



“十三五”
国家重点图书

海洋工程材料丛书

Series
on Materials
for Marine Engineering

Corrosion and Protection
for Marine,
Offshore and
Coastal Structures

海洋工程材料和结构的
腐蚀与防护

韩恩厚 陈建敏 宿彦京 等编著



化学工业出版社



“十三五”
国家重点图书

海洋工程材料丛书
Series
on Materials
for Marine Engineering

Corrosion and Protection
for Marine,
Offshore and
Coastal Structures

海洋工程材料和结构的 腐蚀与防护

韩恩厚 陈建敏 宿彦京 等编著



化学工业出版社

·北京·

《海洋工程材料和结构的腐蚀与防护》是国家出版基金项目“海洋工程材料丛书”的分册之一。

本书分为 23 章。第 1~6 章介绍了海洋腐蚀防护基本原理,包括绪论、金属腐蚀与防护的基础理论、海洋腐蚀的主要形式、海洋腐蚀环境、海洋工程常用金属材料与主要失效形式、海洋生物及其对材料的作用。第 7~14 章介绍了海洋材料与工程结构的腐蚀控制技术,包括金属表面处理与改性、海洋防腐蚀涂料、防污涂料与材料、海洋工程关键件防护涂层技术、阴极保护技术、缓蚀剂、结构健康监测与检测、海洋工程材料和结构的安全评价和寿命预测等通用技术。第 15~23 章针对具体应用的九个领域分别进行论述,包括船舶的腐蚀防护、海洋油气生产设施的腐蚀防护、海上风电设备的腐蚀防护、岛礁工程的腐蚀防护、海洋桥梁的腐蚀防护、海底隧道与沿海钢筋混凝土结构的腐蚀防护、深海工程的腐蚀防护、海上飞机的腐蚀防护、陆基海岸带工程结构的腐蚀防护。

本著作可供从事船舶、海洋工程结构、海岸带工程以及涉海工程设施的设计、制造、施工、使用和维护的工程技术人员阅读,也可供从事相关研究的科研人员和相关专业的本科生、研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

海洋工程材料和结构的腐蚀与防护/韩恩厚等编著.

北京:化学工业出版社,2016.10

(海洋工程材料丛书)

ISBN 978-7-122-28231-6

I. ①海… II. ①韩… III. ①海洋工程-水工材料-防腐 ②海洋工程-水工结构-防腐 IV. ①P754.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 240184 号

责任编辑: 奚 臻 晁景岩

文字编辑: 汲永臻

责任校对: 边 涛

装帧设计: 尹琳琳

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 装: 三河市航远印刷有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 36 字数 888 千字 2017 年 1 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: 149.00 元

版权所有 违者必究

“海洋工程材料丛书”

编委会

顾问：徐匡迪^{院士} 周济^{院士} 千勇^{院士} 王曙光

主任：周廉^{院士}

副主任：丁文江^{院士} 薛群基^{院士} 翁宇庆^{院士} 周伟斌

委员：(按姓名汉语拼音排序)

才鸿年 ^{院士}	蔡斌	常辉	陈建敏	陈祥宝 ^{院士}	陈蕴博 ^{院士}
丁文江 ^{院士}	窦臻	方志刚	高从堦 ^{院士}	宫声凯	韩恩厚
何季麟 ^{院士}	侯保荣 ^{院士}	黄国兵	蹇锡高 ^{院士}	李贺军	李鹤林 ^{院士}
李晓刚	李仲平 ^{院士}	李宗津	刘敏	刘振宇	马朝利
马伟明 ^{院士}	马运义	阮国岭	尚成嘉	沈晓冬	苏航
宿彦京	唐明述 ^{院士}	屠海令 ^{院士}	王国栋 ^{院士}	王景全 ^{院士}	王向东
王一德 ^{院士}	翁宇庆 ^{院士}	吴有生 ^{院士}	徐芑南 ^{院士}	薛群基 ^{院士}	杨雄辉
曾恒一 ^{院士}	张金麟 ^{院士}	赵解扬	肇研	周克崧 ^{院士}	周廉 ^{院士}
周守为 ^{院士}	周伟斌	朱英富 ^{院士}	左家和		

编委会办公室

主任：李贺军 马朝利 常辉 贾豫冬

成员：(按姓名汉语拼音排序)

陈俊	邓桢桢	丁洁	丁陵	杜伟	冯余其	李伟峰
陶璇	王帅	王媛	徐克	姚栋嘉	余启勇	咎景岩

《海洋工程材料和结构的腐蚀与防护》

编委会

顾 问 周 廉^{院士} 薛群基^{院士} 柯 伟^{院士} 周克崧^{院士} 侯保荣^{院士}

主 任 韩恩厚

副主任 陈建敏 宿彦京

委 员 (按姓名汉语拼音排序)

陈建敏 陈跃良 段继周 宫声凯 桂泰江 韩恩厚 李 京

林昌健 蔺存国 刘 敏 宿彦京 孙明先 台 闯 王震宇

徐群杰 许立坤 张 雷 张 松 祝英剑

序

进入 21 世纪以来，材料特别是新材料已被视为新技术革命的基础和先导。海洋材料长期以来并未被纳入新材料体系范畴，发展速度远远落后于航空、航天材料。21 世纪是海洋的世纪，人类生存和发展越来越依赖于海洋。党的十八大后，建设海洋强国成为重要国策，海洋工程装备及海洋材料作为拓展海洋空间、开发海洋资源的物质前提，是实施海洋科技创新、建设海洋生态文明的物质基础，是提升海洋国防实力、维护海洋权益的物质保障。发展好我国的海洋材料，对实现海洋强国目标将产生重要的积极作用。

海洋的重要性主要体现在三个方面。首先，海洋经济是国民经济的重要组成部分，而海洋经济的发展离不开海洋资源的开发和利用，海洋资源的合理利用能够实现海洋经济的可持续发展。其次，海洋安全是国土安全的重要支撑，因此维护海洋安全至关重要，是国家海洋发展战略的重要组成部分。再次，海洋面积之大，海洋中物质、生物之多及自然现象之复杂，其重要性不亚于陆地及空天，对海洋的科学研究有助于人们认识海洋、了解自然。鉴此，海洋不仅已成为人类赖以生存、社会借以发展、濒海国家持续安泰昌盛的战略发展空间和基地，而且已成为当今世界军事和经济竞争的重要领域，军事竞争的焦点日益转向争夺海上控制权。

海洋资源主要有海洋矿产资源、海水资源、海洋生物资源、海洋旅游资源等。对海洋资源的利用包括海洋交通运输、海洋油气矿业、海洋渔业及生物资源、风力发电、潮汐发电、海水淡化等。海洋材料包括对这些海洋资源开发利用的工程装备（各种离岸、近岸工程建设以及勘探开采油气矿物资源所需的机械工程装备、海洋交通运输装备等）用材料。

海洋材料也包括涉及海洋安全的军用舰船（如航空母舰、护卫舰、潜艇等）和执法船用材料，以及用于各种海洋科学研究的装备和仪器（如海洋考察船、极地科考船、深海装备、海底电缆等）用材料。

2013—2014 年，中国工程院分别启动了“中国海洋工程材料研发现状及发展战略初步研究”“中国海洋工程中关键材料发展战略研究”两个咨询项目，中国工程院化工、冶金与材料工程学部联系机械、环境、能源等学部 30 余位院士，组织了全国 200 余位海洋工程领域的专家、学者，历时两年多的时间完成了咨询项目，对海洋工程材料领域的共性问题、关键技术和特殊应用领域进行了深入的调查和研究，为建立我国海洋工程材料完善的科学体系提供咨询建议，使“一代海洋材料，一代海洋装备”的理念更加深入人心，被誉为至理名言。以此为基础，本项目组组织国内材料领域的众多知名专家、学者，编撰了这套“海洋工程材料丛书”。丛书凝聚了 200 余位科学家和工程技术专家的群体智慧。

海洋材料应是海洋中各种工程装备应用材料的总称，是指在能适应海洋恶劣的环境、抵抗海水和生物体的侵蚀、能满足各类海洋工程装备应用需求的环保的可持续发展的材料。本套丛书内容除了包括海洋工程装备范畴的海洋资源利用开发等涉及的材料，还包括海洋安全、海洋科学研究涉及的材料。

丛书紧扣国家海洋强国的战略需求，从“材料”“腐蚀防护”“工程装备”三个层面，总结和梳理了改革开放 30 年来我国海洋材料及应用方面的基础理论积累、重大研究和应用成果，重点突出了关键技术，介绍了国内外在该领域的先进技术、装备和理论研究，并展望了海洋材料和材料技术的发展趋势。丛书共有十一个分册，分别是《中国海洋工程材料发展战略咨询报告》《海洋工程钢铁材料》《海洋工程钛金属材料》《海洋工程有色金属材料》《海洋工程聚合物基复合材料》《海洋工程水泥与混凝土材料》《船舶装备与材料》《海洋石油装备与材料》《海水资源综合利用装备与材料》《海洋工程材料腐蚀行为与机理》《海洋工程材料和结构的腐蚀与防护》。其中，海洋工程装备材料的腐蚀与防护是解决海洋工程材料应用的核心技术，除在各材料分册有关章节予以描述之外，《海洋工程材料和结构的腐蚀与防护》及《海洋工程材料腐蚀行为与机理》分册又对海洋腐蚀的特点、腐蚀机理、材料防腐要求等方面进行了专门论述。这套丛书另一个突出亮点是材料与海洋工程装备应用的结合，专设三个分册分别叙述了船舶装备、海洋石油钻井平台及海水综合利用等几个主要海洋工程领域的发展现状、发展趋势以及对各种材料的需求。

丛书内容颇为广泛，具有较强的创新性、理论性和实用性，较好地反映了海洋工程材料及应用的全貌，文字深入浅出，简洁明了，系统介绍了相关材料的特点和应用，能为读者从不同应用范围、不同材料及技术等角度了解海洋工程材料提供很好的帮助，具有较高的学术水平和应用价值。本丛书增强了材料科学与应用的结合，必将对推动我国海洋材料的发展起到积极的作用。

希望本丛书的出版，能够对从事船舶、海洋工程基础及应用研究、生产单位的科技工作者系统地了解 and 掌握本领域的发展现状和未来，在重大工程和装备的选材设计、制备加工、防护技术、服役安全等方面提供理论支撑和技术指导，对进一步开展创新研究工作有所帮助，同时也可以作为广大材料专业的本科生及研究生的参考教材。

中国工程院院士



2016 年 3 月

前言

地球表面的 70% 被海水覆盖。我国的海洋面积约为大陆面积的一半。我国有 1.8 万多千米的大陆海岸线，沿海地区经济发达、工业集中，建有大量的钢铁和钢筋混凝土设施，如桥梁、码头、栈桥、管道、储罐、电站等，受海洋环境的影响，其腐蚀问题突出。腐蚀防护是海洋开发和沿海经济发展必须解决的重要课题，对我国经济发展具有重大价值。

为此，韩恩厚研究员于 2013 年 12 月提出了本书的编写大纲，并于 2014 年 4 月在沈阳召开会议讨论确定。三十多位本领域的专家学者，结合多年来从事相关领域研发与应用的经验，对腐蚀防护的基本原理，国内外常用和先进的腐蚀防护技术，以及不同应用领域的腐蚀防护方法做了系统介绍。韩恩厚研究员最后审阅了全稿，并对每一章均提出了修改建议。

本书共 23 章。第 1~6 章介绍海洋腐蚀防护基本原理。其中第 1 章简述腐蚀的历史、海洋环境的特点与海洋腐蚀防护的重要性；第 2 章主要把防腐蚀的基本原理和出发点讲清楚（如电化学热力学与动力学），以及防护的基础与方法，为后续的防护技术提供基础；第 3 章主要介绍海洋腐蚀中经常出现的相关主要腐蚀形式，例如均匀腐蚀、电偶腐蚀、应力腐蚀、腐蚀疲劳、腐蚀磨损等的基本现象和原理；第 4 章从全世界的海洋环境特点叙述，包括海水深度上的差异（含海洋大气环境——大气、飞溅，海水环境——潮差、浅海、深海、海生物状况等）、不同海域的差异、海上大气与海岸大气的状况等；第 5 章介绍了目前船舶和海洋工程中常用的材料，以及这些材料在海洋环境中的主要失效形式；第 6 章介绍海洋生物及其对材料的作用，包括宏观海洋生物、海洋微生物对材料的作用，以及由此造成的不同材料的损伤、结构功能的破坏或丧失。第 7~14 章介绍海洋材料与工程结构的腐蚀控制技术，突出我国现役的成熟技术、国外采用的技术、近年来研发出的先进技术。其中第 7 章介绍了金属表面处理与改性，包括各类材料的表面处理与改性技术，处理后耐腐蚀的机理、适应场合等；第 8 章介绍了海洋防腐蚀涂料，含涂料防腐的原理，提高性能的方法，水线以上、水线以下等不同种类的涂料介绍，涂装技术装备、工艺等；第 9 章介绍了防污涂料与材料的基本原理、种类、制备方法、使用特点及环保性与效果对比等；第 10 章介绍了海洋工程关重件的抗磨损腐蚀等涂层，含腐蚀磨损同时存在时提高使役性能的原理、方法、技术等；第 11 章介绍了阴极保护技术，包括阴极保护原理、设备、各类牺牲阳极等；第 12 章介绍了各类缓蚀剂的原理、作用、特点与用途等；第 13 章介绍了结构健康监测与检测，含各类监测与检测方法原理、技术、设备等；第 14 章介绍了安全评估和寿命预测，包含评价方法与模型，并结合具体案例给予说明。第 15~23 章结合工业部门的特点，简述上述各类技

术在各类具体工程或结构上的应用。其中第 15 章介绍了船舶的腐蚀防护；第 16 章介绍了海洋油气生产设施的腐蚀防护；第 17 章介绍了海上风电设备的腐蚀防护；第 18 章介绍了岛礁工程的腐蚀防护；第 19 章介绍了海洋桥梁的腐蚀防护；第 20 章介绍了海底隧道与沿海钢筋混凝土结构的腐蚀防护；第 21 章介绍了深海工程的腐蚀防护；第 22 章介绍了海上飞机的腐蚀防护；第 23 章介绍了陆基海岸带工程结构的腐蚀防护。

本书是在中国工程院“中国海洋工程中关键材料发展战略研究”重大咨询项目的支持下完成的。本书的编写自始至终得到了周廉院士、薛群基院士、柯伟院士、周克崧院士、侯保荣院士等的关心和支持，他们对本书的编写提出了许多建设性指导意见，并在编写过程中给予了许多重要指导。本书编写过程中还得到了国家金属腐蚀控制工程技术研究中心（中国科学院金属研究所）、中国科学院海洋新材料与应用技术重点实验室（中国科学院宁波材料研究所）、北京科技大学等单位及相关涉海企业与腐蚀防护技术企业的大力支持，在此表示衷心的感谢。本书中涉及的较多研究结果取材于国家重点基础研究发展规划（973 计划）“材料的环境行为与失效机理”项目和高技术研究发展计划项目（863 计划）等多个国家项目和企业支持的项目，在此向所有做出相关成果的奉献者致以崇高的谢意。

本书由韩恩厚、陈建敏、宿彦京等编著。第 1 章由韩恩厚编写；第 2 章由韩恩厚、杨武编写；第 3 章由宿彦京编写；第 4 章由陈建敏、曾志翔、赵文杰编写；第 5 章由宿彦京编写；第 6 章由段继周、翟晓凡、管方、辛征、刘海霞编写；第 7 章由陈建敏、杨丽景、柯培玲、汪爱英、韩金编写；第 8 章由王震宇、韩恩厚编写；第 9 章由蔺存国编写；第 10 章由刘敏、邓畅光、徐丽萍、张吉阜、毛杰、邓春明、宋进兵、侯惠君、李福海编写；第 11 章由孙明先编写；第 12 章由祝英剑编写；第 13 章由台闯编写；第 14 章由张雷编写；第 15 章由桂泰江编写；第 16 章由张雷编写；第 17 章由徐群杰编写；第 18 章由张松、向永华编写；第 19 章由魏英华、李京编写；第 20 章由林昌健、董士刚、曾超、张建斌编写；第 21 章由许立坤编写；第 22 章由陈跃良编写；第 23 章由段继周、蒋全通编写。

腐蚀与防护是一门涉及多学科交叉的科学与技术，新技术不断涌现，因此本书对新成果的总结难免会有疏漏，加之编者的水平所限，定会有不足和偏颇之处。这些都敬请广大读者批评指正。

编著者

2016 年 9 月

目录

第 1 章 绪论

1.1 腐蚀防护及其简要历史	1
1.2 腐蚀对人类的影响	2
1.3 腐蚀的分类	3
1.4 海洋环境与海洋腐蚀的特点	3
1.5 海洋腐蚀防护的重要性与主要腐蚀防护技术	4
参考文献	5

第 2 章 金属腐蚀与防护的基础理论

2.1 腐蚀电化学热力学	7
2.1.1 电极电位与能斯特方程	7
2.1.2 电位-pH 图的原理	11
2.1.3 电位-pH 图的应用	13
2.1.4 电位-pH 图的局限性	14
2.2 腐蚀电化学动力学	15
2.2.1 极化和去极化	16
2.2.2 极化曲线	18
2.2.3 腐蚀极化图及其应用	26
2.3 金属腐蚀防护的基本原理	27
2.3.1 金属的钝化	27
2.3.2 析氢腐蚀与吸氧腐蚀	31
2.3.3 电化学保护	34
2.4 海水腐蚀的特点与防护原理	37
2.4.1 海水腐蚀的电化学特征	37
2.4.2 海水腐蚀的影响因素	40
2.4.3 海水腐蚀的防护原理	43
2.5 腐蚀的评定方法	46
2.5.1 材料的(耐)腐蚀性能测试	46
2.5.2 耐蚀性能的评定及表示方法	47
参考文献	51

第 3 章 海洋腐蚀的主要形式

3.1 海洋腐蚀的分类	52
-------------------	----

3.1.1 无应力作用下的腐蚀	52
3.1.2 应力作用下的腐蚀	53
3.2 均匀腐蚀	53
3.2.1 均匀腐蚀概述	53
3.2.2 均匀腐蚀的电化学特点	54
3.2.3 均匀腐蚀测量方法	54
3.3 局部腐蚀	55
3.3.1 点蚀	55
3.3.2 电偶腐蚀	59
3.3.3 缝隙腐蚀	62
3.4 环境断裂	64
3.4.1 应力腐蚀	64
3.4.2 氢脆	66
3.4.3 腐蚀疲劳	69
3.5 腐蚀磨损	73
3.5.1 湍流腐蚀	74
3.5.2 空泡腐蚀	75
参考文献	75

第 4 章 海洋腐蚀环境

4.1 海洋环境及腐蚀性概述	76
4.1.1 地球海洋环境综述	76
4.1.2 海洋环境的腐蚀性因素	80
4.2 不同海域海洋腐蚀环境	81
4.2.1 全球不同海域腐蚀环境的差异	81
4.2.2 中国近海海域腐蚀环境的差异	81
4.2.3 中国不同海域腐蚀特征	81
4.3 不同深度海洋腐蚀环境	84
4.3.1 不同深度海洋腐蚀环境概述	84
4.3.2 海洋大气腐蚀环境	85
4.3.3 海水腐蚀环境	87
4.3.4 深海腐蚀环境	91
4.4 海洋环境腐蚀试验	93
参考文献	97

第 5 章 海洋工程常用金属材料与主要失效形式

5.1 海洋用钢的腐蚀和环境断裂	99
5.1.1 海洋用钢概述	99
5.1.2 海洋用钢在不同区带的腐蚀	99
5.1.3 合金元素对腐蚀的影响	101

5.1.4	海洋用钢的应力腐蚀	102
5.1.5	海洋高强钢的氢脆	102
5.1.6	海洋用钢的腐蚀疲劳	104
5.2	海洋用不锈钢的点蚀和环境断裂	106
5.2.1	海洋用不锈钢概述	106
5.2.2	不锈钢的点蚀	106
5.2.3	不锈钢的缝隙腐蚀	107
5.2.4	不锈钢的应力腐蚀	110
5.2.5	不锈钢的氢脆	114
5.2.6	不锈钢的腐蚀疲劳	115
5.3	铝合金的腐蚀和环境断裂	118
5.3.1	铝合金的腐蚀	118
5.3.2	铝合金的应力腐蚀	119
5.3.3	铝合金的腐蚀疲劳	120
5.4	镁合金的腐蚀	121
5.4.1	镁的电化学特性及耐蚀性	122
5.4.2	镁合金的氢脆和应力腐蚀	122
5.4.3	镁合金的腐蚀疲劳	124
5.5	钛合金的环境断裂	125
5.5.1	钛及钛合金概述	125
5.5.2	海洋环境中的腐蚀行为	126
5.5.3	钛及钛合金的局部腐蚀	126
5.5.4	钛合金的应力腐蚀	127
5.6	非晶合金的腐蚀	127
5.6.1	非晶合金材料概述	127
5.6.2	合金元素对耐蚀性的影响	127
5.6.3	非晶合金的耐蚀机理	128
5.6.4	非晶合金在 NaCl 溶液中的应力腐蚀	128
	参考文献	132

第 6 章 海洋生物及其对材料的作用

6.1	海洋生物的分类	135
6.2	海洋污损生物及其附着过程	137
6.2.1	海洋污损生物附着过程	137
6.2.2	影响生物附着的主要环境因素	139
6.3	典型污损生物及其对材料的影响	139
6.3.1	典型污损生物	139
6.3.2	污损生物对工程材料的影响	142
6.4	海洋腐蚀微生物及其对材料的影响	143
6.4.1	主要的腐蚀微生物	143
6.4.2	微生物对典型材料的腐蚀破坏	143

6.5 海洋生物污损与腐蚀控制	144
6.5.1 耐蚀防污表面层材料	145
6.5.2 杀菌剂	145
6.5.3 电解防污	145
6.5.4 防污涂料与材料	145
6.5.5 环境因素控制	145
参考文献	146

第 7 章 金属表面处理与改性

7.1 金属表面与表面工程	148
7.1.1 金属表面结构与性能	148
7.1.2 金属表面工程技术	152
7.2 金属表面钝化技术	153
7.2.1 钝化现象及定义	153
7.2.2 金属表面钝化类型	154
7.2.3 金属表面钝化机理	154
7.2.4 金属表面钝化技术	155
7.2.5 金属表面钝化技术的应用	157
7.3 金属表面薄膜防护技术	158
7.3.1 液相薄膜防护技术	158
7.3.2 气相薄膜防护技术	161
7.4 金属表面涂层防护技术	164
7.4.1 涂层防护技术应用基础	164
7.4.2 各种金属表面涂层防护技术	165
7.4.3 涂层防护技术的应用	168
参考文献	168

第 8 章 海洋防腐蚀涂料

8.1 海洋涂料防腐原理及选用原则	169
8.1.1 海洋涂料防腐原理	169
8.1.2 海洋涂料选用原则	170
8.2 提高海洋涂料性能的方法	171
8.2.1 物理填充改性方法	171
8.2.2 化学改性方法	173
8.3 海洋大气区防腐涂料	175
8.3.1 海洋大气区腐蚀特点	175
8.3.2 海洋大气区典型防腐涂料	176
8.3.3 海洋大气区涂料配套体系	179
8.4 海洋飞溅区及潮差区防腐涂料	180
8.4.1 海洋飞溅区及潮差区腐蚀特点	180

8.4.2	海洋飞溅区与潮差区典型防腐涂料	182
8.4.3	海洋飞溅区涂料配套体系	184
8.5	海洋全浸区防腐涂料	184
8.5.1	海洋全浸区腐蚀特点	184
8.5.2	海洋全浸区典型防腐涂料	185
8.5.3	海洋全浸区涂料配套体系	186
8.6	海洋钢结构防火涂料	187
8.6.1	钢结构防火保护的必要性	187
8.6.2	防火涂料的组成及防火原理	187
8.6.3	海洋钢结构防火涂料的特点	190
8.7	海洋涂料研究发展趋势	190
8.7.1	海洋钢结构防腐涂料发展趋势	190
8.7.2	海洋钢结构防火涂料发展趋势	192
8.7.3	海洋混凝土防腐涂料发展趋势	194
8.8	海洋涂料性能试验及微观分析方法	195
8.8.1	海洋涂料常规性能测试方法	195
8.8.2	海洋涂料腐蚀与老化加速试验方法	196
8.8.3	海洋涂料微观分析方法	197
8.9	涂装工艺技术及装备	200
8.9.1	涂装工艺技术	200
8.9.2	涂装设备	201
	参考文献	201

第 9 章 防污涂料与材料

9.1	防污涂料的原理与分类	210
9.1.1	防污剂型防污涂料	210
9.1.2	污损释放型防污涂料	213
9.2	防污涂料组成特点、配方设计、防污性能评价与涂装	214
9.2.1	防污涂料的组成特点	214
9.2.2	防污涂料的配方设计	215
9.2.3	防污涂料的防污性能评价与涂装	217
9.3	防污涂料最新研究进展	218
9.3.1	环境友好防污涂料	218
9.3.2	未来发展趋势	224
	参考文献	224

第 10 章 海洋工程关重件防护涂层技术

10.1	关重件的服役环境及失效	228
10.2	关重件的防护涂层材料及制备	230
10.2.1	涂层材料	230

10.2.2 制备技术	232
10.3 关重件防护涂层应用	241
10.3.1 耐磨损腐蚀涂层	241
10.3.2 抗冲刷腐蚀涂层	243
10.3.3 抗高温腐蚀涂层	246
10.3.4 绝缘耐磨涂层	249
10.3.5 环保耐蚀涂层	250
10.3.6 尺寸及功能恢复涂层	253
参考文献	258

第 11 章 阴极保护技术

11.1 阴极保护技术简介	261
11.1.1 阴极保护原理	261
11.1.2 阴极保护的发展历史	262
11.1.3 阴极保护的应用范围	262
11.2 牺牲阳极阴极保护	263
11.2.1 牺牲阳极材料	263
11.2.2 牺牲阳极结构	266
11.3 外加电流阴极保护	268
11.3.1 电源设备	268
11.3.2 辅助阳极	269
11.3.3 参比电极	271
11.3.4 阳极屏蔽层	272
11.4 阴极保护准则	272
11.4.1 碳钢	272
11.4.2 高强度钢	273
11.4.3 其他金属材料	273
11.5 阴极保护设计	273
11.5.1 阴极保护方法的选择	274
11.5.2 阴极保护设计计算	274
11.6 阴极保护系统的布置与安装	279
11.6.1 牺牲阳极阴极保护系统	279
11.6.2 外加电流阴极保护系统	280
参考文献	280

第 12 章 缓蚀剂

12.1 缓蚀剂的定义、特点及表示方法	285
12.1.1 缓蚀剂的定义	285
12.1.2 缓蚀剂的技术特点	286
12.1.3 缓蚀剂效果的表示方法	286

12.2 缓蚀剂的分类	286
12.2.1 按化学组成分类	286
12.2.2 按电化学机理分类	287
12.2.3 按物理化学机理分类	287
12.2.4 按应用介质分类	288
12.2.5 按所使用金属材料分类	288
12.3 缓蚀剂化合物和商品缓蚀剂	289
12.3.1 缓蚀剂化合物	289
12.3.2 商品缓蚀剂	291
12.4 影响缓蚀剂缓蚀效果的因素	292
12.4.1 缓蚀剂使用浓度的影响	292
12.4.2 温度的影响	292
12.4.3 介质流速的影响	292
12.4.4 CO ₂ 分压的影响	293
12.4.5 H ₂ S 含量的影响	294
12.4.6 离子的影响	294
12.4.7 pH 的影响	295
12.5 缓蚀剂的作用机理	296
12.5.1 缓蚀剂的电化学机理	296
12.5.2 缓蚀剂的物理化学机理	298
12.5.3 缓蚀剂的其他机理	300
12.6 缓蚀剂性能评价方法	301
12.6.1 实验室中缓蚀剂性能评价方法	302
12.6.2 缓蚀剂现场使用性能评价方法	302
12.7 缓蚀剂在海洋工程上的应用	304
12.7.1 缓蚀剂在海管清管试压上的应用	304
12.7.2 缓蚀剂在海上油气田采油系统上的应用	307
12.8 应用缓蚀剂必须注意的问题	310
参考文献	310

第 13 章 结构健康监测与检测

13.1 引言	311
13.1.1 结构健康监测与检测的意义	311
13.1.2 腐蚀检测技术的发展	311
13.2 常用腐蚀监测与检测方法	312
13.2.1 现场调查法	312
13.2.2 腐蚀挂片法	313
13.2.3 超声波测厚法	315
13.2.4 声发射法	317
13.2.5 涡流法	318
13.2.6 红外成像法	320

13.2.7	射线照相法	320
13.2.8	腐蚀电位监测法	321
13.2.9	线性极化法	322
13.2.10	交流阻抗法	322
13.2.11	电化学噪声法	323
13.2.12	电偶电流法	324
13.2.13	电阻探针法	324
13.2.14	电感探针法	326
13.2.15	腐蚀监测方法的合理选用	326
13.2.16	腐蚀监测点的选择	326
13.3	特殊环境下的智能腐蚀监测仪器应用	327
13.3.1	微生物腐蚀监测	327
13.3.2	混凝土腐蚀监测	328
13.3.3	土壤腐蚀监测	329
13.3.4	大气腐蚀监测	330
13.3.5	阴极保护监测	331
13.3.6	防腐涂层下腐蚀监测	331
13.4	腐蚀监测技术发展趋势	332
13.4.1	智能传感器管理 (ISM)	332
13.4.2	智能仪器“私人订制”	333
13.4.3	腐蚀监测与互联网+	335
13.4.4	腐蚀监测技术面临的机遇与挑战并存	335
	参考文献	337

第 14 章 海洋工程材料和结构的安全评估与寿命预测

14.1	概述	338
14.2	海洋钢结构安全评估与寿命预测模型	340
14.2.1	基于风险的安全评估模型	340
14.2.2	基于腐蚀类型的寿命预测模型	341
14.2.3	基于管道腐蚀完整性的直接评估方法	345
14.2.4	基于含缺陷结构剩余强度评价的寿命预测	346
14.3	基于腐蚀的海洋平台结构安全评估	349
14.3.1	海洋平台结构的腐蚀失效类型	349
14.3.2	海洋平台结构的安全评估应用实例	350
14.4	海底管道结构的安全评估与寿命预测	352
14.4.1	基于剩余强度的海底管道安全评估	353
14.4.2	基于内腐蚀风险的海底管道安全评估	354
14.5	深水水下设施的安全评估	355
	参考文献	357