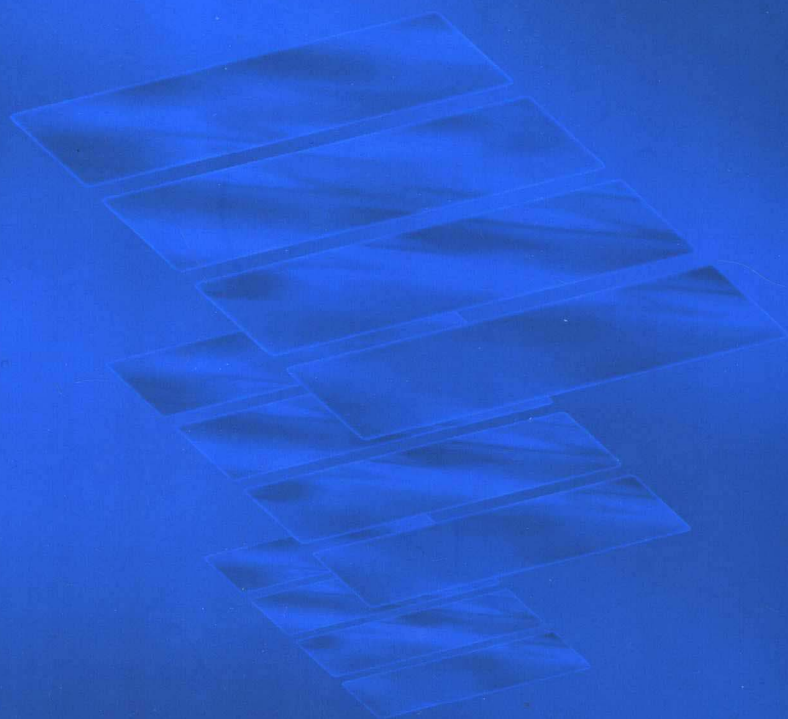


现代腐蚀科学和防蚀技术全书

腐蚀科学技术的应用 和失效案例

柯伟 杨武 主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

现代腐蚀科学和防蚀技术全书

腐蚀科学技术的应用和失效案例

柯伟 杨武 主编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

腐蚀科学技术的应用和失效案例/柯伟, 杨武主编.
北京: 化学工业出版社, 2006. 2
(现代腐蚀科学和防蚀技术全书)
ISBN 7-5025-7829-3

I. 腐… II. ①柯…②杨… III. 腐蚀-案例-分析
IV. TB304

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 127542 号

现代腐蚀科学和防蚀技术全书
腐蚀科学技术的应用和失效案例

柯伟 杨武 主编
责任编辑: 段志兵
责任校对: 顾淑云
封面设计: 潘峰

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京永鑫印刷有限责任公司印刷
三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 36 彩插 4 字数 874 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7829-3

定 价: 78.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换



图3-1 某输油管线腐蚀破裂、原油泄漏污染情况（见第74页）



(a) 解剖所得应力腐蚀裂纹照片



(b) 裂纹从焊趾起发展

图3-9 佛两线噉嘴造成附加应力与 H_2S 协同作用导致的管道硫化物应力开裂照片（见第79页）



图3-14 塔里木油田某一油井油管腐蚀状况（见第81页）

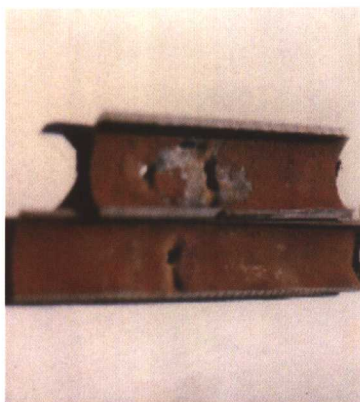


图5-2 省煤器管的停用腐蚀失效
(见第149页)

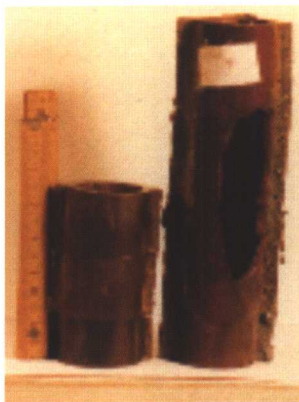


图5-3 亚临界参数锅炉
酸腐蚀脆爆失效
(见第154页)



图5-4 低温过热器管结盐垢
超温爆管
(见第157页)



图5-5 凝汽器空冷区氨蚀
(见第162页)

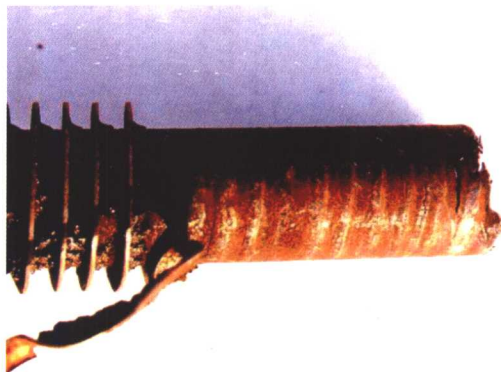


图15-4 进气口翅片管表面环向裂纹形貌
(见第478页)

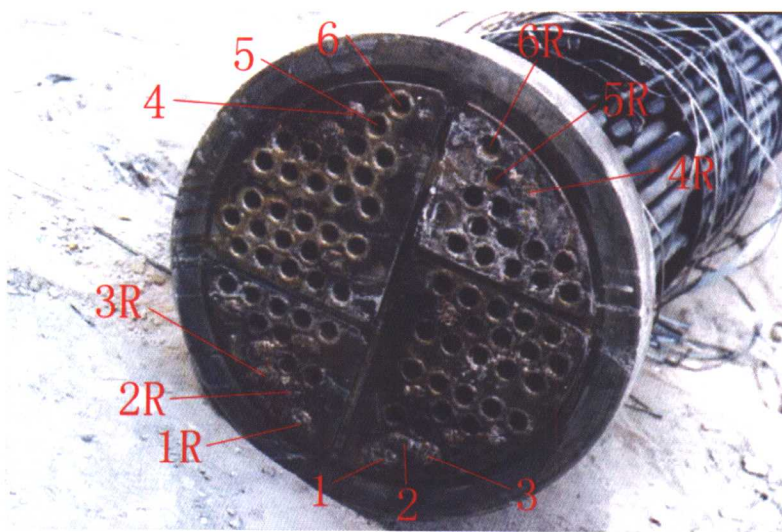


图15-24 氧化铝床预热器堵管和抽管情况 (见第489页)



图16-13 海港挖泥船链环的腐蚀疲劳断口（见第502页）



图16-14 低合金钢过热器管腐蚀疲劳脆性断口（见第502页）



图16-15 低合金钢过热器管外表面沿圆周方向的腐蚀疲劳裂纹（放大6.5倍）
（见第502页）



图16-33 机翼翻板支承臂的宏观形貌
（见第511页）

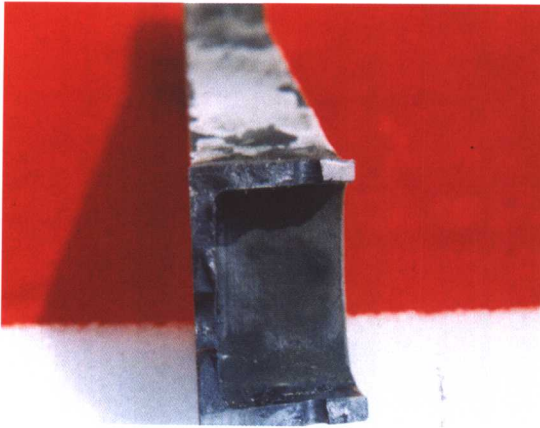


图16-34 机翼翻板支承臂断口的宏观形貌
(见第511页)

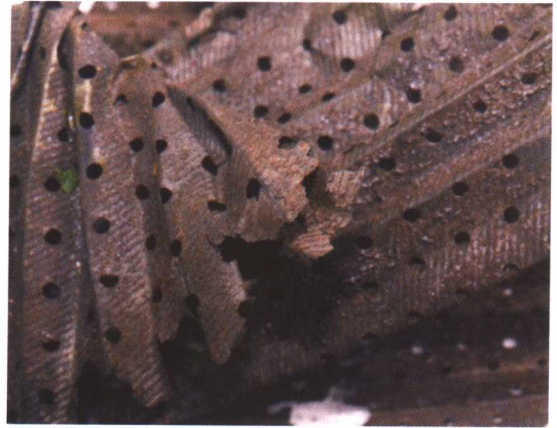


图18-2 填料腐蚀的宏观形貌
(见第530页)



图18-8 滤壳宏观形貌 (见第532页)

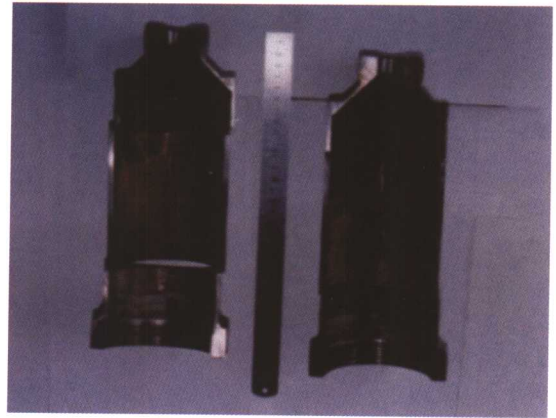


图18-9 滤壳内部宏观形貌 (见第532页)



图18-10 八角螺母焊缝处横截面形貌
(见第532页)

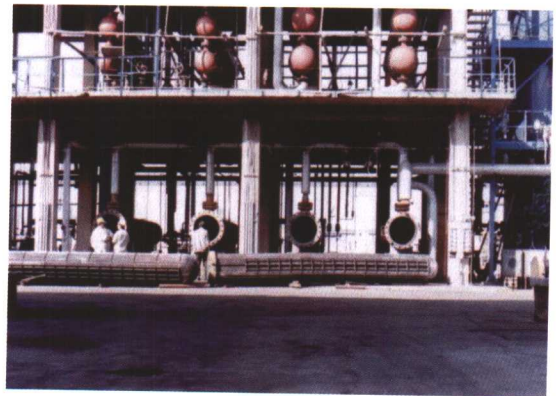


图18-12 柴油加氢换热器外貌
(见第534页)

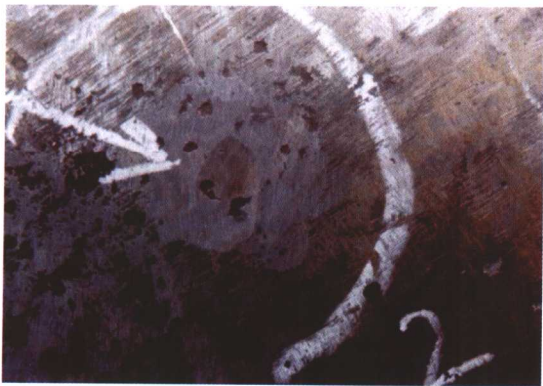


图18-13 第二台换热器腐蚀宏观形貌
(见第534页)

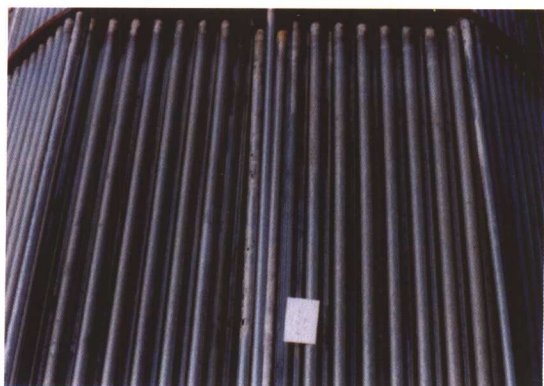


图18-16 管束顶部中间部分腐蚀外貌
(见第536页)



图18-17 部分管束下部腐蚀形貌
(见第536页)

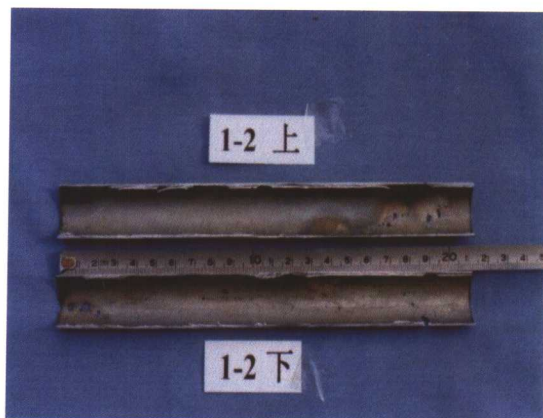


图18-18 解剖的管材形貌
(见第536页)



图18-20 螺杆、螺母和垫片的腐蚀形貌
(见第538页)

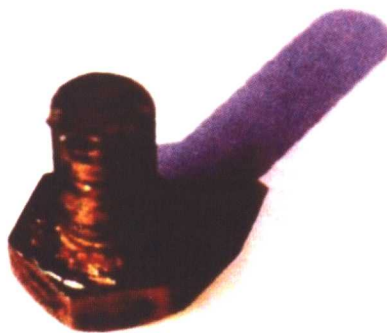


图18-21 螺杆的腐蚀形貌
(见第538页)

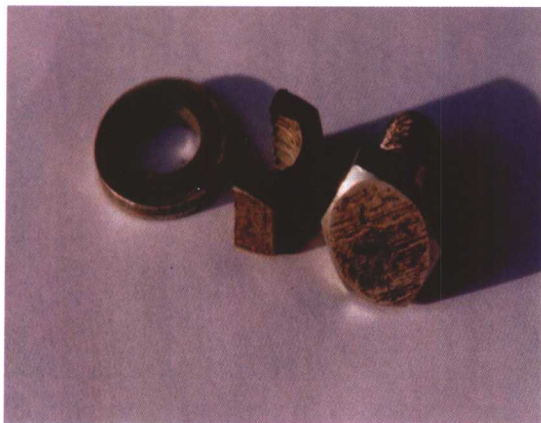


图18-22 螺杆顶部和螺母侧面形貌
(见第538页)

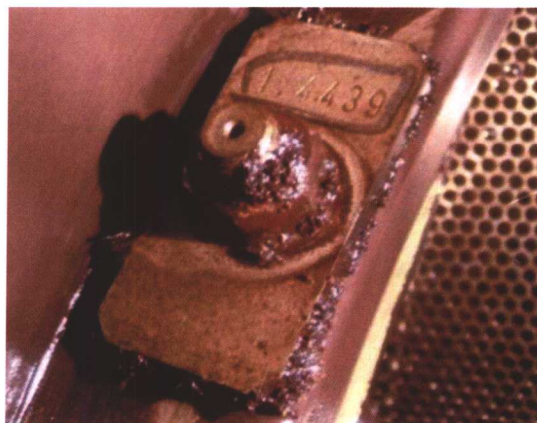


图18-23 现场螺栓腐蚀形貌
(见第538页)

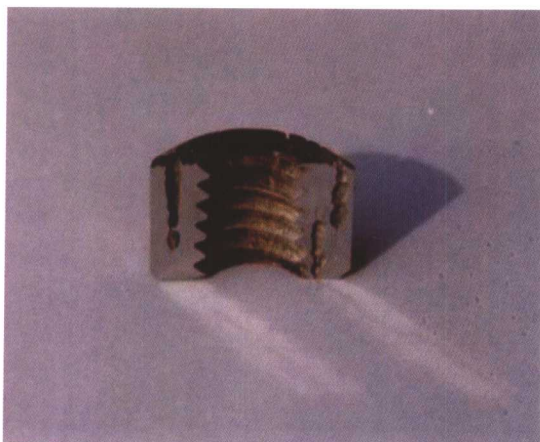


图18-24 螺母纵剖面形貌
(见第538页)



图18-31 腐蚀产物形貌
(见第541页)



图18-37 4#样宏观形貌
(见第547页)



图18-38 5#样宏观形貌
(见第547页)



图18-40 接箍腐蚀后宏观形貌 (见第548页)



图18-41 试验时气泡在最高温度区间产生 (见第549页)



图18-42 宏观照片之一 (见第550页)

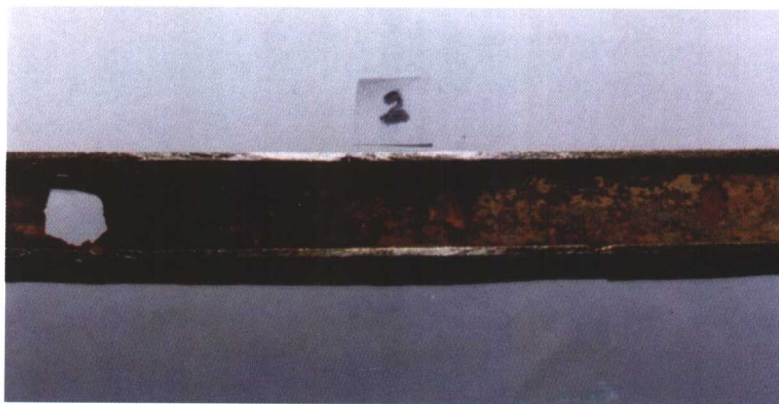


图18-43 宏观照片之二（见第551页）

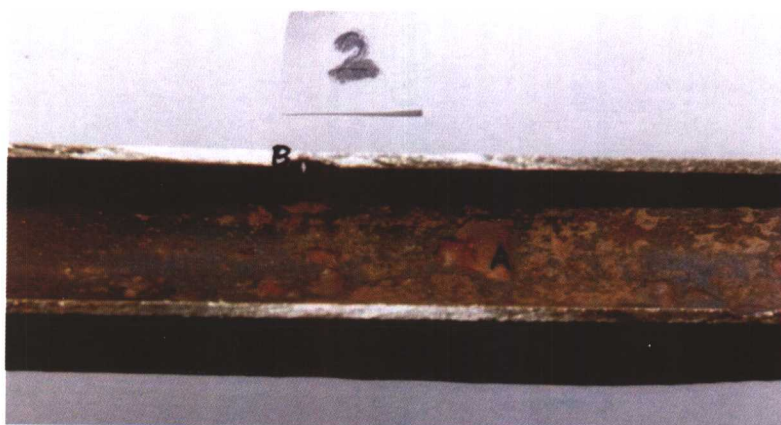


图18-44 宏观照片之三（见第551页）



图18-45 失效阀瓣常面对海水一侧的宏观形貌（见第553页）

序

21 世纪之初，在全世界范围内，已大步地从“传统”的农业社会文明迈入“现代”工业社会文明，少数国家已在考虑“工业后”社会的文明，“可持续发展”已逐渐成为不少国家，包括中国的基本发展战略。

在这种大形势下，材料，从生产到消费，都必须考虑在可持续发展战略指引下工作，因而材料的腐蚀科学和防蚀技术逐渐更为人们重视。金属材料的腐蚀所导致的经济损失，约占国民生产总值（GNP）的 4%；减少材料的腐蚀，不仅可以减少这种经济损失，还可减少环境污染，节约资源和能源。

为了尝试总结并融合当前最新的腐蚀科学理论和防蚀技术的成就，展望本世纪高新技术的要求，中国腐蚀与防护学会和化学工业出版社共同组织编写了这套“现代腐蚀科学和防蚀技术全书”。这套书也是 20 世纪出版的“腐蚀与防护全书”的新版本，旨在用新的形式反映新时期腐蚀与防护的发展水平。希望这套书能直接而高效地为我国经济建设和国防建设服务。

这套书的内容包括材料腐蚀学原理，防腐蚀工程技术，腐蚀试验、检测和监测，腐蚀科学技术的工业应用，共 6 册。从内容、组织和编写，尽可能做到雅俗共赏。希望科研院所、高等院校、工矿企业中对腐蚀科学和防蚀技术有兴趣的广大读者，从阅读中受益。

敬请读者及有关专家指正。

北京科技大学 肖纪美

前 言

工程材料在各种环境介质作用下发生的腐蚀失效是材料破坏失效的主要形式之一，遍及国民经济和国防建设的各领域，造成巨大的损失。我国各条战线上的科技工作者经过数十年坚持不懈的努力，在有关腐蚀科学及防护技术的研究、开发和应用等方面，积累了丰富的经验，取得了不少出色的成绩，为减少或防止各部门由于腐蚀带来的损失，做出了重要的贡献；其中有一些较为早期的成果已经在化学工业出版社 20 世纪出版的“腐蚀与防护全书”的部分分册中得到反映。为了更好地反映腐蚀科学技术在我国各领域的应用的最新进展，特组织了各行业的一部分专家，分别对一些重要领域的腐蚀特点、主要防腐蚀技术、腐蚀科学技术的典型应用实例以及发展动向等，作了比较简要的评述和总结。这构成了本书的上篇——腐蚀科学技术的应用。实际上，在我国还有不少其他行业在腐蚀与防护方面也有很多出色成果，值得编写，但由于各种原因，这次未能包含到本书中。

腐蚀失效事故的分析、处理和预防，在腐蚀科学技术的应用中，占有重要地位。在本书上篇各章中，对于部分行业中的某些典型腐蚀失效案例，已作了较详细的介绍。为了使读者对腐蚀失效分析的特点和全过程以及不同类型腐蚀失效的特征有一概括性的了解，特组织编写了下篇——腐蚀失效案例。其中，第 14 章腐蚀失效分析概论介绍了腐蚀失效分析的目的、步骤、应用的技术、失效事故的处理等；第 15 章～第 18 章为典型腐蚀失效事故案例分析，按照常见的主要腐蚀类型，分类选择部分典型案例予以介绍，便于读者查考。

参加本书各章编写工作的有：韩文安（第 1 章），朱自勇（第 2 章），路民旭（第 3 章），沈承金（第 4 章），窦照英和周军（第 5 章），陈家坚（第 6 章），金石（第 7 章），吴建华（第 8 章），黄建中（第 9 章），杜元龙（第 10 章），张君锋、纪晓春和杨德钧（第 11 章），洪乃丰（第 12 章），杜存山（第 13 章），吴连生和杨武（第 14 章），朱自勇和柯伟（第 15 章～第 18 章）。全书由杨武和柯伟组稿并审定。

由于水平及时间所限，不妥之处在所难免，恳请同行和读者批评指正。

中国科学院金属研究所 柯伟

上海材料研究所 杨武

2005 年 6 月

目 录

上篇 腐蚀科学技术的应用

第1章 化学工业中的腐蚀与防护	3
1.1 化学工业中的腐蚀特点	3
1.1.1 硫酸介质的腐蚀	3
1.1.2 硝酸介质的腐蚀	10
1.1.3 盐酸和氢氟酸介质的腐蚀	15
1.1.4 磷酸介质的腐蚀	19
1.1.5 醋酸和甲酸介质的腐蚀	26
1.1.6 氯碱生产介质的腐蚀	30
1.1.7 尿素生产介质的腐蚀	34
1.2 化学工业中的主要防腐蚀技术	39
1.2.1 选择合适的金属材料	39
1.2.2 选择合适的非金属材料	39
1.2.3 电化学保护	40
1.2.4 降低化工介质的腐蚀性	41
1.3 化学工业中腐蚀科学技术的典型应用实例	42
1.4 化学工业中腐蚀科学技术的发展方向	43
参考文献	44
第2章 石油化学工业中的腐蚀与防护	47
2.1 石油化工生产中的腐蚀特点	47
2.1.1 石油化工生产装置接触的腐蚀介质及影响因素	47
2.1.2 石油化工生产装置损伤、腐蚀类型	58
2.2 石油化工生产中的主要防腐技术及典型应用实例	64
2.2.1 合理选用耐蚀材料	64
2.2.2 正确的防腐结构设计	66
2.2.3 合理的工艺防腐	66
2.2.4 正确的加工制造	67
2.2.5 表面保护技术	68
2.2.6 电化学保护	69
2.3 石油化工生产中腐蚀科学技术的发展动向	69
2.3.1 复合钢板和涂层的进一步应用	69
2.3.2 新型防腐蚀技术的开发	69
2.3.3 监测与检测技术的应用	70
2.3.4 在线安全评定技术	71
参考文献	72
第3章 石油采输工业中的腐蚀与防护	74
3.1 石油采输工业中的腐蚀特点	74
3.1.1 石油管的内腐蚀	74
3.1.2 石油管的外腐蚀	84
3.2 石油采输工业中的主要防腐蚀技术	90
3.2.1 石油管的内腐蚀的防护技术	90
3.2.2 石油管的外腐蚀的防护技术	97
3.3 石油采输工业中腐蚀科学技术的典型应用实例	100
3.3.1 某长输管道的阴极保护设计及运行效果	100
3.3.2 油气管道的腐蚀寿命预测	101
3.3.3 中原油田腐蚀综合控制的情况	103
3.4 石油采输工业中腐蚀科学技术的发展动向	105
3.4.1 油气田腐蚀的综合治理	105
3.4.2 石油管内腐蚀的热点问题	106
3.4.3 石油管外腐蚀的热点问题	108
3.4.4 阴极保护效果和杂散电流腐蚀的数值预测	109
参考文献	110
第4章 煤炭工业中的腐蚀与防护	111
4.1 煤炭生产中的腐蚀特点	111
4.1.1 煤炭在国民经济中的地位	111
4.1.2 煤炭工业生产分类	111

4.1.3	煤炭生产中的腐蚀特点	112	5.3.1	化学清洗用于防止腐蚀和制止 腐蚀的发展	172
4.1.4	煤炭工业腐蚀分类	114	5.3.2	碱处理用于防止锅炉酸腐蚀 失效	174
4.2	煤炭生产中的主要防腐蚀技术	115	5.4	火电工业中腐蚀科学技术的发展 动向	176
4.2.1	涂料涂装	115	5.4.1	防腐蚀水质管理工作	177
4.2.2	电镀技术	119	5.4.2	防腐蚀监测诊断及预警处理 技术	179
4.2.3	热浸镀技术	122	第6章	海洋开发中的腐蚀与防护	181
4.2.4	玻璃钢防腐技术	124	6.1	海洋开发中的腐蚀特点	181
4.2.5	乳化油	126	6.1.1	海水和海洋环境	181
4.2.6	电弧喷涂长效防腐技术	127	6.1.2	海水腐蚀的基本过程及影响 因素	182
4.3	煤炭生产中腐蚀科学技术的典型应用 实例	132	6.1.3	多种腐蚀形态的存在	187
4.3.1	电弧喷涂在煤矿钢结构长效防腐 中的应用	132	6.1.4	海生物对腐蚀的影响	190
4.3.2	重防腐涂料提供煤矿钢结构中等 寿命涂装应用	134	6.2	海洋开发中的主要防腐蚀技术	191
4.3.3	热镀锌技术在矿用钢丝绳防腐中 应用	136	6.2.1	防护涂层	191
4.3.4	电镀技术在液压支架上的 应用	138	6.2.2	阴极保护	195
4.3.5	玻璃钢在井筒梯子间上防腐 应用	139	6.2.3	耐蚀材料	199
4.3.6	煤矿井筒钢结构焊缝防腐技术 应用	140	6.2.4	热喷涂金属涂层	200
4.4	煤炭生产中腐蚀科学技术的发展 动向	141	6.3	海洋开发中腐蚀科学技术的典型应 用实例	200
4.4.1	液压件的防腐蚀发展	142	6.3.1	1998年前北部湾涠洲油田 概况	200
4.4.2	防腐蚀密封材料发展	142	6.3.2	北部湾涠洲油田腐蚀控制系统 工程	201
4.4.3	抗磨蚀材料及技术的发展	142	6.3.3	涠11-4和涠10-3油田硫化氢 腐蚀的控制	203
4.4.4	缓蚀剂的应用	143	6.3.4	希望号储油轮压载水舱海水腐 蚀的控制	206
4.4.5	腐蚀检测技术在煤炭中应用	143	6.3.5	海洋环境腐蚀的控制	209
参考文献		143	6.3.6	北部湾涠洲油田防腐蚀综合 效果	210
第5章	火电工业中腐蚀与防护	145	6.4	海洋开发中腐蚀科学技术的发展 动向	210
5.1	火电工业中的腐蚀特点	145	6.4.1	特种涂料的开发应用	210
5.1.1	火电工业及火电生产	145	6.4.2	阴极保护防护技术的发展 动向	212
5.1.2	火电工业中引起设备失效的腐蚀 及例证	149	参考文献		212
5.2	火电工业中的主要防腐蚀技术	164	第7章	航空航天工业中的腐蚀与防护	213
5.2.1	防止设备腐蚀失效的水质处理 设计	164	7.1	航空航天工业中的腐蚀特点	213
5.2.2	诊断技术及安全性评价用于防止 腐蚀失效	168			
5.3	火电工业中腐蚀科学技术的典型应用 实例	172			

7.1.1 定义	213	动向	288
7.1.2 沿革	214	8.4.1 涂层	288
7.1.3 航空航天器特点	216	8.4.2 阴极保护	289
7.1.4 航空航天器使用环境特点	217	8.4.3 电解防污和污水处理	289
7.1.5 航空航天器的主要腐蚀损伤	227	8.4.4 其他	289
7.2 航空航天工业中主要防腐蚀技术	236	参考文献	289
7.2.1 航空航天工业防腐蚀的目的和意义	236	第9章 汽车工业中的腐蚀与防护	290
7.2.2 防腐蚀管理技术	238	9.1 汽车工业中的腐蚀特点	290
7.2.3 防腐蚀设计技术	239	9.1.1 汽车腐蚀常见类型	290
7.2.4 防腐蚀材料技术与加热加工技术	244	9.1.2 汽车腐蚀发生的部位	291
7.2.5 防腐蚀制造技术	245	9.1.3 服役环境对汽车腐蚀的影响	294
7.2.6 防腐蚀表面技术	247	9.2 汽车工业中腐蚀科学技术的典型应用实例	296
7.2.7 防腐蚀维修技术	248	9.2.1 汽车设计中的防护	296
7.2.8 防腐蚀环境技术	251	9.2.2 汽车制造中的防护	297
7.3 航空航天工业中腐蚀科学技术的典型应用实例	252	9.2.3 汽车服役期间的防护	299
7.4 航空航天工业中腐蚀科学技术发展动向	253	9.3 汽车工业中腐蚀科学技术的发展动向	301
7.4.1 新理论	254	9.3.1 耐蚀新材料的开发与应用	301
7.4.2 新准则	254	9.3.2 涂镀层技术的新发展	303
7.4.3 新材料与新技术	254	9.3.3 涂装新技术	306
参考文献	255	9.3.4 塑料应用的不断扩大	308
第8章 舰船工业中的腐蚀与防护	261	参考文献	310
8.1 舰船工业中的腐蚀特点	261	第10章 电子和微电子装备的腐蚀与防护	314
8.1.1 舰船工业中常用的金属材料	261	10.1 电子装备功能材料和结构材料的耐蚀性	314
8.1.2 影响腐蚀的因素	261	10.2 电子装备所处环境的腐蚀性	318
8.1.3 舰船材料在海洋环境中的腐蚀形态	262	10.2.1 空气中污染物的种类及浓度等级	318
8.1.4 舰船材料在海洋环境中的腐蚀行为	262	10.2.2 电子装备表面的湿润时间	318
8.2 舰船工业中的主要防腐蚀技术	272	10.2.3 电子仪表环境的腐蚀性评价	319
8.2.1 涂覆层	273	10.2.4 电子装备可靠性与腐蚀的关系	320
8.2.2 阴极保护	274	10.3 电子装备的腐蚀特点和类型	321
8.2.3 电解防污技术	283	10.3.1 电子装备的腐蚀特点	321
8.2.4 缓蚀杀生剂	285	10.3.2 电子装备的腐蚀类型	321
8.3 舰船工业中腐蚀科学技术的典型应用实例	287	10.4 电子装备腐蚀的防护措施	323
8.3.1 涂层	287	10.4.1 材料选择和元器件设计	323
8.3.2 阴极保护	287	10.4.2 生产组装	325
8.3.3 电解防污	288	10.4.3 运输和储存	325
8.4 舰船工业中腐蚀科学技术的发展		10.4.4 安装和使用	326

10.5 受到腐蚀或沾污的电子装备的 处理	327	12.2.5 混凝土的中性化	399
10.6 电子装备腐蚀防护研究的发展 动向	328	12.3 钢筋混凝土结构的防护技术	401
参考文献	330	12.3.1 基本措施——提高混凝土自身的 防护能力	401
第11章 冶金工业中的腐蚀与防护	331	12.3.2 附加措施	402
11.1 冶金工业中的腐蚀特点	332	12.3.3 修复工程中的防护技术	411
11.1.1 钢铁工业腐蚀特点	332	12.3.4 工业楼地面、塔、槽罐等的 防护	412
11.1.2 有色冶金工艺介质对金属腐蚀 的特点	337	12.4 钢结构的防护	414
11.2 冶金工业中主要防腐蚀技术	341	12.4.1 设计原则	414
11.2.1 钢铁工业中的主要防腐蚀 技术	341	12.4.2 主要防护方法与材料	414
11.2.2 有色冶金工业中主要防腐蚀 技术	346	12.5 建筑上防腐蚀事业与行业的发展	415
11.3 冶金工业中防腐蚀技术典型 实例	375	12.5.1 建筑防腐材料与工艺技术的 发展	416
11.3.1 钢铁工业中防腐蚀技术典型 实例	375	12.5.2 对建筑腐蚀的诊断、评估技术 与全寿命经济分析	417
11.3.2 有色冶金工业中腐蚀科学技术 的典型应用实例	377	12.5.3 综合技术与行业的发展	421
11.4 冶金工业中腐蚀科学技术的发展 方向	380	参考文献	421
参考文献	381	第13章 铁路运输工业中的腐蚀与防护	423
第12章 建筑腐蚀与防护	383	13.1 铁路运输工业中的腐蚀特点	423
12.1 建筑腐蚀与国民经济的关系	383	13.1.1 铁路桥梁的腐蚀特性	424
12.1.1 国外的经验教训值得吸取	383	13.1.2 机车车辆的腐蚀特性	426
12.1.2 我国建筑腐蚀与经济损失的部 分调查与分析	384	13.1.3 铁路其他金属结构的腐蚀 特性	427
12.1.3 加强腐蚀工作防护, 重视基础 设施的耐久性	388	13.2 铁路运输工业中的主要防腐蚀 技术	428
12.2 钢筋混凝土腐蚀及其主要影响 因素	389	13.2.1 铁路钢桥的防腐蚀技术	428
12.2.1 混凝土的腐蚀形式	389	13.2.2 机车车辆的防腐蚀技术	432
12.2.2 钢筋腐蚀的基本原理	390	13.2.3 内燃机车冷却系统的防腐蚀 技术	435
12.2.3 混凝土对钢筋的保护作用及其 不足	391	13.2.4 铁路其他金属结构的防腐蚀 技术	436
12.2.4 氯离子对钢筋的腐蚀作用	394	13.3 铁路运输工业中腐蚀科学技术的典 型应用实例	436
		13.3.1 铁路钢桥防腐蚀涂装实例	436
		13.3.2 铁路车辆的防腐蚀涂装实例	436
		13.4 铁路运输工业中腐蚀科学技术的发展 动向	439

下篇 腐蚀失效案例

第14章 腐蚀失效分析概论	443	因素	443
14.1 腐蚀失效分析的目的	443	14.1.2 防止同类腐蚀失效重复发生并 提出改进与预防措施	444
14.1.1 查出腐蚀失效的原因及其影响		14.1.3 腐蚀失效分析是机电产品设计、	