



COATINGS TECHNOLOGY

涂料工艺

第四版 下册

刘登良 主编



化学工业出版社

COATINGS TECHNOLOGY

涂料工艺

第四版

下册

刘登良 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

TQ630.1
L603.04

《涂料工艺》第四版在保持第三版基本结构的基础上,从市场经济条件下对涂料技术发展和管理的出发进行修订。全书共分五篇:导论、涂料原材料、涂料各论、涂料的制造过程控制、涂装过程控制。涂料原材料篇尽量引入新观念、新材料、新原理和新标准,力求在与国际接轨的同时而又兼顾我国是发展中国家的现实,坚持先进性、实用性和经济性的统一。涂料各论篇按用途进行编写,涵盖涂料的基本品种,力求反映其现代技术水平,除提供实用的基础配方外重点讲述配方原理。涂料的制造过程控制篇介绍了涂料生产设备、涂料工厂设计、原料与产品的标准和检验,更加强调法规要求。涂装过程控制篇增加了涂料涂装工艺一体化的理念,强调了涂装现场管理和技术服务的重要性。

全书从涂料的基础知识、基本理论、原材料和产品性能要求和检测标准、配方原理、涂料生产过程控制、涂装工艺要求、涂装技术服务和涂装缺陷控制等方面对涂料工艺进行系统和全面的论述,帮助涂料行业从业人员树立涂料工艺的整体观,为涂料技术创新拓展思路。同时新版力求保持第三版实用性特点,所列配方翔实可靠,并标明原材料规格和供应商。本书可供涂料和涂装行业的工程技术人员、管理人员和技师阅读,也可作为大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

涂料工艺/刘登良主编.—4版.—北京:化学工业出版社,2009.12

ISBN 978-7-122-06676-3

I. 涂… II. 刘… III. 涂料-工艺学 IV. TQ630.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 165727 号

责任编辑:顾南君

文字编辑:冯国庆、王琪、向东、管景岩、林丹、李玥

责任校对:宋 夏

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:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 129 字数 3428 千字 2010 年 1 月北京第 4 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:280.00 元

版权所有 违者必究

前言

《涂料工艺》自 1970 年问世, 历经 1992~1996 年改版为 6 个分册, 1997 年再改为第三版的合订两册。《涂料工艺》第二版于 1997 年获第八届全国优秀科技图书二等奖; 于 1998 年获国家石油和化学工业局科技进步二等奖。作为涂料行业集体智慧的结晶和权威的专著哺育了两代涂料专业技术和管理人员, 功不可没。但是, 对涂料工艺的认识基本上还处在计划经济的思维体系和框架中。最近十几年来, 在改革开放和国民经济快速稳定增长, 以及中国成为“世界制造基地”, 在经济全球化和市场国际化的推动下, 中国涂料行业的发展进入了快车道。从 20 世纪 90 年代的 100 万吨/年猛增至 2008 年的 600 多万吨/年, 中国已成为世界第一大涂料生产和消费国。世界排名前二十位的跨国公司都已进入中国市场并完成了本地化生产的战略布局, 成为中国涂料行业重要组成部分。再加上大批原材料、涂料设备和检测仪器供应商的进驻, 中国涂料行业的技术发展水平、产品结构和管理水平迅速与国际接轨, 融入国际化竞争的大环境。与此同时, 在涂料研发和生产工艺控制中, ISO 9001 质量管理体系、ISO 14001 环境管理体系、ISO-18000 安全和职业健康管理体系等先进的管理理念在行业中实践了十多年。而可持续发展的科学发展观对行业的技术发展方向提出更高的要求: 节能、减排、省资源、安全和环保, 以及日益从紧的法律法规。涂料行业与涂装行业紧密结合, 为用户提供满意的服务和最终效果, 实现由涂料制造业向“加工服务业”转变的理念将推动涂料行业技术迈向新的台阶。此外, 新版中还引入技术经济的观念。作为工艺学, 处理好技术发展的先进性、实用性、可行性、经济性和可靠性-风险分析等之间的关系, 并适当地介绍现代技术研发 R&D 的项目管理的基础要求, 以提高研发的效率和效益。以上所述正是《涂料工艺》第四版编写的宗旨。

在整体结构保持第三版基本框架的基础上, 按新的涂料分类标准 GB/T 2705—2003 向国际标准靠拢, 全书分为五篇: 导论——涂料基础知识和原理、涂料工艺范畴; 原材料篇——介绍了成膜物、颜料、分散介质和助剂; 涂料各论篇——按用途叙述, 充实内容、拓展领域; 涂料制造过程控制篇——涂料原材料、中间体和成品检测与质量控制, 突出法律和法规的要求, 补充现代质量管理体系; 涂装过程控制篇——突出涂料涂装一体化的理念、涂装现场管理和技术服务。帮助工程技术人员建立系统的涂料工艺观——从原材料控制、涂料配方设计理论、涂料生产工艺、涂料性能检测至涂装工艺研发和涂装技术服务体系等。

本次改版工作得到中国涂料工业协会全力支持。以中涂协专家委员会为基础, 动员了七十多位专家参与写作, 力求从国际化视野反映我国目前涂料行业的技术水平, 并对未来国际化竞争环境下涂料工艺的发展趋势加以阐述。同时聘请涂料行业的资深专家担任编委对各篇进行把关, 其具体分工如下: 虞兆年和洪啸吟负责原材料树脂、分散介质的审定, 钱伯容负责颜填料、助剂、卷材涂料的审定, 石玉梅负责建筑涂料的审定, 叶汉慈负责不饱和树脂、木器涂料和塑料涂料的审定, 沈浩负责涂料原材料和产品检验、涂料生产设备、工厂设计的

审定，刘国杰负责有机硅树脂、航空航天涂料的审定，刘会成负责集装箱涂料、涂装过程控制篇的审定，王健和李荣俊负责海洋涂料和重防腐涂料的审定，刘登良负责导论编写及其余部分的审定并通审全稿。希望广大读者一如既往地支持《涂料工艺》新版发行，多提宝贵意见，以利于不断改进，办成精品，保持其在涂料行业的权威地位，为推动中国涂料行业的发展继续做贡献。

海洋化工研究院、中海油常州涂料化工研究院、江苏兰陵化工集团有限公司等对编委会的工作提供大力支持，在此表示衷心感谢！

《涂料工艺》编委会
2009年9月

下册目录

第三篇 涂料各论

第三章 重防腐涂料 991

第一节 金属腐蚀与防护

简论..... 李荣俊 李兴仁 991

一、金属腐蚀的定义 991

二、金属腐蚀的危害性 991

三、金属腐蚀的分类 992

四、金属在自然环境中的腐蚀 995

第二节 重防腐涂料简述 ... 李荣俊 孙凌云 1011

一、重防腐涂料的特点 1011

二、常用重防腐涂料简述 1014

第三节 重防腐涂料涂装 李荣俊 黄安 李华刚 1037

一、重防腐涂装设计原则 1037

二、“全寿命经济分析法”设计思想简介 ... 1037

三、防腐涂层配套体系的设计 1037

四、重防腐涂装施工工艺要点 1046

第四节 混凝土结构的腐蚀

与防护 林绍基 李荣俊 1049

一、混凝土结构腐蚀的严重性 1049

二、钢筋混凝土结构的腐蚀机理 1051

三、钢筋混凝土腐蚀环境分析 1055

四、混凝土结构腐蚀防护措施 1056

五、混凝土防护涂层配套体系 1058

六、混凝土结构防护涂装的特殊性和施工

工艺要点 1059

第五节 典型重防腐涂料与涂装 1062

一、桥梁防腐涂料与

涂装 孙凌云 李兴仁 1062

二、石油化工防腐涂料 刘新 1075

三、建筑钢结构防腐涂料 刘新 1088

四、港口机械与设备钢结构防护

涂装 马赫 李荣俊 刘新 1096

五、电力系统用防腐涂料 黄安 李桂宁

宋志荣 史春晖 1101

六、地坪涂料 周子鹤 1122

七、耐温防腐涂料 唐峰 王健 1135

八、机车涂料 孟庆昂 1142

九、工程机械涂料 刘新 易海瑞 1146

参考文献 1151

第四章 海洋涂料 1153

第一节 船舶涂料 1153

一、船舶涂料概况 王健 1153

二、车间底漆 王健 袁林森 1155

三、船底防锈漆 金晓鸿 1161

四、船底防污漆 任卫东 王健 1166

五、船壳/甲板漆 唐海英 1186

六、各种舱室漆 金晓鸿 朱红 1194

七、船舶漆的

涂装 龚骏 朱洪 王健 1204

第二节 集装箱涂料 刘会成 1220

一、集装箱涂料简介 1220

二、集装箱涂料的配套方案和集装箱

涂料 1224

三、集装箱生产线及对涂料性能的要求和

影响 1230

四、常见的涂膜弊病及解决方法 1236

五、集装箱涂料、涂装的发展趋势 1239

第三节 海洋工程重防腐

涂料 刘新 杜阳 1241

一、海洋油气资源开发及海洋工程简史 ... 1241

二、海洋工程结构物分类 1242

三、海洋的腐蚀环境 1243

四、海洋工程防腐蚀涂料的发展 1245

五、海洋工程防腐涂料 1247

六、海洋工程防腐蚀涂料性能要求 1251

七、海洋工程防腐涂料系统 1257

八、海洋工程涂装质量要求 1263

参考文献 1266

第五章 预涂卷材涂料	王利群 1267
第一节 预涂卷材概述	1267
第二节 预涂卷材生产工艺	1270
第三节 底材的预处理	1272
一、脱脂	1272
二、表面调整处理	1273
三、化学转化处理	1273
四、环保型处理液	1274
第四节 预涂卷材涂料概述	1275
一、预涂卷材涂料的特点和性能要求	1275
二、预涂卷材涂料的组成	1275
三、预涂卷材涂料性能的影响因素	1280
四、预涂卷材涂料的性能检验标准	1281
五、预涂卷材涂料的性能检验方法	1284
第五节 预涂卷材用底漆	1284
一、预涂卷材底漆概述	1284
二、预涂卷材底漆的组成	1285
三、环氧类底漆	1288
四、聚酯类底漆	1289
五、高性能卷材底漆	1290
六、水性底漆	1290
第六节 预涂卷材用面漆	1291
一、预涂卷材用面漆概述	1291
二、聚酯类面漆	1291
三、聚乙烯类面漆	1293
四、丙烯酸类面漆	1293
五、耐久型面漆	1294
第七节 预涂卷材用背面漆	1296
一、背漆概述	1296
二、环氧背漆	1297
三、聚酯背漆	1297
第八节 卷铝涂料	1299
一、卷铝及铝塑复合板生产工艺	1299
二、卷铝涂料	1301
第九节 卷材涂料新进展	1304
一、家电用卷材涂料	1305
二、汽车用卷材涂料	1307
三、食品罐用卷材涂料	1308
四、隔热卷材涂料	1309
五、纳米材料的应用	1310
六、特殊功能性彩板用卷材涂料	1311
七、环保卷材涂料	1312
八、结论	1314
参考文献	1314
第六章 塑料涂料	李少香 1316
第一节 塑料底材的特征	1317
一、塑料的组成与分类	1317
二、塑料的特性	1318
三、常用塑料性能简介	1320
第二节 塑料涂料的附着力	1325
一、塑料制品的表面张力及液体在聚合物表面润湿和铺展的基本条件	1325
二、溶解度参数	1327
三、提高漆膜附着的途径	1327
第三节 塑料底材的表面处理	1329
一、塑料的常规处理方法	1329
二、表面应力的消除	1344
三、表面处理的评价方法	1344
第四节 塑料用涂料的分类	1345
一、塑料用涂料选择基本原则	1345
二、主要塑料底材用涂料	1347
第五节 塑料涂料的涂装	1359
一、塑料涂料涂装施工方法	1360
二、塑料制品表面处理	1361
三、涂膜干燥类型	1362
四、塑胶漆涂膜的性能测试	1362
五、最新塑胶涂装方法	1364
六、塑胶漆膜缺陷及分析	1365
参考文献	1366
第七章 木用涂料	1367
第一节 木用涂料沿革	叶汉慈 1367
第二节 木材与木质材料的特性及涂装前的基本要求	吴智慧 叶汉慈 1367
一、木材的特性	1367
二、木质材料的特性	1371
三、木制品应为涂装提供的条件	1376
第三节 木用涂料的品种及分类	叶汉慈 张纯名 1376
一、木用涂料的品种	1376
二、木用涂料产品分类	1379
第四节 木用涂料产品基础配方及原理	王庆生 谢晓芳 曾光明 赖 华 1382
一、腻子	1382
二、封闭底漆	1386
三、底漆	1388
四、面漆	1396
五、固化剂	1416

六、稀释剂	1441
七、蓝、白水	1443
八、着色材料	1445
第五节 木用涂料产品的	
涂装应用	叶汉慈 张纯名 1450
一、现场调配	1450
二、涂料产品底面漆配套原理	1451
三、木用涂装常用涂装工艺	1452
第六节 木用涂装常见问题的现象、原因	
及处理	叶汉慈 张纯名 1473
一、涂料涂装前常见漆病的预防及处理 ..	1473
二、涂料涂装过程中常见漆病的预防及	
处理	1474
三、涂料涂装之后常见漆病的预防及	
处理	1478
四、木用涂料涂装管理与涂装难题	1479
第七节 木用涂料主要性能指标	
及检验	刘 红 1481
一、木用涂料需要控制的指标	1481
二、有关木用涂料性能的国家标准和行业	
标准	1482
三、木质家具标准中对涂膜性能的要求 ..	1486
四、通用检验方法	1488
五、特殊指标和特殊检测方法	1491
六、木用涂料生产、施工、成膜后的有害	
物质标准及测试方法	1494
第八节 木用涂料与涂装的发展	叶汉慈 1499
一、家具的发展	1499
二、底材应用	1499
三、木用涂料的发展	1499
四、木用涂装的发展	1501
五、综述	1501
参考文献	1501

第八章 粉末涂料

史英骥 1504

第一节 热塑性粉末涂料	1505
一、乙烯基类粉末涂料	1506
二、聚烯烃粉末涂料	1509
三、尼龙粉末涂料	1513
四、热塑性聚酯粉末涂料	1515
第二节 热固性粉末涂料	1516
一、纯环氧型粉末涂料	1516
二、环氧/聚酯混合型粉末涂料	1519
三、纯聚酯型粉末涂料	1522
四、丙烯酸型粉末涂料	1525
五、其他类型粉末涂料及辐射固化的	

粉末涂料	1526
第三节 热固性粉末涂料的生产技术	1529
一、粉末涂料的配方及原材料	1529
二、粉末涂料的生产工艺	1544
三、粉末涂料生产及产品质量控制	1552
第四节 热固性粉末涂料的涂装工艺	1557
一、表面处理	1557
二、粉末涂料的涂装	1560
三、展望	1573
参考文献	1574

第九章 航空航天

涂料 .. 孟军锋 马 宏 冯俊忠 1575

第一节 飞机蒙皮涂料	1576
一、飞机蒙皮涂料的现状 & 趋势	1576
二、飞机蒙皮涂料的作用	1579
三、飞机蒙皮涂料的组成	1582
四、飞机蒙皮涂料施工	1587
五、飞机蒙皮涂料展望	1588
第二节 消融隔热涂料	1589
一、概述	1589
二、消融材料	1591
三、消融隔热涂层的作用机理	1593
四、消融隔热涂料的配方设计原则	1598
五、消融隔热涂层的组成	1599
第三节 隔热保温涂料	1608
一、概述	1608
二、热控涂料	1609
三、耐高温隔热保温涂料	1617
四、小结	1621
参考文献	1621

第十章 机床涂料与涂装

谢 劲 1623

第一节 概述	1623
一、涂装的作用	1623
二、机床涂装作业特点	1623
第二节 机床涂装用涂料	1624
一、机床涂装用涂料选用原则	1624
二、机床涂装常用涂料	1625
第三节 机床涂装工艺	1638
一、机床零、部件涂装工艺	1638
二、机床钣金件涂装工艺	1641
三、成品机床涂装工艺	1642
四、机床一次涂装工艺	1644
五、美术漆及其涂装工艺	1645

六、机床涂装中常见的漆膜弊病及防止方法	1650
第四节 机床色彩格调	1653
一、机床色彩格调选择原则	1653
二、机床色彩配置原则	1653
三、世界各地对色彩的爱好与禁忌	1654
第五节 机床涂层质量的检验	1655
一、涂层外观质量检验	1655
二、涂层耐湿热试验	1656
三、涂层耐工作介质试验	1657
参考文献	1657

第十一章 防火涂料 王华进 1658

第一节 防火涂料概述	1658
第二节 防火涂料的分类	1659
第三节 防火涂料的防火机理	1659
第四节 防火涂料的组成	1673
一、基体树脂	1673
二、阻燃剂	1676
第五节 防火涂料的配方设计	1680
一、钢结构防火涂料的配方设计	1681
二、环氧防火涂料的基本配方及检测方法	1690
第六节 防火涂料的发展	1691
参考文献	1694

第十二章 道路交通标线涂料 杜玲玲 1695

第一节 标线涂料的特殊性能要求	1695
第二节 我国现有标线涂料的主要品种	1696
第三节 标线涂料的组分、配方和生产	1696
一、热熔标线涂料	1696
二、溶剂标线涂料	1699
三、水性标线涂料	1701
四、双组分标线涂料	1702

五、路面防滑涂料	1703
----------------	------

第四节 标线涂料的标准和检测 1703

一、标线涂料的标准	1703
二、标线涂料特定的检测项目	1707
三、按普通涂料常规检测的检测项目	1709
四、标线涂料的实用性能考核	1709

第五节 标线施工材料的合理选用 1710

一、各种标线涂料的性能和优缺点对比	1710
二、标线使用性能室内模拟试验结果	1710
三、标线涂料的合理选用	1711
四、标线用玻璃珠的正确选择和使用	1712

第六节 标线涂料的施工 1715

一、标线施工的特点	1715
二、市售标线涂料的选择依据	1716
三、标线的分类	1716
四、标线质量的基本要求	1716
五、标线划设的工序	1717
六、各种标线涂料的施工设备、施工参数和注意事项	1717

第七节 标线施工质量的控制 1720

一、标线施工质量的要求	1720
二、热熔标线涂层缺陷形态、产生原因和防止措施	1722
三、溶剂、水性和双组分标线涂层缺陷形态、产生原因和防止措施	1723

第八节 标线涂料的技术进展 1725

一、新开发的标线涂料	1725
二、国外有关标线涂料的技术标准	1725
三、中国、日本、英国、美国热熔反光标线涂料标准的对比	1727
四、欧洲标准 ZTV M02 手册对反光标线材料的最低要求	1728
五、标线涂料的发展趋势	1729

参考文献	1730
------------	------

第四篇 涂料制造过程控制

第一章 涂料生产设备 1731

第一节 树脂、漆料和清漆生产

设备	潘元奇 1731
----------	----------

一、概述	1731
二、反应装置	1733
三、加热设备	1756
四、净化设备	1765

第二节 色漆生产设备 潘元奇 1775

一、概述	1775
二、预分散设备	1776
三、研磨分散设备	1788
四、调漆设备	1817
五、过滤设备	1819

第三节 过程管理 陈 苹 1822

一、ISO 9000 标准	1822
二、过程管理的理解和应用	1824
三、涂料生产和服务提供的过程管理	1826

四、ISO 14000 简介	1828
参考文献	1832
第二章 涂料工厂设计	戴蓉晖 1834
第一节 绪论	1834
第二节 商务计划、项目建议和工厂选址	1834
第三节 可行性研究	1836
第四节 工厂基础设计和配套设施设计	1839
一、总图总平面布置	1839
二、公用及辅助工程	1839
三、建筑结构形式	1841
四、消防	1845
五、环境保护	1849
六、职业安全卫生	1851
第五节 工厂生产装置	1855
一、设备设计应遵循的主要法规和标准、规范	1855
二、树脂合成工艺	1855
三、涂料生产工艺	1856
四、涂料生产主要设备	1857
参考文献	1858
第三章 涂料性能测试	钱叶苗 1860

第一节 概论	1860
一、涂料性能	1860
二、涂料产品的技术指标与标准	1861
三、涂料检测的目的与特点	1863
四、涂料检测的发展与标准化	1864
第二节 涂料产品检测	1865
一、涂料产品的取样	1865
二、涂料原始状态的检测	1867
三、涂料施工性能的检测	1879
第三节 涂膜性能检测	1885
一、均匀涂膜的制备	1886
二、涂膜的表现及光学性能的检测	1887
三、涂膜力学性能的检测	1891
四、涂膜耐物理变化性能的检测	1901
五、涂膜耐化学及耐腐蚀性能的检测	1902
六、涂膜耐久性能的检测	1909
第四节 涂料和涂膜的组成分析	1914
一、涂料和涂膜的组分分离	1914
二、涂料组分的单项分析	1915
三、涂料和涂膜的全面分析	1916
四、涂膜结构电子显微镜检查	1919
参考文献	1920

第五篇 涂装过程控制

第一章 涂料涂装一体化的概念	1922
第一节 涂装配套设计	刘会成 1922
一、涂膜使用环境分析	1923
二、经济性分析	1923
三、表面处理的类型和方法的选择	1924
四、涂料的选择	1924
五、涂膜期待使用寿命分析	1926
六、涂装配套的选定	1926
第二节 涂装工艺的制定	刘会成 1928
一、表面处理要求及注意事项	1928
二、涂装方法的选择	1928
三、涂料的准备	1929
四、涂装过程的要求	1929
五、涂膜检验	1929
六、安全注意事项	1930
七、涂装工艺指导书举例	1930
第三节 产品说明书的编制	赵琪慧 1931
一、产品说明书的基本要求	1931

二、产品说明书的具体内容	1932
第四节 化学品安全技术说明书的编写	赵琪慧 1933
一、MSDS 的意义	1934
二、对于 MSDS 的编制要求	1934
三、MSDS 的使用	1936
参考文献	1937
第二章 底材表面处理标准和检测方法	1938
第一节 钢材表面的物理处理方法	刘会成 1938
一、手工工具清理	1938
二、动力工具清理	1939
三、喷射处理	1940
四、钢铁表面处理的相关标准	1943
第二节 钢材表面的化学处理	林安 方达经 1950
一、除油脂	1951
二、酸洗	1952

三、磷化处理	1953	二、特点	1990
四、铬酸盐处理	1954	三、浸涂设备	1990
五、金属表面化学处理的检测标准	1956	四、浸涂工艺	1991
第三节 其他金属的表面处理	1957	第七节 帘幕淋涂法	1991
一、锌及锌合金的表面预处理	1957	一、原理	1991
二、铝及铝合金的表面预处理	1958	二、幕涂法的特点	1991
第四节 混凝土的表面处理	林 安 1960	三、幕涂设备组成	1992
一、清除表面油污和其他脏物	1960	四、幕涂工艺	1993
二、清除水泥浮浆、泛碱物及其他松散物质	1960	第八节 抽涂法	1993
三、清除表面光滑的方法	1960	一、原理	1993
四、混凝土表面气孔及缝隙的处理	1960	二、特点	1994
第五节 塑料及橡胶表面处理标准和检测		第九节 辊涂法	1994
方法	林 安 1960	一、原理	1994
一、塑料及橡胶表面处理的方法	1961	二、辊涂机的构造	1994
二、塑料及橡胶表面处理的检测方法	1962	三、辊涂机的种类	1995
第六节 木材的表面处理		四、辊涂工艺	1995
..... 刘林生 罗先平 刘志刚 周琼辉	1962	第十节 电泳涂装法	1996
一、木材的种类及特征	1962	一、原理	1996
二、木材涂装前处理的意义	1962	二、特点	1997
三、木材涂装前处理的方法	1963	三、工艺过程	1997
参考文献	1965	四、主要工艺参数	1997
		五、电泳涂装设备	1998
第三章 涂料施工方法	李继华 1967	第十一节 自沉积涂漆法	1999
第一节 刷涂法	1967	一、原理	1999
一、刷涂的特点	1967	二、特点	1999
二、漆刷的类型	1968	三、电泳涂装工艺	1999
三、刷涂基本操作方法	1968	四、影响因素	2000
第二节 刮涂法	1969	第十二节 粉末涂装方法	2000
一、刮涂用具	1970	一、静电涂装法	2000
二、刮涂的基本技法	1970	二、流化床涂装法	2001
第三节 辊刷涂法	1971	三、静电流化床涂装法	2002
一、辊刷涂法的特点	1971	四、火焰喷涂法	2003
二、辊刷的构造	1971	第十三节 自动涂装系统	2004
三、辊刷的种类	1971	一、概述	2004
四、辊刷涂操作要领	1972	二、往复涂装机	2004
第四节 丝网法	1973	三、涂装机器人	2006
第五节 喷涂法	1973	参考文献	2007
一、空气喷涂法	1973		
二、无空气喷涂法	1977	第四章 涂装现场管理和技术服务	史春晖 2008
三、高压辅气喷涂法	1983	第一节 涂料的贮存和现场物料管理	2008
四、静电喷涂法	1984	一、涂料的贮存	2008
五、气雾罐喷涂法	1988	二、涂料的现场管理	2009
六、喷涂方法性能比较	1989	第二节 涂装环境管理	2010
第六节 浸涂法	1990	一、照明的管理	2010
一、原理	1990	二、通风的管理	2010

三、温度的管理	2011
四、相对湿度的管理	2012
五、空气污染影响的控制	2013
第三节 涂装缺陷及现场处置	2014
第四节 涂装验收	2014
一、涂膜表面状态的验收	2014
二、涂膜厚度的验收	2015
三、涂膜物理性能的验收	2016
第五节 涂料施工的技术服务	2017
一、涂料施工技术服务的目的	2017
二、技术服务人员的主要工作内容	2017
三、技术服务人员的工作方法	2017
四、施工前的准备工作	2018
五、现场技术服务工作的展开	2019
六、技术服务的记录与报告	2020
参考文献	2022
第五章 涂装施工安全、卫生和污染治理 ...	
..... 祝家洵 钱捷 任卫东 王健	2024
第一节 概述	2024

第二节 涂装施工的危险因素及防护措施 ...	2024
一、涂装施工的危险因素	2024
二、防护措施	2027
三、安全技术教育培训	2029
第三节 一般安全措施——个人劳动保护用品	2030
一、个人劳动保护用品	2030
二、个人劳动保护用品须具备的特征	2030
三、个人劳动保护用品的维护和报废规定 ...	2032
第四节 涂料的安全施工指导	2033
一、健康危害	2033
二、有工作危险的人员	2033
三、防护措施	2033
四、工作服与装备	2034
五、急救措施	2035
六、泄漏应急处理	2036
第五节 健康和环保措施	2036
一、健康安全	2036
二、环境保护措施	2038
参考文献	2041

第三篇 涂料各论

第三章

重防腐涂料

第一节 金属腐蚀与防护简论

一、金属腐蚀的定义

目前,比较一致认可的金属腐蚀的定义是:“金属材料与周围环境相接触,相互间发生了某种反应而逐渐遭到破坏(或变质)的过程称作金属腐蚀”。在大多数情况下,这种反应属于电化学反应类型,有些情况下则仅仅是单纯的化学反应过程或金属物理变化过程,而两种反应类型共生共存的情况也不少见。

金属腐蚀是普遍存在的自然现象。例如:钢材及其制品表面锈迹斑斑,钢锭表面的氧化皮、铝制品表面的白色粉末、铜制品表面生出铜绿等,都是金属腐蚀的结果。然而,现代科学技术发展表明,金属腐蚀不仅是认识的,也是可以控制和减轻的。

二、金属腐蚀的危害性

金属腐蚀所造成的损失,不仅表现在使材料本身在其外形、色泽、力学性能等方面受到破坏,更主要的是表现在使其制成品(如仪器仪表、机械装备及工程结构等)和金属结构工程的质量等级下降,精度、灵敏度受损,影响其使用价值甚至报废,个别情况下造成更严重的机毁人亡的重大事故。

由中国工程院化工、冶金与材料学部柯伟院士领衔的“中国工业与自然环境腐蚀问题调查”咨询项目,于1999年4月启动至2001年底基本完成。利用Uhlig方法和Hoar方法调查了近年来中国工业和自然环境腐蚀损失和腐蚀控制的现状,其中包括能源、交通、建筑、机械、化工、基础设施、水利和军事设施等典型的行业和企业。用两种方法所得到的年腐蚀损失结果相近,分别为2048亿元和2288亿元人民币。如果包括间接损失,借鉴国外利用国民经济投入-产出表计算结果进行对比,我国每年腐蚀总损失可达4979亿元以上,约占GHP的5%。结合我国具体条件,在本次调查中采用发送腐蚀状况调查表、向专家咨询和

文献调研的方法,并分别用 Uhlig 方法和 Hoar 方法进行了估算(表 3-3-1),提出了从国家层面上加强腐蚀管理,进一步制定防腐蚀的国家规划和立法;完善防腐蚀的标准和规范体系以及加强基础研究和腐蚀工程教育的建议。

正因为金属腐蚀危害的严重性,世界上许多发达国家都十分重视对本国腐蚀损失的调查,见表 3-3-2,不断呼吁政府和社会予以重视,极大地促进腐蚀科学技术和金属防护产业的发展。

表 3-3-1 柯伟院士分别用 Uhlig 和 Hoar 两种方法对我国腐蚀损失调查估算结果

Uhlig 方法			Hoar 方法	
防蚀方法	防蚀费/亿元	占防蚀费比例/%	部 门	腐蚀损失/亿元
表面涂装	1559.86	76.15	化学工业	300
金属表面处理	234.16	11.43	能源部门(电力、石油、煤)	172.1
耐蚀材料	250.25	12.2	交通部门(火车、汽车)	303.9
防锈油	2	0.10	建筑部门(公路、桥梁、建筑)	1000
缓蚀剂	1	0.05	机械工业	512.43
电化学保护	1~2	0.07		
合计	2048.27			2288.43

注: Uhlig 方法是从生产、制造方面单纯地累加直接防蚀费用进行评估。例如,算出利用各类防腐蚀措施,包括涂层与涂装、镀层与转化膜表面处理、耐蚀材料、防锈油、缓蚀剂、电化学保护、腐蚀研究、腐蚀检测等所需费用。

Hoar 方法是按各使用领域的腐蚀损失和防蚀费的总和进行推算。由于使用领域涉及许多方面,而且同一使用领域的使用地点分散在全国各地,调查相当困难,于是采用函调的方法,并进行有针对性的访问,在得到可靠的数据后利用统计方法推算。

表 3-3-2 世界上一些国家腐蚀损失调查结果

国家	年份/年	年腐蚀损失	GDP/%	可避免损失(总损失的比例)/%	调查方法
美国	1949	55 亿美元	—	—	Uhlig 法
	1975	820 亿美元(向国会报告为 700 亿 USD)	4.9 (4.2)	(15)	投入-产出产业关联分析法
	1995	3000 亿 USD	4.21	33	产业关联分析法
英国	1957	6 亿英镑	—	—	Vemon 推算
	1969	13.65 亿英镑	3.5	23	Hoar 法
日本	1975	25509 亿日元	1.8	—	Uhlig 法
	1997	39377 亿日元	—	—	Uhlig 法
前苏联	1975	(130~140)亿卢布	—	—	仅金属结构和零件引起的损失
	1985	400 亿卢布	—	—	—
前联邦德国	1968	190 亿马克	3	25	D. Bhrens 估计
	1982	450 亿马克	—	—	—
瑞典	1986	350 亿瑞法郎	—	20	—
印度	1960	15 亿卢比	—	—	—
	1984	400 亿卢比	—	—	—
澳大利亚	1973	4.7 亿澳元	—	—	Uhlig 法
	1982	20 亿澳元	—	—	产业关联法推算

三、金属腐蚀的分类

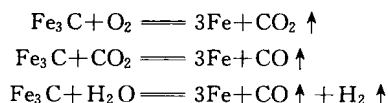
按照金属材料及其结构周围所处介质和环境条件可把金属腐蚀分为大气腐蚀、高温气体

腐蚀、化工腐蚀、海水腐蚀、土壤腐蚀、细菌腐蚀、应力腐蚀、杂散电流腐蚀、放射条件下的腐蚀以及其他各种特殊环境条件下的腐蚀；按照腐蚀产物的破坏形式可分为全面腐蚀和局部腐蚀，后者又可分为点蚀、斑蚀、孔蚀、剥蚀、缝隙腐蚀、晶间腐蚀及腐蚀裂纹等；按照腐蚀作用机理分类，金属腐蚀分为化学腐蚀和电化学腐蚀两大类，而这种分类法更能反映出金属腐蚀的本质。

1. 化学腐蚀

金属由单纯的化学作用而引起的腐蚀叫做“化学腐蚀”，主要有干燥气体腐性和非电解质溶液中的腐蚀两种形态。

(1) 干燥气体腐性 金属在干燥气体或高温条件下与某些气体介质（如 O_2 、 H_2S 、 SO_2 、 Cl_2 等）相互作用而生成相应的化合物的过程就属于化学腐蚀。如刚出炉的钢锭、高温铸锻成型钢铁毛坯、热处理后零件表面就常常见到这种氧化皮生成。与此同时，在氧化层与金属本体（钢铁）之间常伴随发生脱碳现象。这是由于钢铁中的渗碳体（ Fe_3C ）和空气中的氧气（ O_2 ）、二氧化碳（ CO_2 ）、水分（ H_2O ）等介质反应：



反应生成的各种气体产物离开金属表面而逸出，而碳元素便从邻近的、尚未反应的金属内部逐渐扩散到反应区，于是金属表层中的碳元素（渗碳体）将不断减少，在氧化层与本体之间便形成了脱碳层，如图 3-3-1 所示。

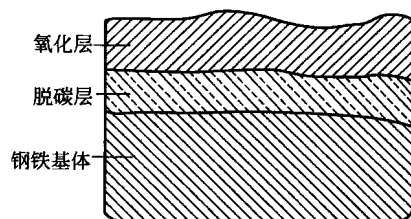


图 3-3-1 钢铁表面氧化脱碳层示意

正是由于钢铁表面脱碳层的形成才导致表面硬度、疲劳极限下降，钢材有效利用率下降，这种在高温、干燥空气中所发生的腐蚀是化学腐蚀中较为严重的一类。至于在常温干燥空气中，一般认为钢铁不会生锈。然而微观分析，即使在常温下，空气中的氧气也会和钢铁表面发生作用，不过所生成的氧化膜很薄，肉眼观察不到。例如，在常温、干燥、洁净的空气中，钢铁表面所生成的氧化膜约为 $0.003 \sim 0.004 \mu m$ ，这样薄的氧化膜对材料的质量影响很小，以至可忽略不计。并且由于这层氧化膜比较完整而致密，氧气就不易再透过膜层而继续腐蚀金属，起到保护作用。但是，若生成的这层氧化膜不致密就失去了保护作用。一般来说，若氧化膜的体积不大，等于或稍大于所消耗的金属体积，则膜的保护性能好，反之则金属内应力增大（氧化膜的体积超过所消耗的金属体积 $1.5 \sim 3$ 倍），氧化膜易脆，保护性能就差。表 3-3-3 列出了常见金属氧化膜的性质及成长规律。

表 3-3-3 常见金属氧化膜的性质及成长规律

金 属	氧化膜性质	氧化膜成长规律
碱金属、碱土金属、钨、钼、钒、铌、钽、铪	多孔或不能形成氧化膜，无保护作用	温度越高，氧化膜成长越快，与时间呈直线关系
锰、钴、镍、铜、铍、锆、钛及较高温度下的铁	生成的氧化膜较完整、致密，有一定的保护作用	与膜厚成反比，与时间呈抛物线关系
铝、铬、锌、铜及处于较低温度下的镁	完整而致密，粘接力强，保护作用较好	成长速率慢，与时间呈对数关系

(2) 非电解质溶液中的腐蚀 金属在非电解质溶液中，即不导电的溶液（如汽油、煤油、柴油、润滑油、酒精、卤代烷烃溶剂等）中也会产生腐蚀。这是由于其中常含有多种形

式的有机硫化物等腐蚀性介质，与金属表面直接反应而成，例如，石油贮罐与管道内壁表面就常见这类化学腐蚀。

但是，如果金属不是处于高温、干燥气体环境中或所接触的并非是电解质溶液而是最广泛存在的电解质水溶液，则金属腐蚀过程便不是单纯的化学腐蚀而是更加复杂的电化学过程，即电化学腐蚀。

2. 电化学腐蚀

电化学腐蚀是金属表面与周围电解质溶液相互之间发生电化学反应而引起的金属破坏，这是一种比化学腐蚀更为广泛存在、危害性更大的腐蚀行为。它的特点是腐蚀反应是通过腐蚀电池进行的，同时存在两个相互依存、相互独立的反应，即阳极反应和阴极反应。例如金属在潮湿空气中的大气腐蚀，在酸、碱、盐溶液和海水中的腐蚀，在地下土壤中的腐蚀以及不同金属的接合面的腐蚀等，均属于电化学腐蚀。

以常见的金属大气腐蚀中吸氧腐蚀和析氢腐蚀为例，详见“金属大气腐蚀”内容。

3. 电化学腐蚀与化学腐蚀的区别

从金属腐蚀的本质分析，电化学腐蚀与化学腐蚀都是金属从原子态向离子态转化的氧化过程。化学腐蚀只是金属与周围介质直接进行的化学反应，而电化学腐蚀则是腐蚀微电池的电极反应过程。两种腐蚀的机理不同，却不能截然分开，有时还会相伴相生。表 3-3-4 为电化学腐蚀与化学腐蚀的比较。

表 3-3-4 电化学腐蚀与化学腐蚀的比较

项 目	化学腐蚀	电化学腐蚀
介质	干燥气体或非电解质溶液	电解质溶液
反应式	$\sum_i rM_i = 0$	$\sum_i rM_i \pm ne^- = 0$
过程推动力	化学位不同的反应相直接接触	电位不同的导体物质组成电池
能量转换	化学能转化为热能	化学能转化为电功
过程规律	化学反应动力学	电化学反应动力学
电子传递	无，测不出电流	通过导体在阴、阳极上传递，测得出电流
反应区	在碰撞点上瞬时完成	在腐蚀电池的阴、阳极区同时完成
产物	在碰撞点上直接时完成	一次产物在电极上生成，二次产物在一次产物相遇处形成
温度	主要在高温条件下进行	室温或高温条件下进行

从能量变化的观点看，金属在遭到腐蚀之后，化学腐蚀是把存在于金属内部的化学能转变成热能放出，而电化学腐蚀则是转化为电功，结果金属的能量降低了。物质的运动总是从高能状态向低能状态自发地进行，因此，金属腐蚀现象是一种自发发生的过程。这就与河水总是由高处向低处流，高高举起的重物，手一放开就会自由落地的道理相似。

进一步分析，从铁矿中（如赤铁矿的主要成分是 Fe_2O_3 ）提炼铁，必须在温度很高的冶炼炉里用炭来还原，也就是说需要吸收大量的能量，这绝非是一个能自动发生的过程。而分析化验表明，铁锈和铁矿的主要成分大体上是一致的，因此，可以把钢铁生锈的过程看成是钢铁冶炼的逆过程，即是钢铁重新变回铁矿的过程。根据能量守恒定律，炼铁过程吸收能量，生锈过程必然是放出能量。因此，如上所述，金属腐蚀的本质就是金属从处于高能状态下的原子态——热力学不稳定状态，转变为能量较低的离子态——热力学稳定状态，而生成了金属化合物，即金属腐蚀产物。金属之所以生锈，生锈程度不同，难易不一，其根本原因就在于它们的热力学不稳定性和这种不稳定性的程度不同。这是与金属的种类、纯度、金

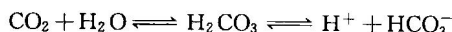
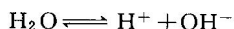
相组织、电化学不均匀性、表面状态（表面能）以及其他各种影响因素有着密切的关系。

四、金属在自然环境中的腐蚀

1. 金属大气腐蚀

(1) 大气腐蚀的机理——析氢腐蚀和吸氧腐蚀 人们经常可以看到，金属及其制品在大气中常常生锈，这种锈蚀现象大多属于电化学腐蚀，并且是电化学腐蚀中最为普遍和较为重要的一种形式。

当金属暴露在潮湿的大气中时，由于其表面的活性，对大气中的极性水分有吸附作用，便在金属表面形成了一层很薄的湿气层——水膜，当这层水膜达到一定厚度（20~30 分子层）时，就形成了电化学腐蚀所必需的电解质溶液。因为水的电离度虽小，但仍可电离成 H^+ 和 OH^- ，并且这种电离过程随着温度升高、水中溶解了 CO_2 、 SO_2 等因素而加剧。因此铁和铁中的杂质就好像浸泡在含有 H^+ 、 OH^- 、 HCO_3^- 等离子的溶液中一样，形成了腐蚀电池。



① 析氢腐蚀 这里，铁为阳极，铁中的杂质（主要是钢铁中的 C）为阴极（图 3-3-2）。由于铁与杂质直接接触，等于导线连接两极而成为通路。

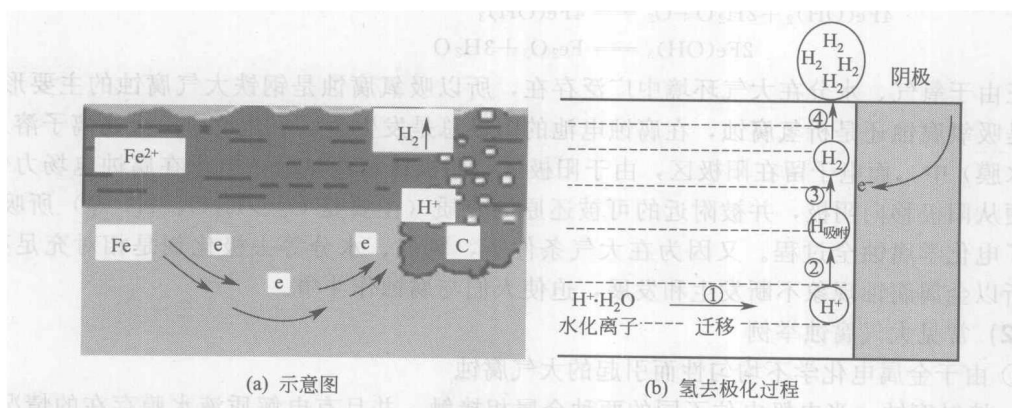
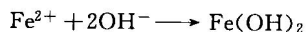


图 3-3-2 析氢腐蚀

在阳极，铁失去电子形成 Fe^{2+} 进入水膜中，并且与水膜中的阴离子（如 OH^- 、 HCO_3^- 等）结合成复杂的铁盐，致使金属铁锈蚀，而铁上多余的电子则转移到杂质上；在阴极，杂质（C）本身不易失去电子，只起传递电子的作用，而水膜中的 H^+ 就从阴极获得电子成为 H_2 放出，正由于析出氢气而被称为析氢腐蚀，其电极反应方程式如下。

腐蚀电池：（阳极） $Fe | H^+、OH^- | C$ （杂质）（阴极）

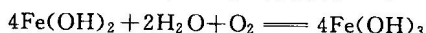
阳极： $Fe - 2e^- \rightarrow Fe^{2+}$ ($E_0 = -0.409V$)



阴极（杂质）： $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2 \uparrow$ ($E_0 = 0V$)

总反应： $Fe + 2H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 + H_2 \uparrow$

然后， $Fe(OH)_2$ 还会被空气中的氧气进一步氧化成 $Fe(OH)_3$ 。



当腐蚀产物干燥时，会引起部分脱水反应。

