

压力容器实用技术丛书

压力容器 腐蚀与控制

任凌波 任晓蕾 编著



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

压力容器实用技术丛书

压力容器腐蚀与控制

任凌波 任晓蕾 编著

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

压力容器腐蚀与控制/任凌波, 任晓蕾编著. —北京:
化学工业出版社, 2003. 6
(压力容器实用技术丛书)
ISBN 7-5025-4469-0

I. 压… II. ①任…②任… III. ①压力容器-腐蚀
②压力容器-防腐 IV. TH49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 040510 号

压力容器实用技术丛书
压力容器腐蚀与控制
任凌波 任晓蕾 编著
责任编辑: 段志兵
文字编辑: 王清顺
责任校对: 李 林
封面设计: 蒋艳君

*

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)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市彩桥印刷厂印刷
三河市延风装订厂装订
开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 39 字数 969 千字
2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-4469-0/TQ·1727
定 价: 80.00 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

丛 书 序

随着科学技术的进步和工业生产的发展,特别是国民经济持续稳定的发展,压力容器已经广泛应用于化工、石油化工、冶金、国防等诸多工业领域及人们的日常生活中,且数量在不断增加,高参数大容积的设备也越来越多。这就对容器的设计、材料、制造、现场组焊、检验、监督、使用、维护、修理、管理等诸多环节提出了越来越高的要求。压力容器又是一种多学科、跨学科、综合性很强的学科,一台压力容器从参数确定到投入正常使用要通过上述各环节及相关各部门的各类工程技术人员共同努力才能实现。要使各类工程技术人员和管理使用者全面掌握容器的各种知识是非常困难的。《压力容器实用技术丛书》就是从这一客观实际需要出发,将容器的各种实用技术做一全面介绍,以满足不同岗位,不同部门的工程技术人员和管理者、使用者对其相关知识,特别是非本职、非本岗位的其他相关知识的了解和掌握,以不断提高我国容器的建造和应用水平。

本丛书共分六册,第一册《压力容器设计知识》,第二册《压力容器用材料及热处理》,第三册《压力容器制造和修理》,第四册《容器的检验及无损检测》,第五册《压力容器安全监察与管理》,第六册《容器腐蚀与控制》,涉及容器的全过程和方方面面知识。这是我国第一套有关容器实用技术的丛书。

本丛书力求重点突出实用性和全面性,对常用标准管辖下的设计、制造、材料、检验等内容进行简化处理,对不常用的和标准中不易查找的内容和背景知识做详细介绍,力求写细、写透、写全。

本丛书还力求突出新颖性和公正科学性,除介绍现有知识内容外,还介绍许多新技术、新材料、新方法、新工艺、新标准。站在全国全行业的立场,公正、科学地反映容器的先进技术水平。

本丛书力求体现国内最新技术和国外技术的发展,邀请了国内 50 多个单位的近百名知名专家和学者参加编审,遍及容器教学、研究、设计、制造、监督、检验、使用等各个方面,反映国内的最新技术内容和研究成果以及国外容器技术的发展和趋势。

本丛书从编写形式上还力求突出适应读者需求和便于查找的特点,对较深较难的理论性问题做通俗化处理,重点介绍相关知识和背景知识,提出相关数据,将国外技术内容与国内技术进行对比。

本丛书由兰州石油机械研究所主编,刘福录教授级高工负责全套丛书的策划和组织工作。各册的负责人为:第一册朱保国,第二册高守成,第三册王增新,第四册王纪兵,第五册陈长宏,第六册任凌波。慕瑞峰同志负责主要的编辑工作。

由于本丛书篇幅浩大,编者甚多,各册和各章节内容的协调和取舍等方面,难免有不妥之处,而且限于编者的水平,错误之处不可避免,恳请广大读者批评指正。

《压力容器实用技术丛书》编写委员会

2003 年 7 月 6 日

序 言

压力容器的破裂往往使国家财产遭受巨大损失，给人民的生命构成严重的威胁。实践证明，大量的压力容器破裂事故又是由化工、石油、化纤、热电、核工业等工业领域所用介质对压力容器的腐蚀造成的。压力容器中的工作压力所形成的拉应力及残余拉应力，在特征介质作用下对容器壳体形成的应力腐蚀所造成的断裂，其危害特别严重。因此，压力容器的腐蚀与控制是一个非常重要的课题。作者根据国际上有关压力容器腐蚀与控制的最新理论，从理论与实践结合的高度，探讨压力容器全面腐蚀、各种局部腐蚀特别是应力腐蚀的成因，提出抑制与消除各种腐蚀的途径和措施，以减少因压力容器腐蚀而造成的经济损失，确保人民生命财产的安全。

作者长期从事压力容器设计、制造、使用维护、缺陷评定等技术管理工作，本书可以看做是实践经验的理论总结，因而是一本理论与实践相结合的好书。书中不少内容是摘自该同志在有关学术会议上的获奖论文和学术报告，并在原有基础上加以修改、充实和提高。

新世纪伊始，编著出版这本书是非常适时和适用的。本书实用性较强，尤为适合从事压力容器领域实际技术工作的工程技术人员阅读参考。该书凝聚了作者对压力容器事业的心血和至诚，我相信这本书的出版，一定会对有关读者有所裨益。遵嘱作序，惟期共同推动压力容器腐蚀与控制技术的进一步发展。

大连理工大学化工学院 教授

王炎炎

2002年3月

前 言

压力容器大量应用于化工、石油、石油化工、能源、核工业、化纤等工业领域。由于应力腐蚀破裂等腐蚀行为造成的压力容器破裂给国家财产和人民生命安全带来了严重的威胁。因此研讨压力容器的腐蚀与控制是一个迫切的极其重要的课题。

本书应用当今世界上有关压力容器腐蚀与控制的最新理论，特别是应力腐蚀和断裂力学的最新理论，探讨压力容器的全面腐蚀和以应力腐蚀破裂为代表的各种局部腐蚀的成因、规律和控制措施，为减少压力容器因腐蚀事故而造成的损失，尽微薄之力。

编著者编写此书的目的是使在压力容器腐蚀与防护第一线工作的工程技术人员能够全面了解有关压力容器腐蚀与防护的最新理论与实践，以期对这项工作有所促进。亦可供从事化工各专业和相关专业学习的大学生参考。

参加本书编写工作的有毕序隆、关守田、王惠普、张福海、张甲赞、孔繁臣、常连科、王爱国、李坤运、于翠枝、苏显昌、齐凌峰、王韬、董凌虹、傅家相、解家录、李东辉、姜新、周晓云、刘玉香、蔡仲鸣、赵生光、张亦飞、李红、崔贵生、黄正昌、黄玉清、刘思明、杨文栋、杭吉民、陈钟秀、邸玉福等同志，全书由任凌波、任晓蕾统一编纂。在本书的编著过程中，得到薛继良、黄载生、吴剑华、金志浩等教授的亲切指导。化学工业出版社和有关部门的领导及许多同志给予了许多支持和帮助，在此一并表示感谢。

本书中引用了部分非法定单位，换算关系见文后附录，以供读者参考。

由于时间仓促和水平有限，不确切和错误之处，请不吝赐教。

编著者

2003年1月 于求索书屋

内 容 提 要

本书为《压力容器实用技术丛书》之一。作者运用压力容器腐蚀与控制课题研究的最新理论,并结合作者在压力容器腐蚀与控制研究中多年积累的实践经验,系统、全面地论述了压力容器中各种腐蚀的机制、成因及影响因素,并提出了相应地具体控制措施。本书对各种金属种类与腐蚀性介质接触多辅以实例说明,具有较强的实用性和指导性。

本书适合从事压力容器领域实际技术工作的工程技术人员阅读参考,也可供相关专业的大学生参考学习。

欢迎订阅表面技术和腐蚀工程专业图书

《腐蚀与防护全书》部分在版图书

- 1 化学工业中的腐蚀与防护/32开/460页/30元
- 2 石油工业中的腐蚀与防护/32开/366页/25元
- 3 实用电镀技术/32开/355页/25元
- 4 金属高温氧化和热腐蚀/32开/298页/29元
- 5 合成树脂与玻璃钢(第2版)/32开/279页/17元
- 6 防腐蚀涂料及涂装(第2版)/32开/263页/18元
- 7 有色金属的耐蚀性及其应用/32开/314/16元
- 8 自然环境中的腐蚀与防护/32开/332页/18元

《现代腐蚀科学和防蚀技术全书》(前3册)

- 1 材料腐蚀学原理/16开/282页/39元
- 2 材料的耐蚀性和腐蚀数据/16开/635页/90元
- 3 防腐蚀表面工程技术/16开/621页/88元

专业工具书

- 1 表面工程手册/16开/895页/90元
- 2 腐蚀数据与选材手册/32开/1032页/80元
- 3 阴极保护工程手册/16开/449页/50元
- 4 实用防腐蚀工程施工手册/16开/1429页/180元
- 5 建筑防腐蚀材料设计与施工手册/16开/384页/50元

其他在版图书

- 1 防腐蚀技术及应用实例/16开/800页/95元
- 2 防腐蚀涂料涂装和质量控制/大32开/493页/36元
- 3 重防腐涂料/32开/259页/20元
- 4 二氧化碳腐蚀与控制/32开/131页/10元
- 5 防腐蚀衬里技术/32开/438页/30元
- 6 腐蚀破坏100例/32开/247页/18元
- 7 水处理、防腐蚀和失效分析1000例/大32开/399页/28元
- 8 火电厂与蒸汽动力设备的腐蚀风险评估与治理/大32开/473页/35元
- 9 工业清洗技术/大32开/524页/35元
- 10 工业清洗及应用实例/大32开/25元
- 11 金属的腐蚀磨损/大32开/38元
- 12 基础设施腐蚀防护和耐久性问答/大32开/268页/19元
- 13 压力容器腐蚀与控制/16开/606页/80元

即将出版的书目

- 1 管道防腐蚀技术/大32开
- 2 桥梁防腐蚀涂装和维修保养/大32开
- 3 丙烯酸树脂防腐蚀涂料及应用/大32开
- 4 有机涂层钢板/16开
- 5 刷镀技术/16开

化学工业出版社 北京市朝阳区惠新里3号(100029)

邮购科: 010-64219168, 84253318(发行部邮购科)

编辑部: 010-64982532(装备·信息出版中心 段志兵)

目 录

第 1 章 压力容器腐蚀概论	1
1.1 压力容器安全运行与腐蚀的关系	1
1.2 压力容器腐蚀的危害及防腐蚀的重要意义	1
1.3 腐蚀与腐蚀环境	3
1.4 压力容器腐蚀的分类	3
第 2 章 压力容器的均匀腐蚀及其控制	5
2.1 压力容器均匀腐蚀的形态	5
2.2 压力容器均匀腐蚀的腐蚀机理	5
2.2.1 化学腐蚀	5
2.2.2 电化学腐蚀	13
2.3 压力容器均匀腐蚀的主要影响因素	19
2.3.1 影响金属化学腐蚀速率的因素	19
2.3.2 影响金属电化学腐蚀速率的因素	24
2.4 压力容器均匀腐蚀的控制	36
2.4.1 正确选用金属材料 and 制定合理的加工工艺	36
2.4.2 选择合适的结构设计	37
2.4.3 腐蚀介质处理	37
2.4.4 电化学保护	38
2.4.5 覆盖层保护	42
2.5 压力容器均匀腐蚀破坏举例与分析	56
第 3 章 压力容器应力腐蚀的原理与判据	59
3.1 压力容器应力腐蚀概述	59
3.1.1 定义与特征	59
3.1.2 应力腐蚀断裂发生的条件	66
3.1.3 压力容器应力腐蚀断裂的危害	66
3.2 压力容器应力腐蚀的原理	67
3.2.1 环境因子方面的假设和理论	67
3.2.2 金属因子方面的假设和理论	71
3.2.3 应力因子方面的假设和理论	74
3.3 压力容器应力腐蚀的影响因素	78
3.3.1 力学因素	78
3.3.2 环境因素	78
3.3.3 冶金因素	82
3.4 断裂力学在压力容器应力腐蚀断裂及控制研究中的应用	88
3.4.1 安全设计方面	88

3.4.2	指导合理选材、用材	89
3.4.3	改进制造工艺,提高产品质量	90
3.4.4	制定科学检验标准	90
3.4.5	正确评价结构可靠性,防止事故	90
3.5	线弹性断裂力学的断裂判据	91
3.5.1	应力强度因子 K_I 及其计算	91
3.5.2	平面应力与平面应变	99
3.5.3	平面应变的断裂韧性 K_{IC} 及其测定	99
3.5.4	线弹性断裂力学的断裂判据	103
3.5.5	断裂力学解决强度问题的方法及其应用	105
3.6	弹塑性断裂力学的断裂判据	107
3.6.1	弹塑性断裂的基本特征	107
3.6.2	弹塑性断裂的分析方法	107
3.7	压力容器裂纹在应力腐蚀中的扩展规律和寿命估算	117
3.7.1	压力腐蚀临界应力强度因子	117
3.7.2	应力腐蚀裂纹扩展速率	119
3.7.3	应力腐蚀下压力容器的寿命估算	120
3.8	压力容器应力腐蚀计算举例	120
第4章	压力容器结构特征和应力水平对应力腐蚀的影响及消除对策	124
4.1	压力容器结构特征和应力水平对应力腐蚀的影响	124
4.1.1	普通内压圆筒压力容器	124
4.1.2	普通外压圆筒压力容器	126
4.1.3	球形压力容器	129
4.1.4	高压容器	139
4.1.5	超高压容器	161
4.1.6	无缝气瓶	166
4.1.7	高温压力容器	171
4.1.8	低温压力容器	178
4.2	控制压力容器结构特征和应力水平对其应力腐蚀影响的途径	185
4.2.1	各类结构压力容器结构特征和应力水平对应力腐蚀影响对比	185
4.2.2	控制压力容器产生应力腐蚀的途径	191
第5章	材料与腐蚀介质组合对压力容器应力腐蚀的影响及控制对策	194
5.1	低碳钢和普通低合金钢与腐蚀介质组合的应力腐蚀及其控制对策	194
5.1.1	碱脆	194
5.1.2	硝脆	199
5.1.3	液氨引起的应力腐蚀	204
5.1.4	硫化物应力腐蚀破裂	205
5.1.5	工业冷却水引起的应力腐蚀	222
5.1.6	碳酸盐引起的应力腐蚀	233
5.2	高强度及中强度结构钢的应力腐蚀	236

5.2.1	近中性水溶液对高强度及中强度结构钢引起的应力腐蚀	238
5.2.2	高温水引起的高强度和中强度钢的应力腐蚀	240
5.2.3	($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HNO}_3$)混合酸引起的高强度钢和中强度钢的应力腐蚀	242
5.3	不锈钢的应力腐蚀	242
5.3.1	不锈钢及其耐蚀特征	242
5.3.2	高温碱在奥氏体不锈钢压力容器中引起的应力腐蚀	245
5.3.3	硫酸对奥氏体不锈钢引起的应力腐蚀	247
5.3.4	连多硫酸对奥氏体不锈钢引起的应力腐蚀	249
5.3.5	氯化物水溶液对奥氏体不锈钢引起的应力腐蚀	250
5.3.6	高温水对奥氏体不锈钢引起的应力腐蚀	255
5.3.7	尿素生产中引起的应力腐蚀	257
5.3.8	控制不锈钢应力腐蚀破裂的主要途径	266
5.4	有色金属合金压力容器的应力腐蚀	270
5.4.1	铜合金的应力腐蚀	270
5.4.2	铝合金的应力腐蚀	284
5.4.3	钛合金的应力腐蚀	292
5.4.4	锆及锆合金在核电站中水反应堆的应力腐蚀	303
5.4.5	镍合金的应力腐蚀	312
5.4.6	镁合金的应力腐蚀	316
第6章	部分特殊压力容器的应力腐蚀破裂及控制途径	321
6.1	制冷装置用压力容器	321
6.1.1	制冷剂与吸收剂	321
6.1.2	制冷装置压力容器用材料	323
6.1.3	制冷装置用压力容器结构特点	325
6.1.4	薄管板结构	326
6.1.5	制冷装置压力容器的应力分析	328
6.2	核工业压力容器	329
6.2.1	核工业中腐蚀性介质和环境的特征	329
6.2.2	核工业设备中的腐蚀	329
6.2.3	辐射线对水及水溶液的分解作用	333
6.2.4	辐射线对电化学过程的影响	335
6.3	液化气体储存压力容器	342
6.3.1	液化气体的性质	343
6.3.2	液化气体储存压力容器的结构与材料	346
6.4	移动式压力容器	350
6.5	快速开关盖式压力容器	353
6.5.1	快开式压力容器的应用领域和基本要求	353
6.5.2	快开式压力容器用材料	355
6.6	非圆形截面压力容器	356
6.6.1	非圆形截面容器的结构	357

6.6.2	非圆形截面容器的应力计算	360
6.6.3	非圆形截面压力容器应力计算的简化	369
6.7	热电厂装置的应力腐蚀	372
6.7.1	铆接锅炉的苛性脆化	373
6.7.2	碱腐蚀引起的应力腐蚀破裂	373
6.7.3	酸腐蚀引起的锅炉应力腐蚀破裂	375
6.7.4	高温锅炉中奥氏体钢由氯离子引起的应力腐蚀破裂	377
6.7.5	凝汽器铜管的应力腐蚀破裂	377
第7章	压力容器的点腐蚀	379
7.1	概述	379
7.2	点腐蚀的影响因素	380
7.2.1	环境因素	380
7.2.2	材料因素	387
7.3	点蚀机理	402
7.3.1	点蚀的产生	402
7.3.2	点蚀的发展	405
7.3.3	点蚀生长动力学	408
7.3.4	点蚀孔的形状	409
7.4	几种常用金属材料的点蚀	410
7.4.1	碳钢的点蚀	410
7.4.2	铜的点蚀	412
7.4.3	铝的点蚀	413
7.4.4	锌的点蚀	413
7.4.5	其他金属的点蚀	414
7.5	点蚀和其他类型腐蚀之间的关系	414
7.5.1	点蚀和缝隙腐蚀的异同点	414
7.5.2	点蚀与应力腐蚀破裂及腐蚀疲劳之间的关系	415
7.6	点蚀的防护与控制措施	416
7.6.1	点蚀缓蚀剂	416
7.6.2	阴极保护	419
7.6.3	合理选择耐蚀材料	419
第8章	压力容器的晶间腐蚀	421
8.1	概述	421
8.1.1	晶间腐蚀的基本概念	421
8.1.2	有关晶间腐蚀的某些金属学知识	422
8.1.3	TTT 曲线和 TTS 图	425
8.1.4	刀口腐蚀——晶间腐蚀的特殊形态	426
8.2	各种合金的晶间腐蚀倾向	427
8.2.1	奥氏体不锈钢	427
8.2.2	铁素体不锈钢	431

8.2.3	马氏体不锈钢	433
8.2.4	奥氏体-铁素体双相不锈钢	433
8.2.5	铁基高镍耐蚀合金	433
8.2.6	镍基耐蚀合金	435
8.2.7	铝及其合金	437
8.2.8	铜合金	439
8.2.9	其他金属材料	439
8.3	晶间腐蚀机理	440
8.3.1	综述	440
8.3.2	贫乏论	440
8.3.3	沉淀相亚稳论	442
8.3.4	亚稳沉淀相理论	444
8.3.5	亚稳相溶解理论 (含晶界吸附学说)	445
8.3.6	应力论	446
8.3.7	沉淀相形貌论	448
8.3.8	腐蚀电化学理论	449
8.4	晶间腐蚀的影响因素	450
8.4.1	冶金因素	450
8.4.2	热处理因素	459
8.4.3	加工工艺	460
8.4.4	环境因素	461
8.5	压力容器晶间腐蚀的防护及控制措施	461
8.5.1	防止和控制奥氏体不锈钢晶间腐蚀的措施	461
8.5.2	防止和控制铁素体不锈钢晶间腐蚀的措施	461
8.5.3	防止其他合金晶间腐蚀的措施	462
第9章	压力容器的成分选择性腐蚀	463
9.1	概述	463
9.1.1	成分选择性腐蚀的发生条件和破坏形式	463
9.1.2	合金在水溶液介质中的成分选择性腐蚀	464
9.1.3	合金在高温条件下的选择性腐蚀	469
9.2	成分选择性腐蚀的影响因素	469
9.2.1	合金成分的影响	469
9.2.2	组织和热处理的影响	470
9.2.3	介质的影响	471
9.2.4	温度的影响	472
9.3	成分选择性腐蚀机理	473
9.3.1	再沉积理论	473
9.3.2	选择溶解理论 (剩余理论)	474
9.4	成分选择性腐蚀的防止和控制措施	482
9.4.1	控制合金成分	482

9.4.2	热处理和组织控制	484
9.4.3	介质的处理和缓蚀剂	485
9.4.4	其他防护方法	486
第 10 章	压力容器的氢致开裂	487
10.1	氢致开裂的机理及其影响因素	487
10.1.1	概述	487
10.1.2	氢腐蚀	488
10.2	高温高压氢腐蚀的机理与防护控制措施	495
10.2.1	高温高压氢腐蚀的机理	495
10.2.2	高温高压氢腐蚀的影响因素	496
10.2.3	高温高压氢腐蚀的防护及抑制措施	497
10.3	低压高温氢腐蚀的机理与防护控制措施	499
10.3.1	低压高温氢腐蚀的机理	499
10.3.2	防护抑制措施	501
10.4	氢鼓泡及白点的机理与防护抑制措施	501
10.4.1	氢鼓泡的机理及防护抑制措施	501
10.4.2	白点的产生机理及防护抑制措施	504
10.5	氢脆	507
10.5.1	可逆的内氢脆	507
10.5.2	环境氢气脆化	511
10.5.3	氢脆机理	513
10.5.4	氢化物脆化	516
第 11 章	压力容器的缝隙腐蚀	520
11.1	概述	520
11.2	缝隙腐蚀的影响因素	522
11.2.1	影响缝隙腐蚀的几何因素	522
11.2.2	环境因素	523
11.2.3	材料因素	527
11.3	缝隙腐蚀机理	534
11.3.1	浓差电池机理	534
11.3.2	缝隙腐蚀的一元化机理	536
11.4	缝隙腐蚀的控制与防护措施	538
第 12 章	压力容器的腐蚀疲劳	540
12.1	概述	540
12.1.1	基本概念	540
12.1.2	腐蚀疲劳的特征	540
12.1.3	腐蚀疲劳的过程	541
12.2	腐蚀疲劳机理	541
12.2.1	气相腐蚀疲劳机理	541
12.2.2	液相腐蚀疲劳机理	542

12.3	交变载荷下的形变与断裂	542
12.3.1	应力-应变曲线	542
12.3.2	应变寿命曲线	544
12.4	影响腐蚀疲劳寿命的因素	546
12.4.1	低周疲劳	547
12.4.2	高周疲劳	549
12.5	裂纹的形成与扩展及其影响因素	551
12.5.1	裂纹的形成	551
12.5.2	影响裂纹扩展的因素	552
12.6	腐蚀疲劳的防护及控制措施	555
第13章	压力容器的摩耗腐蚀	557
13.1	微动腐蚀	557
13.1.1	现象与机理	557
13.1.2	微动腐蚀的防护及控制措施	558
13.2	冲击腐蚀	559
13.2.1	冲击腐蚀现象及影响因素	559
13.2.2	冲击腐蚀的防护控制措施	560
13.3	空泡腐蚀	561
13.3.1	空泡腐蚀的现象及影响因素	561
13.3.2	空泡腐蚀的防护及控制措施	562
第14章	压力容器腐蚀的监测	564
14.1	概述	564
14.1.1	压力容器腐蚀监测的意义	564
14.1.2	采用腐蚀监测的理由	564
14.1.3	压力容器腐蚀监测技术综述	565
14.2	电阻法	569
14.2.1	概述	569
14.2.2	仪器装置	569
14.2.3	探头设计	570
14.2.4	安装及使用	571
14.2.5	误差来源	572
14.3	极化阻力技术	573
14.3.1	概述	573
14.3.2	监测仪表	574
14.4	电位监测	580
14.4.1	概述	580
14.4.2	监测仪表	581
14.4.3	探头设计	581
14.4.4	电位监测的应用	582
14.4.5	适用范围	584

14.5 无损检验 (NDE) 技术	585
14.5.1 概述	585
14.5.2 光学法	586
14.5.3 磁粉法和染色渗透技术	586
14.5.4 涡流技术	586
14.5.5 超声技术	587
14.5.6 放射性显示技术	587
14.5.7 热象显示技术	588
14.5.8 声发射技术	588
14.5.9 探测块及类似器件	588
14.6 挂片试验、分析法和氢监测	588
14.6.1 挂片试验	588
14.6.2 分析法和氢监测	590
14.7 压力容器腐蚀监测技术的实例	592
14.7.1 压力管道厚度监测	592
14.7.2 冷却器泄漏监测	592
14.7.3 工业冷却水中缓蚀剂加入量的控制	593
14.7.4 蒸馏塔的应力腐蚀破裂	593
14.7.5 间歇加工过程中的腐蚀问题	595
14.7.6 既定过程中的意外腐蚀	596
14.7.7 空泡腐蚀监测	597
14.8 腐蚀监测技术的发展趋势	597
14.8.1 原电池测量——零电阻电流表	597
14.8.2 原电池测量——阳极激发技术	600
14.8.3 交流阻抗测量	601
14.8.4 谐振频率测量	602
14.8.5 应用激光测定氧化膜厚度	602
14.8.6 放射化学技术——薄层激活技术	602
参考文献	604
附录 部分非法定单位换算关系	606

第1章 压力容器腐蚀概论

1.1 压力容器安全运行与腐蚀的关系

压力容器是工业生产中的常用设备。化学工业、石油工业、化纤工业、火力发电、核电工业等领域的许多生产工艺过程都需要在“加压”的条件下进行，这些生产工艺过程的主要设备大部分是压力容器。可以说，没有压力容器就没有完整的现代经济。

压力容器又是比较容易发生破坏事故的一种设备。英国原子能局有关单位的调查资料表明，使用年限在30年以内、符合BS 1500和BS 1515等英国压力容器标准的12700台压力容器及其连接系统，这些容器累计运行数为100300台·年，共发生破坏事故132次，其中“灾难性的”（指容器报废或返修工作量很大以及造成重大的破坏等）破坏事故7次，破坏率为 13.2×10^{-4} 次·台⁻¹·年⁻¹，即在1万台压力容器中，每年发生破坏事故13.2次。根据原西德技术检验协会的反应堆安全委员会的调查、统计、分析，24万台压力容器共发生破坏事故（包括“粉碎性的”、“潜在粉碎性的”和“不危险的”）547次，破坏率为 22.8×10^{-4} 次·台⁻¹·年⁻¹。这些统计资料表明，压力容器的破坏率是相当高的。

腐蚀严重地影响压力容器的安全运行和使用寿命。每年由于腐蚀所造成的经济损失，相当于一个国家国民经济总产值的1.25%~3.5%，因设备腐蚀而耗费的钢材约占钢总产量的24%~40%。目前，国外因设备腐蚀造成的生产事故约占全部事故的1/3以上，而高温腐蚀事故占腐蚀事故总数的78%左右，且主要是由应力腐蚀破裂和氢脆引起的，仅应力腐蚀就占35%。除此以外，晶间腐蚀、点蚀、缝隙腐蚀、腐蚀疲劳也是造成腐蚀破坏的重要原因。除给生产造成困难外，压力容器的破坏事故还严重地危及人身安全和环境。因为化工、石油、石油化工生产过程经常是在高温、高压条件下进行的，物料介质又多为易燃、易爆和有毒物质，一旦压力容器爆炸，后果不堪设想。压力容器腐蚀破裂很容易产生2次爆炸、连锁爆炸或造成大面积中毒，其危害甚为严重。压力容器破裂爆炸，不仅仅容器本身遭到毁坏，而且还往往会破坏周围的设备及建筑物，并造成人身伤亡事故。因为压力容器内的介质都是有压力的气体或饱和液体，容器破裂时，这些介质即卸压膨胀，瞬间放出较大的能量，这些能量除了可以将整个容器或其碎块以很高的速度飞散外，还会产生冲击波，在大气中传播，造成更大的破坏。化工和石油工业用的压力容器如果在运行中发生事故，除了由于容器本身破裂爆炸所造成的破坏以外，还会由于其内部介质的向外扩散而引起化学爆炸、着火燃烧或恶性中毒，核压力容器的腐蚀破裂还会造成强烈的中子辐射，对国家和人民的生命财产造成更严重的损失。

虽然破坏率比较高，但这并不意味着压力容器事故是不可避免的。压力容器的安全运行也是有一定客观规律可循的。对压力容器来说，采取切实可行的措施，预防和控制其能造成破坏的各种腐蚀，特别是应力腐蚀破裂和氢脆，是保证压力容器安全运行头等重要的大事。

1.2 压力容器腐蚀的危害及防腐蚀的重要意义

压力容器的腐蚀除了造成压力容器破坏断裂，形成灾难性的危害以外，还有以下几方面