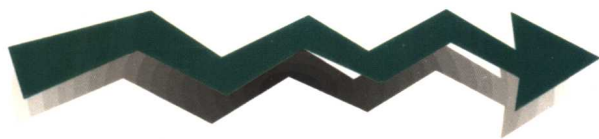


防腐蚀工程师

技术资格认证 考试指南



◎ 中国腐蚀与防护学会 组织编写

中国石化出版社

防腐蚀工程师 技术资格认证考试指南

中国腐蚀与防护学会 组织编写

中国石化出版社

内 容 提 要

本书是为进行防腐工程师技术资格认证而编写的专业指导书,概要论述了腐蚀科学和防腐工程技术的基本内容。共6章内容分别介绍了金属腐蚀与防腐技术基础、工程材料及其耐蚀性、表面工程技术与缓蚀剂、防腐涂料与涂装、阴极保护和阳极保护技术及其工程应用、腐蚀试验方法与监控技术。本书还结合防腐工程技术的特点,通过案例阐述了主要防腐工程技术的原理、设计、施工工艺、运行管理,以及试验检测和监控。

本书指导性地提供了作为防腐工程师必备的基本专业知识。既是防腐工程师必备手册,也是防腐工程技术的简明工具书,可供从事防腐工程技术工作的各类人员,各工业部门工程技术人员、管理人员和大专院校的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

防腐工程师技术资格认证考试指南/中国腐蚀与防护学会组织编写.
—北京:中国石化出版社,2005
ISBN 7-80164-694-0

I.防… II.中… III.防腐-工程师-资格考核-
自学参考资料 IV.TB304

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 123763 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 26.75 印张 682 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

定价:58.00 元

编委会组成人员

名誉主任委员：柯 伟

主任委员：杨德钧

副主任委员：左 禹 李金桂

委 员：左 禹 米 琪 李久青 李金桂

吴荫顺 林玉珍 杨德钧 郑家棨

高 瑾 曹 备 熊金平

前 言

各种材料、设备、设施在大气、海水、土壤等自然及工业环境中遭受到不同程度的腐蚀危害，腐蚀问题遍及国民经济各个行业，如能源、化工、矿山、冶金、交通、机械、航空航天、信息、农业、食品、医药、海洋开发和现代高科技发展等。据世界工业发达国家腐蚀调查统计，各国的年腐蚀损失约占国民经济生产总值的1.5%~4.2%左右，1998年美国腐蚀损失为2757亿美元。据我国2002年发表的调查报告指出，年腐蚀支付的直接费用已达2000亿元以上，如果考虑间接损失，腐蚀费用的总和估计可达5000亿元人民币，约占国民经济总值的5%。这不仅会造成经济上损失巨大，而且还会引起装置泄漏、污染环境，甚至引起爆炸和人员伤亡。更为重要的是，腐蚀问题将阻碍高新技术、重大工程项目的实现和国民经济的可持续发展。因此，世界各工业发达国家都十分重视推动腐蚀科学和防腐蚀技术的发展及其在国民经济中的广泛应用。

世界各国腐蚀与防护专家普遍认为，如能应用已有的腐蚀科技知识和近代防腐蚀技术，可使腐蚀经济损失降低25%~30%。为此，社会经济发展需要大量具有防腐蚀知识的专门人才。而目前从事设计、制造、施工和管理的工程技术人员通常缺乏必要的腐蚀与防护知识，合格的防腐蚀工程师和高级管理人员严重短缺，防腐蚀工程队伍素质亟待提高。我国1997年高校专业设置调整后，将腐蚀与防护专业合并到材料工程专业后，已明显影响到这一科技领域的工程技术人才的培养。为了加强防腐蚀科技领域人才培养和适应国民经济需要，经中国科学技术协会批准，授权中国腐蚀与防护学会开展防腐蚀工程师(系列)技术资格认证工作。

为配合防腐蚀工程师技术资格认证，对需要提高腐蚀与防护专业知识的人员，中国腐蚀与防护学会将组织专业培训和考试。为此我们编写了《防腐蚀工程师技术资格认证考试指南》。全书分6章，主要内容为防腐蚀工程师必须具备的腐蚀基础理论和主要防腐蚀技术。为便于自学，各章中还提出了相应的基本要求、考核知识点和思考题。本书各章即将扩展编写成6本著作，既可作为资格认证培训教材供读者自学与参考，也可作为科技图书供广大科技工作者参考使用。6本书分别为《腐蚀和腐蚀控制原理》、《工程材料及其耐蚀性》、《表面镀覆层和缓蚀剂》、《阴极保护和阳极保护——原理、技术及工程应用》、《防腐蚀涂料与涂装》、《腐蚀试验方法及监测技术》。

本书编委会由中国腐蚀与防护学会邀请有关大学教授和有实践经验的专家组成。各章编写者为：第1章，林玉珍，杨德钧；第2章，左禹，熊金平；第3章，李金桂，郑家荣；第4章，吴荫顺，曹备；第5章，高瑾，米琪；第6章，李久青。全书由李久青、杨德钧负责总审。由于时间短促和限于作者水平，书中缺点错误在所难免，敬请广大读者指正。

目 录

第1章 金属腐蚀与防腐蚀技术基础	(1)
1.1 总论	(1)
1.1.1 金属腐蚀的代价与防腐蚀在国民经济中的意义	(1)
1.1.2 金属腐蚀的定义与分类	(3)
1.1.3 金属腐蚀速度的表示法	(4)
1.1.4 腐蚀控制途径	(5)
1.2 金属的电化学腐蚀	(6)
1.2.1 电化学腐蚀的阴、阳极过程	(6)
1.2.2 平衡电极电位与非平衡电极电位	(7)
1.2.3 腐蚀反应趋势的判断	(9)
1.2.4 电位 - pH 图	(11)
1.2.5 电化学腐蚀速度与极化作用	(13)
1.2.6 常见的两类去极化腐蚀	(18)
1.2.7 金属的钝化	(22)
1.3 金属的高温氧化	(24)
1.3.1 金属高温氧化的可能性	(24)
1.3.2 金属表面的氧化膜	(24)
1.3.3 铁的高温氧化	(25)
1.3.4 高温硫化	(26)
1.4 金属的腐蚀形态	(26)
1.4.1 全面腐蚀与局部腐蚀	(26)
1.4.2 电偶腐蚀	(27)
1.4.3 缝隙腐蚀	(29)
1.4.4 孔蚀	(30)
1.4.5 晶间腐蚀	(31)
1.4.6 选择性腐蚀	(32)
1.4.7 应力腐蚀破裂	(33)
1.4.8 氢损伤	(35)
1.4.9 腐蚀疲劳	(37)
1.4.10 磨损腐蚀	(37)
1.4.11 细菌腐蚀	(39)
1.5 金属在自然环境中的腐蚀与防护	(40)
1.5.1 金属在大气中的腐蚀	(40)

1.5.2 金属在土壤中的腐蚀	(42)
1.5.3 金属在海水中的腐蚀	(44)
1.5.4 金属在酸、碱、盐中的腐蚀	(46)
主要参考书目	(50)
第2章 工程材料及其耐蚀性	(51)
2.1 金属材料及其耐蚀性	(51)
2.1.1 金属材料耐蚀性特点和分类	(51)
2.1.2 腐蚀介质的类别	(53)
2.1.3 耐腐蚀材料的选用	(54)
2.1.4 铁碳合金的耐蚀性	(55)
2.1.5 耐腐蚀低合金钢	(59)
2.1.6 不锈钢	(62)
2.1.7 耐蚀铸铁	(67)
2.1.8 铝和铝合金	(68)
2.1.9 钛和钛合金	(70)
2.1.10 镍和镍合金	(73)
2.1.11 其他有色金属	(76)
2.2 非金属材料的腐蚀	(80)
2.2.1 非金属材料的腐蚀类型	(80)
2.2.2 耐腐蚀高分子材料	(82)
2.2.3 耐腐蚀无机非金属材料	(87)
2.2.4 炭、石墨材料	(92)
2.2.5 复合材料	(94)
主要参考书目	(99)
第3章 表面工程技术与缓蚀剂	(100)
3.1 表面工程技术	(100)
3.1.1 表面工程三大技术的形成	(101)
3.1.2 表面工程科学的形成	(102)
3.1.3 表面工程技术的功能和作用	(102)
3.2 防腐蚀表面工程技术	(105)
3.2.1 表面转化改性技术	(105)
3.2.2 薄膜技术	(114)
3.2.3 涂、镀、包覆和衬里技术	(115)
3.3 缓蚀剂	(128)
3.3.1 概述	(128)
3.3.2 酸性介质缓蚀剂	(131)
3.3.3 中性介质缓蚀剂	(135)
3.3.4 大气腐蚀缓蚀剂	(138)
主要参考书目	(140)

第4章 阴极保护和阳极保护技术及其工程应用	(141)
4.1 引言	(141)
4.1.1 电化学保护工程技术的实践意义	(141)
4.1.2 电化学保护工程技术的任务	(142)
4.2 阴极保护原理与主要参数	(142)
4.2.1 阴极保护原理	(142)
4.2.2 阴极保护方法和主要参数	(145)
4.2.3 阴极保护判据和有效性	(154)
4.3 牺牲阳极法阴极保护技术	(156)
4.3.1 牺牲阳极法阴极保护系统	(156)
4.3.2 牺牲阳极材料	(158)
4.3.3 牺牲阳极法阴极保护设计	(170)
4.3.4 牺牲阳极安装	(175)
4.3.5 阴极保护效果检测	(177)
4.4 外加电流法阴极保护技术	(178)
4.4.1 外加电流法阴极保护系统	(178)
4.4.2 外加电流法阴极保护的电源设备	(180)
4.4.3 外加电流法阴极保护的辅助阳极	(183)
4.4.4 外加电流法阴极保护设计	(190)
4.4.5 安装与施工	(195)
4.5 阴极保护检测技术	(198)
4.5.1 阴极保护检测技术的基本要求和任务	(198)
4.5.2 电位测试方法	(199)
4.5.3 电流测试方法	(208)
4.5.4 电阻测试方法	(210)
4.6 阴极保护技术的工业应用	(216)
4.6.1 海水中金属结构物的阴极保护工程技术	(216)
4.6.2 土壤中金属结构物的阴极保护工程技术	(223)
4.7 阳极保护原理与主要参数	(226)
4.7.1 阳极保护原理	(226)
4.7.2 实现阳极保护的方法	(229)
4.7.3 阳极保护的主要参数	(232)
4.8 阳极保护系统与设计	(235)
4.8.1 阳极保护系统的构成	(235)
4.8.2 阳极保护设计	(238)
4.8.3 阳极保护致钝和维钝的方法	(240)
4.9 阳极保护技术的工业应用	(245)
4.9.1 硫酸体系中的阳极保护	(245)

4.9.2 氨水及铵盐溶液中的阳极保护	(248)
4.9.3 纸浆及造纸工业中的阳极保护	(251)
主要参考书目	(253)

第5章 防腐蚀涂料与涂装

(254)

5.1 防腐蚀涂料的基本知识	(255)
5.1.1 涂料、涂膜的基本概念及涂料防腐蚀特点	(255)
5.1.2 涂料的基本组成及各组分的作用	(256)
5.1.3 涂料的干燥成膜机理及工艺	(257)
5.1.4 涂膜附着机理及附着力影响因素	(259)
5.1.5 涂层的防腐蚀原理及提高保护性能的措施	(261)
5.1.6 防腐蚀涂料应具备的基本条件	(262)
5.1.7 防腐蚀涂层系统	(263)
5.1.8 防腐蚀涂料的分类及命名	(263)
5.2 防锈底涂	(265)
5.2.1 普通防锈底涂	(266)
5.2.2 磷化底漆	(269)
5.2.3 富锌涂料	(270)
5.2.4 锈面涂料	(272)
5.2.5 金属底材对防锈底涂的要求	(274)
5.3 常用有机防腐蚀涂料特性及应用	(274)
5.3.1 环氧树脂类防腐蚀涂料	(276)
5.3.2 酚醛防腐蚀涂料	(278)
5.3.3 聚氨酯防腐蚀涂料	(279)
5.3.4 含氯橡胶类防腐蚀涂料	(281)
5.3.5 乙烯类含氯防腐蚀涂料	(282)
5.3.6 丙烯酸树脂防腐蚀涂料	(283)
5.3.7 氟树脂防腐蚀涂料	(284)
5.3.8 呋喃树脂防腐蚀涂料	(286)
5.3.9 有机硅树脂防腐蚀涂料	(286)
5.3.10 醇酸树脂防腐蚀涂料	(287)
5.3.11 生漆及改性树脂防腐蚀涂料	(287)
5.4 重防腐蚀涂料	(288)
5.4.1 重防腐蚀涂料的基本特点及要求	(288)
5.4.2 重防腐蚀涂料主要种类	(290)
5.4.3 玻璃鳞片重防腐蚀涂料	(290)
5.4.4 粉末涂料及塑料涂覆层	(292)
5.4.5 聚脲弹性体重防腐涂层	(294)
5.4.6 特殊类型重防腐涂料简介	(294)

5.5 防腐蚀涂装的前处理	(295)
5.5.1 涂装前的表面处理	(296)
5.5.2 钢结构的表面预处理	(298)
5.5.3 表面预处理标准	(301)
5.5.4 非铁金属、混凝土的表面预处理	(303)
5.6 防腐蚀涂装方法	(305)
5.6.1 溶剂型防腐蚀涂料的涂装方法	(305)
5.6.2 粉末涂料的涂装方法	(308)
5.6.3 钢结构的热喷涂涂层技术	(309)
5.7 涂膜(层)干燥与固化	(311)
5.7.1 涂膜干燥的方法	(312)
5.7.2 与涂装相关的环境因素	(313)
5.8 防腐蚀涂装设计	(314)
5.8.1 防腐蚀涂装设计的内容和意义	(314)
5.8.2 防腐蚀涂装设计与设计程序	(314)
5.8.3 涂装的经济核算	(319)
5.8.4 防腐蚀涂装工程实例	(320)
5.9 防腐蚀涂装施工与质量管理	(326)
5.9.1 防腐蚀涂装施工	(326)
5.9.2 防腐蚀涂装质量管理	(327)
5.9.3 防腐蚀涂装的工程管理	(335)
5.9.4 防腐蚀涂装的安全、卫生和环境的管理	(336)
主要参考书目	(339)
第6章 腐蚀试验方法与监控技术	(340)
6.1 腐蚀试验方法概论	(340)
6.1.1 腐蚀试验方法的任务与分类	(340)
6.1.2 试验设计与试验条件控制	(341)
6.2 常用腐蚀评定方法	(345)
6.2.1 表观检查	(345)
6.2.2 质量法	(345)
6.2.3 失厚测量与孔蚀深度测量	(347)
6.2.4 气体容量法	(347)
6.2.5 电阻法	(347)
6.2.6 力学性能与腐蚀评定	(347)
6.2.7 溶液分析与指示剂法	(348)
6.3 电化学测试技术	(348)
6.3.1 电极电位测量	(348)
6.3.2 极化曲线与腐蚀速度测定	(349)

· 6 ·	防腐蚀工程师技术资格认证考试指南
6.3.3	充电曲线法	(352)
6.3.4	交流阻抗技术	(354)
6.3.5	电化学噪声研究方法	(357)
6.4	实验室模拟腐蚀试验	(358)
6.4.1	模拟浸泡试验	(358)
6.4.2	动态浸泡试验	(359)
6.4.3	控温试验	(361)
6.4.4	氧化试验	(362)
6.4.5	燃气腐蚀试验	(363)
6.5	局部腐蚀试验方法	(366)
6.5.1	孔蚀试验	(366)
6.5.2	缝隙腐蚀试验	(368)
6.5.3	电偶腐蚀试验方法	(370)
6.5.4	应力腐蚀试验	(372)
6.5.5	腐蚀疲劳试验	(377)
6.5.6	晶间腐蚀试验	(379)
6.6	加速腐蚀试验方法	(386)
6.6.1	盐雾试验	(386)
6.6.2	湿热腐蚀试验	(386)
6.6.3	二氧化硫气体腐蚀试验	(387)
6.6.4	硫化氢气体腐蚀试验	(387)
6.6.5	膏泥腐蚀试验	(388)
6.6.6	电解加速腐蚀试验	(388)
6.7	自然环境中的腐蚀试验	(389)
6.7.1	大气暴露试验	(389)
6.7.2	天然水中的腐蚀试验	(393)
6.7.3	土壤腐蚀试验	(394)
6.8	工业腐蚀监控	(396)
6.8.1	工业腐蚀监控的意义和任务	(396)
6.8.2	工业腐蚀监控技术	(397)
6.8.3	无损检测技术	(406)
6.8.4	腐蚀监控装置和方法选择	(410)
	主要参考书目	(416)

第 1 章 金属腐蚀与防腐蚀技术基础

基本要求:

1. 掌握金属腐蚀的基本概念, 熟悉基本理论, 既要了解腐蚀进行的可能性, 更要熟悉腐蚀进行的速度及机理。
2. 熟悉金属材料在自然环境中及典型工业介质中的腐蚀特点、规律、影响因素及主要的防护途径。
3. 初步运用腐蚀基本理论对现场的腐蚀进行分析, 并提出有效的防护途径。

考核知识点:

1. 掌握腐蚀定义、腐蚀过程及分类, 熟悉腐蚀速度的表示。
2. 熟悉电极电位、腐蚀原电池、电化学腐蚀倾向的判断, 电位 - pH 图及其在腐蚀与防护中的应用。
3. 熟悉极化作用及其表征, 极化对电化学腐蚀速度的影响, 腐蚀极化图解及其应用。
4. 熟悉析氢、吸氧两类去极化过程腐蚀的特点、规律和区别。
5. 熟悉金属钝化现象、特点、规律及钝性的利用。
6. 熟悉电偶腐蚀、缝隙腐蚀、孔蚀、晶间腐蚀、选择性腐蚀、应力腐蚀破裂、氢损伤、磨损腐蚀等局部腐蚀的形态。了解其特点、规律、机理及其防护途径。
7. 熟悉大气、海水、土壤自然环境中的腐蚀。
8. 熟悉典型化工介质酸、碱、盐中的腐蚀。
9. 熟悉金属高温氧化的可能性, 金属表面氧化膜的成长规律, 钢铁的高温氧化。
10. 了解影响金属腐蚀的材料及环境因素, 熟悉有效的防护途径。

1.1 总 论

1.1.1 金属腐蚀的代价与防腐蚀在国民经济中的意义

腐蚀是材料和周围的环境发生作用而被破坏的现象。它是一种自发的过程, 给人类带来的经济损失和社会危害极大。

金属腐蚀遍及国民经济各个领域, 从日常生活到工农业生产, 从新工艺、新技术的实现到尖端科学的发展, 都存在腐蚀问题。由于腐蚀, 大量得来不易的有用材料变成废料, 造成设备失效, 不仅消耗了宝贵的资源与能源, 造成巨大的直接经济损失, 而且还可使产品质量下降, 甚至造成灾难性的事故, 污染并恶化环境, 间接的经济损失更难以估算。

近年来, 许多国家不断展开腐蚀调查, 其结果见表 1-1。我国于 2000 年也对某些重要的工业部门做了腐蚀调查, 用 Hoar 方法调查结果示于表 1-2。

表 1-1 一些国家的年腐蚀损失

国家	时 间	年腐蚀损失	占国民经济总产值/%
美国	1949 年	55 亿美元	
	1975 年	820 亿美元(向国会报告为 700 亿美元)	4.9(4.2)
	1995 年	3000 亿美元	4.21
	1998 年	2757 亿美元	
英国	1957 年	6 亿英镑	
	1969 年	13.65 亿英镑	3.5
日本	1975 年	25509.3 亿日元	
	1997 年	39376.9 亿日元	
前苏联	20 世纪 70 年代中期	130140 亿卢布	
	1985 年	400 亿卢布	
原联邦 德国	1968 ~ 1969 年	190 亿马克	3
	1982 年	450 亿马克	
瑞典	1986 年	350 亿瑞典法郎	
印度	1960 ~ 1961 年	15 亿卢比	
	1984 ~ 1985 年	400 亿卢比	
澳大利亚	1973 年	4.7 亿澳元	
	1982 年	20 亿美元	
捷克	1986 年	15 × 10 ⁹ 捷克法郎	
波兰	—	—	6 ~ 10

表 1-2 Hoar 方法调查结果

部 门	腐蚀损失/亿元	部 门	腐蚀损失/亿元
化学工业	300	建筑部门(公路、桥梁、建筑)	1000
能源部门(电力、石油、煤)	172.1	机械工业	512.43
交通部门(火车、汽车)	303.9	合 计	2288.43

可见，金属腐蚀给国民经济带来的损失巨大。然而腐蚀又是可以通过人类的技术活动加以控制的，可使它的危害降低到最小。世界各国的腐蚀与防护专家普遍认为，如能应用近代腐蚀科学知识及防腐技术，腐蚀的经济损失可降低 25% ~ 30%。

当前，我国正进入大规模的经济建设时期，例如，海港、铁路、公路、桥梁、机场和工业基础设施的建设都将使用大量传统的结构材料如钢铁及其制品，这是腐蚀消耗的大户。又如，正在大规模开展的以西气东输、南水北调、西电东送、青藏铁路为代表性的一系列重大工程，这些关系千秋万代的历史性工程中出现着西部特殊自然环境中的许多新的防腐蚀问题，如高盐地区的腐蚀、酸雨、涂层的快速老化等。可以预见本世纪中国的腐蚀损失还将保持持续增长的态势。腐蚀好比材料和设施的“癌症”，因此，同样要像关注医学、环境保护和减灾一样关注腐蚀问题。尽管建国以来，我们腐蚀科学和技术已经取得了长足的进步，改革开放以后，市场经济又为腐蚀相关产业的发展注入了更大的活力。但是，要适应新形势，必须加强腐蚀与防护工作的科学管理，加强腐蚀科学基础研究，积极推广应用并开发防护技术，大力普及防腐知识，加强职业培训，努力提高防腐蚀工程队伍人员的素质，实现国家的

全面腐蚀控制，减少经济损失，节约资源，保护环境。

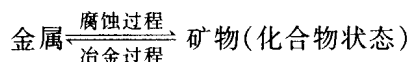
1.1.2 金属腐蚀的定义与分类

1.1.2.1 金属腐蚀的定义

金属腐蚀是指金属在周围介质(最常见的是液体和气体)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。例如，金属构件在大气中因腐蚀而生锈；钢铁在轧制过程中因高温下与空气中的氧作用产生了大量的氧化皮。化工生产中，金属设备、机械常与腐蚀性强的介质(如酸、碱、盐等)接触，尤其在高温、高压和高流速的工艺条件下，腐蚀问题更为严重。

随着非金属材料特别是合成材料的迅速发展，腐蚀定义扩大到了所有材料，即定义为“腐蚀是物质由于与周围环境作用而产生的损坏”。现已把扩大了腐蚀定义应用于塑料、陶瓷、木材、混凝土等的损坏中，但金属的腐蚀最重要，仍然是研究腐蚀问题的核心。

从热力学观点来看，绝大多数金属在自然界中均以化合物状态存在。为了获得纯金属，人们需要消耗大量的能量从矿物中去提炼(这就是冶金过程)。大多数金属(处于不稳定状态)都具有自发地与周围介质发生作用又转成氧化状态(化合物)的倾向，即：



所以，金属发生腐蚀是一种自发倾向，是冶金过程的逆过程，且到处可见。所谓防腐蚀，实质上就是利用各种防护措施把腐蚀速度控制在尽可能小的程度而已。

1.1.2.2 金属腐蚀的分类

由于金属腐蚀的现象和机理比较复杂，分类方法也多种多样，为了便于了解腐蚀机理，更好地寻求防腐途径，以下主要介绍两种。

(1) 按腐蚀机理分类

按照腐蚀过程的特点，金属腐蚀可分为化学腐蚀、电化学腐蚀、物理腐蚀三类。

化学腐蚀：金属表面与周围介质直接发生纯化学作用而引起的破坏。其反应历程的特点是，氧化剂直接与金属表面的原子相互作用而形成腐蚀产物。在腐蚀过程中，电子的传递是在金属与氧化剂之间直接进行的，因而没有电流产生。如金属在非电解质溶液中及金属在高温时氧化引起的腐蚀等。

电化学腐蚀：金属表面与离子导电的电介质发生电化学作用而产生的破坏。其反应历程的特点是，反应至少包含两个相对独立且在金属表面不同区域可同时进行的过程，其中阳极反应是金属离子从金属转移到介质中和放出电子的过程，即氧化过程；相对应的阴极反应便是介质中氧化剂组分吸收来自阳极的电子的还原过程。腐蚀过程中伴有电流产生，如同一个短路原电池的工作。这类腐蚀是最普遍的也是最常见的腐蚀，如金属在各种电解质溶液中，在大气、土壤和海水等介质中所发生的腐蚀皆属此类。另外，电化学作用既可单独造成金属腐蚀，也可和机械作用等共同导致金属的特殊腐蚀。

物理腐蚀：金属由于单纯的物理作用所引起的破坏。许多金属在高温熔盐、熔碱及液态金属中可发生此类腐蚀。如盛放熔融锌的钢容器、铁被液态锌所溶解而腐蚀。

(2) 按腐蚀破坏的形貌特征分类

按腐蚀形貌可分为全面腐蚀和局部腐蚀两类。

全面腐蚀：是指腐蚀分布在整个金属表面上。这类腐蚀的危险性相对而言比较小，当全面腐蚀不太严重时，只要在设计时增加腐蚀裕度就能防止设备的腐蚀破坏。

局部腐蚀：是指腐蚀主要集中在金属表面某一区域，而表面的其他部分则几乎未被破坏。如电偶腐蚀、小孔腐蚀、缝隙腐蚀、晶间腐蚀、选择性腐蚀以及应力腐蚀破裂、腐蚀疲劳、磨损腐蚀等。局部腐蚀往往是在没有先兆下发生的，目前对其预测和防止很困难。因此，这类腐蚀是造成设备失效的主要原因。

1.1.3 金属腐蚀速度的表示法

金属遭受腐蚀后，其质量、厚度、机械性能以及组织结构等都会发生变化，这些物理和力学性能的变化率均可用来表示金属腐蚀的程度。在均匀腐蚀的情况下，通常可采用质量指标和深度指标来表示。

1.1.3.1 质量指标

金属腐蚀速度的质量指标是把金属因腐蚀而发生的质量变化，换算成相当于单位金属表面积于单位时间内的质量变化的数值。通常采用质量损失法表示。

$$V = \frac{W_0 - W_1}{St} \quad (1-1)$$

式中 V ——腐蚀速度， $g/m^2 \cdot h$ ；

W_0 ——金属的初始质量， g ；

W_1 ——金属表面除去腐蚀产物后的质量， g ；

S ——金属的表面积， m^2 ；

t ——腐蚀进行的时间， h 。

1.1.3.2 深度指标

金属腐蚀速度的深度指标是把金属的厚度因腐蚀而减小的量，以线量单位表示，并换成为相当于单位时间的数值。在衡量密度不同的各种金属腐蚀程度时，此种指标极为方便，可按下列公式将腐蚀的质量损失指标换算为腐蚀深度指标。

$$V_L = \frac{V \times 24 \times 365}{(100)^2 \times \rho} \times 10 = \frac{V \times 8.76}{\rho} \quad (1-2)$$

式中 V_L ——腐蚀深度指标， mm/a ；

ρ ——金属的密度， g/cm^3 。

工程上，根据金属年腐蚀深度的不同，将金属的耐蚀性分为十级标准和三级标准，见表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 均匀腐蚀的十级标准

耐蚀性评定	耐腐性等级	腐蚀深度/(mm/a)
I 完全耐蚀	1	< 0.001
II 很耐蚀	2	0.001 ~ 0.005
	3	0.005 ~ 0.01
III 耐蚀	4	0.01 ~ 0.05
	5	0.05 ~ 0.1
IV 尚耐蚀	6	0.1 ~ 0.5
	7	0.5 ~ 1.0
V 欠耐蚀	8	1.0 ~ 5.0
	9	5.0 ~ 10.0
VI 不耐蚀	10	> 10

表 1-4 均匀腐蚀的三级标准

耐蚀性评定	耐蚀性等级	腐蚀深度/(mm/a)
耐蚀	1	< 0.1
可用	2	0.1 ~ 1.0
不可用	3	> 1.0

由表可见，十级标准分得太细，且腐蚀深度也不都是与时间成线性关系，即使按试验数据计算的结果也难以精确地反映出实际情况。三级标准比较简单，但在一些严格的场合又往往过于粗略，如对一些精密部件，虽然腐蚀率小于 1.0mm/a，这样的材料也不见得“可用”，故应视具体情况应用。还必须注意，对于高压和处理剧毒、易燃、易爆物质的设备，对均匀腐蚀的深度要求比普通设备要严格得多，选材时要从严选用。

1.1.3.3 力学性能指标

对于许多特殊的局部腐蚀形式，如晶间腐蚀、选择性腐蚀、应力腐蚀破裂和氢脆等，常采用腐蚀前后的强度损失率来表示其腐蚀程度

$$V_M = \frac{M_0 - M}{M_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 V_M ——力学强度的损失率；

M_0 ——腐蚀前材料的力学性能；

M ——腐蚀后材料的力学性能。

常用的力学性能指标有：强度指标(屈服极限 σ_s 、强度极限 σ_b)、塑性指标(延伸率 δ 、断面收缩率 ψ)、刚性指标(弹性模量 E)等。由于局部腐蚀一般都伴随材料脆性增大，所以用得更多的是塑性指标，用延伸率变化表示的耐蚀性评定标准见表 1-5。

表 1-5 用延伸率变化评定的耐蚀性标准

耐蚀性评定标准	延伸率的减小率/%	耐蚀性评定标准	延伸率的减小率/%
耐蚀	< 5	稍耐蚀	10 ~ 20
较耐蚀	5 ~ 10	不耐蚀	> 20

1.1.4 腐蚀控制途径

在不同的条件下，金属腐蚀的原因不尽相同，腐蚀破坏的形式多种多样且影响因素非常复杂。因此，根据不同的情况可采用不同的防腐途径来控制腐蚀。在生产实践中，常用的防腐途径大致有如下几种。

1.1.4.1 正确选用耐蚀材料

根据不同的腐蚀介质和使用的工况条件，选用合适的耐蚀金属材料和非金属材料。

1.1.4.2 电化学保护

电化学保护有两种，一种是阴极保护，另一种为阳极保护。阴极保护是利用金属电化学腐蚀原理，将被保护金属设备变成阴极以降低或防止金属腐蚀。而阳极保护是利用金属的钝性，将被保护金属设备变成阳极进行钝化并维持其钝态以降低金属腐蚀。

1.1.4.3 介质处理

腐蚀介质的处理，包括除去介质中对腐蚀有害的成分，如锅炉给水的除氧、调节介质的 pH 值及改变介质的湿度等，或往介质中添加少量能阻止或减缓金属腐蚀的物质以保护金属，

亦称缓蚀剂保护。

1.1.4.4 金属表面覆盖层

在金属表面喷、衬、渗、涂、镀上一层耐蚀性较好的金属或非金属材料以及对金属进行磷化、氧化处理，使被保护金属表面与腐蚀性介质机械地隔离而降低腐蚀。

1.1.4.5 合理的防腐设计及改进生产工艺流程

值得提出的是，每一种防护措施不是万能的，都有其应用的范围和条件，使用时必须注意。例如，阳极保护只适用于易钝化的腐蚀体系，如不能造成钝化状态，则阳极极化不仅不能减缓腐蚀，反而会加速金属的阳极溶解。另外，一种腐蚀问题也不能局限于单一的防腐措施来解决，如果采用两种或多种防腐措施联合保护，则效果更佳。例如，涂料或缓蚀剂与电化学保护联合防腐往往比单一的防护方法更经济、更有效。因此，对于一个具体的腐蚀体系，要根据腐蚀原因、环境条件、各种防护措施的保护效果、施工的难易程度，以及经济效益等综合考虑，去选择方案，不能一概而论。

1.2 金属的电化学腐蚀

除个别贵金属如金(Au)、铂(Pt)外，在自然环境和许多介质中，绝大多数金属都具有腐蚀倾向。讨论腐蚀基本过程的目的在于阐明腐蚀机理。只有了解相关的腐蚀机理，才能合理地去选用一种腐蚀检测方法和有效地去寻找控制腐蚀的途径。

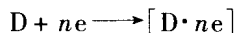
1.2.1 电化学腐蚀的阴、阳极过程

金属发生电化学腐蚀的根本原因是介质中存在着可使金属氧化的物质，它和金属构成了热力学不稳定体系。在电化学腐蚀过程中存在着阴、阳极反应，它们既是相对独立又是相互依存的电极过程，缺一不可。如果没有接受电子的阴极还原过程，阳极反应也就不会发生，金属就不会腐蚀。

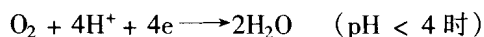
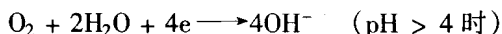
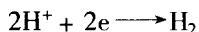
阳极反应主要是金属的氧化过程，金属成为离子进入溶液。



阴极反应是溶液中氧化性物质 D 接受电子的还原过程。



在溶液中能和电子结合的氧化性物质 D 是较多的，但多数情况下是溶液中的氢离子和氧。其反应形式为



许多黑色金属和有色金属以及它们的合金在酸性溶液中的腐蚀，都是以 H^+ 的还原反应作为阴极过程而进行。这类腐蚀又称析氢腐蚀。大多数金属和合金在中性溶液和在碱性溶液中的腐蚀，以及在淡水、海水、大气和土壤中的腐蚀，都是以氧的还原反应作为阴极过程而进行的。这类腐蚀又叫吸氧腐蚀。

对于均一的纯金属来说，腐蚀的阳极过程和阴极过程主要在整个均匀的金属表面上进行，没有明显的阴极区域和阳极区域之分，此时金属的腐蚀速度除与阳极反应过程的特点有