

 国家自然科学基金研究成果专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA

工程与材料科学系列



中国材料的 自然环境腐蚀

曹楚南 主编

E&M
Engineering
Material



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

 **国家自然科学基金研究成果专著**
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



中国材料的 自然环境腐蚀

曹楚南 主编

王光雍 李兴濂 刘大扬 李双林 副主编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

中国材料的自然环境腐蚀/曹楚南主编. —北京:化学工业出版社, 2004. 8

ISBN 7-5025-6031-9

I. 中… II. 曹… III. ①高分子材料-大气腐蚀
②高分子材料-土壤腐蚀 IV. TB304

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 092927 号

中国材料的自然环境腐蚀

曹楚南 主编

王光雍 李兴濂 刘大扬 李双林 副主编

责任编辑: 段志兵 刘丽宏

文字编辑: 刘莉珺

责任校对: 陶燕华

封面设计: 于 兵

*

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

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市海波装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 32 $\frac{3}{4}$ 彩插 6 字数 711 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6031-9/TQ·2062

定 价: 78.00 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

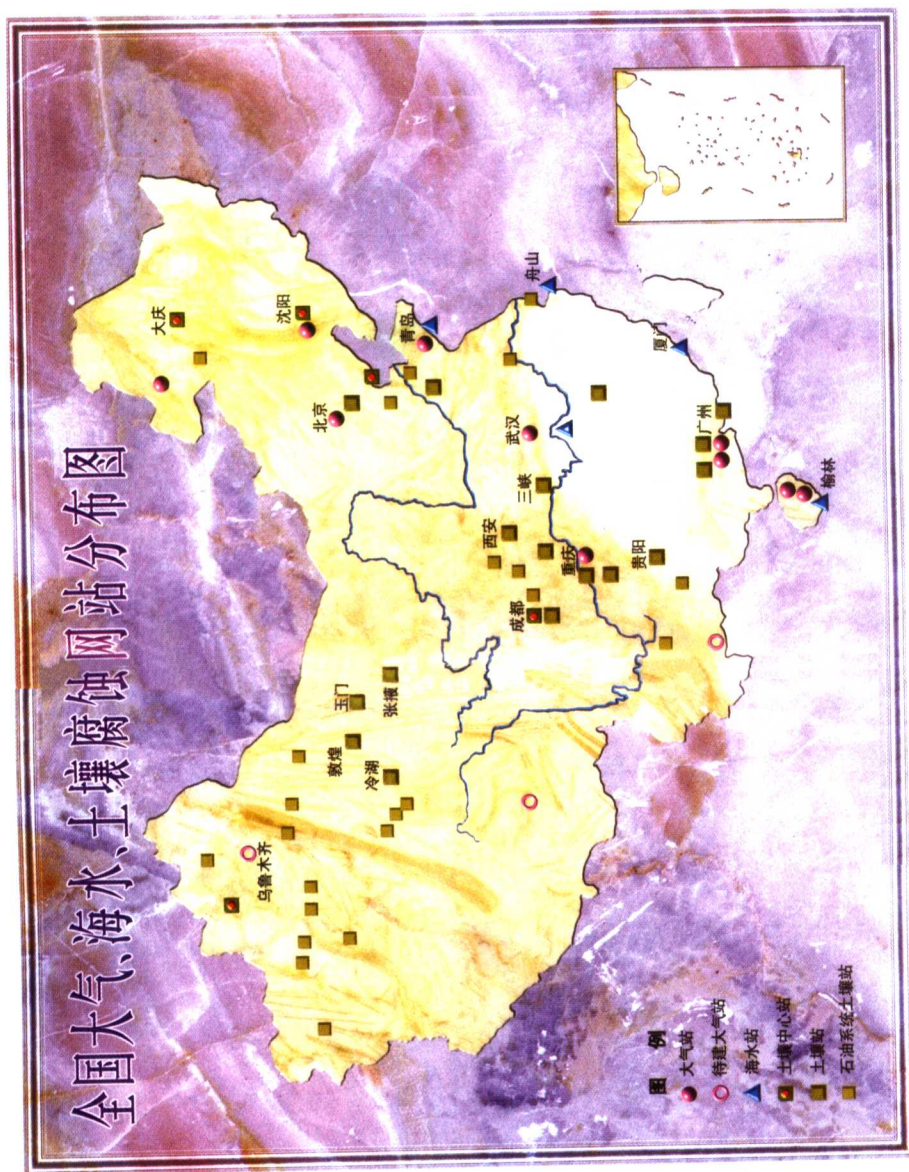


图 1.3.2 我国材料大气、海水、土壤腐蚀试验站分布(见正文 13 页)



图 1.3.3 沈阳市大气腐蚀性分布图(见正文 17 页)

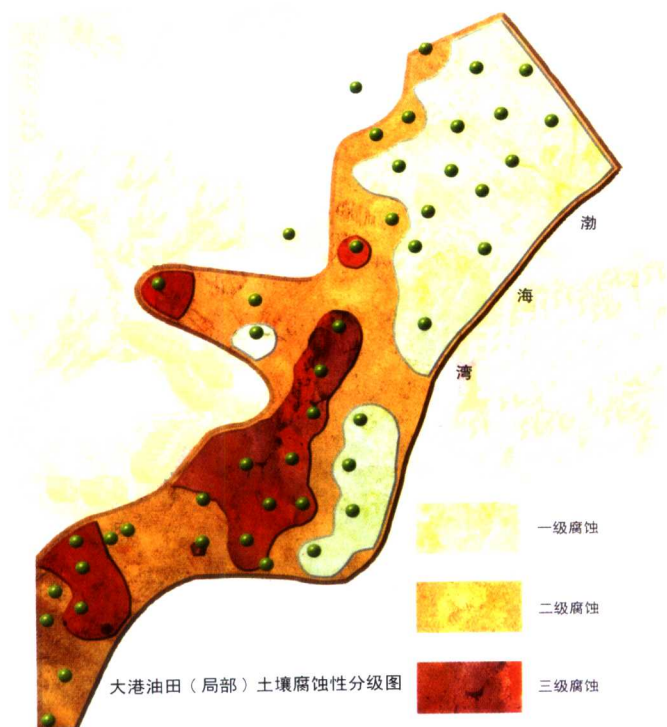


图 1.3.4 大港油田(局部)土壤腐蚀性分级图(见正文 17 页)



图 6.2.6 硬铝合金(LY12) 大气暴露 8 年发生的剥层腐蚀(见正文 111 页)

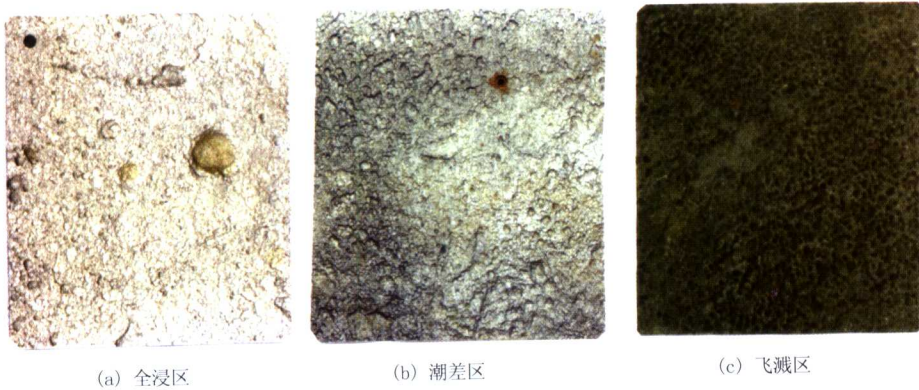


图 11.1.1 碳钢在海洋环境中的腐蚀形貌 (青岛站 2 年)(见正文 254 页)

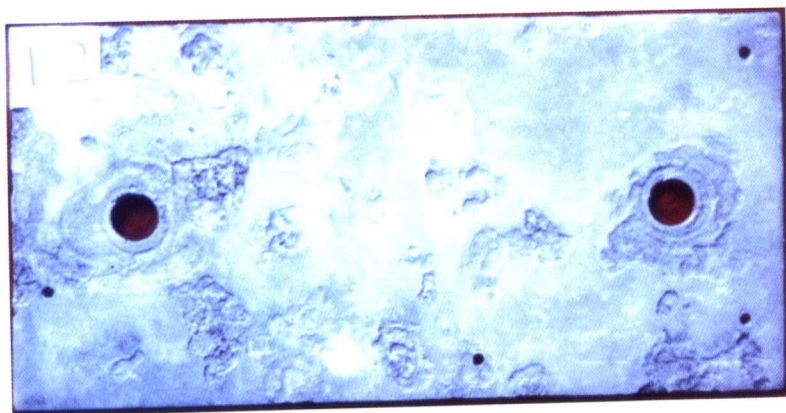


图 11.1.2 E2 钢在榆林站全浸区暴露 2 年的腐蚀形貌(见正文 254 页)



图 12.1.1 1Cr18Ni9Ti 不锈钢隧道腐蚀形貌(见正文 290 页)

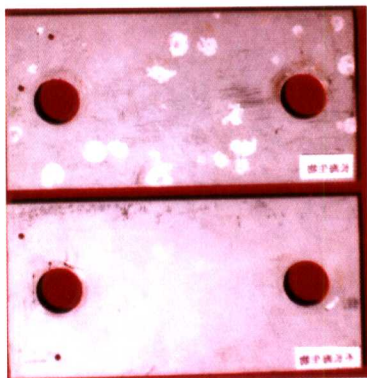


图 12.2.2 316 不锈钢在榆林站全浸 2 年的腐蚀形貌(见正文 291 页)

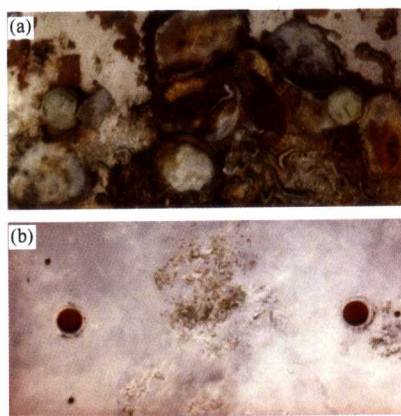


图 12.3.3 不锈钢在榆林站潮差区 8 年暴露的海生物附着和腐蚀形貌(见正文 296 页)

(a) 海生物附着; (b) 腐蚀形貌



图 15.2.2 环氧富锌/31011 环氧聚氨酯涂层在榆林站全浸区暴露 8 年腐蚀外观(见正文 362 页)

注: 有密集鼓泡并有少量红锈, 但海生物附着区无明显腐蚀

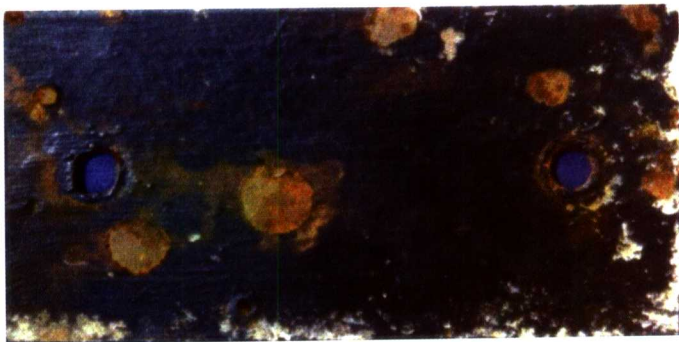


图 15.2.4 环氧富锌 / 环氧沥青涂层在青岛站全浸区暴露 8 年腐蚀外观(见正文 362 页)
注：圆斑状腐蚀破坏，由海生物附着引起



图 15.2.5 氯磺化聚乙烯涂层在青岛站潮差区暴露 7 年海生物引起剥落(见正文 363 页)

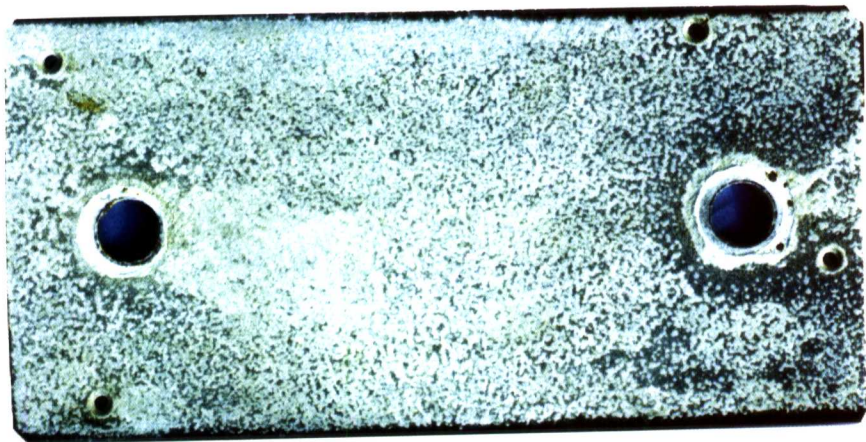


图 15.3.5 喷锌涂层青岛站飞溅区暴露 1 年的腐蚀外观(见正文 368 页)

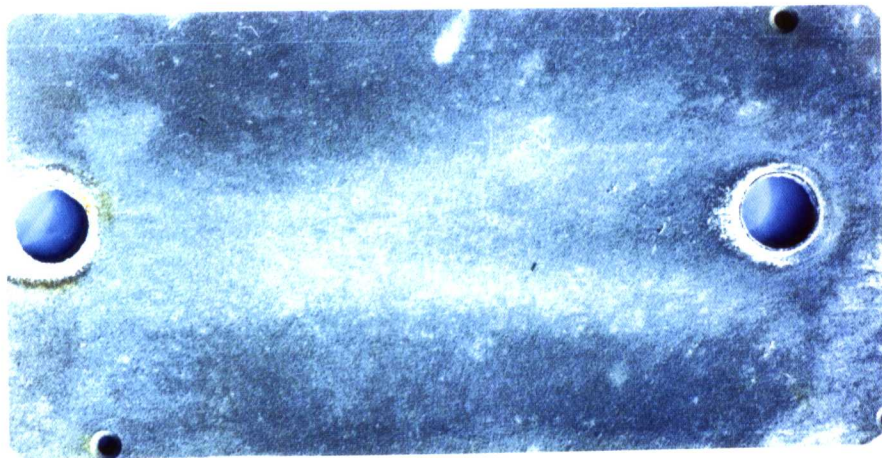


图 15.3.6 喷 Zn-Al 涂层青岛站飞溅区暴露 1 年的腐蚀外观(见正文 368 页)



(a) 大庆站(5 年)



(b) 玉门(1)站(7 年)



(c) 玉门(2)站(35 年)



(d) 敦煌站(35 年)

图 17.1.3 中、碱性土壤碳钢试件腐蚀形貌(见正文 399 页)



(a) 深圳站(5年)



(b) 广州站(5年)

图 17.1.4 酸性土壤碳钢试件腐蚀形貌(见正文 401 页)

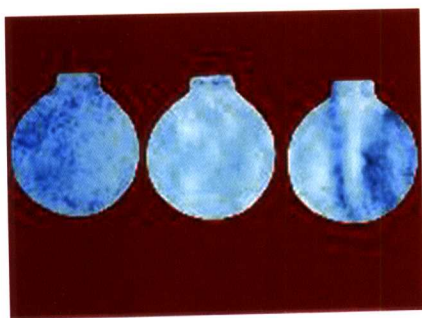


图 19.2.1 黄土中塑料片出现蓝紫色斑点
(见正文 467 页)

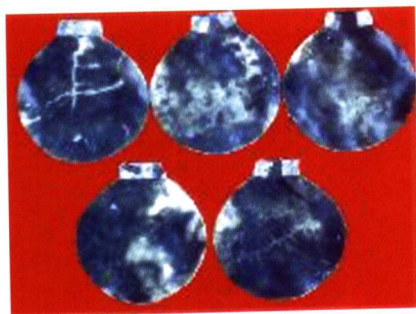


图 19.2.2 冲积土中塑料片出现黑褐色花斑
(见正文 467 页)



图 19. 2. 3 盐土中塑料片表面全变黑
(见正文 468 页)

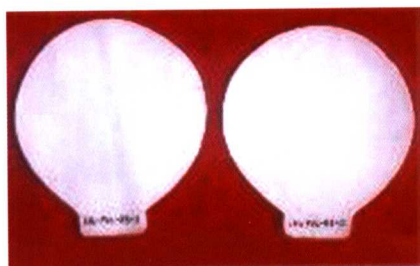


图 19. 2. 4 灰棕荒漠土塑料片质软，
保持原乳白色(见正文 468 页)



图 19. 3. 1 裸铅护套在红壤中呈斑点腐蚀，蚀孔小而深(见正文 472 页)
土壤 pH 值 4. 3；埋设 3 年；铅护套厚度 1. 5mm；最大孔蚀深度 0. 98mm；
腐蚀速率 $0. 53\text{g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{a})$ ；腐蚀产物 PbCO_3 (占 74. 9%)

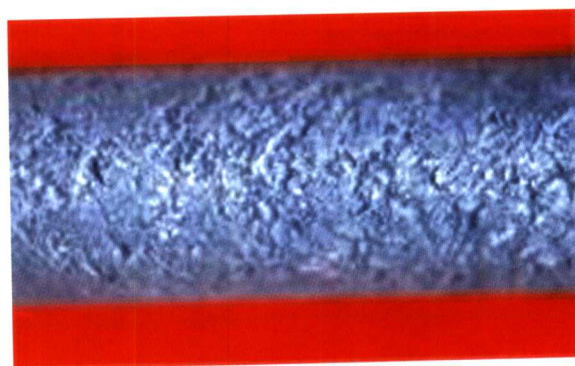


图 19. 3. 2 裸铅护套在花岗岩赤红壤中整个表面布满腐蚀斑坑(见正文 472 页)
土壤 pH 值 4. 50；埋设 8 年；铅护套厚度 1. 5mm；最大孔蚀深度 0. 76mm；
腐蚀速率 $0. 46\text{g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{a})$ ；腐蚀产物 PbCO_3 (占 61. 9%)

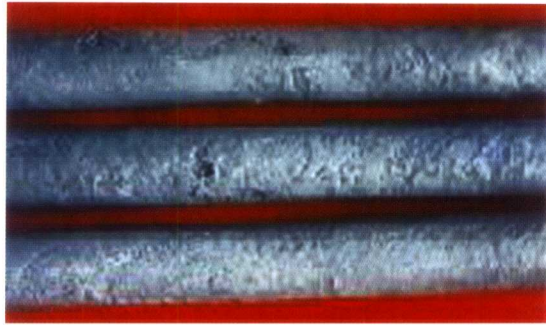


图 19.3.3 裸铅包电缆在黄壤中腐蚀斑坑呈大面积分布(见正文 472 页)
土壤 pH 值 4.3; 埋设 38 年; 铅护套厚度 1.5mm; 最大孔蚀深度 1.5mm(电缆已多处穿孔);
腐蚀速率 $0.48\text{g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{a})$; 腐蚀产物 $\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ (占 24%)

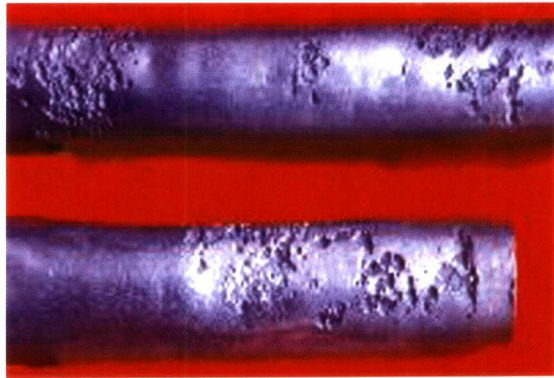


图 19.3.4 裸铅护套在草甸土中腐蚀斑坑深而大(见正文 472 页)
土壤 pH 值 7.6; 埋设 29 年; 铅护套厚度 1.5mm; 最大孔蚀深度 1.5mm(已穿孔);
腐蚀速率 $0.21\text{g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{a})$; 腐蚀产物 PbCO_3 (占 90%)



图 19.3.5 裸铅护套在草甸褐土中腐蚀斑坑聚集在小区域内(见正文 472 页)
土壤 pH 值 8.1; 埋设 28 年; 铅护套厚度 1.5mm; 最大孔蚀深度 1.5mm(已穿孔);
腐蚀速率 $0.08\text{g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{a})$; 腐蚀产物 $\text{PbCO}_3 \cdot \text{PbO}$ (较多)



图 19.3.6 裸铅包电缆在紫色土中呈局部斑点腐蚀(见正文 472 页)
土壤 pH 值 8.6; 埋设 29 年; 铅护套厚度 1.5mm; 最大孔蚀深度 1.5mm(已穿孔);
腐蚀速率 $0.28\text{g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{a})$; 腐蚀产物 PbCO_3 (占 82.8%)



图 19.3.19 裸铝护套在灰棕漠土中呈孔蚀, 蚀孔小而深(见正文 482 页)
土壤 pH 值 8.7; 埋设 1 年; 铝护套厚度 1.5mm; 最大孔蚀深度 1.5mm(多处穿孔);
腐蚀速率 $0.33\text{g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{a})$; 腐蚀产物为透明的结晶颗粒

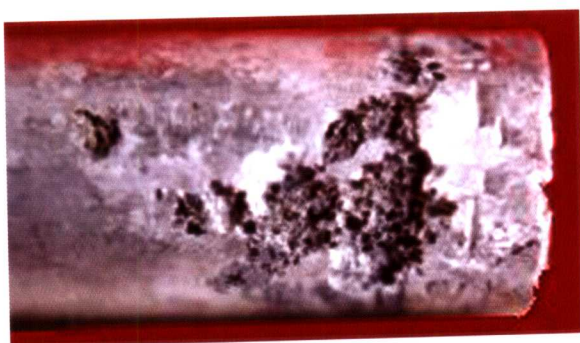


图 19.3.20 裸铝护套在草甸土中呈局部斑点腐蚀(见正文 482 页)
土壤 pH 值 6.9; 埋设 3 年; 铝护套厚度 1.5mm; 最大孔蚀深度 1.5mm(已穿孔);
腐蚀速率 $0.33\text{g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{a})$; 腐蚀产物为白色胶体状 $\text{Al}(\text{OH})_3$



图 19.3.21 裸铝护套在苏打盐土中多处穿孔(见正文 482 页)

土壤 pH 值 10.2; 埋设 5 年; 铝护套厚度 1.5mm;
最大孔蚀深度 1.5mm(多处穿孔); 腐蚀速率 $0.06\text{g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{a})$



图 19.3.22 涂装钢带在赤红壤中埋藏 8 年后, 只剩下碎铁渣(见正文 486 页)

(钢带尺寸 $250\text{mm} \times 25\text{mm} \times 0.5\text{mm}$)



图 19.4.1 油麻绳腐烂、脆断、丧失拉力(见正文 487 页)



图 19.4.2 麻被下的铅护套已蚀穿(见正文 488 页)



图 19.4.3 钢带穿孔、残缺、断裂(见正文 488 页)

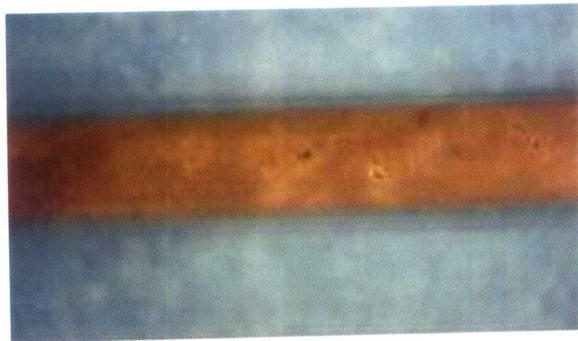


图 19.4.4 铅层出现斑点腐蚀(见正文 488 页)

前言

本书系国家自然科学基金资助项目(项目编号 59899140)研究成果。

如果从 20 世纪 50 年代末国家科委机械学科组腐蚀和防护分组规划建立“全国大气、海水、土壤腐蚀试验网站”和 60 年代初“土壤试验网”在全国各地区不同土壤中建立了 19 个腐蚀试验站、29 个埋片点算起,我国的材料自然环境腐蚀试验历史已经四十余年,可谓不短了。但不幸的是这项先列为 1961 年国家重要科技任务第 2401 项、后又列入 1963~1972 年国家科技发展十年规划的需要长期进行的工作,起步不久就被迫中断,很多试验站被破坏。直到 1978 年全国科学大会后,国家科委腐蚀科学学科组恢复活动,才重新把全国大气、海水、土壤腐蚀试验网站建设和材料腐蚀数据积累的工作,列入 1978~1985 年全国技术科学发展规划。“六五”期间,国家科委组织当时的中国科学院、冶金部、一机部、三机部、六机部、七机部、邮电部及石油、建筑、化工等政府部门协调共建全国自然环境腐蚀试验网站,由师昌绪院士任网站领导小组组长。国家科委将“常用材料大气、海水、土壤腐蚀试验研究”列为基础研究重点项目,全国腐蚀试验网站承担了该项目的试验研究任务,制订了材料大气腐蚀 20 年、海水腐蚀 16 年、土壤腐蚀 40 年的试验计划,从此开始了由全国统一组织、按统一计划进行大规模试验的新时期。

1986 年成立国家自然科学基金委员会以后,将“材料自然环境腐蚀数据积累及规律研究”列为国家自然科学基金“七五”、“八五”、“九五”各为期 5 年的重大研究项目,使我国材料自然环境腐蚀数据的持续积累和试验研究工作不断深入。在这三个 5 年研究工作(实际上“七五”重大项目于 1991 年结束,而“八五”重大项目于 1993 年开始,但 1992 年研究工作并未停止,故至 2002 年末“九五”重大项目结束,应共为 16 年研究工作)中,除了按统一计划、统一规范和标准进行各种材料试样的制备、投放、取样、处理和测试等长期不断进行的工作以积累不同试验周期的数据外,还根据需要又在原规划外增设了一些新的大气试验站、海水试验站、土壤埋设点和土壤腐蚀中心试验站。除此以外,结合长期数据积累,还进行了大量研究工作,包括建立产权属于国家自然科学基金委员会的数据总库和进行一系列应用性基础研究,如:材料因素和环境因素对于长期腐蚀行为的影响;某些试样表面处理对暴露试验结果的影响;某些国产材料与国外同类材料暴露试验行为差异的原因;我国各试验区域大气腐蚀性等级及国际上确定大气腐蚀性等级标准是否合理;我国各地区自然环境腐蚀性的分布规律和区域分布图;某些特殊腐蚀现象如某些铝合金的剥蚀、带包铝的铝镁合金的特殊腐蚀行为等的原因;某些腐蚀速率排序和随时间推移而出现逆转的现象;我国材料的海水腐蚀电位稳定过程

和数值范围；对于评价和预测环境腐蚀性和评估材料长期腐蚀行为的数据处理方法及其应用；涂镀层在大气、海水中的腐蚀规律；高分子材料的老化规律；土壤腐蚀中是否有微生物作用的鉴别方法；混凝土在不同土壤中中性化和腐蚀规律；电缆光缆的高分子和金属护套材料的土壤腐蚀规律；三峡地区土壤和大气腐蚀情况；对自然环境腐蚀性的现场快速检测方法和装置；实验室对自然环境腐蚀的模拟加速试验方法；自然环境腐蚀数据积累和基础性研究结果的应用等。

显然，由于国家经济建设发展的需要，我国材料的自然环境腐蚀作为国情研究的重要组成部分，今后还将继续不断地、且随着西部开发和海洋事业的发展而以更大的规模更深入地长期进行。相对说来，从“六五”至“九五”期间进行的只能说是一个阶段性的工作。但这二十年左右的工作需要及时进行学术总结。首先，已发现的一些现象和规律以及已取得的研究进展，不仅对于我国当前和今后的经济建设工作有重要参考价值，丰富了材料在自然环境中的腐蚀及其防护科学的内容，而且对于今后工作的更好规划与进行也有重要的参考价值。其次，虽然这些年来，关于我国材料的自然环境腐蚀已经有不少论文和研究报告，但这些材料散见于各个刊物和各种资料中，没有比较全面的总结，而一开始就参加全国自然环境腐蚀试验网站工作的一些学术骨干，已年纪较大，大多已经退休，需要及时请他们回顾总结有关的过程、体会和经验。所以现在撰写和出版这本专著既是必要的，也是及时的。

由于积累的数据（各不同暴露或埋设周期的材料腐蚀数据和多年的环境数据）已有数据总库，可以通过一定的手续查询，所以在这本专著中不再简单罗列数据。书中第1章至第3章着重介绍国内外研究工作情况，腐蚀破坏形式和我国自然环境腐蚀研究思路、方法与规划，以及数据处理方法的概况与我国取得的主要进展。在材料的自然环境腐蚀数据处理研究方面，我国到目前为止在工作的广度和深度上是处于国际前列的。有一些工作需要结合具体的工作进行介绍，例如关于利用主因子聚类分析方法判断某一区域土壤腐蚀性分布的问题，由于内容所占篇幅较多，在有关的章节中进行具体的详细介绍。但有关我们所进行的数据处理方法研究的全面情况的讨论集中在第3章。第4章至第9章讨论我国大气环境下的材料腐蚀；第10章至第15章讨论我国不同海区的海水环境中的材料腐蚀；第16章至第19章讨论我国中性、碱性和酸性土壤中的材料腐蚀；而第20章则简要地介绍了历年来我国关于材料在自然环境中腐蚀的研究结果的一些应用情况。

本书由曹楚南主编，其他编写者及其分工如下。

（一）综合部分（第1章至第3章，第20章，分主编为王光雍）

王光雍 宋诗哲 李志强 顾建繁

（二）大气腐蚀部分（第4章至第9章，分主编为李兴濂）

李兴濂 汪学华 胡行俊 侯文泰 萧以德 李家柱 王云

（三）海水腐蚀部分（第10章至第15章，分主编为刘大扬）

刘大扬 朱相荣 林乐耘 张三平 林志坚 黄桂桥 李文军

（四）土壤腐蚀部分（第16章至第19章，分主编为李双林）

李双林 曲良山 银耀德 孙慧珍 马孝轩 王永红 肖昌松