

普通高等教育船舶类规划教材

# 船舶与海洋工程材料

王广戈 王笃其 陈捷 编

上海交通大学出版社

# 船舶与海洋工程材料

王广戈 王笃其 陈捷 编

上海交通大学出版社

## 内 容 提 要

本书共分七章,包括绪论、金属学基础、船舶与海洋工程用黑色金属材料、船舶与海洋工程用有色金属材料、非金属材料的基本理论、船舶与海洋工程用非金属材料、船用钢的腐蚀与防腐等。

本书为全国高等院校船舶设计与制造专业的统编教材,也可供职大相关专业和从事船舶制造专业的工程技术人员参考。

## 船 舶 与 海 洋 工 程 材 料

出版:上海交通大学出版社

(上海市华山路 1954 号 邮政编码: 200030)

发行:新华书店上海发行所

印刷:常熟市印刷二厂

开本: 787×1092 (毫米) 1/16

印张: 11.75 字数: 284000

版次: 1996 年 1 月 第 1 版

印次: 1996 年 1 月 第 1 次

印数: 1—1500

ISBN 7-313-01558-5/U·050

定价: 9.60 元

## 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

1995年5月

## 前 言

本书是根据中国船舶工业总公司教材委员会制订的教学要求编写的。

本书共分七章,介绍了船舶与海洋工程材料的力学性能、选用原则与方法;金属学的基础理论,包括金属与合金的结构,铁碳状态图,钢的热处理,金属的塑性变形与再结晶等,为材料的选用提供了理论依据;船舶与海洋工程用黑色金属材料,有色金属材料,包括钢、铸钢、铸铁、铜合金、铝合金、钛合金等;非金属材料的基本理论及其在船舶与海洋工程上的应用;另外,对船用钢的腐蚀,钢质结构的防腐方法也作了介绍。编者从本课程是一门实用性强的专业基础课出发,加强了与实际的联系,将一些较成熟的近似公式编入,以期获得相应的效果。

本书第一章至第四章由上海交通大学王笃其、陈捷编写,第五章至第七章、前言等由华东船舶工业学院王广戈编写,全稿由王广戈统稿。本书由天津大学孙维善教授主审,华东船舶工业学院李平副教授作了复审,他们提出了许多宝贵意见,特致深切谢意。

由于编者水平有限,书中难免有不足和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
§ 1-1 材料与材料科学 .....	1
§ 1-2 船舶与海洋工程材料 .....	3
§ 1-3 船舶与海洋工程材料的选用 .....	10
<b>第二章 金属学基础</b> .....	16
§ 2-1 金属和合金的结构 .....	16
§ 2-2 铁碳合金 .....	26
§ 2-3 钢的热处理 .....	30
§ 2-4 金属的塑性变形与再结晶 .....	40
<b>第三章 船舶与海洋工程用黑色金属材料</b> .....	50
§ 3-1 钢的冶炼和分类 .....	50
§ 3-2 船用碳素结构钢(一般强度船体结构用钢) .....	55
§ 3-3 船用合金钢(高强度船体结构用钢) .....	60
§ 3-4 船舶与海洋工程用特种钢 .....	65
§ 3-5 平台结构用钢 .....	70
§ 3-6 铸铁与铸钢 .....	74
<b>第四章 船舶与海洋工程用有色金属材料</b> .....	78
§ 4-1 船用铝合金 .....	78
§ 4-2 船用钛合金 .....	84
§ 4-3 船用铜合金 .....	89
<b>第五章 非金属材料的基本理论</b> .....	95
§ 5-1 高分子材料 .....	95
§ 5-2 复合材料.....	101
§ 5-3 非金属材料的性能.....	105
<b>第六章 船舶与海洋工程用非金属材料</b> .....	116
§ 6-1 概述.....	116
§ 6-2 船舶与海洋工程用塑料.....	116
§ 6-3 船用复合材料与玻璃钢.....	122
§ 6-4 橡胶.....	128
§ 6-5 涂料与胶粘剂.....	129
§ 6-6 水泥及水泥船.....	137
§ 6-7 混凝土重力式平台.....	150
§ 6-8 船舶与海洋工程用其他材料.....	154
<b>第七章 船用钢的腐蚀与防腐</b> .....	158

§ 7-1 金属的腐蚀及其分类 .....	158
§ 7-2 电化学腐蚀 .....	159
§ 7-3 船与平台在海水中的腐蚀 .....	161
§ 7-4 钢质结构的防腐及其计算 .....	164
习题 .....	173
参考文献 .....	177

# 第一章 绪 论

## § 1-1 材料与材料科学

### 1.1.1 材料发展史

所谓材料,按照现代的观点是人类社会所能接受并经济地制造有用物品的物质。在材料和科学工程领域内,上述定义中的“物品”将被“器件”所替代。

材料的定义是随着材料发展而改变的,但“制造”和“有用”则一直是材料的主要内涵。

材料是人类赖以生存和发展生产的物质基础,也是社会文明发达和生产技术进步的标志。历史学家曾用“材料”来划分人类发展的时代,例如石器时代、陶器时代、铜器时代和铁器时代等。

在二三百萬年前,人类处在历史的最原始阶段,当时我们祖先使用天然材料,如石头、骨骼、木材、兽皮等,来制造各种工具、武器、住所、衣服和用品等。当时人们使用最多的是燧石,并用其制成各种形状的石斧、石凿、石铲、石锄以及弓、箭等。燧石又称“火石”,主要由隐晶质石英组成。其外观与玉髓相似,颜色暗淡无光,呈浅灰色或褐黑色等,形状通常为结核状、致密块状,具有明显的贝壳状断口,裂片很尖锐,用铁锤敲击时能发出火星。历史学家称这一时期为石器时代。到石器时代晚期(大约六七千年前),人类已能用高岭土、长石、石英等为原料,在 $950^{\circ}\text{C}$ 到 $1050^{\circ}\text{C}$ 的窑中烧制各种陶器和瓷器。从此,人类进入了陶器时代,开始使用人工材料。

继石陶器时代以后,人类进入了铜器时代。最初人们使用的是天然铜,质软,不适于制造工具,考古学上称这一时期为红铜时代。它是介于石器时代与青铜器时代之间的过渡时期,也称“铜石并用时代”。随着社会的进步和科学技术的发展,人们发现铜和锡制成的合金(即青铜)熔点低,强度、硬度高,耐腐蚀且便于铸造,于是以青铜为主要材料制成的各种生产工具、生活用具、武器以及艺术品得到迅速发展。世界上最早进入铜器时代的是美索不达米亚和埃及,始于公元前三千年。我国商代(公元前16到公元前11世纪)已是高度发达的青铜器时代。例如河南安阳出土的晚商时期的“司母戊鼎”,重 $875\text{kg}$ ,外形 $133\text{cm}\times 78\text{cm}\times 110\text{cm}$ ,是迄今为止发现的世界最古老的大型青铜器。再如湖北江陵楚墓中挖掘的两把越王勾践的宝剑,长 $55.6\text{cm}$ ,至今仍十分锋利。湖北随县出土的战国青铜编钟共计64件,最大的高 $153.4\text{cm}$ ,重 $203.6\text{kg}$ ;钟音音阶与现代的C大调七声音阶相同;音域跨五个八度,声音宏亮,音色完美,能演奏优美复杂的乐曲。这些不仅反映了当时的青铜冶炼、铸造和加工技术的水平,也反映了我国古代灿烂的青铜文化。

公元前1400年左右,赫梯王国最早锻造了铁器,于是人类步入了冶铁和以铁作为制造生产工具主要材料的铁器时代。而我国在春秋末年大部分地区亦已使用铁器。由于铁矿分布广,铁的强度、硬度和韧性等力学性能好,因此铁器的出现最终排除并取代了石器。从此,钢铁便成为材料领域的主宰,使人类社会的发展进入一个崭新的阶段。

18世纪以来,由于大工业的迅速发展,对钢铁的需求急骤增长。钢铁的产量、品种、质量成为衡量一个国家工业发达水平的标志。这不得不迫使人们去探索和研究钢铁的化学成分、组



织结构、性能及其相互关系,于是,在化学、物理、材料力学等学科发展的基础上,产生了“金属学”这门新学科。

进入20世纪,金属材料仍占绝对优势,产量最多和用途最广的是钢铁和铝合金。此外,在本世纪初出现的人工合成高分子材料异军突起,成为材料家族中的后起之秀。

人类与其他动物的又一重要区别在于能量的利用,如火的发现和利用;而保存和利用能量,则离不开材料。为了实现能量转换,提高效率、安全性和经济性,必须依赖于材料的改进和新材料的发现;材料的生产和利用也需要能量。所以,可将能源开发、转换、运输、贮存所需的材料,统称为能源材料。

信息的产生、传播和保存方式也是人类所特有的。用于产生、贮存、处理和传播信息(包括文字音乐等)的技术和工具,如甲骨、金石、竹简、印刷术、电话、电报、收录机、照相机、电视机、录像机、计算机、光盘等,其出现、改进和换代都依赖于材料。而信息技术的发展,也使材料的生产和利用达到更高水平。因此,一般也将信息产生、接收、处理、贮存和传播所需的材料,统称为信息材料。

生物材料在现代对人类尤为重要。人类延寿、更换器官、遗传工程的实施,都需材料来保证;而另一方面,原材料的形成,有用金属的富集,材料的损坏等,生物特别是微生物起着重要的作用。

回顾人类的发展史,可以看到材料的重要性,可以看到材料、能源和信息的巨大作用。因此,不仅是现代,而且是从有人类以来,材料、能源、信息和生物这四根支柱,便支撑着人类赖以生存的大厦,只是随着时代的前进,这四根支柱的内涵有所不同而已。

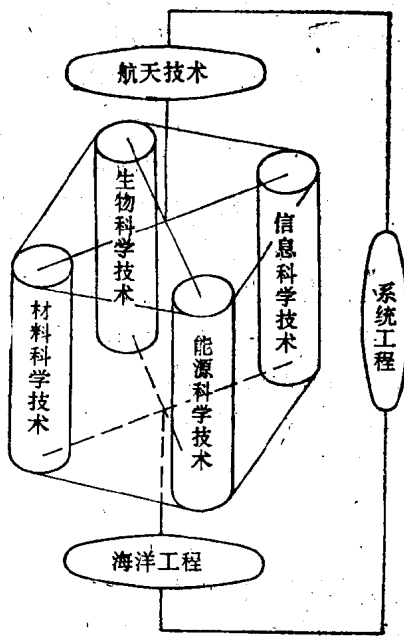


图 1-1 新技术革命的技术群

### 1.1.2 材料科学技术

材料科学是一门科学,它从事材料本质的发现、分析和了解方面的研究,其目的在于提供材料结构的统一描绘或模型,以及解释这种结构与材料性能之间的关系。它是介于基础科学和应用科学之间的一门边缘学科。它与物理、化学、化工、电子、冶金、陶瓷等学科相互交叉,彼此渗透。热力学、动力学、固体物理、固体化学、化学物理等基础学科为材料科学提供理论依据,而材料科学又为应用科学提供了发展新材料、新工艺和新技术的途径。材料工程是工程的一个领域,其目的在于经济地,同时又为社会所能接受地控制材料的结构、性能和形状。依据资源、能源、环境保护、经济和技术质量等条件,讨论材料的成分、结构、性能等内容,阐述材料在工程中的应用规律以及合理选材用材的方法。

材料科学和材料工程合称材料科学技术,在过去、现在一直是一门相当活跃的科学技术。

现代的新技术革命是由新技术群所引起的改造物质世界的革命。这些新技术群除了支撑人类文明大厦的四大支柱——材料、信息、能源和生物外,还包括航天技术、船舶与海洋工程以及系统工程,如图 1-1 所示。

材料是人类物质文明的基础和支柱,它支撑着其他新技术的前进。能源的开发、提炼、转化和贮运,信息的传播、贮存、利用和控制都离不开材料;航天技术、海洋工程、生物工程和系统工程都需要结构或/和功能材料。在另一方面,常规材料的发展和新材料的涌现,也是其他新科学技术,特别是信息科学技术和系统工程促进的结果。因此,以材料为研究对象的材料科学技术,在新技术革命中将扮演着重要角色。

作为四大支柱之一的材料科学技术在当前是一门前沿科学和工程,其研究的课题很多,例如:

(1) 材料在合成与加工过程中的科学基础。

(2) 材料成分、结构与性能之间的关系,包括材料的表面与界面;低维材料的形成、结构与性质,非晶态、准晶态的形成、结构及其稳定性,材料各向异性的研究,亚稳态材料的探索等课题。

(3) 材料损毁过程,如断裂、腐蚀、磨损、老化、性能下降等问题。

(4) 研究和检测材料的新仪器和实验技术的发展。

上述一些课题的研究,其目的是为了适应科学技术的发展,为工业、农业、航天、造船、海洋开发等新技术提供新型材料。这些新型材料一般具有下列特点:

(1) 新型材料是知识密集、技术密集、资金密集的新兴产业,是固体物理、固体化学、有机化学、冶金学、陶瓷学、生物学、微电子学等学科的新成果。

(2) 新型材料的发展与新技术密切相关,如超高温技术、超高压超高真空技术、极低温技术等。

(3) 新型材料是多种学科互相交叉和互相渗透的结果,其品种式样新,更新换代快。

根据材料科学的现状,可以看出新型材料的发展趋势大致有以下几个方面:

(1) 大力发展电子材料和通信材料,如红外、激光、光纤和超导材料的研制和应用。

(2) 重视高性能新型结构材料的研究,如具有高强度、高韧性、耐高温、抗腐蚀、抗辐射等性能的结构材料以及高强度有机合成材料、复合材料等。

(3) 注意开发新能源材料和节能材料,如太阳能的利用、贮氢、新型磁性等材料。

(4) 研究表面改性及涂层方法的技术,如激光处理与表面合金化、离子注入等技术。

## § 1-2 船舶与海洋工程材料

### 1.2.1 工程材料

工程材料一般指的是依靠物质的声、光、电、磁等物理性能而得以发展并制造产品的功能材料,以及依靠力学性能而得以发展并用来制造承受载荷构件的结构材料。

工程材料种类繁多,目前已达数百万种。一般以结合键为标准将工程材料分为:金属材料、有机高分子材料、无机非金属材料及其复合材料。表 1-1 列出了各类工程材料的区别。

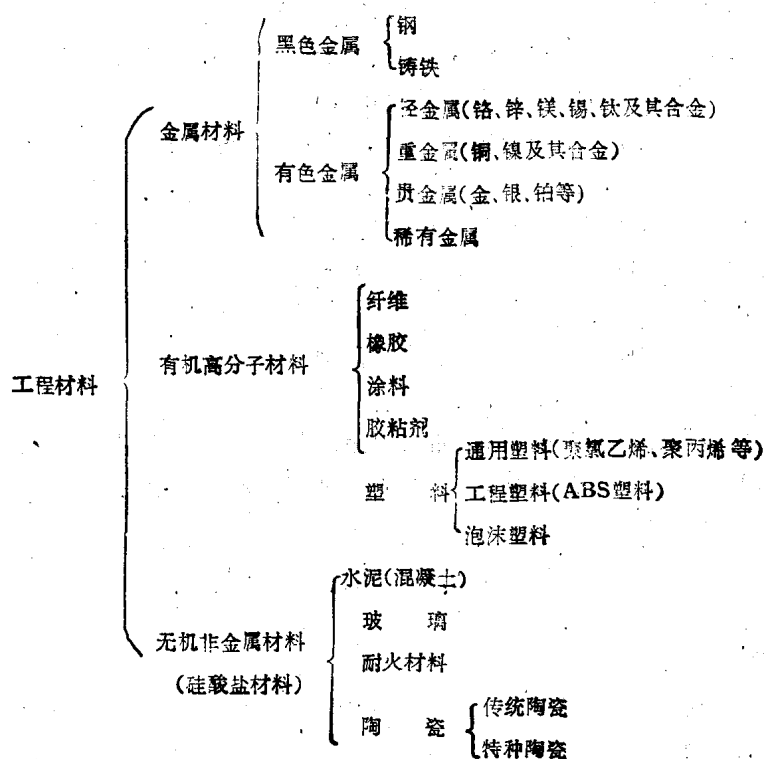
工程中应用最多的是金属材料,人工合成高分子材料自本世纪20年代问世以来,仅仅几十年,其产量之大,应用之广已能与传统的钢铁材料并驾齐驱。据统计,1982年全世界合成高聚物产量已达1亿吨以上,按体积计算,已与钢相当。预计到2000年,其产量可达3.5亿吨,为钢铁产量(按体积计)的4倍,品种已有300多种,常用的也有60多种;它们已广泛应用于机械、汽车、电气、仪表、化工、造船、航空等工业部门。至于无机非金属材料,由于其特有的高强度、高

表1-1 各类工程材料的区别

材料名称	组成	结合键	主要特征
金属材料	化学元素周期表B-A线左侧全部元素	金属键	具有金属光泽和良好的塑性、导电、导热性，较高的强度、刚度，本质特征是具有正电阻-温度系数
高分子材料	碳、氢、氧、氮、氯、氟等元素	共价键 分子键	质轻、比强度高、耐腐蚀、易老化、刚性差、高温性能差
无机非金属材料	氧和硅或其他金属化合物、碳化物、氮化物等	离子键 共价键	高强度、耐高温、耐腐蚀、脆而硬、无塑性

硬度、耐磨、耐腐蚀等性能，也广泛应用于航空航天、电子、船舶、汽车、建筑等行业。表1-2是工程材料的分类。

表1-2 工程材料的分类



### 1.2.2 船舶与海洋工程材料

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。其所使用的材料主要是上述三种工程材料，用量最多的是钢、铸铁以及有色金属中的铝、钛、铜合金，其次是非金属材料中的木材、塑料、橡胶、涂料以及水泥、石棉、绝热隔音等特种性能的材料。本课程主要介绍金属材料、高分子材料等有关工程材料的基本理论及船舶与海洋工程中常用材料的性能和选用。

船舶是濒水民族的主要交通工具之一,其悠久的历史可以上溯至远古时代。人类的先民从浮叶随流中得到启发,伐木为舟,新大陆印地安人的“独木舟”可为一例。因此,木材是人类最先使用的结构材料。随着人类的发展,独木舟进步为小型乃至几百吨的大木船,有些木船还经过蒙皮(兽皮)处理。19世纪末水泥、铁和钢的大量生产和应用,使木材的使用逐渐减小。20世纪环保意识和各种新型材料的应用使木材仅限于小型船舶和船模。

19世纪末铁的应用仅是昙花一现,各种性能更佳的钢很快地取而代之,并至今一直占居船舶用材的主要地位。

铝合金从19世纪末开始用于造船,但由于价格等原因,目前仅用于小型军舰及军舰上层建筑。

四五十年代,玻璃钢和钛合金逐渐用于造船,以取代木材和普通钢材在大型舰船中的地位,并用于深潜领域。

水泥由于较强的抗腐蚀性、较好的抗振性、优良的低温性能等特点,现已广泛用于渔船、小型船舶、海洋平台、大型液化气船等。

许多新型材料由于价格和性能等方面原因导致不能作为船舶与海洋工程的结构材料,在新的更廉价且性能更好的材料出现以前,碳钢及高强度低合金钢仍将占据主导地位,除了某些特殊领域,如深潜器、军舰等之外。图1-2所示为几种材料在船舶与海洋工程领域的使用年代。

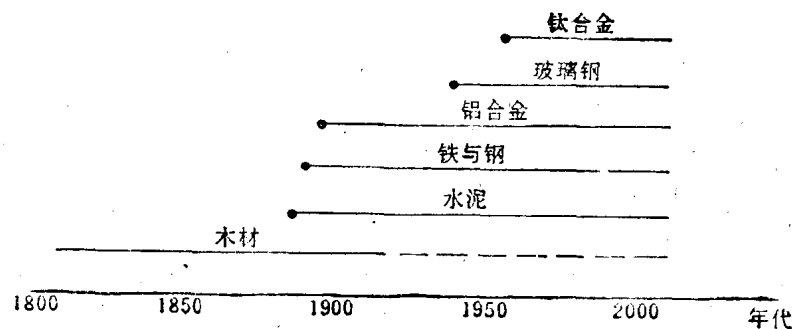


图1-2 几种材料在船舶与海洋工程领域的使用年代

至于舾装用材料,一直随着材料科学和工程的发展而日新月异,如舱室装饰材料,从木材到塑料装饰板,直到现在使用具有防火性能的复合岩棉板。涂料的种类日益增多,各方面的性能也越来越好,从无机涂料发展到有机涂料。

船舶与海洋平台素有水上城市之称,它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,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功能。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,为了使设计和建造的船舶、舰艇、海洋平台及用于海洋开发的各种海洋结构物具有

表1-3 钢材的力学性能表征

名称	表示符号	定义及说明	单位	在造船中的作用	对船用钢材的一般要求
强度指标	$\sigma$	金属材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力。	MPa	强度是船体结构材料的基本指标, 是保证结构使用性能的最重要条件	
	$\sigma_s$	<p>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:</p> $\sigma_s = \frac{P_s}{F_0}$ <p>式中: <math>P_s</math>——材料屈服负荷, <math>F_0</math>——原横剖面面积。</p> <p>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<math>\sigma_{0.2}</math>表示</p>	MPa	屈服点是造船钢材力学性能的主要指标。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相应地减轻船体重量, 提高船舶的经济性	我国《规范》要求: 船用碳素钢 $\sigma_s \geq 235$ MPa 低合金钢屈服点根据使用要求确定
	$\sigma_b$	<p>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:</p> $\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}$ <p>式中: <math>P_b</math>——材料拉断前的最大负荷; <math>F_0</math>——原横剖面面积。</p> <p>抗拉强度代表材料在拉力作用下抵抗破坏的最大能力</p>	MPa	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冶炼质量不高; 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 $\sigma_b = 400 \sim 490$ MPa
	$\sigma_s / \sigma_b$	屈服点与抗拉强度的比值		为钢材强度储备的一个指标	船用碳素钢一般稳定在0.6左右; 低合金钢则不稳定, 故造船规范对低合金钢的指标中, 常有 $\sigma_s / \sigma_b$ 的附加规定(一般要求不大于0.8)

续表

名称	表示符号	定义及说明	单位	在造船中的作用	对船用钢材的一般要求
强度指标	$\sigma_N$	试样在重复或交变负荷作用下循环一定周次 $N$ 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的外力的能力	MPa	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, 还有振动疲劳和低频疲劳, 这些都可能引起结构的破坏。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
塑性		金属材料在受力破坏前经受永久变形的能力。以拉伸测得的伸长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	
塑性指标	$\delta$	试件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: $\delta = \frac{L_k - L_0}{L_0} \times 100\%$ 式中 $L_k$ ——拉断后标距部分的长度; $L_0$ ——原标距长度。 对长试样, 伸长率用 $\delta_{10}$ 表示; 对短试样, 用 $\delta_5$ 表示。 伸长率决定着钢材承受总塑性变形的能力	%	伸长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), 因此必须保持一定的水平。至于它对船舶使用性能的影响程度, 目前的看法尚不很一致	一般要求船用钢材 $\delta_5 \geq 22\%$
断面收缩率	$\psi$	试件拉断后其断裂处横截面积的缩减量与原横截面积的百分比。计算公式: $\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\%$ 式中: $F_k$ ——断裂处横截面积; $F_0$ ——原横截面积。 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

续表

名称	表示符号	定义及说明	单位	在造船中的作用	对船用钢材的一般要求
韧性	缺口韧性	金属材料抵抗带有缺口时发生脆性破坏的能力, 通常以冲击韧性和缺口敏感性的指标来衡量		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”(即材料由韧性破坏转变到脆性破坏时的温度)条件下, 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	
		<p>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:</p> $\text{冲击值 } a_k = \frac{A_k}{F}$ <p>式中: <math>A_k</math>——击新标准试样所消耗的冲击功; <math>F</math>——试验前试样刻槽处的横剖面积</p>	冲击值 J/cm <sup>2</sup>	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”的主要衡准, 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℃。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℃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℃、-20℃、-40℃时冲击韧性的要求。
指标	冲击韧性				

性能优良、使用可靠、加工修理方便、成本低廉的优良特性, 对用于船舶与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

由于船舶与海洋平台特殊而又复杂的工作环境, 必须承受各种载荷。因此要求作为船体和平台结构的材料必须具有良好的综合力学性能。表 1-3 是船用钢材对强度、塑性及韧性指标的具体要求。

## 2. 良好的工艺性能

由于船舶与海洋平台都是大型钢结构,在其生产制造过程中必须经过各种加工、成形、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1-4所示。

表1-4 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,它直接关系到钢材对冷加工(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
切削加工性	金属材料承受切削加工的难易程度。一般以可能的最大切削速度、切削出的表面质量等来衡量	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
淬硬性	金属材料承受类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”。淬硬性主要和钢的含碳量有关	影响钢材的水火弯板和火工矫正性能	要求硬度升高不大,即应有良好的淬硬性
热加工性能	金属材料在高于再结晶温度时承受塑性变形的能力		
焊接性	金属材料在一定工艺条件和结构状态下,获得优质焊接接头性能的难易程度。 碳当量计算公式如下: $C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$	焊接性也是船用钢材重要的工艺性能之一,它直接影响到船体的结构强度、使用性能和建造的难易。 钢材化学成分满足焊接性的条件为:①含碳量一般在0.25%以下;②对低碳钢,要同时满足 $C + \frac{1}{6}Mn < 0.4\%$ ;对低合金钢,要同时满足碳当量 $C_E < 0.4\%$ ,当 $C_E$ 在 0.4%~0.7% 时,则要求预热;③含硫、磷量分别不超过0.04%	①焊缝及其热影响区不产生冷、热裂倾向 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

## 3. 耐腐蚀性能

航行于江河湖海上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,由于长期处于有盐雾、潮气、强烈的紫外线和带微碱性的海水等海洋环境中,



不但对金属起着比陆地更为剧烈的电化腐蚀作用,而且对涂装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深度为0.13~0.25mm/a,在飞溅区则高达0.45~1.00mm/a。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与生长于船底,增加船底粗糙度,从而降低航速和增加燃料消耗。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涂漆保养。在设计时通常要求采油平台使用20~30年,为此对其要求耐腐蚀的能力十分苛刻。一般对船舶与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。表1-5为船用碳素钢耐腐蚀性能的试验数据。

表1-5 船用碳素钢耐海水腐蚀试验数据

钢种	腐蚀方法	平均腐蚀速度(g/m <sup>2</sup> ·h)			
		48h	96h	144h	192h
D	间浸	1.2421	1.2471	0.8386	0.7021
	全浸	0.1367	0.1228	0.1302	0.1442
平均腐蚀深度(mm/a)					
D	间浸	1.5934	1.4014	0.9391	0.7875
	全浸	0.1534	0.1379	0.1463	0.1621

#### 4. 使用性能

对于特种船舶,如军用舰艇、深潜器、海洋科学调查船、海洋平台等,由于其特殊的功能用途,对材料提出了许多不同的使用要求,如要求材料具有绝缘、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,船舶与海洋平台建造费用中,材料费用约占75%左右,其用量之大、品种之多,都是十分可观的。因此,要降低船舶与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、供应量充足的材料,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和品种、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。

### § 1-3 船舶与海洋工程材料的选用

对于任何一项工程或产品,在设计初期就必须考虑材料的使用。材料选择得当与否将影响工程或产品的诸多方面,如成本、投资、功能、耐受性和可靠性等。