

工业涂料与涂装技术丛书

# 防腐蚀涂料 与涂装技术

王受谦 杨淑贞 编著



化学工业出版社   
材料科学与工程出版中心

工业涂料与涂装技术丛书

# 防腐蚀涂料与涂装技术

王受谦 杨淑贞 编著

化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

防腐蚀涂料与涂装技术/王受谦, 杨淑贞编著. —北京:  
化学工业出版社, 2001.12

(工业涂料与涂装技术丛书)

ISBN 7-5025-3530-6

I. 防… II. ①王…②杨… III. ①金属表面  
保护-防腐漆-基本知识②金属表面保护-涂漆-技术  
IV. TQ637

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 080195 号

---

工业涂料与涂装技术丛书

防腐蚀涂料与涂装技术

王受谦 杨淑贞 编著

责任编辑: 顾南君

责任校对: 李林

封面设计: 郑小红

\*

化学工业出版社 出版发行  
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64918013

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

\*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

北京市彩桥印刷厂装订

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 10 字数 212 千字  
2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3530-6/TQ·1456

定 价: 25.00 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

## 出版者的话

随着材料技术和合成树脂的迅速发展，作为材料重要领域之一的涂料工业取得了长足的进步，正朝着高装饰性、高性能、功能化和低污染方向发展，以满足各行业日益迫切的需求。化学工业出版社组织相关行业长期从事涂料开发、研制、生产、应用和施工的数十位专家编写了《工业涂料与涂装技术丛书》。丛书共 17 分册。

船舶涂料与涂装技术

粉末涂料与涂装技术

铁道涂料与涂装技术

无机涂料与涂装技术

皮革涂饰剂与涂装技术

集装箱涂料与涂装技术

防腐蚀涂料与涂装技术

塑料橡胶涂料与涂装技术

石油工业涂料与涂装技术

建筑涂料与涂装技术

航空涂料与涂装技术

汽车涂料与涂装技术

家电涂料与涂装技术

海洋涂料与涂装技术

家具涂料与涂装技术

机床涂料与涂装技术

道路涂料与涂装技术

基于涂料行业本质上是一个服务性行业的特点，涂料必须经过涂装才能成为最终产品的认识，本丛书打破了以往以化学组成将涂料分为 18 大类分别叙述的格局，为适应广大用户的需求，采用以不同应用领域所需的涂料和它的施工技术为主线，从涂料与涂装一体化的观点出发，详细和系统地介绍了不同用途和不同底材对涂料的要求，适合不同底材的涂料种类、特点、配方设计的基本原理和典型的基础配方。强调了涂装工

艺、涂装技术和涂层质量管理体系等现代涂料和涂装观念，并辟专章讨论了涂装缺陷及其对策。

本丛书结合国情，取材新颖，内容技术先进，反映了我国涂料和涂装研究、开发、生产和应用水平。全书实用性强。希望本丛书的出版能对涂料、涂装及相关行业的工程技术人员和施工人员有所帮助。

化学工业出版社

## 前 言

材料腐蚀是全世界面临的一个严重的问题。腐蚀不仅消耗了人们创造的宝贵财富，而且破坏了生产、生活等许多活动的正常运行。腐蚀和环境污染的关系也越来越引起人们的关注。

据资料报道，全世界每年因腐蚀造成的经济损失大约在7000亿美元，约为地震、水灾、台风等自然灾害总和的6倍，占各国国民生产总值（GNP）的2%~4%。1995年Battelle实验室和北美特种钢公司（SSINA）的统计结果表明，美国平均每年腐蚀损失近3000亿美元，人均1100美元。

我国1995年统计，腐蚀损失约占国民生产总值（GNP）的4%，如果按计划完成“九五”期间降低1个百分点的设想，则可挽回600~800亿人民币的损失。钢铁因腐蚀而报废的数量约当年产量的25%~30%。

生产设备的腐蚀经常导致工厂停车停产、劳动生产率降低、成本增加，甚至发生火灾、爆炸等安全事故。

从事材料腐蚀与防护的研究与实践，是一项非常有意义的工作。为了防止腐蚀，人们创造了各种防腐蚀方法，涂料防腐蚀是其中最为广泛使用的一种。首先，是因为防腐蚀涂料品种繁多，用途广泛，尤其是近代化学工业的发展及其与相关技术的结合，使防腐蚀涂料有了显著的技术进步，具有许多能适应各种腐蚀环境的品种。其次，是涂料施工方便，能在工厂和工程现场进行涂装作业，有的修补和重涂工作可以在不停止生产的情况下进行。再次，涂料防腐蚀成本较低，与其他防腐蚀措

施相比，在一些大的工程上，如桥梁、长输管道、船舶、港口设施等方面，涂料防腐蚀具有原材料价格低、不需贵重设备仪器、施工期短和投入生产快的优势，而且从施工条件和工艺操作上讲，也是其他防腐蚀方法不能替代的。

当然，由于漆膜的机械性能、耐温性和有机化合物的耐老化性等涂料本身性质的局限性，决定了涂料的防腐蚀用途也有一定的局限性。

作者凭着几十年从事防腐蚀涂料研究开发工作的理论认识和实践经验收集到许多的国内外资料，本书根据这些资料编写而成。在材料取舍上以具有实际意义和一定的可操作性为重点，对一些报道性的或尚在考核中的品种收录较少。

防腐蚀涂料已有多年的应用历史，涂料防腐蚀理论的研究已取得具有指导性的成果。但是正如（美）威克斯教授所说，涂料防腐蚀仍然是一个尚未被完全了解的复杂过程。所以本书收集的个别理论观点是具有讨论性质的，相信对防腐蚀涂料的发展是有益的。

防腐蚀涂料涉及到涂料的各个大类，由于作者水平和收集资料有限，疏漏、偏颇和错误之处在所难免，敬请各位读者批评指正。

作 者

2001年8月

## 内 容 提 要

本书结合材料腐蚀，尤其是金属的腐蚀原理，从理论上深入探讨了涂料的防腐蚀作用和防腐蚀涂料应具备的基础性能，全面地对防腐蚀涂料用成膜物质、防锈颜料及辅助材料的性能、特点和用途进行了分析比较。

本书有很强的实用性和可操作性。在生产方面，收录了包括底漆、磁漆、清漆、防锈漆、防腐蚀漆、有机高分子涂料和无机涂料以及部分树脂的配方，大约有 150 余个（组），并介绍了部分品种的防锈、防腐蚀试验及它们的比较结果；在防腐蚀涂层设计方面，从腐蚀程度和腐蚀介质的分类、防腐蚀涂料选择原则、施工工艺等方面，提供了参考依据，并列举了国内外户外钢结构、桥梁、海上采油平台设备、长输管线等大型工程的防腐蚀涂层设计和施工方案。在涂装方面，本书详细介绍了表面处理、涂装方法、干燥方式及质量管理等。

本书可供从事涂料生产、科研、材料保护和工程设计工作的工程技术人员以及大专院校相关专业的师生参考。



# 目 录

<b>第一章 金属腐蚀概论</b> .....	1
<b>第一节 腐蚀的环境条件与腐蚀介质</b> .....	1
<b>第二节 金属腐蚀原理</b> .....	7
一、金属的化学腐蚀 .....	7
二、金属的电化学腐蚀 .....	9
三、腐蚀电池 .....	19
<b>第二章 材料保护与涂料防腐</b> .....	22
<b>第一节 材料保护的主要方法</b> .....	22
一、金属的电化学保护 .....	22
二、腐蚀介质处理法 .....	24
三、覆盖层保护 .....	25
<b>第二节 涂料防腐</b> .....	26
一、涂料分类与命名 .....	26
二、涂料防腐的特点 .....	29
三、涂料防腐作用 .....	29
四、选择防腐涂料的原则 .....	31
<b>第三章 防腐涂料的基本性能</b> .....	33
<b>第一节 成膜物质的性能与防腐的关系</b> .....	33
一、腐蚀介质对漆膜的透过性 .....	33
二、成膜物质的化学稳定性 .....	41
三、漆膜的老化和耐候性 .....	45
四、成膜物质的化学结构与漆膜的物理机械性能 .....	50
五、漆膜的附着力和湿附着力 .....	53
<b>第二节 颜料的防腐作用</b> .....	56

一、颜料的钝化作用 .....	57
二、颜料的磷化作用 .....	61
三、颜料的屏蔽性 .....	62
四、金属颜料对底材的电化学保护 .....	64
第三节 颜料体积浓度 <i>PVC</i> 和临界颜料体积浓度 <i>CPVC</i> .....	65
第四节 涂装性能及其他 .....	68
一、抑泡和消泡 .....	69
二、流平性和防缩孔 .....	70
三、防止流挂 .....	72
四、使用防锈性增效剂 .....	73
五、颜料及填料的配合使用 .....	73
<b>第四章 防锈漆品种 .....</b>	<b>75</b>
第一节 普通防锈漆 .....	76
一、铁红防锈漆 .....	76
二、云母氧化铁防锈漆 .....	78
三、铝粉防锈漆 .....	80
四、红丹防锈漆 .....	81
五、碱式硫酸铅防锈漆 .....	83
六、碱式硅铬酸铅防锈漆 .....	84
七、铬酸盐类防锈漆 .....	86
八、钼酸盐防锈漆 .....	88
九、磷酸盐颜料防锈漆 .....	89
十、偏硼酸钡防锈漆 .....	90
第二节 特种防锈漆 .....	92
一、磷化底漆 .....	92
二、富锌底漆 .....	95
三、锈面涂料 .....	104
四、车间底漆 .....	114
<b>第五章 防腐蚀涂料品种 .....</b>	<b>116</b>
第一节 环氧树脂类防腐蚀涂料 .....	116

一、防腐涂料用环氧树脂主要类型 .....	116
二、环氧树脂的主要化学反应 .....	119
三、环氧树脂的溶解性和与其他树脂的相容性 .....	120
四、环氧树脂类防腐涂漆 .....	122
第二节 聚氨酯类防腐涂料 .....	134
一、涂料用多异氰酸酯及其衍生物 .....	135
二、涂料用多羟基组分 .....	141
三、聚氨酯防腐涂料 .....	141
第三节 橡胶树脂防腐涂料 .....	152
一、氯化橡胶防腐涂料 .....	153
二、氯磺化聚乙烯防腐涂料 .....	158
第四节 含氯聚烯烃类防腐涂料 .....	163
一、过氯乙烯防腐涂料 .....	164
二、氯乙烯/乙酸乙烯共聚树脂防腐涂料 .....	167
三、氯乙烯/偏氯乙烯防腐涂料 .....	169
四、高氯化聚乙烯防腐涂料 .....	170
五、氯化氯乙烯/乙酸乙烯共聚树脂防腐涂料 .....	173
六、氯乙烯/乙烯异丁基醚共聚物防腐涂料 .....	174
第五节 酚醛树脂防腐涂料 .....	177
一、油基酚醛耐酸漆 .....	179
二、酚醛/环氧酯烘干防腐清漆及磁漆 .....	179
三、热固性酚醛防腐涂漆 .....	180
第六节 呋喃树脂防腐涂料 .....	182
一、漆用呋喃树脂 .....	182
二、呋喃树脂防腐涂漆 .....	184
第七节 生漆及其改性树脂防腐涂料 .....	187
一、生漆及生漆防腐涂漆 .....	187
二、改性生漆防腐涂漆 .....	190
第八节 重防腐涂漆 .....	192
第六章 防腐涂漆设计 .....	194

第一节 涂层有效保护期限的设定 .....	194
一、腐蚀程度和腐蚀介质的分类 .....	194
二、防腐蚀涂层的有效保护期的设定 .....	196
第二节 涂料品种的选择 .....	197
一、环境条件 .....	197
二、底材情况 .....	198
三、施工条件 .....	200
第三节 涂层的配套 .....	200
一、底漆、中层漆和面漆的配套 .....	200
二、涂层厚度与涂装道数 .....	201
三、涂层的颜色 .....	204
第四节 涂装体系 .....	204
一、户外钢结构涂装体系 .....	204
二、桥梁涂装体系 .....	207
三、地下管道和设备管道涂装体系 .....	209
四、大型贮气柜工程涂装体系 .....	211
五、化工建筑防腐蚀涂装体系 .....	214
六、海上采油平台生产设备重防腐蚀涂装体系 .....	216
七、化工设备内壁涂装体系 .....	218
<b>第七章 防腐蚀涂装 .....</b>	<b>220</b>
第一节 金属表面处理 .....	220
一、除锈 .....	223
二、除油方法 .....	233
三、金属表面化学转化 .....	237
第二节 混凝土的表面处理 .....	241
一、混凝土表面含水量的要求 .....	242
二、对碱性表面的处理 .....	242
三、混凝土表层的封闭和加强 .....	242
四、混凝土表层的修补 .....	243
第三节 涂漆作业 .....	243

一、刷涂 .....	243
二、空气喷涂 .....	244
三、高压无气喷涂 .....	245
四、静电涂装 .....	248
五、电泳涂装 .....	250
第四节 漆膜干燥 .....	252
一、物理干燥和化学干燥 .....	253
二、涂料的干燥方法 .....	254
第五节 漆膜缺陷及其产生的原因 .....	263
<b>第八章 防腐蚀涂料性能和涂装质量检测</b> .....	<b>270</b>
第一节 防腐蚀涂料产品质量检测 .....	270
一、防腐蚀涂料产品标准 .....	270
二、通用检验方法标准 .....	270
第二节 防腐蚀涂料的重要性能检测项目和方法 .....	273
一、涂层耐候性试验 .....	274
二、漆膜耐盐雾和耐盐水试验 .....	275
三、漆膜耐腐蚀性试验 .....	276
四、漆膜耐湿热性试验 .....	278
五、漆膜耐阴极剥离性试验 .....	279
第三节 防腐蚀涂装质量监督 .....	280
一、涂装前的准备 .....	280
二、涂装质量监督控制 .....	280
<b>第九章 防腐蚀涂装安全生产和劳动卫生</b> .....	<b>285</b>
第一节 易燃、易爆化学物质 .....	285
一、有机溶剂类 .....	285
二、易燃、易爆粉尘 .....	287
第二节 涂装过程安全防火注意事项 .....	287
一、空气喷涂防火注意事项 .....	288
二、静电涂装防火注意事项 .....	289
第三节 干燥过程安全防火注意事项 .....	289

一、烘房和烘箱的注意事项 .....	290
二、烘炉的注意事项 .....	290
第四节 消防要求 .....	290
第五节 劳动卫生 .....	292
<b>第十章 展望 .....</b>	<b>296</b>
<b>附录 1 各种常用粘度近似值对照表 .....</b>	<b>298</b>
<b>附录 2 涂布面积换算表 .....</b>	<b>300</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>302</b>

# 第一章 金属腐蚀概论

## 第一节 腐蚀的环境条件与腐蚀介质

所有的材料因环境中某些介质的作用而发生的破坏都可称为腐蚀。例如，金属的溶解或生锈、高分子材料的老化、混凝土和砖石的风化与溶蚀等等。发生腐蚀的原因，除了与材料本身的性质有关之外，还与材料所处的环境条件及其含有的腐蚀介质有密切关系。所以在研究材料腐蚀及保护问题时，应该了解材料所处的腐蚀环境及造成腐蚀的主要因素，以便采取相应的措施。

采用涂料保护材料时，经常涉及到的腐蚀环境及腐蚀介质，可以归纳为以下几个方面。

### (一) 天然大气

大约在 80% 以上的金属结构是在户外大气条件下使用的。天然大气中的主要腐蚀介质是氧和水。大气含氧量约占总体积的 1/5，氧化和去极化作用是它破坏各种材料及加速腐蚀的主要方式。水分的含量因季节和地区而异，大气中的雨雪霜露及水蒸气都是水的不同状态。水是金属电化学腐蚀的主要介质：在 高分子材料水解降解的化学反应及混凝土、砖石的溶蚀和冻融破坏的物理过程中水起主要作用。

另外，春夏秋冬、白昼黑夜、阳晴阴雨引起的温度、湿度及光照的变化，造成了一个冷热、干湿交替的比较苛刻的防腐蚀环境。

近年来因臭氧层破坏导致紫外线辐射增强，对高分子材料的破坏也引起了人们的关注。

天然大气，现在被称为“洁净空气”，在工业发达的今天，已经越来越少。相对而言，“洁净空气”是腐蚀最轻的环境。

### (二) 工业大气

过去多称为化工大气，实际上不应仅仅理解为化工厂的大气，而应统指被化学物质污染的空气。工业大气的污染源来自化工、石油、冶金、炼焦、水泥等多种行业。它们所泄露的气体或排放的未经处理的废气中，含有  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{NH}_3$  及许多氮氧化合物，不仅污染环境、危害人体健康，而且工业大气的防腐蚀条件比“洁净空气”苛刻得多，对户外钢结构、设备、交通工具、桥梁、混凝土构筑物等的腐蚀远比洁净空气严重。表 1-1 列出大气组成对含碳 0.17% 的钢材气体腐蚀速度的影响。

表 1-1 大气组成对含碳 0.17% 的钢材气体腐蚀速度的影响

空气组成	相对腐蚀量	空气组成	相对腐蚀量
洁净空气	100	洁净空气中加入 5% $\text{H}_2\text{O}$	135
洁净空气中加入 5% $\text{SO}_2$	118	大气中加入 5% $\text{H}_2\text{O}$ 和 5% $\text{SO}_2$	278

大气中的  $\text{CO}_2$  能使混凝土“碳化”，引起混凝土体积变化、构筑物发生裂缝、强度下降，同时使得其他腐蚀介质沿缝隙渗入内部，对钢筋造成腐蚀。

工业大气含有较多的粉尘，不论是盐粒、沙子、碳粒还是其他尘土，都是腐蚀介质的作用中心，破坏往往从此处开始。

### (三) 酸雨的侵蚀

酸雨的危害已成为全球性的严重问题。北美、欧洲和我国的粤、桂、川、贵地区已成为世界上的主要酸雨区。据报道



说，目前我国酸雨区已占国土总面积的 30%，1994 年对 77 个城市的统计结果表明，80% 以上的城市出现过酸雨。

酸雨给户外金属结构物、电力输送设施、桥梁、汽车、火车、港口设备及混凝土构筑物带来的大范围的难以防御的腐蚀危害，给古建筑和文物造成的损失更是难以估量。

酸雨对漆膜的损坏情况也很严重，降落在漆膜上的酸雨，经日晒浓缩，pH 值可由 5 左右降到 2 以下；阳光下的漆膜表面温度有时可达到 30~70℃，在热、酸和水的作用下，漆膜软化、水解，形成污点、点蚀和开裂，保护功能降低。表 1-2 为我国几个城市酸雨 pH 值抽样测定结果。

表 1-2 我国几个城市酸雨 pH 值抽样测定结果

城 市	上海	天津	广州	沈阳
雨水 pH 值	4.0	6.0	3.8	5.2

注：因测定时间、地点的差别，此数据仅说明酸雨的存在，不具代表性。

#### (四) 沿海地区和海洋气候

众所周知，海水中含有易电离的高导电率的盐类，不同海洋的海水含盐量有所不同，一般在 1%~3.9% 左右；海水易于溶解气体，含氧量可达 0.4 g/L；附着在材料上的海洋生物，也有一定的侵蚀性，这类情况构成了金属在海水中强烈腐蚀的原因。

滨海地区的土壤中，含有大量的盐分，有的地区的土壤被称为“盐渍土”；有些滩涂地带几乎常年浸泡在海水中。这些地区的土壤都有很强的腐蚀性。

海洋和近海地区的气候，与一般大气不同之处是湿度大、水与空气中含盐量多，所以金属的腐蚀速度远远高于在一般大气中。有人试验测得，在低湿度的大气中低碳钢的腐蚀速度为