

SHIYOU HUAGONG SHEBEI 
FANGFUSHI JISHU 

石油化工设备 防腐蚀技术



 王 巍 薛富津 潘小洁 编著



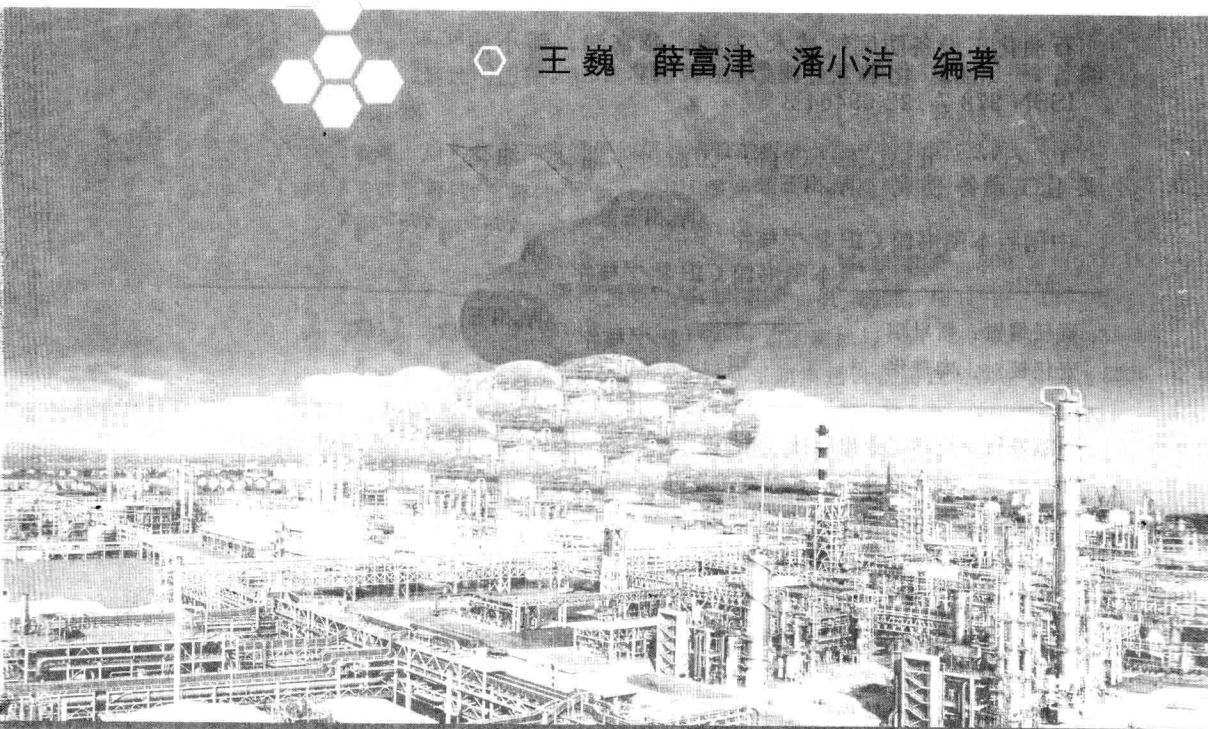
化学工业出版社

SHIYOU HUAGONG SHEBEI ◊
FANGFUSHI JISHU ◊

石油化工设备 防腐蚀技术



◊ 王 巍 薛富津 潘小洁 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书总结了近 20 年来石油化工设备防腐蚀的应用技术与研究成果,结合作者的工作实践,介绍了石油化工设备的表面处理、涂装技术、涂覆方法、防腐涂层、防腐设计与施工原则;还介绍了石化设备防腐结构的设计、选材、防腐管理、金属材料应用等防腐相关知识。读者可以从理论与实例中,对照生产中出现的问题,找到相应的防腐方法。本书适合石油化工防腐蚀技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油化工设备防腐蚀技术/王巍,薛富津,潘小洁
编著. —北京:化学工业出版社,2010.11
ISBN 978-7-122-09464-3

I. 石… II. ①王…②薛…③潘… III. 石油化
工-化工设备-防腐 IV. TE98

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 175316 号

责任编辑:靳星瑞
责任校对:陶燕华

文字编辑:杨欣欣
装帧设计:韩 飞

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 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司
710mm×1000mm 1/16 印张 20 $\frac{1}{4}$ 字数 342 千字
2011 年 2 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:68.00 元

版权所有 违者必究

序

金属材料表面与其所处环境介质之间的化学反应、电化学反应所引起的破坏称之为金属腐蚀。

金属及其结构在其所处的环境中，许多因素往往和环境化学因素及电化学因素一起，参与和影响金属腐蚀过程。除化学因素及金属的冶金因素（成分、金相组织和结构等）外，影响金属腐蚀的环境因素还包括：应力、振动、冲刷、摩擦与磨损等力学/机械学因素；生物学因素等。这些因素与化学因素对腐蚀的影响，往往不是各个因素单独作用时所发生影响的简单加和，在多数情况下起着彼此相张的作用，因而，常常使腐蚀加速，造成更大的破坏性后果。

根据发达国家英国、美国等国腐蚀调查，腐蚀的直接经济损失，分别占国民总产值 3.5% 和 4.2%。它比火灾、水灾（15 年平均值）、风灾和地震（50 年平均值）等自然灾害年损失的总和还要大得多。而腐蚀所造成的间接损失将数倍于其直接损失。世界上每年由于腐蚀而报废的金属设备和材料，相当于金属年产量的 20%~40%，而 10% 则因腐蚀散失掉，无法回收。

我国是一个发展大国，经济迅速发展，腐蚀问题显得非常突出，每一个石油化工企业每年的大修、更新、维修费用的 80% 以上，用在因腐蚀而报废的设备、管道及金属（非金属）结构更新维护上，腐蚀造成的损失是非常可观的。而且腐蚀易引起突发的恶性破坏事故，不仅会带来巨大的经济损失，而且往往会引发燃烧、爆炸、人身伤亡和灾难性的环境污染等灾祸，造成严重的社会后果。这种腐蚀破坏，必须尽力设法避免。因为消除腐蚀是不可能的，成功的办法就是控制腐蚀，或者说成是防止腐蚀。因此，控制腐蚀问题一直引起人们的高度关注。

腐蚀科学与保护技术的研究与发展，消除在苛刻的强化操作条件下设备腐蚀引发的恶性事故的隐患，将直接影响到国民经济与国防建设的安全保障和经济效益，因此，具有极其重要的意义。

本书全面地阐述了石油化工企业生产设备的防腐蚀技术，材料详实；介绍了大量经大工业考核的成熟的防腐蚀案例，可以直接指导生产设备防腐蚀，具有鲜明的实用性。本书还把最新的防腐蚀技术和材料及应用效果进行了专门论述。因此，本书可供石油化工战线防腐蚀工作者借鉴，也可供从事化工防腐蚀工作的科研、设计人员参考。

中国科学院院士
北京科技大学教授



2010年4月于北京

腐蚀与防护是一门独立的学科，它是研究结构材料的腐蚀过程和腐蚀控制机理，采取措施延长结构材料使用寿命的一门学科。正确选用材料和采取实用的防护措施对延长设备的使用寿命是十分有意义的。

腐蚀与防护这门科学技术，为什么会越来越受到人们的高度重视？主要是腐蚀给人类造成了巨大的损失。据美国有关资料报道，腐蚀损失估计约占国民生产总值的4%。我国对10个化工企业进行了腐蚀调查，腐蚀损失占国民生产总值3.9%。

石油化工生产过程由于经常与强腐蚀介质接触，生产又经常在高温、高压、高流速下进行，所以腐蚀特别严重。腐蚀包括两部分，一部分是不可避免的损失，一部分是采用防护措施可以避免的损失。

由于科学的不断发展，新的生产工艺、新的生产技术不断涌现，必将不断提出新的腐蚀课题，需要我们去研究解决。同时，新的防腐蚀材料、新的防腐蚀技术不断出现，又给我们提供了解决腐蚀问题的新途径。所以要掌握好腐蚀与防护这门科学技术，为设备的防腐蚀与管理服务是设备管理者的职责。

面对石化行业不断出现的腐蚀问题，编者们认为有必要对石油化工设备防腐蚀、涂装技术及应用实例进行总结，使石化行业设备管理人员通过阅读本书，对这方面内容形成较系统的了解，进而提高石化行业整体设备防腐蚀水平是很有意义的。

笔者们有从事石油化工腐蚀与防护管理工作20多年，一直在防腐蚀研究、管理、施工第一线，在各防腐蚀期刊发表了一百二十多篇防腐实用文章；有的是从事涂料的开发和生产，取得多项专利；有的一直从事腐蚀和防腐蚀的管理。为了适应石油化工防腐工作的需要，共同编写了这本《石油化工设备防腐蚀技术》一书，该书总结了近20多年来我国石油化工设备防腐蚀的经验，包括了笔者在研究和生产实践中形成的经验与体会。因生产过程所处的环境不尽相同，所采用的防护方法与材料各不一样。因此，不同单位所采用的防护方法也各不一样。编者从生产实践出发，对各单位的防腐蚀经验进行了梳理，在薛俊峰先生的

指导和反复修改后,才得以汇编成册。本书完全从实用出发,介绍了表面处理、涂装技术、涂覆方法、防腐涂层、防腐设计与施工原则、设备防腐结构的设计、设计与选材、防腐管理、金属材料在石化领域的应用,读者可以从这些实例中,对照生产中出现的问题,找到相关的防腐材料及相应的防腐方法,较多的防腐实例是本书的特点。这些实例在石油化工行业中具有普遍意义。

编者希望本书能够为石化行业设备管理人员掌握防腐蚀基础知识和防腐蚀技术提供帮助和借鉴。

在本书编写过程中,得到了石化公司各级领导的大力支持;本书出版得到哈尔滨鑫科纳米科技发展有限公司董事长薛俊峰先生的大力资助,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中的缺点错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2010年4月于大庆

第一部分 防腐蚀基础

1	金属腐蚀与控制	2
1.1	腐蚀概论	2
1.1.1	腐蚀的定义	2
1.1.2	腐蚀的危害	2
1.1.3	腐蚀的分类	3
1.2	金属腐蚀的形态	4
1.2.1	概述	4
1.2.2	全面(均匀)腐蚀	4
1.2.3	孔蚀	5
1.2.4	缝隙腐蚀	6
1.2.5	脱层腐蚀	6
1.2.6	晶间腐蚀	7
1.2.7	选择性腐蚀	7
1.2.8	磨损腐蚀	8
1.2.9	应力腐蚀破裂	9
1.2.10	腐蚀疲劳	10
1.2.11	氢腐蚀	11
1.3	控制腐蚀的方法	12
1.3.1	正确选材和设计	12
1.3.2	调整环境	12
1.3.3	加入缓蚀剂	12
1.3.4	阴极保护	14

1.3.5	阳极保护	16
1.3.6	合金化	16
1.3.7	表面处理	17
1.3.8	金属镀层和包覆层	18
1.3.9	涂层	18
1.3.10	衬里	19

2 金属材料在石化领域的应用 20

2.1	钛及钛合金	20
2.1.1	主要成分和使用特性	20
2.1.2	钛及钛合金的耐蚀性能	20
2.2	镍及镍合金	22
2.2.1	主要成分和使用特性	22
2.2.2	耐蚀性能	23
2.3	铜及铜合金	26
2.4	不锈钢	28
2.4.1	不锈钢耐腐蚀类型	28
2.4.2	不锈钢耐蚀性顺序（由低到高）	30
2.5	奥氏体钢炉管的应力腐蚀开裂及防护措施	30
2.5.1	几种常见的奥氏体钢炉管应力腐蚀开裂原因	30
2.5.2	奥氏体钢炉管应力腐蚀开裂的预防措施	32
2.6	加热炉低温露点腐蚀及防护措施	35
2.6.1	低温露点腐蚀的原因	35
2.6.2	影响烟气露点温度的因素	38
2.6.3	腐蚀速度与壁温的关系	38
2.6.4	烟气露点温度的确定	40

2.6.5 低温露点腐蚀的防护和减轻措施	41
----------------------------	----

3 防腐涂料 44

3.1 防腐涂料的作用和影响因素	44
3.1.1 作用	44
3.1.2 涂料成膜物质的影响	44
3.1.3 颜料、填料的影响	45
3.2 防腐蚀涂料的主要类型	45
3.2.1 油脂涂料	45
3.2.2 生漆	46
3.2.3 酚醛树脂涂料	46
3.2.4 环氧树脂涂料	46
3.2.5 聚氨酯涂料	46
3.2.6 乙烯树脂涂料	47
3.2.7 呋喃树脂涂料	47
3.2.8 橡胶类涂料	47
3.2.9 沥青涂料	48
3.2.10 重防腐蚀涂料	48
3.2.11 防腐蚀玻璃鳞片涂料	48
3.3 新型钛纳米聚合物涂料	51
3.3.1 钛纳米聚合物涂料的组成	51
3.3.2 钛纳米聚合物涂料的种类	51
3.3.3 钛纳米聚合物涂料干膜 200 μ m 的耐蚀试验	53
3.3.4 工业应用实例	55
3.3.5 检测结果	57
3.3.6 钛纳米聚合物涂料主要特点	59

3.3.7 钛纳米聚合物涂料的选用与防腐设计	60
3.3.8 钛纳米聚合物涂料的施工	62
3.4 典型固化剂对环氧树脂涂料性能的影响	68

4 涂装技术 72

4.1 涂装概述.....	72
4.1.1 涂装的目的.....	72
4.1.2 常用的表面处理方法.....	72
4.1.3 影响涂层保护效果的因素.....	73
4.2 表面处理.....	73
4.2.1 金属的表面处理.....	74
4.2.2 混凝土表面处理.....	80
4.3 涂覆方法.....	89
4.4 涂料异常现象的出现原因及解决措施.....	91
4.4.1 涂料施工前的病态.....	91
4.4.2 涂料施工时出现的病态.....	93
4.4.3 涂料施工后出现的病态.....	95

第二部分 防腐蚀工程应用实例

5 大型工业设施的防护 98

5.1 储油罐及设备.....	98
5.1.1 原油储罐防腐涂装.....	98
5.1.2 表面处理（保温与不保温部分）.....	98
5.1.3 罐外壁防腐（不保温部分）.....	99

5.1.4	带保温的罐体防腐	99
5.1.5	罐内壁防腐	99
5.1.6	罐底板下面防腐	99
5.1.7	注意事项	99
5.2	储油罐防腐(实例)	101
5.2.1	各类油罐腐蚀的情况	101
5.2.2	油罐各部位的腐蚀情况	101
5.2.3	储油罐的防护	103
5.3	轻烃罐的腐蚀与防护(实例)	105
5.3.1	概况	105
5.3.2	腐蚀原因分析	105
5.3.3	材料的选择依据	106
5.3.4	结构层的选择与施工	107
5.3.5	使用效果	107
5.4	储罐罐底角及罐底板下面的腐蚀与防护(实例)	107
5.4.1	腐蚀原因分析	108
5.4.2	罐底角腐蚀的解决办法	109
5.5	不锈钢设备表面保冷应该注意的问题	111
5.5.1	保温层下金属的腐蚀	111
5.5.2	保冷层外的防潮问题	111
5.6	钢制储罐罐底外壁的阴极保护	112
5.6.1	储罐罐底外壁的阴极保护	112
5.6.2	改进型阳极材料	113
5.6.3	储罐罐底外壁保护电位的测量	117
5.6.4	注意事项	119
5.6.5	防止罐底板下面金属腐蚀的方法(实例)	120
5.7	水处理设备的腐蚀与防护(实例)	123

5.7.1 材料选择	124
5.7.2 防腐效果	127
5.8 螺旋式湿式气柜的腐蚀与防护（实例）	127
5.8.1 腐蚀原因分析	128
5.8.2 涂料的选择	130
5.8.3 防护效果	131
5.9 氨水罐的腐蚀与防护方法（实例）	132
5.9.1 腐蚀原因分析	132
5.9.2 采用钛纳米聚合物涂料的效果	134

6 管道防腐

6.1 埋地钢管的腐蚀	135
6.2 管道内防腐技术	136
6.2.1 管道阴极保护技术	137
6.2.2 地上管道防腐技术	137
6.3 管道内衬防腐防水砂浆	137
6.4 输水管道内壁的腐蚀与防护（实例）	138
6.4.1 砂浆衬里	139
6.4.2 涂料防腐	140
6.4.3 砂浆防腐与涂层防腐的对比分析	141
6.4.4 砂浆防腐效果	141
6.5 污水管道内壁防腐（实例）	142
6.5.1 污水的腐蚀性	142
6.5.2 防腐方案的选择	143
6.5.3 各种防腐体系比较	146

6.6	管道外壁的腐蚀与防护 (实例)	146
6.6.1	腐蚀原因分析	147
6.6.2	材料的选择依据	147
6.6.3	防腐效果	148
6.7	碱线应力腐蚀与防护 (实例)	148
6.7.1	腐蚀原因分析	149
6.7.2	材料选择	150
6.7.3	施工及应用效果	150
6.8	油气集输金属管道的腐蚀与防护	152
6.8.1	金属管线的腐蚀机理	152
6.8.2	埋地管线的土壤腐蚀	153
6.8.3	集输油气金属管线的外防护措施	154
6.9	玻璃钢管道与碳钢管道的比较	155
6.9.1	玻璃钢管道	155
6.9.2	钢管	156
6.9.3	玻璃钢外护管的优缺点	157
6.10	石油化工埋地钢质管道涂装防腐体系	158

7

工业冷却水和污水的防腐蚀 160

7.1	PF-01 防腐涂料在炼油厂循环水凉水塔上的应用 (实例)	160
7.1.1	凉水塔的腐蚀情况及原因分析	160
7.1.2	钢结构腐蚀的原因	161
7.1.3	防腐材料的选择	162
7.1.4	塔体防腐施工	162
7.1.5	使用效果	164

7.2 循环水塔钢结构的腐蚀与防护 (实例)	164
7.2.1 防腐施工	166
7.2.2 施工中的注意事项	167
7.3 混凝土结构凉水塔的防护	168
7.3.1 防腐材料的选择	168
7.3.2 塔体防腐施工	168
7.3.3 使用情况	168
7.4 含硫污水的腐蚀与防护	169
7.4.1 腐蚀机理	169
7.4.2 各单位选择防含硫污水腐蚀涂料的成败原因	170
7.4.3 有机高分子防腐涂料在含硫污水中的应用	173
7.4.4 含硫污水防腐设计方案	175
7.5 污水罐的腐蚀与防护 (实例)	175
7.5.1 污水罐腐蚀情况	175
7.5.2 防腐材料的筛选	177
7.5.3 防腐层的设计与施工	178
7.5.4 使用效果与经济分析	179
7.5.5 采用不锈钢衬里的不合理性	179
7.6 污水系统混凝土结构的腐蚀与防护 (实例)	179
7.6.1 混凝土表面腐蚀原因	180
7.6.2 防腐涂层的损坏原因	181
7.6.3 防腐蚀设计	182
7.6.4 施工中注意事项	183
7.6.5 使用效果	184
7.7 污水加药槽的腐蚀与防护 (实例)	185
7.7.1 腐蚀分析	185

7.7.2	材料选择依据	186
7.7.3	施工	187
7.7.4	使用效果	187
7.8	污水处理厂混凝土池槽及钢结构件的防腐	188
7.8.1	混凝土材料的选择	189
7.8.2	钢筋防蚀材料的选择与应用	190
7.8.3	防腐蚀方案的制定原则	191
7.8.4	防腐蚀方案的选择	192
7.8.5	混凝土结构表面防腐方法	193
7.9	工业污水池的腐蚀与防护	193
7.9.1	玻璃钢衬里	193
7.9.2	树脂鳞片胶泥衬里	195
7.9.3	耐酸块材砌筑	196
7.9.4	应用举例	196
7.10	混凝土大型污水池的防护实例	197

8

大型钢结构防护

199

8.1	化工大气的腐蚀与防护	199
8.1.1	化工大气对金属设备的腐蚀情况	199
8.1.2	腐蚀原因分析	200
8.1.3	耐大气腐蚀材料选择	201
8.2	化工大气耐蚀材料选择——钢结构防腐体系涂装方案和效益分析	202
8.3	含有无机酸大气环境下材料选择（实例）	203
8.3.1	概况	203

8.3.2	腐蚀原因分析	204
8.3.3	防腐材料选择依据	205
8.3.4	防腐效果	206
8.3.5	防腐结构设计与施工	206
8.4	化肥系统混凝土的化工大气的腐蚀与防护（实例）	208
8.4.1	腐蚀概况	208
8.4.2	防护措施的选择	209
8.4.3	防腐效果	210
8.4.4	施工	211

9 工业生产设备防腐蚀 214

9.1	换热设备	214
9.1.1	换热设备腐蚀与防护（实例）	214
9.1.2	管束外壁腐蚀及锈蚀产物的处理	216
9.1.3	换热器防腐蚀方法	220
9.1.4	碳钢设备防腐蚀	220
9.1.5	水冷器防腐涂料	223
9.1.6	使用效果	223
9.1.7	问题与展望	225
9.1.8	碳钢水冷器的防腐涂层	226
9.1.9	炼油厂重整车间换热设备腐蚀与防护方法	228
9.2	炼油厂常减压加热炉外护板腐蚀与防护	233
9.3	水泵抗汽蚀磨损防护技术	236
9.4	催化重整装置引风机壳体内壁腐蚀与防护（实例）	237
9.5	设备化学清洗（实例）	239