



智能涂料

——原理·技术·防腐蚀应用

阿图尔·蒂瓦里 (Atul Tiwari) 主编
(美) 詹姆斯·罗林斯 (James Rawlins)
劳埃德·H. 希哈拉 (Lloyd H. Hihara)

万晔 王秀梅 译

Intelligent Coatings
for
Corrosion Control



化学工业出版社

智能涂料

——原理·技术·防腐蚀应用

阿图尔·蒂瓦里 (Atul Tiwari)
(美) 詹姆斯·罗林斯 (James Rawlins) 主编
劳埃德·H. 希哈拉 (Lloyd H. Hihara)

万晔 王秀梅 译

Intelligent Coatings
for
Corrosion Control



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从涂料的腐蚀和防护方面进行了基础性的介绍,深入讨论了目前使用和发展中的各种类型的智能涂料,概述了它们的合成和表征方法,及其在各种腐蚀环境中的应用,包括许多智能涂料的当前和潜在应用于各种腐蚀问题的实例。另外,本书还介绍了智能涂料目前的研究进展和趋势,以及所面临的挑战。

本书适合腐蚀工程科技工作者及高等学校相关专业师生阅读参考。

Intelligent Coatings for Corrosion Control

Atul Tiwari, James Rawlins, Lloyd H. Hihara

ISBN: 978-0-12-411467-8

Copyright © 2015 Elsevier Inc. All rights reserved.

Authorized Chinese translation published by Chemical Industry Press Co., Ltd.

《智能涂料——原理·技术·防腐蚀应用》(万晔,王秀梅译) ISBN: 9787122342485

Copyright © Elsevier Inc. and Chemical Industry Press Co., Ltd.. All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from Elsevier (Singapore) Pte Ltd. Details on how to seek permission, further information about the Elsevier's permissions policies and arrangements with organizations such as the Copyright Clearance Center and the Copyright Licensing Agency, can be found at our website: www.elsevier.com/permissions.

This book and the individual contributions contained in it are protected under copyright by Elsevier Inc. and Chemical Industry Press Co., Ltd. (other than as may be noted herein).

This edition of Intelligent Coatings for Corrosion Control is published by Chemical Industry Press Co., Ltd. under arrangement with ELSEVIER INC..

This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong, Macau and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本版由 ELSEVIER INC. 授权化学工业出版社在中国大陆地区(不包括香港、澳门和台湾地区)出版发行。本版仅限在中国大陆地区(不包括香港、澳门和台湾地区)出版及标价销售。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受民事迹刑事法律之制裁。本书封底贴有 Elsevier 防伪标签,无标签者不得销售。

注意

本书涉及领域的知识和实践标准在不断变化。新的研究和经验拓展我们的理解,因此须对研究方法、专业实践或医疗方法作出调整。从业者和研究人员必须始终依靠自身经验和知识来评估和使用本书中提到的所有信息、方法、化合物或本书中描述的实验。在使用这些信息或方法时,他们应注意自身和他人的安全,包括注意他们负有专业责任的当事人的安全。在法律允许的最大范围内,爱思唯尔、译文的原文作者、原文编辑及原文内容提供者均不对因产品责任、疏忽或其他人身或财产伤害及/或损失承担责任,亦不对由于使用或操作文中提到的方法、产品、说明或思想而导致的人身或财产伤害及/或损失承担责任。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2016-5982

图书在版编目(CIP)数据

智能涂料:原理·技术·防腐蚀应用/(美)阿图尔·蒂瓦里
(Atul Tiwari), (美)詹姆斯·罗林斯(James Rawlins), (美)
劳埃德·H. 希哈拉(Lloyd H. Hihara)主编;万晔,王秀梅译。
—北京:化学工业出版社,2019.8

书名原文: Intelligent Coatings for Corrosion Control
ISBN 978-7-122-34248-5

I. ①智… II. ①阿…②詹…③劳…④万…⑤王… III. ①涂料
IV. ①TQ63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 064879 号

责任编辑:韩亚南 段志兵
责任校对:宋 玮

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:北京京华铭诚工贸有限公司

装订:三河市振勇印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张28 字数736千字 2020年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888

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:198.00 元

版权所有 违者必究

译者前言

本译著的原著由爱思唯尔集团出版,是世界名校著名专家、学者科研成果的凝练和精华,该著作全面系统地介绍了智能涂层的最新进展和发展前景,并对每类智能涂层所使用的原材料配比、制备方法、防腐蚀原理到防腐蚀工程应用等进行了阐述,具有较强的先进性和前瞻性。

金属材料及其构件在自然环境中使用时,经常遭受严重腐蚀,不仅造成巨大的经济损失,还会引发重大人身安全事故。使用防腐蚀涂层是防止金属腐蚀降低经济损失的有效方法之一。随着工业的不断发展,对防腐蚀涂层提出了更高的要求,具有环境友好性、自洁性、自愈性、腐蚀直观显示性、耐久性等特点的智能涂层脱颖而出。智能涂层正逐步淘汰、取代传统涂层,新型智能涂层的研究开发成为防止金属腐蚀的研究热点之一。本译著的出版适逢其时,既可以作为不同科学和工程背景学生的教学参考书,也可以为我国腐蚀与防护工程领域的科学研究开发新涂层提供理论支持,还可以作为工业界人士的技术指南,并将极大程度降低中国工业腐蚀所造成的经济损失。

我们在翻译本著作的过程中,深刻体会到翻译工作的不易,感受到翻译确实是一件特别艰辛的工作!在平时浏览英文文献时,我们只需要大致理解其意思就可以,但是在翻译过程中,必须完全理解原著的每句话、每个词的精确含义。有时为了理解原著中一个参考文献、一幅图片、一个表格、一句话甚至一个标点符号的确切含义,需要查找、阅读、学习原著所引用的大量原始文献。另外原著为了全面反映智能涂层的最新研究进展和应用成果,由美国、印度、比利时、匈牙利、意大利、德国、新加坡、罗马尼亚、西班牙等国家的一些专家学者每人撰写一到两章,里面各章不仅内容风格迥异,英文写作质量也是参差不齐,而且专业性的缩写、简称、符号更是各不相同,这些在翻译过程中给我们造成很大困扰,好在最终一一得以妥善解决。在本译著的翻译过程中,为了防止给读者造成同样的困扰,我们尽量减少译者人数,只由腐蚀与防护领域的万晔和王秀梅两位高校教授翻译完成。万晔负责翻译前言及第1~10章,王秀梅负责翻译第11~20章。全书由万晔、王秀梅一起统稿完成。原著的内容与我们的研究方向具有很强的相关性,我们完全利用业余时间完成这部译著。

因为原著是专业性极强的技术类著作,为了让更多人容易理解,在完成初稿后,我们又进行第二稿、第三稿、第四稿的完善,对语言进行重新组织和润色,然后再与原著核对,最后对全文进行校对。有时为了保持思路的连续性,时常通宵达旦进行翻译工作,有时为了想出一句恰当的语言描述方法,经常夜不能寐。尽管困难重重,我们仍然深深沉迷于原著所报道的智能涂层技术及其发展前景之中,终于

顺利完成这部著作的翻译工作，让我国更多的科技工作者了解和学习先进的智能涂层！由于译者水平有限，加之时间仓促，不妥之处在所难免，敬请读者批评指正！

最后，我们要感谢化学工业出版社对本译著翻译和出版的支持！感谢家人、同事、朋友的鼓励和帮助！

译者



原著前言

现如今，我们使用的绝大多数金属材料都是从热力学稳定的矿物中提取出来的。然而当这些金属材料暴露在自然环境中时，又容易通过腐蚀形式回复到其自然稳定化合物的状态，造成很大破坏。因此，很久以来，人们一直十分关注腐蚀带来的有害影响。如今，金属腐蚀给人们生产和生活造成了巨大的经济损失。研究报告指出在许多工业化国家，由于腐蚀造成的经济损失占国内生产总值的 3% ~ 4%。仅以美国为例，由于腐蚀每年大约损失五万亿美元。防止这些损失的一个有效方法就是使用涂层。古代，人们使用蛋清、树胶和沥青作为涂层。现在工程师们可以利用高分子技术和纳米技术将功能性和美学融入涂层设计之中。在现代社会，几乎所有的人造物品都采用保护性或装饰性涂层。世界涂层工业每年生产大约一万亿美元的涂层。由于对涂层性能的要求日益增加，如环境友好性、自洁性、自愈性、腐蚀显示性、耐久性等，以前的传统涂层慢慢被淘汰，人们更注重研发新型的智能涂层。

本书由先进涂层技术领域的专家所写的论文汇编而成。第 1 章描述了涂层对金属保护的电化学基本原理。第 2 章讨论了腐蚀的重要性及其对经济的影响，同时考虑到很多当代涂层以及使用智能涂层的重要性。第 3 章论述了金属及其合金的有机和无机预处理方法，包括使用铬酸盐和磷酸盐转化涂层、镧系元素转化涂层。第 4 章介绍了有机金属化合物合成的经济性工艺流程、在化学气相沉积法过程中使用有机金属前驱体制备防护性涂层以及涂层使用过程中的增长机制。第 5 章说明了在自愈性涂层中铈离子的作用。第 6 章讨论了采用多吡咯和纳米粒子的杂化富锌涂层腐蚀防护体系。第 7 章讨论了添加具有发光特性的铈和镧元素的新型发光搪瓷涂层。第 8 章讨论的是含有缓蚀剂纳米或微米容器的受损涂层的自愈。从工艺的角度来看，第 9 章提供了将涂层从实验室过渡到中试生产中不易被发现的临界关键参数信息。第 10 章论述了一种新型的智能准陶瓷有机硅转化膜，并且讨论了各种涂层分析技术的结果，比较了准陶瓷涂层与其他商业涂层的耐腐蚀性能。第 11 章探讨了使用导电聚合物作为超疏水涂层。第 12 章介绍了使用封装缓蚀剂的各种缓蚀机理。第 13 章讨论了热致变色二氧化钒在智能涂层发展中的应用。第 14 章介绍了含有有机硅烷和二异氰酸酯的单组分涂层中缓蚀剂的微胶囊化。而在第 15 章中讨论了使用锡酸盐自修复涂层对镁合金进行保护。第 16 章介绍了使用导电电活性聚合物进行防腐蚀。第 17 章讨论了通过使用包括钝化膜的一系列保护涂层来控制钛合金生物医学植入物的腐蚀。第 18 章详细介绍了光纤传感器在腐蚀监测中的应用。第 19 章指出了用纳米黏土配制的水性树脂智能涂层在保护文化遗产领域的重要性。最后，第 20 章介绍了拉曼光谱和红外光谱技术的重要性和适用性。

我们希望本书能为不同学科和工程背景的学生提供有用的信息。本书不仅可以作为研究生学习的参考书，也可以作为工业界人士的技术指南。本书编辑们也要感谢

技术腐蚀协作组织（TCC）的组织者，特别是 Richard Hays 副主任，以及负责采购、科研和后勤的腐蚀政策和监督办公室，给了我们在腐蚀这个既有科学性又有工程性的重要领域进行合作的机会。我们希望这本书能为涂层的创新发展起到抛砖引玉的作用。

Atul Tiwari 博士

James W. Rawlins 博士

Lloyd H. Hihara 博士

美国

第 1 章 腐蚀控制涂层的电化学观点

/ 001

- 1.1 简介 / 001
- 1.2 腐蚀 / 001
 - 1.2.1 腐蚀热力学 / 001
 - 1.2.2 动力学 / 002
- 1.3 涂层 / 004
 - 1.3.1 屏蔽涂层 / 004
 - 1.3.2 防腐蚀涂层 / 006
 - 1.3.3 阴极保护涂层 / 006
 - 1.3.4 涂层体系 / 008
- 1.4 结论 / 009
- 参考文献 / 009

第 2 章 腐蚀的重要性及使用智能防腐蚀涂层的必要性

/ 010

- 2.1 简介 / 010
- 2.2 低温智能涂层 / 011
- 2.3 自愈合涂层的封装 / 012
- 2.4 阴极保护 / 017
 - 2.4.1 牺牲阳极 / 017
 - 2.4.2 ICCP 系统 / 017
- 2.5 高温智能涂层 / 018
- 2.6 热腐蚀 / 019
 - 2.6.1 热腐蚀类型 / 020
 - 2.6.2 热腐蚀机理 / 020
 - 2.6.3 高温合金热腐蚀 / 021
 - 2.6.4 DMS-4 的氧化特征 / 023
- 2.7 表面涂层技术 / 024
 - 2.7.1 扩散涂层 / 024
 - 2.7.2 包覆涂层 / 024
 - 2.7.3 表面工程技术 / 025

- 2.8 主要微量元素的影响 / 027
- 2.9 智能涂层的概念 / 027
 - 2.9.1 准备和选择合适的表面工程技术 / 028
 - 2.9.2 智能涂层评估技术 / 029
 - 2.9.3 已开发的智能涂层的性能 / 030
- 2.10 结论和展望 / 032
- 参考文献 / 032

第3章 抑制金属/合金腐蚀的智能无机和有机预处理涂层 / 035

- 3.1 简介 / 035
 - 3.1.1 腐蚀的定义 / 035
 - 3.1.2 金属腐蚀/预防的成本 / 036
 - 3.1.3 国民经济的腐蚀成本 / 037
- 3.2 设计防腐蚀智能涂层 / 037
- 3.3 预处理涂层 / 038
 - 3.3.1 选择合适的金属合金 / 038
 - 3.3.2 表面改性 / 038
- 3.4 无机非金属预处理涂层 / 039
 - 3.4.1 铬酸盐转化涂层 / 039
 - 3.4.2 磷酸盐转化涂层 / 040
 - 3.4.3 钨基转化涂层 / 040
 - 3.4.4 混杂型转化涂层 / 041
- 3.5 有机预处理涂层 / 042
 - 3.5.1 混合溶胶-凝胶涂层 / 042
 - 3.5.2 导电聚合物涂层 / 043
 - 3.5.3 自组装预处理涂层 / 044
 - 3.5.4 聚电解质多层膜 / 045
 - 3.5.5 负载缓蚀剂的纳米容器控释涂层 / 046
 - 3.5.6 生物膜作为预处理涂层 / 046
- 3.6 结论 / 046
- 致谢 / 046
- 参考文献 / 046

第4章 源于金属有机前驱体的低温涂料： 一种经济环保的优良方法 / 057

- 4.1 简介 / 057

- 4.2 化学气相沉积: MOCVD 新技术 / 058
 - 4.2.1 激光诱导化学气相沉积 / 059
 - 4.2.2 紫外诱导化学气相沉积 / 060
 - 4.2.3 等离子增强化学气相沉积 (PECVD) / 060
 - 4.2.4 电子束化学气相沉积 / 061
 - 4.2.5 流化床化学气相沉积 / 061
 - 4.2.6 原子层沉积 (ALD) / 061
 - 4.2.7 聚焦离子辅助化学气相沉积 (IACVD) / 062
- 4.3 有机金属前驱体: 经济性的大面积合成 / 063
 - 4.3.1 有机金属前驱体: 氧化物陶瓷 / 063
 - 4.3.2 有机金属前驱体: 非氧化物陶瓷 / 067
- 4.4 液体输送体系: 溶剂的作用 / 074
- 4.5 有机金属前驱体化学 / 074
- 4.6 成核和生长机制 / 075
- 4.7 涂层破坏机制 / 075
- 4.8 结论和展望 / 077
- 参考文献 / 078

第 5 章 钢表面铈掺杂硅烷杂化自愈涂料的合成与表征 / 083

- 5.1 简介 / 083
- 5.2 实验过程 / 084
 - 5.2.1 样品制备 / 084
 - 5.2.2 分析方法 / 085
- 5.3 结果与讨论 / 085
 - 5.3.1 铈离子和双酚 A 对 304L 不锈钢基体上 SHC 显微组织和防腐性能的影响 / 085
 - 5.3.2 用于 304L 不锈钢且经硝酸铈和氧化铈纳米粒子改性的 SHC 涂层自愈性的电化学评估 / 093
 - 5.3.3 铈浓度对 HDG 基体上铈掺杂 SHC 涂层的微观结构和防腐性能的影响 / 099
 - 5.3.4 铈盐活化纳米粒子填充硅烷涂层对 HDG 基体缓蚀作用的评估 / 106
- 5.4 结论和展望 / 115
- 致谢 / 116
- 参考文献 / 116

第 6 章 杂化富锌涂层: 纳米缓蚀剂和导电粒子掺杂的影响 / 118

- 6.1 简介 / 118

6.2	实验过程	/ 120
6.2.1	材料和制备方法	/ 120
6.2.2	研究方法	/ 121
6.3	结果	/ 124
6.3.1	纳米粒子的研究	/ 124
6.3.2	涂层和钢基材的研究	/ 130
6.4	讨论	/ 146
6.5	结论	/ 148
	致谢	/ 148
	参考文献	/ 148

第7章 新型发光搪瓷涂层

/ 154

7.1	简介	/ 154
7.2	搪瓷最重要的性能	/ 155
7.3	发光特性	/ 156
7.4	发光瓷釉涂层	/ 156
7.5	实验材料和过程	/ 157
7.6	结果和讨论	/ 159
7.6.1	涂层的形貌特征	/ 159
7.6.2	涂层的防护性能	/ 160
7.6.3	发光性能的趋势	/ 168
7.7	结论	/ 173
	参考文献	/ 173

第8章 破损触发的微纳米容器自修复防腐涂料

/ 175

8.1	简介	/ 175
8.1.1	成为全球经济问题的腐蚀现状	/ 175
8.1.2	防止腐蚀的方法	/ 175
8.2	保护性有机涂层的微米容器和纳米容器制备方法：自愈合涂层 vs 自防护涂层	/ 177
8.3	容器类型及其制备方法	/ 179
8.3.1	LDHs 型纳米容器或微米容器	/ 179

- 8.3.2 陶瓷芯和聚电解质/聚合物壳的容器 / 180
- 8.3.3 含有陶瓷芯和毛孔末端刺激响应塞的容器 / 183
- 8.3.4 直接乳液法或反相乳液法容器 / 185
- 8.3.5 基于界面物理现象的容器 / 186
- 8.3.6 乳液液滴中的界面或本体化学反应制备的容器 / 191
- 8.4 容器中活性剂的释放 / 195
- 8.5 容器在新型保护涂料基质中的分布 / 197
- 8.6 掺有容器的有机自保护涂层的防护性能 / 198
- 8.7 结论 / 200
- 参考文献 / 200

第9章 现代涂料中试生产的重要方面

/ 206

- 9.1 简介 / 206
- 9.2 定义 / 206
- 9.3 分散过程 / 207
- 9.4 涂料的一般工艺 / 208
- 9.5 中试 / 209
 - 9.5.1 逐步放大 / 209
 - 9.5.2 中试布局——主要问题 / 210
 - 9.5.3 生产装置及其配套装置 / 210
 - 9.5.4 水性和溶剂型聚合物基料的中试生产类型 / 211
- 9.6 涂料工业主要设备 / 213
 - 9.6.1 搅拌器 / 213
 - 9.6.2 研磨机 / 215
 - 9.6.3 过滤器 / 217
- 9.7 涂料的检查要点 / 217
- 9.8 涂料工业的一般安全注意事项 / 217
- 9.9 用于涂料的丙烯酸胶乳中试和扩大生产的典型实例 / 218
 - 9.9.1 装料的一般过程 / 219
 - 9.9.2 中试车间设置 / 219
- 9.10 结论 / 220
- 参考文献 / 220

第10章 用于金属防护的智能绿色转化涂层的溶胶-凝胶法

/ 221

- 10.1 简介 / 221

10.2 智能化学的发展 / 222

10.3 表征方法 / 224

10.3.1 光谱分析 / 224

10.3.2 热分析 / 228

10.3.3 纳米压痕分析 / 229

10.3.4 表面形态 / 231

10.4 涂层评估 / 232

10.4.1 实验室试验 / 232

10.4.2 户外试验 / 240

10.5 结论 / 248

致谢 / 248

参考文献 / 248

第 11 章 超疏水导电聚合物防腐蚀涂层

/ 251

11.1 简介 / 251

11.2 腐蚀防护 / 251

11.2.1 转化涂层 / 251

11.2.2 有机涂层 / 252

11.3 导电聚合物防腐蚀涂层 / 252

11.3.1 涂覆工艺 / 252

11.3.2 腐蚀防护机理 / 253

11.3.3 导电聚合物实例 / 254

11.4 超疏水防腐蚀涂层 / 256

11.4.1 理论背景 / 256

11.4.2 制备方法 / 257

11.5 超疏水导电聚合物防腐蚀涂层 / 259

11.6 结论 / 260

致谢 / 260

参考文献 / 260

第 12 章 聚合物-缓蚀剂掺杂涂层的智能防护

/ 264

12.1 简介 / 264

- 12.2 钢筋混凝土中的应用 / 266
- 12.3 电纺丝智能涂层 / 269
- 12.4 溶胶-凝胶涂层的腐蚀控制 / 272
- 12.5 结论 / 276
- 致谢 / 276
- 参考文献 / 276

第 13 章 热致变色二氧化钒智能涂层的性能及应用

/ 281

- 13.1 VO₂ 的简介和性质 / 281
 - 13.1.1 VO₂ 的合成方法 / 282
 - 13.1.2 VO₂ 相变开关时间 / 283
 - 13.1.3 原子氧辐照对 VO₂ 性质的影响 / 284
 - 13.1.4 掺杂对 VO₂ 相变的影响 / 284
- 13.2 应用 / 286
 - 13.2.1 全光开关 / 287
 - 13.2.2 电开关 / 287
 - 13.2.3 VO₂ 基杂化超材料器件 / 288
 - 13.2.4 VO₂ 等离子体器件 / 289
 - 13.2.5 VO₂ 基射频微波开关 / 293
 - 13.2.6 智能窗口 / 293
- 13.3 结论 / 294
- 参考文献 / 294

第 14 章 单组分自修复防腐蚀涂层：设计方案与实例

/ 300

- 14.1 简介 / 300
- 14.2 单组分自修复防腐蚀涂层的设计方案 / 301
 - 14.2.1 传统自修复材料的制备 / 301
 - 14.2.2 单组分自修复防腐蚀涂层的设计 / 305
- 14.3 单组分自修复防腐蚀涂层举例 / 306
 - 14.3.1 二异氰酸酯基单组分自修复防腐蚀涂层 / 306

14.3.2 有机硅烷基单组分自修复防腐蚀涂层 / 314

14.4 结束语和观点 / 320

参考文献 / 321

第 15 章 基于锡酸盐的镁合金智能自修复涂层

/ 325

15.1 简介 / 325

15.2 镁合金类型 / 325

15.3 镁腐蚀的常见形式 / 326

15.3.1 全面腐蚀 / 326

15.3.2 点蚀 / 326

15.3.3 缝隙(沉积物)腐蚀 / 327

15.3.4 丝状腐蚀 / 328

15.3.5 电偶腐蚀 / 328

15.3.6 应力腐蚀开裂 / 328

15.3.7 晶间腐蚀 / 329

15.3.8 腐蚀疲劳 / 329

15.4 锡酸盐转化涂层减缓镁腐蚀 / 329

15.4.1 锡酸盐转化涂层的合成与测试 / 329

15.4.2 锡酸盐涂层的性能 / 330

15.4.3 锡酸盐涂层的自修复功能 / 332

15.5 结论和展望 / 333

致谢 / 333

参考文献 / 333

第 16 章 电活性聚合物防腐蚀涂层

/ 335

16.1 简介 / 335

16.2 腐蚀 / 335

16.3 防腐蚀措施 / 336

16.3.1 缓蚀剂 / 336

16.3.2 阴极保护 / 336

16.3.3 阳极保护 / 336

16.3.4 涂层 / 336

16.4 聚合物涂层 / 338

16.4.1 EAP 基涂层 / 338

16.4.2 EAP 基纳米复合涂层 / 341

16.5 结论 / 351

参考文献 / 351

第 17 章 用作生物医学植入体的 Ti 及 Ti 合金防腐蚀涂层 / 354

17.1 简介 / 354

17.2 表面改性方法 / 355

17.3 溶胶-凝胶法 / 355

17.3.1 浸涂 / 355

17.3.2 旋涂 / 356

17.4 激光氧化 / 357

17.5 阳极氧化 / 357

17.6 等离子体电解氧化 / 357

17.7 电解沉积法 / 357

17.8 复合法 / 358

17.9 保护膜 / 358

17.9.1 氧化物涂层 / 358

17.9.2 羟基磷灰石涂层 / 359

17.9.3 复合涂层 / 359

17.9.4 杂化涂层 / 360

17.9.5 陶瓷涂层 / 360

17.10 腐蚀研究 / 360

17.11 结论 / 362

参考文献 / 362

第 18 章 腐蚀监测光学传感器 / 366

18.1 简介 / 366

18.2 光纤传感器的工作原理 / 367

18.2.1 光纤布拉格光栅 / 367

18.2.2 干涉型光纤传感器 / 367

18.2.3 分布式传感器 / 368

- 18.2.4 光强调制器 / 368
- 18.2.5 表面等离子体共振传感器 / 369
- 18.3 腐蚀检测 / 369**
 - 18.3.1 腐蚀直接测量 / 370
 - 18.3.2 利用金属牺牲层直接进行腐蚀测量 / 372
 - 18.3.3 腐蚀产物和前驱体的测定 / 375
 - 18.3.4 腐蚀控制的相对湿度监测 / 379
 - 18.3.5 腐蚀控制的 pH 光纤传感器 / 380
- 18.4 结论和未来趋势 / 384**
- 致谢 / 384
- 参考文献 / 384

第 19 章 用于重大文化工程的高性能防腐蚀涂层的表征 / 391

- 19.1 简介 / 391**
 - 19.1.1 物质文化遗产保护涂层 / 391
 - 19.1.2 智能定义：化学智能和物理智能 / 392
 - 19.1.3 文化遗产保护常用涂层 / 392
 - 19.1.4 文物保护涂层的耐候性研究 / 392
 - 19.1.5 开发物质文化遗产用智能涂层的方法 / 394
 - 19.1.6 涂层系统的预期挑战 / 395
 - 19.1.7 电化学阻抗谱表征保护膜阻隔性能 / 395
- 19.2 实验细节 / 396**
 - 19.2.1 涂层基体实验细节 / 396
 - 19.2.2 涂覆板老化研究实验细节 / 396
 - 19.2.3 基体表征实验细节 / 396
- 19.3 化学智能涂层的测试和表征 / 396**
 - 19.3.1 户外金属化学智能涂层的耐候性研究 / 396
 - 19.3.2 EIS 对耐候涂层基材的表征 / 397
 - 19.3.3 耐候涂层基体的 FTIR 表征 / 397
- 19.4 物理智能涂层的表征 / 399**
 - 19.4.1 在水性纳米复合材料涂层中使用合成纳米黏土 / 399
 - 19.4.2 改性纳米黏土以提高与涂层的相容性 / 400
 - 19.4.3 纳米黏土改性实验 / 401
 - 19.4.4 FTIR 表征改性皂石 / 401
 - 19.4.5 X 射线表征改性皂石 / 401
 - 19.4.6 SAXS 数据拟合 / 403