、船舶电气设备

船舶电气设备从电源装置开始,中间经过对电能的控制、检测、分配、传输,一直到所有使用电能的用户装置,组成了一个完整的枝叉型的电气网络,这个电气网络称为船舶电气系统,网络中的所有电气装置就称为船舶电气装置。按照在系统中的作用和负载的性质,有以下八种装置和系统:①船舶电力系统;②船舶电力拖动装置;③船舶电力推进装置;④船舶照明系统;⑤船舶通信、联络装置;⑥船舶导航装置;⑦船舶自动化装置;⑧特种装置。本课程只对船舶电力系统、船舶电力拖动系统、船舶照明系统、船舶通信与导航和船舶自动化做一般性介绍。通过学习,要求学生了解上述装置、系统的组成和要求。

思考题

1. 了解现代船舶主要建造工艺。
2. 了解船舶完工试验的内容和目的。
3. 了解本课程需要学习和掌握的内容。

第二章 船用材料

第一节 对船用材料的主要性能要求

一、船舶与海洋工程材料分类 (图 2-1)

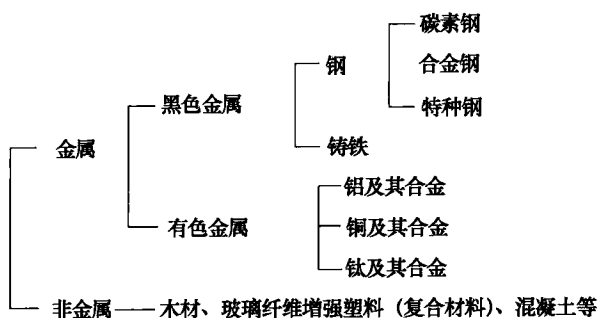


图 2-1 船舶与海洋工程材料分类

二、船舶与海洋工程材料的一般要求

船舶与海洋工程是一个复杂的综合性工程,船体、舾装、轮机、电气、涂装等所采用的材料要求各异,品种多,数量大,其中用量最多的是钢、铸铁及有色金属,其次是非金属材料及水泥、石棉等特种材料。

船舶及海洋平台素有水上城市之称,不仅要担负水上运输、作业、科学考察、作战等使命,而且远离大陆,必须具有独立生存的能力。因此它不仅要承受海风、海浪、海水所带来的腐蚀、侵袭和各种载荷应力,而且其自身所担负的使命要求构成其主体的结构材料必须具备各种性能。随着科学技术和社会经济的发展,新型船舶如冷藏船、液化气运输船、海洋平台、深潜器等不断出现,为了使设计和制造的船舶、舰艇、海洋平台以及用于海洋开发的各种海洋结构具有性能优良、使用可靠、加工维修方便、成本低廉等优良特性,对船舶及海洋工程的材料提出了很高的要求。概括起来,主要有以下几个方面。

1. 一定的力学性能

由于船舶及海洋平台特殊而又复杂的工作环境,必须承受各种载荷应力。因此,要求作为船体和平台的材料必须具有良好的综合力学性能。表征这些力学性能的主要指标是强度、塑性和韧性。表 2-1 列出了船用钢材对强度、塑性及韧性指标的具体要求。

表 2-1 船用钢材的机械性能指标

名称	表示符号	定义说明	单位	在造船中的作用	对船用材料的一般要求
强度指标	强度 σ	金属材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力	MPa N/mm ² (kgf/mm ²)	强度是船体结构材料的基本指标,是保证结构使用性能最重要的指标	
	屈服点(条件屈服强度) σ_s	试样在拉伸过程中,负荷不增加或开始有所降低而试样仍能继续变形时的恒定负荷除以原横剖面面积所得的应力,即材料屈服时的应力。计算公式: $\sigma_s = P_s / F_0$ 式中 P_s ——材料屈服负荷; F_0 ——原横剖面面积。 应当指出:屈服点与通常所称的屈服强度并不完全一致,后者实为“条件屈服强度”,常用 $\sigma_{0.2}$ 表示	MPa N/mm ² (kgf/mm ²)	屈服点是造船钢材机械性能的主要指标,在国内通常以此作为船体强度计算的技术依据,从而决定结构的重量,并在很大程度上决定结构的刚性。采用较高屈服点的钢材可减小船体构件的断面积,相应地减轻船体的重量,提高船舶的经济性	我国“规范”要求:船用碳素钢 $\sigma_s \leq 235\text{MPa}$;低合金钢屈服点根据使用要求确定
	抗拉强度(强度极限) σ_b	试样拉伸时,在拉断前所承受的最大负荷除以原横剖面面积所得的应力。计算公式: $\sigma_b = P_b / F_0$ 式中 P_b ——材料拉断前的最大负荷; F_0 ——原横截面积。 抗拉强度代表材料在拉力作用下抵抗破坏的最大能力	MPa N/mm ² (kgf/mm ²)	抗拉强度与冶炼工艺有关,其下限过低意味着钢的生产工艺过程不正常或者冶炼的质量不高。其上限过高意味着工厂由于采用不允许的低温终轧(当以热轧状态供应时)或不完全退火(当以热处理状态供应时)而使钢材过度硬化,造成机械加工困难	我国“规范”要求: $\sigma_b = (400 \sim 490)\text{MPa}$
	屈服比 σ_s / σ_b	屈服点与抗拉强度的比值		为钢材强度安全储备的一个指标	船用碳素钢一般稳定在 0.6 左右;低合金钢则不稳定,故造船规范对其常有 σ_s / σ_b 的附加规定不大于 0.8
	疲劳强度 σ_N	试样在重复或交变负荷作用下循环一定周期 N 后断裂时所能承受的最大应力。 疲劳强度代表材料抵抗反复作用外力的能力	MPa N/mm ² (kgf/mm ²)	船舶在使用过程中,不可避免地要承受各种交变负荷(如波浪拍击、浪涌沉浮、机器振动、水下船只的下潜和上浮等)的作用,从而使结构材料产生疲劳。 根据受力的不同,除一般交变负荷引起的疲劳外,还有振动疲劳和低周疲劳,这些都可能致结构的破坏。因此,保证必要的疲劳强度具有一定的意义	船用钢材的疲劳强度指标,目前尚未在造船规范中得以反映

(续)

名称	表示符号	定义说明	单位	在造船中的作用	对船用材料的一般要求
塑性指标	塑性	金属材料在受力破坏前经受永久变形的能力。以拉伸测得的延伸率和断面收缩率表示		塑性是衡量船体结构材料好坏的重要指标之一。材料具有良好的塑性,才能在制造过程中承受冷、热加工,在航行过程中避免船舶因局部受力而破坏	
	延伸率(伸长率) δ	试样拉断后其标距部分所增加的长度与原标距长度的百分比。计算公式: $\delta = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\%$ 式中 L_1——拉断后标距部分的长度; L_0——原标距长度。 对长试样,用 δ_{10} 表示; 对短试样,用 δ_5 表示。 对同一种材料 $\delta_{10} < \delta_5$。 延伸率决定着钢材承受总塑性变形的能力	%	延伸率的指标主要是为了满足船体建造中的工艺需要(如加工、矫正等),因此必须保证一定的要求	一般要求船用钢材 $\delta_5 \geq 22\%$
	断面收缩率 ψ	试样拉断后其断裂处横剖面面积的缩减量与原横剖面面积的百分比。计算公式: $\psi = (F_0 - F_1) / F_0 \times 100\%$ 式中 F_1——断裂处横剖面面积; F_0——原横剖面面积。 断面收缩率决定着钢材承受局部塑性变形的能力	%		一般要求船用钢材 $\psi > 50\%$,但“规范”未作规定
冲击韧性指标	冲击韧性 a_k A_k	受冲击负荷破断时试样刻槽处单位横剖面上所消耗的能量。它代表金属材料抵抗冲击载荷和脆性破坏的能力。计算公式: $a_k = A_k / F$ 式中 A_k——击断标准试样所消耗的冲击功; F——试验前试样刻槽处的横剖面面积。	冲击值 J/cm^2	冲击韧性是钢材承受动力载荷能力以及钢材成分和冶炼、浇注质量的重要标志。 对于检查钢材在不同条件下的脆性破坏最为敏感,因此,目前它是“缺口韧性”的主要衡量,也是现代各国造船钢材分级的基础。 造船钢材还特别重视“低温冲击韧性”。低温冲击主要是考虑船体主要受力构件在使用的极限低温下,不因脆断而发生破坏。一般地说,钢材应满足其脆性破坏临界温度低于船舶使用的极限温度	船体结构可能产生脆性破坏危险的最低温度大致为 0°C 。因而在一般情况下,用于非冰区航行的船用碳素钢,可认为极少有脆性破坏的危险。为了满足这一要求,英国劳氏船级社最早规定了在 0°C 时 V 形缺口试样冲击功的数值。随后,各国根据船舶实际运营条件,进而提出了在 -10°C 、 -20°C 、 -40°C 时冲击韧性的要求

(续)

名称	表示符号	定义说明	单位	在造船中的作用	对船用材料的一般要求
韧性指标	缺口韧性	金属材料在有缺口及其他破坏激发因素(如低温)存在时抵抗裂纹扩展的能力	冲击值 J/cm ²	大量造船实践资料表明:当材料带有缺口(或刻痕)时,如在温度低于“脆性破坏临界温度”条件下(即材料由韧性破坏转变到脆性破坏时的温度),即使应力低于屈服点,也会发生脆性破坏,因此,缺口韧性是造船钢材的一个极其重要的性能	缺口敏感性大的钢不宜用作船体重要结构

2. 良好的工艺性能

由于船舶与海洋平台都是大型的钢结构,在其生产制造的过程中必须经过各种加工、成型、装配、焊接等工艺过程。这就要求所使用的材料能够承受和适应这些工艺方法,具有良好的工艺性能。表征工艺性能的指标主要是冷热弯曲变形、切削加工、焊接、锻压和铸造等。对船体和平台结构材料而言,弯曲和焊接工艺性能尤为重要。详见表 2-2。

表 2-2 钢材的工艺性能表征

名称	定义及说明	在造船中的作用	对船用钢材的一般要求
冷弯性能	金属材料承受冷弯曲加工的能力,根据试样宽度,冷弯试验分为标准冷弯(又叫窄冷弯)和宽冷弯两种	冷弯性能是造船钢材重要的工艺性能之一,它直接关系到钢材冷加工(如弯曲、冲压等)的适应性	船用钢材要求标准冷弯试验 180°不裂。宽冷弯试验 120°不裂,180°不断
焊接性	很多工程构件需要焊接成型。可焊性是指材料是否易于焊到一起并保证焊缝的质量。钢的含碳量直接影响可焊性,含碳量越低,可焊性越好	焊接性也是造船钢材重要的工艺性能之一,它直接关系到船体的结构、使用性能和建造的难易	(1) 焊缝及其热影响区不产生冷、热裂纹倾向; (2) 焊缝金属及其热影响区的强度和塑性无显著变化; (3) 热影响区小,焊后不必进行热处理; (4) 刚性固定下具有较好塑性
切削加工性	工程零部件多数需要机加工成型。切削加工性是指材料是否容易被切削加工成型并得到精确的形状、高质量的表面粗糙度,它与材料的硬度、韧性等因素有关	对钢材边缘加工(如刨边、钻孔、冲孔)的速度和质量有较大影响	要求有良好的切削加工性
不淬硬性	金属材料承受相似于淬火的温度骤变后所能达到的最高硬度的能力,有时也叫“淬硬性”,不淬硬性主要和钢的含碳量有关	影响钢材水火弯板的火工矫正性能	要求硬度升高不大,即应有良好的不淬硬性
热加工性能	金属材料在高于再结晶温度时承受塑性变形能力		

3. 耐腐蚀性能

航行于江河湖海中的船舶因受到周围介质的作用而产生腐蚀损害是非常严重的,特别是海船和海洋平台,由于长期处在盐雾、潮气、强烈的紫外线和带微碱性的海水等海洋环境中,不但对金属有着比陆地更为剧烈的电化学腐蚀作用,而且对涂层漆膜也起着剧烈的皂化、老化等破坏作用。据统计,碳钢在全浸区的平均腐蚀速度为 $(0.13\sim 0.25)\text{mm}/\text{年}$,在飞溅区则高达 $(0.45\sim 1.00)\text{mm}/\text{年}$ 。腐蚀不仅降低了材料的力学性能,缩短了使用寿命,而且由于海洋中多种多样的海洋生物的附着及生长于船底,增加船底粗糙程度,从而降低了航速和增加了燃料的消耗。况且船舶的维修是一项非常困难和耗资巨大的工程,因此对船体及海洋平台结构材料不仅要采取各种防腐措施,而且要求其本身必须具有很强的耐腐蚀性能。特别是海上采油与钻井平台,因远离海岸,结构庞大,不能像船舶那样定期进坞维修保养,在设计时通常要求采油平台使用 $(20\sim 30)$ 年,为此对其要求耐腐蚀的能力十分苛刻。一般对于船舶及海洋平台结构都必须进行耐腐蚀性能试验,以达到规范所规定的要求。

船体结构用金属材料在海水中具有较高的耐腐蚀性能,而目前的一般强度船体结构用钢和高强度船体结构用钢还不能完全满足要求,在海水中的腐蚀都比较严重,据统计碳素钢为 $0.1\text{mm}/\text{年}$,含镍合金钢为 $0.08\text{mm}/\text{年}$ 。因此,船舶设计时必须增放腐蚀余量,这就增加了船体自重和材料消耗。

单从耐腐蚀观点出发,奥氏体不锈钢和双相不锈钢作为造船材料是比较理想的。

4. 使用性能

对于特种船舶,如军舰、深潜器、海洋科学调查船、海洋平台等,由于其特殊的使用功能,对材料提出了许多不同的使用要求,如要求材料具有绝热、隔音、无磁、不反射雷达波等使用性能。

5. 经济性能

据统计,船舶及海洋平台建造费用中,材料费用约占 75% ,其用量之大,品种之多,都是十分可观的。因此,要降低船舶及海洋平台的建造成本,必须在满足材料力学性能、使用性能等要求的前提下,尽可能选择成本低、质量高、供应充足的材料,以使设计与建造的船舶获得良好的经济效益。

当然,上述各项要求有时是相互矛盾的,这就要求在设计过程中,掌握材料的各种性能 and 品种、规格、价格,权衡利弊,抓住主要矛盾,正确处理,科学而合理地选用材料。

第二节 钢的冶炼与分类

一、钢的冶炼

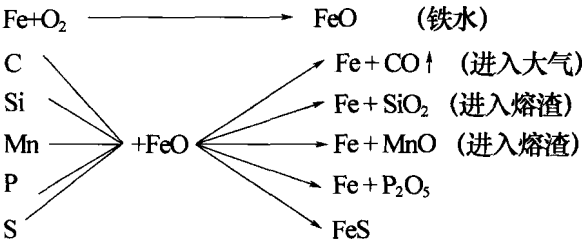
钢是从铁矿中提炼出来的,不同的冶炼方法对钢的质量影响很大。目前工业上常用的炼钢方法有转炉炼钢、平炉炼钢和电炉炼钢三种方法。转炉炼钢还分为底吹式、侧吹式和纯氧顶吹式三种。

(一) 炼钢的基本原理

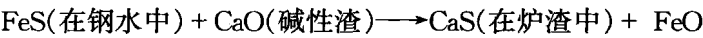
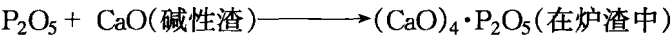
从日常经验可知,生铁制品虽然硬而耐磨,但是很脆,并且不易焊接。钢制品却有好的韧性、塑性和焊接性,可以进行锻造和各种机械加工。因此,钢的用途比生铁广泛得

多。生铁和钢就其化学成分来说,绝大部分都是铁碳合金,但最根本的区别是它们的含碳量不同。一般生铁含碳量高于 2%,钢的含碳量低于 2%。其他元素的含量虽然有些不同,但对生铁与钢的划分不起决定作用。

炼钢的目的和任务是根据所炼钢种的要求将生铁中的含碳量控制在规定的范围内,清除生铁中的有害元素和杂质(如 S、P、O₂、N₂ 等),同时保留或加入一些有益的元素(如 Si、Mn、Ni、Cr 等)并调整各元素之间比例,从而获得性能最佳的铁碳合金。炼钢是在 1700℃ 左右的高温下进行的,它基本上是一个氧化过程。氧首先使一部分铁氧化成为氧化亚铁(FeO),在铁水中生成的氧化亚铁再使碳、硅、锰等元素氧化,即



硫、磷是钢中的有害杂质,减少硫、磷含量是炼钢的一个重要任务。硫与磷的去除比较困难,在金属液体中磷被氧化,生成氧化物 P₂O₅,硫以 FeS 形式存在,其造渣反应如下:



当碳等元素氧化到规定范围后,钢水中仍有大量的氧,氧在钢中是有害杂质,它使钢的塑性变坏,轧制时易产生裂纹。因此,炼钢的最后阶段必须加入脱氧剂(如锰铁、硅铁和铝等),将钢液中多余的氧除掉,同时调整好钢液的成分和温度。在符合钢种技术要求后即可出钢。

(二) 炼钢方法

钢的冶炼主要有三种方法,其主要特点比较见表 2-3。

表 2-3 三种炼钢法主要特点

类别	定义	主要原料	燃料	优点	缺点	造船要求
平炉炼钢法	利用燃料在炉内燃烧产生的高温使炉料熔化成铁水,发生氧化反应,不需要的元素转入炉渣(控制铁水、炉渣成分)	废钢 废铁 炼钢生铁 铁矿石	煤气 重油	(1) 对原料成分不限; (2) 可炼出各种成分钢,且含氮量少,质量稳定	(1) 构造复杂; (2) 建厂投资大; (3) 热效率低; (4) 冶炼时间长	可用
转炉炼钢法	依靠将空气(或纯氧)吹入液态生铁,使杂质氧化而被除掉或减少的炼钢方法	液态生铁	利用氧化反应热,无需另外加热	(1) 生产率高(8min/炉~16min/炉); (2) 投资少,建设快,成本低	(1) 不能利用废钢; (2) 铁水吹损大; (3) 冶炼时间短质量不宜控制; (4) 吹空气含氮(吹氧质量与平炉冶炼相当)	(1) 吹氧可用造船; (2) 上层建筑等次要结构可酌情选用吹空气,但需船检部门同意