

工程防腐蚀指南

——设计·材料·方法·监理检测

初世宪 王洪仁 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

工程防腐蚀指南——设计·材料·方法·监理检测 / 初世宪, 王洪仁编著. —北京: 化学工业出版社, 2005. 11
ISBN 7-5025-7926-5

I. 工… II. ①初…②王… III. 防腐-指南 IV. TB304-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 139685 号

工程防腐蚀指南
——设计·材料·方法·监理检测
初世宪 王洪仁 编著
责任编辑: 段志兵
责任校对: 顾淑云 周梦华
封面设计: 尹琳琳

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市海波装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 26¼ 字数 634 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7926-5

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序 言

腐蚀是一种自发进行的冶金过程的逆过程，一种悄悄进行的灾害性破坏。它是由于材料（金属）和环境相互作用而发生的自然现象，二者缺一不可。腐蚀损失包括直接损失和间接损失两大类，世界各国每年因腐蚀造成的直接经济损失约占其国民生产总值的 $2\%\sim 4\%$ ，美国最近一次全国性腐蚀调查结果表明，1998年因腐蚀带来的直接经济损失达2757亿美元，占国民生产总值的 3.14% ，这是一个非常惊人的数字。如能应用近代腐蚀科学技术知识和防腐蚀技术，腐蚀的经济损失可以降低 $25\%\sim 30\%$ 。

我国因腐蚀造成的损失比例较高，除与人们对腐蚀的严重性与危害性缺乏足够的认识外，从事设计、制造、施工和管理的工程技术人员缺乏腐蚀和防护知识也是直接影响防腐蚀技术推广应用的重要原因。特别是近年来由于大规模经济建设，防腐蚀正在形成一种新兴的产业，而合格的工程师和高级管理人员却相对短缺，防腐蚀工程队伍素质的提高是个很大的问题。尽管关于腐蚀与防护方面的专著和相关技术手册逐渐增多，但是作为实际工程应用方面的指导性书籍尚不多见。初世宪先生为主撰写的这本书将是目前大量的防腐蚀工程施工提供实用而可靠的参考和指导。

初世宪先生是与我共事多年的老朋友，是原北京航空学院培养的第一批腐蚀与防护专业大学生，至今从事腐蚀与防护研究四十多年了。他对科研工作一丝不苟，提倡知其然而又知其所以然，并且特别注重理论联系实际，经常参与具体的防腐蚀工程设计施工。据我所知，他毕业后先是在工厂和设计院从事表面处理保护与设计工作，这期间他工作在生产第一线，虚心向工人老师傅学习，掌握了大量的第一手实验数据和资料。后来他调到中国船舶重工集团公司第七二五研究所，从事海洋环境中金属腐蚀与防护研究工作，在阴极保护和金属覆盖层等研究领域取得了丰硕成果，并积累了丰富的工程应用实践经验。本书即是他多年进行防腐蚀工程实践的经验总结，也是他广泛涉猎腐蚀与防护专业知识的学习心得。

本书主要是在初教授退休以后完成的，他这种老骥伏枥、辛勤耕耘的敬业精神令人钦佩，值得我们学习。本书的出版不仅为腐蚀与防护工程技术人员提供一本不可多得的实用参考书，也将为我国腐蚀与防护专业的发展作出贡献。在这里，我向他表示由衷的感谢和祝贺，并期望初先生保重身体，在腐蚀与防护的科研与实践取得更大的成绩。

中国工程院院士

山东省腐蚀与防护学会理事长

青岛市腐蚀与防护学会理事长

侯保荣

2005年10月

前 言

材料的腐蚀与防护是一门新兴的边缘科学。随着科学技术的发展，它越来越深入到各个技术领域。材料腐蚀给人们带来的危害很大，越来越引起世界各国政府和工程技术人员的重视。作为腐蚀与防护专业中一名老科技人员，有责任有义务尽我所知为该专业宣传张目乃至添砖加瓦，这是我不畏自身知识深浅，驱使我大胆撰写本书的第一个目的。

对于工程材料的腐蚀破坏，通常人们采取的最简单方法是更换。随着腐蚀机理的探明和防腐蚀实践经验的总结，各种防腐蚀手段发展起来了。随着各部门的需求和各个技术领域的发展以及机理的探讨与防护手段的实践相互促进，越来越多的防腐蚀方法也相应出现了。在众多的防腐蚀方法中，如何恰当合理地选用往往让使用者犹豫不决，尤其是让设计师感到茫然。这是腐蚀与防护科学发展过程中的必然，是好现象也是新问题。有许多好的防腐蚀方法，由于人们不认识而得不到广泛使用。有些防腐蚀方法尽管效果显著，但是由于工艺复杂，或者费用较高而得不到推广应用。如何经济合理地选用好的防腐蚀方法？各种防腐蚀方法的优缺点是什么，如何去改进和使用？把我的认识和看法，以及我所见到的好的观点，通过本书介绍给读者，希望对设计者或科技、工程技术人员能有所裨益。这是我撰写本书的又一目的。

解决工程材料腐蚀问题，安全是第一位的，其次是使用寿命，归根到底是经济效益问题。如何在使用寿命期内，保证材料腐蚀安全，并能使工程材料物尽其用，从而达到工程材料造价与费用最经济，这是腐蚀与防护专业追求的目的。因此腐蚀防护技术与经济计量学发生密切关系，新的边缘科学——腐蚀与防护技术经济学——在不久的将来，必定会产生和发展。随着腐蚀与防护专业的深入发展和完善，涉及学科越来越广泛，不仅非专业人员，即便专业人员也很难全面掌握。尤其各种各样的防腐蚀方法，如果不全面了解，就不能恰当地运用。如何经济合理地选好防腐蚀方案，这是腐蚀与防护技术经济学所要解决的主要课题之一。笔者于 20 世纪 80~90 年代，注意并收集了这方面的一些文献资料，归纳总结，从腐蚀与防护技术经济学角度介绍出来，希望它能为腐蚀与防护技术经济学的发展抛砖引玉。

笔者在腐蚀与防护领域从事设计、研究与应用工作几十年，目睹了我国 20 世纪后半期腐蚀与防护专业的发展。人们对腐蚀，由不了解到初步了解；对防腐蚀方法的使用，由初步认识到高一级认识；由只知涂一下漆或坏了更换，到知道选好的油漆或主动寻找好的防腐蚀手段。以牺牲阳极阴极保护技术在造船业中的推广应用为例，在 20 世纪 60 年代，科研人员建议钢制船舶水下外壳采用牺牲阳极阴极保护技术，船主认为多此一举，说船钢板腐蚀生锈，涂涂漆了事，坏了更换即可，不必花钱装阳极……，等等。以后经科研人员讲课、宣传，又看到国外船舶都有牺牲阳极安装，就试装一个船坞期，三年后进坞，试用结果水下钢板无腐蚀，缩短了坞修期，减少了维修保养费，尝到了甜头，以后主动要求科研人员设计安装牺牲阳极阴极保护。到 20 世纪 90 年代，我国牺牲阳极阴极保护技术，不仅在船舶工业得

到普及应用，而且在土壤以及其他领域也得到推广和应用。因此腐蚀与防护技术随着时代的前进，被人们更深入地认识。在我接触的设计人员和工程技术人员中，有识之士多多，不时地提出腐蚀与防护技术方面这样或那样的问题，笔者深深感到，无论在设计中，还是在工程招标或施工中，一本腐蚀与防护技术方面的提纲挈领、简明扼要、拈来即用的书籍，他们是很需要的。这是我不遗余力，完成本书的直接动力。

本书主要有四部分内容：防腐蚀设计原则；材料腐蚀数据；常见防腐蚀方法简介；防腐蚀监理与检测。

第一篇为防腐蚀设计原则：第1章概述，主要介绍防腐蚀设计的目的意义、步骤、方法和要求；第2章讨论合理选材；第3章讨论如何通过经济评估公式选取最佳防腐蚀方案；第4章是结构与建造过程中的防腐蚀原则和设计例图。

第二篇为了选材方便，收集列出了常用材料的力学性能范围及其在不同环境下的腐蚀数据（第5章～第7章）。

第三篇为常见防腐蚀方法，其中包括：第8章，有机覆盖层；第9章，无机覆盖层；第10章，衬里包缚层；第11章，金属覆盖层；第12章，表面薄膜技术；第13章，缓蚀和防锈技术；第14章，电化学保护。

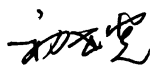
第四篇为监理与检测，是关于覆盖层、缓蚀技术及电化学保护工程的监理检测技术（第15章～第18章）。

标准规范是工程施工中的重要依据，故在本书最后，以附录形式（附录Ⅰ、附录Ⅱ），搜集列出了腐蚀与防护方面的国内外标准规范名称和序号，以方便读者查找使用。

本书前3篇及第四篇的第18章由初世宪编写；第15章～第17章由王洪仁编写，初世宪审稿。

由于所引用的文献数据历史跨度较大，再一方面作者知识水平有限，书中观点与文字和数据不妥也在所难免，衷心希望读者不吝指正。在此同时，对于书中所引用的文献、数据作者，以及对本书稿给予指正校阅的侯保荣院士、张经磊、洪乃丰和曹庆国教授、李言涛博士等，也表示衷心谢意，特别是孙虎元博士对第四篇的编写给予了很大的协助，在此特表谢意。

无论什么知识，学来是为了应用的。希望本书能对总工程师和设计人员，工程施工与监理人员在实际工作中有所帮助。但愿能作为腐蚀与防护专业的大专院校师生学习、实习中有用的参考，也希望能对腐蚀与防护感兴趣的人们作为一本有意义的读物。



2005年6月

目 录

第一篇 工程防腐设计原则	1
第 1 章 工程防腐设计概述	2
1.1 工程防腐设计的目的和意义	2
1.1.1 什么是工程防腐设计	2
1.1.2 工程防腐设计的科学基础	2
1.1.3 腐蚀与防护技术规范、标准是推动工程防腐设计工作的有力依据	3
1.1.4 材料腐蚀破坏给国民经济造成的经济损失	3
1.1.5 工程防腐设计对国民经济的意义	4
1.2 工程防腐设计的内容、方法和步骤	5
1.2.1 工程防腐设计的主要内容	5
1.2.2 工程防腐设计的方法和步骤	6
1.2.2.1 一般工程项目的设计建造步骤	6
1.2.2.2 工程防腐设计一般步骤	6
第 2 章 合理选材	8
2.1 选材的基本原则	8
2.2 选材的基本步骤	9
2.2.1 掌握工程结构的使用工况条件	9
2.2.2 根据物理和力学性能初步确定选用材料范围	10
2.2.3 收集欲用材料腐蚀数据和应用实例	10
2.2.4 欲用材料的腐蚀试验和验证试验	10
2.2.5 欲用材料的市场供货调查	10
2.2.6 欲用材料的建造工艺调查	10
2.2.7 欲用材料的使用寿命与选材分析	10
2.2.8 综合经济比较分析	10
2.3 常见材料适用工况范围举例	11
第 3 章 防腐方案的确定	13
3.1 选择防腐方案的步骤	13
3.1.1 建造之初防腐方案选择步骤	13
3.1.2 构件运行后的防腐方案选择步骤	14
3.2 防腐方法分类和应用	14
3.2.1 防腐方法分类	14
3.2.2 防腐方法的选择应用	15

3.2.2.1	防腐蚀方法使用概况	15
3.2.2.2	防腐蚀方法选用参考	15
3.2.2.3	防腐蚀方法的造价规律	15
3.3	选择防腐蚀方案的技术经济计量学分析	17
3.3.1	技术经济计量学分析步骤	17
3.3.2	尤立格 (Uhlig) 公式计算比较法	17
3.3.3	等效年度费用计算比较法	18
3.3.4	杰伦 (Jelen) 公式计算比较法	21
第4章	结构与建造工艺中的防腐蚀原则	22
4.1	结构设计中的防腐蚀原则	22
4.1.1	结构设计防腐蚀通则	22
4.1.2	结构正确设计例图	23
4.2	建造工艺中的防腐蚀原则	35
4.2.1	建造工艺中的防腐蚀通则	35
4.2.2	成型加工中引起的应力腐蚀与防止	36
4.2.3	焊接工艺中引起的腐蚀与防止	36
4.2.4	铸造工艺对腐蚀的影响与防止	36
4.2.5	工艺流程中的防腐蚀原则	37
第二篇	常用材料力学性能和腐蚀数据	38
第5章	常用材料的力学性能	39
5.1	常用钢铁材料的力学性能	39
5.1.1	碳素结构钢的力学性能	39
5.1.1.1	碳钢的分类	39
5.1.1.2	普通碳素钢的力学性能	39
5.1.1.3	优质碳素钢的力学性能	40
5.1.1.4	普通低合金钢的力学性能	40
5.1.2	合金钢的力学性能	41
5.1.2.1	合金钢的分类	41
5.1.2.2	中、低合金钢的力学性能	42
5.1.2.3	不锈钢的力学性能	42
5.1.2.4	耐热合金钢的力学性能	43
5.1.3	常用铸铁材料的力学性能	44
5.1.3.1	铸铁的分类	44
5.1.3.2	常用铸铁的力学性能	44
5.1.3.3	各种铸铁的特点和应用举例	46
5.2	常用有色金属材料的力学性能	47
5.2.1	重有色金属材料的力学性能	47
5.2.1.1	镍基材料的力学性能	47
5.2.1.2	铜基材料的力学性能	47
5.2.1.3	其他重有色金属材料的力学性能	47

5.2.2	轻有色金属材料的力学性能	49
5.2.2.1	铝合金材料的力学性能	49
5.2.2.2	镁基材料的力学性能	49
5.2.2.3	钛基材料的力学性能	50
5.3	常用非金属材料的力学性能	51
5.3.1	橡胶	51
5.3.2	木材	52
5.3.3	塑料	52
5.3.4	石墨、玻璃、陶瓷	53
5.3.5	水泥	53
5.4	复合材料及其力学性能	54
5.4.1	复合材料的分类	54
5.4.2	某些复合材料的力学性能	55
5.4.2.1	某些金属基复合材料的力学性能	55
5.4.2.2	某些陶瓷基复合材料的力学性能	56
5.4.2.3	某些水泥基复合材料的力学性能	56
5.4.2.4	聚合物复合材料的力学性能	57
5.4.2.5	混杂复合材料	59
第6章	金属材料在不同环境条件下的腐蚀数据与选用	61
6.1	大气腐蚀	61
6.1.1	大气腐蚀含义和大气环境分类	61
6.1.2	某些金属的大气腐蚀速率	61
6.1.3	碳钢在大气中的腐蚀速率计算经验公式	62
6.2	淡水腐蚀	63
6.2.1	影响金属在淡水中的腐蚀因素	63
6.2.1.1	化学因素	63
6.2.1.2	物理因素	64
6.2.2	某些金属在淡水中的腐蚀	64
6.2.2.1	铜及其合金	64
6.2.2.2	铝及其合金	64
6.2.2.3	镁及其合金	64
6.2.2.4	钢铁	64
6.2.2.5	某些覆盖层金属在淡水中的腐蚀	65
6.3	海洋腐蚀	66
6.3.1	海洋腐蚀环境	66
6.3.2	影响海洋腐蚀的主要因素	67
6.3.3	钢铁在海洋中的腐蚀	67
6.3.4	有色金属及其合金在海洋中的腐蚀	67
6.4	土壤腐蚀	69
6.4.1	影响土壤腐蚀性的因素	69

6.4.2	衡量土壤腐蚀性能大小的综合指标	70
6.4.3	土壤腐蚀评价标准	70
6.4.4	某些金属在土壤中的腐蚀数据	71
6.5	特种环境下的金属材料腐蚀与选用	72
6.5.1	硫酸环境下的金属腐蚀与选用材料	72
6.5.2	硝酸环境下的金属腐蚀与选用材料	73
6.5.3	硝酸与硫酸混合环境下的金属腐蚀与选用材料	74
6.5.4	磷酸环境下金属的腐蚀与选用材料	75
6.5.5	盐酸、氢氟酸环境下的金属腐蚀与选用材料	75
6.5.6	硫化氢环境下的金属腐蚀与选用材料	77
6.5.7	醋酸环境下的金属腐蚀与选用材料	77
6.5.8	氨、碱环境下的金属腐蚀与选用材料	77
6.5.9	氧化性酸和还原性酸相混合条件下的金属腐蚀与选用材料	77
第7章	非金属材料的腐蚀破坏与选用	80
7.1	无机非金属材料的腐蚀破坏与选用	80
7.1.1	影响无机非金属材料耐腐蚀性的因素	80
7.1.2	判定无机非金属材料耐蚀性的指标	81
7.1.3	混凝土的腐蚀破坏与水泥的选用	82
7.1.3.1	溶解侵蚀	82
7.1.3.2	化学反应腐蚀	82
7.1.3.3	膨胀破坏	82
7.1.3.4	混凝土的土壤腐蚀	82
7.1.3.5	不同腐蚀环境下混凝土水泥的选用	83
7.1.4	某些陶瓷材料的耐酸碱腐蚀与应用举例	83
7.2	有机高分子材料的腐蚀破坏与应用举例	84
7.2.1	物理因素作用	85
7.2.2	化学因素作用	87
7.2.3	应力作用	87
7.2.4	生物与微生物的作用	88
7.2.5	自然气候作用	88
7.2.6	某些有机高分子材料的耐腐蚀性能与应用举例	89
第三篇	防腐蚀方法	90
第8章	有机覆盖层	91
8.1	有机覆盖层分类和性能概判	91
8.1.1	有机覆盖层分类	91
8.1.2	有机覆盖层性能的概判	91
8.1.3	有机覆盖层性能的三个主要指标	91
8.1.4	某些有机高聚物树脂的耐久性和价格比较	93
8.2	有机涂料覆盖层	93
8.2.1	涂料的组成、分类和命名	94

8.2.2	油脂基涂料	96
8.2.3	树脂基涂料	96
8.2.4	有机硅涂料	99
8.2.5	水性有机涂料	99
8.2.6	橡胶涂料	100
8.2.7	新型有机涂料	100
8.2.7.1	互穿网络树脂涂料	100
8.2.7.2	有机与无机复合胶乳涂料	103
8.2.7.3	高固体分涂料、无溶剂涂料和水下施工涂料	103
8.2.7.4	特种性能涂料	104
8.3	塑料覆盖层——粉末涂料	104
8.3.1	塑料覆盖层种类及特性	104
8.3.2	获取塑料覆盖层的方法	104
8.4	有机覆盖层的合理选用与施工要点	106
8.4.1	有机覆盖层合理选用要点	106
8.4.2	各行业不同环境条件下常用有机覆盖层配套实例	107
8.4.3	有机覆盖层施工要点	111
第9章	无机非金属覆盖层	112
9.1	无机非金属覆盖层的分类和性能要点	112
9.1.1	无机非金属覆盖层的分类	112
9.1.2	无机非金属覆盖层的性能要点	112
9.2	无机涂料覆盖层	113
9.2.1	无机涂料覆盖层种类与性能简介	113
9.2.1.1	硅酸盐涂料	113
9.2.1.2	硅胶涂料	113
9.2.1.3	磷酸盐涂料	114
9.2.1.4	无机与有机复合涂料	114
9.2.2	无机涂料覆盖层应用注意要点	114
9.3	无机陶瓷覆盖层	114
9.3.1	搪玻璃覆盖层	114
9.3.1.1	工艺简介	114
9.3.1.2	搪玻璃覆盖层种类和性能	115
9.3.1.3	搪玻璃覆盖层的修补	116
9.3.2	陶瓷与金属陶瓷覆盖层	116
9.3.2.1	陶瓷与金属陶瓷覆盖层的种类和应用	116
9.3.2.2	制备工艺简介	117
9.4	水泥混凝土与胶泥覆盖层	118
9.4.1	水泥混凝土覆盖层	118
9.4.1.1	水泥混凝土种类及特性	118
9.4.1.2	水泥混凝土覆盖层的使用与工艺要点	119

9.4.1.3 水泥混凝土覆盖层表面的封闭层 120

9.4.2 胶泥覆盖层 120

9.4.2.1 胶泥的种类及特性 120

9.4.2.2 常见胶泥覆盖层的配方和工艺 122

9.4.2.3 聚合物改性砂浆 122

第 10 章 衬里和包缚层 124

10.1 衬里..... 124

10.1.1 橡胶衬里..... 124

10.1.1.1 用于衬里橡胶种类及其特性..... 124

10.1.1.2 橡胶衬里覆层的选用原则..... 126

10.1.1.3 橡胶衬里层的施工和注意事项..... 127

10.1.1.4 衬胶层的修补方法举例..... 127

10.1.2 玻璃钢衬里覆层..... 127

10.1.2.1 玻璃钢材料的种类及其性能..... 128

10.1.2.2 玻璃钢衬里覆层的使用要点..... 129

10.1.2.3 糊制玻璃钢胶料的配方举例..... 129

10.1.3 塑料衬里覆层..... 129

10.1.3.1 衬里塑料品种与性能简介..... 129

10.1.3.2 塑料衬里层施工工艺与应用要点..... 130

10.1.4 无机砖板衬里覆层..... 131

10.1.4.1 无机砖板种类及其特性..... 131

10.1.4.2 无机砖板衬里层技术要点..... 131

10.1.5 衬金属覆层..... 132

10.1.5.1 衬铅层的性能与工艺方法..... 132

10.1.5.2 不锈钢衬里层..... 133

10.1.5.3 钛及其合金衬里层..... 134

10.2 包缚覆盖层..... 135

10.2.1 有机包缚层..... 136

10.2.2 有机与无机复合包缚层..... 136

10.2.3 金属包缚层..... 136

10.2.4 包缚层综合防护方法..... 136

第 11 章 金属覆盖层 138

11.1 概述..... 138

11.1.1 金属覆盖层分类及主要工艺方法..... 138

11.1.2 金属覆盖层的标识..... 138

11.1.3 某些常用覆盖层金属使用情况简介..... 140

11.2 热喷涂金属覆盖层..... 141

11.2.1 工艺简介..... 141

11.2.2 热喷涂锌-铝合金与纯锌、纯铝覆盖层 145

11.2.2.1 热喷涂锌-铝及其合金覆盖层的耐蚀性能..... 146

11.2.2.2	热喷涂锌、铝及其合金覆盖层的性能比较	146
11.2.2.3	热喷涂锌、铝及其合金覆盖层的工艺方法	151
11.2.3	热喷涂阴极性覆盖层	152
11.2.3.1	常用线材热喷涂阴极性覆盖层	152
11.2.3.2	常用粉末热喷涂阴极性覆盖层	152
11.2.4	热喷涂覆盖层的结构与防护机理	156
11.2.4.1	热喷涂覆盖层的结构	156
11.2.4.2	热喷涂覆盖层的防护机理	156
11.2.5	热喷涂金属覆盖层使用要点	159
11.3	电镀与化学镀金属覆盖层	160
11.3.1	电镀工艺简介	160
11.3.1.1	电镀工艺种类	161
11.3.1.2	一般电镀工艺过程	161
11.3.2	常用电镀金属覆盖层	162
11.3.2.1	电镀锌及其合金	162
11.3.2.2	电镀铜及其合金	162
11.3.2.3	电镀镍及其合金	163
11.3.2.4	电镀铬及其合金	164
11.3.2.5	电镀锡、铅、铁及其合金	164
11.3.2.6	电镀稀贵金属(银、金、铂、钯、铑、钽、钼)	165
11.3.3	常见弥散复合镀覆金属层	166
11.3.4	常见非晶态镀覆金属层	168
11.3.5	电刷镀	168
11.3.5.1	电刷镀的一般工艺过程	169
11.3.5.2	常见电刷镀金属层种类和应用	169
11.3.6	特殊基体表面的电镀工艺简介	169
11.3.6.1	非金属表面的电镀工艺	169
11.3.6.2	不锈钢表面的电镀工艺	169
11.3.6.3	铝、钛、锌-铝合金等有色金属表面的电镀工艺	171
11.3.6.4	特殊基体表面的镀覆金属层应用举例	171
11.3.7	常见化学镀覆金属层	171
11.3.7.1	化学镀镍	171
11.3.7.2	化学镀铜、银、金、钴、钯、锡及锡-铅合金	171
11.3.8	电镀金属覆盖层应用要点	173
11.4	热浸与热扩散金属覆盖层	173
11.4.1	热浸镀金属覆盖层	174
11.4.1.1	热浸镀金属覆盖层工艺简介	174
11.4.1.2	常见热浸金属覆盖层种类与应用	175
11.4.2	热扩散金属覆盖层	176
11.4.2.1	热扩散金属覆盖层工艺简介	176

11.4.2.2 常见热扩散金属覆盖层种类与应用	176
11.4.3 热浸与热扩散金属覆盖层的使用要点	176
第12章 表面转化、强化和薄膜技术	179
12.1 表面转化膜技术	179
12.1.1 表面转化膜技术种类	179
12.1.2 常见金属的化学氧化转化膜	180
12.1.2.1 钢铁化学氧化(发蓝)	180
12.1.2.2 铜与铜合金的化学氧化	180
12.1.2.3 铝及铝合金的化学氧化	180
12.1.2.4 镁与镁合金的化学氧化	182
12.1.3 常见金属的磷酸盐转化膜	182
12.1.3.1 钢铁磷化的典型工艺简介	183
12.1.3.2 钢铁磷化膜的使用要点	183
12.1.3.3 铝、镁及其合金的磷化	185
12.1.4 常见金属的铬酸盐转化膜	185
12.1.4.1 铬酸盐处理工艺流程	188
12.1.4.2 铬酸盐钝化膜的使用要点	188
12.1.5 常见金属的草酸盐转化膜	188
12.1.6 常见金属表面着色化学转化膜	189
12.1.6.1 常见金属表面着色颜色种类	189
12.1.6.2 铝及其合金表面着色	190
12.1.6.3 铜、镍、锌、银、锡、镉及其合金表面着色	193
12.1.6.4 不锈钢着色	195
12.1.7 常见金属的电化学氧化转化膜	195
12.1.7.1 铝及铝合金的阳极氧化	195
12.1.7.2 镁及镁合金的阳极氧化	199
12.1.7.3 其他金属的阳极氧化	200
12.2 表面改性强化技术	200
12.2.1 表面形变强化技术	200
12.2.1.1 喷(抛)丸形变强化	200
12.2.1.2 孔挤压强化	203
12.2.2 表面热流相变强化技术	204
12.2.2.1 高频感应加热相变强化	204
12.2.2.2 激光束表面热流相变强化	205
12.2.2.3 电子束表面热流改性强化技术	209
12.2.2.4 电火花热涂强化技术	210
12.2.2.5 其他表面加热强化技术	210
12.2.3 离子注入表面强化技术	210
12.2.4 复合表面改性强化	211
12.2.4.1 离子注入与其他表面技术的复合	212

12.2.4.2 激光表面改性技术与其他表面处理技术的复合	212
12.2.5 钢的表面化学热处理强化	213
12.3 表面薄膜技术	213
12.3.1 表面薄膜技术种类	213
12.3.2 物理气相沉积薄膜技术	214
12.3.2.1 真空蒸镀	214
12.3.2.2 溅射镀膜	214
12.3.2.3 离子镀膜	215
12.3.2.4 分子束外延层膜技术和离子化簇束沉积技术	216
12.3.3 化学气相沉积	217
12.3.3.1 化学气相沉积工艺方法	217
12.3.3.2 化学气相沉积 (CVD) 技术的使用要点	217
第 13 章 缓蚀与防锈封存技术	218
13.1 缓蚀技术	218
13.1.1 缓蚀剂及其分类	218
13.1.1.1 缓蚀剂定义	218
13.1.1.2 缓蚀剂的分类	218
13.1.1.3 工业应用缓蚀剂的技术要求	218
13.1.1.4 缓蚀剂的使用要点	219
13.1.2 常用缓蚀剂及其举例	219
13.1.2.1 常用水溶性缓蚀剂及其举例	219
13.1.2.2 常用油性缓蚀剂	221
13.1.2.3 常用气相缓蚀剂及其举例	222
13.1.2.4 市场缓蚀剂用药产品摘录	223
13.1.3 缓蚀技术可用助剂及其举例	225
13.1.3.1 清洗常用水溶性添加助剂及其举例	225
13.1.3.2 常用油性添加助剂及其举例	226
13.1.3.3 常用除氧、阻垢、螯合添加助剂及其举例	227
13.1.3.4 常用凝聚剂、絮凝剂及其举例	228
13.1.3.5 常用杀菌、灭藻添加助剂及其举例	229
13.1.4 缓蚀技术中可用的表面活性剂	231
13.1.4.1 表面活性剂的定义与分类	231
13.1.4.2 缓蚀技术中常用的表面活性剂药品摘录	231
13.2 缓蚀技术的应用	233
13.2.1 缓蚀技术在酸洗、除垢与清洗中的应用	233
13.2.1.1 缓蚀技术在酸洗中的应用	233
13.2.1.2 缓蚀技术在除垢与清洗中的应用	234
13.2.1.3 缓蚀技术在冷却水系统清洗中的应用举例	240
13.2.2 缓蚀技术在化工领域中的应用举例	240
13.2.3 缓蚀技术在金属机械加工领域中的应用	242

13.3	防锈封存技术	247
13.3.1	防锈水与工序间防锈	247
13.3.2	防锈油与油封封存	249
13.3.3	气相缓蚀剂的复配与使用	267
13.3.3.1	气相缓蚀剂的分类	267
13.3.3.2	气相缓蚀剂使用量的经验估算公式	267
13.3.3.3	气相缓蚀剂的使用要点	267
13.3.3.4	复配气相缓蚀剂举例	269
13.3.4	防锈可剥性塑料覆盖层封存技术	269
13.3.5	封存包装一般要求	270
13.3.6	缓蚀技术相关符号备考录	270
第14章	电化学保护与防污技术	274
14.1	阴极保护技术概论	275
14.1.1	阴极保护技术方法的定义、分类和特点	275
14.1.2	阴极保护技术中的相关参数	275
14.1.2.1	保护电位及有关数据	275
14.1.2.2	常用参考电极及其电位	276
14.1.2.3	保护电流密度及经验数据	279
14.1.2.4	阴极保护中的电力线分布	282
14.1.2.5	金属与介质的电阻率	283
14.1.3	阴极保护与其他保护涂层	285
14.1.3.1	有机绝缘涂层	285
14.1.3.2	金属涂层	285
14.1.3.3	关于析氢超电位	286
14.2	牺牲阳极法阴极保护	286
14.2.1	牺牲阳极材料和阳极的性能参数	286
14.2.1.1	阳极电位和驱动电压	286
14.2.1.2	阳极电容量和电流效率	287
14.2.1.3	阳极的腐蚀特性	287
14.2.1.4	阳极消耗率	287
14.2.1.5	阳极发生电流量和阳极利用系数	287
14.2.1.6	牺牲阳极的自动调节性能	287
14.2.2	工程常用牺牲阳极材料	287
14.2.3	关于牺牲阳极在介质中的界面电阻计算公式	288
14.2.3.1	海水中长条状阳极的界面电阻计算公式	288
14.2.3.2	海水中板状阳极的界面电阻计算公式	289
14.2.3.3	海水中手镯形阳极的界面电阻计算公式	289
14.2.3.4	土壤中垂直埋设棒状阳极的界面电阻计算公式	289
14.2.3.5	土壤中水平埋设单支棒状阳极的界面电阻计算公式	290
14.2.4	阳极发生电流量的确定方法	290

14.2.5	土壤中埋设牺牲阳极时的填包料配方	292
14.2.6	钢质海船外壳表面牺牲阳极法阴极保护设计举例	292
14.2.7	海边电厂海水冷凝器室牺牲阳极法阴极保护设计与安装举例	294
14.2.8	城市煤气管线外壁牺牲阳极法阴极保护设计与安装举例	295
14.3	外加电流法阴极保护	299
14.3.1	电源设备	299
14.3.2	辅助阳极及其屏蔽涂层和阳极床填包料	300
14.3.2.1	辅助阳极	300
14.3.2.2	阳极屏蔽覆盖层	300
14.3.2.3	阳极床填包料	302
14.3.3	参比电极	302
14.3.4	外加电流阴极保护设计举例	302
14.3.4.1	海滨电厂循环水泵的外加电流阴极保护设计	302
14.3.4.2	在土壤中管道外加电流阴极保护设计	303
14.4	阳极保护	306
14.4.1	概述	306
14.4.2	阳极保护适用范围及优缺点	307
14.4.3	阳极保护的基本参数	307
14.4.3.1	致钝电流密度	307
14.4.3.2	维钝电流密度	308
14.4.3.3	稳定钝化区电位范围	308
14.4.3.4	最佳保护电位	308
14.4.3.5	自活化时间	308
14.4.3.6	分散能力	309
14.4.4	阳极保护系统各部分要求简介	311
14.4.4.1	对被保护阳极体的要求	311
14.4.4.2	对辅助阴极的要求	312
14.4.4.3	对参比电极的要求	312
14.4.4.4	对直流电源的要求	313
14.4.5	阳极保护中的致钝和维钝方法	313
14.4.6	阳极保护设计步骤	314
14.4.7	阳极保护实例	315
14.5	海水电解防污技术	316
14.5.1	海水电解防污方法种类	316
14.5.2	海水电解防污方法原理简介	317
14.5.2.1	电解海水制氯防污的原理	317
14.5.2.2	海水中电解铜铝离子防污原理	317
14.5.2.3	海水中电解制氯与铜铝离子综合防污原理	317
14.5.3	海水电解防污技术的设备设施与应用	317
14.5.3.1	直流电源设备	317

14.5.3.2	阳极规格型号	317
14.5.3.3	制氯电解槽规格型号	317
14.5.3.4	电解防污技术的应用举例	319

第四篇 监理与检测 320

第15章 非金属覆盖层及衬里层的监理检测 322

15.1	非金属材料覆盖层监理检测通则	322
15.2	有机高分子材料覆盖层的监理检测要点	322
15.2.1	涂料覆盖层的监理检测	322
15.2.2	涂料覆盖层主要检测方法简介	325
15.2.3	塑料覆盖层的监理检测	327
15.3	衬里层的监测要点	328
15.3.1	金属衬里层	328
15.3.1.1	铅衬里的检验	328
15.3.1.2	不锈钢衬里的检验	328
15.3.1.3	钛衬里的检验	329
15.3.2	非金属衬里层	331
15.3.2.1	橡胶衬里的检验	331
15.3.2.2	玻璃钢衬里的检验	331
15.3.2.3	塑料衬里的检验	332
15.3.2.4	板砖衬里的检验	333

第16章 金属覆盖层的监理检测 335

16.1	金属覆盖层监理检测通则	335
16.2	热喷涂金属覆盖层的监理检测	335
16.2.1	热喷涂金属覆盖层监理检测要点	335
16.2.2	热喷涂金属覆盖层性能检测项目及方法	336
16.2.3	热喷涂金属覆盖层几种主要检测方法简介	336
16.3	电镀金属覆盖层、表面转化膜的监理检测	340
16.3.1	电镀金属覆盖层的监理检测要点	340
16.3.2	电镀层的性能检测项目与方法	340
16.3.3	表面转化膜的监理检测要点	341
16.3.4	金属的表面转化膜的性能检测项目与试验方法	341
16.3.5	电镀与转化膜层几种检测方法简介	342

第17章 缓蚀技术与防锈包装的监控检测 345

17.1	缓蚀技术的监控检测	345
17.1.1	缓蚀剂的检测要点及注意事项	345
17.1.2	缓蚀剂的检测方法	346
17.2	防锈包装的监理检测	347
17.2.1	防锈包装的检测要点	347
17.2.2	防锈包装技术的检测方法	348

第18章 电化学保护技术的监理检测技术 354