



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

常用金属材料的 耐腐蚀性能

蔡元兴 刘科高 郭晓斐 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

常用金属材料的耐腐蚀性能

蔡元兴 刘科高 郭晓斐 编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2012

内 容 提 要

本书主要介绍了金属腐蚀的环境影响因素、金属耐蚀合金化原理和各种金属及其合金的耐蚀性以及金属腐蚀控制的主要方法措施。在各种金属及其合金的耐蚀性中主要讲述了铸铁、碳钢、不锈钢、镍基合金、耐热钢和耐热合金、铝及其合金、铜及其合金、镁及其合金、钛及其合金、锌及其合金、非晶态合金和纳米晶金属的耐蚀性以及在不同情况下的耐蚀特点。

本书既可以作为大中专院校相关专业的教材或教材参考书,又可供金属材料等相关研究所、企业的工程技术人员、管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

常用金属材料的耐腐蚀性能/蔡元兴,刘科高,郭晓斐编著.
—北京:冶金工业出版社,2012.3
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5024-5826-3

I. ①常… II. ①蔡… ②刘… ③郭… III. ①金属材料—
耐蚀性—高等学校—教材 IV. ①TG113.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 008071 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 李 梅 李 臻 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5826-3

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销

2012 年 3 月第 1 版,2012 年 3 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;13.5 印张;326 千字;203 页

29.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

随着现代工业的建立和蓬勃发展,金属材料作为主要结构材料得到大量而广泛的应用,但同时金属材料的腐蚀问题非常普遍,因此,金属材料的耐蚀性研究成为热点问题。国内涉及金属腐蚀方面的书籍大多侧重于讲述金属腐蚀的原理,对于各种金属的耐蚀性不作为重点内容;而讲述金属材料的书籍大多侧重于讲述金属的金相组织和性能,而不偏重金属的耐蚀性方面的知识。

为了满足高等院校相关专业本、专科教学的需要及金属材料使用领域的要求,我们编写了《常用金属材料的耐腐蚀性能》一书。本书侧重从应用方面讲授各种金属的耐蚀性的特点。对于金属材料及相关专业的同学来说,可以对常用金属材料的耐蚀性知识有基本的了解和掌握,对于今后工作有一定的指导作用。对于从事金属材料应用的技术人员来说,也可以作为金属材料使用知识的参考书。

在编写过程中,我们力求遵循认知规律,注意内容的连续性和逻辑性。希望本书可以对广大相关研究人员、企业工程技术人员、管理人员等有所裨益。

山东建筑大学蔡元兴担任本书主编工作,并负责编写第1章、第2章、第3章、第6章、第7章、第8章、第9章、第11章和第12章,刘科高编写第4章、第5章、第10章和第13章,郭晓斐编写第14章,山东建筑大学的许斌教授认真审阅了本教材,并提出许多宝贵意见。

在本书编写的过程中,参考了国内外专家和同行们的大量著作、研究成果和文献,借鉴了一些企业的工艺资料,在此表示感谢。

由于编者水平所限,疏漏及不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2011年11月

目 录

1 绪论	1
1.1 材料腐蚀的基本概念	1
1.1.1 腐蚀的定义	1
1.1.2 金属腐蚀的定义	1
1.2 腐蚀的危害与腐蚀控制的重要性	2
1.2.1 腐蚀的危害	2
1.2.2 腐蚀控制及其重要性	4
1.3 腐蚀与防护科学的研究发展	5
1.4 材料腐蚀的分类	6
1.4.1 按腐蚀环境分类	7
1.4.2 按腐蚀机理分类	7
1.4.3 按腐蚀形态分类	8
1.5 材料腐蚀程度的评定方法	9
1.5.1 均匀腐蚀程度的评定方法	9
1.5.2 局部腐蚀程度的评定方法	10
1.6 腐蚀与防护科学的任务	11
1.6.1 金属腐蚀与防护学科的研究内容	11
1.6.2 普及腐蚀科学知识的重要性	11
2 腐蚀环境	12
2.1 水	12
2.1.1 水中阴极过程的种类	12
2.1.2 淡水	12
2.1.3 海水	13
2.2 土壤腐蚀	17
2.2.1 土壤的构成	17
2.2.2 土壤的特性	18
2.2.3 土壤中的腐蚀机理和特点	18
2.2.4 影响土壤腐蚀的因素	19
2.2.5 土壤中常见的腐蚀形式	20
2.2.6 防止土壤腐蚀的措施	21
2.3 大气腐蚀	21

2.3.1	大气腐蚀的类型和特征	21
2.3.2	大气环境腐蚀性分类	22
2.3.3	大气腐蚀的影响因素	24
2.3.4	防止大气腐蚀的方法	25
2.4	微生物腐蚀	26
2.4.1	定义	26
2.4.2	微生物腐蚀的特征	27
2.4.3	与腐蚀有关的微生物	27
2.4.4	微生物腐蚀的控制措施	28
3	金属耐蚀合金化原理	29
3.1	影响纯金属耐蚀性的因素	29
3.1.1	金属本身的热力学稳定性	29
3.1.2	金属由活化态转为钝态的能力	29
3.1.3	腐蚀产物的性质	30
3.1.4	杂质的影响	30
3.2	合金化提高金属耐蚀性的作用机理和途径	30
3.2.1	金属耐蚀合金化机理	30
3.2.2	利用合金化提高金属耐蚀性的途径	32
3.3	组织结构不均匀对金属材料耐蚀性能的影响	34
3.3.1	电化学不均一性	34
3.3.2	合金组织不均匀性对金属材料耐蚀性的影响	35
4	铸铁的腐蚀性能	36
4.1	概述	36
4.1.1	铸铁的分类	36
4.1.2	铸铁腐蚀的基本原理	36
4.1.3	提高铸铁耐蚀性的理想组织	36
4.2	铁锈的形成	37
4.2.1	铁的锈层结构及形成过程	37
4.2.2	铁的腐蚀产物的性质	37
4.3	铸铁中合金元素对耐蚀性的影响	37
4.3.1	合金元素提高铸铁耐蚀性的作用	38
4.3.2	铸铁中主要合金元素的作用	38
4.4	常用铸铁的耐蚀性与耐热性	39
4.4.1	普通铸铁	39
4.4.2	高硅铸铁	41
4.4.3	镍铸铁	41
4.4.4	铬铸铁	42

4.4.5 铝铸铁	42
4.4.6 其他耐蚀铸铁	42
5 碳钢与低合金钢的耐蚀性	44
5.1 概述	44
5.2 碳钢的腐蚀特性	45
5.2.1 化学成分对腐蚀的影响	46
5.2.2 夹杂物对腐蚀的影响	46
5.2.3 钢的组织对腐蚀的影响	47
5.2.4 冷加工和焊接对腐蚀的影响	47
5.2.5 碳钢在普通环境中的腐蚀倾向	48
5.3 耐蚀低合金钢	48
5.3.1 耐大气腐蚀的低合金钢	48
5.3.2 耐硫酸露点腐蚀低合金钢	51
5.3.3 耐海水腐蚀低合金钢	52
5.3.4 抗氢、氮、氨用低合金钢	53
5.3.5 耐硫化物腐蚀用钢	55
6 不锈钢的耐蚀性	61
6.1 概述	61
6.1.1 不锈钢的定义与分类	61
6.1.2 不锈钢的耐蚀机理	61
6.1.3 不锈钢的发展动向	62
6.2 马氏体不锈钢的耐蚀性	63
6.2.1 马氏体不锈钢的特征	63
6.2.2 马氏体不锈钢的用途	63
6.2.3 马氏体不锈钢的耐蚀性	63
6.2.4 提高耐蚀性的途径	66
6.3 铁素体不锈钢的耐蚀性	66
6.3.1 普通铁素体不锈钢	66
6.3.2 高纯铁素体不锈钢	67
6.3.3 普通铁素体不锈钢的耐蚀性能	67
6.4 奥氏体不锈钢的耐蚀性	71
6.4.1 奥氏体不锈钢的特点	71
6.4.2 奥氏体不锈钢的合金化原理	71
6.4.3 奥氏体不锈钢的耐腐蚀性能	71
6.4.4 奥氏体不锈钢的晶间腐蚀	72
6.4.5 奥氏体不锈钢的点蚀和缝隙腐蚀	73
6.4.6 奥氏体不锈钢的应力腐蚀	73

6.5 奥氏体-铁素体双相不锈钢的耐蚀性	74
6.5.1 奥氏体-铁素体双相不锈钢的特点	74
6.5.2 奥氏体-铁素体双相不锈钢的成分和组织	75
6.5.3 双相不锈钢的耐蚀性	75
6.5.4 双相不锈钢的主要应用	75
6.6 镍基和铁镍基耐蚀合金	76
6.6.1 镍基耐蚀合金的发展	76
6.6.2 镍的耐蚀特点	77
6.6.3 镍基耐蚀合金的种类	78
6.6.4 铁-镍基耐蚀合金	79
7 耐热钢和耐热合金	80
7.1 概述	80
7.1.1 耐热钢的分类及特点	80
7.1.2 合金元素的作用	81
7.1.3 耐热合金的分类及特点	82
7.2 耐热钢与耐热合金的主要性能	84
7.2.1 高温蠕变	84
7.2.2 应力松弛	84
7.2.3 组织的稳定性	85
7.2.4 机械疲劳	85
7.2.5 热疲劳	86
7.3 金属材料高温强化机制	87
7.3.1 固溶强化	87
7.3.2 晶界强化	88
7.3.3 沉淀强化	89
7.3.4 氧化物弥散强化	90
7.3.5 复合强化	91
7.4 金属材料高温氧化与热腐蚀行为	91
7.4.1 高温氧化	91
7.4.2 热腐蚀	94
7.5 其他高温合金	96
7.5.1 定向凝固高温合金	96
7.5.2 粉末高温合金	96
7.6 金属间化合物	97
7.6.1 概述	97
7.6.2 金属间化合物的强度	98
7.6.3 金属间化合物的塑韧性	98
7.6.4 抗氧化性能	98

7.6.5 几种金属间化合物材料	98
7.7 耐热钢和高温合金的应用	100
7.7.1 在航空发动机上的应用	100
7.7.2 在航天火箭发动机上的应用	100
7.7.3 在汽车工业中的应用	101
7.7.4 在原子能工业中的应用	101
7.7.5 在水泥和搪瓷工业中的应用	102
7.7.6 在玻璃工业中的应用	102
7.7.7 在冶金工业中的应用	102
7.7.8 在电力工业中的应用	102
8 铝及铝合金的耐蚀性	104
8.1 概述	104
8.1.1 纯铝的物理性质	104
8.1.2 纯铝及铝合金的力学性能	104
8.1.3 纯铝及铝合金的工艺性能	104
8.2 纯铝的耐蚀性	105
8.2.1 电化学特性	105
8.2.2 氧化膜的特点	105
8.2.3 氧化膜的结构	105
8.2.4 纯铝在不同介质中的腐蚀行为	105
8.2.5 铝在几种典型的介质中的腐蚀速度	106
8.3 铝合金常见的几种腐蚀破坏形式	106
8.3.1 点蚀	106
8.3.2 晶间腐蚀	107
8.3.3 应力腐蚀开裂	107
8.3.4 铝合金的剥蚀	108
8.4 铝合金的耐蚀性	108
8.4.1 铝-锰合金	108
8.4.2 铝-镁合金	109
8.4.3 铝-铜系合金	109
8.4.4 铝-锌-镁-铜合金	110
8.4.5 铝合金在各种环境中的耐蚀性	110
9 铜及铜合金的耐蚀性	113
9.1 概述	113
9.1.1 纯铜的物理化学性质	113
9.1.2 铜合金的分类	113
9.2 纯铜的耐蚀性	114

9.2.1 纯铜的电化学特性	114
9.2.2 纯铜的耐蚀性	114
9.3 铜合金的耐蚀性	115
9.3.1 黄铜的耐蚀性	115
9.3.2 青铜的耐蚀性	117
9.3.3 白铜的耐蚀性	118
9.3.4 装饰铜合金的耐蚀性	118
10 镁及镁合金的耐蚀性	119
10.1 镁的腐蚀电化学	119
10.1.1 纯镁的耐蚀性	119
10.1.2 镁腐蚀基本现象	120
10.2 镁合金的耐蚀性	123
10.2.1 腐蚀特点	124
10.2.2 镁合金腐蚀的影响因素	127
10.2.3 镁合金的腐蚀防护方法	131
11 钛及钛合金的耐蚀性	134
11.1 概述	134
11.1.1 钛的力学性能特点	135
11.1.2 钛的加工工艺性	135
11.2 纯钛的耐蚀性	135
11.2.1 钛的电化学特性	135
11.2.2 钛的钝化和表面氧化膜	135
11.2.3 钛在常用介质中的耐蚀性	136
11.2.4 钛的腐蚀形式	136
11.3 钛合金的耐蚀性	138
11.3.1 钛合金相分类	139
11.3.2 钛合金元素的作用	139
11.3.3 钛合金的热处理	140
11.3.4 钛-钡合金	140
11.3.5 钛-镍-钼合金	141
11.3.6 钛合金的耐蚀性	141
12 锌和锌合金的耐蚀性	145
12.1 锌的耐蚀性	145
12.1.1 锌的电化学特性	145
12.1.2 锌的钝化膜	145
12.1.3 锌的耐蚀性	147

12.2 锌的腐蚀类型	148
12.2.1 电偶腐蚀	149
12.2.2 极性逆转	150
12.2.3 点蚀	152
12.2.4 晶间腐蚀	153
12.2.5 潮湿贮存锈斑	154
12.2.6 氢脆和应力腐蚀破裂	155
12.3 锌合金的耐蚀性	155
12.3.1 锌合金中各元素的作用	155
12.3.2 锌合金主要的腐蚀形式	156
13 非晶态合金和纳米晶金属的耐蚀性	157
13.1 非晶态合金的结构	157
13.1.1 非晶态合金的结构特点	157
13.1.2 非晶态合金的结构缺陷	158
13.2 非晶态合金的形成和制备方法	158
13.2.1 非晶态合金形成的热力学与动力学	158
13.2.2 非晶态合金的制备方法	159
13.3 非晶态合金的耐腐蚀性	160
13.3.1 非晶态合金与晶态合金耐蚀性的差异	160
13.3.2 合金组成对耐蚀性的影响	162
13.3.3 非晶态合金的局部腐蚀	163
13.3.4 非晶态合金的氢致脆化	163
13.4 纳米晶金属材料的耐腐蚀性能	165
13.4.1 纳米粉末	165
13.4.2 纳米薄膜	165
13.4.3 纳米块体	166
14 腐蚀控制方法及其选择	167
14.1 正确选用材料及合理设计结构和加工工艺	167
14.1.1 正确选用材料	167
14.1.2 结构设计中的腐蚀控制	168
14.1.3 实施合理的工艺设计	169
14.2 腐蚀环境处理与缓蚀剂的应用	170
14.2.1 腐蚀环境的处理	170
14.2.2 缓蚀剂的类型	171
14.2.3 缓蚀剂的作用机理	174
14.2.4 缓蚀剂的选择和应用	177
14.3 电化学保护	179

14.3.1	阴极保护	179
14.3.2	阳极保护	186
14.3.3	阴极保护和阳极保护的比较与选择	189
14.4	表面涂镀层与改性技术	191
14.4.1	金属覆盖层	192
14.4.2	非金属覆盖层	195
14.4.3	表面机械形变强化处理	198
14.5	腐蚀控制方法的选择原则	201
参考文献		203

1 绪 论

1.1 材料腐蚀的基本概念

1.1.1 腐蚀的定义

材料是现代科学技术和当代文明的重要支柱，一个国家科学技术的发展离不开材料科学发展的支持。材料的使用离不开环境，材料的腐蚀与防护科学就是研究材料在其周围环境作用下的破坏、变质行为及其控制的一门学科。

随着现代科学技术的发展，非金属材料、复合材料在各工业部门中的使用量愈来愈大，这些材料因环境造成的破坏和变质及其控制问题也越来越受到重视。因此，腐蚀与防护科学已从过去以金属材料为主要研究对象，转变为以金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料等各类材料为研究对象。腐蚀的英文名称起源于拉丁文“corrodere”，其含义是损坏或腐烂。随着人们对腐蚀认识的深入和研究范围的扩大，腐蚀的定义也在不断变化。早期对腐蚀的定义是针对金属材料的。例如，英国人艾文思（U. R. Evans）给出如下的定义：金属腐蚀是金属从元素态转变为化合态的化学变化及电化学变化。美国人方坦纳（M. G. Fantana）则认为腐蚀可以从以下几个方面定义：（1）由于材料与环境及应力作用而引起的材料的破坏和变质；（2）除了机械破坏以外的材料的一切破坏；（3）冶金的过程等。前两种定义既包含了金属材料，也包含了非金属材料；而后一种定义则是针对金属材料的，同时说明腐蚀过程在热力学上是自发进行的。

近年来，由于腐蚀的研究范围不断扩大，有人将腐蚀的定义拓展为“材料的腐蚀是材料与环境介质发生化学、电化学和/或物理作用而被破坏的现象”。该定义不仅涵盖了金属材料的化学和电化学原因造成的腐蚀破坏，而且包含了液态金属等导致的金属材料的物理破坏。同时，该定义还包括了非金属材料的腐蚀，如耐火砖或陶瓷、玻璃材料受熔化金属、熔融盐等介质的腐蚀，由水分子引起的石英或硅酸盐材料的破坏或变质，高分子材料的辐照分解等。

因此，目前普遍为人接受的材料腐蚀定义是“材料腐蚀是材料与环境介质发生化学作用、电化学作用和/或物理作用而引起的变质和破坏的现象”。由于液态金属导致材料破坏与化学或电化学造成的金属材料的腐蚀有很多相近的特点，因此，这类破坏现象通常也被纳入腐蚀学科的研究范围。

1.1.2 金属腐蚀的定义

金属材料在人类社会文明发展史上占有极为重要的地位，人们最为熟悉的腐蚀现象就是金属材料的腐蚀。

金属材料的腐蚀是指金属与所处周围环境（介质）之间发生化学或电化学反应而引起的破坏或变质。其中也包括上述因素与机械因素或生物因素的共同作用。某些物理作用（例如金属在某些液态金属中的物理溶解现象）也可以归入金属腐蚀范畴。

金属的腐蚀是工程材料中的一种最主要的腐蚀破坏形式，是腐蚀科学的主要研究内容。金属的腐蚀主要是电化学腐蚀，也包括化学和物理腐蚀。

由于金属和合金遭受腐蚀后又回复到了矿石的化合物状态，所以金属腐蚀也可以说是“冶金的过程”。

“生锈”特指钢铁和铁基合金的腐蚀产物。它是在氧和水的作用下形成的主要由含水氧化铁组成的腐蚀产物——铁锈。有色金属及其合金可以发生腐蚀，但不“生锈”，而是形成其他产物。如铜和铜合金会生成“铜绿” $[\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2]$ ，锌表面生成 $\text{Zn}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ 等。

1.2 腐蚀的危害与腐蚀控制的重要性

1.2.1 腐蚀的危害

腐蚀问题遍及国民经济和国防建设的各个部门，腐蚀在现代工业中是一种极重要的破坏因素，它给人类带来巨大的经济损失和社会危害，主要包括以下几个方面。

1.2.1.1 直接经济损失

直接经济损失是指由于腐蚀的存在而导致总费用的增加。腐蚀造成的直接经济损失包括几个方面：（1）资本费用，具体包括更换设备费及建筑费、富裕容量费、多余的备用设备费；（2）控制费用，包括维修费、腐蚀控制费；（3）设计费用，包括建筑材料、腐蚀容差、特殊工艺的费用；（4）相关费用，包括损失、技术支持、保险、零件及设备存货的费用。例如更换已腐蚀的设备部件等所耗用的金属材料和非金属材料及制造费，防腐蚀所需要的材料费和施工维修费，以及涂漆、阴极保护、添加缓蚀剂、用耐蚀合金代替普通合金、仓库干燥脱湿等防腐费用。

腐蚀造成的直接经济损失可以统计出具体数字。据发达国家统计，每年由腐蚀造成的直接经济损失约占国民经济总产值的1%~6%，超过了每年因水灾、火灾、风灾和地震造成的损失总和（100多亿美元）。据权威部门统计，我国每年因腐蚀造成的损失高达5000多亿元，相当于国民生产总值的4%，仅在石油和化学工业造成的损失就达800多亿元。据统计，全世界每年由于腐蚀而报废的金属设备和材料相当于金属年产量的10%~40%，其中2/3可再生，而1/3的金属材料被腐蚀后无法回收。从表1-1可以看出发展中国家与发达国家由腐蚀造成的损失都相当大。

表 1-1 部分国家腐蚀损失统计

国 别	统计年份	直接损失	占国民生产总值的比例/%	损失可能减少的部分所占比例/%
美 国	1975	825 亿美元	4.9	15
	1984	1680 亿美元		
	1989	2000 亿美元	4.2	
	1995	3000 亿美元	4.2	
	1998	2757 亿美元		

续表 1-1

国 别	统计年份	直接损失	占国民生产总值的比例/%	损失可能减少的部分所占比例/%
英 国	1985	100 亿英镑	3.5	23
德 国	1982	450 亿德国马克	3.0	25
瑞 典	1986	350 亿瑞士克朗		20
意大利	1989	480000 亿里拉	6.0	30
苏 联	1969	67 亿美元	2	
日 本	1976	92 亿美元	1.8	
	1997	52580 亿日元	1.02	
印 度	1985	400 亿印度卢比		40
中 国	2000	2888 亿人民币	2.4	
	2008	1.2 万亿人民币		

1.2.1.2 间接经济损失

间接经济损失不易计算,难以估计,造成的间接经济损失主要有突然停车、物料损失、产品污染、效率降低、过剩设计等。

间接损失远比直接损失要大。如锅炉厂一根换热管只值几百元,但是若由于腐蚀穿孔引起爆炸,进而导致大面积停电、停工,损失则是无法估量的。

1.2.1.3 社会危害

由于腐蚀增加了工业废水、废渣的排放和处理难度,增多了直接进入大气、土壤、江河及海洋的有害物质,因此造成了自然环境的污染,破坏了生态平衡,危害了人民健康,妨碍了国民经济的可持续发展。

因腐蚀造成设备损坏有可能给人身安全带来严重威胁。例如,由于关键部件突然发生腐蚀断裂而引起飞机、火车、轮船失事以及化工设备破损起火爆炸等。

1967 年 12 月,位于美国西弗吉尼亚州和俄亥俄州之间的俄亥俄桥突然塌入河中,死亡 46 人。事后检查发现其坍塌是由于钢梁中存在因为应力腐蚀破裂和腐蚀疲劳而产生的裂缝。

华北油田岔北联合站从 1995 年开始,站内埋地伴热管线出现大范围腐蚀穿孔,有两处原油输油管线腐蚀穿孔,原油泄漏,造成附近土壤污染,经济损失达数十万元。

1985 年 8 月 12 日,日本一架波音 747 客机由于发生应力腐蚀破裂而坠毁,一次死亡 500 多人。

英国内普罗石油化工公司环己烷氧化装置的旁通管发生硝酸盐应力腐蚀破裂,引起环己烷蒸气管爆炸,死亡 28 人,损失达 1 亿美元。

1.2.1.4 阻碍科学技术的发展

腐蚀给国民经济带来极大损失和危害,因此引起了各行各业高度重视。腐蚀问题直接影响新技术、新材料、新工艺的实现。尤其在现代高温、高压和复杂介质条件下,腐蚀问题解决不好,将无法生产。搞好防腐蚀工作,对促进新技术的发展、节省钢材、延长设备使用寿命、节省资金、减少环境污染有重大意义。

1.2.1.5 资源和能源的浪费

腐蚀实际是对自然资源的极大浪费。统计表明,每年全球因为设备和工程结构腐蚀而

报废的金属约占金属年产量的 30%，这样全世界每年就有上亿吨的金属因腐蚀而损耗掉了，我国每年报废的钢铁量就相当于上海宝钢的年产量。腐蚀不仅浪费了材料资源，而且也耗费了生产材料时所需的能源和水源等。

1.2.2 腐蚀控制及其重要性

腐蚀造成的危害极大，不仅带来巨大的经济损失，而且给人类赖以生存的环境造成严重的污染，造成能源的严重损耗，与当今全球倡导的可持续发展的战略相抵触。因此，学习和研究腐蚀的基本原理，减缓和控制腐蚀破坏的发生，不仅有显著的经济效益，而且有巨大的社会效益，同时对促进新技术、新工艺的发展也是必不可少的。实际上，人类经过与腐蚀现象的长期斗争，通过对腐蚀行为、机理和规律较为广泛、深入的研究，已经建立了一定的基础理论，并借助相关科学技术的发展，探索出一系列行之有效的腐蚀控制方法，并已成功用于材料和工程设备的腐蚀防护。

腐蚀现象不仅仅是材料自身的问题，它涉及设计、选材、制造、储存、运输、安装、运行、维护、维修和管理等诸多环节。因此，要真正达到有效的腐蚀控制，必须将腐蚀工程与科学管理相结合，通过上述各个环节系统地、综合地控制腐蚀。

从系统工程上控制腐蚀，不仅要考虑技术的可行性，而且要注意技术的经济性（见图 1-1）和防护方案实施的社会效益。由图 1-1 可以看出，一味追求腐蚀控制的有效性，从经济上讲可能是得不偿失的。因此盲目地在任何情况下都杜绝腐蚀的发生，不仅不现实（因为腐蚀是自发过程），而且没有必要。合理地控制腐蚀或减缓腐蚀比根除腐蚀更科学。当然，当腐蚀可能造成严重的人员伤亡或构成较大的社会影响时，经济上的考虑还需服从社会效益。

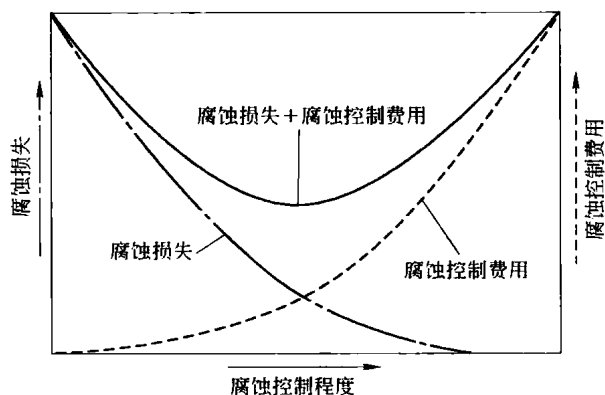


图 1-1 腐蚀控制策略图

实践表明，如果能充分利用现有的防腐蚀技术，实施严格的科学管理，就可以使腐蚀损失降低 15% ~ 40%（见表 1-1）。现有的腐蚀控制技术虽然取得了明显的效果，但就目前来看，仍有 50% 以上的腐蚀损失尚无行之有效的腐蚀控制方法来加以避免。同时，随着科学技术的进步和社会的发展，原有的腐蚀问题不断得到解决，但新的腐蚀问题也在不断涌现，因此需要不断加强腐蚀科学的基础理论和防护工程应用技术的研究。

1.3 腐蚀与防护科学的研究发展

人类大约在使用材料的同时就开始了对于腐蚀和腐蚀控制技术的观察和研究。人类有效地利用金属的历史就是与金属腐蚀做斗争的历史。

我们的祖先对腐蚀科学作出了卓越的贡献。春秋战国时期的武器,秦始皇时代的青铜剑和大量箭镞,有的至今毫无锈蚀。经鉴定,青铜箭镞表面有一层致密的黑色氧化层(有的表面甚至含铬高达2%),这些表面保护层具有良好的防腐作用,这是中国文明史上的一个奇迹。闻名世界的中国真漆早在3000年前的商朝就已得到广泛应用。越王勾践的青铜宝剑穿越了2000多年的历史长河,但剑身丝毫不见锈斑。

尽管对腐蚀及其控制认识的历史悠久,但都是属于经验性的。材料的腐蚀科学与防护技术实际上是一个涉及多门学科的综合边缘学科,它的理论和实践与金属学、冶金学、材料学、化学、电化学、物理学、工程力学、断裂力学、流体力学、化学工程学、微生物学、表面科学、表面工程学、电学等密切相关。因此,作为独立学科的腐蚀与防护学科是随着各相关学科的发展逐步完善的。

腐蚀科学与防护技术作为一门独立的学科则是在20世纪20~30年代发展起来的。1911年,Eden等首次观察到微动腐蚀现象。1927年,Tomlinson通过研究首次提出了微动腐蚀的机理模型。1920~1923年,Tammann、Piilling与Bedworth通过研究金属Ag、Fe、Pb、Ni等的氧化规律,提出了氧化动力学的抛物线定律和氧化膜完整性的判据;Moore的研究认为黄铜季裂是黄铜在含氨环境中发生晶间型应力腐蚀。1926年,McAdam开始着手研究腐蚀疲劳。1929年,Evans建立了腐蚀金属极化图,并推动了腐蚀电化学本质的定量化研究。1932年,艾文思(U. R. Evans)和霍尔(T. P. Hoar)用实验证明了金属表面存在着腐蚀电池,金属失重与电流量直接有关。1933年,Wagner从理论上推导出了金属高温氧化膜生长的经典抛物线理论。1938年,瓦格纳(C. Wagner)和屈拉德(W. Traud)对同一金属表面发生一对以上共轭反应的情况提出了混合电位的概念,建立了电化学腐蚀的混合电位理论,奠定了近代腐蚀科学与工程的动力学基础。同年,Pourbaix计算和绘制了电位-pH值图,奠定了近代腐蚀科学的热力学理论框架。1947年,Brenner和Riddell提出了化学镀镍技术。1950年,Unilig提出了点蚀的自催化机理模型。1957年,Stern和Geary提出了线性极化技术。1968年,Iverson观察到了腐蚀的电化学噪声信号图像。20世纪60年代,Brown首先将断裂力学引入到应力腐蚀的研究中。1970年,Epelboin首次用电化学阻抗谱研究腐蚀过程。

从20世纪中下叶至今的近几十年里,腐蚀科学和防护技术得到了迅速的发展。国际学术交流日益活跃;局部腐蚀和应力作用下的腐蚀行为及其控制的研究备受重视,其对石油化工、海洋工程、航空航天、国防建设等部门有重要影响;腐蚀学科吸引了许许多多相关学科中的著名科学家和工程师转入从事腐蚀领域的研究工作,使腐蚀学科的研究队伍日益壮大;腐蚀科学的应用学科——腐蚀工程学和防腐蚀系统工程学形成。在这一时期内先进的表面分析仪器和技术在腐蚀研究中得到了应用,如俄歇电子谱(AES)、X光电子能谱(XPS)、次离子质谱(SIMS)、扫描电子显微镜(SEM)、透射电子显微镜(TEM)、原子力显微镜(AFM)、电化学交流阻抗谱(EIS)等,进一步揭示了许多腐蚀过程的微