

CONCISE HANDBOOK OF  
ELECTROCHEMICAL PROTECTION

# 电化学保护 简明手册

王 强 ■ 编著



化学工业出版社

# 电化学保护 简明手册

王 强 ■ 编著      胡士信 ■ 审定

常州大学图书馆  
藏书章



化学工业出版社

· 北京 ·

定价：158.00元

本书系统介绍了电化学保护原理,详细叙述了电化学保护系统设计、系统施工、系统管理,还对交流、直流干扰,电化学保护技术经济分析,有关现行阴极保护技术标准、规范、规程及工程实例做了介绍。附录提供了有关电化学保护术语及电化学保护常用参数。

本书可供从事防腐蚀设计、科研、管理及施工单位工程技术人员使用,也可用作大专院校材料学科、防腐工程技术人员的辅助用书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电化学保护简明手册/王强编著. —北京:化学工业出版社, 2012. 8

ISBN 978-7-122-14356-3

I. 电… II. 王… III. 电化学保护-技术手册  
IV. TG174.41-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 103588 号

---

责任编辑:段志兵

文字编辑:孙凤英

责任校对:王素芹

装帧设计:关 飞

---

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:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 41½ 字数 862 千字 2012 年 9 月北京第 1 版第 1 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:128.00 元

版权所有 违者必究

# 序

腐蚀是非常普遍的现象，它遍及国民经济的各个领域。从暴露于大气环境中的金属结构物，到处于水环境、土壤环境、化工介质中以及生活环境中的金属结构物，都不同程度地存在着腐蚀问题。

腐蚀破坏是导致金属材料失效的主要原因之一。腐蚀造成生产中的“跑、冒、滴、漏”，致使有毒气体、液体、核放射物质等外溢，不仅影响生态环境安全 and 人身安全，而且也对社会公共安全造成威胁。因腐蚀导致失火、爆炸、桥梁坍塌、飞机坠毁、核反应堆泄漏等重大事故，其后果更是灾难性的。

腐蚀造成的经济损失是巨大的。1995 年美国的统计数字为全年总腐蚀损失 3000 亿美元，占国民生产总值的 4.2%。我国 2000 年统计，总腐蚀损失估计达 5000 亿元，约占国民生产总值的 5%。

腐蚀造成资源、能源的浪费，妨碍可持续发展。目前就我国矿产资源的保障程度而言，形势相当严峻。

金属的电化学腐蚀是金属腐蚀的主要形式。电化学保护技术是防止电化学腐蚀最简单、最经济、最有效的防护措施，而且在许多行业中已将其标准化、系列化、商品化和法规化。该技术也是目前全世界大力推广的主流防腐蚀技术之一。

近二三十年来，电化学保护技术与其他科学技术一样得到快速发展，有关电化学保护工程的新工艺、新技术、新设备层出不穷，一些传统工艺和技术也不断改进和创新。为此，腐蚀防护工程领域迫切需要一部能综合反映当代电化学保护技术现状的书籍。王强先生正是选择了这个角度编写了本手册。

王强先生是我国已逝著名腐蚀防护学家火时中教授的学生，是原大连工学院培养的首批腐蚀与防护专业毕业生。他无论是从事专业技术工作还是后期从事党政工作，对实践电化学保护技术、宣传电化学保护知识，都怀有极其浓厚的兴趣和热情。20 世纪 80 年代初出版发行了《地下金属管道的腐蚀与阴极保护》，这在当时是国内屈指可数的几部专业著作之一。随后又出版发行了《电化学保护问答》一书。

本手册的编写历时四年，其间作者做了大量的调查研究，查阅了大量的国内外资料，广泛征求了专家、学者、同仁们的意见，得到了多方面的热情帮助。

在本手册的编写过程中，作者曾几易其稿，多次修改。成稿后，胡士信老师又进行了仔细的阅审；化学工业出版社的编辑曾多次对该手册的章节结构和内容提出



调整意见。这些基础性工作都包含在读者今天所见到的手册之中。

本手册具有“全、实、新”的特点：

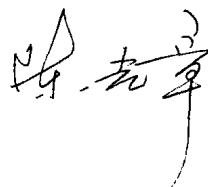
全——全书系统地介绍了电化学保护技术的系统设计、系统施工、系统管理，还包括交流、直流干扰和电化学保护技术经济分析，以及现行阴极保护标准规范；

实——就是突出了实用这个中心，以简明易懂的手法说理，用剖析典型工程实例的方法说事；

新——就是力求全面反映当代电化学保护的新技术、新成果、新趋势，在一定程度上反映了本领域的当代水平。

因此，本手册是防腐蚀设计、科研、管理及施工单位的工程技术人员以及大专院校材料学科师生不可多得的参考书。

中国腐蚀与防护学会 理事长

 教授

# 前 言

电化学保护技术是一种较新的防腐蚀技术，在我国应用约半个世纪。

电化学保护技术包括阴极保护和阳极保护两种。尽管阴极保护的历史可追溯到 180 多年前的 1824 年，但它的真正推广应用是从 20 世纪 60 年代末开始的，至今已发展成一项十分经济、有效的防腐蚀技术。特别是近些年来，随着各类直流电源、新型阳极和遥控监测技术的发展，阴极保护的应用范围日趋扩大，其防腐蚀效果和经济效益日益凸显。

相比较而言，阳极保护比阴极保护整整晚了 100 多年。1954 年，英国学者 C. Edleanu 在实验中证明了用恒电位仪进行阳极极化可以控制腐蚀，首次正式将阳极保护作为一种防腐蚀技术，并指出了其工业应用的可能性。1958 年，加拿大纸浆与造纸研究所首次在碱性纸浆蒸煮锅上实现阳极保护技术的应用。我国 20 世纪 60 年代初以来，在阳极保护技术的研究和应用方面，也取得了不少进展，成为世界上少数掌握该技术的国家之一。正如世界著名腐蚀工程师 M. G. Fontana 所言：“阳极保护是腐蚀科学整个历史中最重要的进展之一。”阳极保护技术虽然起步较晚，但也是一种比较经济有效的防腐蚀控制技术，且有独到之处。

当前，世界发达国家已将金属腐蚀问题列为腐蚀经济学管理，并纳入可持续发展战略考虑。腐蚀实质上是一个经济问题。腐蚀经济是国民经济的组成部分，目前，我国的腐蚀损失已远远超过每年 5000 亿元。如果能够采取有效的防腐蚀措施，将腐蚀损失减少 20%，这是一笔巨大的社会财富。

然而，尽管一本书不能改变一个世界，但假如它能够唤醒人们对腐蚀问题的警觉；或为读者查证一个数据、寻找一个方法、解决一个棘手问题提供方便；或为减少腐蚀损失提供一条思路和信息，将是对作者所付出心血的莫大宽慰。

在本手册的编写过程中，特别感谢我国著名的阴极保护专家胡士信高工为我提供了大量个人工作中积累的宝贵资料；感谢大连理工大学殷正安老师提供的大量科研成果和教学资料；感谢哈尔滨工业大学（威海）、山东大学威海分校给予的大力支持与协助；更要感谢那些素不相识的专家、学者、工程技术人员所提供的大量文

献资料，如果没有他们所奉献的大量参考资料作支撑，仅靠本人的工作经验及学习体会，此书是难以成稿的。所以本书是站在“巨人”肩膀上的产物。还要感谢家人对我工作的理解、支持和奉献。

本手册成稿后，胡士信先生对全稿进行了审阅，徐快先生审阅了部分章节。陈光章教授特为本书作序。化学工业出版社编辑同志为本手册的出版付出了辛勤的劳动，并给予了真诚的指导和帮助。吴秀欣、万秀刚、于海福等也为本书的出版做了大量案头工作，特此一并感谢。

因本手册内容较多，涉及知识面广，加上电化学保护技术持续发展和不断更新，也由于笔者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请同行、专家或读者不吝指正。

王 强

# 目 录

## 第一章 概述

1

|      |                     |    |
|------|---------------------|----|
| 第一节  | 金属的腐蚀 .....         | 2  |
| 一、   | 腐蚀的定义 .....         | 2  |
| 二、   | 腐蚀的分类 .....         | 2  |
| 三、   | 腐蚀形态 .....          | 3  |
| 四、   | 腐蚀危害 .....          | 10 |
| 五、   | 腐蚀评定 .....          | 16 |
| 第二节  | 金属腐蚀电化学基础 .....     | 19 |
| 一、   | 腐蚀电池 .....          | 19 |
| 二、   | 电极和电极电位 .....       | 21 |
| 三、   | 电位-pH图 .....        | 24 |
| 四、   | 极化与去极化 .....        | 26 |
| 五、   | 金属及合金的钝化 .....      | 33 |
| 第三节  | 常用的腐蚀控制方法 .....     | 34 |
| 一、   | 正确选材与合理设计金属结构 ..... | 35 |
| 二、   | 电化学保护技术 .....       | 35 |
| 三、   | 使金属材料与腐蚀介质隔开 .....  | 36 |
| 四、   | 改变腐蚀环境 .....        | 36 |
| 五、   | 腐蚀控制方法的选择 .....     | 36 |
| 参考文献 | .....               | 37 |

## 第二章 阴极保护基础

38

|     |                  |    |
|-----|------------------|----|
| 第一节 | 概述 .....         | 38 |
| 一、  | 阴极保护技术发展简史 ..... | 38 |
| 二、  | 阴极保护技术发展现状 ..... | 46 |
| 第二节 | 阴极保护技术 .....     | 48 |
| 一、  | 阴极保护技术的分类 .....  | 48 |



|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 二、阴极保护技术原理及特点 .....         | 49         |
| 三、阴极保护技术适用范围 .....          | 56         |
| <b>第三节 阴极保护技术参数 .....</b>   | <b>56</b>  |
| 一、自然腐蚀电位 .....              | 56         |
| 二、保护电位 .....                | 56         |
| 三、瞬间断电电位 .....              | 60         |
| 四、阴极保护准则 .....              | 60         |
| 五、保护电流密度 .....              | 62         |
| 六、最佳保护参数 .....              | 64         |
| <b>第四节 阴极保护检测技术 .....</b>   | <b>66</b>  |
| 一、电位测试方法 .....              | 66         |
| 二、电流测试方法 .....              | 73         |
| 三、电阻测试方法 .....              | 76         |
| 四、覆盖层性能测试 .....             | 80         |
| <b>第五节 阴极保护设计 .....</b>     | <b>84</b>  |
| 一、阴极保护设计的内容与所需资料 .....      | 84         |
| 二、阴极保护系统的选择 .....           | 85         |
| 三、阴极保护系统的设计 .....           | 86         |
| 四、阴极保护配件的设计 .....           | 87         |
| 五、设计图纸及技术说明书 .....          | 100        |
| <b>第六节 阴极保护的运行与管理 .....</b> | <b>100</b> |
| 一、阴极保护的运行与管理 .....          | 100        |
| 二、阴极保护效果的评估 .....           | 105        |
| <b>第七节 阴极保护技术经济分析 .....</b> | <b>106</b> |
| 一、静态分析法 .....               | 106        |
| 二、动态分析法 .....               | 112        |
| <b>参考文献 .....</b>           | <b>124</b> |

### 第三章 牺牲阳极法阴极保护技术

126

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| <b>第一节 概述 .....</b>                | <b>126</b> |
| <b>第二节 牺牲阳极法阴极保护系统的构成 .....</b>    | <b>128</b> |
| 一、牺牲阳极材料 .....                     | 128        |
| 二、牺牲阳极填包料 .....                    | 145        |
| 三、连接电缆 .....                       | 147        |
| <b>第三节 牺牲阳极法阴极保护系统的设计 .....</b>    | <b>148</b> |
| 一、牺牲阳极种类的选择 .....                  | 148        |
| 二、牺牲阳极保护设计计算 .....                 | 149        |
| <b>第四节 牺牲阳极法阴极保护系统的安装与施工 .....</b> | <b>154</b> |
| 一、牺牲阳极的布置与安装 .....                 | 154        |

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 二、牺牲阳极与被保护结构的连接 | 157 |
| 三、系统调试          | 158 |
| 四、竣工资料          | 159 |
| 参考文献            | 160 |

## 第四章 牺牲阳极法阴极保护的应用

161

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第一节 概述                        | 161 |
| 第二节 土壤环境中金属构筑物的牺牲阳极法阴极保护      | 161 |
| 一、埋地钢质管道                      | 162 |
| 二、钢制储罐罐底外壁                    | 166 |
| 三、预应力钢筒混凝土管                   | 168 |
| 四、埋地电缆、光缆金属护套                 | 171 |
| 五、套管内金属管道                     | 177 |
| 六、接地网                         | 178 |
| 七、应用实例                        | 179 |
| 第三节 水环境中金属构筑物的牺牲阳极法阴极保护       | 187 |
| 一、船体外部                        | 187 |
| 二、海洋平台                        | 190 |
| 三、海底管线                        | 194 |
| 四、港工金属设施                      | 197 |
| 五、水工金属结构                      | 199 |
| 六、海洋环境钢筋混凝土结构                 | 202 |
| 七、应用实例                        | 206 |
| 第四节 工业冷却水系统中金属设备的牺牲阳极法阴极保护    | 211 |
| 一、凝汽器                         | 212 |
| 二、循环水泵                        | 215 |
| 三、钢质循环水管道内壁                   | 217 |
| 四、应用实例                        | 219 |
| 第五节 设备、容器内部的牺牲阳极法阴极保护         | 221 |
| 一、船体内部                        | 222 |
| 二、钢质储罐内壁                      | 226 |
| 三、储水式热水器                      | 229 |
| 四、锅炉                          | 233 |
| 五、水族池                         | 236 |
| 六、应用实例                        | 237 |
| 第六节 其他材料/介质体系中金属结构物的牺牲阳极法阴极保护 | 243 |
| 一、化工设备                        | 244 |
| 二、应用实例                        | 245 |
| 参考文献                          | 245 |

|      |                       |     |
|------|-----------------------|-----|
| 第一节  | 概述 .....              | 248 |
| 第二节  | 强制电流法阴极保护系统的构成 .....  | 249 |
|      | 一、直流电源 .....          | 249 |
|      | 二、辅助阳极 .....          | 264 |
|      | 三、参比电极 .....          | 275 |
|      | 四、导线和电缆 .....         | 286 |
| 第三节  | 强制电流法阴极保护系统的设计 .....  | 286 |
|      | 一、保护参数的选取 .....       | 287 |
|      | 二、保护电流的计算 .....       | 287 |
|      | 三、电源设备的选择与容量的计算 ..... | 287 |
|      | 四、辅助阳极设计 .....        | 288 |
|      | 五、电缆的选择与计算 .....      | 292 |
| 第四节  | 强制电流法阴极保护的安装与施工 ..... | 292 |
|      | 一、直流电源的布置与安装 .....    | 292 |
|      | 二、辅助阳极的布置与安装 .....    | 293 |
|      | 三、参比电极的布置与安装 .....    | 302 |
|      | 四、导线连接 .....          | 302 |
|      | 五、系统调试 .....          | 303 |
|      | 六、竣工资料 .....          | 306 |
| 参考文献 | .....                 | 306 |

|     |                              |     |
|-----|------------------------------|-----|
| 第一节 | 概述 .....                     | 308 |
| 第二节 | 土壤环境中金属构筑物的强制电流法阴极保护 .....   | 308 |
|     | 一、埋地钢质管道 .....               | 308 |
|     | 二、钢制储罐罐底外壁 .....             | 310 |
|     | 三、井套管 .....                  | 315 |
|     | 四、应用实例 .....                 | 321 |
| 第三节 | 水环境中金属构筑物的强制电流法阴极保护 .....    | 327 |
|     | 一、船体外部 .....                 | 327 |
|     | 二、海洋平台 .....                 | 335 |
|     | 三、港工金属设施 .....               | 336 |
|     | 四、水工金属结构 .....               | 337 |
|     | 五、海洋环境钢筋混凝土结构 .....          | 337 |
|     | 六、应用实例 .....                 | 339 |
| 第四节 | 工业冷却水系统中金属设备的强制电流法阴极保护 ..... | 346 |

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| 一、凝汽器 .....                                | 346        |
| 二、循环水泵 .....                               | 349        |
| 三、钢质循环水管道内壁 .....                          | 353        |
| 四、应用实例 .....                               | 357        |
| <b>第五节 设备、容器内部的强制电流法阴极保护 .....</b>         | <b>360</b> |
| 一、钢质储罐内壁 .....                             | 360        |
| 二、储水式热水器 .....                             | 362        |
| 三、水轮机 .....                                | 363        |
| 四、应用实例 .....                               | 365        |
| <b>第六节 大气环境中结构物的强制电流法阴极保护 .....</b>        | <b>368</b> |
| 一、大气环境中钢筋混凝土结构 .....                       | 368        |
| 二、气相环境中金属构筑物 .....                         | 375        |
| 三、应用实例 .....                               | 376        |
| <b>第七节 其他材料/介质体系中金属结构物的强制电流法阴极保护 .....</b> | <b>378</b> |
| 一、化工设备 .....                               | 378        |
| 二、应用实例 .....                               | 379        |
| <b>参考文献 .....</b>                          | <b>380</b> |

## **第七章 直流杂散电流干扰及其防护**

383

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| <b>第一节 概述 .....</b>             | <b>383</b> |
| 一、杂散电流的定义与分类 .....              | 383        |
| 二、杂散电流腐蚀防护的重要意义 .....           | 383        |
| 三、杂散电流的管理与教育 .....              | 384        |
| <b>第二节 直流杂散电流干扰的形成 .....</b>    | <b>384</b> |
| 一、自然干扰 .....                    | 384        |
| 二、人为干扰 .....                    | 385        |
| <b>第三节 直流杂散电流干扰的危害 .....</b>    | <b>390</b> |
| <b>第四节 直流杂散电流腐蚀原理与特点 .....</b>  | <b>391</b> |
| <b>第五节 直流杂散电流干扰的调查和测定 .....</b> | <b>393</b> |
| 一、直流杂散电流干扰的判定 .....             | 393        |
| 二、直流杂散电流的检测与计算 .....            | 396        |
| <b>第六节 直流杂散电流干扰的防护技术 .....</b>  | <b>400</b> |
| 一、直流电气化铁路干扰的防护 .....            | 400        |
| 二、地铁杂散电流干扰的防护 .....             | 403        |
| 三、高压直流 (HVDC) 输电线路干扰的防护 .....   | 409        |
| <b>第七节 排流保护系统的管理 .....</b>      | <b>409</b> |
| <b>第八节 工程实例 .....</b>           | <b>410</b> |
| <b>参考文献 .....</b>               | <b>414</b> |

|      |                           |     |
|------|---------------------------|-----|
| 第一节  | 概述 .....                  | 415 |
| 第二节  | 交流干扰的表现形式 .....           | 419 |
|      | 一、容性耦合（静电感应） .....        | 419 |
|      | 二、感性耦合（磁感应） .....         | 420 |
|      | 三、阻性耦合（地电流影响） .....       | 422 |
| 第三节  | 交流干扰的影响 .....             | 423 |
| 第四节  | 交流腐蚀机理与特点 .....           | 426 |
|      | 一、交流腐蚀机理 .....            | 426 |
|      | 二、腐蚀特点 .....              | 431 |
| 第五节  | 交流干扰的判定 .....             | 431 |
|      | 一、从环境条件进行判断 .....         | 432 |
|      | 二、从腐蚀部位的外观特征进行判断 .....    | 433 |
|      | 三、通过测量被干扰体的电学状态进行判断 ..... | 434 |
|      | 四、交流干扰测量 .....            | 435 |
| 第六节  | 交流干扰的防护技术 .....           | 440 |
|      | 一、干扰源侧的防护 .....           | 440 |
|      | 二、被干扰体侧的防护 .....          | 443 |
|      | 三、人身安全的防护 .....           | 447 |
| 第七节  | 排流保护管理 .....              | 448 |
| 第八节  | 工程实例 .....                | 449 |
| 参考文献 | .....                     | 456 |

|     |                      |     |
|-----|----------------------|-----|
| 第一节 | 概述 .....             | 457 |
|     | 一、阳极保护技术发展简史 .....   | 457 |
|     | 二、阳极保护的应用条件及特点 ..... | 459 |
| 第二节 | 阳极保护原理 .....         | 461 |
|     | 一、基本原理 .....         | 461 |
|     | 二、钝性的形成及破坏 .....     | 462 |
| 第三节 | 阳极保护的主要参数及其测定 .....  | 464 |
|     | 一、阳极保护的主要参数 .....    | 464 |
|     | 二、阳极保护参数的测定 .....    | 465 |
| 第四节 | 阳极保护系统构成 .....       | 468 |
|     | 一、直流电源 .....         | 468 |
|     | 二、辅助阴极 .....         | 472 |
|     | 三、参比电极 .....         | 475 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 四、连接导线·····                 | 476 |
| <b>第五节 阳极保护系统的设计</b> ·····  | 476 |
| 一、设计依据·····                 | 477 |
| 二、设计内容·····                 | 478 |
| 三、设计计算·····                 | 488 |
| <b>第六节 阳极保护系统的安装</b> ·····  | 490 |
| 一、辅助阴极的安装·····              | 490 |
| 二、参比电极的安装·····              | 490 |
| 三、导线的连接·····                | 491 |
| <b>第七节 阳极保护的运行与管理</b> ····· | 492 |
| 一、阳极保护系统开车操作·····           | 492 |
| 二、阳极保护系统运行管理·····           | 493 |
| 三、阳极保护效果评估·····             | 494 |
| <b>参考文献</b> ·····           | 495 |

## **第十章 阳极保护的应用**

**496**

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| <b>第一节 概述</b> ·····                       | 496 |
| <b>第二节 硫酸体系中金属结构物的外电源法阳极保护</b> ·····      | 496 |
| 一、管壳式浓硫酸冷却器·····                          | 497 |
| 二、槽管式分酸器·····                             | 503 |
| 三、硫酸输送管道·····                             | 505 |
| 四、硫酸储罐·····                               | 507 |
| 五、硫酸运输车船·····                             | 511 |
| 六、应用实例·····                               | 512 |
| <b>第三节 氨水及铵盐溶液中金属结构物的外电源法阳极保护</b> ·····   | 516 |
| 一、氨水储槽（罐）·····                            | 517 |
| 二、碳化塔·····                                | 522 |
| 三、氮肥铁路槽车·····                             | 525 |
| 四、应用实例·····                               | 526 |
| <b>第四节 纸浆及造纸工业中金属结构物的外电源法阳极保护</b> ·····   | 530 |
| 一、制浆与蒸煮器·····                             | 530 |
| 二、蒸煮器腐蚀原因分析·····                          | 531 |
| 三、蒸煮器的阳极保护·····                           | 534 |
| 四、应用实例·····                               | 536 |
| <b>第五节 其他材料/介质体系中金属结构物的外电源法阳极保护</b> ····· | 536 |
| 一、硫酸铝蒸发器·····                             | 536 |
| 二、磷酸蒸发器·····                              | 538 |
| 三、磺化装置·····                               | 539 |
| 四、应用实例·····                               | 539 |



|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第六节 电解质溶液中金属结构物的保护器法阳极保护</b> | 540 |
| 一、保护器法阳极保护原理                    | 540 |
| 二、碳钢在碳酸氢铵溶液中                    | 541 |
| 三、不锈钢在硫酸溶液中                     | 542 |
| 四、应用实例                          | 542 |
| <b>参考文献</b>                     | 543 |

## 附 录

545

|                                                 |     |
|-------------------------------------------------|-----|
| <b>附录 1 土壤环境中金属结构物阴极保护标准与规范节选</b>               | 546 |
| 一、NACE RP 0100—2004 预应力钢管混凝土管 (PCCP)<br>阴极保护    | 546 |
| 二、SY/T 0088—2006 钢质储罐罐底外壁阴极保护技术<br>标准           | 554 |
| 三、GB/T 21448—2008 埋地钢质管道阴极保护技术<br>规范            | 557 |
| <b>附录 2 水环境中金属结构物腐蚀控制标准、规范与规程节选</b>             | 565 |
| 一、GB/T 3108—1999 船体外加电流阴极保护系统                   | 566 |
| 二、NACE RP 0176—2003 海上钢质固定石油生产构筑物<br>腐蚀控制的推荐做法  | 569 |
| 三、DL/T 5358—2006 水电水利工程金属结构设备防腐蚀<br>技术规程        | 575 |
| 四、JTS 153-3—2007 海港工程钢结构防腐蚀技术规范                 | 578 |
| 五、GJB 157A—2008 水面舰船牺牲阳极保护设计和<br>安装             | 582 |
| <b>附录 3 大气环境中钢筋混凝土结构阴极保护标准与规程节选</b>             | 586 |
| 一、EN 12696—2000 混凝土中钢筋的阴极保护                     | 587 |
| 二、NACE RP 0290—2000 大气中钢筋混凝土结构强制电流<br>阴极保护推荐性规程 | 592 |
| <b>附录 4 杂散电流干扰腐蚀及其防护标准、规程节选</b>                 | 596 |
| 一、SY/T 0017—2006 埋地钢质管道直流排流保护技术<br>标准           | 596 |
| 二、CEN/TS 15280—2006 埋地管道交流干扰腐蚀性评估——<br>用于阴极保护管道 | 603 |
| <b>附录 5 电化学保护术语</b>                             | 613 |
| <b>附录 6 环境腐蚀评价</b>                              | 633 |
| <b>附录 7 电化学保护常用参数</b>                           | 637 |

# 第一章

## 概 述

金属腐蚀问题由来已久，这一现象可以追溯到人类最初使用铁器的 5000 年前，当时认为“铁”是上天所赐之物，人类对它一无所知。随着生产、生活的应用，约公元前 3000 年及此前时期，人类开始用陨铁加工武器和装饰品。埃及金字塔中所发现便证实了这一点。约公元前 2000 年，在小亚细亚地区人群居住的地方似有人工制作的铁器。青铜时代用铁熔剂冶炼铜，在炉底余留了与渣一起被还原的铁，有研究认为这便是开始使用铁器的契机。尽管不能确定是谁最早开始了人工炼铁，但可以肯定，腐蚀问题却产生于铁器诞生的那一天。

长期以来，人类在使用铁器、铜器的过程中，一直被腐蚀问题所困扰，所以大量的铁器文物保存下来的很少。

我们的祖先很早就开始了对金属腐蚀及防护技术的研究。其有目的地控制腐蚀，在我国可追溯到商代和秦代。那时候我们的祖先就知道用锡可以改善铜的耐蚀性；用铬的氧化物层可以保护青铜剑不腐蚀。大量的出土文物表明，我们的祖先不仅创造了“四大”发明，而且对腐蚀防护的研究也有着辉煌的成就。

尽管对金属腐蚀及其控制认识的历史悠久，但长期处于经验性阶段。到了 18 世纪中叶，才开始对金属腐蚀现象做了系统的解释和研究。到了 20 世纪初才逐渐形成一门独立的学科。

近二三十年来，我国国民经济得到快速发展，伴随而来的金属腐蚀问题也日益突出，已经成为影响国民经济和可持续发展的一个重要因素。因此，进一步推广应用先进的防腐蚀技术，降低腐蚀经济损失，保护宝贵的资源与能源，保护生态环境，减少环境污染和灾难性事故是可持续发展的必然要求。

## 第一节 金属的腐蚀

### 一、腐蚀的定义

腐蚀概念在不同的时期有着不同的描述,反映了腐蚀防护工作者在不同时期对腐蚀概念的不同理解以及对发挥防护技术作用的不同要求和希望。20世纪50年代前,腐蚀的定义只局限于金属材料。它是指“金属在周围介质作用下,由于化学变化、电化学变化或物理溶解而产生的破坏”。自20世纪50年代以后,随着非金属尤其是合成材料的大量应用,非金属材料失效现象也日益严重,而且非金属材料在各个领域有进一步扩大使用的趋势,因此,有些腐蚀学者认为,腐蚀定义应拓宽到所有材料。因而提出“腐蚀是材料受到环境介质的化学、电化学和物理作用产生的损坏或变质现象”,这样便确定了材料腐蚀的广义定义。

虽然腐蚀定义涵盖了所有材料,但是金属材料的腐蚀与非金属材料的腐蚀在其原理上差别是很大的。金属腐蚀主要是由化学或电化学作用引起的破坏,有时还同时伴有机械、物理或生物作用。而非金属材料的破坏,一般是由于化学或物理作用引起,包括化学老化与物理老化,涉及介质的渗透、溶解、溶胀、氧化降解与溶解、光氧老化、高能辐射降解与交联、溶剂分解反应、取代基的反应、与大气污染的反应、微生物腐蚀等。本书只涉及金属材料的电化学腐蚀及其控制,非金属材料尚未纳入讨论。

### 二、腐蚀的分类

金属腐蚀的分类方法很多,据报道至少有几十种腐蚀类型,而且随着金属材料的增加和腐蚀介质的变化,腐蚀类型还会增加。下面介绍几种常用分类方法。

#### 1. 按腐蚀机理分类

化学腐蚀(如高温氧化腐蚀、高温硫化腐蚀、渗碳和脱碳、环烷酸腐蚀、钎腐蚀等)、电化学腐蚀(如钢铁在土壤、水环境中发生的腐蚀等)、物理腐蚀(例如存放熔融锌的钢容器Fe在高温下被液态Zn溶解、容器变薄)、生物腐蚀(如好氧性菌腐蚀、厌氧性菌腐蚀)。

#### 2. 按腐蚀破坏形态分类

全面腐蚀(包括均匀的全面腐蚀和不均匀的全面腐蚀)、局部腐蚀(包括电偶腐蚀、点蚀、缝隙腐蚀、晶间腐蚀、选择性腐蚀等)、在力学和环境因素共同作用的腐蚀(包括应力腐蚀开裂、腐蚀疲劳、氢损伤、磨损腐蚀等)。

#### 3. 按腐蚀环境分类

干燥气体腐蚀(如金属在露点以上的常温干燥气体中发生氧化腐蚀、金属在高温气体中氧化腐蚀)、电解液中的腐蚀(如大气腐蚀、土壤腐蚀、海水腐蚀,以及酸、碱、盐溶液中的腐蚀,工业水中的腐蚀等)、非电解液中的腐蚀(如Al在乙醇中,Mg和Ti在甲醇中的腐蚀)、熔盐和熔渣中的腐蚀(熔盐和熔渣中的腐蚀属于电化学腐蚀)、熔融金属中的腐蚀(熔融金属中的腐蚀为物理腐蚀)、其他环境中的腐蚀(如太空环境、深海火山附近环境、生物体内环境等)。