

CP 腐蚀与防护全书

自然环境的腐蚀与防护

大气·海水·土壤

中国腐蚀与防护学会 主编

王光雍 王海江 李兴濂 银耀德 编著

化学工业出版社

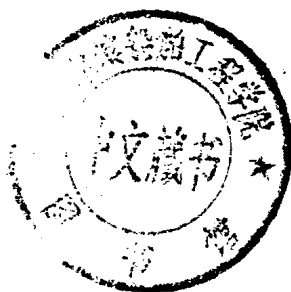
203471

腐蚀与防护全书

自然环境的腐蚀与防护

大气·海水·土壤

中国腐蚀与防护学会 主编
王光雍 王海江 李兴濂 银耀德 编著



化学工业出版社

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

自然环境的腐蚀与防护/大气·海水·土壤/中国腐蚀与防护学会主编; 王光雍等编著. —北京: 化学工业出版社, 1997. 4

(腐蚀与防护全书)

ISBN 7-5025-1801-0

I. 自… II. ①中… ②王… III. ①金属-防腐-保护-手册 ②大气腐蚀-控制-手册 ③海水腐蚀-控制-手册 ④土壤腐蚀-控制-手册 N. TG172

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 19329 号

腐 蚀 与 防 护 全 书

自然环境的腐蚀与防护

大气·海水·土壤

中国腐蚀与防护学会 主编

王光雍 王海江 李兴廉 银耀德 编著

责任编辑: 侯国艳

责任校对: 马燕珠

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市通县京华印刷厂印刷

北京市通县京华印刷厂装订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 11 字数 303 千字

1997 年 4 月第 1 版 1997 年 4 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—5000

ISBN 7-5025-1801-0/TQ·944

定 价: 18.00 元

版权所有 盗印必究

凡购买化工版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社发行部调换。

序

腐蚀与防护科学是本世纪 30 年代发展起来的一门综合性技术科学，目前已成为一门独立的学科，并正不断发展。

腐蚀是材料在各种环境作用下发生的破坏和变质，遍及国民经济各部门，给国民经济带来巨大损失。根据工业发达国家的调查，每年因腐蚀造成的经济损失约占国民生产总值的 2%~4%，我国每年因腐蚀造成的经济损失至少达二百亿元。搞好腐蚀与防护工作，已不是单纯的技术问题，而是关系到保护资源、节约能源、节省材料、保护环境、保证正常生产和人身安全、发展新技术等一系列重大的社会和经济问题。全面普及腐蚀科学知识，推广近代的防护技术，以减少腐蚀造成的经济损失，延长材料和设备的使用寿命，促进城乡经济的发展和企业经济效益的提高，是当前急待解决的问题。

为此，中国腐蚀与防护学会和化学工业出版社决定共同组织编写《腐蚀与防护全书》。《全书》分总论、腐蚀理论、环境腐蚀与防护、耐蚀材料、防蚀技术、腐蚀试验与监控等六篇数十个分册，并将陆续出版。

《全书》属于专业百科性质的大型综合性工具书，全面系统地阐述腐蚀学科的理论和应用，总结国内外的腐蚀与防护经验，反映近代的防护技术；内容广泛，兼顾知识性、教育性和实用性。主要供腐蚀与防护专业以及与该专业有关的工程技术人员阅读使用，也可供企业管理干部与大专院校有关专业师生参考。

《全书》的编写工作曾得到腐蚀与防护领域许多专家、工程技术人员及所在单位领导的热情协助和支持，对此，表示衷心地感谢。

由于我们水平有限，缺点和错误在所难免，望读者批评指正。

《腐蚀与防护全书》编委会

1996 年 6 月

《腐蚀与防护全书》编委会成员

主任委员：肖纪美

副主任委员：石声泰 曹楚南 朱日彰 杨永炎 郭长生

顾问：张文奇 李 苏 沈增祚

委员：（按姓氏笔划序）

火时中 王广扬 王正樵 王光雍 许维钧

刘国瑞 刘翔声 朱祖芳 杜元龙 杜发一

宋诗哲 劳添长 李兴濂 李志清 李铁藩

吴宝琳 吴荫顺 杨文治 杨 武 杨熙珍

杨 璋 张其耀 张承濂 顾国成 徐乃欣

徐兰洲 徐克薰 袁玉珍 傅积和 曾宪焯

褚武扬 虞兆年 黎樵槃 戴新民

编辑组：吴荫顺 王光雍 褚武扬 袁玉珍

李志清 刘 威

前 言

人类生活和国家建设都离不开材料，材料使用离不开环境，绝大多数材料都在自然环境如大气、海水、土壤中使用，材料的自然环境腐蚀最普遍、产生的问题最多、造成的经济损失亦最大。因此，学习材料自然环境腐蚀与防护知识、掌握材料在不同自然环境中的耐蚀特性与腐蚀规律、合理选用材料和防护措施，对于控制材料的自然环境腐蚀、延长设备构件的使用寿命、减少腐蚀造成的经济损失具有十分重要的意义。

本书是《腐蚀与防护全书》的一个分册，共分5章，第1章简要说明材料自然环境腐蚀与防护的重要意义；第2、3、4章分别阐述材料大气、海水、土壤腐蚀的基本原理、主要影响因素、腐蚀规律、防护措施、及腐蚀试验与测试方法；第5章简要介绍我国自然环境（大气、海水、土壤）腐蚀试验网站、选址原则、试验设施建设与试验方法。在编写中为了紧密结合我国自然环境条件，提高本书的实用性，编入了全国自然环境腐蚀试验网站和国家自然科学基金资助的“材料自然环境腐蚀试验研究”重大项目的部分阶段试验研究成果，特此向国家自然科学基金委员会、全国腐蚀试验网站和项目组全体科技人员表示衷心感谢。

本书由王光雍（第1、5章）、李兴濂（第2章）、王海江（第3章）、银耀德（第4章）同志执笔，王光雍任主编。由于编者的学识和水平有限，书中的缺点和错误在所难免，请读者批评指正，以便作进一步的修改。

编者

1996年8月

内 容 提 要

《腐蚀与防护全书》是中国腐蚀与防护学会和化工出版社共同组织编写的一套实用性大型综合性工具书。本书是其中一个分册,内容涉及国家自然科学基金重大项目——自然环境腐蚀数据的积累与防护研究部分阶段成果。

本书共分5章。第1章概述;第2章至第4章分别详细讨论了材料在大气、海水、土壤3种自然环境下的腐蚀规律及耐蚀特征。第5章介绍了自然环境腐蚀试验网站的选址和建设情况。

本书是理论和实际自然环境腐蚀试验研究结果的结合,兼顾知识性和实用性,可供各工业部门从事腐蚀与防护的工程技术人员在选择耐蚀材料、确定防护措施时参考,也可供电化学、材料科学、环境科学等专业技术人员及大专院校有关专业师生参考。

目 录

第1章 概述	1
1. 重要意义	1
2. 历史回顾	1
3. 本书内容	2
参考文献	3
第2章 大气腐蚀与防护	4
1. 大气腐蚀基本概念及影响因素	4
1.1 大气腐蚀定义	4
1.2 大气腐蚀环境分类	4
1.2.1 自然大气环境分类	5
1.2.2 环境腐蚀性分类	6
1.3 大气腐蚀电化学过程	9
1.3.1 大气腐蚀的电化学特征	9
1.3.2 阴极过程	10
1.3.3 阳极过程	10
1.3.4 欧姆电阻	10
1.4 大气腐蚀的主要破坏形态	11
1.4.1 均匀腐蚀	11
1.4.2 缝隙腐蚀	11
1.4.3 应力腐蚀	12
1.4.4 选择性腐蚀	12
1.4.5 双金属腐蚀(电偶腐蚀)	13
1.4.6 高分子材料的老化	14
1.5 大气腐蚀影响因素	14
1.5.1 气候因素	14
1.5.2 大气中腐蚀性因素	17
1.5.3 金属表面因素	19

2. 材料的大气腐蚀——腐蚀特征与耐蚀性	20
2.1 金属材料的大气腐蚀	20
2.1.1 碳钢和低合金钢的大气腐蚀	20
2.1.2 不锈钢的大气腐蚀	24
2.1.3 铝及铝合金的大气腐蚀	26
2.1.4 铜及铜合金的大气腐蚀	27
2.1.5 锌的大气腐蚀	29
2.2 保护层材料的大气腐蚀	31
2.2.1 电镀锌层的大气腐蚀	31
2.2.2 电镀铜保护层的大气腐蚀	33
2.2.3 电镀镍的大气腐蚀	33
2.2.4 装饰性铬镍镀层的大气腐蚀	34
2.2.5 喷涂层的大气腐蚀	36
2.2.6 热浸锌层的大气腐蚀	38
2.3 高分子材料的大气腐蚀(老化)	39
2.3.1 塑料	39
2.3.2 橡胶	44
3. 材料大气腐蚀防护措施	48
3.1 长期性保护	48
3.1.1 电镀层	49
3.1.2 涂料涂装(有机涂层)	50
3.1.3 喷涂层	52
3.2 暂时性保护	53
4. 大气腐蚀试验与检测方法	61
4.1 大气环境暴露试验	61
4.1.1 户外暴露试验	61
4.1.2 室内暴露试验	64
4.2 室内加速腐蚀试验	65
4.2.1 盐雾试验	65
4.2.2 腐蚀膏试验(CORR 试验)	67
4.2.3 电解腐蚀试验(EC 法)	67
4.2.4 二氧化硫腐蚀试验	68
4.3 大气腐蚀试验结果的评价	69

4.4	金属保护涂层性能试验方法	73
4.5	大气腐蚀试验与评价方法国家标准	76
4.5.1	大气腐蚀暴露试验国家标准	77
4.5.2	加速腐蚀试验国家标准	77
4.5.3	金属腐蚀评价方法国家标准	77
	参考文献	77
第3章	海水的腐蚀与防护	79
1.	淡水的腐蚀	80
1.1	淡水的分类	80
1.2	淡水的腐蚀原理	81
1.3	淡水腐蚀的影响因素	82
1.3.1	pH 值	82
1.3.2	溶解氧	83
1.3.3	溶解成分	84
1.3.4	水温	84
1.3.5	流速	85
2.	海水腐蚀原理及影响因素	86
2.1	海水腐蚀原理	86
2.1.1	海水的物理化学性质	86
2.1.2	海水腐蚀的电化学过程	87
2.2	海水腐蚀的影响因素	90
2.2.1	含盐量(盐度)的影响	90
2.2.2	电导率的影响	93
2.2.3	溶解物质——氧、CO ₂ 、碳酸盐的影响	93
2.2.4	pH 值的影响	98
2.2.5	温度的影响	99
2.2.6	流速和波浪的影响	101
2.2.7	海生物的影响	105
2.3	海洋环境组成及腐蚀特点	107
2.3.1	海洋大气区	108
2.3.2	飞溅区	109
2.3.3	潮汐区	109
2.3.4	全浸区(浅海与深海区)	111

2.3.5 海泥区	112
2.4 海水与淡水腐蚀的比较	114
3. 金属在海水中的腐蚀	117
3.1 碳钢、低合金钢及铸铁的海水腐蚀	117
3.1.1 钢铁在海水中的电化学行为和腐蚀特点	117
3.1.2 碳钢、低合金钢在海水中的腐蚀	119
3.1.3 铸铁在海水中的腐蚀	129
3.2 不锈钢及镍基合金的海水腐蚀	131
3.2.1 不锈钢及镍基合金在海水中的电化学行为及腐蚀特点	131
3.2.2 不锈钢在海水中的腐蚀	133
3.2.3 镍基合金在海水中的腐蚀	141
3.3 铜及铜合金的海水腐蚀	145
3.3.1 铜及铜合金在海水中的电化学行为和腐蚀特点	145
3.3.2 铜及铜合金海水腐蚀的影响因素	146
3.3.3 铜及铜合金在海水中的腐蚀率	148
3.4 铝及铝合金的海水腐蚀	156
3.4.1 铝及铝合金在海水中的电化学行为和腐蚀特点	156
3.4.2 铝及铝合金在海水中的腐蚀率	158
3.5 钛及钛合金的海水腐蚀	162
3.6 保护层(镀涂层)的海水腐蚀	166
3.6.1 金属镀层耐海水腐蚀性能	166
3.6.2 有机涂层耐海水腐蚀性能	167
3.7 金属在海水中的电位序	171
4. 海水腐蚀的防护措施	177
4.1 系统防护	177
4.2 合理选材	187
4.3 防蚀结构设计	179
4.4 表面保护	181
4.5 阴极保护	183
5. 海水腐蚀试验方法	191
5.1 实验室试验	194
5.1.1 模拟浸泡试验	194
5.1.2 动海水模拟试验	197

5.2 实海暴露试验	205
5.2.1 试验地点的选择	207
5.2.2 试验分类及试验装置	207
5.2.3 试样制备与试样固定	208
5.2.4 试验周期及试验前后试样的处理	210
5.2.5 试验结果的评定	211
5.3 海水环境因素测试方法	213
5.3.1 海水中溶解氧的测量	213
5.3.2 海水盐度测定	215
5.3.3 海水 pH 值测定	217
5.3.4 海水浊度测定	219
参考文献	221
第 4 章 土壤腐蚀与防护	224
1. 土壤的腐蚀性及其影响因素	224
1.1 土壤的腐蚀性	224
1.2 土壤腐蚀性的影响因素	225
1.2.1 被测材料 (碳钢)	226
1.2.2 土壤电阻率	226
1.2.3 土壤氧化还原电位	229
1.2.4 土壤盐分	230
1.2.5 土壤含水量	231
1.2.6 土壤含气量	232
1.2.7 土壤酸度	232
1.2.8 土壤温度	233
1.2.9 土壤微生物	233
1.2.10 土壤有机质	235
1.2.11 杂散电流	235
1.2.12 气候条件	236
1.3 土壤腐蚀性评价及分级	238
1.3.1 国外分级标准	239
1.3.2 国内分级标准	246
2. 金属的土壤腐蚀	250
2.1 金属土壤腐蚀的电化学过程	250

2.1.1	电极电位	251
2.1.2	金属土壤腐蚀的阴极过程	251
2.1.3	金属土壤腐蚀的阳极过程	252
2.2	金属构件在土壤中的腐蚀电池	254
2.2.1	异金属接触电池	257
2.2.2	各种浓差电池	258
2.2.3	温差电池	260
2.2.4	新旧管线构成的腐蚀电池	260
2.3	不同金属的腐蚀特性	261
2.3.1	碳钢土壤腐蚀特征	261
2.3.2	不锈钢的土壤腐蚀特征	262
2.3.3	有色金属土壤腐蚀特征	264
3.	混凝土的土壤腐蚀	269
3.1	腐蚀原理	269
3.1.1	硫酸盐对混凝土的腐蚀	269
3.1.2	土壤中二氧化碳对混凝土的腐蚀	270
3.1.3	氯离子对预埋钢筋的腐蚀	271
3.2	控制措施	273
3.2.1	表面处理	273
3.2.2	钢筋涂层及阴极保护	274
4.	地下管道和电缆的土壤腐蚀	275
4.1	管道的土壤腐蚀	275
4.2	电缆(护层)的土壤腐蚀	279
4.2.1	电缆护层材料	279
4.2.2	腐蚀规律	280
5.	金属土壤腐蚀的控制措施(简述)	284
5.1	涂层防护	284
5.2	阴极保护	286
5.2.1	牺牲阳极保护	286
5.2.2	外加电流阴极保护	288
5.3	防护监测与管理	293
6.	土壤腐蚀试验与检测方法	293
6.1	土壤腐蚀试验方法	293

6.1.1	现场埋设试验	293
6.1.2	实验室试验	297
6.2	土壤腐蚀环境的勘测分析方法 (简介)	300
6.2.1	勘测前的准备工作	300
6.2.2	选线与布点	301
6.2.3	土壤电阻率的测定方法	301
6.2.4	土壤氧化还原电位的测定方法	303
6.2.5	土壤盐分的测定方法	304
6.2.6	土壤含水量的测定方法	305
6.2.7	土壤含气量的测定方法	305
6.2.8	土壤酸碱度的测定方法	306
6.2.9	土壤有机质含量的测定方法	307
6.2.10	土壤电位梯度的测定方法	307
	参考文献	308
第5章	自然环境腐蚀试验网站	311
1.	引言	311
1.1	目的与任务	311
1.2	国外概况	311
1.3	我国自然环境腐蚀试验网站	313
2.	大气腐蚀试验网站	313
2.1	试验站的建设	316
2.1.1	站址选择	316
2.1.2	试验设施	316
2.2	大气环境因素的测定	318
2.3	大气腐蚀试验方法	318
2.4	我国大气腐蚀试验网站	319
3.	海水腐蚀试验网站	320
3.1	海水腐蚀试验站的建设	321
3.2	海水腐蚀试验方法	324
3.3	我国海水腐蚀试验网站	324
4.	土壤腐蚀试验网站	327
4.1	土壤腐蚀试验网站站址选择	328
4.2	土壤环境因素的测定	329

4.3 土壤腐蚀试验方法 329

4.4 我国土壤腐蚀试验网站 330

参考文献 333

第1章 概 述

1. 重 要 意 义

国家建设离不开材料，材料使用离不开环境。材料在环境作用下发生性能下降、状态改变；直至损坏变质，这就是腐蚀。腐蚀不仅影响材料的外观，而且直接影响设备、构件、建筑物的使用寿命。随着近代科学技术的发展，现已发现，不仅是金属，几乎所有材料使用过程中在环境作用下都会发生腐蚀^[1]。导致材料发生腐蚀的环境有两类，一类是自然环境，如大气、海水、土壤等；另一类是工业环境，如酸、碱、盐溶液。绝大多数材料都在自然环境中使用，如农业机械、工业设备、城乡建筑、海港码头、海洋平台、机动车辆、武器装备、地下管道等。因此，材料的自然环境腐蚀最普遍，造成的经济损失亦最大。全世界在大气中使用的钢材，一般超过其生产总量的60%^[2]，在大气环境中腐蚀损失的金属约占总损失量的50%以上。世界各国自然环境条件差别很大，因此，自然环境的腐蚀性相差也很大。我国地域辽阔，海岸线长，土壤类型多，特别是其地处温带、亚热带，气候潮湿，自然环境腐蚀性强。随着经济建设与工业的发展，环境污染日趋严重，进一步加剧了材料的自然环境腐蚀，使设备、构件、建筑物的使用寿命明显缩短。因此，了解自然环境的腐蚀性，掌握材料在不同自然环境中的耐蚀特性及腐蚀规律，对于合理选用材料，控制腐蚀，延长设备、构件的使用寿命，减少腐蚀造成的经济损失是十分重要的。

2. 历 史 回 顾

回顾历史，人类认识腐蚀是几千年前从钢铁在大气中的锈蚀开始的。应用科学原理解释腐蚀现象，研究腐蚀产生的原因和控制腐蚀的方法已有一百多年的历史。由于材料自然环境腐蚀存在普遍，危害大，

影响因素复杂,因此,很早就引起人们的注意,并开始对它进行系统的研究。工业发达国家从本世纪初就开始对金属自然环境腐蚀进行试验研究。美国材料试验学会(ASTM)从1906年开始建立材料大气腐蚀试验网,进行多种材料的大气腐蚀试验^[3]。1912年美国国家标准局(NBS)在全国95种土壤中,建立了128个腐蚀试验站(点),埋置了333种材料,36000多个试件,进行历时45年的土壤腐蚀试验^[4],1957年试验结束,M. Romanoff发表了《地下腐蚀》(Underground Corrosion)的专著。随着造船工业的兴起和合金钢的发展,美国在莱茨维尔(Wrightsvill Beach)海滨拉奎(LaQue)海水与海洋大气腐蚀试验站,从本世纪30年代中期开始了金属在海水和海洋大气中的暴露试验,后来试验地区逐步扩大到东海岸其他海域及西海岸和巴拿马运河区^[5]。试验结果发现,不同大气环境,不同海域,金属腐蚀率显著不同。这些材料的自然环境腐蚀试验结果,为合理选用材料与防护措施选择提供了科学依据。

我国材料自然环境(大气、海水、土壤)腐蚀试验开始于本世纪50年代中期,1955年开始建立大气腐蚀试验网,后来又建立海水与土壤腐蚀试验网。60年代中期至70年代末试验一度中断,1980年在国家科委组织和有关部门的共同支持下,全国大气、海水、土壤腐蚀试验网站全面恢复建设,开始了我国常用材料自然环境(大气、海水、土壤)中长期、系统的腐蚀试验研究^[6]。

3. 本书内容

本书是《腐蚀与防护全书》“环境腐蚀与防护”篇中的一个分册,主要是向读者介绍材料(以金属为主)在大气、海水、土壤自然环境中发生腐蚀的基本原理、腐蚀特征、影响因素,以及控制自然环境腐蚀的主要方法等。

本书内容共分5章。

第1章概述。简要说明材料自然环境腐蚀与防护的重要意义,回顾历史,了解工业发达国家与我国进行材料自然环境腐蚀试验工作的概况。