

腐蚀与防护手册

第二版

第  卷

耐蚀金属材料 及防蚀技术

天华化工机械及自动化研究设计院 主编



化学工业出版社

腐蚀与防护手册

第二版

第2卷

耐蚀金属材料 及防蚀技术

天华化工机械及自动化研究设计院 主编



化学工业出版社

北京

本书为《腐蚀与防护手册》第2卷, 主要介绍碳钢和低合金钢、铸铁、不锈钢、耐蚀合金、耐热钢和合金、有色金属及其合金、常用的金属表面保护工程技术、耐蚀金属衬里技术、电化学保护技术、缓蚀剂等内容, 准确地反映了国内外金属腐蚀与防护技术的发展趋势, 特别关注了耐蚀金属设备的制造技术及防腐蚀金属的工程应用技术, 具备前瞻性、实用性、先进性和针对性。

本书可供防腐蚀工程技术人员和防腐蚀科研人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

腐蚀与防护手册: 第2卷 耐蚀金属材料及防蚀技术/
天华化工机械及自动化研究设计院主编. —2版. —北
京: 化学工业出版社, 2006.8

ISBN 978-7-5025-9264-6

I. 腐… II. 天… III. ①耐蚀材料: 金属材料-防
腐-手册②金属表面保护-手册 IV. TG17-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 105841 号

责任编辑: 段志兵 李志清

文字编辑: 孙凤英

责任校对: 吴 静

装帧设计: 尹琳琳

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: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张 53½ 字数 1066 千字 2008 年 8 月北京第 2 版第 4 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: 98.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

《腐蚀与防护手册》作为一套重要的防腐蚀工程技术指导图书，一直发挥着广泛而持久的作用，要一直跟踪着技术进步不断修订提升。本次修订正是顺应技术进步要求的必然结果。

本《手册》作为腐蚀行业工作人员在实际工作中针对具体问题查阅参考用的工具书，其主要服务对象为工业生产装置的设计工程师、防腐蚀施工技术人员、耐腐蚀设备的制造工程师、防腐蚀工程施工的监理人员、生产单位的装置管理及检修人员、大学及科研机构的腐蚀研究工程师，因此其内容侧重于防腐蚀材料、技术的工程实用性，常见的金属及非金属腐蚀失效的表现特征及分析方法，工业生产装置的主要腐蚀环境及控制方法。其主要功能是使上述读者通过查阅本《手册》，能够理解和运用本《手册》的知识和信息，解决在实际工作中遇到的腐蚀问题。充分体现针对性、可靠性、实用性。

本《手册》修订本在保持初版大框架结构的基础上，注重了内容的推陈出新，力图准确地反映当前和未来的国内外腐蚀与防护技术的发展趋势，特别关注耐腐蚀设备的制造技术及防腐蚀材料的工程应用技术的最新科研成果。在腐蚀理论方面，增加“有机非金属材料腐蚀机理”章节；在腐蚀控制方面，增加“腐蚀防护工程”、“腐蚀调查”、“腐蚀在线监测”章节；在防腐蚀工程技术方面，增加“鳞片衬里技术”、“直埋钢管线外防腐保温成型技术”、“防腐蚀工程中的环保、安全和卫生”章节；在生产装置腐蚀与防护方面，增加“湿法烟气脱硫装置的腐蚀与防护”、“采储油生产装置的腐蚀与防护”、“石化装置加热炉用材料的高温腐蚀与防护”、“湿法冶金装置的腐蚀与防护”章节。充分体现本《手册》的新颖性、前瞻性、导向性。

本《手册》在原有内容的取舍上，针对既定的读者对象、行业需求及行业技术进步成果，在修订编写的各章节中坚决地淘汰过时的、无效的及已熟知的材料与技术，侧重于实用的、发展的及新生的材料与技术内容补充。其实例不胜枚举，充分体现本《手册》的历史性、先进性、实践性。

本《手册》在修订编写过程中，以国家标准、行业标准规范编写技术体系，尽量与国际标准接轨。在结构、层次及语言上，保持了初版的风格，以科学的结构、清晰的层次、简明的语言和丰富的图表，方便读者的查阅和理解。

本书为《腐蚀与防护手册》第2卷，重点介绍耐蚀金属材料、耐蚀金属材料的工程应用技术、金属材料的腐蚀控制技术、腐蚀防护工程实践层面的内容。目的在于使读者通过阅读本分册内容，能够根据腐蚀环境特点正确地选择耐蚀材料，能够根据材料的腐蚀特性正确地使用耐蚀材料，从工程和实践层面上了解耐蚀金属材料及其工程应用技术，了解金属材料的腐蚀控制技术，为读者在从事生产装置的防腐蚀工程设计、预防在设备制造安装过程中的腐蚀隐患、控制装置运行过程中可能发生的腐蚀事故、处理已发生的具体腐蚀事故提供理论解释、实践指导和工作方法。

本书的第1章、第2章、第7章、第8章由赵志农编写，第3章、第4章由陆世英编写，第5章由赵先存编写，第6章由陈一字编写，第9章由袁美琴编写，第10章由李峥嵘、孙宏斌编写。在本书修订再版之际，再次向本书初版作者徐自力、李挺芳、聂世凯深表感谢，他们当年的作品是本次修订的基础和重要参考文献。

本书第二版在编写过程中得到了国内腐蚀行业广大专家的大力支持，化学工业出版社对本书的修订出版付出了辛苦的劳动并给予了真诚的指导和帮助，在此深表感谢。

《腐蚀与防护手册》编委会主任
天华化工机械及自动化研究设计院院长 张亚丁

第一版前言

腐蚀科学是研究材料在环境作用下的破坏机理以及如何进行保护的一门学科，它涉及的领域很广，与它交叉的学科很多，是一门新兴的边缘科学。

腐蚀问题遍及国民经济和国防建设各个部门。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%，腐蚀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，世界钢铁年产量约有十分之一因腐蚀而报废，美国每年因腐蚀要多耗3.4%的能量；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。因此工业发达国家都高度重视这门科学技术，建立了研究和管理腐蚀的全国性机构，成立了各种国际性组织，举行学术会议，出版了大量专著和专业性杂志。

我国有计划有组织的腐蚀与防护的研究工作始于五十年代。多年来，广大腐蚀科技工作者为发展我国的腐蚀科学和防护技术作出了贡献。由于化工生产中存在的腐蚀问题尤为突出，因此人们特别关注化工腐蚀与防护工作的进展。为适应化工防腐工作的发展，化学工业部化工机械研究院受化学工业出版社的委托，曾于1974年组织编写了《石油·化工实用防腐蚀技术》一书，分十四册出版。该书总结了六十年代和七十年代初期我国化工腐蚀与防护的研究和应用成果，满足了那时广大防腐工人和技术人员学习、掌握腐蚀基础理论和防腐蚀技术知识的要求。随着化工特别是石油化工的发展，腐蚀问题越来越突出，基层腐蚀研究和防腐工作者要求得到系统介绍化工防腐近期发展的书，于是我们再一次接受化学工业出版社的委托，组织编写了这本《腐蚀与防护手册》，奉献给从事化工防腐蚀工作的广大科技人员、工人、管理干部、教师、研究生和在大专院校有关专业学习的学生。

本《手册》全面反映七十年代以来我国腐蚀理论、化工耐蚀材料、化工腐蚀控制、腐蚀试验及评定等方面的最新成果，力求内容适合国情、简明、系统。

本《手册》分四册出版，第一册为腐蚀理论·试验及监测；第二册为耐蚀金属材料及防蚀技术；第三册为耐蚀非金属材料及防腐蚀施工；第四册为化工生产装置的腐蚀与防护。

《手册》所列数据、标准、规范如有与国家现行规定不同之处，应以国家规定为准。

腐蚀与防护手册（第二版）

编辑委员会

主 编	天华化工机械及自动化研究设计院					
主 任	张亚丁					
副 主 任	肖世猛	郑卫京	刘惠奇	李晓刚		
委 员	(按拼音排序)					
	侯锐钢	李晓刚	刘惠奇	孟军锋	彭东辉	齐慧滨
	陶永顺	肖世猛	张嗣伋	张亚丁	赵志农	郑卫京
编写人员	(按拼音排序)					
	陈国龙	陈善继	陈一字	杜宝魁	高瑾	侯锐钢
	孔朝辉	李洪发	李晓刚	李峥嵘	李忠	刘惠奇
	刘薇	刘正堂	陆世英	孟军锋	彭东辉	齐慧滨
	孙宏斌	陶永顺	王冬兵	王家明	王云翔	徐卫亚
	徐仲民	徐自立	杨文忠	袁美琴	张俊科	张诗光
	张嗣伋	赵纪湘	赵先存	赵秀文	赵志农	郑卫京
	周杰					
审稿人员	郑卫京	赵志农	陆志兴	陈一字	徐自立	唐梦奇
	李晓刚					

腐蚀与防护手册（第一版）

主编单位及编写人员名单

主编单位	化工部化工机械研究院					
编写人员	（按姓氏笔画排序）					
	于福洲	马德章	毛力之	刘良岳	刘国瑞	刘桂彬
	过家驹	孙恭宽	李挺芳	劳添长	陆世英	陈一字
	赵先存	钟贞祚	聂世凯	徐自立	郭长荣	唐梦奇
	黄 峻	黄嘉琥	章 武	崔维汉	廖朝忠	
	刘国瑞、陆志兴负责总编审					
	刘桂彬、唐梦奇负责部分编审					

目 录

第 1 章 碳钢和低合金钢	1
1.1 概述	1
1.1.1 化学成分对耐蚀性的影响	1
1.1.2 钢的相组成和组织状态对耐蚀性能的影响	2
1.2 钢的一般腐蚀行为	3
1.2.1 新鲜水对钢的腐蚀	3
1.2.2 蒸汽系统中碳钢的腐蚀	6
1.2.3 酸溶液对钢的腐蚀	6
1.2.4 盐溶液对钢的腐蚀	9
1.2.5 碱溶液对钢的腐蚀	10
1.2.6 有机溶剂、石油烃类对钢的腐蚀	18
1.2.7 土壤对钢的腐蚀	18
1.3 耐大气腐蚀用钢	19
1.3.1 耐大气腐蚀用钢的化学成分和力学性能	19
1.3.2 耐大气腐蚀用钢的耐蚀性能	19
1.4 耐海水腐蚀用钢	25
1.4.1 耐海水腐蚀用钢的化学成分和力学性能	25
1.4.2 耐海水腐蚀用钢的耐蚀性能	30
1.5 耐硫酸露点腐蚀用钢	32
1.5.1 耐硫酸露点腐蚀用低合金钢	32
1.5.2 耐硫酸露点腐蚀用钢的耐蚀性能	35
1.5.3 ND 钢应用实例	37
1.5.4 防止硫酸露点腐蚀的途径	37
1.6 耐硫化物腐蚀用钢	38
1.6.1 钢的硫化物应力腐蚀开裂与影响因素	38
1.6.2 耐硫化物应力腐蚀开裂用低合金钢	40
1.6.3 抗高温硫化物腐蚀低合金钢	48
1.7 抗氢、抗氮、抗氨作用低合金钢	50
1.7.1 氢、氮、氨与钢的作用	50
1.7.2 抗氢、抗氮低合金钢	51
1.7.3 抗氢和抗氨氮氨低合金钢	55
参考文献	57
第 2 章 铸铁	59
2.1 铸铁的分类、特点和一般应用	59
2.2 普通铸铁	59
2.2.1 普通铸铁的一般性能	59
2.2.2 普通铸铁的耐腐蚀性能	59
2.3 耐蚀铸铁	67
2.3.1 高硅铸铁	67
2.3.2 高铬铸铁	74
2.3.3 高镍铸铁	77
2.3.4 其他耐蚀铸铁	78
参考文献	88
第 3 章 不锈钢	89
3.1 概述	89
3.1.1 国外不锈钢的发展简史和近期进展	89
3.1.2 我国不锈钢的主要进展和现状	90
3.1.3 不锈钢的定义和分类	93

3.1.4 不锈钢牌号	93	3.4.2.2 00Cr18Ni14Si4 (Nb)、 00Cr10Ni21Si6MoCu 和 00Cr9Ni25Si7	176
3.2 马氏体不锈钢	94	3.4.3 奥氏体铬镍钼不锈钢	182
3.2.1 马氏体铬不锈钢	95	3.4.3.1 0Cr17Ni12Mo2、 00Cr17Ni14Mo2 和 控氮 00Cr17Ni14Mo2	182
3.2.1.1 1Cr13	95	3.4.3.2 00Cr25Ni22Mo2N	187
3.2.1.2 2Cr13	101	3.4.3.3 00Cr18Ni18Mo5 (N)	190
3.2.1.3 9Cr18	104	3.4.4 奥氏体铬镍钼铜不锈钢	193
3.2.1.4 11Cr17	107	3.4.4.1 00Cr18Ni14Mo2Cu2	193
3.2.2 马氏体铬镍不锈钢	110	3.4.4.2 00Cr20Ni25Mo4.5Cu	195
3.2.2.1 1Cr17Ni2	110	3.4.4.3 0Cr20Ni29Mo3Cu4Nb	198
3.2.2.2 00Cr13Ni5Mo	113	3.4.4.4 00Cr27Ni31Mo3Cu	200
3.2.3 沉淀硬化不锈钢	117	3.4.5 超级奥氏体不锈钢	205
3.2.3.1 0Cr17Ni4Cu4Nb	117	3.4.5.1 00Cr20Ni18Mo6CuN	205
3.2.3.2 0Cr17Ni7Al	121	3.4.5.2 00Cr24Ni17Mo4NNb	208
3.2.3.3 0Cr15Ni7Mo2Al	124	3.4.5.3 00Cr24Ni22Mo7CuN	212
3.2.4 超低碳马氏体时效不锈钢 (00Cr12Ni10AlTi)	126	3.4.6 奥氏体节镍不锈钢	215
3.3 铁素体不锈钢	128	3.4.6.1 1Cr17Mn6Ni5N、 00Cr17Mn6Ni5N 和 1Cr18Mn8Ni5N	215
3.3.1 铁素体铬不锈钢	129	3.4.6.2 0Cr18Mn13Ni3N	218
3.3.1.1 0Cr11Ti 和 00Cr11Ti	129	3.5 双相不锈钢	220
3.3.1.2 00Cr12	132	3.5.1 双相铬镍不锈钢	222
3.3.1.3 0Cr13Al	134	3.5.1.1 0Cr21Ni5Ti 和 1Cr21Ni5Ti	222
3.3.1.4 1Cr17	136	3.5.1.2 00Cr26Ni6Ti	225
3.3.2 高纯铁素体不锈钢	139	3.5.1.3 00Cr23Ni4N	229
3.3.2.1 高纯 Cr18Mo2	139	3.5.2 双相铬镍钼不锈钢	232
3.3.2.2 00Cr27Mo	143	3.5.2.1 00Cr18Ni5Mo3Si2 和 00Cr18Ni6Mo3Si2Nb	232
3.3.2.3 00Cr30Mo2	147	3.5.2.2 00Cr22Ni5Mo3N	239
3.3.3 超级铁素体不锈钢	151	3.5.2.3 00Cr25Ni6Mo3N	243
3.3.3.1 00Cr29Mo4Ni2	151	3.5.3 双相铬镍钼铜不锈钢	246
3.3.3.2 00Cr25Ni4Mo4 (Ti, Nb)	153	3.5.3.1 0Cr25Ni6Mo3CuN	246
3.4 奥氏体不锈钢	157	3.5.3.2 00Cr25Ni7Mo3WCuN	249
3.4.1 奥氏体铬镍不锈钢	158	3.5.4 超级双相不锈钢	253
3.4.1.1 1Cr17Ni7	158	3.5.4.1 00Cr25Ni7Mo4N	253
3.4.1.2 0Cr18Ni9、00Cr19Ni10 和控氮 0Cr19Ni10	162	3.5.4.2 00Cr25Ni6.5Mo3.5CuN	257
3.4.1.3 0Cr19Ni9N 和 00Cr18Ni10N	167	3.5.5 双相铬锰氮不锈钢	
3.4.1.4 0Cr25Ni20 型不锈钢	171		
3.4.2 奥氏体铬镍铜和铬镍硅 不锈钢	175		
3.4.2.1 0Cr18Ni9Cu3	175		

(0Cr17Mn14Mo2N)	260	参考文献	265
第4章 耐蚀合金	266		
4.1 概述	266	4.3.1.1 概述	310
4.1.1 国内外高镍耐蚀合金发展简史 和近期进展	266	4.3.1.2 NiCu28Fe	312
4.1.2 高镍耐蚀合金的分类	267	4.3.2 镍铬耐蚀合金	323
4.1.3 耐蚀合金牌号	271	4.3.2.1 概述	323
4.2 铁镍基耐蚀合金	271	4.3.2.2 0Cr15Ni75Fe	325
4.2.1 铁镍铬耐蚀合金	271	4.3.2.3 00Cr30Ni60Fe10	330
4.2.1.1 0Cr20Ni32AlTi 和 00Cr20Ni32AlTi	271	4.3.2.4 0Cr35Ni65Al 和 00Cr50Ni50	336
4.2.1.2 00Cr25Ni35AlTi	277	4.3.3 镍钼耐蚀合金	342
4.2.2 铁镍钼耐蚀合金 (0Cr20Ni43- Mo13 和 00Cr21Ni40Mo13)	282	4.3.3.1 概述	342
4.2.3 铁镍钼铜耐蚀合金	285	4.3.3.2 00NiMo28 型合金	343
4.2.3.1 0Cr21Ni42Mo3Cu2Ti	285	4.3.4 镍钼钨 (钨) 耐蚀合金	350
4.2.3.2 0Cr20Ni35Mo3Cu3Nb	293	4.3.4.1 概述	350
4.2.3.3 00Cr26Ni35Mo3CuTi	295	4.3.4.2 00Cr16Ni75Mo2Ti	352
4.2.3.4 0Cr22Ni47Mo6, 5Cu2Nb2 和 00Cr22Ni48Mo7Cu2Nb	303	4.3.4.3 00Cr16Ni57Mo16W4Fe	359
4.3 镍基耐蚀合金	310	4.3.4.4 00Cr16Ni66Mo16Ti	364
4.3.1 镍铜耐蚀合金	310	4.3.4.5 00Cr22Ni57Mo13W3	370
		4.3.5 镍钼钨铜耐蚀合金 (00Cr23Ni57Mo16Cu1.6)	375
		参考文献	378
第5章 耐热钢及其合金	379		
5.1 概述	379	5.4.4 1Cr25Ni20Si2	395
5.1.1 耐热钢和合金的分类	379	5.4.5 Superterm	397
5.1.2 对耐热钢和合金的基本要求	379	5.5 Cr-Mn-Ni-N 系奥氏体抗氧化钢	400
5.1.3 耐热钢和合金的典型用途	380	5.5.1 5Cr21Mn9Ni4N	400
5.2 耐热钢和合金的力学性能及在高温下 的化学稳定性	380	5.5.2 2Cr20Mn9Ni2Si2N	402
5.2.1 耐热钢和合金的力学性能	380	5.5.3 3Cr18Mn12Si2N	404
5.2.2 合金元素对耐热钢和合金高温 化学稳定性的影响	381	5.6 低合金热强钢	406
5.2.3 耐热钢和合金在高温下的化学 稳定性	383	5.6.1 15CrMo	406
5.3 铬系铁素体抗氧化钢	389	5.6.2 10Cr2.25Mo1	408
5.4 Cr-Ni 系奥氏体抗氧化钢	390	5.6.3 12Cr1MoV	410
5.4.1 1Cr18Ni9Ti	390	5.6.4 12MoVWBSiRE	414
5.4.2 1Cr23Ni13	392	5.6.5 12Cr2MoWVTiB	416
5.4.3 2Cr21Ni12N	394	5.6.6 12Cr3MoVSiTIB	419
		5.7 中合金 (5%~12%Cr) 热强钢	422
		5.7.1 1Cr5Mo	422
		5.7.2 10Cr9Mo1VNb (T91)	424

5.7.3 1Cr12WMoV	427	5.10.1 0Cr17Ni4Cu4Nb	443
5.8 Cr-Ni 系奥氏体热强钢	429	5.10.2 0Cr17Ni7Al	443
5.8.1 4Cr14Ni14W2Mo	429	5.10.3 0Cr15Ni7Mo2Al	444
5.8.2 0Cr15Ni25Ti2MoAlVB	431	5.11 高温合金	445
5.9 节镍、铬和无镍、铬耐热钢	433	5.11.1 高温合金的化学成分	445
5.9.1 4Cr22Ni4N	434	5.11.2 高温合金的力学性能	449
5.9.2 3Cr24Ni7SiN (RE)	436	5.11.3 高温合金的化学稳定性	453
5.9.3 1Al3MoWTi	439	5.11.4 高温合金的典型用途	454
5.10 沉淀硬化不锈钢	442	参考文献	457

第6章 有色金属及其合金

6.1 铝及其合金	459	性能	497
6.1.1 铝的化学成分和物理力学性能	459	6.3.2 镍的耐腐蚀性能	497
6.1.2 铝合金的化学成分和物理力学性能	462	6.4 铜及其合金	500
6.1.3 铝及其合金的耐腐蚀性能	464	6.4.1 紫铜 (纯铜)	500
6.1.4 铝及其合金牌号	473	6.4.2 黄铜	505
6.2 钛及其合金	474	6.4.3 青铜	511
6.2.1 钛及其合金的分类	475	6.4.4 白铜	523
6.2.2 钛及其合金的物理力学性能	476	6.5 锆及其合金	526
6.2.3 钛及其合金的耐腐蚀性能	479	6.5.1 锆的化学成分和物理力学性能	527
6.2.3.1 工业纯钛	479	6.5.2 锆的耐腐蚀性能	528
6.2.3.2 钛钡合金	481	6.5.3 锆的局部腐蚀行为	531
6.2.3.3 钛钼合金	492	6.5.4 锆在化工中的应用	538
6.2.3.4 钛钼镍合金	492	6.6 铌和钽	539
6.2.4 钛的耐局部腐蚀性能	493	6.7 银和金	542
6.2.5 钛及其合金应用	497	6.7.1 银	542
6.3 镍	497	6.7.2 金	544
6.3.1 镍的化学成分和物理力学性能	497	6.8 铅及其合金	546
		参考文献	550

第7章 常用的金属表面保护工程技术

7.1 Ni-P 合金化学镀	552	油气田防腐	574
7.1.1 Ni-P 合金化学镀的基本原理及特点	552	7.1.4 Ni-P 化学镀发展趋势	576
7.1.2 Ni-P 镀层耐蚀性	554	7.2 热喷涂技术	577
7.1.3 Ni-P 合金化学镀技术在防腐工程中的应用	570	7.2.1 热喷涂技术基本概念	577
7.1.3.1 Ni-P 合金化学镀技术用于冷换设备防腐	570	7.2.1.1 定义	577
7.1.3.2 Ni-P 合金化学镀技术用于	570	7.2.1.2 喷涂方法分类	577
		7.2.1.3 涂层的功能	578
		7.2.1.4 喷涂方法	579
		7.2.1.5 热喷涂涂层常用标准	583

7.2.1.6 实施热喷涂注意事项	583	7.2.3.6 热喷涂技术替代电镀 硬铬	594
7.2.2 防腐工程常用热喷涂材料	584	7.3 冷焊技术	595
7.2.3 热喷涂技术在防腐工程中的 应用	587	7.3.1 冷焊机理及粘涂层的主要 性能	595
7.2.3.1 热喷涂铝或锌涂层在大气 和水介质中的应用	587	7.3.2 几种常用冷焊材料	596
7.2.3.2 热喷涂技术在火电行业 的防腐工程应用	588	7.4 热浸镀	599
7.2.3.3 热喷涂技术在造纸行业的 应用	590	7.4.1 热浸镀的基本概念	599
7.2.3.4 热喷涂技术在泵过流部件 防护中的应用	591	7.4.2 热浸镀铝钢材的抗氧化和耐 腐蚀性性能	601
7.2.3.5 热喷涂技术在石油化工 防护中的应用	592	7.4.3 镀铝钢带和钢丝的应用	608
		7.4.4 热浸镀层发展趋势	609
		参考文献	610

第8章 耐蚀金属衬里技术

8.1 概述	612	8.3.2 焊接工艺	628
8.2 复合钢板	612	8.3.3 检验项目和要求	633
8.2.1 钛和不锈钢复合板的制造 方法	612	8.3.4 不锈钢带极堆焊实例	633
8.2.2 钛和不锈钢复合板的品种及 规格	615	8.4 特殊金属材料衬里	634
8.2.3 钛和不锈钢复合板的性能	616	8.4.1 镍和镍合金衬里	634
8.2.4 钛和不锈钢复合板设备的 制造	618	8.4.2 高硅不锈钢衬里	636
8.2.5 钛和不锈钢复合板材料的 应用和修复实例	622	8.4.3 000Cr26Mo1 超纯铁素体 不锈钢衬里	638
8.3 不锈钢堆焊覆层及带极堆焊衬里	625	8.5 典型耐蚀金属衬里设备的 检验与修复实例	640
8.3.1 带极堆焊的原理、特点、 设备和材料	625	8.5.1 尿素合成塔(1)	640
		8.5.2 30万吨合成氨成套设备 试制	643
		8.5.3 尿素合成塔(2)	644
		参考文献	645

第9章 电化学保护技术

9.1 概述	646	9.2.1 阴极保护原理	653
9.1.1 阴极保护技术	646	9.2.1.1 阴极保护模型	653
9.1.2 阳极保护技术	649	9.2.1.2 阴极保护基本原理	653
9.1.3 电化学保护技术的分类	650	9.2.1.3 基于动力学阻滞性的 阴极保护	654
9.1.4 阴极保护技术的特点及 适用领域	650	9.2.2 阴极保护的基本参数	654
9.1.5 阳极保护技术的特点及 适用领域	651	9.2.3 阴极保护系统	660
9.2 阴极保护技术	653	9.2.3.1 外加电流阴极保护 系统	660
		9.2.3.2 牺牲阳极阴极保护 系统	676

9.2.3.3 牺牲阳极材料及填充料	677	9.3.2.4 最佳保护电位	730
9.2.4 阴极保护系统的设计、安装及调试	683	9.3.2.5 自活化时间	736
9.2.4.1 保护方法的选择	683	9.3.2.6 分散能力	737
9.2.4.2 阴极保护参数及保护效果测定	684	9.3.2.7 阳极保护参数的测定	738
9.2.4.3 分散能力的测定	687	9.3.3 阳极保护系统	745
9.2.4.4 外加电流阴极保护系统的设计、安装及调试	688	9.3.3.1 辅助阴极	745
9.2.4.5 牺牲阳极阴极保护系统的设计、安装及调试	701	9.3.3.2 参比电极	747
9.2.5 阴极保护系统的运行维护及效果评估	708	9.3.3.3 直流电源	749
9.2.6 阴极保护系统常见故障及防护措施	711	9.3.3.4 致钝原则及方法	749
9.2.7 杂散电流腐蚀及防护措施	711	9.3.3.5 维钝方法及适用条件	752
9.2.7.1 直流杂散电流	711	9.3.4 阳极保护系统的设计、安装及调试	758
9.2.7.2 交流杂散电流	714	9.3.4.1 设计程序及应用要点	759
9.2.8 阴极保护技术应用实例	717	9.3.4.2 被保护体本体的设计及安装	759
9.2.8.1 在化工介质中的应用实例	717	9.3.4.3 辅助阴极的设计及安装	760
9.2.8.2 设计应用实例二则	717	9.3.4.4 参比电极的设计及安装	763
9.3 阳极保护技术	723	9.3.4.5 直流电源及控制方式的设计及安装	768
9.3.1 阳极保护原理	723	9.3.4.6 电缆及配电	769
9.3.2 阳极保护的基本参数	728	9.3.4.7 特殊设计及处理	771
9.3.2.1 致钝电流密度	728	9.3.4.8 开车调试	772
9.3.2.2 维钝电流密度	728	9.3.5 阳极保护系统的运行维护及效果评估	773
9.3.2.3 稳定钝化区的电位范围	729	9.3.6 阳极保护系统常见故障及防护措施	774
		9.3.7 阳极保护应用实例	776
		参考文献	784

第10章 缓蚀剂及其应用

10.1 概述	787	10.3.2 缓蚀剂现场性能监测	792
10.1.1 缓蚀剂的定义	787	10.3.3 大气腐蚀试验与检测方法	792
10.1.2 工业生产对缓蚀剂的要求	787	10.4 酸洗中缓蚀剂的应用	793
10.1.3 缓蚀剂的分类	789	10.4.1 酸洗缓蚀剂	793
10.2 缓蚀剂的作用机理	789	10.4.2 常用的化学清洗酸洗主剂	794
10.2.1 电化学机理	789	10.4.3 酸性介质中的缓蚀剂	794
10.2.2 物理和化学吸附机理	789	10.4.4 国产酸洗缓蚀剂	800
10.2.3 界面化学反应成膜机理	789	10.4.5 影响酸洗缓蚀剂缓蚀效果的因素	802
10.2.4 协同机理	790	10.5 金属暂时性保护中缓蚀剂的应用	805
10.3 缓蚀剂性能测试与监测	790		
10.3.1 实验室中缓蚀剂性能测试	790		

10.5.1	大气腐蚀	805	10.7.1	铜和铜合金的缓蚀剂	822
10.5.2	水溶性缓蚀剂	807	10.7.1.1	在酸溶液中的缓蚀剂	822
10.5.3	油溶性缓蚀剂	808	10.7.1.2	在中性介质中的 缓蚀剂	826
10.5.4	气相缓蚀剂	808	10.7.1.3	在碱性介质中的 缓蚀剂	828
10.6	石油和化学工业中缓蚀剂的 应用	811	10.7.2	铝的缓蚀剂	829
10.6.1	石油、天然气开采过程中 缓蚀剂的应用	811	10.7.2.1	在酸性介质中的 缓蚀剂	829
10.6.2	石油炼制过程中金属的腐蚀和 缓蚀剂	814	10.7.2.2	在碱性介质中的 缓蚀剂	832
10.6.3	石油化工中缓蚀剂的应用	819	10.7.3	锌的缓蚀剂	834
10.6.4	化肥工业中缓蚀剂的应用	820	10.7.4	钛的缓蚀剂	837
10.6.5	其他化学工业中缓蚀剂的 应用	821	10.7.5	锆的缓蚀剂	838
10.7	有色金属用缓蚀剂的应用	822	参考文献		838

第 1 章 碳钢和低合金钢

1.1 概 述

钢铁在工业上广泛应用于建筑、交通、石油化工、冶金、矿山和国防各个领域，使用量大且最为常用的是碳钢和低合金钢。在耐蚀性方面，各种牌号的碳钢和铸铁大致相似。碳钢通常对很宽范围的腐蚀介质具有某种程度的耐蚀能力。对碳钢设备可用涂料、缓蚀剂和电化学等手段进行防腐，因而应用范围极广。低合金高强度钢的成本只比普通碳钢高约 20%~30%，所以使用也很普遍。

碳钢是指碳含量小于 1.7% 的铁碳合金（碳含量在 1.7%~4% 范围内的铁碳合金叫铸铁）。钢中合金元素总量小于 3.5% 的合金钢叫低合金钢。

1.1.1 化学成分对耐蚀性的影响

(1) 碳的影响

碳在钢中常以碳化物形式存在。从耐腐蚀角度看，碳含量在不同的介质中具有不同的影响。在非氧化性的酸性介质中，碳含量增大，腐蚀加速（图 1-1）。在氧化性介质中，碳含量可影响到钢的钝化。在氧化性酸中，当碳含量较低时，

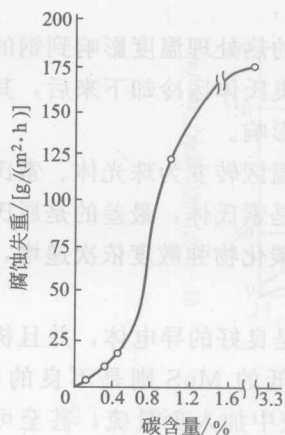


图 1-1 碳含量对铁碳合金在 20% H_2SO_4 中 (25℃) 腐蚀速率的影响

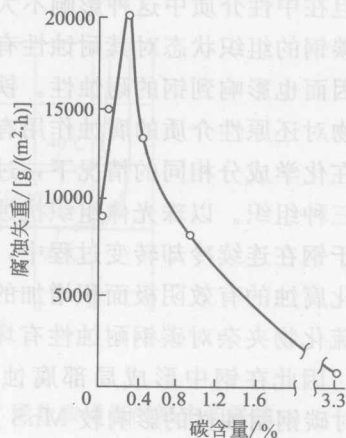


图 1-2 碳含量对铁碳合金在 20% HNO_3 中 (25℃) 腐蚀速率的影响

渗碳体数量也较少,故不能促进合金钝化。此时,合金处于活性状态,腐蚀速率随着合金中阴极相(渗碳体)的数量增多而增大。当碳含量超过一定限量时,则会促进铁碳合金钝化,腐蚀速率下降(图1-2)。例如在硝酸中,碳含量 $<0.4\%$ 时,随着碳含量增加,其耐蚀性下降。在中性介质中,碳含量对钢的耐蚀性能影响较小。

(2) 磷的影响

碳钢中磷含量影响钢的耐蚀性,在酸中,随着钢中磷含量增加,碳钢的腐蚀速率增高,这是因为较多的磷在钢中生成含磷夹杂物,而含磷夹杂物的析氢过电位较低。在海水中,高磷含量能改善钢耐海水腐蚀性能。

低合金钢中,磷还是提高钢耐大气腐蚀性能最有效的合金元素之一,在与其他元素特别是与铜联合作用时,能较大地提高钢的抗大气腐蚀能力;在与钒联合作用时,能提高钢的抗 H_2S 腐蚀能力。作为合金元素使用时,磷含量不应超过 0.15% ,与碳含量总和不应超过 0.25% 。

(3) 硫的影响

硫能降低钢的耐蚀性能,诱发孔蚀和硫化物应力腐蚀开裂。此外,硫化物夹杂对碳钢耐蚀性有坏的影响。

(4) 锰与硅的影响

锰能降低钢的抗腐蚀能力,钢中加入硅能增强钢在自然条件下的耐蚀性及抗高温氧化性。钢中的锰与硅在常规含量范围内对钢的耐蚀性无显著影响。

1.1.2 钢的相组成和组织状态对耐蚀性能的影响

铁碳合金在室温下有三种相:铁素体、渗碳体和石墨。铁素体为含碳低于 0.08% 的纯铁,渗碳体为 Fe_3C ,而石墨则为游离碳。在化学腐蚀物中,它们的电极电位不同,铁素体电位较负,石墨电位较正,渗碳体居中,因此钢铁在电解液中,石墨和渗碳体相对于铁素体是微阴极,在非氧化性酸中导致钢铁腐蚀加速,但在中性介质中这种影响不大。

碳钢的组织状态对其耐蚀性有一定影响。钢的热处理温度影响到钢的组织状态,因而也影响到钢的耐蚀性。铁碳合金从高温奥氏体区冷却下来后,其各种组织产物对还原性介质的腐蚀作用有着不同程度的影响。

在化学成分相同的情况下,过冷奥氏体在高温区转变为珠光体、索氏体和屈氏体三种组织。以珠光体组织抗蚀性最好,其次是索氏体,最差的是屈氏体。这是由于钢在连续冷却转变过程中,过冷度增大,碳化物弥散度依次递增,使得氢去极化腐蚀的有效阴极面积增加的缘故。

硫化物夹杂对碳钢耐蚀性有坏的影响。 FeS 是良好的导电体,并且析氢过电位低,因此在钢中形成局部腐蚀电偶。含铁量低的 MnS 则是不良的导电体。 FeS 对碳钢耐蚀性的影响较 MnS 更坏。例如纯铁中加入少量硫,甚至可以使铁在酸中的溶解速度提高100倍。

在大气、土壤和中性介质中,主要是氧的去极化腐蚀。对腐蚀速度起主要作