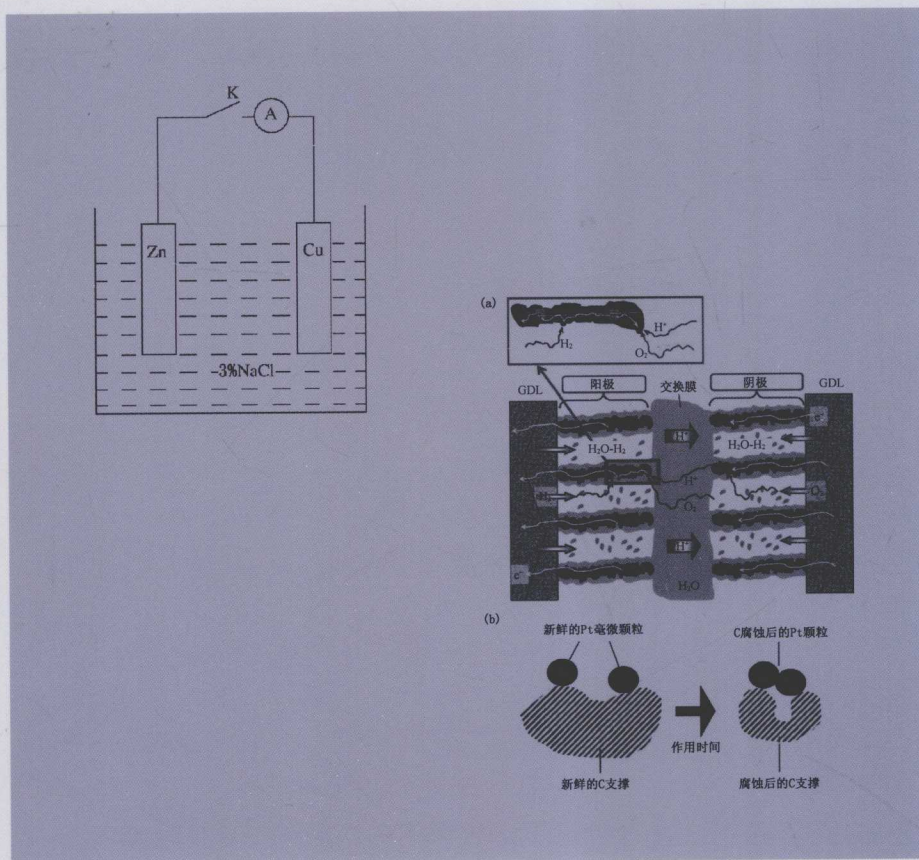


现代材料腐蚀与防护

Modern Materials Corrosion and Protection



主编 黄永昌 张建旗



上海交通大学出版社

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

材料科学与工程学科教材系列

现代材料腐蚀与防护

主编 黄永昌 张建旗

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书为“材料科学与工程学科教材”之一。本书内容较为广泛,系统地阐述了材料腐蚀的基本原理、腐蚀破坏的各种形式和防护技术,重点讨论了高科技领域中材料的腐蚀与防护问题。

本书既可作为材料科学与工程学科的教科书,又可供从事材料设计和研究的有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代材料腐蚀与防护/黄永昌,张建旗主编. —上海:
上海交通大学出版社,2012

材料科学与工程学科教材系列

ISBN 978-7-313-08277-0

I. ①现… II. ①黄…②张… III. ①工程材料-腐
蚀-高等学校-教材②工程材料-防腐-高等学校-教材
IV. ①TB304

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 059652 号

现代材料腐蚀与防护

黄永昌 张建旗 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

常熟市梅李印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:24.75 字数:608千字

2012年9月第1版 2012年9月第1次印刷

印数:1~2030

ISBN 978-7-313-08277-0/TB

定价:48.00元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话:0512-52661481

编委会名单

顾问委员会

- 主任：徐祖耀 上海交通大学
委员：周尧和 上海交通大学
潘健生 上海交通大学
吴人洁 上海交通大学
涂善东 华东理工大学
张立德 中科院固体物理所
姜茂发 东北大学
李春峰 哈尔滨工业大学

编委会

- 主任：林栋樑 上海交通大学
副主任：吴毅雄 上海交通大学
蔡 珣 上海交通大学
王 敏 上海交通大学
冯吉才 哈尔滨工业大学
赵升吨 西安交通大学

委员(按姓氏笔画为序)：

- 王 磊 东北大学
孔向阳 上海交通大学
李 强 上海交通大学
李建国 上海交通大学
陈世朴 上海交通大学
戎咏华 上海交通大学
金学军 上海交通大学
金朝晖 上海交通大学
钱苗根 上海交通大学
黄永昌 上海交通大学
张建旗 内蒙古科技大学
顾剑锋 上海交通大学
赵 震 上海交通大学
唐新华 上海交通大学

总 序

材料是当今社会物质文明进步的根本性支柱之一,是国民经济、国防及其他高新技术产业发展不可或缺的物质基础。材料科学与工程是关于材料成分、制备与加工、组织结构与性能,以及材料使用性能诸要素和他们之间相互关系的科学,是一门多学科交叉的综合性学科。材料科学的三大分支学科是材料物理与化学、材料学和材料加工工程。

材料科学与工程专业酝酿于 20 世纪 50 年代末,创建于 60 年代初,已历经半个世纪。半个世纪以来,材料的品种日益增多,不同效能的新材料不断涌现,原有材料的性能也更为改善与提高,力求满足多种使用要求。在材料科学发展过程中,为了改善材料的质量,提高其性能,扩大品种,研究开发新材料,必须加深对材料的认识,从理论上阐明其本质及规律,以物理、化学、力学、工程等领域学科为基础,应用现代材料科学理论和实验手段,从宏观现象到微观结构测试分析,从而使材料科学理论和实验手段迅速发展。

目前,我国从事材料科学研究的队伍规模占世界首位,论文数目居世界第一,专利数目居世界第一。虽然我国的材料科学发展迅速,但与发达国家相比,差距还较大:论文原创性成果不多,国际影响处于中等水平;对国家高技术和国民经济关键科学问题关注不够;对传统科学问题关注不够,对新的科学问题研究不深入等等。

在这一背景下,上海交通大学出版社组织召开了"材料学科学及工程学科研讨暨教材编写大会",历时两年组建编写队伍和评审委员会,希冀以"材料科学及工程学科"系列教材的出版带动专业教育紧跟科学发展和技术进步的形势。为保证此次编写能够体现我国科学发展水平及发展趋势,丛书编写、审阅人员汇集了全国重点高校众多知名专家、学者,其中不乏德高望重的院士、长江学者等。丛书不仅涵盖传统的材料科学与工程基础、材料热力学等基础课程教材,也包括材料强化、材料设计、材料结构表征等专业方向的教材,还包括适应现代材料科学研究需要的材料动力学、合金设计的电子理论和计算材料学等。

在参与本套教材的编写的上海交通大学材料科学与工程学院教师和其他兄弟院校的共同努力下,本套教材的出版,必将促进材料专业的教学改革和教材建设事业发展,对中青年教师的成长有所助益。

林栋樑

前 言

本书是为适应材料领域发展的新形势,在多年教学实践的基础上,经集体讨论编写而成的,既可以作为材料科学与工程学科的教科书,又可以供从事材料设计和研究的有关工程技术人员参考使用。

本书涉及的内容较为广泛、系统地阐述了材料(金属与非金属)腐蚀的基本原理、腐蚀破坏的各种形式和防护技术,重点讨论了高科技领域中材料的腐蚀与防护,对新材料在太空环境、核电环境、生物环境使用中出现的腐蚀问题给予关注。另外,在书中还引用了国内外制定的各类腐蚀的标准和试验方法,希望对读者有所帮助。

本书由上海交通大学黄永昌教授、内蒙古科技大学张建旗教授担任主编,第1章、第2章、第3章、第11章和第8章大部分内容由上海交通大学黄永昌教授编写,第5章、第6章和第10章大部分内容由内蒙古科技大学张建旗教授编写,第4章由中科院上海微系统与信息技术研究所(原上海冶金所)黄元伟研究员编写,第9章和第10章部分内容由华东理工大学潘洪良教授编写,第7章和第10章部分内容由上海材料研究所李光福教授级高工编写。上海交通大学黄永昌教授对全书进行了组稿、修改和统编。

上海材料研究所杨武研究员对全书进行了认真审阅,并提出许多宝贵意见,上海交通大学张少宗副教授根据多年教学经验编写了各章的思考题,上海交通大学出版社余志洪副编审,崔霞硕士对本书出版给予了大量的帮助和支持,在此谨表谢意。

由于作者水平有限,书中的缺点和错误,希望读者提出批评、指正。

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.1.1 腐蚀的严重性和代价	1
1.1.2 腐蚀与防护的目的	2
1.2 定义	3
1.2.1 腐蚀	3
1.2.2 腐蚀学	3
1.3 腐蚀的分类及其破坏形式	4
1.3.1 材料腐蚀的分类	4
1.3.2 电化学腐蚀	5
1.3.3 化学腐蚀	6
1.3.4 金属腐蚀的破坏形式	7
1.4 金属腐蚀程度的表示方法	9
1.4.1 金属腐蚀速率的表示方法	9
1.4.2 金属和合金耐蚀性评价标准	10
1.5 金属腐蚀的防护	11
1.5.1 隔离控制法	11
1.5.2 热力学控制法	12
1.5.3 动力学控制法	12
1.6 发展与展望	13
参考文献	15
第 2 章 材料腐蚀过程热力学	17
2.1 腐蚀过程的热力学判据	17
2.2 电极电位	17
2.2.1 双电层结构与电极电位	17
2.2.2 平衡电极电位与能斯特方程式	19
2.2.3 标准电极电位与电动序	20
2.2.4 金属在水溶液中的热力学稳定性	21
2.3 水溶液中电化学平衡的电位-pH 图	22
2.3.1 $H_2O-H_2-O_2-H^+-OH^-$ 体系的 $E-pH$ 图	22

2.3.2 金属—H ₂ O系的 E—pH图	23
2.3.3 E-pH图在金属腐蚀领域中的应用	28
2.4 腐蚀电池的构成与分类	29
2.4.1 腐蚀电池的构成	29
2.4.2 腐蚀电池的类型	32
2.5 腐蚀电池的电极过程	36
2.5.1 阳极过程	36
2.5.2 阴极过程	38
参考文献	39
第3章 腐蚀反应动力学	40
3.1 腐蚀电位与腐蚀极化图	40
3.1.1 腐蚀电位	40
3.1.2 极化作用与腐蚀极化图	42
3.2 腐蚀金属电极的极化曲线	46
3.2.1 双电极体系腐蚀金属电极的极化曲线	46
3.2.2 多电极体系腐蚀金属电极的极化曲线	48
3.3 活化极化控制的腐蚀过程	51
3.3.1 电化学极化方程式	51
3.3.2 氢去极化腐蚀	55
3.4 浓差极化控制的腐蚀过程	59
3.4.1 稳态扩散方程式	59
3.4.2 氧去极化腐蚀	62
参考文献	67
第4章 金属与合金的氧化与热腐蚀	69
4.1 引言	69
4.2 高温氧化	69
4.2.1 金属氧化反应热力学	69
4.2.2 氧化物标准生成自由能—温度图的绘制与应用	70
4.2.3 金属氧化动力学与机理	73
4.2.4 合金的氧化	79
4.2.5 氧化膜及其基本性质	83
4.3 高温硫化	89
4.3.1 金属硫化物的主要物理化学性质和金属硫化与氧化的比较	90
4.3.2 金属与硫的反应热力学	91
4.3.3 金属与混合气体反应热力学	93
4.3.4 混合气体氧化腐蚀动力学	95
4.3.5 金属合金在气体气氛中的腐蚀	96

4.4 高温热腐蚀	101
4.4.1 热腐蚀熔盐的形成与沉积及其腐蚀特征	101
4.4.2 金属氧化物与熔盐的反应热力学	102
4.4.3 金属与合金的热腐蚀机理	105
4.4.4 低温热腐蚀	107
4.5 高温合金材料	108
4.5.1 合金的强化、抗高温原理和高温合金材料的分类	108
4.5.2 镍基高温合金	115
4.5.3 钴基高温合金	122
4.5.4 铁基高温合金	126
4.5.5 其他高温材料	127
4.6 高温涂层	132
4.6.1 扩散型涂层	132
4.6.2 包覆型涂层	134
4.6.3 热障涂层	135
4.6.4 功能梯度涂层	137
参考文献	139
第5章 金属材料的全面腐蚀与钝化	141
5.1 引言	141
5.2 全面电化学腐蚀	141
5.2.1 全面腐蚀的特征	141
5.2.2 全面腐蚀速率的测量	142
5.3 钝化	149
5.3.1 金属钝化与钝化膜	149
5.3.2 活化-钝化腐蚀行为	152
5.3.3 钝化的判断与测量	156
5.3.4 影响钝化的因素	158
5.3.5 钝化膜的性能	161
参考文献	166
第6章 金属材料的局部腐蚀	168
6.1 引言	168
6.1.1 微腐蚀电池-电化学不均匀性	168
6.1.2 材料的不均匀性	169
6.1.3 环境的不均匀性	172
6.2 电偶与浓差腐蚀	174
6.2.1 电偶对和电偶序	174
6.2.2 电偶腐蚀的影响因素	176

6.2.3	电偶腐蚀速率的确定和评估	177
6.2.4	浓差电池	178
6.3	点腐蚀	179
6.3.1	点腐蚀机理	180
6.3.2	点腐蚀的影响因素	182
6.3.3	点腐蚀的判定	183
6.3.4	避免点腐蚀措施与防护	184
6.4	缝隙腐蚀	185
6.4.1	缝隙腐蚀机理	185
6.4.2	影响缝隙腐蚀的因素	186
6.4.3	缝隙腐蚀的判定	188
6.4.4	避免缝隙腐蚀措施与防护	189
6.5	选择性腐蚀	190
6.5.1	选择性腐蚀原理	190
6.5.2	选择性腐蚀体系	190
6.5.3	影响选择性腐蚀的因素	191
6.5.4	选择性腐蚀的判定	191
6.5.5	选择性腐蚀的防护	191
6.6	晶间腐蚀	192
6.6.1	晶间腐蚀机理	192
6.6.2	发生晶间腐蚀的体系	192
6.6.3	影响晶间腐蚀的因素	194
6.6.4	晶间腐蚀的判定	194
6.6.5	避免晶间腐蚀与防护	196
6.7	剥层腐蚀	196
6.7.1	剥层腐蚀的行为及原因	196
6.7.2	避免剥层腐蚀的措施与防护	197
6.8	微生物腐蚀	197
6.8.1	微生物的种类与作用	197
6.8.2	不锈钢材料的微生物腐蚀	197
6.8.3	其他金属材料的微生物腐蚀	198
6.8.4	微生物腐蚀的判断与控制	198
	参考文献	198
第7章	金属材料在应力作用下的腐蚀	200
7.1	应力腐蚀破裂	200
7.1.1	引言	200
7.1.2	应力腐蚀破裂的特征	201
7.1.3	应力腐蚀破裂机理	206

7.1.4 应力腐蚀破裂的测试评定	208
7.1.5 发生应力腐蚀破裂的常见工程材料	211
7.1.6 应力腐蚀破裂的防护方法	215
7.2 腐蚀疲劳	215
7.2.1 引言	215
7.2.2 腐蚀疲劳的特性	217
7.2.3 腐蚀疲劳机理	219
7.2.4 腐蚀疲劳的测试评定与防护	220
7.3 氢损伤	221
7.3.1 引言	221
7.3.2 氢损伤的种类及其机理	222
7.3.3 氢损伤的特性与评定	223
7.3.4 氢损伤的控制与防护	225
7.4 冲刷腐蚀	226
7.4.1 冲刷腐蚀的行为及原因	226
7.4.2 避免冲刷腐蚀的措施与防护	226
7.5 空泡腐蚀	226
7.5.1 空泡腐蚀的行为及原因	227
7.5.2 避免空泡腐蚀的措施与防护	227
7.6 磨振腐蚀	227
7.6.1 磨振腐蚀的行为及原因	227
7.6.2 避免磨振腐蚀的措施与防护	227
7.7 磨损腐蚀	228
7.7.1 磨损腐蚀的行为及原因	228
7.7.2 避免磨损腐蚀的措施与防护	228
参考文献	228
第 8 章 金属材料在自然环境与化工介质中的腐蚀与防护	231
8.1 水溶液腐蚀	231
8.1.1 水环境腐蚀机理	231
8.1.2 海水腐蚀特征	232
8.1.3 海水腐蚀影响因素	234
8.1.4 海水腐蚀的控制	237
8.2 大气腐蚀	237
8.2.1 大气腐蚀分类与腐蚀机理	238
8.2.2 腐蚀产物膜	239
8.2.3 影响大气腐蚀的因素	240
8.2.4 防护措施	243
8.3 土壤腐蚀	244

8.3.1	土壤腐蚀机理	244
8.3.2	土壤腐蚀特征与影响因素	245
8.3.3	杂散电流腐蚀	248
8.3.4	土壤腐蚀的控制	250
8.4	化工介质腐蚀	251
8.4.1	化工介质的类型	251
8.4.2	硫及硫化物的腐蚀	252
8.4.3	氯及氯化物的腐蚀	253
8.4.4	硝酸溶液的腐蚀	253
8.4.5	氢氧化钠和碱溶液的腐蚀	254
8.4.6	尿素溶液的腐蚀	254
8.4.7	炼油和石化介质的腐蚀	255
	参考文献	256
第9章 非金属材料的腐蚀与防护		258
9.1	引言	258
9.2	耐火材料和陶瓷的腐蚀	258
9.2.1	耐火材料的腐蚀	259
9.2.2	结构陶瓷的腐蚀	260
9.2.3	耐火材料和陶瓷的防腐蚀	261
9.3	玻璃的腐蚀	261
9.3.1	玻璃结构特征	262
9.3.2	玻璃的腐蚀机理	262
9.3.3	影响玻璃腐蚀因素	263
9.4	高分子材料的腐蚀	264
9.4.1	高分子材料的结构特征	264
9.4.2	腐蚀类型和机理	265
9.4.3	高分子材料的腐蚀防护	267
9.5	混凝土的腐蚀	269
9.5.1	混凝土的结构特点	269
9.5.2	混凝土的腐蚀形式和机理	269
9.5.3	腐蚀的影响因素	271
9.5.4	钢筋在混凝土中的腐蚀	271
9.6	木材的腐蚀	272
9.6.1	木材的结构特征	272
9.6.2	木材的腐蚀形式	272
9.6.3	防止木材降解的化学品	273
	参考文献	274

第 10 章 高科技领域中材料的腐蚀	275
10.1 引言	275
10.2 航天领域	275
10.2.1 载人航天飞机的腐蚀与防护	276
10.2.2 卫星的腐蚀与防护	280
10.3 航空领域	284
10.3.1 飞机发动机的腐蚀与防护	286
10.3.2 飞机构架的腐蚀与防护	295
10.3.3 飞机蒙皮的腐蚀与防护	299
10.3.4 飞机其他部位的腐蚀	300
10.4 核电工业设备的腐蚀	302
10.4.1 引言:核电站发展历程和核电工业设备腐蚀概述	302
10.4.2 国际商用核电站腐蚀问题导致的耗费和失效状况统计	304
10.4.3 压水堆核电站核岛材料的主要腐蚀问题与防护	307
10.4.4 沸水堆核电站中结构材料的主要腐蚀问题与防护	314
10.5 新型能源领域	316
10.5.1 电池的腐蚀	316
10.5.2 燃料电池的腐蚀	322
10.6 电子功能器械领域	328
10.6.1 电子材料与装置的失效	329
10.6.2 通信器材设备的失效	331
10.6.3 电子器件材料的防护措施	333
10.7 生物医药领域	334
10.7.1 植入材料与矫正器材的腐蚀	335
10.7.2 牙骨合金的腐蚀	338
参考文献	340
第 11 章 材料腐蚀的防护技术	344
11.1 引言	344
11.2 防腐蚀设计	344
11.2.1 正确选用材料	344
11.2.2 工程结构的防腐蚀设计	348
11.3 防护涂层	348
11.3.1 防护涂层的特点与分类	348
11.3.2 金属镀层与技术	349
11.3.3 非金属无机涂层与技术	353
11.3.4 非金属有机镀层与技术	356
11.4 电化学保护	359

11.4.1 概述	359
11.4.2 阴极保护	360
11.4.3 阳极保护	371
11.5 缓蚀剂保护	373
11.5.1 概论	373
11.5.2 缓蚀剂分类	374
11.5.3 影响因素	375
11.5.4 缓蚀剂的应用	376
参考文献	378

第1章 绪论

1.1 引言

金属与周围环境介质之间发生化学或电化学反应而引起的变质或破坏现象称为金属腐蚀。金属发生腐蚀这一现象早在人类一开始使用金属时就已发现,随后就有意识地采取措施来防止金属腐蚀。例如,古希腊历史学家希洛脱斯(Herodtus)和古罗马自然科学家泼利尼乌斯(Plinius)在公元前就提出用锡来防止铁的锈蚀。我国在商代出现了锡青铜。已出土的吴王剑、越王剑都是青铜铸成,深埋在地下 2600 年后依然完好如新。

20 世纪 50 年代以来,随着非金属材料(特别是合成材料)的大量应用,非金属腐蚀也日益增多,引起关注。非金属材料在环境介质的化学、机械和物理作用下出现老化、龟裂、腐烂和破坏的现象称为非金属腐蚀。

本书以介绍金属腐蚀与防护为主,兼顾介绍非金属材料的腐蚀,使读者能对材料的腐蚀与防护有一个比较全面的了解。

1.1.1 腐蚀的严重性和代价

金属腐蚀现象是十分普遍的。因为从热力学观点出发,除了极少数贵金属(Au, Pt 等)外,大多数金属都有在环境介质中由元素状态逐渐转变为金属化合物的倾向。换句话说,金属发生腐蚀是一个自然破坏过程,也可以说是冶金的逆过程。钢铁制品暴露在大气中生锈,铜制品在大气中变色,钢质船壳在海水中的锈蚀,埋地输气、输油管线外壁的穿孔,热力发电站中锅炉的损坏以及桥梁的断裂,石油化工装置的爆炸,飞机的失事等很多情况下都是金属腐蚀惹的祸。

材料腐蚀给国民经济造成巨大的损失。腐蚀破坏事故遍及采集和使用金属和非金属的场合。从日常生活到交通运输、建筑、机械、电力、石油化工、冶金、国防等众多领域都存在各种各样的腐蚀问题。据统计,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 1/3。假定其中 2/3 的金属尚可回炉重新熔炼,那么剩余的 1/3 或者说约有 1/10 的金属材料因锈蚀粉化而无法回收。可见,金属腐蚀对自然资源是极大的浪费。地球的资源是有限的,腐蚀浪费了金属资源,也耗费了这些金属构件加工所需要的能源和水源。除此之外,材料腐蚀造成金属设备和工程结构破坏,提前退出服役,其经济损失要比材料本身费用大得多。

据一些工业发达国家的统计,每年由于腐蚀造成的经济损失约占国民经济生产总值的 2%~4%。英国工业部最早在 20 世纪 60 年代对全国腐蚀损失进行了专门调查,于 1971 年公布了著名的何尔(Hoar)报告。该报告指出,英国的腐蚀年损失达到 13.6 亿英镑,占国民经济总产值的 3.5%。在过去几十年中,工业发达国家的腐蚀损失逐年增加,以美国为例,1949 年腐蚀学者尤利格(Uhlig)估计年腐蚀损失约为 55 亿美元,1966 年增加到 100 亿美元,1975 年

为 750 亿美元,1982 年为 1 260 亿美元,1995 年达到最大值 3 000 亿美元,占国民经济生产总值 4.2%。随后由于采取了积极的防腐蚀措施,腐蚀增加速度得到控制,1998 年腐蚀损失降为 2 757 亿美元。

表 1-1 列举了一些工业发达国家的腐蚀损失数据。

表 1-1 一些工业发达国家的腐蚀损失^[1,2]

国别	年份	腐蚀损失	占国民经济 生产总值/%	国别	年份	腐蚀损失	占国民经济 生产总值/%
美国	1995	3 000 亿美元	4.2	日本	1997	39 377 亿日元	3.0
英国	1970	13.65 亿英镑	3.5	瑞典	1986	350 亿瑞典克朗 (50 亿美元)	3.5
	1985	170 亿美元	3.5				
德国	1982	450 亿马克	2.5	苏联	1985	400 亿卢布	2.0
印度	1986	48.2 亿美元			1987	~1 000 亿美元	

1999 年,中国工程院正式启动咨询项目“中国工业与自然环境腐蚀问题调查与对策”,项目由中科院金属腐蚀与防护研究所(现中科院金属研究所)具体组织实施,在柯伟院士领导下对材料腐蚀造成的损失进行了较为详细的调查。调查结果为直接损失 2 288 亿,加上间接损失,高达 5 000 亿人民币,合 625 亿美元,占当年国民经济生产总值的 5%。又据报道,2004 年全国腐蚀损失达到 8 190 亿,短短 5 年增加了 64%,其增长速度实在令人吃惊。可见腐蚀损失对我国国民经济的影响是非常严重的。

材料腐蚀造成的经济损失可分为直接损失和间接损失两大类。

直接损失包括:①更换已被腐蚀的设备和构件以及用耐蚀合金代替腐蚀性能差的材料产生的费用;②采用涂料、镀层、阴极保护和缓蚀剂等保护措施带来的材料和人员费用;③干燥、贮存金属设备的费用。以上直接损失的费用比较容易估算。间接损失包括:①企业停工停产的损失;②腐蚀泄漏引起的产品流失;③腐蚀产物导致对产品的污染;④腐蚀产物积累或局部破损引起设备效能下降;⑤设计中要留有腐蚀余量(即增加构件厚度),增加制造费用。

除了腐蚀引起的严重经济损失外,腐蚀事故还常常危及人身安全,导致生命和财产的损失。例如,压力容器、锅炉、飞机部件、桥梁、核电站容器,汽轮机叶片等的损坏所引起的事故。1967 年美国俄亥俄州河上一座“银桥”突然倒塌,造成过桥的 37 辆车中 31 辆坠落河中,46 人死亡,9 人重伤。1970 年日本大阪地下铁道的管道腐蚀折断造成瓦斯爆炸,乘客当场死亡 75 人。最近几年飞机失事,机毁人亡的惨痛腐蚀事故也常有所闻。1985 年日本一架波音 747 客机由于发动机应力腐蚀坠毁,死亡 500 多人。

材料腐蚀引起的环境污染问题日益为人们重视。由于腐蚀产生了各种各样的工业废水,废渣以及许多有害物质排放到大气中,危及人类健康,破坏生态平衡。

1.1.2 腐蚀与防护的目的

为了减轻材料腐蚀造成的巨大经济损失、资源损失和安全隐患,研究材料腐蚀发生的原因及其控制措施是腐蚀与防护的目的。腐蚀与防护科学是 20 世纪 30 年代发展起来的一门综合性技术科学,目前已成为一门独立的学科,并在不断发展中。

腐蚀与防护是一门很重要的学科,它涉及许多对国民经济发展有着重要影响的行业。普

遍地、正确地选用适当的腐蚀控制技术和方法,可以防止或减缓腐蚀破坏。最大程度地减轻由腐蚀造成的经济损失和社会危害。一般认为,只要充分利用现有的腐蚀控制技术就可以使腐蚀损失降低(挽回)25%~30%。采用正确的腐蚀控制措施和预防对策,可以保障公共安全,防止工业设备损伤破坏,保护环境,节约资源、能源以及避免数以百亿、千亿的损失。

材料腐蚀与防护这一学科主要包括两方面的研究内容:①研究材料腐蚀过程的基本规律及其作用机理;②发展腐蚀控制技术及其实际应用。

1.2 定义

1.2.1 腐蚀

“腐蚀”一词来源于拉丁语“Corrodere”,意思指“损坏、腐烂”。我国“辞海”(1979年版)将“腐蚀”定义为“物质的表面因发生化学或电化学反应而受到破坏的现象”。在当时该定义主要指的是金属腐蚀。国内外一些学者对腐蚀的定义给出了不同的说法,埃文斯认为,金属腐蚀是金属元素从元素态转变为化合态的化学变化及电化学变化。方坦纳认为,金属腐蚀是金属冶金的逆过程。尤利格认为,物质(或材料)的腐蚀是物质(或材料)受环境介质的化学、电化学作用而破坏的现象。托马晓夫认为,金属的腐蚀是金属在外部介质的化学和电化学作用下发生的破坏。曹楚南认为,金属腐蚀是金属材料由于受到介质的作用而发生状态的变化转变为新相,从而遭到破坏。目前,材料的腐蚀包括金属材料和非金属材料。若将金属腐蚀和非金属腐蚀统一在一个定义之内,可表述为:材料腐蚀是材料和材料性质在周围环境介质的化学、电化学和物理作用下发生破坏、变质或恶化的现象。

1.2.2 腐蚀学

我国著名腐蚀学者肖纪美指出,腐蚀学分为微观腐蚀学和宏观腐蚀学。微观腐蚀学着眼于腐蚀现象的微观分析,建立腐蚀理论,在它的指导下,开发防蚀技术,即材料的腐蚀与防护。宏观腐蚀学则着眼于从整体上分析腐蚀问题,即将腐蚀现象的整体作为研究对象——系统,考察它与社会环境之间的交互作用以及腐蚀学的经济及社会效应。

腐蚀理论的建立经历了漫长的过程。从18世纪中叶到20世纪初期,是人们对材料腐蚀的认识过程开始,由经验性阶段过渡到理论研究阶段。但是真正腐蚀理论的出现,是在20世纪以后,其中有代表性的有:1903年Whitney通过铁在水中的腐蚀实验指出了腐蚀的电化学本质;1920年塔曼(Tamman)等通过对金属Ag、Fe、Pb和Ni的氧化规律的实验研究,提出了氧化动力学的抛物线定律,奠定了金属氧化物理论的实验基础;1929年埃文斯(Evans)建立了腐蚀金属极化图,推动了从电化学本质上研究金属腐蚀;1938年Wagner和Trand建立了电化学腐蚀的混合电位理论,奠定了腐蚀科学的动力学基础,同年布拜(Pouxbaix)绘制了电位-pH图,奠定了腐蚀科学的热力学基础,1950年尤利格(Uhlig)提出了点蚀的自催化模型,推动了腐蚀电化学理论的发展,1957年Stern和Geary提出了线性极化技术,推动了腐蚀电化学理论的发展,1970年Epelbain首次用电子阻抗谱图研究腐蚀过程,为腐蚀电化学研究提供了新方法。近二十年来腐蚀理论不断完善,在腐蚀理论建立的同时防腐蚀技术也得到了全面的发展。