

FANGFU SHI
TULIAO
YU
TUZHUANG
YINGYONG

防腐蚀涂料 与涂装应用

刘新 等编著



化学工业出版社

本书主要介绍钢结构与混凝土表面的防腐蚀涂料及涂装方面的理论与实践，共分为两部分。第一部分讲述材料的腐蚀与防护基础理论、涂料技术、常用防腐蚀涂料、功能性专用涂料、防腐蚀涂装系统设计、涂装表面处理、涂装施工、涂装检验与质量控制、复合涂层重防腐体系、防腐蚀涂装维修保养等内容。第二部分介绍各行各业的防腐蚀涂装应用经验，包括建筑钢结构、钢铁和混凝土桥梁、水工结构、港口码头设施、石油化工、污水处理设施、船舶、海洋工程、工程机械、电力工业、煤炭工业等内容。

本书系统性、实践性强，内容新颖，对于最新的涂料技术的发展和應用以及最新的国内外典型涂装工程都有详细介绍。本书可供从事防腐蚀专业的科技人员和大专院校师生参考，也可供建筑、水利、化工、煤炭等领域的工程技术人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

防腐蚀涂料与涂装应用/刘新等 编著. —北京: 化学工业出版社, 2008. 1

ISBN 978-7-122-01774-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 203175 号

责任编辑: 段志兵

文字编辑: 林 媛

责任校对: 宋 夏

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 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 46¼ 字数 1171 千字 2008 年 4 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: 98.00 元

版权所有 违者必究

前言

在防腐涂料涂装一线工作了近 20 年，我参与过国内外许多大型工程的防腐设计和现场涂装工作。在工作实践中，我接触了一个又一个我们国家的大型基础建设、桥梁建设和石化建设等，深深为国家现代化建设的繁荣所鼓舞。然而，从中也体会到我国在防腐涂装设计和施工中地区的差异、教育培训的不足，因此萌生了编著这样一本书的想法。

在书中，试图对国内外钢结构，包括混凝土表面在内的防腐涂装方面的理论与实践，结合自己的一些工作体会，进行一次总结。书稿共分两部分，第一部分介绍腐蚀理论、涂料技术、涂装技术与质量控制的基本知识和技能，第二部分介绍各行各业方面的防腐涂装应用经验。对读者来说，可以完整地理解钢结构与混凝土表面的防腐涂装技术，对实际工作将有很大的帮助。

编写时我尽力把腐蚀理论和重防腐涂料、涂装技术以及各行业的防腐涂装实例等有机地结合在一起，深入浅出地进行详细介绍。书稿中也及时地介绍了最新的涂料技术的发展及其应用，例如氟碳涂料、聚硅氧烷涂料和聚脲涂料等。书中对最新的国内外典型涂装工程也有详细介绍，比如世界第一高度的广州新电视塔（610m）钢结构涂装，世界海拔最高的青藏铁路钢铁桥梁及其混凝土结构的涂装，世界最长的杭州湾跨海大桥混凝土结构表面涂装等。

我国的腐蚀防护与涂料涂装在行业内知识普及工作还很有可为。比如教育培训，现在国外的 FROSIO 和 NACE CIP 都在国内开课进行继续教育培训，包括 SSPC 也有意在中国进行涂料涂装的培训。我国本土的培训工作虽然已经开始，但是规模还不够大，内容还不够普及（太重理论不重实践）。关于国内外的培训情况以及相关内容，在书中都有所介绍。

许多单位，特别是我国的设计院所，对腐蚀防护和涂装的现状堪忧，并且很多都没有专职的腐蚀工程师，都是兼职在做防腐设计。与此同时，施工单位的水平参差不齐，工人的基本技能没有考核标准和资质认证。这在很大程度上影响了工程建设中的质量和进度。

我国各行业的腐蚀防护标准更新不够快，国外基本上是五年一次。跨入 21 世纪以来，我国的大型基础建设和大型工业建设发展很快，随着国外大型建设承包公司的进入，同时也引入了很多国外标准规范。相比较而言，我国的标准规范显得过于陈旧，对于国外的标准也少有接触和理解。所幸的是，现在已经开始大规模地修订和制定标准。读者在参考应用本书的时候，要特别注意其中所引用的规范标准的更新，可以在北京或上海的标准信息研究所进行标准查新。

本书的编写，从 2005 年开始，历经 3 年完成。我的同事袁林森在涂料技术方面提供了很多宝贵意见和资料，工程机械方面的内容由厦门工程机械有限公司的易海瑞和我合作编写。本书内容涉及很多的领域，其中难免有疏漏，恳请读者不吝指正。

多年奔波在天南海北的工程现场，回家后也是通宵达旦地查资料、写作，在此也特别感谢我的家人对我工作的理解、支持和奉献。

刘 新
2008 年 1 月

目录

第一章 材料的腐蚀与防护

第一节 金属的腐蚀与防护	1
一、金属的腐蚀	2
二、金属的常见腐蚀形式	5
三、腐蚀环境	9
四、金属的高温腐蚀	14
五、金属的腐蚀防护	15
第二节 混凝土的腐蚀与防护	25

一、混凝土材料	25
二、钢筋混凝土的腐蚀破坏	26
三、混凝土的腐蚀防护	30
第三节 涂料的腐蚀防护作用	32
一、对金属表面的防护应用	32
二、对混凝土结构的防护应用	34
参考文献	36

第二章 涂料技术基础

第一节 涂料的发展	37
一、涂料的概念	37
二、涂料的发展	38
第二节 涂料的成膜物质	41
第三节 颜料	42
一、颜料的分类	42
二、着色颜料	42
三、防锈颜料	47
四、填料	51
第四节 助剂	52
一、润湿分散剂	52
二、消泡剂	52

三、流变剂	53
四、消光剂	53
五、光稳定剂	53
六、催干剂	54
第五节 溶剂	54
一、溶剂的类型	54
二、溶剂的溶解能力	54
三、溶剂的挥发	55
四、溶剂的作用	56
五、常用涂料用有机溶剂	57
参考文献	59

第三章 常用防腐蚀涂料

第一节 涂料的分类和命名	60
第二节 涂料的干燥成膜	63
一、转化型和非转化型成膜基料	63
二、涂料的物理干燥	63
三、涂料的化学固化	64
第三节 生漆	66
第四节 沥青漆	67
一、天然沥青	67
二、石油沥青	67

三、煤焦沥青	67
四、沥青的危害	68
第五节 醇酸树脂涂料	68
一、油料	68
二、醇酸树脂	69
三、醇酸树脂的改性	70
四、醇酸树脂涂料	71
第六节 氯化烯烃树脂涂料	73
一、氯化聚烯烃树脂	73

二、氯化橡胶涂料	74	第十三节 氟树脂涂料	111
三、过氯乙烯	75	一、氟树脂涂料简介	111
四、氯磺化聚乙烯	75	二、FEVE 氟碳树脂	112
五、高氯化聚乙烯	75	三、FEVE 树脂氟碳涂料	113
六、氯醚	76	第十四节 不饱和聚酯涂料	114
第七节 丙烯酸树脂涂料	77	一、不饱和聚酯树脂简介	114
一、丙烯酸树脂	77	二、不饱和聚酯树脂涂料的组成	115
二、热塑性丙烯酸树脂涂料	77	三、不饱和聚酯树脂的固化机理	116
三、热固性丙烯酸树脂涂料	78	四、氧气对不饱和聚酯树脂涂 固化的影响	118
第八节 环氧树脂涂料	80	五、不饱和聚酯涂料	118
一、环氧树脂	80	第十五节 乙烯基酯涂料	119
二、环氧树脂涂料的固化剂	82	一、乙烯基酯树脂	120
三、常用环氧树脂涂料	86	二、乙烯基酯树脂的耐水和耐化学 稳定性	120
四、环氧涂料使用的安全和卫生问题	92	三、乙烯基酯玻璃鳞片涂料	121
第九节 聚氨酯涂料	93	第十六节 聚苯胺涂料	122
一、聚氨酯涂料简介	93	第十七节 玻璃鳞片涂料	124
二、异氰酸酯	95	一、玻璃鳞片	124
三、聚氨酯涂料的溶剂	97	二、玻璃鳞片涂料的防腐蚀机理	125
四、聚氨酯防腐涂料	98	三、玻璃鳞片树脂基体	126
第十节 聚脲弹性体	101	四、常用玻璃鳞片涂料	126
一、聚脲弹性体简述	101	第十八节 富锌漆	127
二、喷涂聚脲弹性体的材料	102	一、锌粉	127
三、喷涂聚脲弹性体的性能	104	二、环氧富锌漆	128
四、聚脲弹性体的施工应用	104	三、无机富锌漆	129
第十一节 有机硅树脂涂料	105	第十九节 水性工业重防腐涂料	131
一、有机硅单体	105	一、水性防腐涂料的性能	131
二、有机硅树脂的改性	105	二、水性环氧涂料	132
三、有机硅树脂涂料	106	三、水性丙烯酸涂料	132
第十二节 聚硅氧烷涂料	107	参考文献	133
一、化学机理	107		
二、聚硅氧烷涂料的类型	108		

第四章 功能性专用涂料

第一节 磷化底漆	135	三、耐高温涂料中颜料的选用	140
第二节 车间底漆	136	四、耐高温涂料的类型	140
一、车间底漆的要求	136	五、无机硅酸锌涂料的高温应用	142
二、车间底漆的类型	137	第四节 油罐内壁防静电涂料	142
第三节 耐高温涂料	138	一、防静电涂料的导电机理	142
一、高温运行环境	138	二、导静电填料	143
二、耐高温涂料的成膜物的选择	139	三、导静电涂料的品种	144

四、防静电涂料的应用	145
第五节 防火涂料	146
一、防火涂料的类型和作用	146
二、超薄膨胀型钢结构防火涂料	147
三、薄型钢结构防火涂料	147
四、厚型防火涂料	148

五、防火涂料的底漆和封闭面漆	148
第六节 船舶防污漆	149
一、防污漆简述	149
二、毒料渗出型防污漆	150
三、免污损型防污漆	151
参考文献	152

第五章 防腐蚀涂装系统设计

第一节 涂装系统设计	154
一、涂料系统设计的标准规范	154
二、美国 SSPC 标准的应用	154
三、ISO 12944 标准的应用	156
第二节 涂层系统结构	167
一、底漆	167
二、面漆	168

三、临时底漆	168
四、封闭底漆	169
五、乙烯磷化底漆和环氧钝化底漆	169
第三节 涂料涂装中的计算	170
一、面积的计算	170
二、涂料的计算	173
参考文献	178

第六章 涂装表面处理

第一节 表面处理的对象及程序	179
一、表面处理的的目的	179
二、表面处理对象	180
第二节 表面除油	182
一、油污	182
二、除油的材料	182
三、油污清洗工艺	183
四、SSPC-SP1 溶剂清理	184
五、JB/Z 236—85 钢铁件涂装前除油 程度检验方法	185
第三节 手工及动力工具除锈	185
一、手工除锈	185
二、动力工具除锈	186
第四节 抛丸处理	187
第五节 喷射清理	188
一、空气压缩机和压缩空气	188
二、喷射清理的设备	192
三、喷射清理的种类	195
第六节 磨料	196
一、磨料的分类	196
二、非金属磨料	197
三、金属磨料	198

第七节 高压水喷射清理	200
一、高压水喷射清理的优点	200
二、高压水清理标准	201
第八节 酸洗和磷化处理	202
一、酸洗除锈机理	202
二、酸洗材料	204
三、盐酸的酸洗除锈	205
四、硫酸的酸洗除锈	205
五、磷酸除锈	206
六、有色金属的酸洗	207
七、磷化处理	207
第九节 钢材表面除锈标准	208
一、国际标准	208
二、SSPC 标准	211
三、JSRA-SPSS 标准	214
四、表面预处理标准对照	214
五、表面处理后涂漆的时间限定	215
第十节 其它金属的表面处理	215
一、不锈钢	215
二、镀锌表面	216
三、铝材	218
参考文献	218

第七章 涂装施工

第一节 涂装方法	219
一、刷涂	219
二、辊涂	220
三、空气喷涂	220
四、无气喷涂	224
五、空气辅助无气喷涂	228
第二节 涂装环境	228
一、温度	228
二、相对湿度和露点	229
三、其它环境因素	231
第三节 涂装前准备	231
一、开罐	231
二、搅拌	231

三、混合熟化	231
四、稀释	232
五、过滤	232
第四节 预涂装	232
第五节 厂房内涂装	233
一、钢结构设计	233
二、表面处理	233
三、涂料的储藏和混合	234
四、施工设备	234
五、有效的工作程序	234
六、面漆涂装	234
七、厂房和现场涂装程序	235
参考文献	235

第八章 涂装检验与质量控制

第一节 涂装质量控制概述	236
第二节 涂装检验员	236
一、涂装检验员简介	237
二、工作职责和权力	238
三、涂装检验的工作	239
四、涂装检验内容简介	240
五、第三方涂装检验	240
第三节 涂装检验员的培训和资格认证	241
一、FROSIO 检验员	241
二、NACE CIP 涂装检验员	242
第四节 涂装检验程序	242
第五节 钢材车间预处理检查	243
一、钢材预处理流水线	243
二、抛丸处理	244
三、无机硅酸锌车间底漆涂装	245
四、车间底漆涂装过程质量控制要点	245
第六节 钢材结构处理的检查	246
一、GB/T 14977—94 钢材缺陷的相关规定	246
二、ISO 8501-3 钢材表面相关缺陷的有关要求	247

三、NACE RP 0178—2003 使用内衬涂料时钢材表面的相关要求	248
第七节 表面处理等级和粗糙度的检测评定	249
一、表面清洁的检查	249
二、表面处理等级评定	250
三、喷射清理表面粗糙度评定	252
第八节 喷射清理用磨料的检测	255
一、磨料的检测标准	255
二、非金属磨料可溶性杂质的电导率测量	256
三、磨料的油污	256
四、pH 值测试	257
五、潮气的测试	257
六、非金属磨料的硬度	257
第九节 表面处理后的清洁度	257
一、铁盐的检测	258
二、表面氯化物	258
三、灰尘清洁度	261
第十节 气候条件的检查	261
一、温度	261
二、相对湿度	262
三、露点	263

第十一节 涂装施工前和施工中的检查	264
一、技术说明书和涂料	264
二、正确的稀释和混合	265
三、湿膜厚度控制	265
四、气候条件	266
五、涂装间隔的控制	266
六、灯光照明	267
七、脚手架	267

八、通风	267
第十二节 涂装施工后的检查	268
一、干膜厚度测量	268
二、漆膜的固化和干燥	271
三、附着力测试	272
四、漏涂点测试	277
五、漆膜外观	279
参考文献	280

第九章 复合涂层重防腐体系

第一节 金属热喷涂概述	281
一、热喷涂的分类	281
二、火焰喷涂	281
三、电弧喷涂	283
第二节 复合涂层保护体系	287
一、热喷涂防腐蚀体系	287

二、金属喷涂层表面的有机防腐涂层	288
三、复合涂层的施工工艺	289
四、复合涂层厚度测量	290
五、复合涂层的结合强度	291
参考文献	292

第十章 防腐蚀涂装维修保养

第一节 涂层的失效	293
一、涂层失效的机理	293
二、涂层失效的典型形式	295
第二节 旧涂层的状态评定	298
一、ISO 4628	299
二、ASTM 标准	302
第三节 涂层系统的维修保养	303
一、不同的涂层状态及其相应的维修	

措施	303
二、旧涂层的附着力测试	305
三、表面处理	305
四、旧涂层基本类别的判断	309
五、低表面处理涂料	311
六、维修用涂层系统	314
参考文献	317

第十一章 建筑钢结构涂装

第一节 建筑钢结构概述	318
第二节 钢结构建筑的腐蚀	319
一、影响钢结构大气腐蚀的环境因素	319
二、大气环境的分类	320
三、钢结构的室内腐蚀环境	321
第三节 钢结构防腐蚀涂装	322
一、防腐蚀涂装设计标准 ISO 12944	322

二、钢结构的金属热喷涂	324
三、防锈底漆的选用	324
四、中间漆的选用	325
五、面漆的选用	326
六、防腐蚀方案制订	327
七、涂装施工	328
第四节 防护应用案例	333
一、电视塔和观光塔	333
二、机场	339

三、体育馆和会展中心	342
四、游乐设施	346

五、大剧院	347
参考文献	348

第十二章 钢铁和混凝土桥梁涂装

第一节 桥梁的腐蚀环境	349
一、桥梁概述	349
二、桥梁的腐蚀环境	350
第二节 桥梁防腐涂料的发展	352
一、我国的桥梁防腐涂料的发展	352
二、日本桥梁防腐涂料的发展	354
三、美国的桥梁涂料发展	356
第三节 桥梁钢结构的涂料系统	357
一、中国铁道桥梁涂料系统	357
二、英国的桥梁涂料系统	359
三、芬兰的桥梁涂料系统	361
四、现代桥梁重防腐涂料体系	362
五、桥梁钢结构涂装实例	372
第四节 桥梁缆索系统的腐蚀防护	375
一、缆索的腐蚀防护概述	375
二、斜拉索的防护	377

三、悬索桥缆索的防护	381
第五节 部分国家钢结构桥梁的维修涂装情况	384
一、英国	384
二、德国	386
三、瑞士	387
四、荷兰	388
五、美国	388
第六节 桥梁混凝土结构的涂装	388
一、桥梁混凝土结构的涂装体系	388
二、桥梁混凝土结构涂层配套方案	390
三、混凝土桥梁涂装实例	390
附录：国内外部分桥梁钢结构的主要涂装系统	398
参考文献	404

第十三章 水工结构涂装

第一节 水工结构的腐蚀防护	406
第二节 水工结构的工作环境	407
一、水工结构工作环境概述	407
二、大气腐蚀环境下的金属构件	408
三、工作闸门	408
四、拦污栅	411
五、压力水管	413
第三节 水工结构的防腐蚀涂料	415
一、乙烯涂料	415
二、醇酸涂料	416
三、沥青涂料和煤焦油瓷漆	416
四、环氧煤沥青涂料	417
五、环氧树脂涂料	417
六、聚氨酯涂料	418
七、富锌底漆	419

第四节 水工结构的金属热喷涂防腐防护	420
一、水工结构的金属热喷涂	420
二、水工金属结构热喷涂案例	421
第五节 水工金属结构防腐设计	425
一、水工金属结构的防腐蚀要求	425
二、SL 105—95 水工金属结构防腐蚀规范	426
三、三峡工程水工金属结构防腐体系	435
四、水工金属结构重防腐推荐系统	437
第六节 水工混凝土结构的腐蚀防护	442
一、水工混凝土结构的腐蚀	443
二、水工混凝土结构的腐蚀防护涂料体系	444
参考文献	446

第十四章 港口码头设施涂装

第一节 港口机械涂装	448	第三节 引桥和栈桥涂装	465
一、港口机械简介	448	一、钢引桥的防腐蚀	465
二、常用涂料品种	449	二、栈桥的防腐蚀	466
三、表面处理	450	第四节 海港混凝土结构涂装	467
四、涂料系统和涂装施工	451	一、海港混凝土结构的腐蚀	467
五、港口机械的涂装维护	456	二、海港工程混凝土结构防腐蚀技术	
第二节 码头钢管桩涂装	458	规范	468
一、钢管桩的腐蚀特征	458	三、海港码头防腐蚀涂料系统	471
二、钢管桩的重防腐涂料设计	459	参考文献	474
三、钢管桩重防腐涂料品种	461		

第十五章 石油化工涂装防护

第一节 石油化工防腐蚀概述	475	二、内涂层的减阻	502
一、石油化工的腐蚀危害	475	三、内涂层涂料	503
二、油气田的腐蚀	477	四、内涂层的施工	503
三、炼油厂和石化厂的腐蚀	480	第五节 储罐的腐蚀防护	504
第二节 石油化工常用防腐蚀涂料		一、储罐的类型	504
系统	485	二、储罐外壁的大气腐蚀	509
一、防腐蚀涂料的基本要求	485	三、罐底板和边缘板的腐蚀	510
二、钢结构框架	486	四、保温层下的腐蚀	511
三、工艺管线	487	五、原油罐浮船的腐蚀	511
四、石油钻探设备	488	六、埋地金属罐的外部腐蚀	511
五、裂解炉钢结构	489	七、油罐的内部腐蚀	511
六、石化换热器	490	第六节 储罐外壁涂料的选用	515
第三节 埋地管道的外防腐	491	第七节 储罐内壁涂料的选用	516
一、埋地管道的外防腐涂层要求	491	一、内壁涂料的基本类型	516
二、沥青类涂层	493	二、常用储罐内壁涂料体系	519
三、环氧煤沥青和聚氨酯沥青		第八节 储罐的内壁涂装工艺	521
涂层	494	一、涂料配套	521
四、厚浆型改性环氧涂料	496	二、现场要求	521
五、无溶剂酚醛环氧涂料	497	三、开工前储罐状态	522
六、环氧粉末涂层	498	四、钢结构预制车间底漆	523
七、聚乙烯防腐层	500	五、表面处理	523
八、硬质聚氨酯泡沫塑料防腐保		六、储罐内壁涂层的施工	524
温层	501	七、固化	525
九、聚乙烯胶黏带	502	八、涂装质量控制	525
第四节 天然气管道内壁防腐	502	第九节 储罐内的除湿和通风	526
一、内涂层的作用	502	一、储罐内涂装时的天气条件	526

二、除湿	527
三、通风	527
四、储罐内通风量的计算实例	528

附录：常用储罐内壁涂层耐荷载 清单	529
参考文献	533

第十六章 污水处理设施涂装

第一节 污水处理设施	535
一、污水处理概述	535
二、污水处理的设备	537
第二节 污水处理系统的腐蚀	539
一、腐蚀性分类	539
二、污水成分	544
三、污水处理系统中钢铁的腐蚀	545
四、污水处理系统中混凝土的腐蚀	546
第三节 污水处理系统防腐蚀涂料	548
一、涂料系统的选用目的	548

二、不同腐蚀环境下的涂料选用	549
第四节 混凝土污水处理池防腐	551
一、混凝土污水处理池防腐的 重要性	551
二、混凝土污水处理池的常用防腐蚀 方法	551
第五节 污水排放管道腐蚀防护	553
一、钢质排污管道	553
二、混凝土排污管道	554
参考文献	555

第十七章 船舶涂装

第一节 船舶涂料	556
一、船底部位	556
二、水线区	558
三、大气区	559
四、油舱	560
五、原油舱	561
六、压载水舱	561
七、饮水舱和淡水舱	562
八、货舱	562
九、机舱和泵舱	563
十、房舱	563
十一、各部位的涂料体系	563
第二节 防污漆	565
一、污损海生物	565
二、船壳粗糙度的影响	566
三、船舶防污漆	568
第三节 新建船舶	573
一、分段涂装	574
二、船台涂装	575
三、码头涂装阶段	575

四、坞内涂装阶段	576
五、交船前涂装	576
第四节 船舶维修涂装	576
一、船舶坞修涂装	577
二、货舱维修涂装	582
三、压载水舱涂装	586
四、甲板涂装	591
五、室内涂装	591
六、高速客轮维修涂装	592
第五节 成品油舱涂装	592
一、成品油舱涂料	593
二、涂装施工前准备	596
三、结构处理	600
四、表面处理	601
五、涂装施工	603
六、涂层修补	605
七、海水浸泡试验	606
八、检验项目、仪器和有关报告 文件	606
参考文献	608

第十八章 海洋工程涂装

第一节 海洋腐蚀环境	609	腐蚀控制标准	629
一、海洋工程装置	609	二、ISO 20340 标准介绍	630
二、海洋工程装置的腐蚀环境	610	三、NORSOK M-501	635
三、我国海上石油开发区腐蚀环境特征	614	第五节 海洋工程的涂装质量检查	637
第二节 海洋工程腐蚀控制的结构设计	615	一、涂装公司和人员的资质	638
第三节 海洋工程涂料	617	二、监理、领班和质检人员的资质	638
一、海洋工程涂料的发展	617	三、表面处理	639
二、海洋工程涂料应用的地区差异	618	四、涂装施工	640
三、涂装过程对涂料的影响	619	五、涂层质量测试和检查要点	641
四、新的涂料技术	621	第六节 海洋工程的维修涂装	642
五、海洋工程的防腐涂料体系	621	一、维修保养涂料的选择	642
第四节 海洋工程涂料的性能要求	629	二、船壳的维修涂装	643
一、海上固定式钢质石油生产平台的		三、直升机甲板的维修涂装	644
		参考文献	646

第十九章 工程机械涂装

第一节 工程机械涂装概述	647	八、强冷室	661
第二节 工程机械涂料	648	九、电气控制系统	662
一、底漆	648	十、喷涂设备	662
二、中涂漆	649	十一、覆盖件酸洗磷化前处理设备	663
三、腻子	650	十二、覆盖件阴极电泳设备	663
四、面漆	651	十三、前处理、电泳电控系统	664
第三节 涂装工艺	652	第五节 涂装质量管理	665
一、薄板覆盖件的涂装工艺	652	一、质量控制与检查	665
二、大型结构件涂装工艺	654	二、涂料在储存过程中产生的病态及防治	665
三、整机涂装工艺	656	三、涂料在施工和干燥固化中的病态及防治	666
第四节 工程机械涂装设备	657	第六节 涂装安全与环保	669
一、抛丸清理室	657	一、漆雾及废气处理系统	669
二、清洗室	659	二、粉尘处理	669
三、水旋式喷漆室	659	三、噪声治理	669
四、烘干室	660	参考文献	670
五、自行葫芦输送系统	660		
六、板式输送机	661		
七、水分烘干室	661		

第二十章 电力工业涂装防护

第一节 火力发电厂	671	一、火力发电厂的大气污染和腐蚀	
-----------	-----	-----------------	--

影响	671	蚀方案设计	696
二、大气环境中的钢结构	674	九、海水脱硫防腐涂料系统	702
三、循环水管	675	第三节 风力发电场	703
四、储罐	679	一、风电场简述	703
五、除氧器	679	二、风电场钢结构的涂料系统性能	
六、烟囱	681	要求	705
七、冷却塔	686	三、陆地风电场防腐涂料系统	705
第二节 烟气脱硫系统	689	四、海上风电场防腐涂料系统	707
一、烟气脱硫的工艺	690	第四节 核电站	709
二、湿法烟气脱硫的腐蚀机理	691	一、核电发展概述	709
三、海水脱硫的腐蚀机理	692	二、核电站安全壳内防护涂料	710
四、耐蚀材料	694	三、核电站防护涂料涂层其它性能	
五、玻璃钢衬里	694	要求	713
六、橡胶衬里	694	四、核电站防腐涂料系统	714
七、玻璃鳞片树脂衬里	695	参考文献	717
八、湿法烟气脱硫系统各部位防腐			

第二十一章 煤炭工业涂装防护

第一节 煤炭工业生产中的腐蚀	718	五、选煤洗煤环境的腐蚀	722
一、煤炭的开采与加工	718	第二节 煤炭工业防腐保护	723
二、煤炭工业腐蚀特征	719	一、重防腐涂料	723
三、煤炭矿井的腐蚀	720	二、金属涂层	725
四、露天煤矿的腐蚀	721	参考文献	727



第一章 材料的腐蚀与防护

第一节 金属的腐蚀与防护

腐蚀会造成各行各业，包括冶金、化工、矿山、交通、机械、农业、海洋开发和基础设施等的材料和能源的消耗以及设备的失效，而且还会进一步引起环境污染、爆炸以及人员伤亡等重大问题。基于对腐蚀造成的严重危害的认识，工业发达国家都对腐蚀所造成的损失进行了调查。1999年美国由 CC Technologies Laboratories 和 NACE International 负责执行，由交通部 (DOT) 的 FHWA (Federal High Way Administration) 管理的腐蚀调查数据表明，1998年总的腐蚀损失为每年 2757 亿美元，直接经济损失为 1379 亿美元。

我国于 1999 年启动的中国工程院咨询项目“中国工业与自然环境腐蚀问题调查对策”，历时 3 年，于 2001 年基本完成。腐蚀调查涉及了自然环境、化工、交通运输、基础设施、电力系统和能源系统、机械制造以及军事设施与装备等。用 Uhlig 方法推算，我国的腐蚀约为 5 千亿元，相当于 600 多亿美元。这是不完全统计，如果加上矿山、冶金、轻工、食品和造纸等的腐蚀，我国的年腐蚀损失会更大。

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。人们在日常生活中，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。非金属材料的迅猛发展，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。

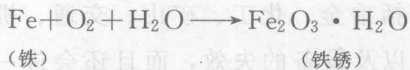
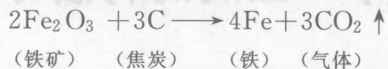
在腐蚀的定义中，包含了三个方面的研究内容，即材料、环境和反应的种类。

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。其它再如温度、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。

一、金属的腐蚀

(一) 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。除了少数贵金属外,自然态的金属都是以矿石形式(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金属。比如说,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。生成的最终产品铁和钢是不稳定的。因此当钢铁暴露在氧气和潮湿环境中,钢铁将趋向于恢复到原始的形态。



因此,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,例如铁、锌和铅等。消耗能量小的金属,腐蚀倾向就小,例如金这样的金属,在自然界中以单质金属砂金的形式存在,它就不易被腐蚀。

(二) 腐蚀的分类

按金属腐蚀过程的机理,可以将腐蚀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,因此电化学腐蚀是人们研究的重要对象。

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,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,金属的腐蚀可以划分为以下几类:

- (1) 大气腐蚀,金属材料在自然大气环境间因环境因素的作用而引起的腐蚀;
- (2) 水的腐蚀,金属在淡水、海水或其它水溶液中的腐蚀;
- (3) 土壤腐蚀,埋设在地下土壤中的金属的腐蚀;
- (4) 高温腐蚀,金属在高温环境下发生的腐蚀;
- (5) 化学介质腐蚀,金属在各种化学介质,如酸、碱和盐中的腐蚀。

其中,大气、水和土壤是大自然最基本的腐蚀环境,而金属材料绝大多数是在这三种腐蚀环境中使用的。

按照腐蚀的形态来分类,可以将腐蚀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、应力腐蚀破裂等。

(三) 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,对于其理论和实验的研究,可以参考相关专业书籍,这里仅作简要说明。

金属在电解质溶液中发生的腐蚀称为电化学腐蚀。电解质溶液能导电,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、海水和酸、碱、盐的水溶液,以及空气中冷凝结露都可以构成电解质溶液。

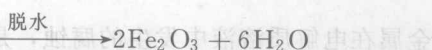
金属在电解质溶液中发生的电化学腐蚀可以简单地看作是一个氧化还原反应过程。

(1) 金属在酸中的腐蚀,例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:

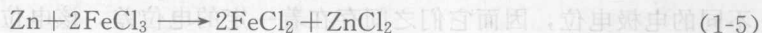


以锌在盐酸中的腐蚀为例,锌表面某一区域锌原子被氧化成锌离子进入溶液,并放出电子;电子通过金属传递到锌表面的另一区域被氢离子所接受,氢离子还原成氢气。锌溶解的这一区域被称为阳极,而产生氢气的这一区域被称为阴极。

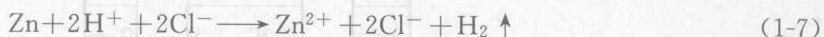
(2) 金属在中性或碱性溶液中的腐蚀,例如铁在水中或潮湿大气中的生锈,反应式为



(3) 金属在盐溶液中的腐蚀,例如锌、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的结果,没有反映出电化学反应的过程。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 HCl 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



这说明,锌在盐酸中的腐蚀,实际是锌与氢离子发生的反应。锌失去电子被氧化为离子,同时在腐蚀过程中,氢离子得到电子,还原为氢气。所以式(1-8)就可以分为独立的氧化反应和独立的还原反应。



离子反应式清晰地描述了锌在盐酸中发生电化学腐蚀的电化学反应,比腐蚀化学反应式更能揭示出锌在盐酸中腐蚀的实质。