

刘新编著

防腐蚀涂料 涂装技术



化学工业出版社

防腐蚀涂料涂装技术

刘 新 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要介绍了防腐蚀涂料及其涂装技术，具体包括腐蚀机理、防腐材料的选择、重防腐涂料、功能性涂料、底材的表面处理以及涂装施工和涂装质量控制等内容，并深度解读了目前国内、国际标准和相关的安全数据，反映了国内外防腐蚀涂料与涂装技术的新规范、新工艺及应用现状。

本书可供从事防腐蚀涂装设计、施工的技术人员阅读使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

防腐蚀涂料涂装技术/刘新编著. —北京: 化学工业出版社, 2016.9

ISBN 978-7-122-27614-8

I. ①防… II. ①刘… III. ①防腐-涂料②防腐-涂漆 IV. ①TQ639

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 160374 号

责任编辑: 韩霄翠 仇志刚
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 向 东
装帧设计: 张 辉

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 19½ 字数 356 千字 2016 年 10 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: 88.00 元

版权所有 违者必究

我从 1991 年起从事重防腐蚀涂料的研究和应用，先后在江苏兰陵涂料、挪威佐敦涂料，美国 PPG 涂料、上海经天新材料等公司工作过。在 20 多年的工作中，参与过国内很多重大工程的防腐蚀涂料涂装工作，涉及远洋船舶、海洋工程、石油化工、市政桥梁、港口码头、火电水电、风电核电和装备制造等诸多行业，参与了近 20 项行业标准和国家标准的制定，也被同事同行和前辈所认可，加入了中国涂料工业协会专家委员会和中国腐蚀与防护学会涂料涂装与表面保护技术专家委员会。

防腐蚀涂料发展到 21 世纪的近 10 年来，重防腐蚀涂料与涂装，无论是在涂料产品和涂装技术方面，还是在工程实践与标准法规方面，比之我刚工作的时候有了很多无法想象的新发展。

用于大气环境下具有优异耐候性能的双交联型氟碳树脂涂料与聚硅氧烷涂料，在国家体育场，北京、广州、天津、香港等地的新建机场，广州新电视塔，杭州湾跨海大桥，港珠澳大桥，青藏铁路线等重大工程的应用基础上，分别制定了全新的产品标准。

在国家大力整治环境污染之时，严控 VOC（挥发性有机化合物）的法规标准相继出台，并且水性防腐蚀涂料的研究和应用也得到了飞速发展。水性醇酸树脂涂料、水性丙烯酸涂料、水性环氧涂料和水性聚氨酯涂料等产品的行业标准首次制定，为水性防腐蚀涂料的进一步发展奠定了基础。

风电核电，高铁和轨道车辆的发展，使得国内涂料厂商突破了外国涂料企业在这方面的技术和市场垄断，新的规范标准也在此实践基础上开始制定。

在编写这本书的过程中，我力求引入产品和行业中最标准规范，为读者提供一个全新的理解视野。其中特别介绍了国家标准 GB/T 30790—2014《色漆和清漆：防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护》，这是在影响深厚的 ISO 12944 的基础上修改制定的标准，作为大气环境下防腐蚀涂料的涂装设计指导，颁布得非常及时。

秉承涂料、涂装和质量检查三位一体的原则，书中归纳总结了防腐蚀涂料涂装的质量控制过程与方法，也希望从事涂料产品开发和涂装施工的企业能够充分重视涂装质量检验工作。

在 20 多年的工作中，我得到诸多涂料行业前辈的提携，同事与朋友的友爱，在本书的编写过程中，也同样得到了他们的帮助指导，在此一并致谢。

刘新

2016 年 6 月

1

第 1 章

材料的防腐蚀保护

1.1 腐蚀基础知识 / 2

1.1.1 腐蚀的定义 / 2

1.1.2 金属的腐蚀 / 3

1.1.3 腐蚀环境 / 11

1.1.4 金属的高温腐蚀 / 17

1.2 材料的选择 / 19

1.2.1 钢铁 / 19

1.2.2 不锈钢 / 21

1.2.3 铝和铝合金 / 22

1.2.4 锌 / 23

1.2.5 铜和铜合金 / 24

1.2.6 钛和钛合金 / 24

1.2.7 镍和镍合金 / 25

1.2.8 混凝土 / 26

1.3 结构设计 / 28

1.3.1 结构设计的重要性 / 28

1.3.2 钢结构涂装工作距离 / 30

1.3.3 缝隙处理 / 30

1.3.4 几何结构的影响 / 32

1.3.5 金属的连接 / 34

1.4 表面保护性涂层 / 36

1.4.1 涂料 / 36

1.4.2 电镀 / 37

- 1.4.3 热浸镀锌 / 37
- 1.4.4 机械镀 / 38
- 1.4.5 金属热喷涂 / 38
- 1.5 阴极保护 / 40**
 - 1.5.1 阴极保护的原理 / 40
 - 1.5.2 牺牲阳极保护 / 40
 - 1.5.3 外加电流阴极保护 / 42
- 1.6 缓蚀剂 / 43**

2

第 2 章

重防腐涂料

- 2.1 防腐蚀涂料的作用 / 47**
 - 2.1.1 保护作用 / 47
 - 2.1.2 装饰作用 / 47
 - 2.1.3 特殊功能作用 / 48
- 2.2 涂料的组成 / 48**
 - 2.2.1 成膜物质 / 49
 - 2.2.2 颜料 / 49
 - 2.2.3 助剂 / 53
 - 2.2.4 溶剂 / 53
- 2.3 涂料的分类和命名 / 58**
 - 2.3.1 GB/T 2705—2003《涂料产品分类和命名》 / 59
 - 2.3.2 GB/T 2705—1992 / 62
- 2.4 涂料的成膜过程 / 64**
 - 2.4.1 物理干燥 / 65
 - 2.4.2 化学固化 / 65
- 2.5 重防腐蚀涂料 / 66**
 - 2.5.1 重防腐蚀涂料概述 / 66
 - 2.5.2 高固体分涂料 / 67
 - 2.5.3 无溶剂涂料 / 68
 - 2.5.4 富锌漆 / 69
 - 2.5.5 玻璃鳞片涂料 / 71

- 2.5.6 陶瓷涂料 / 74
- 2.6 防腐涂料的主要类型 / 74**
 - 2.6.1 生漆 / 74
 - 2.6.2 沥青漆 / 75
 - 2.6.3 醇酸树脂涂料 / 76
 - 2.6.4 含氯防腐蚀涂料 / 77
 - 2.6.5 丙烯酸涂料 / 83
 - 2.6.6 有机硅树脂涂料 / 84
 - 2.6.7 环氧树脂涂料 / 85
 - 2.6.8 聚氨酯涂料 / 89
 - 2.6.9 氟树脂涂料 / 91
 - 2.6.10 聚硅氧烷涂料 / 94
 - 2.6.11 聚脲弹性体涂料 / 96
- 2.7 水性重防腐涂料 / 99**
 - 2.7.1 水性重防腐涂料概述 / 99
 - 2.7.2 水性无机硅酸锌车间底漆 / 99
 - 2.7.3 水性无机富锌涂料 / 100
 - 2.7.4 水性环氧富锌底漆 / 101
 - 2.7.5 水性醇酸树脂和水性环氧酯涂料 / 101
 - 2.7.6 水性环氧涂料 / 102
 - 2.7.7 水性丙烯酸树脂涂料 / 104
 - 2.7.8 水性聚氨酯涂料 / 106

3

第3章

功能性涂料

- 3.1 磷化底漆 / 110**
- 3.2 车间底漆 / 111**
- 3.3 船舶防污漆 / 113**
- 3.4 导静电涂料 / 114**
- 3.5 耐高温涂料 / 116**
- 3.6 反射隔热涂料 / 118**
- 3.7 防火涂料 / 119**

4

第 4 章 底材表面处理

4.1 表面处理的底材 / 124

4.1.1 表面处理的重要性 / 124

4.1.2 表面处理底材 / 124

4.2 钢材结构处理 / 126

4.2.1 GB/T 14977—2008 钢材缺陷的相关规定 / 126

4.2.2 GB/T 8923.3 和 ISO 8501-3 钢材表面缺陷的处理等级 / 127

4.3 钢材表面处理的标准 / 130

4.3.1 标准概述 / 130

4.3.2 钢材表面处理 ISO 和 GB 标准 / 130

4.3.3 钢材表面锈蚀和预处理等级的评价 / 131

4.3.4 美国 SSPC/NACE 标准 / 138

4.3.5 日本 JSRA SPSS 标准 / 141

4.3.6 CB 3230《船体二次除锈评定等级》 / 143

4.4 粗糙度 / 145

4.4.1 粗糙度定义 / 145

4.4.2 表面粗糙度的评定 / 146

4.4.3 比较样块法 / 147

4.5 表面清洁度 / 152

4.5.1 表面清洁度的评判标准 / 152

4.5.2 铁盐的检测 / 153

4.5.3 表面氯化物 / 155

4.5.4 灰尘清洁度 / 159

4.5.5 除油质量检查方法 / 160

4.6 钢材表面处理的方法 / 161

4.6.1 手工和动力工具清理 / 161

4.6.2 磨料喷射清理 / 163

4.6.3 抛丸清理 / 169

4.6.4 磨料选用 / 171

4.6.5 水喷射清理 / 177

4.6.6 酸洗 / 178

4.7 光滑清洁和生态清洗表面处理 / 181

- 4.8 混凝土的表面处理 / 182
 - 4.8.1 规范标准要求 / 182
 - 4.8.2 除油 / 183
 - 4.8.3 表面打磨或喷砂处理 / 183
 - 4.8.4 酸蚀处理 / 183
 - 4.8.5 混凝土表面质量控制测试 / 183

5

第5章 涂装施工

- 5.1 刷涂和辊涂 / 188
 - 5.1.1 刷涂 / 188
 - 5.1.2 辊涂 / 189
- 5.2 空气喷涂 / 190
 - 5.2.1 空气喷涂系统的原理及特点 / 190
 - 5.2.2 空气喷枪的种类 / 190
 - 5.2.3 空气喷枪的构造 / 192
 - 5.2.4 空气喷涂 / 193
- 5.3 高压无气喷涂 / 194
 - 5.3.1 高压无气喷涂的原理和特点 / 195
 - 5.3.2 无气喷涂设备的组成 / 196
 - 5.3.3 无气喷涂工艺 / 199
- 5.4 双组分喷涂 / 201
- 5.5 混气喷涂 / 202
- 5.6 静电喷涂 / 203
- 5.7 涂装打磨 / 203
 - 5.7.1 打磨机 / 204
 - 5.7.2 砂纸 / 205

6

第6章 涂装质量控制

- 6.1 概述 / 208

- 6.2 气候条件检查 / 209**
 - 6.2.1 温度 / 209
 - 6.2.2 相对湿度和露点 / 210
- 6.3 涂装施工期间的检查 / 215**
 - 6.3.1 涂装规格书和产品说明书 / 215
 - 6.3.2 混合、稀释和搅拌 / 215
 - 6.3.3 混合使用时间和熟化期 / 216
 - 6.3.4 涂装间隔 / 217
 - 6.3.5 湿膜厚度的测量和计算 / 218
 - 6.3.6 灯光照明 / 220
 - 6.3.7 脚手架 / 220
 - 6.3.8 通风 / 220
- 6.4 涂装施工后的检查 / 222**
 - 6.4.1 干膜厚度测量 / 222
 - 6.4.2 干膜测厚仪的校准 / 226
- 6.5 涂膜的干燥和固化 / 227**
 - 6.5.1 涂膜干燥和固化的影响因素 / 227
 - 6.5.2 涂膜干燥的测定 / 228
 - 6.5.3 涂膜固化程度的铅笔硬度测试 / 228
 - 6.5.4 涂膜固化的溶剂测试 / 229
 - 6.5.5 无机硅酸锌涂料的固化测试 / 229
- 6.6 附着力和内聚力 / 230**
 - 6.6.1 划×法 / 231
 - 6.6.2 划格法 / 232
 - 6.6.3 拉开法 / 233
- 6.7 针孔和漏涂点检测 / 236**
 - 6.7.1 低压湿海绵型 / 237
 - 6.7.2 高压脉冲型漏涂点检测仪 / 238
 - 6.7.3 电压取值 / 239
- 6.8 涂膜外观 / 241**

7

第7章 重防腐涂装工程

- 7.1 重防腐涂装概述 / 244**
 - 7.1.1 长效防腐设计要求 / 244
 - 7.1.2 高固体分低 VOC 厚膜化 / 244
 - 7.1.3 更高的表面处理要求 / 245
 - 7.1.4 更好的施工设备 / 246
 - 7.1.5 不断发展的规范标准 / 246
- 7.2 防腐蚀涂料配套体系 / 247**
 - 7.2.1 防腐蚀涂层体系 / 247
 - 7.2.2 底涂层 / 248
 - 7.2.3 中间漆 / 248
 - 7.2.4 面漆 / 249
 - 7.2.5 特殊涂层的功能 / 249
- 7.3 防护涂料体系设计标准 GB/T 30790 / 249**
 - 7.3.1 GB/T 30790 简介 / 250
 - 7.3.2 腐蚀环境分类 / 251
 - 7.3.3 钢结构类型对涂装配套的要求 / 252
 - 7.3.4 表面处理的类型和方法 / 252
 - 7.3.5 防腐涂层配套方案 / 252
 - 7.3.6 防腐涂层的性能检测 / 260
 - 7.3.7 涂装工艺的实施和管理 / 260
 - 7.3.8 新造及维修涂装施工技术规范的发展 / 261
- 7.4 钢材预处理涂装 / 261**
 - 7.4.1 抛丸除锈 / 262
 - 7.4.2 无机硅酸锌车间底漆的涂装 / 263
- 7.5 桥梁 / 264**
 - 7.5.1 桥梁腐蚀 / 264
 - 7.5.2 桥梁防腐设计规范 / 265
- 7.6 烃加工 / 269**
 - 7.6.1 烃加工产业 / 269
 - 7.6.2 防腐蚀规范 / 270
- 7.7 火力发电 / 271**
 - 7.7.1 钢结构 / 271
 - 7.7.2 循环水管 / 272
 - 7.7.3 烟气脱硫 / 275

7.8 风力发电 / 279

7.8.1 风力发电机 / 279

7.8.2 塔筒 / 281

7.8.3 叶片 / 283

7.9 轨道交通车辆 / 284

7.10 发动机 / 288

7.11 混凝土表面涂装 / 291

7.11.1 混凝土腐蚀环境和涂层性能要求 / 291

7.11.2 防腐蚀涂料体系 / 293



参考文献

第 1 章

材料的防腐蚀保护

- 1.1 腐蚀基础知识 / 2
- 1.2 材料的选择 / 19
- 1.3 结构设计 / 28
- 1.4 表面保护性涂层 / 36
- 1.5 阴极保护 / 40
- 1.6 缓蚀剂 / 43

1.1 腐蚀基础知识

1.1.1 腐蚀的定义

腐蚀是材料（通常是金属）和周围环境发生作用而被破坏的现象。腐蚀对国民经济和社会生活造成的损失是相当严重的，对商业楼宇、机场车站、海洋平台、电厂设施或者石油炼化（图 1-1）等来说，腐蚀都是我们要直面应对来减少其损失的现象。在日常生活中，经常看到的是钢铁表面黄色的锈蚀，有时还会看到铜表面有一层铜绿，这些都是腐蚀的常见现象。早期的腐蚀研究是建立在电化学基础之上的，研究的主要对象是金属。随着非金属材料的迅猛发展，其在工程中的应用越来越多，比如混凝土、塑料、橡胶和陶瓷等，对非金属的耐蚀性研究也越来越引起人们的重视。

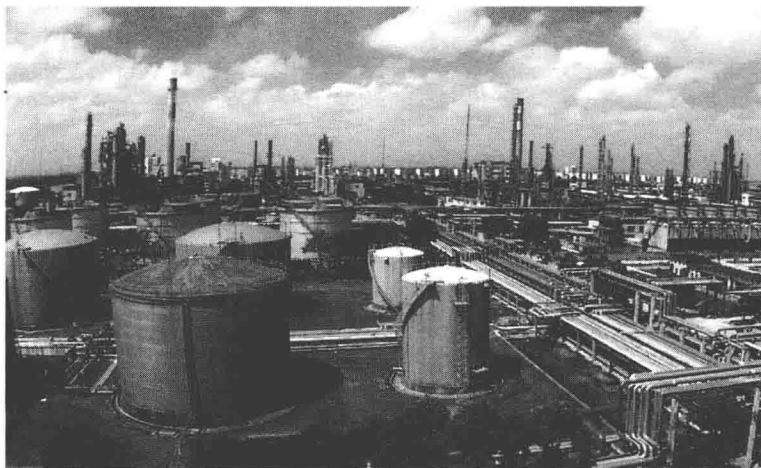


图 1-1 腐蚀环境恶劣的石油炼化厂

在腐蚀的定义中，包含了三个方面的研究内容，即材料、环境和反应的种类。

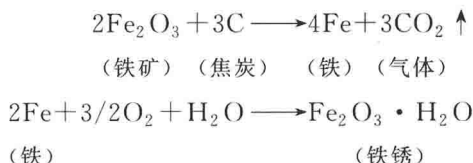
材料包括金属材料和非金属材料及材料的性质。材料是腐蚀发生的内因，不同的材料其腐蚀行为差异很大。环境是腐蚀的外部条件，介质的浓度、成分对腐蚀的影响很大。比如，钢在浓度低于 60% 的稀硫酸中的腐蚀剧烈，但是在浓硫酸中却会在表面形成钝化膜，因此可以利用钢的这一特性来储运浓度超过 90% 的硫酸。其他再如温度、压力、流速等都会对材料腐蚀起到一定的作用。金属材料与环境通常发生化学或电化学反应，非金属材料与环境则会发生溶胀、溶

解、老化、风化等反应。

1.1.2 金属的腐蚀

1.1.2.1 金属的自然腐蚀趋势

金属的应用非常广泛，因此针对金属的腐蚀研究也最多。除少数贵金属外，金属都是以自然态的矿石形式（即金属化合物的形式）存在的，要通过消耗能量的冶炼，电解等过程才能获得。比如，钢铁在自然界中大多为赤铁矿（主要成分为 Fe_2O_3 ），铁矿石放在高炉里或是加热炉里进行提炼，冶炼过程中还加入了煤矿或焦炭，并加热至很高的温度。在这个过程中，需要大量的能量，这种能量一部分就储藏在钢铁中。因此当钢铁暴露在氧气和潮湿环境中，钢铁将趋向于回复到原始的状态。



金属随时随地都有恢复到自然化合态（矿石）的倾向，并释放出能量，这就是金属自然腐蚀的趋势。从能量的观点来看，金属腐蚀的倾向也可以从矿石中冶炼金属时所消耗的能量大小来判断。消耗能量大的金属较易腐蚀，如铁、锌和铅等。消耗能量小的金属，腐蚀倾向就小，如金这样的金属，在自然界中以单质金属砂金的形式存在，它就不易被腐蚀。

1.1.2.2 腐蚀的分类

按金属腐蚀过程的机理，可以划分为化学腐蚀和电化学腐蚀。绝大多数金属的腐蚀都是电化学腐蚀，因此电化学腐蚀是研究的重要对象。

化学腐蚀是金属与介质发生化学作用而引起的腐蚀，在作用过程中没有电流产生。化学腐蚀指金属与非电解质溶液发生化学作用而引起的破坏，反应特点是只有氧化-还原反应，没有电流产生。化学腐蚀通常为干腐蚀，腐蚀速率相对较小。常见的如铁在干燥的大气中、铝在无水乙醇中的腐蚀。单纯的化学腐蚀很少，如果介质中含有水，以上金属腐蚀就会转变为电化学腐蚀。

电化学腐蚀是金属表面与介质发生电化学作用而引起的，在作用过程中有阴极区和阳极区，在腐蚀过程中金属和介质中有电流流动（电子和离子的运动）。

按腐蚀发生的过程和环境，金属的腐蚀可以分为大气腐蚀、水的腐蚀、土壤腐蚀、高温腐蚀、化学介质腐蚀等。其中，大气、水和土壤是大自然最基本的腐蚀环境，而金属材料基本是在这三种腐蚀环境中使用的。

按照腐蚀的形态来分类，可以分为全面腐蚀和局部腐蚀，局部腐蚀又可以分为点蚀、电偶腐蚀、缝隙腐蚀、选择性腐蚀、冲刷腐蚀、应力开裂等。

1.1.2.3 电化学腐蚀

研究腐蚀的目的在于控制腐蚀，来延长金属的使用寿命，其中电化学腐蚀是最为主要的研究对象。电化学腐蚀是复杂的腐蚀过程，对其理论和实验的研究，可以参考更专业的书籍。

金属在电解质溶液中发生的腐蚀称为电化学腐蚀。电解质溶液是能导电的溶液，它是金属产生腐蚀的基本条件。几乎所有水溶液，包括雨水、淡水、海水、酸、碱、盐的水溶液，以及空气中凝结露都可以构成电解质溶液。

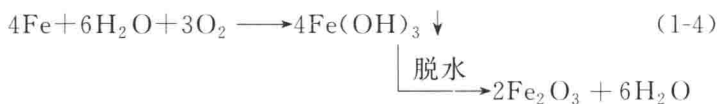
金属在电解质溶液中发生的电化学腐蚀可以简单地看作是一个氧化还原反应过程。

金属在酸中的腐蚀，如锌和铝等活泼金属在稀盐酸或稀硫酸中会腐蚀并释放出氢气，反应式如下：

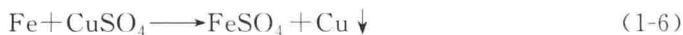
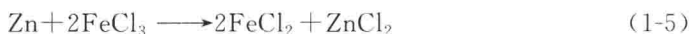


以锌在盐酸中的腐蚀为例，锌表面某一区域被氧化成锌离子进入溶液，并放出电子，通过金属传递到锌表面的另一区域被氢离子所接受，并还原成氢气。锌溶解的这一区域被称为阳极，受到腐蚀；而产生氢气的这一区域被称为阴极。

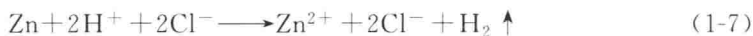
金属在中性或碱性溶液中的腐蚀，如铁在水中或潮湿大气中的生锈，反应式为：



金属在盐溶液中的腐蚀，如锌、铁等在三氯化铁及硫酸铜溶液中的腐蚀，反应式为：



上述的化学反应式只是描述了金属的腐蚀反应，没有反映出电化学反应的特征。因此要用电化学反应式来描述金属电化学腐蚀的实质。例如，锌在盐酸中的腐蚀，由于盐酸为强电解质，所以式(1-1)可以写成离子形式，即



在此， Cl^- 在反应前后化合价没有发生变化，实际上并没有参与反应，因此式(1-7)可以简化为