



林玉珍 编著

金属腐蚀与防护 简明读本

要像关注医学、环境保护
和减灾一样关注腐蚀问题



化学工业出版社



金属腐蚀与防护 简明读本

林玉珍 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

《金属腐蚀与防护简明读本》采用深入浅出、通俗易懂的语言，结合图解说明的形式，阐明了金属腐蚀的基本理论和应用。全书包括基础知识、腐蚀问题解析和腐蚀控制三篇，阐述了为什么会发生腐蚀、金属电化学腐蚀倾向的判断、电极电位的测量、常见的局部腐蚀形态、金属在自然条件下的腐蚀、合理的防腐蚀设计等知识。

本书可作为腐蚀与防护领域的工程技术人员、相关专业高校师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

金属腐蚀与防护简明读本/林玉珍编著. —北京:
化学工业出版社, 2019.1
ISBN 978-7-122-33296-7

I. ①金… II. ①林… III. ①金属-防腐 IV.
①TG174

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第258407号

责任编辑: 韩亚南 段志兵
责任校对: 宋 玮

装帧设计: 史利平

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 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司
710mm×1000mm 1/16 印张12¼ 字数233千字 2019年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888 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: 59.00元

版权所有 违者必究

前言

Preface

腐蚀是材料受环境作用而发生的破坏或变质。工程上，腐蚀的直接结果是影响安全生产，大大缩短材料的服役寿命。设备一旦腐蚀，轻者跑冒滴漏，重者引发爆炸、火灾，严重威胁人身安全，导致灾难性事故。因此，腐蚀不但造成原材料的大量消耗、资源的浪费，而且使环境污染，会直接导致水土资源紧缺；更重要的是，腐蚀将大大限制新技术、新工程的实现。

虽然我国的腐蚀科学与技术已经取得了长足的进步，改革开放以来，市场经济又为与腐蚀相关的产业发展注入了更强的活力，但由于腐蚀涉及国民经济的各个方面，从日常生活到工农业生产，从国防工业到尖端科学，它无所不及，无孔不入。而腐蚀及其控制又跨行业、跨部门，既带有共性又是多学科交叉的新领域。只因腐蚀是静悄悄地在进行破坏，常不被人们注意，至今，并未得到应有的重视和发展。

腐蚀好比是材料和设备在“患病”，严重的局部腐蚀犹如“癌症”；腐蚀与防护工作者就是设备的“大夫”，为建设资源节约型、与环境友好型的社会，为实施可持续发展的战略保驾护航。我们要像关注医学、环境保护和减灾一样关注腐蚀问题。

本书从专业的角度，采用深入浅出通俗易懂的语言，结合图示和曲线，阐明金属腐蚀的基本理论和应用。希望关心、支持、从事腐蚀与防护工作的人们，通过此书真真切切意识到腐蚀的存在，进而能正确认识腐蚀问题，从而激发学习的热情，努力提高腐蚀与防护的知识水平，勇于开拓创新，为实现伟大的中国梦而努力奋斗。

由于作者水平所限，书中疏漏和不妥之处在所难免，敬请批评指正。

编著者

目录

Contents

基础知识篇

1	腐蚀的代价	002
1.1	几件最惨重的事故	002
1.2	腐蚀造成的经济损失	005
2	为什么会发生腐蚀	007
2.1	什么是腐蚀	007
2.2	腐蚀发生的原因	007
2.3	腐蚀控制的途径	008
3	金属在电解质溶液中的状态	010
3.1	电极电位——金属在电解质溶液中状态的表征	010
3.2	平衡电极电位 E_e	012
3.3	非平衡电极电位	015
4	金属电化学腐蚀倾向的判断	017
4.1	金属的电化学腐蚀过程	017
4.2	腐蚀反应的自由能变化与腐蚀倾向	017
4.3	可逆电池电动势和腐蚀倾向	018
5	电位-pH图	020
5.1	图的构成	020
5.2	电位-pH图的应用	021
5.3	实验电位-pH图	023

6 腐蚀电池 024

- 6.1 腐蚀电池的形成 024
- 6.2 腐蚀电池的工作历程 025
- 6.3 腐蚀电池的类型 026
- 6.4 腐蚀电池的特点和作用 029

7 金属的腐蚀速度与极化作用 030

- 7.1 极化作用 030
- 7.2 腐蚀金属电极及其极化行为 034
- 7.3 极化图的应用 036

8 金属电化学腐蚀的阴极过程 039

- 8.1 电化学腐蚀的阴极过程 039
- 8.2 氢去极化腐蚀 040
- 8.3 氧去极化腐蚀 046

9 金属的钝化 051

- 9.1 金属的钝化现象 051
- 9.2 金属钝化的特性曲线 052
- 9.3 钝化理论 053
- 9.4 钝态破坏引起的腐蚀 054
- 9.5 钝性的利用 056

10 电极电位的测量 058

- 10.1 电极电位测量的意义 058
- 10.2 电极电位的测试系统 059
- 10.3 电极电位测量中的几个问题 059
- 10.4 稳态极化的实现和测量 062

腐蚀问题解析篇

11

金属的局部腐蚀电化学

066

- 11.1 局部腐蚀的两种情况 066
- 11.2 导致局部腐蚀的电化学条件 067
- 11.3 局部腐蚀中腐蚀电池的特点 068
- 11.4 供氧差异腐蚀电池 069
- 11.5 自催化效应 071

12

常见的局部腐蚀形态

073

- 12.1 电偶腐蚀 073
- 12.2 孔蚀 076
- 12.3 缝隙腐蚀 078
- 12.4 晶间腐蚀 080
- 12.5 选择性腐蚀 082
- 12.6 应力腐蚀破裂 083
- 12.7 腐蚀疲劳 087
- 12.8 氢损伤 087
- 12.9 磨损腐蚀 089

13

金属在自然条件下的腐蚀

097

- 13.1 大气腐蚀 097
- 13.2 海水中的腐蚀 102
- 13.3 金属在土壤中的腐蚀 106
- 13.4 微生物腐蚀及生物污损 110

14

金属在常用介质中的腐蚀

116

- 14.1 金属在酸中的腐蚀 116
- 14.2 金属在碱中的腐蚀 121
- 14.3 金属在盐类溶液中的腐蚀 123
- 14.4 金属在卤素中的腐蚀 125
- 14.5 金属在工业冷却水中的腐蚀 125

腐蚀控制篇

15 电化学保护 132

- 15.1 阴极保护原理及实施条件 132
- 15.2 实施外加电流阴极保护的几个要点 136
- 15.3 实施牺牲阳极的阴极保护中的几个问题 142
- 15.4 阴极保护法的应用实例 144
- 15.5 阳极保护法及其应用 147
- 15.6 阳极保护与阴极保护的比较 150

16 介质处理 153

- 16.1 锅炉给水的除氧 153
- 16.2 海砂除盐处理 154
- 16.3 降低气体介质中的水含量 156
- 16.4 调节介质的pH值 156

17 缓蚀剂保护 158

- 17.1 缓蚀剂保护的特点 158
- 17.2 缓蚀剂的作用机制和分类 159
- 17.3 缓蚀剂的应用 161

18 合理的防腐蚀设计 166

- 18.1 工艺流程中的防腐蚀考虑 166
- 18.2 设备结构设计中防腐蚀的考虑 170
- 18.3 加工、制造工艺中的防腐蚀考虑 178
- 18.4 安装、运行及维护中防腐蚀的考虑 181
- 18.5 设备腐蚀控制的科学管理 183

主要参考文献 185

基础知识篇

腐蚀是自然界中的一种自发倾向
它吞噬地球资源和社会财富巨大

1

腐蚀的代价

腐蚀是对资源的极大浪费，防护是最经济、有效的节约措施。

1.1 几件最惨重的事故

切尔诺贝利核电站核泄漏事故（1986年4月26日，图1-1）

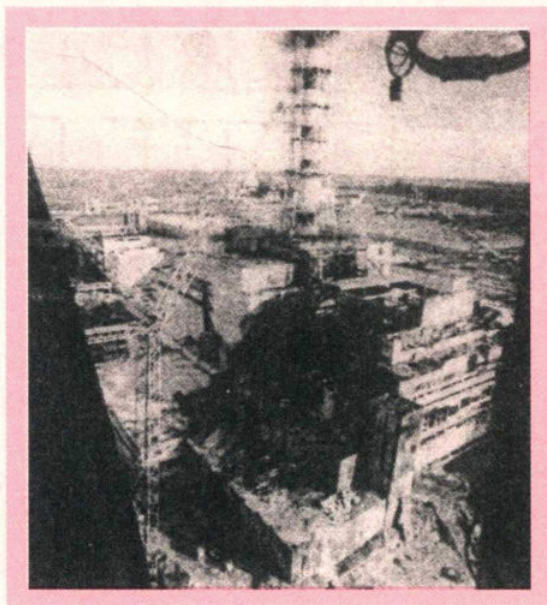


图 1-1 核电站爆炸后现场

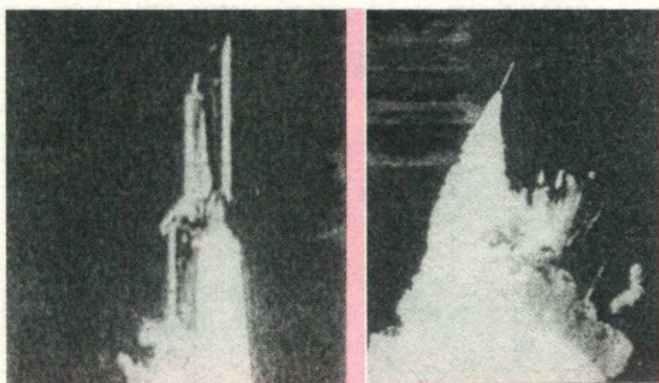
这是目前史上损失最为惨重的事故，损失达2000亿美元。其中1700万人被直接暴露至核辐射之下，有关的死亡人数，包括数年后死于癌症者约有12.5万人，乌克兰领土的50%被不同程度污染。

原因：可能是连接头设计不当，引发摩擦磨损腐蚀。

美国航天飞机升空爆炸（1986年，图1-2）

“挑战者”航天飞机升空73s后空中爆炸解体，机上7名航天员全部遇难，损失55亿美元。

原因：燃料箱对接用的O形橡胶密封圈不耐当时环境的过低温度，橡胶圈脆化、失去韧性，引发爆炸。



左：刚起飞时的燃料箱(箱下侧) 右：空中爆炸解体

图1-2 “挑战者”空中爆炸

帕尔珀·阿尔法石油钻塔事故(1988年7月6日,图1-3)

这里一度是全球最大的离岸石油生产钻塔,每天可产原油31万7千桶。一次正常维修中,技术人员忘记更换其中一个安全阀(是用来阻止液态天然气囤积、防止产生危害的关键装置)。后来当启动液态天然气泵时,引发了爆炸。在2h之内,300个工作平台都被火海吞噬,最终坍塌,167名工人遇难。损失55亿美元。

原因:原安全阀因摩擦磨损腐蚀而失效。

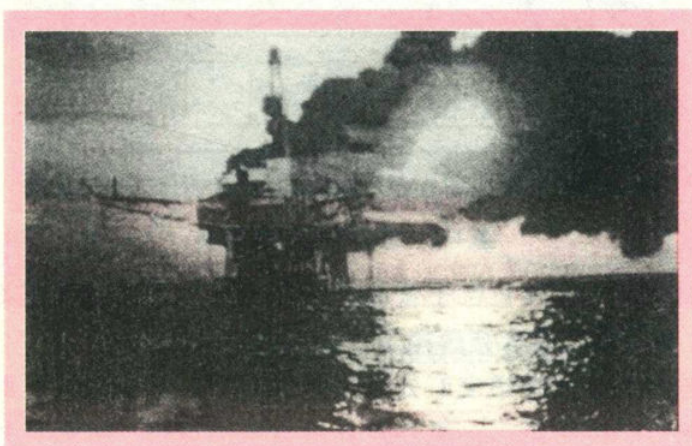


图1-3 帕尔珀·阿尔法石油钻塔爆炸起火

日本福岛核电站爆炸(2011年3月11日,图1-4)

福岛第一核电站一号机组已建成40年,各种设备管道都已腐蚀和老化,极易出现问题。当发生9.0级地震,接着又是破坏性巨大的海啸,随之引发了核电站爆炸。至今已过去多年,隔离区的辐射强度依然很高,人进入该区几十秒就会致死,如今像座“死城”。

原因:地震引发和设备腐蚀。

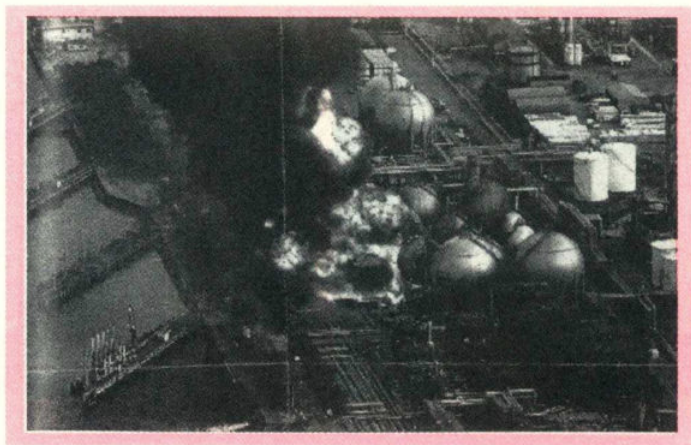


图 1-4 日本福岛核电站爆炸现场

青岛输油管线泄漏引发爆炸（2013年11月22日，图1-5）

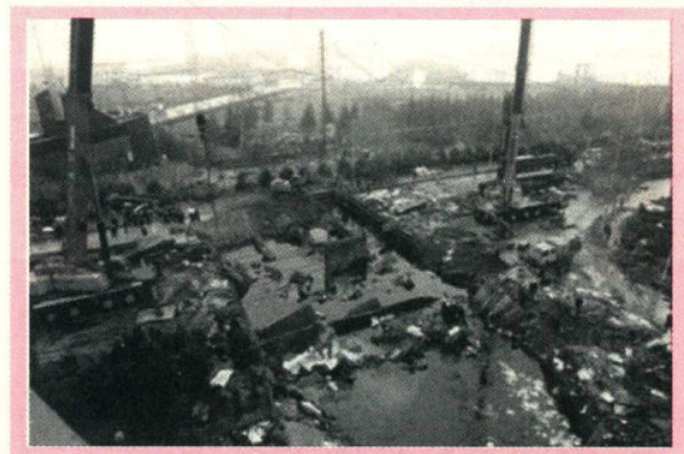


图 1-5 青岛油管爆炸现场

图 1-5 是 2013 年 11 月 24 日位于青岛经济技术开发区秦皇岛路与齐堂岛街交会处的事现场（新华社记者李紫恒摄）。

输油管线与市政排水暗渠交汇处管道腐蚀减薄，管道破裂，原油漏入排水暗渠，在形成密闭空间的暗渠内，原油及其混合气体蔓延、扩散并积聚，最后遇火花发生了大范围连续爆炸，死 62 人，伤 136 人。直接损失 7.52 亿元。

原因：输油管线腐蚀穿漏。

重要启示

腐蚀重大事故的造成，不是一个简单的问题，而是贯穿于选材、设计、制造、使用、维护维修和管理的系统工程问题。其中任何一个环节的疏忽或失职，均可引发灾难性事故，会使材料和设备失去使用的可靠性和耐久性，从而大大缩短服役寿命。

1.2 腐蚀造成的经济损失

腐蚀的直接损失 (图1-6)



图1-6 腐蚀的直接损失

世界上每年因腐蚀报废的钢铁设备、构件约占钢铁总生产量的30%，如果其中的2/3能回收再生，则仍有约10%的钢铁总产量因腐蚀而永远流失，一去不复返（图1-7）。

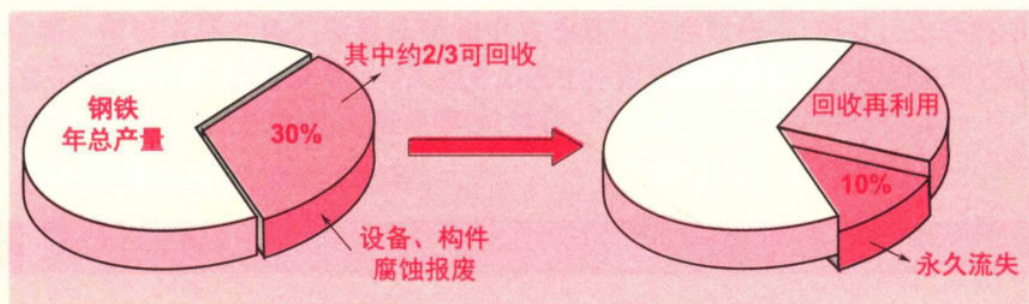


图1-7 材料腐蚀的直接损失的构成

腐蚀的间接损失

要知道金属设备、构件的价值远远超过材料本身的价值，加之因腐蚀造成生产停顿、环境污染、突发事故以及各种影响，使腐蚀引起的间接损失巨大，有时难以估计。

腐蚀总损失

据调查统计，世界上因腐蚀造成的经济总损失要比自然灾害（地震、风灾、水灾、火灾等）的损失总和大得多（图1-8）。



图 1-8 腐蚀总损失

2

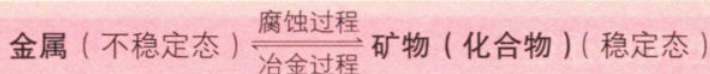
为什么会发生腐蚀

金属腐蚀是自然界中的一种客观规律。

2.1 什么是腐蚀

广义地说，材料（包括金属和非金属）在周围环境介质的作用下产生的破坏或失效都是腐蚀。目前工程上使用最多的材料仍然是金属。因此，金属的腐蚀最为重要，是本书讨论的主要内容。

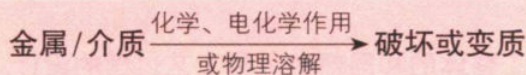
腐蚀是自然界的一种自发倾向



自然界中除金、铂之外，其他金属都是以化合物状态存在的。人们为了得到纯金属，需要消耗大量的能量从矿物中去提炼（冶金过程）。因此，这些纯金属（处在不稳定状态）都会自发地与周围介质发生作用而形成化合物，即回复到它的自然存在的稳定状态（矿物），这就是腐蚀过程。

可说腐蚀是冶金过程的逆过程。

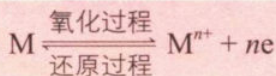
金属的腐蚀



纯机械作用，如磨削、撕裂、压碎等不属于腐蚀范围。

2.2 腐蚀发生的原因

腐蚀的化学本质



- 腐蚀是金属元素M失去电子被氧化形成氧化物 M^{n+} 的过程（氧化反应）。
- 如果释放出来的电子，没有物质去吸收、消耗以进行还原反应，则腐蚀也不可能继续进行下去。

腐蚀发生的根本原因

要使腐蚀持续发生，环境介质中必须有吸收、消耗电子的物质（氧化剂）存在。众所周知，在自然条件下，常有氧（ O_2 ）的存在，它是最容易吸收、消耗电子的物质，这就决定了自然界中腐蚀存在的普遍性。

特别注意

- 腐蚀是一客观规律，但它又是可控的。
- 防腐蚀并不是去改变客观规律，而是要了解腐蚀的步骤和细节，利用科学知识，控制腐蚀从而将其限制在工程上允许的程度。

2.3 腐蚀控制的途径

实践已经表明，利用腐蚀科学知识和现代防腐蚀技术，腐蚀的经济损失可降低约1/3。

腐蚀现象和机理比较复杂，影响因素众多。但只要在腐蚀发生、发展和进行过程的各个步骤和环节上设置障碍，对腐蚀速度的降低均有效。因此，腐蚀的控制途径是多方面的。

- **正确选材**
包括金属材料和非金属材料。
- **合理的防护设计**
包括设备结构设计（整体的和局部的）和工艺过程的设计。
- **介质处理**
包括去除有腐蚀危害的成分（如去氧、湿，改变pH值等）或添加缓蚀剂。
- **电化学保护**
改变金属表面的电化学状态，包括阴极保护和阳极保护。
- **表面覆盖层**
将耐腐蚀材料用涂、镀、喷、渗、衬各种施工方法，覆盖在易被腐蚀的材料表面。另外还有表面氧化和磷化。

● 科学的防腐蚀管理

对防腐蚀设计、施工、运行维护、操作、记录、档案的统一管理，亦是腐蚀控制是否良好的关键因素。

重要启示

- 工程上具体选择防腐蚀方案时，应综合考虑并遵循：“科学、合理、经济、可行”的原则。
- 要特别注意：一种防腐蚀方法并不是万能的，它不能解决所有的腐蚀问题。一个腐蚀问题也不只限于用一种方法来解决，往往用两种或两种以上的措施联合防腐蚀能获得最佳的效果。