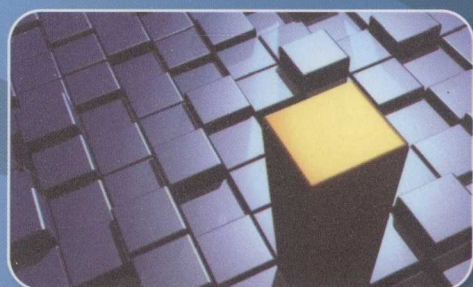
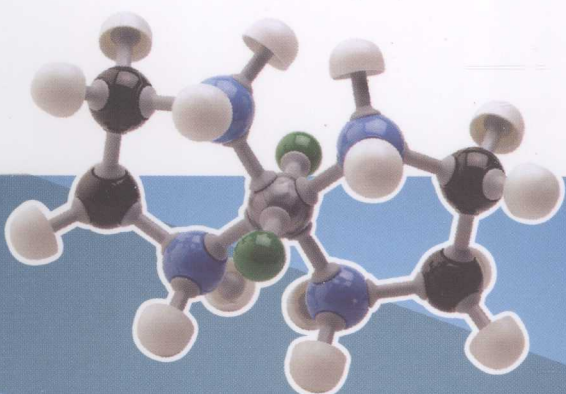


# 材料科学与工程实验系列教材

总主编 崔占全 潘清林 赵长生 谢峻林  
总主审 王明智 翟玉春 肖纪美



## 腐蚀科学与工程实验教程

主 编 王吉会  
主 审 于金库

荟材料实验之经典 拓学生创新之潜力

数十所高校参与、多家出版社联合打造  
材料科学与工程实验教学研究会倾力推荐

北京大学出版社  
哈尔滨工业大学出版社

国防工业出版社  
冶金工业出版社

材料科学与工程实验系列教材

# 腐蚀科学与工程实验教程

主 编 王吉会  
副主编 芦 笙 孙建波  
主 审 于金库

北京大学出版社  
国防工业出版社  
哈尔滨工业大学出版社  
冶金工业出版社

## 内 容 简 介

本书是材料科学与工程实验系列教材之一,是根据高等院校材料科学与工程一级学科中“材料的腐蚀与保护”课程教学的基本要求,同时又考虑到教育部卓越工程师教育培养计划中对工程教育改革的需要而编写的。本书分为绪论、腐蚀实验体系与常用测量仪器、腐蚀科学基础实验、腐蚀工程基础实验、研究性腐蚀综合实验和工程性腐蚀综合实验六部分内容。

本书既可作为“材料的腐蚀与保护”“腐蚀电化学”“腐蚀与控制工程”“金属腐蚀学”等课程的配套实验教材,也可用于材料学、材料化学、腐蚀工程等专业方向单独开设的实验课程教学。同时,也可供从事腐蚀与防护研究及工程应用的研究生和专业技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

腐蚀科学与工程实验教程/王吉会主编. —北京:北京大学出版社, 2013. 8

(材料科学与工程实验系列教材)

ISBN 978-7-301-23030-5

I. ①腐… II. ①王… III. ①腐蚀—高等学校—教材②工程化学—化学实验—高等学校—教材  
IV. ①TG17②TQ016

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 190858 号

书 名: 腐蚀科学与工程实验教程

著作责任者: 王吉会 主编

策 划 编 辑: 童君鑫 黄红珍

责 任 编 辑: 黄红珍

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-23030-5/TG·0046

出 版 发 行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电 子 信 箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.75 印张 302 千字

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 32.00 元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 材料科学与工程实验系列教材总编委会

**总主编** 崔占全 潘清林 赵长生 谢峻林

**总主审** 王明智 翟玉春 肖纪美

**材料科学与工程实验系列教材编审指导与建设委员会成员单位：**

燕山大学、清华大学、东北大学、中南大学、四川大学、武汉理工大学、北京科技大学、郑州大学、哈尔滨工业大学、天津大学、大连理工大学、山东大学、南昌大学、南昌航空大学、兰州理工大学、中国石油大学(华东)、太原理工大学、北方民族大学、河南理工大学、西南石油大学、佳木斯大学、陕西理工大学、江苏科技大学、沈阳工业大学、沈阳理工大学、沈阳化工大学、河南科技大学、太原科技大学、成都理工大学、北华航天工业大学、大连交通大学、九江学院、河南工业大学、东北大学秦皇岛分校、武昌工学院

## 序

实验教学是培养学生动手能力及分析与解决问题能力,即综合素质与能力的基础,是学生理论联系实际纽带和桥梁,是高等院校培养创新与开拓应用型人才的重要手段,因此,实验教学及国家级实验示范中心建设至关重要,同时也在高等院校人才培养计划中占有极其重要的地位。但长期以来,实验教学存在以下弊病:

(1)在高等院校的教学中存在重理论轻实践的现象,实验教学长期处于从属于理论教学的地位,大多没有单独设课;

(2)实验教师队伍建设落后,师资力量匮乏,部分实验教师由于种种原因而进入实验室,且实验教师知识更新不够;

(3)实验内容陈旧单调,局限在验证理论、服务于理论教学,忽视对学生能力的培养;

(4)实验教学学时有限,且在教学计划中实验教学缺乏系统性,为了理论教学任务往往挤压实验教学学时数,实验教学没有被置于适当的位置;

(5)设备缺乏且陈旧,组数少,大大降低了实验效果;

(6)实验方法呆板、落后,学生按照详细的实验指导书机械地模仿和操作,缺乏思考、分析和设计过程,被动地重复几年不变的书本上的内容,整个实验过程是教师“抱着”学生走;

(7)很多高等院校存在实验室开放程度不够,实验室的高精尖设备学生根本没有机会操作,更谈不上培养学生动手能力及分析与解决问题的能力。

近年来,我国高等教育取得了历史性突破,实现了跨越式的发展,高等教育由精英教育变为大众化教育。以国家需求与社会发展为导向,走多样化人才培养之路是今后高等教育教学改革的一项重要内容。“百年大计,教育为本;教育大计,教师为本;教师大计,教学为本;教学大计,教材为本。”有了好的教材,就有章可循,有规可依,有鉴可借,有路可走。师资、设备、资料(首先是教材)是高等院校的三大教学基本建设。

为落实教育部“质量工程”及“卓越工程师”计划,建设好材料类特色专业与国家级实验示范中心,培养面向 21 世纪高等院校材料类创新型综合性应用人才的目的,材料科学与工程实验系列教材编审委员会特别组织了国内 40 余所院校及四家出版社 100 多名专家、学者共同研讨、编写与出版的这套大型实验系列教学丛书。编写本套教材的基本思路是:以总结已有、通向未来、面向 21 世纪且优化实验教材的宗旨,为培养材料科学与工程人才提供一个平台。为确保教材品位、体现材料科学与工程实验教材的国家水平,编委会特意对培养目标、教材编写大纲、书目名称、主干内容等进行了研讨,经全体编审教师的共同努力,此套教材即将出版发行,我们殷切期望此套教材能够满足国内高等院校材料科学与工程类各个专业教育改革发展的需要,并在教学时间中得以不断充实、完善、提高和发展。

本套实验系列教材的编写特色如下:

(1)实验教材的编写与教育部专业设置、专业定位、培养模式、培养计划、各学校实际情况联系在一起;坚持加强基础、拓宽专业面、更新实验教材内容的基本原则。



(2) 成立实验系列教材编审委员会。

① 成立以国内各学科专家、院士为首的高水平实验系列教材总编审指导委员会。审查教材编写的选题；撰写、出版高水平教材；把关教材总体编写质量；为教材作序。

② 成立以教学第一线骨干教师及主编主审为首的各门实验教材编写委员会。审查编写大纲、编写教材；教材成稿后，组织国内同一学科专家把关，提出教材修改意见；出版优秀教材、精品教材、“十二五”国家级规划教材，将教材编写与精品课程、质量工程等联系起来。

(3) 实验教材编写紧跟世界各高校教材编写的改革思路。注重人才素质、创新意识及创造能力、工程意识的培养，注重动手能力及分析与解决问题的能力培养。

(4) 实验教材的编写与专业人才的社会需求实际情况联系在一起，做到宽窄并举；教材编写听取用人单位专业人士的意见。

(5) 实验教材编写突出专业特色、深浅度适中，树立实验教材编写质量是生命线的思想。

(6) 教材编写中，要处理好两个关系。教材编写要处理好基础课与实验课之间的关系；处理好实验课与其他专业课之间的关系。

(7) 实验教材编写注意教材体系的科学性、理论性、系统性、实用性，不但要编写基本的、成熟的、有用的内容，同时也要将相关内容的未知问题在教材中体现，只有这样才能真正培养学生的创新意识。

(8) 实验教材编写要体现教学规律及教学方法，真正编写出一本教师及学生都感到得心应手的教材。

(9) 注重实验教材与专业教材、学习指导、课堂讨论及习题等配套教材的编写。实验教材出版后，往往要有配套教材，力争打造立体化教材。打破配套教材编写无人过问，且专业教材内容陈旧，先进的实验方法与内容无人编写的尴尬局面。

(10) 此次编写的材料科学与工程实验教材名称有：材料科学基础实验教程(金属材料工程专业)；机械工程材料实验教程(机械类、近机类专业)；材料科学与工程实验教程(金属材料工程)；高分子材料实验教程(高分子材料专业)；无机非金属材料实验教程(无机专业)；材料成形与控制实验教程(压力加工分册)；材料成形与控制实验教程(铸造分册)；材料成形与控制实验教程(焊接分册)；材料物理实验教程(材料物理专业)；超硬材料实验教程(超硬材料专业)；表面工程实验教程(材料的腐蚀与防护专业)等二十余本实验教材。

(11) 材料科学与工程实验系列教材所包含实验内容为：基础入门型实验，设计研究型实验，综合型实践实验，软件模拟型实验，创新开拓型实验。每个实验包含实验目的、实验原理、实验设备与材料、实验内容与步骤、实验注意事项、实验报告要求、思考题等内容。教材涉及的专业及内容极其广泛。

全套实验教材由崔占全(燕山大学)、潘清林(中南大学)、赵长生(四川大学)、谢峻林(武汉理工大学)主编；王明智(燕山大学)、翟玉春(东北大学)、肖纪美(北京科技大学、院士)主审；教材编写后分别由北京大学出版社、国防工业出版社、哈尔滨工业大学出版社、冶金工业出版社等出版社出版。

由于编者水平及时间有限，不足之处难以避免，敬请读者批评指正。

材料科学与工程实验系列教材总编审委员会

2011年6月

# 前 言

“腐蚀科学与工程”是一门研究材料在各种环境条件下的表面形态演变、过程作用规律、影响因素、测试技术及控制措施的综合性技术学科。其主要内容是认识材料腐蚀过程的基本规律和机理,获取与积累材料腐蚀数据,并开发耐蚀材料、保护方法、评价与检测监测技术等。在目前高等院校的本科生教学中,腐蚀科学与工程的理论内容常以“材料的腐蚀与防护”“腐蚀电化学”“金属腐蚀学”“腐蚀与控制工程”“表面科学与工程”等课程的形式出现在材料、化工、石油、机械、冶金等专业课程中;而实验教学内容相对较少,且缺乏系统性和完整性。

随着教育部卓越工程师教育培养计划的启动及工程教育改革的全面展开和进行,对学生的实验技能和工程实践能力要求越来越高。在此情况下,2011年1月在燕山大学召开了第一届高等院校材料科学与工程实验教学研究会,旨在研究实验教学改革,交流实验教学经验,提高材料科学与工程系列实验教学的质量和水平。本书就是根据本次研究会的会议精神,并考虑腐蚀科学与工程课程的教学要求而编写的。

鉴于腐蚀科学与工程学科理论体系的特点及实验教学的需要,全书共分6章。第1章和第2章主要介绍腐蚀实验的目的、意义和分类,及腐蚀实验设计、腐蚀实验体系与常用测量仪器。第3章是从腐蚀速率和其他腐蚀参数测定两方面进行的腐蚀科学基础实验;而第4章是从电化学保护、缓蚀剂、表面改性与涂覆、腐蚀监测四方面进行的腐蚀工程基础实验。第5章和第6章是为培养学生科学研究水平和解决工程实际问题能力而设计的研究性和工程性腐蚀综合实验。相信通过这些从腐蚀实验设计到仪器使用,从腐蚀科学实验到腐蚀工程实验,从腐蚀基础实验到研究性、工程性综合实验的实验训练,会使学生加深对腐蚀科学与工程的基本理论和研究方法的理解,培养与锻炼学生的腐蚀科学与工程实验技能,从而为学生今后独立地分析和解决实际工程材料的腐蚀问题打下良好基础。

本书是材料科学与工程实验系列教材之一,由天津大学王吉会任主编,江苏科技大学芦笙和中国石油大学(华东)孙建波任副主编。其中第2章及第3章的实验十二、第4章的实验四十二和第5章的实验四十五由中国石油大学(华东)的孙建波编写;第3章的实验一与实验二、第4章的实验二十二由中国石油大学(华东)的赵卫民编写;第3章的实验三与实验十一、第6章的实验四十四由中国石油大学(华东)的王炳英编写;第3章的实验四、实验五、实验七、实验十四、实验十五、实验十七由江苏科技大学的吴海峰、郑传波编写;第3章的实验八与实验九、第4章的实验三十六、第5章的实验四十一、第6章的实验四十三由江苏科技大学的李照磊编写;第4章的实验二十九、实验三十四和实验三十五由江苏科技大学的芦笙编写;其余由天津大学王吉会编写。最后,由王吉会进行统稿和定稿工作,并由燕山大学于金库主审。

本书的编写,得到了天津大学本科实验教学改革与研究项目“综合性实验的开发与大学生工程实践能力培养”及天津大学、中国石油大学(华东)和江苏科技大学材料科学与工程学院的大力支持与帮助。另外,本书的编写和出版还得到了北京大学出版社的支持与热



情协助。特此向所有支持、帮助和关心本书编写工作的各级领导、专家和同仁表示衷心的感谢！

由于腐蚀科学与工程学科涉及的研究内容和应用领域十分广泛，但编者的专业领域和知识水平有限，书中难免存在疏漏和不当之处，敬请各位老师、同学和读者批评指正，以便今后再版时加以修正和弥补。

编者  
2013年4月

# 目 录

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第1章 绪论 .....                    | 1  |
| 1.1 材料腐蚀与保护的概念 .....            | 1  |
| 1.2 腐蚀实验的目的与意义 .....            | 2  |
| 1.3 腐蚀实验方法的分类 .....             | 3  |
| 1.4 本书的编写思路与教学安排 .....          | 5  |
| 第2章 腐蚀实验体系与常用测量仪器 .....         | 7  |
| 2.1 腐蚀实验设计与条件控制 .....           | 7  |
| 2.2 腐蚀电化学体系 .....               | 9  |
| 2.3 常用测量仪器 .....                | 19 |
| 第3章 腐蚀科学基础实验 .....              | 25 |
| 3.1 腐蚀速率测定 .....                | 27 |
| 实验一 失重法和容量法测定金属腐蚀速率实验 .....     | 28 |
| 实验二 电阻法测定金属腐蚀速率实验 .....         | 31 |
| 实验三 线性极化法测定金属腐蚀速率实验 .....       | 34 |
| 实验四 塔菲尔直线外推法测定金属腐蚀速率实验 .....    | 37 |
| 实验五 充电曲线法测定金属腐蚀速率实验 .....       | 39 |
| 实验六 断电流法和恒电位阶跃法测定金属腐蚀速率实验 ..... | 43 |
| 3.2 其他腐蚀参数测定 .....              | 46 |
| 实验七 电偶腐蚀中电偶电流和电位序的测定实验 .....    | 47 |
| 实验八 不锈钢的点蚀实验 .....              | 50 |
| 实验九 不锈钢的晶间腐蚀实验 .....            | 53 |
| 实验十 闭塞电池腐蚀实验 .....              | 57 |
| 实验十一 中性盐雾腐蚀实验 .....             | 58 |
| 实验十二 金属高温氧化实验 .....             | 60 |
| 实验十三 低碳钢的应力腐蚀开裂实验 .....         | 64 |
| 实验十四 阳极极化曲线的测定实验 .....          | 67 |
| 实验十五 阴极极化曲线的测定实验 .....          | 70 |
| 实验十六 临界点蚀电位的测定实验 .....          | 72 |
| 实验十七 腐蚀体系的电化学阻抗谱测试实验 .....      | 75 |



|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 实验十八 氢在金属中的扩散实验 .....         | 79         |
| <b>第4章 腐蚀工程基础实验 .....</b>     | <b>82</b>  |
| 4.1 电化学保护 .....               | 82         |
| 实验十九 外加电流的阴极保护实验 .....        | 83         |
| 实验二十 牺牲阳极的阴极保护实验 .....        | 86         |
| 实验二十一 阳极保护实验 .....            | 88         |
| 4.2 缓蚀剂 .....                 | 91         |
| 实验二十二 缓蚀剂性能的极化曲线法评定实验 .....   | 91         |
| 实验二十三 缓蚀剂性能的线性极化法评价实验 .....   | 95         |
| 实验二十四 缓蚀剂性能的循环伏安法评价实验 .....   | 97         |
| 4.3 表面改性与涂覆 .....             | 99         |
| 实验二十五 钢铁的化学氧化实验 .....         | 100        |
| 实验二十六 铝合金的化学氧化实验 .....        | 102        |
| 实验二十七 钢铁的磷化处理实验 .....         | 105        |
| 实验二十八 铝合金的阳极氧化实验 .....        | 107        |
| 实验二十九 镁合金的微弧氧化实验 .....        | 111        |
| 实验三十 钢铁表面镀锌实验 .....           | 115        |
| 实验三十一 化学镀镍实验 .....            | 119        |
| 实验三十二 热浸镀锌实验 .....            | 123        |
| 实验三十三 机械能助渗铝实验 .....          | 126        |
| 实验三十四 等离子喷涂纳米陶瓷涂层实验 .....     | 128        |
| 实验三十五 不锈钢堆焊实验 .....           | 133        |
| 实验三十六 涂料涂层的性能评价实验 .....       | 138        |
| 4.4 腐蚀监测 .....                | 145        |
| 实验三十七 线性极化探针在腐蚀监测中的应用实验 ..... | 146        |
| 实验三十八 磁阻探针在腐蚀监测中的应用实验 .....   | 148        |
| <b>第5章 研究性腐蚀综合实验 .....</b>    | <b>152</b> |
| 实验三十九 不锈钢腐蚀行为的电化学综合评价实验 ..... | 152        |
| 实验四十 应力作用下金属腐蚀过程的综合研究实验 ..... | 160        |
| 实验四十一 涂料的设计与制备综合实验 .....      | 165        |
| 实验四十二 腐蚀产物膜的综合分析实验 .....      | 169        |
| <b>第6章 工程性腐蚀综合实验 .....</b>    | <b>175</b> |
| 实验四十三 海水腐蚀及海洋设施的防护实验 .....    | 175        |
| 实验四十四 土壤腐蚀与埋地管道的防护实验 .....    | 179        |
| 实验四十五 油田用缓蚀剂和防垢剂的性能评定实验 ..... | 187        |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 实验四十六 混凝土中钢筋腐蚀的检测与防护实验 .....        | 191 |
| 附录 .....                            | 198 |
| 附录 1 清除金属腐蚀产物的化学方法 .....            | 198 |
| 附录 2 常用腐蚀速率单位的换算因子 .....            | 198 |
| 附录 3 均匀腐蚀的十级标准 .....                | 199 |
| 附录 4 常用参比电极在 25℃时相对标准氢电极的电位 .....   | 199 |
| 附录 5 温度对不同浓度 KCl 溶液中甘汞电极电位的影响 ..... | 199 |
| 附录 6 线性极化技术中的 $B$ 值(文献摘录) .....     | 199 |
| 参考文献 .....                          | 201 |

# 第1章 绪论

## 1.1 材料腐蚀与保护的概念

### 1. 腐蚀的概念

材料在环境作用下发生的破坏和变质的现象,称为腐蚀。材料发生腐蚀应具备以下条件:①材料和环境构成同一体系;②材料与环境间的化学或电化学相互作用,有时某些物理作用如液态金属中的物理溶解也可归入腐蚀的范畴;③材料发生了破坏和变质。只要具备了以上条件,材料腐蚀现象就存在。

从材料看,材料的腐蚀不仅发生在金属材料-环境体系中,也存在于陶瓷、高分子材料、复合材料和各种功能材料与环境构成的体系中。从环境看,腐蚀环境可分为介质性环境(如各种腐蚀性溶液、土壤、大气、熔盐、液态金属、食品、饮料等)和作用性环境(如应力、疲劳、振动、冲击、摩擦、空蚀、辐照等);腐蚀环境的影响因素有化学因素(溶液成分、浓度、pH、溶解氧等)、物理因素(温度、压力、速率、机械作用、辐照和电磁场等)和生物因素(生物种类、群落特性及代谢产物)等。

### 2. 腐蚀的危害

由以上的腐蚀概念可知,材料的腐蚀问题几乎存在于国民经济的各个领域,如能源(石油、天然气、火电、水电、核电、风电)、交通(航空、铁路、公路、船舶等)、机械、冶金、化工(石油化工、精细化工、制药工业等)、轻工、纺织、食品、电子、信息和海洋开发等。因此,由于材料腐蚀而造成的损失是十分巨大的。

从经济损失看,腐蚀造成的经济损失约占国民生产总值(GNP)的3%~5%。2003年出版的《中国腐蚀调查报告》指出,2000年我国因腐蚀造成的直接损失约2288亿元人民币,占我国GNP的2.4%;若计入间接损失,腐蚀总损失可达5000亿元,约占我国GNP的5%。

除经济损失外,材料的腐蚀也会对材料构件如桥梁、船舰、化工容器等的安全造成威



胁。与此同时,材料的腐蚀也会加速自然资源的损耗和浪费,如我国每年因腐蚀消耗的钢材约为19000万t,占我国钢产量的1/3。此外,材料的腐蚀问题,还会引起环境污染,从而导致水和土地资源的紧缺。

### 3. 材料的保护

虽然材料的腐蚀会给工业生产造成巨大的经济损失和人身安全威胁,但只要认识了材料腐蚀过程的规律和机理,就可以发展出正确合理的防护技术,从而有效地避免或减缓材料腐蚀的发生。

材料的防腐蚀方法很多,主要有:①合理选择材料或设计研发耐蚀的新材料;②对材料进行表面处理如磷化、氧化、钝化、转化、电镀、热喷涂、涂料、衬里、包覆等,从而将材料与环境介质隔开;③改善腐蚀环境,如减少腐蚀介质浓度、调节pH、除氧、脱盐、加入缓蚀剂等;④电化学保护,如牺牲阳极保护和外加电流阴极保护等;⑤进行合理的防腐蚀设计,如合理设计表面与几何形状,避免异种金属连接、构件应力集中、产生缝隙结构等。

在上述几种方法中,方法①与材料科学有密切的关系,是材料保护的內因;方法②~⑤与化学、表面科学相关,是材料保护的外因。针对具体的材料腐蚀问题,需要对材料的腐蚀环境、保护效果、技术难易程度、经济效益和社会效益等进行综合评估,然后选择合适的方法或方法组合。

## 1.2 腐蚀实验的目的与意义

腐蚀科学与工程(也称材料的腐蚀与防护或材料腐蚀学)是一门研究材料在各种环境条件下的表面形态演变、过程作用规律(化学/电化学的、热力学/动力学的)、影响因素、测试技术及控制措施的综合性技术学科。其主要内容是认识材料腐蚀过程的基本规律和机理,获取与积累材料腐蚀数据,并发展耐蚀材料、保护方法、评价与检测技术。

作为技术性学科,腐蚀实验方法与测试技术在腐蚀科学与工程中占有十分重要的地位。一方面,腐蚀科学的理论和规律都要经过腐蚀实验的验证,从而使理论变得直观可察;另一方面,发展的防护技术和控制措施也要在腐蚀实验过程中加以考核,因为只有这样才能真正解决工程实际应用中遇到的材料腐蚀问题。

在大多数情况下,进行腐蚀实验的目的是测定材料在特定条件下的耐蚀性,从而给出该材料在服役条件下所表现出的腐蚀行为信息。具体来说,又可细化为如下内容:

- (1) 研究或阐明腐蚀反应规律和腐蚀机理,包括腐蚀反应的类型、速率及与影响因素间的关系。
- (2) 对确定的材料/介质体系,测定腐蚀体系的特征数据如腐蚀失重、腐蚀孔深、裂缝长度、使用寿命等。
- (3) 确定由于材料腐蚀对介质造成污染的可能性或污染程度。
- (4) 进行失效分析,追查发生腐蚀事故的原因,寻求解决问题的办法。
- (5) 选择合适有效的防腐蚀措施,并估计其效果。

- (6) 选择适合在特定腐蚀环境中使用的材料。
- (7) 研制开发新型耐蚀材料。
- (8) 对设备的腐蚀状态进行动态检测。
- (9) 对表面处理工艺、缓蚀剂的有效性、防腐新工艺、新技术进行检验等。

通过对腐蚀实验方法和测试技术的学习与实际操作训练,可使学习者获得以下的基本能力:

- (1) 理解与掌握腐蚀科学与工程的基本研究方法、试验技术和计算机应用的基本技能。
- (2) 具有合理选择耐蚀材料和采取正确防护措施的能力。
- (3) 具有进行防腐蚀工程设计的初步能力。
- (4) 具有初步的耐蚀新材料、防腐新工艺、新技术的研究开发能力。

### 1.3 腐蚀实验方法的分类

由于腐蚀实验中实验材料、腐蚀介质和环境条件的多样性和复杂性,因此腐蚀实验方法也呈现出多样性的特点。对众多的腐蚀实验方法,可按材料、环境、腐蚀类型和工业应用领域等进行分类,如图 1.1 所示。按腐蚀类型,腐蚀实验方法可分为均匀腐蚀、点蚀、缝隙腐蚀、电偶腐蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀、腐蚀疲劳等;按环境,腐蚀实验方法可分为大气腐蚀、海水腐蚀、土壤腐蚀、微生物腐蚀等。

除以上分类方法外,还可按实验场所对腐蚀实验进行分类。按实验场所(或试样大小、或测试类型),腐蚀实验方法可分为实验室试验、现场试验和实物试验。

#### 1. 实验室试验

在实验室内,有目的地将专门制备的小型试样在人工配制的或取自实际环境的腐蚀介质和受控实验条件(温度、流速、除氧等)下进行的腐蚀试验,称为实验室试验。

实验室试验,又可分为模拟试验和加速试验。实验室模拟试验是一种不加速试验,指在实验室的小型模拟装置中,尽可能精确地人为模拟实际环境,或在专门规定的介质条件下进行的试验。这种试验的稳定性和重现性好,但试验周期较长、试验费用也较高。实验室加速试验是人为地强化一个或几个控制因素,从而可在较短的时间内确定材料发生腐蚀的倾向,或相对比较材料在指定条件下耐蚀性的一种加速试验方法。但需要注意的是,加速试验中不应引入实际条件并不存在的因素,也不能因为引入加速因素而改变实际条件下的腐蚀机理。

实验室试验的优点在于:①可充分利用实验室的精确测试仪器和控制设备;②试样形状和大小的选择有较大的灵活性;③可严格控制试验中的各影响因素;④可灵活地规定试验时间(与自然环境情况相比,一般情况下实验室试验的周期较短);⑤试验结果的重现性较好。但实验室试验的局限性在于:①实验室试样的状态(如冶金、加工状态等)很难于与实物状态保持完全一致;②实验室试样与实物的面积存在差别;③实验室腐蚀介质和试验条件与实际情况存在差异。

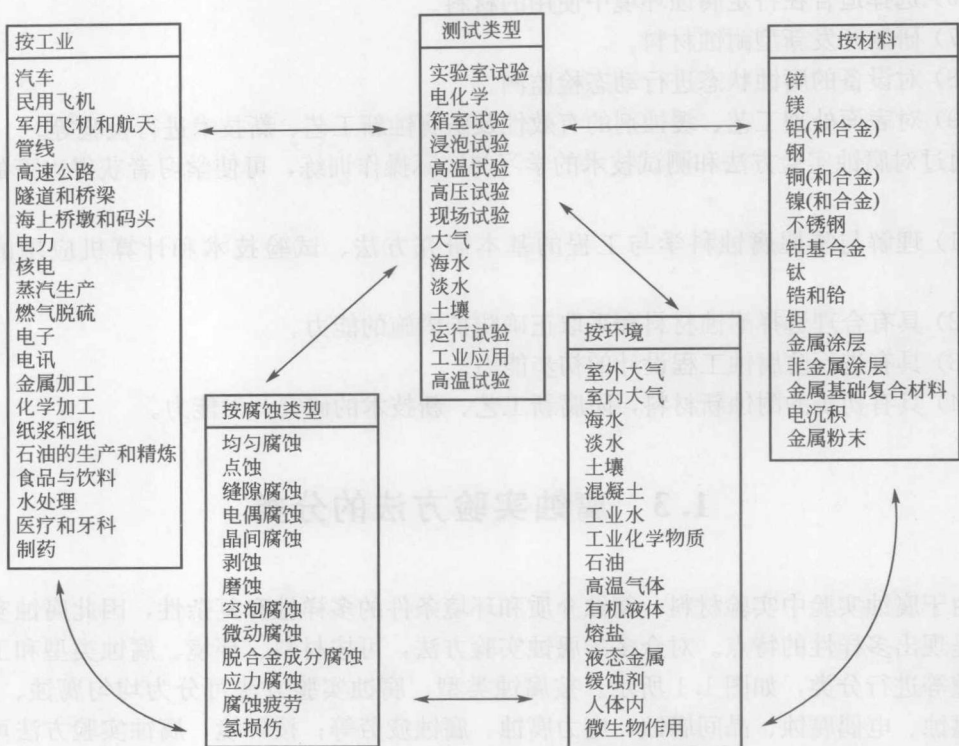


图 1.1 腐蚀实验方法的分类

## 2. 现场试验

把专门制备的材料试样置于现场实际应用的环境介质(天然海水、土壤、大气或工业介质)中进行腐蚀试验,称为现场试验。现场试验的最大特点是环境条件的真实性,因而其试验结果比较可靠,常用于筛选材料、评定材料的耐蚀性、预测材料的使用寿命、考核防腐措施的有效性及检验实验室试验结果的可靠性等。

但现场试验的缺点是:①试验中环境因素无法严格控制、试验条件可能有较大变化,试验结果分散性大、重现性较差;②试验周期长;③现场试验中的试样状态仍与实物间有很大差异。

## 3. 实物试验

实物试验是将待实验的材料制成实物部件、设备或小型试验装置,在现场的实际应用条件下进行的腐蚀实验。虽然这种试验能如实地反映实际使用材料的状态及环境介质状态,且试验结果比较可靠,但试验的费用大、周期长,且只能提供定性的评定考核。

按实验周期,腐蚀实验方法可分为长时间腐蚀实验、短时间腐蚀实验和快速腐蚀实验。长时间腐蚀实验的试验周期,常接近现场试验的情况;短时间腐蚀实验是指通过强化腐蚀作用来使试验周期缩短的腐蚀实验,这与实验室加速试验相似。而快速腐蚀实验是通过选择适当的介质使试验周期大为缩短的实验,如不锈钢的点蚀实验、晶间腐蚀实验等,常用于材料的快速腐蚀性检验。

由于实验课程的时间限制,本书涉及的实验主要是在较短时间内完成的实验室试验,

但这并不会削弱现场试验和实物试验在腐蚀实验方法中的作用和重要性。

## 1.4 本书的编写思路与教学安排

### 1. 编写思路

腐蚀科学与工程是一门融合材料科学、化学、电化学、物理学、表面科学、力学、生物学和环境科学等多种学科的综合性交叉学科,其研究手段涉及电化学测试、材料微观分析、物相表征、化学分析等仪器和设备,其应用范围包括各种工业领域的化学介质环境和大气、土壤、海/河水等自然环境。

在目前高等学校的本科生教学中,腐蚀科学与工程的理论内容常以“材料的腐蚀与防护”“腐蚀电化学”“金属腐蚀学”“腐蚀控制工程”“表面科学与工程”等课程的形式出现在材料、化工、石油、机械、冶金等专业课程中;而实验教学内容则相对较少,且缺乏系统性和完整性。

随着高等学校工程教育改革的开展和进行,对学生的实验技能和工程实践能力要求越来越高。加之,腐蚀科学与工程是一门具有很强实验性质的技术学科,因此就迫切需要编写一本能较全面系统反映腐蚀科学与工程内容的实验教程,以满足本科生实验教学的需要,提升学生的研究创新和工程创新能力。

鉴于腐蚀科学与工程学科理论体系的特点及实验教学的需要,全书分为6章。第1章是绪论,主要介绍腐蚀实验的目的、意义及腐蚀实验方法的分类。第2章主要叙述腐蚀实验设计、条件控制、腐蚀实验体系与常用的测量仪器。第3章从腐蚀速率和其他腐蚀参数测定两方面对腐蚀科学的理论进行实验验证;第4章则是从电化学保护、缓蚀剂、表面改性与涂覆、腐蚀监测等四方面对材料防护措施的有效性进行检验。此外,为培养学生的科学研究水平和解决实际问题的能力,从耐蚀材料、应力作用环境、涂料设计和腐蚀产物膜分析等方面设计了四个研究性综合实验(第5章);从海水、土壤、石油、混凝土等工程实际问题出发,提取出四个工程性综合实验(第6章)。相信通过这些从腐蚀实验设计到仪器使用、从腐蚀科学实验到腐蚀工程实验、从腐蚀基础实验到研究性、工程性综合实验的实验训练,会使学生熟练地掌握腐蚀科学与工程的基本理论和研究方法,具备扎实的腐蚀科学与工程实验技能,具有初步分析和解决工程实际材料腐蚀问题的能力。

### 2. 教学安排

作为本科生的实验教学内容,本书既可与《材料的腐蚀与防护》、《腐蚀电化学》、《金属腐蚀学》、《腐蚀控制工程》等理论教程配套使用,也可以单一设课的形式进行实验课程的独立教学。

在具体教学安排上,整个实验教程约需要48学时。其中绪论和腐蚀实验体系与常用测量仪器部分约需4学时;在腐蚀科学实验和腐蚀工程实验部分,可根据各学校的需要分别选做6~8个实验,需24~32学时;对研究性综合实验和工程性综合实验,可以项目式教学(project teaching)或专业课程设计的形式分别选做1~2个,需16~20学时。

在进行每一个具体实验时,首先要仔细阅读实验指导书,了解实验目的和要求,熟悉实验的测试原理、仪器使用方法和实验步骤等内容,并写出实验预习提纲。进入实验室



后,应先检查测量仪器和化学试剂是否符合要求。在实验操作过程中,应严格控制实验条件、仔细观察实验现象,详细记录各种原始数据,善于发现和及时解决实验中可能出现的问题。实验结束后,整理实验仪器和实验台,将原始实验记录交给老师进行签字,然后正确处理实验数据,并按时完成实验报告。实验报告应包括实验目的、实验原理、实验材料、实验仪器、实验步骤、数据处理(图、表)、结果讨论、思考题、参考文献、心得体会或改进建议等内容。

实验报告

实验报告是实验课程的重要组成部分,也是考核学生实验能力的重要依据。实验报告的内容应包括:实验目的、实验原理、实验材料、实验仪器、实验步骤、数据处理、结果讨论、思考题、参考文献、心得体会或改进建议等。实验报告的撰写应做到条理清晰、数据准确、结论明确。在撰写过程中,应注重对实验现象的观察和记录,以及对实验结果的分析和讨论。同时,还应结合所学知识,对实验结果进行合理的解释和说明。实验报告的撰写不仅是对实验过程的总结,也是对学生实验能力的考核。通过撰写实验报告,可以培养学生的实验操作能力、数据处理能力和科学思维能力。

实验报告的撰写应遵循以下原则:首先,要实事求是,不得弄虚作假。其次,要条理清晰,层次分明。再次,要数据准确,计算无误。最后,要结论明确,有据可依。在撰写过程中,应注重对实验现象的观察和记录,以及对实验结果的分析和讨论。同时,还应结合所学知识,对实验结果进行合理的解释和说明。

实验报告的撰写步骤如下:首先,要仔细阅读实验指导书,了解实验目的、实验原理、实验材料、实验仪器、实验步骤等。其次,要进行实验操作,记录实验现象和数据。再次,要对实验结果进行分析和讨论,得出结论。最后,要撰写实验报告,包括实验目的、实验原理、实验材料、实验仪器、实验步骤、数据处理、结果讨论、思考题、参考文献、心得体会或改进建议等。在撰写过程中,应注重对实验现象的观察和记录,以及对实验结果的分析和讨论。同时,还应结合所学知识,对实验结果进行合理的解释和说明。实验报告的撰写不仅是对实验过程的总结,也是对学生实验能力的考核。通过撰写实验报告,可以培养学生的实验操作能力、数据处理能力和科学思维能力。

实验报告

实验报告的撰写应遵循以下原则:首先,要实事求是,不得弄虚作假。其次,要条理清晰,层次分明。再次,要数据准确,计算无误。最后,要结论明确,有据可依。在撰写过程中,应注重对实验现象的观察和记录,以及对实验结果的分析和讨论。同时,还应结合所学知识,对实验结果进行合理的解释和说明。

实验报告的撰写步骤如下:首先,要仔细阅读实验指导书,了解实验目的、实验原理、实验材料、实验仪器、实验步骤等。其次,要进行实验操作,记录实验现象和数据。再次,要对实验结果进行分析和讨论,得出结论。最后,要撰写实验报告,包括实验目的、实验原理、实验材料、实验仪器、实验步骤、数据处理、结果讨论、思考题、参考文献、心得体会或改进建议等。

在撰写过程中,应注重对实验现象的观察和记录,以及对实验结果的分析和讨论。同时,还应结合所学知识,对实验结果进行合理的解释和说明。实验报告的撰写不仅是对实验过程的总结,也是对学生实验能力的考核。通过撰写实验报告,可以培养学生的实验操作能力、数据处理能力和科学思维能力。

实验报告的撰写应遵循以下原则:首先,要实事求是,不得弄虚作假。其次,要条理清晰,层次分明。再次,要数据准确,计算无误。最后,要结论明确,有据可依。在撰写过程中,应注重对实验现象的观察和记录,以及对实验结果的分析和讨论。同时,还应结合所学知识,对实验结果进行合理的解释和说明。实验报告的撰写不仅是对实验过程的总结,也是对学生实验能力的考核。通过撰写实验报告,可以培养学生的实验操作能力、数据处理能力和科学思维能力。