
腐蚀与防护手册

耐蚀金属材料及防蚀技术

化学工业部化工机械研究院 主编

化学工业出版社

腐蚀与防护手册

耐蚀金属材料及防蚀技术

化学工业部化工机械研究院 主编

化学工业出版社

(京)新登字039号

内 容 提 要

《腐蚀与防护手册》共分4册。第1册为腐蚀理论, 试验及监测; 第2册为耐蚀金属材料及防蚀技术; 第3册为耐蚀非金属材料及防腐施工; 第4册为化工生产装置的腐蚀与防护。

本书为第2册。首先介绍了碳钢和低合金钢、铸铁、不锈钢、耐热钢、高镍耐蚀合金、非铁金属的化学成分、物理机械性能, 在大气、海水、土壤和各种化工介质中的耐蚀性能以及这些金属材料的典型用途, 其次介绍了金属的各种保护层以及复合钢板、衬里层的技术要点。较详细地介绍了电化学保护的基本原理、基本参数、设计与应用要点、操作管理及故障处理, 并列举了应用实例。最后, 还介绍了各生产系统中常用的缓蚀剂。该书实用性较强。

本书可供化工、石油、石油化工、纺织、轻工、冶金、机械等部门从事腐蚀与防护的研究、设计人员以及现场工作的工程技术人员、高等院校有关专业师生参考。

该书第9~10章由徐自立编写, 第11、第13章由陆世英编写, 第12章由赵先存同志编写, 第14~15章由陈一字同志编写, 第16章由李挺芬同志编写, 第17章由聂世凯同志编写。

腐 蚀 与 防 护 手 册

耐蚀金属材料及防蚀技术

化学工业部化工机械研究院 主编

责任编辑: 李志清

封面设计: 许立

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里3号)

化学工业出版社印刷厂印刷

三河雪丽装订厂装订

新华书店北京发行所经销

*

开本850×1168^{1/32}印张 33^{1/4}字数 912千

1990年8月第1版 1993年10月北京第2次印刷

印数 3,051—6,050

ISBN7-5025-0641-1/TQ·380

定 价 26.50元

《腐蚀与防护手册》的主编单位及编写人员名单

主编单位：化学工业部化工机械研究院

编写人员（按姓氏笔划序）

于福洲	马德章	毛力之	刘良岳
刘国瑞	刘桂彬	过家驹	孙基宽
陈一字	陆世英	李挺芳	劳添长
赵先存	钟贞祚	聂世凯	徐自立
郭长荣	唐梦奇	章武	崔维汉
黄峻	黄嘉琥	廖朝钟	
刘国瑞、	陆志兴负责总编审		
刘桂彬	唐梦奇负责部分编审		

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，是一门新兴的边缘学科。

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国民生产总值的2~4%，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的需要，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蚀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工作的广大科技人员、工人、管理干部、教师、研究生

和大专院校有关专业师生参考。

本《手册》全面反映于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1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。

在《手册》编写过程中，杨永炎先生协助做了大量工作，在此表示感谢。

由于水平有限，书中缺点错误在所难免，请读者批评指正。

化学工业部化工机械研究院

1988.7

目 录

第9章 碳钢和低合金钢	1
1. 简述	1
1.1 分类	1
1.2 钢的相组成和组织状态对耐腐蚀性能的影响	1
1.3 钢中各种元素的作用	3
2. 碳钢和普通低合金高强度钢	6
2.1 化学成分和物理-机械性能	6
2.2 钢的一般腐蚀行为	6
2.3 碳钢在腐蚀性介质中使用的条件	32
3. 耐大气腐蚀用钢	32
3.1 耐大气腐蚀用钢的化学成分和机械性能	32
3.2 耐大气腐蚀用钢的耐蚀性能	48
4. 耐海水腐蚀用钢	49
4.1 耐海水腐蚀用钢的化学成分和机械性能	49
4.2 耐海水腐蚀用钢的耐蚀性能	56
5. 耐硫酸露点腐蚀用钢	60
5.1 耐硫酸露点腐蚀用钢的化学成分	61
5.2 耐硫酸露点腐蚀用钢的耐腐蚀性能	61
6. 抗中温高压氢和氢氮氨用低合金钢	61
6.1 抗氢和抗氢氮氨用钢的化学成分、机械性能和物理性能	63
6.2 抗氢和抗氢氮氨低合金钢的耐蚀性	65
7. 耐硫化物腐蚀用钢	74
7.1 抗硫化物应力腐蚀破裂用低合金钢	74
7.2 抗高温硫化物腐蚀用钢	82
参考文献	87
第10章 铸铁	89
1. 简述	89

1.1 Fe-Fe ₃ C-Si 三元状态图	89
1.2 铸铁的分类、特点和一般应用范围	89
1.3 各种铸铁的性能比较	90
2. 普通铸铁	96
2.1 常用普通铸铁的化学成分和物理-机械性能	96
2.2 普通铸铁的耐腐蚀性能	96
3. 耐蚀铸铁	108
3.1 高硅铸铁	109
3.2 高铬铸铁	120
3.3 高镍铸铁	121
3.4 其它耐蚀铸铁	126
4. 耐热铸铁	166
4.1 合金元素对耐热铸铁性能的影响	169
4.2 耐热铸铁的分类及性能	171
4.3 各种耐热铸铁的特点和应用范围	171
参考文献	180
第11章 不锈钢	181
1. 概述	181
1.1 不锈钢的定义和分类	182
1.2 合金元素对不锈钢耐蚀性的影响	182
1.3 各种类型不锈钢的基本特点	183
1.4 部分不锈钢的牌号	189
2. 马氏体不锈钢	190
2.1 Cr13型马氏体不锈钢	190
2.2 1Cr17Ni2	199
2.3 9Cr18	200
3. 铁素体不锈钢	204
3.1 0Cr13	204
3.2 1Cr17, 1Cr17Ti, 0Cr17Ti	206
3.3 1Cr17Mo2Ti	211
3.4 1Cr25Ti	213
3.5 1Cr28	215
3.6 00Cr17Ti	218

3.7	00Cr18Mo2Ti和高纯Cr18Mo2(Ti).....	219
3.8	高纯Cr26Mo1.....	227
3.9	高纯Cr30Mo2.....	232
4.	奥氏体不锈钢.....	238
4.1	2Cr18Ni9, 1Cr18Ni9, 0Cr18Ni9	238
4.2	1Cr18Ni9Ti, 0Cr18Ni9Ti, 00Cr18Ni10	243
4.3	1Cr18Ni11 Nb	249
4.4	1Cr18Ni12Mo2Ti, 0Cr18Ni12Mo2Ti, 00Cr17Ni14Mo2	252
4.5	1Cr18Ni12Mo3Ti, 0Cr18Ni12Mo3Ti, 00Cr17Ni14Mo3.....	254
4.6	00Cr18Ni14Mo2Cu2	260
4.7	0Cr18Ni18Mo2Cu2Ti.....	263
4.8	1Cr18Mn8Ni5N	264
4.9	00Cr25Ni20 (Nb)	266
4.10	00Cr25Ni22Mo2 N	271
4.11	00Cr18Ni18Mo5 (N)	274
4.12	00Cr17Ni17Mo7Cu2高钼不锈钢	280
4.13	00Cr20Ni25Mo4.5Cu	283
5.	双相不锈钢.....	289
5.1	1Cr18Mn10Ni5Mo3N.....	289
5.2	0Cr17Mn14Mo2N (A4)	290
5.3	1Cr21Ni5Ti, 0Cr21Ni5Ti	298
5.4	1Cr18Ni11Si4 AlTi	301
5.5	00Cr18Ni5Mo3Si2.....	303
5.6	00Cr18Ni6Mo3Si2Nb.....	311
5.7	00Cr26Ni6Ti.....	316
5.8	00Cr26Ni7Mo2Ti	322
5.9	00Cr22Ni5Mo3N	326
5.10	00Cr25Ni6Mo3N.....	333
6.	沉淀硬化不锈钢.....	337
6.1	0Cr17Ni7Al和0Cr15Ni7Mo2Al	337
6.2	0Cr17Ni4Cu4Nb	341
第12章	耐热钢	345
1.	简述.....	345

1.1 耐热钢的分类	345
1.2 耐热钢的特性	346
1.3 耐热钢的典型用途	346
2. 耐热钢的力学性能和在高温下的化学稳定性	347
2.1 耐热钢的力学性能	347
2.2 合金元素对耐热钢高温化学稳定性的影响	347
2.3 耐热钢在高温下的化学稳定性	351
3. Cr-Si 系铁素体抗氧化钢	362
3.1 1Cr13Si3	364
3.2 1Cr18Si2	366
3.3 1Cr25Si2	368
4. Cr-Ni 系奥氏体抗氧化钢	370
4.1 1Cr18Ni9Ti	370
4.2 1Cr18Ni12Ti	373
4.3 3Cr18Ni25Si2	381
4.4 1Cr23Ni13	384
4.5 1Cr23Ni18	386
4.6 1Cr25Ni20Si2	390
4.7 Superterm	392
5. 低合金热强钢	395
5.1 15Cr-Mo	396
5.2 10Cr2.25Mo1	398
5.3 12Cr1MoV	400
6. 中合金 (5~12%Cr) 热强钢	405
6.1 1Cr5Mo	405
6.2 1Cr6Si2Mo	408
6.3 1Cr12WMoV	410
7. Cr-Ni 奥氏体热强钢	413
7.1 1Cr14Ni14W2Mo	413
7.2 0Cr15Ni25Ti2MoVB	416
8. 节Ni、Cr和无Ni、Cr耐热钢	418
8.1 4Cr22Ni4N	418
8.2 3Cr24Ni7SiN (RE)	420

8.3 1Al3Mn2WMoTi	423
9. 高强度不锈钢	426
9.1 0Cr17Ni4Cu4Nb	427
9.2 0Cr17Ni7Al	427
9.3 0Cr15Ni7Mo2Al	429
10. 高温耐蚀合金	430
参考文献	438
第13章 高镍耐蚀合金	440
1. 概述	440
2. 高镍耐蚀合金	441
2.1 Cr20Ni32型耐蚀合金	441
2.2 NS-71铁镍基耐蚀合金	452
2.3 镍铜耐蚀合金	461
2.4 00Cr35Ni65Al耐蚀合金	472
2.5 Cr15Ni75Fe耐蚀合金	475
2.6 0Ni65Mo28Fe5V及成分相近的耐蚀合金	484
2.7 NS-31 镍基耐蚀合金	490
2.8 00Cr16Ni60Mo16W4及成分相近的耐蚀合金	497
2.9 0Cr20Ni65Ti3AlNb耐磨蚀合金	509
第14章 有色金属及合金	516
1. 铅及其合金	516
2. 铝及其合金	520
2.1 纯铝的化学成分和物理-机械性能	520
2.2 铝合金的化学成分和物理-机械性能	522
2.3 铝及其合金的耐腐蚀性能	529
2.4 铝及其合金的应用	541
3. 铜及其合金	541
3.1 紫铜(纯铜)	541
3.2 黄铜	547
3.3 青铜	549
3.4 白铜	573
4. 纯镍	575
4.1 镍的化学成分和物理-机械性能	575

4.2 镍的耐腐蚀性能	575
5. 钛及其合金	581
5.1 钛及其合金的分类	583
5.2 钛及其合金的物理-机械性能	583
5.3 钛及其合金的耐腐蚀性能	590
5.4 钛的耐局部腐蚀性能	618
5.5 钛及其合金的应用	621
6. 锆及其合金	623
6.1 锆的化学成分和物理-机械性能	623
6.2 锆的耐腐蚀性能	623
6.3 锆的耐局部腐蚀性能	628
6.4 锆在化工中的应用	636
7. 钽和铌	637
8. 银和金	638
参考文献	650
第15章 金属保护层	652
1. 金属的电镀	653
1.1 电镀原理	653
1.2 镀锌	665
1.3 镀镉	673
1.4 电镀铜	675
1.5 电镀镍	681
1.6 电镀铬	683
1.7 镀银	686
1.8 电镀铜锡合金	688
1.9 电镀中的安全事项	688
2. 金属表面喷涂	691
2.1 金属的气焰喷涂	694
2.2 金属的电弧喷涂	697
2.3 等离子喷涂	701
3. 复合钢板	702
3.1 不锈钢复合钢板	703
3.2 钛-钢爆炸复合板	709

3.3 堆焊覆层	712
4. 衬铅和搪铅	714
4.1 铅衬里	714
4.2 设备搪铅	721
4.3 铅施工时的劳动保护	723
5. 不锈钢衬里和钛衬里	724
5.1 局部固定衬里	724
5.2 整体松衬里	725
5.3 衬里层纵、环缝的对接形式	726
5.4 衬里层的检验	727
参考文献	727
第16章 电化学保护	729
1. 概述	729
2. 阳极钝化与阳极保护原理	732
2.1 阳极钝化现象	732
2.2 阳极保护原理	732
2.3 钝性的形成及破坏	737
2.4 特性区电位下的腐蚀行为	743
3. 实现阳极保护的方法	744
3.1 向溶液添加氧化剂——钝化剂	746
3.2 向金属或溶液添加合金元素	748
3.3 保护器法	753
3.4 外电源法	754
4. 阳极保护基本参数	756
4.1 致钝电流密度 i_{pp}	756
4.2 维钝电流密度 i_M	763
4.3 稳定钝态区范围	764
4.4 自活化时间 τ_0	767
4.5 分散能力	772
4.6 某些体系的阳极保护基本参数	776
5. 阳极保护致钝方法	776
5.1 基本原则	776
5.2 整体致钝法	784

5.3	逐步致钝法	785
5.4	化学致钝法	787
5.5	脉冲致钝法、低温致钝法及涂料的应用	788
6.	阳极保护维钝方法	792
6.1	分类	792
6.2	固定槽压法	793
6.3	浮充法	799
6.4	恒电位法	801
6.5	区间控制法	803
6.6	循环极化法	808
7.	阳极保护设计与应用要点	812
7.1	设计程序及要点	812
7.2	电源选择	821
7.3	母线及配电	826
7.4	辅助阴极	831
7.5	参比电极与测量仪表	838
7.6	特殊处置	853
8.	阳极保护的操作管理及故障处理	855
8.1	安全问题	855
8.2	绝缘检查	855
8.3	开车	859
8.4	停车	860
8.5	阳极保护管理	861
8.6	阳极保护故障及处理	867
9.	阳极保护应用范围及实例	867
9.1	应用范围	867
9.2	阳极保护应用实例	874
10.	阴极保护原理	886
10.1	基本原理	886
10.2	牺牲阳极法	888
10.3	外电源法	889
11.	牺牲阳极材料及其特性	891
11.1	有关参数的概念	891

11.2	材料要求及性能比较	893
11.3	锌及其合金	894
11.4	镁及其合金	897
11.5	铝合金	898
12.	阴极保护基本参数	900
12.1	有关参数的概念	900
12.2	基本参数的求法	901
12.3	保护电位与保护电流密度	904
13.	外电源法阴极保护的辅助阳极	909
13.1	综述	909
13.2	钢铁	910
13.3	铝	911
13.4	石墨	911
13.5	高硅铸铁	911
13.6	铅银合金	911
13.7	镀铂钛和镀铂铌	912
13.8	涂钉钛	913
13.9	金属氧化物	913
14.	阴极保护设计及应用要点	914
14.1	设计程序及要点	914
14.2	阳极回填料	917
14.3	参比电极及电位换算	919
14.4	分散能力问题	922
14.5	电源与测量仪表	923
15.	阴极保护的管理	925
16.	杂散电流腐蚀与排流	926
17.	阴极保护的应用范围及实例	927
17.1	阴极保护应用范围	927
17.2	阴极保护应用实例	927
	参考文献	939
第17章	缓蚀剂	945
1.	缓蚀剂的定义及技术特点	945
1.1	缓蚀剂定义	945

1.2 缓蚀剂的技术特点	946
2. 缓蚀剂的分类	947
3. 缓蚀剂及其一般结构特征	949
3.1 无机化合物	949
3.2 有机化合物	950
4. 工业应用缓蚀剂的技术要求	951
5. 缓蚀剂的筛选方法和评定步骤	953
5.1 筛选条件的确定	953
5.2 筛选缓蚀剂的方法和评定步骤	954
6. 缓蚀作用的电化学机理	956
6.1 不存在阳极钝化时的电化学机理	956
6.2 缓蚀剂造成阳极钝化时的电化学机理	958
7. 无机缓蚀剂的作用机理	960
7.1 金属阳离子缓蚀剂	961
7.2 阳极钝化型缓蚀剂	962
7.3 特性吸附阴离子型缓蚀剂	965
8. 有机缓蚀剂的作用机理	966
8.1 有机缓蚀剂的吸附机理	966
8.2 极性基团与金属组合的原则——硬软酸碱(HSAB)原理	969
8.3 缓蚀剂分子结构的影响	970
8.4 有机缓蚀剂在界面反应成膜理论	971
9. 缓蚀作用的新途径	974
9.1 缓蚀剂的协合作用	974
9.2 活性阴离子在缓蚀过程中起双重作用	979
10. 缓蚀剂在化学清洗中的应用	982
10.1 除锈垢用化学清洗液	983
10.2 化工生产系统中水垢和腐蚀产物的清洗液	984
10.3 核电站和核动力工厂设备的化学清洗	989
10.4 氧化皮的化学清洗	990
11. 常用金属材料在酸腐蚀条件下的缓蚀剂	991
11.1 碳钢	991
11.2 铝	994
11.3 不锈钢和高合金钢	994

11.4 钛及其合金	995
11.5 铜及其合金	997
12. 缓蚀剂在石油加工过程中的应用	998
12.1 石油加工过程中影响缓蚀效果的因素	999
12.2 石油加工过程用缓蚀剂	999
12.3 油、气加工过程中使用缓蚀剂实例	1002
13. 缓蚀剂在石油化学工业中的应用	1003
13.1 烯烃生产装置的酸性水系统	1003
13.2 化纤原料系统的防腐蚀	1004
13.3 聚丙烯生产系统	1004
13.4 烃类分离系统	1004
13.5 异戊二烯合成系统	1005
14. 缓蚀剂在化肥工业中的应用	1005
14.1 热碳酸钾溶液系统	1005
14.2 复合肥料系统	1007
14.3 防止液氨贮罐的应力腐蚀破裂	1007
15. 缓蚀剂在其他化工过程中的应用	1008
15.1 制碱工业系统	1008
15.2 冷冻盐水系统	1008
15.3 用化学除氧剂防止生产系统腐蚀	1010
15.4 缓蚀剂在涂层中的应用	1010
16. 缓蚀剂在化工建筑和能源中的应用	1011
16.1 防止钢筋混凝土结构腐蚀的缓蚀剂	1011
16.2 化学电源用缓蚀剂	1012
16.3 燃油锅炉用缓蚀剂	1013
17. 缓蚀剂在有机介质中的应用	1013
17.1 有机溶剂水溶液的腐蚀性	1013
17.2 二元混合溶剂水溶液的缓蚀剂	1014
17.3 乙二醇防冻液的缓蚀剂	1014
17.4 有机溶剂-水系统用缓蚀剂	1014
18. 用缓蚀剂防止局部腐蚀破坏	1017
18.1 用缓蚀剂消除或减缓金属的孔蚀和缝隙腐蚀	1017
18.2 用缓蚀剂防止或减轻金属的应力腐蚀破裂和氢腐蚀	1021