



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

材料延寿与可持续发展

海洋工程的 材料失效与防护

《材料延寿与可持续发展》丛书总编委会 组织编写
许立坤 等编著



化学工业出版社



材料延寿与可持续发展

海洋工程的 材料失效与防护

《材料延寿与可持续发展》丛书总编委会 组织编写
许立坤 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

腐蚀、疲劳和磨损是造成海洋工程损伤和破坏的主要原因，海洋工程的材料延寿对保障海洋装备和结构物的完整性、可靠性和安全性，促进资源保护和可持续发展具有重要的意义。本书是《材料延寿与可持续发展》丛书的分册之一，以海洋工程为对象，首先介绍了海洋环境的特点，海洋腐蚀的形式及其影响因素，海洋腐蚀的一般防护方法，然后介绍了不同海洋工程装备和结构物的具体腐蚀控制措施。同时还阐述了海洋工程混凝土结构的耐久性与延寿技术、海洋工程结构的环境-力学损伤行为与预防方法以及船舶及海洋工程动力系统磨损失效、预防和修复技术。

本书可供船舶及海洋工程研制、设计、建造、使用、维护维修及管理等部门的技术人员和管理人员使用；也可供相关专业的大学生、研究生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

海洋工程的材料失效与防护/许立坤等编著. —北京:
化学工业出版社, 2014.6
(材料延寿与可持续发展)
ISBN 978-7-122-20462-2

I. ①海… II. ①许… III. ①海洋工程-工程材料-
失效分析②海洋工程-工程材料-防护 IV. ①P75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 078770 号

责任编辑: 王清颢 段志兵
责任校对: 吴 静

文字编辑: 孙凤英
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市宇新装订厂
710mm×1000mm 1/16 印张 24 字数 462 千字 2014 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 69.00 元

版权所有 违者必究

《材料延寿与可持续发展》丛书顾问委员会

主任委员：师昌绪

副主任委员：严东生 王淀佐 干 勇 肖纪美

委 员（按姓氏拼音排序）：

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 安桂华 | 白忠泉 | 才鸿年 | 才 让 | 陈光章 | 陈蕴博 |
| 戴圣龙 | 俸培宗 | 干 勇 | 高万振 | 葛昌纯 | 侯保荣 |
| 柯 伟 | 李晓红 | 李正邦 | 刘翔声 | 师昌绪 | 屠海令 |
| 王淀佐 | 王国栋 | 王亚军 | 吴荫顺 | 肖纪美 | 徐滨士 |
| 严东生 | 颜鸣皋 | 钟志华 | 周 廉 | | |

《材料延寿与可持续发展》丛书总编辑委员会

名誉主任（名誉总主编）：

干 勇

主 任（总主编）：

李金桂 张启富

副 主 任（副总主编）：

许淳淳 高克玮 顾宝珊 张 炼 朱文德 李晓刚

编 委（按姓氏拼音排序）：

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 白新德 | 蔡健平 | 陈建敏 | 程瑞珍 | 窦照英 | 杜存山 |
| 杜 楠 | 干 勇 | 高克玮 | 高万振 | 高玉魁 | 葛红花 |
| 顾宝珊 | 韩恩厚 | 韩雅芳 | 何玉怀 | 胡少伟 | 胡业锋 |
| 纪晓春 | 李金桂 | 李晓刚 | 李兴无 | 林 翠 | 刘世参 |
| 卢凤贤 | 路民旭 | 吕龙云 | 马鸣图 | 沈卫平 | 孙 辉 |
| 陶春虎 | 王 钧 | 王一建 | 武兵书 | 熊金平 | 许淳淳 |
| 许立坤 | 许维钧 | 杨卯生 | 杨文忠 | 袁训华 | 张 津 |
| 张 炼 | 张启富 | 张晓云 | 赵 晴 | 周国庆 | 周师岳 |
| 周伟斌 | 朱文德 | | | | |

办 公 室：袁训华 张雪华

《材料延寿与可持续发展》丛书指导单位

中国工程院
中国科学技术协会

《材料延寿与可持续发展》丛书合作单位

中国腐蚀与防护学会
中国钢研科技集团有限公司
中航工业北京航空材料研究院
化学工业出版社

《海洋工程的材料失效与防护》编委会

主 任：许立坤
编 委：许立坤 朱新河 张亚军 马 力 侯 健 郑纪勇
 邢少华 程文华 李相波 林志峰

丨 总序言 丨

在远古人类处于采猎时代，依赖自然，听天由命；公元前一万年开始，人类经历了漫长的石器时代，五千多年前进入青铜器时代，三千多年前进入铁器时代，出现了农业文明，他们砍伐森林、种植稻麦、驯养猪狗，改造自然，进入农牧经济时代。18世纪，发明蒸汽机车、轮船、汽车、飞机，先进的人类追求奢侈的生活、贪婪地挖掘地球、疯狂地掠夺资源、严重地污染环境，美其名曰人类征服自然，而实际是破坏自然，从地区性的伤害发展到全球性的灾难，人类发现在无休止、不理智、不文明地追求享受的同时在给自己挖掘坟墓。

人类终于惊醒了，1987年世界环境及发展委员会发表的《布特兰报告书》确定人类应该保护环境、善待自然，提出了“可持续发展战略”，表达了人类应该清醒地、理智地、文明地处理好人与自然关系的大问题，指出“既满足当代人的需求，又不对后代人满足其需求的能力构成危害的发展”，称之为可持续发展。其核心思想是“人类应协调人口、资源、环境与发展之间的相互关系，在不损害他人和后代利益的前提下追求发展。”

这实际上是涉及到我们人类赖以生存的地球如何既满足人类不断发展的需求，又不被破坏、不被毁灭这样的大问题；涉及到人口的不断增长、生活水平的不断提高、资源的不断消耗、环境的不断恶化；涉及矿产资源的不断耗竭、不可再生能源资源的不断耗费、水力资源的污染、土地资源的破坏、空气质量的不断恶化等重大问题。

在“可持续发展”战略中，材料是关键，材料是人类赖以生存和发展的物质基础，是人类社会进步的标志和里程碑，是社会不断进步的先导、是可持续发展的支柱。如果不断发现新矿藏，不断研究出新材料，不断延长材料的使用寿命，不断实施材料的再制造、再循环、再利用，那么这根支柱是牢靠的、坚强的、是能够维护人类可持续发展的！

在我国，已经积累了许许多多预防和控制材料提前失效（其因素主要是腐蚀、摩擦磨损磨蚀、疲劳与腐蚀疲劳）的理论、原则、技术和措施，需要汇总和提供应用，《材料延寿与可持续发展》丛书以多个专题力求解决这一课题项目。有一部分专题阐述了材料失效原理和过程，另一部分涉及工程领域，结合我国已积累的材料失

效的案例和经验，更深入系统地阐述预防和控制材料提前失效的理论、原则、技术和措施。丛书总编辑委员会前后花费五年的时间，将分散在全国各个科研院所、工厂、院校的研究成果经过精心分析研究、汇聚成一套系列丛书，这是一项研究成果、是一套高级科普丛书、是一套继续教育实用教材。希望对我国各个工业部门的设计、制造、使用、维护、维修和管理人员会有所启示、有所参考、有所贡献；希望对提高全民素质有所裨益、对国家各级公务员有所参考。

我国正处于高速发展阶段，制造业由大变强，材料的合理选择和使用，以达到装备的高精度、长寿命、低成本的目的，这一趋势应该受到广泛的关注。

中国科学院院士
中国工程院院士

Handwritten signature in black ink, reading '师昌绪' (Shi Changju).

丨 总前言 丨

材料是人类赖以生存和发展的物质基础，是人类社会进步的标志和里程碑，是社会不断进步的先导，是国家实现可持续发展的支柱。然而，地球上的矿藏是有限的，而且需要投入大量的能源，进行复杂的提炼、处理，产生大量污染，才能生产成为人类有用的材料，所以，材料是宝贵的，需要科学利用和认真保护。

半个多世纪特别是改革开放三十多年来，我国材料的研究、开发、应用有了快速的发展，水泥、钢铁、有色金属、稀土材料、织物等许多材料的产量多年居世界第一。我国已经成为世界上材料的生产、销售和消费大国。“中国材料”伴随着“中国制造”的产品，遍布全球；伴随着“中国建造”的工程项目，遍布全国乃至世界上很多国家。材料支撑我国国民经济连练 30 多年 GDP 年均 10% 左右的高速发展，使我国成为全球第二大经济体。但是，我国还不是材料强国，还存在诸多问题需要改进。例如，在制造环境、运行环境和自然环境的作用下，出现过早腐蚀、老化、磨损、断裂（疲劳），材料及其制品在使用可靠性、安全性、经济性和耐久性（简称“四性”）方面都还有大量的工作要做。

“材料寿命”是指对材料及其制品在服役环境作用下出现腐蚀、老化、磨损和断裂而导致的过早失效进行预防与控制，以尽可能地提高其“四性”，也就是提高水平，提高质量，延长寿命。目标是节约资源、能源，减少对环境的污染，支持国家可持续发展。

材料及制品的“四性”实质上是材料及制品水平高低和质量好坏的最终表征和判断标准。追求“四性”，就是追求全寿命周期使用的高水平、高质量，追求“质量第一”，追求“质量立国”，追求“材料强国”、“制造强国”、“民富、国强、美丽国家”。

我国在“材料延寿与可持续发展”方面，做过大量的研究，取得了显著的成绩，积累了丰富的实践经验，凝练出了一系列在材料全寿命周期中提高“四性”的重要理论、原则、技术和措施，可以总结，服务于社会。

“材料延寿与可持续发展”丛书的目的就在于：总结过去，总结已有的系统控制材料提前损伤、破坏和失效的因素，即腐蚀、老化、磨损和断裂（主要是疲劳与腐蚀疲劳）的理论、原则、技术和措施，使各行业产品设计师，制造、使用和管理工程师有所启示、有所参考、有所作为、有所贡献，以尽可能地提高产品的“四性”，

延长使用寿命。丛书的目的还在于：面对未来、研究未来，推进材料的优质化、高性能化、高强度化、长寿命化，多品质、多规格化、标准化，传统材料的综合优化，材料的不断创新，并为国家长远发展，提出成套成熟可靠的理论、原则、政策和建议，推进国家“节约资源、节能减排”、“可持续发展”和“保卫地球“科学、和谐”发展战略的实施，加速创建我国“材料强国”、“制造强国”。

在中国科协和中国工程院的领导与支持下，一批材料科学工作者不懈努力，不断地编写和出版系列图书。衷心希望通过我们的努力，既能对设计师，制造、使用和管理工程师“材料延寿与可持续发展”的创新有所帮助，又能为国家成功实施“可持续发展”、“材料强国”、“制造强国”的发展战略有所贡献。

中国工程院院士
中国工程院副院长



I 前言 I

我们人类生活在一个蓝色的地球上，地球上约 71% 的表面都被海水所覆盖，在陆地资源日益紧张和匮乏的今天，走向海洋已成为人类可持续发展的重要方向，甚至可以说，谁拥有海洋，谁就拥有未来。我国不仅是一个陆域大国，也是一个海洋大国，拥有广阔的海域和漫长的海岸线，我国海洋资源的开发利用具有广阔的前景。海洋正成为支撑我国社会、经济发展的重要支柱。正因为海洋对国家发展的重要战略意义，在党的十八大报告中明确提出了要“提高海洋资源开发能力，发展海洋经济，保护海洋生态环境，坚决维护国家海洋权益，建设海洋强国”的目标。要实现建设海洋强国的“中国梦”，离不开海洋工程的发展，各种海洋装备和工程设施为进行海洋活动提供了必不可少的手段和前提条件。另一方面，随着海洋探索、开发、利用和保护深入，对海洋工程也提出了新的需求，反过来又促进了海洋工程技术的不断发展和进步。

海洋工程往往结构复杂，并且长期在苛刻的环境中服役，不仅受到恶劣的海洋环境的腐蚀作用，而且在工作载荷以及风、浪、流、冰和潮汐等海洋环境载荷的作用下，易于产生应力腐蚀和腐蚀疲劳损伤。对于一些受到水流冲刷或冲击的构件或船舶及平台的动力系统的运动部件，还不可避免地存在磨损问题。腐蚀、疲劳和磨损是造成海洋工程损伤、失效和破坏的重要原因。海洋工程材料与构件的失效与破坏除了缩短海洋工程的服役寿命、影响正常的生产与运行、增大维护维修成本、造成巨大的经济损失以外，还会引发环境灾难等事故、危及人员生命与财产的安全。

材料的防护和延寿，是指在全寿命周期内，通过采取各种预防和维护措施，系统控制材料和结构的腐蚀、疲劳、磨损等造成的累积损伤和破坏，从而保证材料和结构的服役安全和耐久性，使之达到甚至超过设计的使用寿命。海洋工程的材料防护和延寿不仅具有显著的经济效益，同时还具有巨大的社会效益。

鉴于海洋环境的特点以及腐蚀是影响海洋工程服役寿命的关键因素，在本书中对海洋工程的腐蚀防护进行了重点阐述。全书共分为 8 章。第 1 章简要介绍了海洋工程的背景以及海洋工程材料防护和延寿的作用与意义（许立坤编写）。第 2 章介绍了海洋工程环境的特点（许立坤编写）。第 3 章介绍了海洋腐蚀的原理、形式以及影响因素（侯健编写）。第 4 章介绍了海洋腐蚀的一般控制方法（郑纪勇、侯健、许立

坤、李相波、程文华编写)。第5章针对船舶、平台、港工设施、海底管线、海水管路系统等不同的海洋工程结构物,介绍了海洋工程的具体腐蚀控制措施(马力、邢少华、许立坤、林志峰编写)。第6章介绍了海洋工程混凝土结构的耐久性与各种延寿技术(许立坤编写)。第7章阐述了海洋工程结构的环境-力学损伤行为与预防方法,重点包括应力腐蚀和腐蚀疲劳(张亚军编写)。第8章介绍了船舶及海洋工程动力系统磨损失效与预防及维修技术(朱新河编写)。

本书在编写的过程中得到了陈光章、孙明先、高灵清等许多专家的帮助,并得到了中国船舶重工集团公司第七二五研究所领导以及海洋腐蚀与防护国家级重点实验室的大力支持,丛书的总主编以及化学工业出版社的编辑为本书的出版也付出了很多辛劳,在此一并表示衷心的感谢!

由于笔者水平有限,书中难免存在不足和疏漏之处,敬请读者批评指正。

许立坤

2014年1月于青岛

I 目录 I

第 1 章 绪言

- 1.1 海洋工程的范围 /001
- 1.2 海洋工程的发展与需求 /002
 - 1.2.1 海洋是巨大的资源宝库 /002
 - 1.2.2 海洋工程的发展状况 /004
- 1.3 海洋工程材料防护和延寿的作用与意义 /008
 - 1.3.1 海洋工程中材料与结构的损伤及其危害 /008
 - 1.3.2 海洋工程材料防护和延寿的意义 /009
- 参考文献 /011

第 2 章 海洋工程环境

- 2.1 海洋工程环境载荷及其影响 /014
 - 2.1.1 海风 /014
 - 2.1.2 海浪 /014
 - 2.1.3 潮汐 /015
 - 2.1.4 风暴潮与海啸 /015
 - 2.1.5 海流 /016
 - 2.1.6 海冰 /016
- 2.2 海洋工程的腐蚀环境 /017
 - 2.2.1 腐蚀环境的分类 /017
 - 2.2.2 海洋大气环境 /019
 - 2.2.3 海水全浸环境 /019
 - 2.2.4 海水干湿交替环境 /021
 - 2.2.5 海泥环境 /022
- 2.3 海洋工程的生物环境 /023
 - 2.3.1 微生物及其作用 /023
 - 2.3.2 宏观附着生物及其影响 /025
 - 2.3.3 海洋钻孔生物及其作用 /027
- 参考文献 /028

第 3 章 海洋腐蚀

- 3.1 海洋腐蚀的破坏形式 /030
 - 3.1.1 均匀腐蚀 /030

- 3.1.2 点蚀 /030
- 3.1.3 缝隙腐蚀 /035
- 3.1.4 选择性腐蚀 /037
- 3.1.5 晶间腐蚀 /038
- 3.1.6 电偶腐蚀 /040
- 3.1.7 杂散电流腐蚀 /043
- 3.1.8 应力腐蚀开裂 /044
- 3.1.9 腐蚀疲劳 /048
- 3.1.10 冲刷腐蚀 /049
- 3.1.11 空泡腐蚀 /050
- 3.1.12 生物腐蚀 /052
- 3.2 海洋大气腐蚀及其影响因素 /053
 - 3.2.1 海洋大气腐蚀的机理 /053
 - 3.2.2 海洋大气腐蚀的影响因素 /053
 - 3.2.3 海洋大气腐蚀的防护措施 /054
- 3.3 海水腐蚀及其影响因素 /054
 - 3.3.1 海水腐蚀的特征及电化学过程 /054
 - 3.3.2 影响海水腐蚀的因素 /055
 - 3.3.3 防止海水腐蚀的措施 /059
- 3.4 海泥腐蚀及其影响因素 /060
- 参考文献 /060

第4章 海洋腐蚀的控制方法

- 4.1 防腐蚀设计 /062
 - 4.1.1 确定使用工况及环境条件 /062
 - 4.1.2 合理选材 /063
 - 4.1.3 防腐蚀结构设计 /063
 - 4.1.4 防腐蚀强度设计 /064
 - 4.1.5 腐蚀防护措施 /065
 - 4.1.6 防腐蚀设计的发展趋势 /068
- 4.2 材料选择 /069
 - 4.2.1 考虑腐蚀要求的一般选材原则 /070
 - 4.2.2 碳钢及低合金钢 /070
 - 4.2.3 不锈钢 /073
 - 4.2.4 铜及铜合金 /076
 - 4.2.5 铝及铝合金 /079
 - 4.2.6 钛及钛合金 /083
 - 4.2.7 非金属及复合材料 /085

- 4.3 海洋涂料 /087
 - 4.3.1 涂料的基本组成及各成分的作用 /088
 - 4.3.2 海洋防腐涂料 /089
 - 4.3.3 防污涂料 /095
- 4.4 阴极保护 /103
 - 4.4.1 阴极保护原理 /104
 - 4.4.2 牺牲阳极阴极保护 /105
 - 4.4.3 外加电流阴极保护 /108
 - 4.4.4 阴极保护设计技术 /111
- 4.5 热喷涂金属涂层 /120
 - 4.5.1 金属涂层防护原理 /120
 - 4.5.2 金属涂层制备工艺 /122
 - 4.5.3 金属防腐涂层的研究与应用 /126
- 4.6 冲洗缓蚀剂 /128
- 4.7 腐蚀检测及监测技术 /129
 - 4.7.1 常规腐蚀检测方法 /130
 - 4.7.2 电化学腐蚀检测方法 /132
 - 4.7.3 光纤传感腐蚀监测技术 /139
- 参考文献 /146

第5章 海洋工程的腐蚀控制

- 5.1 船舶的腐蚀控制 /152
 - 5.1.1 船体腐蚀控制 /152
 - 5.1.2 船舶内舱的腐蚀控制 /163
 - 5.1.3 船舶海水管路系统的腐蚀控制 /174
 - 5.1.4 船体杂散电流的腐蚀与防护 /180
- 5.2 钢质港工设施的腐蚀控制 /182
 - 5.2.1 钢桩码头的腐蚀控制 /182
 - 5.2.2 系泊设施的腐蚀控制 /191
- 5.3 跨海大桥的腐蚀控制 /191
 - 5.3.1 大桥基础的腐蚀控制 /192
 - 5.3.2 大桥箱梁的腐蚀控制 /193
 - 5.3.3 大桥钢索的腐蚀控制 /196
 - 5.3.4 大桥腐蚀状况监测 /197
- 5.4 海上油气资源开采设施的腐蚀控制 /198
 - 5.4.1 石油平台的腐蚀控制 /198
 - 5.4.2 海底管线的腐蚀控制 /211
 - 5.4.3 浮式储油轮 (FPSO) 的腐蚀控制 /216

- 5.4.4 深海腐蚀与防护 /221
- 5.5 海水利用系统的腐蚀控制 /226
 - 5.5.1 取水口结构物的腐蚀控制 /227
 - 5.5.2 海水管道的腐蚀控制 /229
 - 5.5.3 冷却设备的腐蚀控制 /231

参考文献 /233

第6章 海洋工程混凝土结构的耐久性与延寿技术

- 6.1 钢筋混凝土及其在海洋工程中的应用 /238
 - 6.1.1 混凝土材料 /238
 - 6.1.2 钢筋混凝土 /242
 - 6.1.3 钢筋混凝土结构在海洋工程中的应用 /242
- 6.2 环境对钢筋混凝土海洋工程结构耐久性的影响 /244
 - 6.2.1 钢筋混凝土海洋工程结构的环境分析 /244
 - 6.2.2 钢筋混凝土海洋工程结构的环境损伤 /249
 - 6.2.3 影响钢筋混凝土海洋工程结构耐久性的因素 /252
- 6.3 提高混凝土结构耐久性的方法和延寿技术 /257
 - 6.3.1 合理的设计和施工 /258
 - 6.3.2 高性能海工混凝土 /261
 - 6.3.3 耐腐蚀加强筋 /263
 - 6.3.4 混凝土保护层 /264
 - 6.3.5 混凝土表面硅烷浸渍处理 /265
 - 6.3.6 缓蚀剂 /266
 - 6.3.7 电化学保护 /266
 - 6.3.8 混凝土结构的修复方法 /271

参考文献 /272

第7章 海洋工程结构的环境-力学损伤行为与预防

- 7.1 海洋工程结构的环境-力学损伤 /277
 - 7.1.1 海洋工程结构的应力腐蚀 /277
 - 7.1.2 海洋工程结构的腐蚀疲劳 /281
- 7.2 海洋工程结构的抗疲劳设计 /284
 - 7.2.1 常用的抗疲劳设计方法 /284
 - 7.2.2 材料的 $S-N$ 曲线 /286
 - 7.2.3 材料的 $\epsilon-N$ 曲线 /287
 - 7.2.4 疲劳裂纹扩展速率 /288
- 7.3 疲劳强度测试与安全性评估 /290
 - 7.3.1 $S-N$ 曲线的测定方法 /290

- 7.3.2 $\epsilon-N$ 曲线的测定方法 /291
- 7.3.3 K_{ISCC} 和 da/dt 的测定方法 /293
- 7.3.4 腐蚀疲劳裂纹扩展速率的测定方法 /296
- 7.3.5 海洋工程结构的安全性评估 /298
- 7.4 海洋平台结构环境-力学损伤的预防 /300
 - 7.4.1 防止海洋平台结构应力腐蚀的措施 /300
 - 7.4.2 防止海洋平台结构腐蚀疲劳的措施 /301
 - 7.4.3 海洋平台结构设计所采用的安全措施 /302
- 参考文献 /304

第8章 船舶及海洋工程动力系统中的磨损失效与预防

- 8.1 船用柴油机的磨损失效与预防 /305
 - 8.1.1 摩擦和磨损的种类与机理 /305
 - 8.1.2 实例一：船用柴油机汽缸套与活塞环的摩擦与磨损 /321
 - 8.1.3 实例二：曲轴与轴承的摩擦与磨损 /327
 - 8.1.4 改善内燃机摩擦磨损性能的措施和方法 /331
- 8.2 船舶尾轴的磨损与处理 /333
 - 8.2.1 尾轴的分类 /333
 - 8.2.2 尾轴磨损后的修复方法 /335
 - 8.2.3 尾轴铜套的检修 /335
- 8.3 船机磨损失效零件的修复方法 /335
 - 8.3.1 船机零件修复的意义和前提条件 /335
 - 8.3.2 相互配合零件磨损后的修复原则 /336
 - 8.3.3 船机磨损零件的修复工艺选择 /336
 - 8.3.4 机械加工修复工艺 /338
 - 8.3.5 电镀修复技术 /341
 - 8.3.6 热喷涂修复技术 /347
 - 8.3.7 喷熔技术 /351
 - 8.3.8 堆焊修复技术 /352
 - 8.3.9 典型船机磨损零件的修复实例 /353
- 参考文献 /355

索引 /356

第1章

绪言

1.1 海洋工程的范围

海洋工程这一术语于 20 世纪 60 年代开始普遍采用，其内容随着海洋开发和利用的深入，不断得到发展和充实。关于海洋工程这一术语，有多种含义。既可以是指海洋工程学科，或者海洋工程活动，也可以是指海洋工程装备与设施，其目的都是服务于对海洋的探索、开发、利用和保护，都离不开海洋科学和相关的工程技术的支撑。本书中的海洋工程主要是指人们在探索、开发、利用和保护海洋过程中所设计、建造并在海洋环境中服役使用的各类装备与工程设施。随着海洋科学和技术的不断进步，以及海洋工程活动领域的不断拓宽，海洋工程的范围也在不断发展。通常根据离岸的远近以及发展的历程，海洋工程可以分为海岸工程、近海工程和深海工程，但三者之间也有所重叠。

海岸工程有着悠久的历史，地中海沿岸国家早在公元前 1000 年就已开始航海和建设港口，我国在公元前 306 年也已开始在沿海建设港口，东汉时期开始在东南沿海兴建海岸防护工程。海岸工程主要服务于海岸带开发，包括海港工程、围海工程、海岸防护工程、海上疏浚工程、沿海渔业设施工程、河口治理工程、海水利用工程等。

近海工程主要包括海上平台、人工岛、跨海大桥、海底管线、浮式石油生产与储卸系统（FPSO）、浮式飞机场、海洋环境监测与保护系统、海洋能源开发装置等设施。伴随着海洋经济的快速发展，尤其是海洋油气资源的勘探和开发，近海工程在过去的五十年里得到了迅速的发展。

由于深海蕴藏着丰富的矿产资源，深海开发已日益得到重视，人们已能开采深海油气和锰结核等深海矿产资源，载人潜水器已能下潜到 1 万米以下的深海。深海工程主要包括深海资源勘探与开采的装备和设施，如深海油气开采装备、无人深潜器、载人深潜器、深海机器人、深海空间站等。

海上运输和交通以及国防都离不开船舶，海上施工作业也需要专门的工程船。海洋船舶包括海军舰船和民用船舶，前者包括航空母舰、驱逐舰、护卫舰、潜水艇以及其他的舰艇等，后者包括油轮、集装箱船、液化天然气船、散货船、