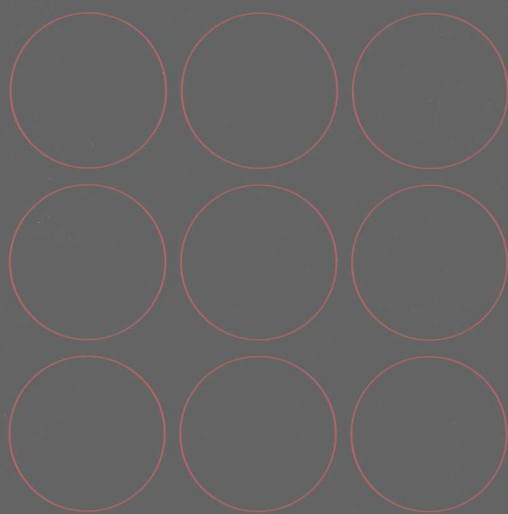




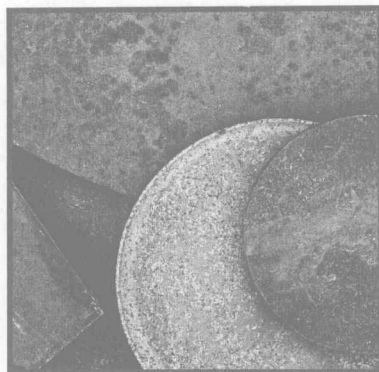
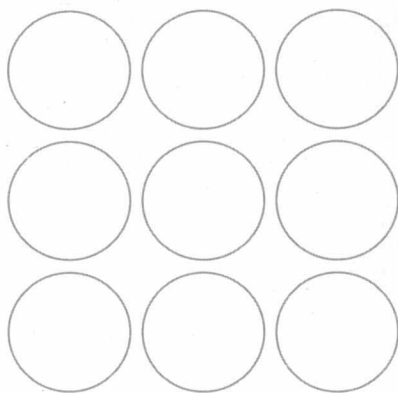
AN INTRODUCTION
TO SYSTEM ENGINEERING SCIENCE
FOR CORROSION CONTROL

腐蚀控制 系统工程学概论

李金桂 著



化学工业出版社



AN INTRODUCTION
TO SYSTEM ENGINEERING SCIENCE
FOR CORROSION CONTROL

腐蚀控制 系统工程学概论

李金桂 著



化学工业出版社

· 北京 ·

元 00.00 : 份 壹

图书在版编目 (CIP) 数据

腐蚀控制系统工程学概论/李金桂著. —北京: 化学工业出版社, 2009. 3
ISBN 978-7-122-04608-6

I. 腐… II. 李… III. 腐蚀-控制-系统工程学
IV. TG174

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 006601 号

责任编辑: 段志兵 王清颖

文字编辑: 孙凤英

责任校对: 陶燕华

装帧设计: 尹琳琳

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: 三河市延风印装厂

720mm×1000mm 1/16 印张 25¼ 字数 477 千字 2009 年 4 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: 69.00 元

版权所有 违者必究

人类所经历的石器时代、青铜时代、铁器时代以及近代出现的新材料时代都表明：材料是人类赖以生存和发展的物质基础，是人类社会进步的里程碑，又是社会现代化的先导。但是，材料不可避免地会受到环境的侵蚀，这不仅包括大气、海洋、土壤这些自然环境的作用，还有材料加工过程及其制品都要经受周围环境的考验，特别是这些环境的联合协同作用，引发材料意想不到的腐蚀损伤。因此，研究腐蚀控制系统工程学显得十分重要。

北京航空材料研究院副总工程师李金桂研究员是国家科委“腐蚀科学”学科组成员，又先后担任中国腐蚀与防护学会副秘书长及三届副理事长。1984年他提出“腐蚀要进行系统控制”的新理念，历经二十多年的努力在两型飞机的研制和1100多项民用工程中得到应用，先后出版著作十几部、论文百余篇，2006年主编出版的《腐蚀控制设计手册》系统地提出了腐蚀控制系统工程的理念及其成套的理论、原则、技术和措施，实际上形成了腐蚀控制系统工程学，这是腐蚀科学与工业建设紧密结合的结晶，具有先进性、创新性和普遍的实用性。中国科学院肖纪美院士等四位院士和九位教授给予了“世界领先”的评价，并建议进行广泛的宣传教育，本书实际上就是对评审专家的一个回应，对腐蚀控制系统工程学进行的扼要的阐述。

可以预料，这本书的出版将有助于各个行业的设计师、工程师应用腐蚀控制系统工程学，以减少腐蚀损失，降低腐蚀对环境的污染，在一定程度上支持我国可持续发展战略，成为科学发展观的重要组成部分。

师昌绪

2009年1月25日

腐蚀控制系统工程源于腐蚀科学，又超越腐蚀科学，是腐蚀科学与工业实践紧密结合而繁衍发展的一门新的多学科的边缘科学。它强调人的作用，强调在腐蚀控制过程中设计师、制造工程师的责任、知识与经验；它强调理论与实践相结合，强调腐蚀控制与经济、管理、设计、制造的紧密结合，以及由此而繁衍的设计、制造、使用技术细则，具有用以指导设计、制造、使用的成套理论、原则、技术和措施。其中心思想是：腐蚀控制要从制件的设计开始，贯穿于制造、储存、运输、使用、维护、维修全过程，进行全员、全方位的控制，研究每一个零部件的制造环境、运行环境和周围自然环境及其协同作用，提出控制大纲和实施细节，进行“精心设计、精心制造、精心维护”，以获得最大的技术经济效益和社会效益。

腐蚀控制系统工程学的思想源于1984年出版的《航空产品腐蚀及其控制手册》及其后陆续发表的十几部专著和近百篇论文，集中体现于2006年出版的《腐蚀控制设计手册》，本书是该手册的灵魂和精华，是该手册所表达的腐蚀控制系统工程学内容的简要概述。本书比较全面地阐述了密封设计、结构设计、阴极保护设计、设计选材、表面层设计等方面的理论、原则、技术和措施；较为周详地阐述了如何进行腐蚀控制设计的实用内涵；阐述了在制造过程中不损伤材料固有的耐蚀性的技术措施和技术保障；阐述了从材料进厂，历经工序间的过程、以及储存、运输和使用过程中的锈蚀控制技术；阐述了腐蚀经济学这门腐蚀科学及其技术发展的动力，而目前在“腐蚀控制领域”又还不太成熟的新的学问；还借助航空制造业和埋地管道等防腐蚀工程的管理，阐述了腐蚀控制技术管理系统的方方面面；最后，提供了腐蚀控制系统工程学的应用实例。在系统进行腐蚀控制的每个环节，不仅具有理论、原则、技术和措施的指导作用，还拥有许多具有专利性质的设计、制造和使用细则，内容丰富翔实。

腐蚀控制系统工程学从诞生到广泛应用，历经二十多年，是千百人参与研究、应用的结果。直接为腐蚀控制系统工程学的形成做出了重大贡献的有：航空界的刘士简、莫龙生、赵国彦、毛立信、戴挺洪、魏曾甦、陈家珠、章怡宁、郭显华、曹寿德、张康夫等；防腐蚀科学与工程界的肖纪美、张文奇、吴荫顺、曹

毛主席在《反对党八股》一文中强调写文章要通俗、易懂；的确，能将最复杂的学术问题说得最简单、最通俗、最易懂，才最便于接受、最便于施行、最有效地推动生产力的发展。笔者努力在作品中这样去做。但目标并不就是现实，加上所掌握的知识十分有限，书中定有不足之处，恳请批评指正、补充、发展。

2009 年 2 月 18 日

第1章 绪 论

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1.1 腐蚀问题及其严重性..... 1 | 1.3 腐蚀控制系统工程的提出 ... 12 |
| 1.1.1 腐蚀问题的客观性..... 2 | 1.4 腐蚀控制系统工程的基本 |
| 1.1.2 腐蚀问题的普遍性、严重 | 观点 13 |
| 性与危害性..... 3 | 参考文献..... 15 |
| 1.2 航空腐蚀调查及其启示..... 6 | |

第2章 腐蚀控制系统工程学的理论基础

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 2.1 概述 16 | 2.3 腐蚀控制系统工程学概论 ... 31 |
| 2.2 腐蚀学概论 19 | 2.3.1 “腐蚀控制系统工程学” |
| 2.2.1 对“腐蚀”定义的 | 的形成 31 |
| 诠释 19 | 2.3.2 腐蚀控制系统工程 |
| 2.2.2 电化学腐蚀理论 21 | 纲要 33 |
| 2.2.3 金属氧化理论 24 | 2.3.3 各阶段任务 34 |
| 2.2.4 腐蚀环境 28 | 2.3.4 防腐蚀设计定则 36 |
| 2.2.5 腐蚀分类 28 | 2.4 腐蚀系统控制总原则 36 |
| 2.2.6 腐蚀预防与控制 30 | 参考文献..... 39 |

第3章 防腐蚀结构设计

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 3.1 概述 41 | 3.2.1 防腐蚀结构设计的总 |
| 3.1.1 腐蚀影响因素 42 | 体原则 45 |
| 3.1.2 防腐蚀结构设计的 | 3.2.2 防腐蚀结构设计的具 |
| 职责 43 | 体原则 46 |
| 3.2 防腐蚀结构设计的原则 45 | 3.3 合理的结构构型设计 48 |

3.3.1 介质流动管道及容器 内腔的设计	48	原则	57
3.3.2 避免冷热不均诱发腐 蚀的设计	49	3.5.4 具体措施	57
3.3.3 结构组合件的装配 设计	49	3.5.5 按保护有效性顺序推 荐的表面处理方案	60
3.3.4 合理设计连接结构	50	3.6 预防应力作用下的腐蚀 断裂	63
3.4 通风与侵蚀介质排除的 设计	52	3.6.1 概述	63
3.4.1 通风设计	52	3.6.2 应力的作用和影响	64
3.4.2 排水设计	53	3.6.3 预防应力腐蚀的 设计	67
3.5 预防电偶腐蚀的设计	55	3.6.4 防止零部件腐蚀疲劳 的设计	72
3.5.1 概述	55	3.6.5 环境损伤额定值的 应用	73
3.5.2 电偶腐蚀的控制原理	56	参考文献	75
3.5.3 电偶腐蚀控制的一般 原则			

第4章 防腐蚀密封设计

4.1 概述	76	4.6 典型结构件防腐蚀密封 设计	87
4.2 密封防腐蚀设计的基本 要求	78	4.6.1 外表蒙皮铆接、胶接-铆 接、焊接结构防腐蚀密 封设计	87
4.3 密封通用要求	79	4.6.2 紧固件防腐蚀密封 设计	88
4.3.1 密封表面准备	79	4.6.3 可卸口盖防腐蚀密封 设计	90
4.3.2 有效密封形状和尺寸	80	4.6.4 外表蒙皮与气动有关 结构防腐蚀密封设计	90
4.4 密封剂及其选用原则	82	4.6.5 整体油箱防腐蚀密封 设计	91
4.4.1 密封剂	82	4.6.6 金属蜂窝结构件防腐蚀 密封设计	93
4.4.2 适宜供密封防腐蚀用 各类密封剂的特性	83	4.6.7 金属胶接结构防腐蚀 密封设计	94
4.4.3 密封剂的分类选择	84		
4.5 密封设计标注及典型密封 设计	84		
4.5.1 密封符号与标注	84		
4.5.2 密封标注示例	85		
4.5.3 密封工艺对密封设计的 影响	86		

4.6.8 电缆、电器装置防腐蚀密封设计	94	4.6.10 复合材料件防腐蚀密封设计	96
4.6.9 隔热结构防腐蚀密封设计	95	参考文献	96

第5章 阴极保护设计

5.1 概述	97	类型	106
5.2 埋地管道的阴极保护	98	5.3.3 阴极保护系统的设计	106
5.2.1 土壤腐蚀及其特点	98	5.3.4 外加电流保护设计	108
5.2.2 埋地管道的现代保护技术	99	5.3.5 牺牲阳极保护设计	114
5.2.3 保护准则	101	5.4 海洋构筑物的阴极保护	119
5.2.4 牺牲阳极	103	5.4.1 滨海电厂海水冷却水系统牺牲阳极阴极保护设计	119
5.2.5 电位分布	103	5.4.2 滨海设施外加电流阴极保护设计	122
5.3 阴极保护技术的实际应用	104	5.5 船舶	124
5.3.1 可采用阴极保护的构筑物	105	参考文献	125
5.3.2 阴极保护技术装置的			

第6章 电子电器产品的环境适应性

6.1 概述	127	6.3.1 耐蚀材料的选择	142
6.1.1 环境工程涉及的内容	128	6.3.2 采用保护技术	144
6.1.2 环境工程与可靠性工程的关系	130	6.3.3 避免微生物侵蚀	145
6.1.3 空间和陆用设备环境试验方法	135	6.4 连接技术中的防腐蚀	145
6.2 环境—腐蚀效应	136	6.4.1 连接技术的影响	146
6.2.1 通用效应	136	6.4.2 控制连接过程中的腐蚀	146
6.2.2 腐蚀效应	139	6.5 电气串接（接地）与屏蔽中的防腐蚀	147
6.2.3 其他的腐蚀因子	141	6.5.1 串接与腐蚀防护	147
6.3 电子产品的腐蚀控制	142	6.5.2 电磁屏蔽与防腐蚀	148
		6.5.3 导电胶黏剂的腐蚀	

问题.....	150	6.7 包装、保管及运输.....	150
6.6 特殊零件的防护.....	150	参考文献	151

第7章 防腐蚀设计选材

7.1 概述.....	152	7.4.4 钛和钛合金的耐蚀性.....	168
7.1.1 一个零件设计选材的思考.....	153	7.5 耐热钢与高温合金.....	171
7.1.2 选材依据.....	155	7.5.1 耐热钢与铁基高温合金.....	171
7.1.3 设计选材原则.....	156	7.5.2 镍基高温合金.....	171
7.1.4 在大气环境中金属的腐蚀类型.....	157	7.5.3 金属间化合物.....	172
7.2 不锈钢.....	158	7.6 通用高分子材料.....	172
7.2.1 马氏体不锈钢的耐蚀性.....	158	7.6.1 聚氯乙烯.....	173
7.2.2 铁素体不锈钢的耐蚀性.....	159	7.6.2 聚乙烯.....	173
7.2.3 奥氏体不锈钢的耐蚀性.....	159	7.6.3 聚丙烯.....	173
7.2.4 双相不锈钢的耐蚀性.....	160	7.6.4 环氧树脂.....	174
7.2.5 沉淀硬化不锈钢的耐蚀性.....	161	7.6.5 酚醛树脂.....	175
7.2.6 不锈钢适用和不适用环境.....	161	7.6.6 呋喃树脂.....	175
7.3 铸铁、碳钢及低合金钢.....	161	7.7 特种高分子材料.....	175
7.3.1 铸铁.....	162	7.7.1 氟碳材料与涂料.....	175
7.3.2 碳钢和低合金钢.....	164	7.7.2 聚苯硫醚.....	177
7.4 有色金属及合金.....	166	7.7.3 氯化聚醚.....	177
7.4.1 铝和铝合金的耐蚀性.....	166	7.7.4 聚酰亚胺.....	177
7.4.2 镁及镁合金的耐蚀性.....	167	7.8 无机非金属材料.....	178
7.4.3 铜及铜合金的耐蚀性.....	168	7.8.1 硅酸盐玻璃.....	178
		7.8.2 硅酸盐陶瓷.....	178
		7.8.3 硅酸盐水泥.....	178
		7.8.4 结构陶瓷耐火材料.....	179
		7.8.5 碳素材料.....	179
		7.9 复合材料.....	179
		参考文献	180

第8章 近代表面工程技术的应用 (一)

8.1 概述.....	182	编号.....	190
8.1.1 表面转化改性技术.....	183	8.2.2 防腐蚀涂装系统设计	
8.1.2 薄膜技术.....	184	程序.....	192
8.1.3 涂镀层技术.....	185	8.2.3 有机涂料用漆料和	
8.1.4 表面工程技术的		颜料.....	192
应用.....	187	8.2.4 不同材料表面涂层	
8.1.5 现代表面工程技术分类		系统.....	194
的分析.....	188	8.2.5 不同行业用途的涂装	
8.2 有机涂层.....	189	体系.....	200
8.2.1 有机涂料的分类与命名、		参考文献.....	200

第9章 近代表面工程技术的应用 (二)

9.1 概述.....	202	9.6 热扩散.....	217
9.2 电镀.....	203	9.6.1 热扩散原理.....	217
9.2.1 电镀原理.....	203	9.6.2 铁和钢的渗碳、氮	
9.2.2 金属和合金镀种.....	206	渗层.....	218
9.2.3 电镀层的设计规范.....	206	9.6.3 钢铁表面渗层.....	219
9.3 表面转化改性技术.....	208	9.6.4 镍和钴基高温合金的	
9.3.1 化学氧化膜.....	209	渗层.....	220
9.3.2 钝化膜.....	209	9.7 离子注入.....	221
9.3.3 钢铁磷化膜.....	210	9.8 化学气相沉积 (CVD) ...	221
9.3.4 电化学转化膜.....	210	9.9 物理气相沉积 (PVD) ...	223
9.3.5 金属表面着色.....	213	9.9.1 蒸发 PVD	223
9.3.6 表面形变强化.....	213	9.9.2 溅射 PVD	223
9.3.7 表面相变硬化.....	214	9.9.3 离子镀.....	223
9.4 热浸镀.....	214	参考文献.....	224
9.5 热喷涂.....	215		

第10章 高温防护涂层和选择

10.1 概述.....	226	思路.....	227
10.1.1 高温合金的发展		10.1.2 高温防护涂层的	

分类	228	多元合金包覆涂层	239
10.1.3 高温防护涂层另种		10.6 自黏结材料涂层	240
分类	229	10.6.1 自黏结镍铝复合材料	
10.2 形成致密氧化物层的		涂层	240
金属间化合物涂层	230	10.6.2 自黏结不锈钢材料	
10.2.1 单元素渗层	230	涂层	241
10.2.2 二元和三元共渗层	233	10.7 高温封严涂层	242
10.2.3 镍和钴基高温合金渗		10.7.1 可磨耗封严涂层	242
金属层	235	10.7.2 磨料封严涂层	243
10.2.4 航空发动机叶片高温		10.8 热障涂层	243
防护层	236	10.8.1 氧化铝型热障涂层	245
10.3 形成玻璃质氧化物层的		10.8.2 氧化锆型热障涂层	245
金属间化合物涂层	236	10.9 新型高温抗氧化涂层的	
10.4 起物理阻挡层作用的稳定		发展	246
氧化物涂层	238	10.9.1 碳-碳 (C/C) 复合材料	
10.4.1 1000℃使用的高温		抗氧化涂层	246
珐琅涂层	238	10.9.2 抗高温氧化纳米晶	
10.4.2 1000℃无毒珐琅		涂层	247
涂层	239	10.9.3 智能涂层	248
10.4.3 900℃使用的珐琅		10.9.4 把涂层与材料的研究	
涂层	239	作为一个整体进行	248
10.5 能形成致密氧化物层的		参考文献	248

第 11 章 制造与使用维护过程中的腐蚀控制

11.1 概述	250	11.2.6 热处理过程中的	
11.2 制造过程中的预防腐蚀	252	控制	258
11.2.1 制造过程中预防腐蚀		11.2.7 焊接过程中的控制	259
的原则	252	11.2.8 胶接、胶焊和胶铆	
11.2.2 进厂金属原材料的		过程中的控制	261
腐蚀控制	252	11.2.9 特种加工过程中的	
11.2.3 机加过程中产品零件的		控制	262
临时性保护	254	11.2.10 表面处理过程中的	
11.2.4 锻造过程中的控制	255	控制	264
11.2.5 铸造过程中的控制	256	11.2.11 施加涂料过程中的	

控制	267	控制	272
11.2.12 产品零件在装配过 程中的腐蚀控制	268	11.4.1 腐蚀的特征及鉴别	272
11.3 成品零部件、标准件及外 购备件封存包装技术	271	11.4.2 腐蚀产物的去除	273
11.4 使用维修过程中的腐蚀		11.4.3 清洗	273
		11.4.4 防锈剂的应用	274
		参考文献	275

第12章 储运及使用过程中的防锈

12.1 概述	276	12.4.2 溶剂稀释型防锈油	286
12.2 大气腐蚀及其控制原理	277	12.4.3 石油脂型防锈油	288
12.2.1 大气腐蚀	277	12.4.4 润滑防锈油	289
12.2.2 大气腐蚀的控制 原理	279	12.4.5 除指纹型防锈油	290
12.3 防锈封存包装技术	280	12.4.6 气相防锈油	290
12.3.1 防锈包装过程中的 清洁	280	12.5 水基防锈剂	291
12.3.2 防锈包装过程中的 干燥	280	12.6 气相防锈材料	292
12.3.3 防锈材料种类和 选择	280	12.6.1 气相防锈剂	292
12.3.4 防锈包装过程中的 注意事项	283	12.6.2 气相防锈纸	294
12.4 防锈油	283	12.6.3 气相防锈薄膜	298
12.4.1 防锈油品分类	285	12.6.4 气相防锈材料的 选用通则	298
		12.7 可剥性塑料	299
		12.7.1 热浸型可剥性塑料	300
		12.7.2 溶剂型可剥性塑料	300
		参考文献	301

第13章 腐蚀控制管理系统

13.1 概述	302	职责	304
13.1.1 “技术措施”管理 到位	303	13.2 责任部门的任务与职责	305
13.1.2 人员培训和持证 上岗	303	13.2.1 采购部门	305
13.1.3 腐蚀控制系统工程 管理协调机构及其		13.2.2 设计部门	305
		13.2.3 制造部门	305
		13.2.4 使用部门	306
		13.3 相关技术人员职责	306

13.3.1 防腐蚀设计工程师的职责	306	13.6.1 防护层的维护管理 ...	311
13.3.2 防腐蚀施工(制造)工程师的职责	307	13.6.2 阴极保护的运行管理	313
13.3.3 防腐蚀检验工程师(监理)的职责	307	13.6.3 档案资料的收集和 管理	316
13.4 售后服务与腐蚀失效分析 ...	308	13.6.4 对管道损伤的检查、 评价和修补	317
13.5 运行管理系统	310	13.6.5 埋地管道腐蚀与防护 势态综合分析	319
13.6 管道腐蚀控制运行管理系统	310	参考文献	320

第14章 腐蚀经济学

14.1 概述	321	14.4.1 几个重要概念	330
14.1.1 腐蚀经济学的特点 ...	322	14.4.2 追加投资回收期法 ...	331
14.1.2 腐蚀经济学的重 要性	322	14.4.3 年度费用法	332
14.1.3 腐蚀经济学的范围 及分类	324	14.4.4 尤立格公式计算法 ...	334
14.2 腐蚀经济学中的主要 指标	325	14.4.5 其他公式法	336
14.2.1 耗费	326	14.4.6 多方案的腐蚀经济 静态分析方法比较 ...	337
14.2.2 效果指标	326	14.5 常用的腐蚀经济动态 分析法	338
14.2.3 经济效果指标	327	14.5.1 资金的时间价值 ...	338
14.2.4 净收益指标	327	14.5.2 复利计算公式	340
14.3 单方案的腐蚀经济分 析法	328	14.5.3 腐蚀经济的基本分析法 ——复利计算法 ...	344
14.3.1 投资回收期和投资 效果系数	328	14.5.4 日本国的计算公式 ...	346
14.3.2 投资回收期法	329	14.6 NACE的动态腐蚀经济的 计算方法	350
14.3.3 标准投资回收期内的 年度净收益法	329	14.6.1 折旧与残值	350
14.4 多方案的腐蚀经济分析 方法	330	14.6.2 NACE标准 RP-02-72	352
		14.6.3 d_n 的求取	355
		参考文献	356

第 15 章 腐蚀控制系统工程的实际应用

15.1 概述	358	15.3.2 设计特点	364
15.2 在飞机制造业中的应用	360	15.3.3 各部位防腐蚀涂装	
15.2.1 设计指南	360	配套设计	365
15.2.2 《指南》所确定的技术		15.3.4 防腐蚀涂装工艺	
内容	360	设计	376
15.2.3 《指南》所涉及的基本		15.3.5 防腐涂装质量要求、	
原理和原则	361	检测与监控	379
15.3 在海湾大桥建设中的		15.3.6 涂料生产单位及施工	
应用	363	单位的选择原则	382
15.3.1 设计依据	363	参考文献	382

后 记

第 1 章 绪 论

1.1 腐蚀与防护科学原理和原则

1. 腐蚀是一种自然现象，是客观存在，遵循电化学理论和金属氧化理论。防止腐蚀的行为可以追溯到远古，三千年前的中国大漆、两千多年前秦始皇陵墓陪葬的青铜剑的表面钝化就是明证。
2. 在环境条件下使用的材料都存在腐蚀问题，具有普遍性，控制不当，会造成国民经济的重大损失、浪费能源和资源、污染环境、影响国家可持续发展战略，危害很大。
3. 航空腐蚀调查表明：绝大多数腐蚀引发制件的提前失效或重大事故是由于设计不合理、制造不恰当造成的，也有使用维护技术不合适造成的。
4. 航空腐蚀调查还表明：设计与制造工程师们没有预防和控制腐蚀的责任和相关的知识是腐蚀事故（尤其是重大腐蚀事故）频频发生的主要原因。
5. 要真正控制腐蚀，必须从设计开始，贯穿制造、使用、维护、维修全过程，进行系统控制才能达到目的。也就是要实施“腐蚀控制系统工程”的成套理论和技术。
6. “腐蚀控制系统工程”的内容包括设计牵头，贯穿设计、制造、使用全程，突出系统管理、系统技术和经济分析。
7. 近代高技术项目的建设（航空、航天、冶金、电子、民用工程等）应该在总体设计和制造过程中纳入腐蚀控制和表面工程内容的设计和制造。

1.1 腐蚀问题及其严重性

腐蚀是一种自然现象，是客观存在，遵循电化学理论和金属氧化理论。防止腐蚀的行为可以追溯到远古，三千年前的中国大漆、两千多年前秦始皇陵墓陪葬的青铜剑的表面钝化就是明证。但是，腐蚀及其防护的系统研究是 20 世纪才开

始的,随着现代工业的快速发展,腐蚀问题逐步突显出来,腐蚀与防护成为一门不可或缺的科学。大量腐蚀事故的不断出现使我们认识到:环境对金属材料的侵蚀性是严重的,设计、制造工程师对其所设计、制造的新产品或工程建设项目可能遭遇的腐蚀问题不予关心和重视,不予设想和预防,造成过许许多多的腐蚀故障,及严重的经济损失和悲惨事件。

1.1.1 腐蚀问题的客观性

早期英国彗星式民用客机、美国 F111 战斗机由于应力腐蚀发生空中坠毁,一时,在国际上引起轰动:腐蚀也会引起机毁人亡?随着高强度、超高强度材料的使用,沿海或海上用飞机的增多,腐蚀引发的事故不断,人们逐渐开始认识到腐蚀确实会诱发飞行事故。

1956 年建设的湛江码头,1963 年修复了明显腐蚀部位,1979 年检查发现,钢筋胀裂达 21%,1988 年检查发现,钢筋胀裂达 91%,1988 年决定拆除,使用仅 32 年。青岛某盐厂 1989 年投资 3000 万元建成,厂房因严重腐蚀,仅生产 6 年便不得不停产,直接、间接损失达 1 亿元。

1966 年我国某天然气井套管因硫化物应力腐蚀开裂发生井喷,造成特大爆炸和人员伤亡事故,日产百万立方米的高产气井报废;1971 年某天然气管道腐蚀断裂、爆炸,仅第一次爆炸的直接经济损失已达 7000 万元;1979 年由于环境敏感断裂引起某液化气罐爆炸,当场死亡 30 余人、重伤 50 多人;1997 年 6 月 27 日,北京某化工厂 18 个乙烯原料储罐发生大火(因硫化物腐蚀),停产达半年,直接经济损失 2 亿多元,间接损失巨大;2000 年 6 月 16 日,广东某石化厂焦化装置由于高温管道硫化物腐蚀发生重大火灾,造成重大损失;泸州市居民楼前的人行道地下煤气管道突然发生爆炸,附近一层的十多户人家顷刻之间变为废墟,这起爆炸事故共造成 5 人死亡,35 人受伤,多少家庭无燃气可用,影响生活(见图 1-1)。

重庆嘉陵江大桥为一座钢结构公路桥,每年都要对钢梁进行除锈、涂装,有效防护期一年,1978 年大修时发现钢梁有些部位严重腐蚀竟达 2~3mm 厚,南京长江大桥钢梁部分长为嘉陵江大桥的 4 倍,但每年用于钢结构维护费用也仅为嘉陵江大桥的 60%。重庆是个酸雨笼罩的城市,城区水银灯具平均 5 年更换一次,客车铁壳体(厚 1mm)无论怎么维护,一年就锈穿。重庆体育馆 1956 年建成,水泥栏杆受雨水侵蚀,钢筋石子外露,深度大约 0.5~1.0cm,相当于每年 200~400 μm 的腐蚀深度。

1981 年 11 月,我国一架直升机由于 1 号桨叶大梁腐蚀疲劳折断而导致飞机空中解体。1982 年 9 月 17 日,一架日本航空公司的 DC-8 客机在上海机场着陆时,冲出跑道,造成几十人受伤,事后查明是紧急刹车用的高压气瓶内壁应力