

工业涂料与涂装技术丛书

石油工业涂料 与涂装技术

赵炳刚 陈群尧 胡士信 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

石油工业涂料与涂装技术

赵炳刚 陈群尧 胡士信 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

石油工业涂料与涂装技术 / 赵炳刚, 陈群尧, 胡士信编著. —北京: 化学工业出版社, 2001.8

(工业涂料与涂装技术丛书)

ISBN 7-5025-3403-2

I. 油… II. ①赵…②陈…③胡… III. 石油工程-机械设备-防腐-涂料 IV. TE980.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 054411 号

工业涂料与涂装技术丛书

石油工业涂料与涂装技术

赵炳刚 陈群尧 胡士信 编著

责任编辑: 顾南君

责任校对: 郑捷

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

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787 × 1092 毫米 1/32 印张 7 字数 150 千字
2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000

ISBN 7-5025-3403-2/TQ·1407

定 价: 18.00 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

前 言

石油工业的腐蚀是相当严重的，据不完全统计，每年由于腐蚀造成的损失占行业总产值的4%以上。中国石油天然气管道局原所辖油气干线7000km，每年因防护覆盖层腐蚀失效需要修补、修复及重新铺设的管线在400km以上，而实际必须修补、修复或更换的管道约100km左右，仅这100多公里，就耗资人民币超过1000万元。如果算上各油田集输管网的腐蚀损失，就管道腐蚀一项造成的损失也是相当惊人的。因此，对腐蚀的严重性就有必要提到重要的认识上来。

鉴于石油行业腐蚀的危害，作为石油行业的腐蚀防护工作者有义务和责任将腐蚀的危害控制在最低的范围，尽可能减少或降低腐蚀的损失。因此，本书从石油工业腐蚀与防护的角度比较系统地介绍了腐蚀防护的内容、方法、产品及措施，结合国际最新管道防腐研究动态，介绍了国际防腐领域新近推出的防腐技术和防腐材料，如双层环氧粉末技术、带锈涂料技术、无机陶瓷涂料技术、三层聚丙烯等。这些有助于广大读者对石油工业防腐技术和材料进一步认识和研究，起到抛砖引玉的作用。

全书共分为十二章，赵炳刚高级工程师编写了第一章内容，胡士信高级工程师编写了第九章及第十一章的部分内容，其余章节由陈群尧高级工程师编写和对全文的校核。在本书的编写过程中，得到了中国石油天然气管道局的许多专家和领导的支持，特别是廖宇平高级工程师对本书第八章的内容提出了

宝贵的意见和建议，苏淮工程师也对本书的校对做了大量工作，特此致谢。

由于石油行业的涵盖面较广，加上编者水平有限，对石油行业的腐蚀与防护认识和研究不深，书中难免有不足和错误，我们也尽最大努力把我们所了解的最详细和最成熟的技术介绍给读者，诚请读者在阅读中批评指正。

编者

2001年5月

于中国石油天然气管道局

内 容 提 要

本书分为十二章，从金属腐蚀的原理、危害及防护方法等方面介绍了石油工业涂料及涂装技术。尤其对石油工业常用的防腐涂料的种类、特点、应用范围及部分涂料的配方和施工工艺作了十分详细的介绍。同时，考虑到石油工业涵盖面广，在介绍腐蚀防护方法时，既考虑油田采油设施的腐蚀与防护；又考虑输油管道及贮罐的腐蚀与防护；特别对防腐覆盖层涂装前的表面处理进行了非常详实的介绍。

为配合国家重点工程“西气东输”工程的顺利进行，把内减阻涂料作为单独的一章向读者介绍。在安全与卫生章节中，为贯彻 HSE 管理体系，着重介绍了 HSE 管理体系及其在石油工业腐蚀与防护中的重要性。在国内外涂料发展现状方面，介绍了最新涂料的应用与发展。

本书可供石油工业腐蚀防护人员使用，也可供涂料研究、生产、管理和施工应用的工程技术人员或从事腐蚀与防护的大专院校师生参考。

目 录

第一章 腐蚀的危害与防护	1
第一节 金属腐蚀与控制原理	1
一、金属腐蚀的分类	1
二、金属腐蚀的电化学机理	2
三、极化作用与极化曲线	7
四、钝化作用	11
五、局部腐蚀的类型	12
六、环境的腐蚀作用	16
七、腐蚀过程的控制因素	23
八、腐蚀控制的途径	25
第二节 石油工业生产中的腐蚀防护	28
一、腐蚀防护的主要对象	29
二、影响腐蚀的因素	29
三、石油工业生产设施防腐蚀方法	32
第二章 腐蚀防护常用涂料	36
第一节 涂料概述	36
一、涂料的功能	36
二、涂料的组成	37
三、涂料的设计与配套	38
四、涂料的分类	39
五、覆盖层防腐的局限	40
六、覆盖层的使用寿命	40
第二节 沥青类涂料	41
一、石油沥青	41

二、煤沥青	43
三、煤焦油磁漆	44
第三节 环氧树脂类涂料	47
一、环氧树脂中的几个重要质量指标	47
二、环氧树脂的固化反应	48
三、溶剂型环氧树脂涂料	51
四、无溶剂环氧树脂涂料	54
五、熔结环氧粉末涂料	55
第四节 醇酸类涂料	58
一、原材料的选择和性能	59
二、醇酸树脂的改性	60
第五节 聚氨酯类涂料	61
一、原料的性能及选择	61
二、单组分聚氨酯	62
三、双组分聚氨酯	63
四、聚氨酯改性防腐涂料	66
第六节 聚酯类涂料	67
一、醇类原材料的选择	67
二、固化剂的选择	69
第七节 丙烯酸类涂料	70
一、单体的选择	70
二、聚合反应	71
第八节 含氟防腐涂料	73
一、乙烯类含氟树脂涂料	73
二、含氟橡胶类涂料	74
第九节 无机及无机-有机聚合物涂料	77
一、无机富锌漆	77
二、无机-有机聚合物涂料	77
第十节 特殊功能防腐涂料	80
一、防静电涂料	80

二、玻璃鳞片涂料	83
三、荧光涂料	85
四、耐高温涂料	86
五、耐磨涂料	89
六、减阻涂料	90
七、缓蚀涂料	91
八、带锈涂料	93
第十一节 覆盖层的选用原则及性能要求	94
一、覆盖层选用的基本原则	94
二、地面设施覆盖层的性能要求	95
三、地下设施覆盖层的性能要求	96
四、水下设施覆盖层的性能要求	98
第三章 表面处理	99
第一节 表面处理的目的是与分类	99
一、表面处理的目的是	99
二、表面处理的分类	100
三、表面处理的工序	101
第二节 石油工业防腐施工表面预处理工艺	102
一、抛丸	102
二、喷砂	102
三、手工打磨	103
四、高压水除锈	104
五、酸洗处理	104
六、电化学除锈	105
七、磷化处理	106
八、锈蚀等级	107
九、除锈方式及质量等级	107
第四章 钢质管道的防护	109
第一节 钢质管道的表面处理	109
第二节 钢质管道的防腐施工	110

一、施工环境的要求	110
二、施工条件的要求	110
三、浇涂	111
四、刷涂及辊涂	111
五、抹涂及刮涂	111
六、空气喷涂	111
七、高压无气喷涂	113
八、双层或多层复合结构的挤出及缠绕工艺	115
九、热烤缠绕	117
第三节 质量检测及修补	117
一、一般性能检测	118
二、现场检测试验	118
三、缺陷修补	119
第四节 补口及补伤	119
一、补口	119
二、补伤	120
第五章 贮罐及容器的防护	121
第一节 大罐防腐前的表面处理	121
第二节 大罐的防腐施工	122
一、内防腐施工	122
二、外防腐施工	122
第三节 质量检测及修补	123
一、一般性能检测	123
二、现场检测试验	123
三、缺陷修补	124
第六章 采油设施及化工设备的防护	125
第一节 异型件的表面处理	125
第二节 防腐施工	126
一、热浸镀	126
二、化学镀	126

三、电镀	127
第三节 质量检测及修补	128
第七章 海上平台、船舶及管道的防护	129
第一节 海洋环境中的腐蚀危害	129
一、海洋环境中的腐蚀特点	129
二、海洋腐蚀的因素	130
第二节 海上设施的腐蚀与防护	132
一、海上设施防腐前的处理	132
二、海上设施的腐蚀施工	132
第八章 覆盖层性能检测及常用仪器	134
第一节、覆盖层质量检测方法	134
第二节、防腐层质量通用评定项目	134
一、埋地管道防腐覆盖层	134
二、水下管道防腐覆盖层	138
三、地面设施防腐覆盖层	139
第三节、防腐层的质量检验	140
一、生产过程质量检验	140
二、成品检验	140
三、形式检验	141
第九章 管道和容器内覆盖层技术	142
第一节 非腐蚀性气体管道减阻内涂技术	142
一、国外概述	142
二、国内现状	143
三、采用减阻内涂的必要性	144
四、减阻内涂技术的难点	146
五、引用标准	149
六、基本参数	149
七、内涂工艺技术规定	149
八、质量控制	157
第二节 防蚀内涂技术	158

一、防蚀用内覆盖层	160
二、防蚀内涂补口技术	168
第十章 安全与卫生	172
第一节 污染的处理	172
一、粉尘	172
二、溶剂及化学剂	173
三、废料	173
第二节 爆炸与着火	173
一、粉尘爆炸	173
二、溶剂爆炸及着火	174
三、电器打弧	176
第三节 烫伤与触电	176
一、烫伤	176
二、触电	176
第四节 静电的安全	177
第五节 劳动保护及 HSE 管理体系	177
一、HSE 管理体系的基本内容	177
二、防腐施工中的劳动保护	179
第十一章 国内外涂料发展现状	180
第一节 无溶剂、无污染涂料	180
第二节 快固型涂料	181
第三节 带锈涂料	182
一、钢铁表面的锈层	182
二、带锈涂料的类型	182
三、带锈涂料的施工	183
四、带锈涂料的展望	184
第四节 三层 PP 复合结构防护层	185
第五节 双层环氧粉末防护层	186
一、结构系统介绍	187
二、涂覆工艺及质量控制	187

三、防腐性及适用环境	188
第六节 陶瓷涂料技术	190
一、有机陶瓷涂料	190
二、无机陶瓷涂料	190
第七节 TO 树脂涂料	191
第八节 钢骨架塑料复合管道	191
第十二章 石油工业腐蚀防护常用规范及标准介绍	193
第一节 国外标准	193
一、ISO 标准	193
二、ANSI 标准	193
三、NACE 标准	194
四、ASTM 标准	194
五、API 标准	195
六、CAN/CSA 标准	195
七、DIN 标准	195
八、NF 标准	196
九、BS 标准	196
十、JIS 标准	196
第二节 国内标准	197
一、中国国家标准	197
二、中国石油天然气工业行业标准	200
三、中国石油天然气管道局企业标准	203
参考文献	205

第一章 腐蚀的危害与防护

第一节 金属腐蚀与控制原理

金属受周围环境介质的化学作用或电化学作用而损坏的现象称为腐蚀。腐蚀的主要对象是金属，其中尤以钢铁的腐蚀最为严重，因为它是大量应用的材料，而且又极易腐蚀。人们利用钢铁及其合金建设了今日的文明，包括石油工业的成就，所以，保护钢铁等金属，使其正常发挥功效，阻缓它转化为化合态（锈蚀），延长它的使用寿命，是防腐蚀的一项重要任务。

腐蚀问题遍及国民经济和国防建设的各个部门，腐蚀造成巨大的经济损失，据几个工业发达国家的统计，每年由于腐蚀造成的直接损失约占其国民生产总值的1%~4%，而造成的间接损失更是难以计算；腐蚀消耗了大量资源和能源，妨碍新技术、新工艺的发展，还危及人身安全和造成环境污染。为此，必须在研究和分析腐蚀作用原理的基础上，有针对性地采取控制腐蚀的措施，以减少因腐蚀而造成的损失和影响。

一、金属腐蚀的分类

金属的腐蚀，按其作用性质分为：化学腐蚀与电化学腐蚀。

按发生腐蚀过程的环境和条件分为：高温腐蚀、大气腐蚀、海水腐蚀、土壤腐蚀、工业水腐蚀。

按腐蚀的形态可分为：全面腐蚀和局部腐蚀。广义的局部

腐蚀包括电偶腐蚀、缝隙腐蚀、孔蚀、晶间腐蚀、选择性腐蚀、应力腐蚀开裂、氢脆、腐蚀疲劳和冲刷腐蚀。

按腐蚀产物类型可分为：成膜型和不成膜型。

其中，化学腐蚀和电化学腐蚀是最基本的，其他腐蚀均是上述腐蚀作用的表现形态，都可以用其腐蚀原理加以解释。而化学腐蚀与电化学腐蚀的最大区别就在于前者在腐蚀过程中没有电流产生，而后者有电流产生。

由于电化学腐蚀的发生具有普遍性，所以，本章主要阐述金属电化学腐蚀方面的内容。

二、金属腐蚀的电化学机理

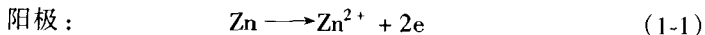
金属电化学腐蚀的机理可以归纳为电池作用和电解作用，而在电池作用中，绝大多数的金属腐蚀属于微电池作用，少数情况属于宏观电池作用。

1. 电池作用

(1) 微电池腐蚀 如果把工业纯锌放入稀硫酸中，用显微镜可以看到在金属锌晶粒溶解的同时，有氢气泡在锌中杂质上形成并逸出，而且在杂质与锌晶粒之间有电流流动，如图 1-1 所示。

上述现象在原理上同 Zn-Cu 原电池的作用一样，如果 Zn-Cu 原电池的溶液是稀硫酸，则在锌电极上发生锌的溶解，而在铜极上逸出氢气泡，两电极之间有电流流动，Zn-Cu 原电池示意图 1-2。

在电池作用中，发生溶解的电极（图 1-1 中的锌晶粒，图 1-2 中的锌电极）称为阳极，另一极（图 1-1 中的杂质，图 1-2 中的铜电极）称为阴极。电极反应如下：



电子 e 从阳极流到阴极。

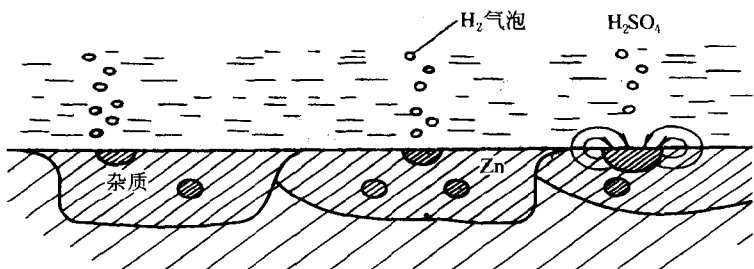


图 1-1 锌在稀硫酸中腐蚀示意图

(图中右侧箭头表示电流方向)

产生这种电池作用的推动力是两极之间存在的电位差。电极电位较负者（电位代数值较小者）为阳极，发生溶解；电极电位较正者（电位代数值较大者）为阴极，在阴极上进行着溶液中某种物质（氧化态）的还原作用。

因此，可以把微电池的腐蚀作用看做是金属中电极电位不同的两个微观部分直接作电接触；而其表面又同时与电解质溶液接触的原电池作用（图1-3）。

腐蚀反应可以概括为：

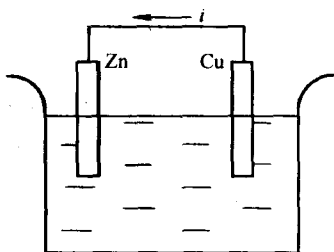
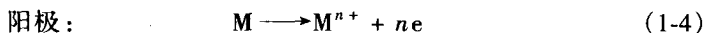


图 1-2 Zn-Cu 原电池示意图

(图中箭头代表电流方向)

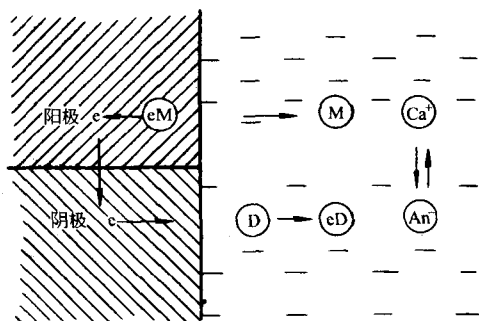
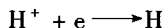


图 1-3 腐蚀过程示意图

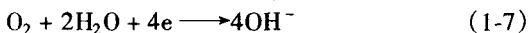
阴极：从阳极流来的电子被阴极表面附近溶液中某种物质 (D) 所吸收，成为其还原态 (eD)：



反应式 (1-6) 对于酸性溶液通常是氢离子的还原，即：



对于中性溶液，通常是溶液中的氧被还原为氢氧离子



对于含有高价金属离子的溶液，则优先发生该离子的还原，例如：



金属表面上显微尺寸的阳极和阴极区域的形成，是由金属表面微观的电化学不均匀性造成的，而产生微观的电化学不均匀性的情况主要有以下几种。

- ① 化学成分的不纯或合金的化学成分不均匀。
- ② 合金组织不同或结构上的不均匀。前者如双相合金，第二相的析出等，后者如晶粒与晶界、亚结构的差异，位错线