

防腐蚀技术 及 应用实例

秦国治 田志明 编著



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

防腐蚀技术及应用实例/秦国治,田志明编著. —北京:
化学工业出版社,2002.4

ISBN 7-5025-3613-2

I. 防… II. ①秦…②田… III. 防腐-技术 IV. TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 000096 号

防腐蚀技术及应用实例

秦国治 田志明 编著

责任编辑:段志兵

责任校对:陶燕华

封面设计:蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 50¼ 字数 1281 千字

2002 年 4 月第 1 版 2002 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3613-2/TQ·1481

定 价:95.00 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

内 容 提 要

防腐技术的关键在于选材、设计和施工。本书从目前防腐实际需要出发，结合作者自身经验，详细介绍了防腐材料（树脂、砂浆、胶粘剂等）的配制和选用方法，说明了防腐涂装、衬里的设计思路和施工方法，对工业清洗和工业水处理的工艺设计和试剂配方也作了说明。本书专门列举了大型工业设施、工业生产设备、工业建筑物的防腐实例和一些工业清洗实例，这些实例多为作者经历过的，旨在为读者提供充分的参考资料，举一反三。

本书适宜于防腐工程师、技术工人、防腐工程管理人员和耐蚀材料生产技术人员参考。

前言

腐蚀科学研究材料在环境作用下的破坏机理以及保护方法,它涉及的领域很广,与它交叉的学科很多,因此是一门新兴的边缘学科。

腐蚀问题遍及国民经济和国防建设各个部门。腐蚀给国民经济造成巨大损失。据几个工业发达国家统计,每年由于腐蚀造成的直接损失约占国民生产总值 1%~4%;腐蚀造成的间接损失更是难以计算;腐蚀消耗大量资源和能源,世界钢铁约有 1/10 因腐蚀报废,美国每年因腐蚀要多耗 3.4% 能量;腐蚀妨碍新技术、新工艺的发展;腐蚀还危及人身安全和造成环境污染。根据报导,中国每年因腐蚀造成 2 800 多亿元的损失,比每年风灾、水灾、地震、火灾等自然灾害的总和还要多。因此,腐蚀与防护工作引起了世界各国重视。

笔者从 20 世纪 50 年代开始从事防腐研究工作。近 50 年来,一直在防腐研究及防腐施工第一线,出版过《不透性石墨》、《砖板衬里》等科技图书,在各防腐刊物发表了六七十篇防腐实用技术文章。为适应防腐工作的发展,笔者编写了这本《防腐蚀技术及应用实例》,总结了 20 世纪 60 年代到目前国内相关研究和应用成果,包括笔者几十年在研究和生产实践中形成的经验和体会。

工业装备和设施的材料各不相同,结构各异,生产过程和所处的环境也不一样,因此,各个单位所用的防腐蚀手段和材料不尽相同。笔者从自身工作实践出发,观察各单位的防腐蚀工艺,在本书中着重介绍了三个方面的内容,一是防腐蚀衬里,二是防腐蚀涂装,最后是工业清洗和工业水处理,这些防腐蚀工艺在化工、石油、冶金等行业应用十分广泛。

防腐蚀工作中,选材是要务。本书比较重视正确选材,在部分章节中,充分地向读者展示了各种材料的制备、规格和性能。

防腐蚀施工和操作是防腐蚀工作的主要内容。本书一般先对各类施工方法及其操作过程作详细说明,之后,对于不同防腐蚀对象,分别列举了大量成功的实例。读者可以从这些实例中,对照生产中出现的问题,找到相关的防腐蚀材料,找出相应的防腐蚀方法。大量的实例是本书主要特点。

本书第一篇介绍了防腐蚀工作基础,其中的第二章、第四章可能对于读者尤有实践意义。

希望这本书能够满足防腐蚀工人、技术人员、设计人员掌握防腐蚀基础知识和防腐蚀基本技术的要求。笔者将这些系统的防腐蚀科技资料编写成书,奉献给新世纪,以完成一个老防腐蚀工作者的心愿。

在本书编写过程中,锦州石油化工公司设备研究所所长张锡庆高级工程师和王顺、王德武、苗桂珠等工程师提供了大力支持和帮助,在此表示感谢。

由于水平有限,书中的缺点错误在所难免,敬希读者批评指正。

秦国治

2002 年 1 月

目 录

第一篇 防腐蚀工作基础

第一章 金属和非金属材料的腐蚀	2	第一节 钢铁表面处理	18
第一节 工业腐蚀概况	2	一、钢铁表面处理意义	18
第二节 金属腐蚀原理及腐蚀程度表示方法	3	二、对钢铁基层的要求	18
一、金属腐蚀原理	3	三、钢铁表面处理工艺	18
二、金属腐蚀程度表示方法	5	四、钢铁表面处理质量要求及标准	23
三、金属和合金耐蚀性评价指标	6	第二节 非金属材料表面处理	25
第三节 非金属腐蚀原理及腐蚀评定方法	6	第四章 防腐蚀工程预算简介	27
一、非金属腐蚀原理	6	第一节 防腐保温工程预算定额	27
二、非金属材料腐蚀试验	7	第二节 工业建筑防腐蚀工程预算定额	28
三、非金属耐蚀性的评定方法	10	第三节 防腐蚀工程概预算编制方法	29
第二章 防腐蚀工作的方法	12	第四节 定额预算实例	30
第一节 防腐蚀工作中要使用新材料和新工艺	12	实例一、酚醛胶泥砌浸渍石墨板	30
第二节 防腐蚀工程设计和选材	13	实例二、设备衬环氧酚醛玻璃钢	31
第三节 防腐蚀选材与设计的注意事项	17	实例三、钢贮罐保温	31
第三章 表面处理技术	18	实例四、锦州炼油厂苯酐车间地坪	32
		第五章 防腐蚀施工安全	35
		第一节 防火防爆	35
		第二节 防毒	37

第二篇 防腐蚀工程中常用树脂的制造

第一章 环氧树脂制造技术	40	三、挥发分测定	48
第一节 环氧树脂的规格、结构和合成原理	40	四、含氯量测定	49
第二节 低分子量环氧树脂	41	第二章 酚醛树脂制造技术	50
一、原料规格	41	第一节 2130 型酚醛树脂	50
二、原料配比及计算	41	第二节 2124 型酚醛树脂	50
三、生产操作及控制	42	第三节 2127 型酚醛树脂	51
四、液态环氧树脂产品规格	44	第四节 C-1 型酚醛树脂	51
五、影响环氧树脂生产的主要因素	44	第五节 CN-1 型低粘度酚醛树脂	52
六、E-44 型环氧树脂生产新工艺	44	第六节 665 型固体酚醛树脂	52
第三节 中分子量环氧树脂	45	第七节 2402 型对叔丁基酚甲醛树脂	53
第四节 高分子固体环氧树脂	46	第八节 丁醇醚化二甲酚甲醛树脂	55
第五节 环氧树脂生产工艺设备流程图	47	第九节 酚醛环氧树脂	55
第六节 环氧树脂分析方法	47	第十节 制造不同用途酚醛树脂的工艺条件控制	56
一、环氧值测定	48	第十一节 酚醛树脂分析方法	57
二、软化点测定	48	一、粘度测定	57

二、游离苯酚含量测定	57	第四节 不饱和聚酯树脂生产流程	71
三、游离甲醛含量测定	58	第五节 乙烯基酯树脂生产工艺	72
四、聚合时间测定	58	一、乙烯基酯树脂	72
五、水分含量测定	59	二、甲基丙烯酸环氧聚酯树脂	73
第三章 呋喃系树脂制造技术	60	三、MFE-3 型环氧改性不饱和聚酯树脂	73
第一节 糠醇树脂	60	第六节 双酚 A 型不饱和聚酯树脂生产工艺	74
第二节 糠酮树脂	61	第七节 不饱和聚酯树脂的检验方法	75
第三节 糠酮醛树脂	62	一、外观的检验	75
第四节 YJ 型呋喃树脂	63	二、粘度的测定	76
第五节 酚醛糠醇共缩树脂	63	三、酸值的测定	76
第六节 酚醛糠酮树脂	64	四、胶化时间的测定	77
第七节 酚醛缩硅酮树脂	64	第五章 二甲苯树脂及其改性树脂制造技术	78
第八节 HF-环氧呋喃树脂	64	第一节 二甲苯甲酯树脂	78
第四章 不饱和聚酯树脂制造技术	66	第二节 二甲苯甲酯改性酚醛树脂	79
第一节 不饱和聚酯树脂的类型和原料	66	第三节 二甲苯不饱和聚酯树脂	79
一、不饱和聚酯树脂的类型	66	第六章 其他树脂的制造	81
二、不饱和聚酯树脂所用的主要原料	67	第一节 二苯醚甲酯树脂	81
第二节 典型的通用型不饱和聚酯树脂生产工艺	68	第二节 聚甲基丙烯酸甲酯树脂	81
第三节 其他各型号不饱和聚酯树脂配方	69		

第三篇 防腐蚀胶泥、砂浆和胶粘剂

第一章 无机胶泥、砂浆和混凝土	84	胶泥和砂浆	113
第一节 水玻璃胶泥、砂浆和混凝土	84	二、糠醇糠醛和糠酮糠醛树脂材料	116
第二节 矾土水玻璃粘结剂	88	第四节 不饱和聚酯胶泥和砂浆	118
第三节 HP 单组分耐酸耐热胶泥	89	第五节 环氧呋喃树脂胶泥	123
第四节 KP1 耐酸耐热胶泥	90	第六节 酚醛呋喃树脂胶泥	123
第五节 导热水玻璃胶泥、糠醇改性水玻璃胶泥	92	第七节 二甲苯甲酯树脂改性酚醛树脂胶泥	124
第六节 铸石粉耐酸混凝土	92	第八节 酚醛缩硅酮高温胶合剂	125
第七节 安山岩耐酸耐热混凝土	93	第九节 呋喃沥青胶泥	126
第八节 水玻璃耐酸混凝土整体设备	94	第十节 环氧煤焦油胶泥和砂浆	127
第九节 磷酸铝改性胶泥	97	第十一节 有机硅改性酚醛环氧树脂胶泥	128
一、磷酸盐耐高温胶泥	97	第十二节 橡胶水泥砂浆	129
二、磷酸铝水玻璃胶泥	99	第十三节 防腐蚀胶合剂中常用填料	132
第十节 隔热、耐磨衬里用集料	100	第三章 常用胶粘剂	136
一、带龟甲网双层衬里及集料	100	第一节 环氧树脂胶粘剂	136
二、无龟甲网双层衬里集料	101	第二节 聚硫橡胶胶粘剂	142
第二章 树脂类胶泥和砂浆	103	第三节 聚氨酯胶粘剂	144
第一节 环氧胶泥和砂浆	103	第四节 过氯乙烯胶粘剂	145
第二节 酚醛胶泥	109	第五节 几种搪瓷修补胶粘剂	147
第三节 呋喃胶泥和砂浆	113	第六节 防水堵漏胶粘剂	149
一、糠醇、糠酮和糠酮甲醛呋喃树脂			

第四篇 防腐蚀衬里技术

第一章 砖板防腐蚀衬里	152	第三章 塑料防腐蚀衬里	193
第一节 砖板及衬板用胶泥的选择	152	第一节 硬聚氯乙烯塑料衬里	193
第二节 砖板衬里的结构设计	154	一、硬聚氯乙烯塑料的配方和性能	193
一、对衬里设备的结构要求	154	二、硬聚氯乙烯板、管材、棒材、焊	
二、衬里层结构及其节点的选择	154	条规格	195
三、底层材料	156	三、硬聚氯乙烯衬里施工方法	197
四、砖板衬里结合层结构和衬里的		四、硬聚氯乙烯热成型及焊接	198
热性能	158	五、硬聚氯乙烯设备结构	199
第三节 砖板衬里施工与检查	158	六、硬聚氯乙烯设备应用实例	200
一、砖板衬里施工程序	158	第二节 软聚氯乙烯塑料衬里	202
二、质量检查与破损修补	159	一、软聚氯乙烯塑料的性能	202
三、砖板衬里典型应用实例	160	二、软聚氯乙烯塑料的产品与规格	204
第四节 预应力衬里技术	161	三、软聚氯乙烯塑料衬里的施工方法	204
一、应力对胶泥衬里的影响	161	四、软聚氯乙烯塑料衬里设备的应用	206
二、预应力衬里的优点	161	第三节 聚乙烯塑料衬里	207
三、衬里的施工	162	第四节 聚丙烯塑料衬里	209
四、预应力衬里的注意事项	163	第五节 石棉酚醛塑料衬里	214
第五节 不透性石墨衬里	163	第六节 丁腈-酚醛塑料软板衬里	218
一、不透性石墨衬里的适用范围	164	第七节 氟塑料衬里	222
二、不透性石墨衬里的优点	164	一、常用氟塑料的性能	223
三、原材料	164	二、聚四氟乙烯衬里管道	224
四、不透性石墨衬里施工	166	三、氟塑料衬里阀门	225
五、不透性石墨的化学稳定性	167	四、氟塑料衬里泵	231
六、不透性石墨衬里应用实例	169	五、聚三氟氯乙烯涂层	233
第二章 橡胶防腐蚀衬里	171	第八节 氯化聚醚衬里	233
第一节 衬里橡胶助剂及作用	171	第九节 硬质聚氨酯泡沫塑料衬里	236
第二节 天然橡胶板衬里	172	一、硬质聚氨酯泡沫塑料的主要性能	237
一、天然橡胶的性能	172	二、硬质聚氨酯泡沫塑料原料的性质、	
二、天然橡胶板配方	173	规格与选择	237
三、天然橡胶板规格及选用	173	三、硬质聚氨酯泡沫塑料配方	238
四、橡胶衬里对衬橡胶设备及橡胶		四、施工方法	239
板的要求	174	五、硬质聚氨酯泡沫塑料应用实例	242
五、天然橡胶衬里施工方法	176	第四章 玻璃钢防腐蚀衬里及整体设备	243
六、天然橡胶衬里应用	180	第一节 玻璃钢层间结构	243
第三节 合成橡胶衬里	181	第二节 各种玻璃钢用树脂粘合剂施工	
一、自然硫化氯丁橡胶衬里	181	配方及玻璃钢性能	244
二、预硫化丁基橡胶衬里	184	第三节 玻璃钢衬里施工和应用	249
三、室温自然硫化丁基橡胶衬里	185	一、玻璃钢内衬对基体的要求	249
四、预硫化丁基-顺丁复合橡胶衬里	187	二、底漆的选择原则	250
五、聚异丁烯橡胶板衬里	187	三、玻璃钢衬里层的热处理	250
六、丁腈-聚氯乙烯橡胶衬里	189	四、玻璃钢内衬层的质量检查	251
七、合成橡胶衬里应用实例	191	五、玻璃钢衬里施工定额	251

六、玻璃钢衬里的破坏形式	252
七、玻璃钢衬里应用实例	252
第四节 全结构玻璃钢设备设计和应用	253
第五章 衬铅和搪铅	257
第一节 铅的物理机械性能	257
第二节 衬铅	257
第三节 搪铅	260
第六章 不锈钢和钛防腐蚀衬里	263
第一节 不锈钢衬里	263
第二节 钛衬里与复合钛板制设备	264
第七章 化工搪瓷和化工陶瓷设备	267
第一节 化工搪瓷设备	267

一、化工搪瓷的性能	267
二、搪瓷设备主要品种及规格	268
三、搪瓷设备使用注意事项	268
四、搪瓷设备的维护与修补	269
五、化工搪瓷设备的应用实例	270
第二节 化工陶瓷设备	271
第三节 耐酸陶管工程	273
第八章 钢衬玻璃管道及设备	277
第一节 钢衬玻璃管道的性能及规格	277
第二节 钢衬玻璃管道制造工艺和施工	278
一、钢衬玻璃管道制造工艺	278
二、钢衬玻璃管道应用实例	280

第五篇 防腐蚀工程中常用涂料

第一章 防腐蚀涂料	284
第一节 概述	284
一、防腐涂层的作用	284
二、对防腐涂层性能的要求	285
第二节 底漆	285
一、磷化底漆	285
二、富锌涂料	288
三、带锈底漆(锈面底漆)	294
四、常用带锈底漆举例	296
第三节 环氧树脂防腐蚀涂料	306
一、环氧树脂防腐蚀涂料的特性和主要类型	306
二、胺固化环氧树脂防腐蚀涂料	307
三、聚酰胺固化环氧树脂防腐蚀涂料	309
四、无溶剂环氧树脂防腐蚀涂料	312
第四节 环氧改性树脂防腐蚀涂料	316
一、环氧酚醛防腐蚀涂料	316
二、环氧呋喃改性防腐蚀涂料	318
三、环氧煤沥青防腐蚀涂料	320
四、环氧沥青高氯化聚乙烯防腐蚀涂料	322
五、环氧酯漆	323
六、环氧硅酸酯防腐蚀涂料	326
七、环氧树脂导电涂料	327
八、环氧树脂粉末涂料	330
第五节 橡胶及其改性防腐蚀涂料	334
一、氯磺化聚乙烯涂料	334
二、改性氯磺化聚乙烯涂料	337
三、氯化橡胶防腐蚀涂料	339
四、氯化橡胶改性氯磺化聚乙烯防腐蚀涂料	344

五、环氧聚硫防腐蚀涂料	345
六、丁苯橡胶改性环氧树脂防腐蚀涂料	346
七、氟橡胶及改性丁基橡胶防腐蚀涂料	347
第六节 漆酚改性防腐蚀涂料	348
第七节 酚醛树脂防腐蚀涂料	356
第八节 醇酸树脂防腐蚀涂料	358
一、醇酸树脂带锈底漆	359
二、醇酸树脂磁漆	360
第九节 乙烯类树脂防腐蚀涂料	362
一、过氯乙烯防腐蚀涂料	362
二、高氯化聚乙烯防腐蚀涂料	366
三、氯醋共聚物防腐蚀涂料	371
四、氯-偏树脂防腐蚀涂料	373
五、其他乙烯类树脂防腐蚀涂料	374
第十节 聚氨酯防腐蚀涂料	375
一、环氧改性聚氨酯防腐蚀涂料	377
二、聚氨酯沥青防腐蚀涂料	380
三、苯乙烯聚氨酯交联型涂料	381
四、聚醚型聚氨酯防腐蚀涂料	383
五、聚氨酯酮醛防腐蚀涂料	385
第十一节 有机硅耐高温防腐蚀涂料	385
第十二节 氟碳树脂涂料	389
第十三节 塑料防腐蚀涂料	395
第十四节 玻璃鳞片涂料	401
第十五节 其他防腐蚀涂料	406
第二章 防水涂料	414
第一节 乳化石油沥青防水涂料	414
第二节 橡胶沥青类防水涂料	417
第三节 丙烯酸酯防水涂料	420
第四节 其他类型防水涂料	422

第三章 防火涂料	425
第一节 概述	425
第二节 膨胀型防火涂料	425
一、膨胀型防火涂料的典型配方	425
二、膨胀型防火涂料实例	427

第三节 非膨胀型防火涂料	435
一、非膨胀型防火涂料的典型配方	435
二、非膨胀型防火涂料实例	436
第四节 防火保温隔热涂料	439

第六篇 防腐蚀工程技术应用实例

第一章 大型工业设施防腐蚀	444
第一节 油罐防腐蚀	444
一、油罐腐蚀概况	444
二、油罐内防腐	445
三、油罐外壁隔热防腐	453
第二节 工业烟囱防腐蚀	456
第三节 化工气柜防腐蚀	462
一、化工气柜的腐蚀及防护要求	462
二、煤气柜防腐蚀	463
三、其他各类气柜防腐蚀	466
第四节 管道防腐蚀	467
一、地下钢质管道腐蚀原因	467
二、石油化埋地钢质管道涂装防腐	468
三、聚乙烯外防腐	472
四、油气长输管线的牺牲阳极保护	476
五、钢骨架高密度聚乙烯塑料复合管	477
六、其他管道防腐蚀应用实例	478
第五节 工业冷却水系统防腐蚀	479
一、碳钢水冷器防腐蚀	479
二、混凝土结构凉水塔防腐蚀	488
第六节 工业污水系统防腐蚀	491
一、工业污水的腐蚀	491
二、混凝土污水池防腐蚀	492
三、碳钢污水罐防腐蚀	494
四、排污涵洞防腐蚀实例	497
第七节 贮槽、贮池和贮罐防腐蚀	498
一、混凝土贮槽、贮池和贮罐防腐蚀	498
二、其他贮槽、贮池和贮罐防腐蚀实例	501
第八节 海上采油设施涂料防腐蚀	502

第九节 重防腐涂料配套体系及其应用	506
第十节 大型钢结构的金属涂层长效防腐	513
一、大型钢结构腐蚀的特点及防护方法	513
二、大型钢结构喷锌、喷铝技术及其应用	514
三、大型钢结构热镀锌	519
四、渗铝钢及其应用	521
第二章 工业生产设备防腐蚀	527
第一节 硫酸工业设备防腐蚀	527
第二节 磷酸工业设备防腐蚀	533
一、磷酸生产设备防腐蚀	533
二、磷肥生产设备防腐蚀	535
第三节 醋酸工业设备防腐蚀	536
第四节 氯碱工业设备防腐蚀	539
第五节 化工塔类设备防腐蚀	543
一、尿素造粒塔防腐蚀	543
二、其他化工塔类设备防腐蚀实例	547
第六节 耐腐蚀泵的选用	549
第七节 其他生产设备防腐蚀	554
第八节 设备的带压堵漏	566
第九节 高压水泵机座浇注树脂技术的应用	571
第三章 工业建筑物防腐蚀	573
第一节 工业建筑物腐蚀概况	573
第二节 常用防腐蚀面层材料	577
一、天然耐腐蚀材料	577
二、人造耐腐蚀材料	581
第三节 地面防腐蚀	588
第四节 排水地沟和设备基础防腐蚀结构	599
第五节 建筑防腐蚀施工与验收	605

第七篇 工业清洗和水质处理

第一章 化学清洗	608
第一节 概述	608

第二节 垢的形成和分析	613
第三节 清洗剂的分类和选用	618

第四节 各种酸性清洗剂	620	四、锅炉的碱煮法除垢及碱化处理	675
一、无机酸清洗剂	621	五、新启用锅炉清洗实例	677
二、有机酸清洗剂	624	六、工业在用锅炉清洗实例	680
三、清洗剂的清洗效果比较	628	第二节 各种材质换热器的清洗	688
第五节 化学清洗用缓蚀剂、活性剂和 还原剂	628	一、碳钢换热器	688
一、化学清洗缓蚀剂	629	二、不锈钢换热器	690
二、表面活性剂	634	三、钛换热器	691
三、化学清洗中的还原剂	636	四、铜质换热器	691
第六节 除垢清洗剂用量计算	638	五、铝换热器	694
第七节 漂洗	639	第三节 石油和化学工业其他设备 的清洗	694
第八节 钝化处理	641	第四节 机械工业中清洗剂及应用	725
第九节 化学清洗过程中的分析与监测	644	一、机械除油污除锈清洗剂	725
第十节 化学清洗废液处理与排放	645	二、金属防锈液	731
第二章 物理清洗	652	三、螺母松脱液	732
第一节 超声波清洗技术	652	第五节 食品、印刷和汽车用清洗 剂及应用	733
第二节 Pig 清管技术	655	第五章 水质处理及稳定剂	739
第三节 高压水射流清洗技术	658	第一节 水质处理	739
第四节 电场除垢技术	661	一、冷却水系统细菌及其腐蚀	739
第三章 金属表面除油去污	663	二、水质化学处理方法	740
第一节 有机阻燃清洗剂	663	三、水质处理应用实例	742
第二节 水基清洗剂	665	第二节 水质处理化学品	747
第三节 碱液除油剂	667	一、絮凝剂	747
第四章 工业清洗实例	670	二、阻垢分散剂	749
第一节 锅炉的清洗	670	三、阻垢缓蚀剂	754
一、锅炉水垢的形成、鉴别与分析 方法	671	四、杀菌剂	757
二、锅炉化学清洗有关参数及酸洗法 洗液用量计算	673	五、专用锅炉水处理剂	759
三、锅炉酸洗示意图	675	六、清洗、预膜、消泡剂	761

附 录

附录一 部分防腐材料预算定额表	766	换算表	777
附录二 部分树脂固化剂的规格、性能	773	附录五 积垢的分析方法	778
附录三 各类防腐蚀材料耗用量估算表	774	附录六 化学清洗过程中的分析方法	790
附录四 各种筛孔筛网及砂布粒度			

参 考 文 献

第一篇 防腐蚀工作基础



第一章 金属和非金属材料的腐蚀

第一节 工业腐蚀概况

随着工业迅速发展,腐蚀问题越来越严重,国家科技部门、各工厂对这个问题也越来越重视。腐蚀给国民经济带来巨大的损失,据统计,由于腐蚀而报废的金属设备和材料相当于金属年产量的 $1/3$ 。假定其中 $2/3$ 的金属尚可回炉重新熔炼,那么剩下的 $1/3$,或者说约有 $1/10$ 的金属材料因腐蚀而无法收回。可见腐蚀造成资源极大的浪费。

腐蚀对化工等企业的危害极大,不仅在于金属资源受到损失,还在于正常生产受到影响,因腐蚀造成的设备事故对职工人身安全也会带来严重的威胁。同时,腐蚀使金属设备产生破坏,提前退出服役,而金属设备的造价远远超过金属材料本身的价格。

腐蚀损失主要根据金属和非金属的消耗、防腐蚀费用、事故损失、停产损失等进行调查统计。

据一些工业发达的国家统计,每年由于腐蚀造成的经济损失约占国民经济生产总值的 $1\% \sim 4\%$ 。

据权威部门统计,我国每年因腐蚀造成的损失高达2 800多亿元,相当于国民经济总产值的 4% ,仅在石油和化学工业造成的经济损失每年就达400多亿元。

腐蚀经济损失可分为直接损失和间接损失两类。

1. 直接损失

更换已腐蚀的设备部件等所耗用的金属和非金属材料费用和制造费,防腐蚀所需要的材料费和施工维修费,以及由腐蚀造成的损失等,统称为直接损失。

2. 间接损失

除直接损失外,因腐蚀涉及造成的其他损失称为间接损失。有些间接损失不易计算,往往被忽视,但它相对于直接损失来说危害更大。间接损失可由以下几方面造成。

(1) 突然停车。现代石油化工、化纤、冶金等生产装置的特点是大型化、连续化和自动化,在生产工程中设备因腐蚀造成系统停车会中断生产,造成损失。如上海石化总厂停产一天将损失产值500万元左右。

(2) 物料损失。因设备或管道腐蚀使反应物料泄漏造成的浪费很大,不仅造成原料损失,而且还会引起着火、爆炸、中毒,腐蚀性物料还会引起化工建筑物、地面、地沟、设备基础的严重腐蚀,既污染环境又影响人体健康。

(3) 产品污染。因腐蚀影响产品质量,例如化纤产品因腐蚀物污染,色泽出现变化,使产品降低等级,甚至造成废品。

(4) 效率降低。因腐蚀产物及垢质增加,会使换热器导热效率降低,必须增加水质处理和设备清洗的费用;管路因锈垢堵塞而不得不增大泵的容量;锅炉因腐蚀及结垢耗能损失大。

(5) 过剩设计。难以预测腐蚀速度或尚无有效的防腐措施时,为了确保设备预期使用寿命,大多增加设备腐蚀裕量,从而增大了设备费用。

3. 国外腐蚀损失实例

(1) 据日本统计数据, 日本年腐蚀损失 92 亿美元。其中化工腐蚀损失为 52 亿美元, 占总损失的 56%。

(2) 美国杜邦公司发表两年统计数据, 每年共发生设备事故 560 例, 其中因发生腐蚀而造成的破坏 313 例, 占事故总数的 56%。

(3) 据美国国家标准局 (NBS) 调查, 美国因发生腐蚀年损失超过 700 亿美元, 超过了每年因水灾、火灾、风灾和地震造成的损失总和。

(4) 1975 年芝加哥某大炼油厂由于 15 cm 不锈钢管破裂, 引起爆炸和火灾, 停车 42 天。维修费达 50 万美元; 停车税收损失 500 万美元, 是维修费的 10 倍。

(5) 腐蚀造成资源、能源的大量消耗。例如美国 1975 年因腐蚀所消耗的能源占总能源消耗的 3.5%, 折算成石油相当于 6 219.5 万吨; 又因水质腐蚀产物堵塞水管而增加泵的额外电能消耗, 每年高达 2.5 亿度。

4. 国内腐蚀损失实例

(1) 在 20 世纪 70 年代开发四川某气田时, 由于硫化氢腐蚀破裂产生井喷, 大量天然气放空, 持续 6 天后遇雷击引起火灾, 造成经济损失 6 亿元。

(2) 大型联合企业腐蚀损失较大。例如鞍钢 1980 年的腐蚀损失为 1 亿多元, 相当于公司当年利润的 7%; 钢材烧蚀损失达 16.2 万吨, 相当于全年钢产量的 2.6%。

(3) 上海化工总厂维纶厂 1979 年腐蚀损失为 474 万元, 占总产值的 2.72%, 每吨纤维产品分担的腐蚀费用为 150 元。每年因腐蚀损失钢材为 445 t, 平均每吨产品因腐蚀耗用钢材为 14 kg。

(4) 根据调查, 国内年产量 30 万吨合成氨中型化肥厂, 每年因腐蚀报废的钢铁达 1 350~2 100 t, 平均每吨氨消耗钢材 4.5~7 kg。1978 年 30 万吨合成氨系统仅因脱碳再沸器和部分冷水器腐蚀停产 12.3 天, 少产合成氨 13 499 t, 经济损失 720 万元。

(5) 一个大型染料厂, 每年因腐蚀报废钢材达 2 000 t 以上; 某大型化工厂 1975~1978 年因腐蚀维修共用 978 t 钢材, 价值 180 万元。上海市大、中、小化工行业因腐蚀机修作业每年耗费钢材 7.5 万吨, 有色金属 1.3 万吨, 木材 1.1 万米³, 机修费达 1 亿 2 千万元。

腐蚀给国民经济带来极大损失和危害, 因此, 引起了各行业的高度重视。腐蚀问题的解决与否, 往往会直接影响新技术、新材料、新工艺的实现。尤其是现代化工高温、高压和复杂的腐蚀介质, 设备腐蚀问题解决不好将无法生产。所以防腐工作是现代工业迫在眉睫的问题。

掌握现代腐蚀与防护新技术, 搞好防腐工作是一项重要任务。搞好防腐工作对促进新技术的发展、节省钢材、延长设备使用寿命、节省大量资金、保证安全生产、减少环境污染有着重大意义。

第二节 金属腐蚀原理及腐蚀程度表示方法

一、金属腐蚀原理

当金属和周围的介质相接触时, 由于发生化学作用或电化学作用引起的破坏, 是金属腐蚀的主要原因, 例如钢铁的生锈、银器的发黑、铜钱发绿等。

金属与氧气、氯气、二氧化碳、硫化氢等干燥气体或汽油、润滑油等非电解质接触发生化学作用所产生的腐蚀，叫做化学腐蚀。

金属与液态介质，如水溶液、潮湿的气体或电解质溶液接触时，就会产生原电池作用（即电化学作用）。由电化学作用引起的腐蚀，叫做电化学腐蚀。

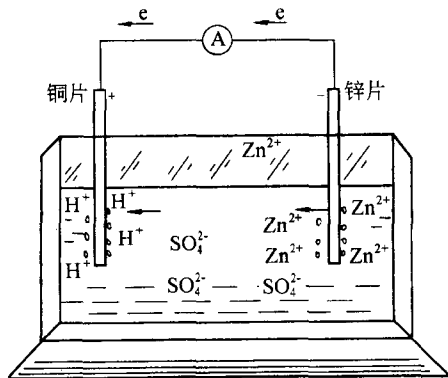


图 1-1-1 简单原电池的结构

什么叫做原电池呢？原电池就是通过自发的电化学反应，把化学能转变为电能，对外电路输出电流的电池。例如在盛有稀硫酸的玻璃缸中，插入两种不同的金属，如一块锌片和一块铜片，就成了简单的铜锌原电池装置（图 1-1-1）。一般铜片和锌片与稀硫酸作用缓慢，但当用导线把这两种金属连接起来时，铜片上就会有許多气泡产生（氢气），若使这个作用继续一段时间，就可看到锌片有明显的损耗（即被腐蚀），在溶液中含有锌离子。如果在导线中间接上一个电流计，就会看见指针偏转，有电子从锌片经导线到铜片，与此同时在电解液（稀硫酸）中的带电离子，把正电荷从锌输送至铜，这样由于锌片与硫酸之间的化学作用就产生了电流。因此，可以说原电池是一种把化学能直接转变为电能的装置。

在上面的例子中，锌的化学活动性比铜强，也就是锌比铜更容易失去电子，因而被氧化。金属依靠它们化学活动性的强弱来排列，一般有如下次序（也叫做电动序）：

钾、钙、钠、镁、铝、锰、锌、铬、铁、镍、锡、铅、氢、铜、汞、银、金

愈是排在前面的金属，如钾、钙、钠，它们的化学活性愈强；愈是排在后面的金属，如汞、银、金，它们的化学活性愈弱。当采用上列金属中的任意两种作为电极，放在适当的电解液中时，都能构成原电池。位于前面的金属容易放出电子，成为阳极；而位于后面的金属不易放出电子，成为阴极。例如用铝片与锌片（也像上述锌片与铜片那样）浸入电解液中，用导线彼此连接起来，则铝片为阳极被腐蚀，锌片不被腐蚀。

金属物品与水或潮湿的空气相接触时，大部分腐蚀是电化学作用。当两种不同的金属在有水存在的情况下互相接触时，就构成一个原电池，其中较活泼的金属为阳极而被腐蚀。例如，船体钢壳与某种青铜铸品相接触的地方，往往容易腐蚀，这是因为在电动序中，铁的位置在铜的前面。又如在铜板上钉一个铁制的铆钉（图 1-1-2），因为空气中经常含有水蒸气和二氧化硫气体，所以在这两块金属的表面覆盖着一层极薄的导电水膜，形成了原电池，铁失去电子变成铁离子进入溶液，和水中的氢氧根离子结合生成氢氧化亚铁，附着在铁的表面，氢氧化亚铁被空气中的氧化，就成为铁锈（含水氧化铁），水中的氢离子获得电子后，变成氢气在铜阴极上释出。

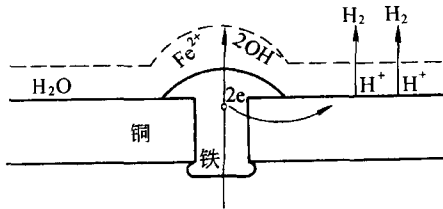


图 1-1-2 铁钉在铜板上的腐蚀图解

即使单独的一种金属构件，与水或潮湿泥土相接触时，也同样会发生电化学腐蚀，因为工业用的金属经常含有各种杂质，例如普通钢是铁碳合金，钢中含有 Fe_3C 和其他杂质（图 1-1-3），当和潮湿的空气相接触时，在金属的内部就形成了无数个微电池，其中铁为阳极， Fe_3C 为阴极，就产生了钢铁腐蚀的电流。当这些微电池中有盐类和氧存在时，溶液的导电

性和去极化作用增大,加速了金属的腐蚀。

总之,金属的腐蚀主要是电化学过程,这过程需要在有水与氧存在的条件下才能进行。因此,阻止水和氧与金属接触,腐蚀就可以尽可能地避免。

二、金属腐蚀程度表示方法

1. 由质量变化来表示腐蚀速度

金属腐蚀程度可以由样品在腐蚀前后质量变化进行评定。如果根据质量的减少来测定,可以用下式表示其腐蚀速度:

$$v^- = \frac{m_0 - m_1}{S \cdot t}$$

式中 v^- 为腐蚀速度, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; m_0 为样品腐蚀前的质量, g ; m_1 为样品腐蚀后的质量, g ; S 为样品表面积, m^2 ; t 为腐蚀的时间, h 。

显然,此法只能在均匀腐蚀并能很好地清除金属表面的腐蚀产物时采用。在某些情况下,如果金属表面的腐蚀产物全部附在上面或者脱落下来但能完整收集起来时,则腐蚀速度可根据样品增重进行计算。此时可用下式表示其腐蚀速度:

$$v^+ = \frac{m_2 - m_0}{S \cdot t}$$

式中 v^+ 为腐蚀速度, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; m_2 为带有腐蚀产物的样品质量, g , 应将腐蚀产物根据其成分换算成金属的质量。

按质量表示腐蚀速度的单位还有 $\text{mg}/(\text{dm}^2 \cdot \text{d})$ (英文缩写为 mdd)、 $\text{g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{d})$ 、 $\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ 等。

2. 由腐蚀深度来表示腐蚀速度

用质量变化表示腐蚀速度的方法没有将腐蚀深度表达出来。从工程应用的观点来看,腐蚀深度或构件变薄的程度将直接影响待测部分的寿命,因此更具有实用意义。

将构件的质量损失换算成腐蚀深度的公式为

$$\pi = 24 \times 365 v^- / (1000 \rho) = 8.76 v^- / \rho$$

式中 π 为用腐蚀深度表示的腐蚀速度, mm/a ; v^- 为用质量损失表示的腐蚀速度, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; ρ 为金属密度, g/m^3 。

国际上曾经普遍采用英制密耳/年 (mil/a , 英文缩写 $\text{mV}^- \text{y}$) 作为腐蚀速度的单位 ($1 \text{ mil} = 10^{-3} \text{ in} = 2.54 \times 10^{-5} \text{ m}$), 因为实际上耐蚀材料的腐蚀速度约为 $1 \sim 200 \text{ mil}/\text{a}$, 用这种方式表达腐蚀数据就可采用整数, 避免用小数。我国目前以国际单位作为法定计量单位, 因此腐蚀速度采用 mm/a 表示。碳钢及铁基材料的腐蚀速度为 $0.1 \sim 1.0 \text{ mm}/\text{a}$, 而耐蚀合金的腐蚀速度小于 $0.0025 \text{ mm}/\text{a}$ 。

必须指出,金属的腐蚀速度一般随时间而变化。例如对于遭到海水作用的碳钢来说,由于腐蚀产物在表面形成后的保护作用,其腐蚀速度随时间有一些降低,当评价碳钢结构在海水中的使用期限时,要注意到这个特点。在腐蚀试验时,应该确定腐蚀速度与时间的关系,尽可能考虑获得稳定的腐蚀速度值来选择进行试验的总时间。钢铁在各种环境中的自然腐蚀

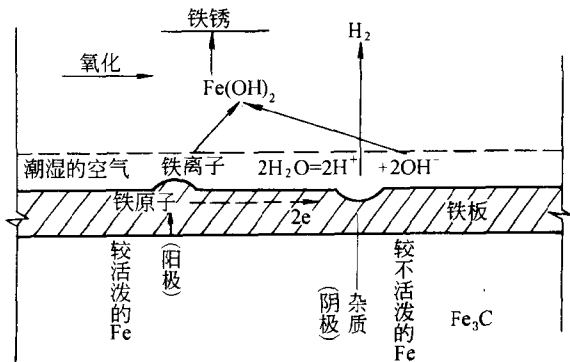


图 1-1-3 微电池腐蚀示意图

速度见表 1-1-1。铁腐蚀程度与土壤电阻率有关, 如表 1-1-2 所示。钢构造物在海洋环境下的腐蚀速度如表 1-1-3 所示。

表 1-1-1 钢铁的自然腐蚀速度

环 境	平均腐蚀深度 mm/a	孔蚀倍数(最深孔 /平均腐蚀深度)
大气(低碳钢)	0.25	2~10
海水(低碳钢)	0.12	2~30
海水(铸铁)	0.10	2~15
淡水(低碳钢)	0.05	2~5
土壤(低碳钢)	0.01	2~25

表 1-1-2 铁腐蚀程度与土壤电阻率的关系

土壤电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$	铁腐蚀程度
0~900	非常强烈
901~2 300	强烈
2 301~5 000	中等
5 001~10 000	缓慢
10 000 以上	非常缓慢

表 1-1-3 钢构造物在海洋环境下的腐蚀速度

钢腐蚀速度	海上大气中	飞沫带	涨落潮带	海水中	海底泥土中
腐蚀度平均值, mm/a	0.05~0.15	0.1~0.3	0.05~0.15	0.05~0.1	0.03~0.2
最大腐蚀速度, mm/a		平均值的 2~3 倍	平均值的 2~3 倍	平均值的 2~3 倍	

局部腐蚀速度不能采用上述全面腐蚀速度表示方法来表达。

有人用点蚀因子表示点蚀速度, 它是孔蚀最深处与平均腐蚀深度的比值。局部腐蚀结果必然产生金属结构有效截面的减少和应力集中, 使金属机械性能下降。因此, 可通过拉伸、扭转等力学性能试验来间接评定腐蚀破坏的程度。

三、金属和合金耐蚀性评价指标

金属和合金全面腐蚀的耐蚀性通常按照表 1-1-4 中列出的 10 级标准进行评定, 也有按表 1-1-5 列出的 3 级标准进行评价的。

表 1-1-4 金属耐蚀性通用标准

耐蚀性分类	耐蚀性等级	腐蚀速度, mm/a	耐蚀性分类	耐蚀性等级	腐蚀速度, mm/a
I 完全腐蚀	1	<0.001	IV 尚耐蚀	6	0.1~0.5
II 很耐蚀	2	0.001~0.005		7	0.5~1.0
	3	0.005~0.01	V 稍耐蚀	8	1.0~5.0
III 耐蚀	4	0.01~0.05		9	5.0~10.0
	5	0.05~0.1	VI 不耐蚀	10	>10.0

表 1-1-5 金属耐蚀性 3 级标准

耐蚀性分类	腐蚀速度, mm/a	腐蚀性等级	耐蚀性分类	腐蚀速度, mm/a	腐蚀性等级
耐蚀	<0.15	1	不可用	>1.5	3
可用	0.15~1.5	2			

第三节 非金属腐蚀原理及腐蚀评定方法

一、非金属腐蚀原理

绝大多数非金属材料是非电导体, 就是少数导电的非金属材料(如石墨)在溶液中也不会离子化, 所以非金属的腐蚀一般不是电化学腐蚀, 而是纯粹的化学或物理的作用, 这是与金属腐蚀的主要区别。金属的物理腐蚀(如物质转移)只在极少环境中发生, 而非金属内部

腐蚀则是常见的现象。

当非金属材料表面和介质接触后,溶液(或氢气)会逐渐扩散到材料内部。表面和内部都可能产生一系列变化,如聚合物分子起了变化,可引起物理机械性能的变化,即强度降低、软化或硬化等。橡胶和塑料受溶剂作用可能全部或部分溶解或溶胀。溶液侵入材料内部后,可引起溶胀或增重。表面可能起泡、变粗糙、变色或失去透明。内部也可能变色,而这些在金属材料中是少见的。高分子有机物受化学介质作用可能分解,受热也可能分解。在日光照射(紫外线)和辐射作用下逐渐变质、老化。一般有机材料不耐高温,不耐强氧化性物质,热变形稳定温度超过 150℃ 以上的不多。

非金属材料通常由几种物质组成,例如塑料中除合成树脂外,还有填料(如玻璃纤维、石英粉、石墨粉)、增塑剂、硬化剂等。这些物质的耐蚀性并不完全相同,在腐蚀环境中有时一种或几种成分有选择性地溶出或变质破坏,整个材料也就被破坏了。如层压塑料(玻璃钢)的胶料树脂破坏后,就产生了脱层现象。在氢氟酸中,玻璃纤维或其他硅质填料被腐蚀,材料也就解体。这是非金属材料的选择性腐蚀。在选用非金属材料时,应注意每一组分的耐蚀性。

非金属因为没有电化学溶解作用,所以,对离子的抵抗力强,能耐非氧化性稀酸、碱、盐溶液等,金属则会不同程度地受到酸、碱、盐侵蚀。金属一般不受有机溶剂的作用,而有机材料则容易受溶剂溶解。

也有极少数非金属材料由于电化学作用而破坏的例子。如电解食盐水工程中,在阳极上所产生的氧与碳或石墨阳极板反应生成二氧化碳气体,使电极破坏。又如塑料部件和金属的阴极部分接触,当阴极的 OH^- 浓度增大时,就会使不耐碱的塑料破坏。这类“电化学”腐蚀显然与金属的电化学腐蚀不同。石墨或碳与金属接触或以杂质存在于金属中时,会形成电池,它的电位较高,通常作为阴极,本身不会腐蚀,却往往加速金属的腐蚀。

非金属也会产生应力腐蚀破裂,例如聚乙烯、有机玻璃、不透性石墨在化学介质和应力的同时作用下会破裂。有机玻璃在丙酮中的破裂,有人认为是由于介质进入内部,使吸附面的界面强度显著下降,当存在与吸附线方向垂直的拉应力时,材料就沿着这条吸附线破裂。有人认为塑料、木材、混凝土等产生裂缝,就可能是这种“应力吸附破裂”。当然还有“腐蚀胀裂”或“化学胀裂”的作用,如混凝土贮槽由于盐水渗入微孔,盐在孔内结晶,产生膨胀应力,使其破裂。钢筋混凝土内钢筋生锈,也能使混凝土胀裂。

总之,非金属腐蚀破坏的主要特征是物理、机械性能的变化或外形的破坏,不一定是失重,往往还会增重。对金属而言,因腐蚀是金属逐渐溶解(或成膜)的过程,所以失重是主要的。对非金属,一般不测失重,而以一定时间的强度变化或变形程度来衡量破坏程度。

二、非金属材料腐蚀试验

非金属材料因为具有与金属材料相比全然不同的特性,所以对它们耐腐蚀性能的试验和评定方法不同。非金属经受腐蚀介质的作用,常常表现出以强度下降为特点的各种破坏。因此非金属耐腐蚀性能常用测定试样腐蚀前后的质量变化和机械强度变化率来判断。下面简要介绍塑料、玻璃钢、陶瓷类、涂料、胶泥等非金属材料腐蚀试验和评定方法。

1. 塑料腐蚀试验方法

(1) 质量法。塑料在腐蚀介质的作用下,质量会发生变化。其质量变化率和材料的耐腐蚀性能有直接联系,试样的质量变化可以表示某材料耐蚀性能的优劣。质量法由于方法简单,结果可靠,已成为最常用的试验方法。