



压力容器实用技术丛书

压力容器 检验检测

第二版

The Second Edition

《压力容器实用技术丛书》编写委员会 组织编写

王纪兵 主编



化学工业出版社

压力容器实用技术丛书

压力容器 检验检测

第二版

The Second Edition

《压力容器实用技术丛书》编写委员会 组织编写

王纪兵 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是“压力容器实用技术丛书”之一。本书系统、全面地阐述了压力容器在制造、使用等各个环节中的检验检测过程，主要包括压力容器检验检测相关法规和标准、制造检验、在役检验、无损检测、基于风险的检验等内容，能满足广大压力容器检验工作者的需求。本书反映了我国压力容器检验检测技术进入21世纪后取得的巨大进步，并融入了作者在长期工作实践中总结出的检验技术路线和方法，对提高检测人员技术水平有很大的帮助。

本书适合压力容器设计、制造、使用和管理工程技术人员查阅和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

压力容器检验检测/王纪兵主编. —2版. —北京: 化学工业出版社, 2016.5

(压力容器实用技术丛书)

ISBN 978-7-122-26601-9

I. ①压… II. ①王… III. ①压力容器-检测 IV. ①TH49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 059419 号

责任编辑: 张兴辉 曾 越

装帧设计: 王晓宇

责任校对: 王 静

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 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 38 $\frac{3}{4}$ 字数 904 千字 2016 年 6 月北京第 2 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: 188.00 元

版权所有 违者必究

《压力容器实用技术丛书》编写委员会

主任委员 张延丰

副主任委员 涂善东 刘福录 王纪兵 寿比南

委 员 (按姓氏笔画排序)

万网胜	王 宏	王为国	王纪兵	王晓雷	王增新
刘福录	朱保国	汤晓英	寿比南	严 勇	李 军
李世玉	李志义	李培中	吴树雄	吴恭平	沈 钢
宋小江	宋继红	张 矛	张 凯	张延丰	张迎恺
张建荣	陈长宏	陈建玉	赵云峰	赵志农	段 瑞
俞树荣	姜国锋	费继增	贾国栋	高尚朴	高继轩
郭文元	郭志军	涂善东	曹 岩	龚 宏	程真喜
舒文华	谢铁军	解 庆	熊金平	缪春生	潘家祯

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求出发，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。

《压力容器实用技术丛书》共分六册，第一册《压力容器设计知识》，第二册《压力容器材料及选用》，第三册《压力容器制造和修理》，第四册《压力容器检验检测》，第五册《压力容器安全与管理》，第六册《压力容器腐蚀控制》，涉及容器的全过程和方方面面的知识。这是我国第一套有关压力容器实用技术的丛书，本书为第一版成功发行和使用10年后的第二次出版。邀请了国内多个单位的上百名知名专家和学者参加编审。

《压力容器实用技术丛书》修订的基本原则是与现行法律法规和国家标准统一，符合现行法律法规和压力容器常用标准（主要是《固定式压力容器安全技术监察规程》、GB 150），侧重一些标准之外的新知识、新理念和新的设计思想，公平、公正、科学地反映容器的先进技术水平；体现国内最新技术和国外容器技术的发展趋势；将国内外技术内容进行对比，以满足国际国内技术交流与合作的需要；突出写些关于在容器这方面比较权威的心得体会经验，坚持原创风格。

《压力容器实用技术丛书》重点突出实用性和全面性，对一些容器制造和使用现场出现的一些小故障等能提供一些解决方案，突出现场实用性的要求。例如，《压力容器安全与管理》和《压力容器腐蚀控制》突出现场使用、维护、管理、维修等实用性的内容。本丛书遍及容器教学、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。本次修订内容将更全面、更深入，突出查阅和应用的功能，而不仅仅是指导书。

《压力容器实用技术丛书》由甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司牵头组织，《压力容器实用技术丛书》编写委员会组织编写，丛书责任主编刘福录。各分册主编为：第一册朱保国，第二册程真喜，第三册王增新，第四册王纪兵，第五册陈长宏、吴恭平，第六册郭志军。雒淑娟负责丛书的文秘工作。

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，不足之处不可避免，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

前 言

压力容器的检验检测是保证压力容器安全运行的最重要的环节之一。在压力容器检验检测中,首先应认识压力容器的失效模式,能够发现影响其安全使用的缺陷,然后对缺陷影响安全的程度进行判断,同时对缺陷的发展趋势进行预测。这样形成一个完整的压力容器检验过程。检验人员对检验技术的掌握和对压力容器的认识在检验中起着决定性的作用。在检验中的失误很可能导致压力容器灾难性事故的发生。压力容器检验检测涉及强度、材料、焊接、无损检测、热处理、腐蚀等多学科、多专业的知识。本书重点在于全面地描述压力容器在制造、使用等各个环节的检验,并力图将各个过程涉及的相关知识介绍清楚,尽量给出相关理论知识的出处及与其相关的标准名录。笔者试图将我国压力容器检验检测在进入21世纪后取得的巨大进步予以反映,并根据多年的实践经验给出一些特定压力容器检验中的技术路线及方法,指导检验人员提高技术水平。在本书中笔者还首次将压力容器安全性能监督检查的相关技术做了系统地介绍。

本书的出版是为了满足广大压力容器检验检测工作者需求,使检验检测工作者中的初学者通过对本书的学习,能够掌握压力容器检验检测的基本知识。对于具有一定经验的检验检测工作者,通过对本书的学习,可以系统地总结检验检测的相关知识,提高检验检测水平。同时也可使从事压力容器设计、制造、使用和管理等工作的人员对压力容器的相关检验检测知识有一个系统的了解。

参加本书各章节的编写人员分别是:第1篇第1章由王纪兵(甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司)、高继轩(国家质监总局特种设备局)、谢铁军(中国特种设备检测研究院)、赵云峰(大连特种设备检测研究院)、张玉福(机械工业上海蓝亚石化设备检测服务有限公司)、周文学(兰州冠宇传热与节能工程技术研究有限公司),王晓雷、王为国(中国特种设备安全与节能促进会)编写;第2章由王纪兵、高继轩、谢铁军、王春生(中石油乌鲁木齐石化分公司)、周文学、张玉福编写;第3章由杨博(上海市特种设备监督检验技术研究院)、汤晓英(上海市特种设备监督检验技术研究院)编写。

第2篇第4章由王志亮(江苏省特种设备检测研究院)、缪春生编写;第5章由王志成(江苏省特种设备检测研究院)、缪春生编写;第6章和第7章由浦江(江苏省特种设备检测研究院)、缪春生编写;第8章由王志亮编写;第9章由宋高峰编写;第10章10.1由郭传江(大连特种设备检测研究院)、赵云峰编写,10.2由伊军(大连特种设备检测研究院)、张英俊(大连特种设备检测研究院)、赵云峰编写,10.3由贾宏梅(大连特种设备检测研究院)、赵云峰编写,10.4由于丛涓(烟台特种设备检测研究院)、李培中(烟台特种设备检测研究院)编写。

第3篇第11章由张转连(大连特种设备检测研究院)编写,第12章12.1由王纪兵编写,12.2和12.3由李军(甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司)编写,12.4由薛小龙(上海市特种设备监督检验技术研究院)、贾国栋(国家质监总局特种设备局)、汤晓英编写;12.5由杨熙(新疆特种设备检测研究院)、张金伟(机械工业上海蓝亚石化设备检测服务有限公司)编写;12.6由宋高峰、王纪兵编写;第13章由吴学纲(机械工业上海蓝亚石化设备检测服务有限公司)编写;第14章由汤晓英、薛小龙、贾国栋、李军、宋文明(甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司)编写;第15章由王纪兵、王洁璐(兰州理工大学)编写;第16章16.1由张转连编写,16.2~16.4由王纪兵、张玉福、王春生、王玮(中石油乌鲁木齐石

化分公司)编写,16.5由冯明光(烟台特种设备检测研究院)、李培中编写,16.6、16.7由汤晓英、肖飏(上海市特种设备监督检验技术研究院)编写,16.8由路镜远(烟台特种设备检测研究院)、李培中编写,16.9由宋文明编写,16.10由孟繁信(烟台特种设备检测研究院)、李培中编写。

第4篇第17章由李军、王忠(机械工业上海蓝亚石化设备检测所有限公司)编写,第18章18.1由左延田(上海市特种设备监督检验技术研究院)、汤晓英、李军、王广坤(北京航星机器制造有限公司航星宏达分公司)编写,18.2~18.5由左延田编写,18.6由王纪兵编写,18.7由李剑容编写,18.8由李军编写,18.9由左延田编写,18.10由王广坤编写。

第5篇由顾福明(上海市特种设备监督检验技术研究院)、汤晓英、薛小龙编写。

本书由刘福录、高继轩、谢铁军、张延丰审定。在编写过程中,得到了甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司、中国特种设备检测研究院、大连特种设备检测研究院、国家质监总局特种设备局、中石油乌鲁木齐石化分公司、上海市特种设备监督检验技术研究院、江苏省特种设备检测研究院、烟台特种设备检测研究院、新疆特种设备检测研究院、机械工业上海蓝亚石化设备检测所有限公司、兰州理工大学、兰州冠宇传热与节能工程技术研究有限公司等单位的大力支持和协助,兰州冠宇传热与节能工程技术研究有限公司的陈战杨为本书做了大量的联络工作,在此一并表示感谢。

编者

目 录

第 1 篇 概 论

第 1 章 压力容器检验检测的意义及发展方向	2	标准	9
1.1 压力容器检验检测的意义	2	第 3 章 压力容器检验检测机构、人员及装备	10
1.2 压力容器检验检测的发展方向	2	3.1 特种设备检验检测机构、人员概念及基本要求	10
1.2.1 检测技术的发展方向	3	3.1.1 特种设备检验检测机构、人员概念	10
1.2.2 检验基础理论的发展方向	3	3.1.2 《特种设备安全法》对特种设备检验检测的基本要求	10
第 2 章 压力容器检验检测的种类及法规标准体系	5	3.2 压力容器检验检测机构、人员及装备要求	11
2.1 压力容器检验检测的分类	5	3.2.1 压力容器检验机构的核准项目及核准要求	12
2.1.1 投用前的检验	5	3.2.2 压力容器检验人员考核要求	18
2.1.2 在役检验	6		
2.1.3 基于风险的检验 (RBI)	7		
2.2 我国特种设备法规标准体系	8		
2.2.1 特种设备法规标准体系	8		
2.2.2 压力容器检验检测法规			

第 2 篇 压力容器制造检验

第 4 章 材料验收与检验	20	要求	33
4.1 材料质量控制系统	20	4.3.7 材料的复验	35
4.1.1 材料质量控制系统 的建立和运行	20	4.4 制造过程中材料的检验	35
4.1.2 材料的质量控制	21	4.4.1 材料代用	35
4.2 压力容器用材基本要求	23	4.4.2 材料标记移植	35
4.2.1 压力容器用材的通用 要求	24	第 5 章 成形与装配	37
4.2.2 产品标准对压力容器用材 要求	25	5.1 常用成形工艺及其质量控制	37
4.2.3 法规对压力容器用材 要求	27	5.1.1 冷成形与热成形	37
4.3 材料的验收和复验	31	5.1.2 筒体弯卷成形	38
4.3.1 原材料的进厂验收原则	31	5.1.3 封头成形	41
4.3.2 主要受压元件验收的通用 要求	31	5.2 组对装配工艺及质量控制	46
4.3.3 外协件、外购件的验收	32	5.3 成形与装配的检验	48
4.3.4 焊材的验收	33	5.3.1 外观检验	48
4.3.5 境外牌号材料和新材料的 验收	33	5.3.2 几何尺寸	49
4.3.6 其他金属材料验收的特殊 要求		第 6 章 焊接质量控制与检验	58
		6.1 焊接质量控制与检验基本 内容	58
		6.1.1 焊接质量控制与检验的主要 程序及内容	58
		6.1.2 焊接质量检验方式	58
		6.2 焊接材料质量控制与检验	61

6.2.1	焊材库要求	61	控制	113
6.2.2	出入库及库存	61	7.5 热处理质量的检验方法	116
6.2.3	焊接材料使用过程中的管理	62	7.5.1 化学成分检验	116
6.3	焊接工艺质量控制与检验	62	7.5.2 金属材料宏观检验与组织分析	117
6.3.1	焊接工艺评定	63	第8章 无损检测	121
6.3.2	焊接工艺规程	65	8.1 无损检测质量控制	121
6.3.3	焊接作业指导书(WWI)	68	8.2 无损检测方法的选择	126
6.4	焊接人员管理	70	8.2.1 无损检测方法的选择	126
6.4.1	焊接人员档案	70	8.2.2 无损检测新技术的使用	127
6.4.2	焊接操作人员培训考核	71	8.3 无损检测的实施	127
6.4.3	焊工资格审查	71	8.3.1 无损检测实施的要求	128
6.4.4	焊工钢印	72	8.3.2 材料、零部件的无损检测	129
6.5	焊接过程质量控制与检验	73	8.3.3 制造过程中的无损检测	131
6.5.1	焊接前的准备	73	8.3.4 产品的无损检测	131
6.5.2	焊接过程的质量控制	75	8.3.5 无损检测实施案例	131
6.6	焊接后的质量检验	79	第9章 压力容器出厂要求	138
6.6.1	焊接缺陷	80	9.1 出厂资料	138
6.6.2	焊缝的外观检验	90	9.1.1 容器竣工图	138
6.6.3	焊接质量检验	91	9.1.2 容器产品合格证	138
6.6.4	产品焊接试件	92	9.1.3 产品数据表	139
6.6.5	焊缝返修	93	9.1.4 产品质量证明文件	140
第7章 热处理质量控制与检验		95	9.2 产品铭牌	140
7.1 概述		95	9.3 容器的涂敷与运输包装	142
7.1.1 压力容器制造热处理的作用		95	9.3.1 表面准备	142
7.1.2 热处理质量控制与检验的内容及程序		95	9.3.2 油漆的选用	142
7.2 热处理基础条件质量控制		97	9.3.3 油漆涂敷	142
7.2.1 热处理设备及仪表的技术要求		97	9.3.4 设备包装	143
7.2.2 热处理工艺材料的技术要求		102	9.3.5 发货标志	143
7.2.3 热处理人员和作业环境的技术要求		103	第10章 典型压力容器制造及检验技术	144
7.3 热处理前的质量控制		103	10.1 加氢反应器制造及检验技术	144
7.3.1 热处理零件设计的质量控制		103	10.1.1 加氢工艺及设备	144
7.3.2 热处理工艺设计的质量控制		109	10.1.2 加氢反应器使用中的问题	145
7.3.3 原材料的质量控制		110	10.1.3 加氢反应器的主体材料	147
7.3.4 热处理参数的选择		111	10.1.4 主体的焊接	156
7.4 热处理过程中的质量控制		112	10.1.5 堆焊	160
7.4.1 热处理前的准备		112	10.1.6 中间及焊后热处理	168
7.4.2 压力容器制造热处理过程			10.1.7 制造过程中的检验及试验	172
			10.2 多层包扎结构的尿素合成塔制造及检验技术	178

10.2.1	尿素工艺及设备	178	设备	200	
10.2.2	尿素设备腐蚀	179	10.3.3	腐蚀	201
10.2.3	尿素合成塔设备结构	180	10.3.4	制冷装置用压力容器的材料	203
10.2.4	尿素合成塔主体材料	183	10.3.5	制造与检验	206
10.2.5	尿素合成塔制造与检验技术要求	187	10.4	医用氧舱监督检验	212
10.2.6	尿素合成塔典型问题	194	10.4.1	概述	212
10.3	制冷装置用压力制造及检验技术	199	10.4.2	医用氧舱的结构特点	213
10.3.1	制冷系统组成及工作原理	199	10.4.3	医用氧舱制造、安装检验	215
10.3.2	制冷装置用压力容器		10.4.4	氧舱制造、安装监督检验	219

第3篇 在役检验

第11章 压力容器定期检验前的准备

工作	236	
11.1	使用单位和检验单位的准备	236
11.1.1	使用单位的准备工作	236
11.1.2	检验单位的准备工作	236
11.1.3	现场调查	237
11.2	检验方案的制定	238
11.3	现场安全准备工作	239
11.4	其他安全事项	242
11.4.1	耐压试验和气密性试验	242
11.4.2	快开门式压力容器	242
11.4.3	液化石油气容器	242
11.5	常见有害介质的安全防护	243
11.5.1	烃类蒸气	243
11.5.2	液态烃	244
11.5.3	硫化氢	244
11.5.4	硫化铁	244
11.5.5	其他有害物质	244
11.6	HSE 作业计划书	244
11.6.1	政策和目标	245
11.6.2	作业项目概况	245
11.6.3	压力容器检验作业初始风险评价报告	245

第12章 压力容器定期检验项目

12.1	宏观检验	247
12.1.1	宏观检验的目的及作用	247
12.1.2	宏观检验的内容	247
12.1.3	宏观检验缺陷的处理	249
12.2	壁厚测定	250

12.2.1	壁厚测定的内容	250
12.2.2	超声波测厚仪	250
12.2.3	超声波测厚仪的测试与校准	253
12.2.4	压力容器壁厚测量	254
12.2.5	壁厚测量中常见问题	255
12.3	无损检测	258
12.3.1	概述	258
12.3.2	表面缺陷无损检测	259
12.3.3	埋藏缺陷无损检测	263
12.3.4	换热管(反应管)无损检测	273
12.3.5	从外部检测内部的无损检测方法	274
12.4	强度校核	276
12.4.1	强度校核的理论基础	277
12.4.2	典型容器的强度校核	279
12.4.3	在役压力容器强度校核的注意事项	281
12.4.4	压力容器的其他校核方法	283
12.5	耐压试验	288
12.5.1	耐压试验的目的及作用	288
12.5.2	试验介质	289
12.5.3	试验温度	290
12.5.4	试验压力	290
12.5.5	试验程序和要求	292
12.5.6	不宜做耐压试验的几种情况	295
12.6	泄漏试验	296
12.6.1	气密性试验	296

12.6.2	氨检漏试验	296	14.2.2	非金属压力容器	352
12.6.3	氨检漏试验	298	14.3	压力容器安全状况等级评定的 技术和管理基础	354
12.6.4	卤素检漏试验	302	14.3.1	压力容器安全状况等级评定 的原则	354
第13章	理化检验	304	14.3.2	材料与压力容器安全状况 等级评定	354
13.1	概述	304	14.3.3	结构与压力容器安全状况 等级评定	355
13.2	硬度测定	305	14.3.4	缺陷与压力容器安全状况 等级评定	356
13.2.1	硬度定义及硬度检测 意义	305	14.3.5	其他因素与压力容器安全 状况等级评定	369
13.2.2	硬度检验方法	306	14.4	合于使用评价	371
13.2.3	布氏硬度	307	14.4.1	合于使用评价的目的和 要求	371
13.2.4	洛氏硬度	308	14.4.2	合于使用评价方法及评价 准备	372
13.2.5	维氏硬度	310	14.4.3	断裂与塑性失效评定	373
13.2.6	里氏硬度试验	312	14.4.4	疲劳失效评定	386
13.2.7	超声波硬度测试	315	第15章	压力容器在线检验	392
13.2.8	各种硬度值的换算及与其他 力学性能的关系	317	15.1	压力容器在线检验的目的	392
13.3	金相检验	320	15.2	在线检验部位	393
13.3.1	金相检验的目的及 作用	320	15.3	压力容器在线检验检测方法的 选择	393
13.3.2	压力容器用钢板金相组织 特点	320	15.4	在线检验时机	395
13.3.3	钢的宏观检验	324	15.5	在线检验管理	395
13.3.4	金相显微组织检验	324	第16章	典型压力容器的检验	397
13.3.5	在用压力容器材料金相组织 中常见缺陷及检验	329	16.1	炼油催化装置再生器的 检验	397
13.3.6	现场金相试样的制备	334	16.1.1	检验的一般内容	397
13.4	化学成分分析	335	16.1.2	检验的重点部位	398
13.4.1	化学分析概述	335	16.1.3	常见的损伤模式	399
13.4.2	分析试样的制备和前 处理	336	16.1.4	检验实例	400
13.4.3	传统化学分析法	337	16.2	加氢反应器的检验	401
13.4.4	其他实验室分析方法	339	16.2.1	加氢反应器的失效 模式	402
13.4.5	适用于在役设备的仪器分析 方法	340	16.2.2	加氢反应器的检验	406
13.4.6	分析方法的选择	341	16.3	液化石油气储罐的检验	409
13.5	铁素体含量测定	342	16.3.1	液化石油气储罐的使用特点 及失效模式	409
13.5.1	不锈钢中铁素体的 作用	342	16.3.2	液化石油气储罐的 检验	414
13.5.2	铁素体含量的控制及 测量	343	16.4	焦炭塔的检验	415
第14章	安全状况等级评定	347	16.4.1	焦炭塔的使用特点	415
14.1	压力容器安全状况等级评定的目的 和意义	347	16.4.2	焦炭塔的失效模式	416
14.2	压力容器安全状况等级评定的 规定	348			
14.2.1	金属压力容器	348			

16.4.3	焦炭塔的检验	417		工作	439
16.4.4	新型焦炭塔简介	419	16.7.4	检验过程	440
16.5	汽车罐车的检验	419	16.7.5	检验结果评定	445
16.5.1	汽车罐车类型及特点	419	16.7.6	检验案例	446
16.5.2	汽车罐车的定期检验	419	16.8	蒸压釜的检验	449
16.5.3	罐车常见缺陷及处理方法	423	16.8.1	蒸压釜的特点	450
16.5.4	罐车的检验案例	427	16.8.2	蒸压釜的常见缺陷	451
16.6	球罐的检验	428	16.8.3	蒸压釜的检验	453
16.6.1	球罐的结构特点及常见缺陷	428	16.8.4	检验案例	454
16.6.2	球罐的体验	429	16.9	壳牌 (Shell) 气化炉的检测	455
16.6.3	安全状况等级评定	434	16.9.1	气化炉的失效特点	456
16.6.4	检验案例	436	16.9.2	检测要点	458
16.7	长管拖车、管束式集装箱的检验	437	16.9.3	失效案例分析	459
16.7.1	结构特点	437	16.10	气瓶的检验	464
16.7.2	检验流程及检验周期	438	16.10.1	定期检验的周期、项目和工艺流程	464
16.7.3	定期检验前的准备		16.10.2	检验要求及方法	465
			16.10.3	检验结果评定	469

第 4 篇 无损检测

第 17 章	无损检测技术基础	472	18.3.3	磁粉检测工艺要点	493
17.1	无损检测的定义与分类	472	18.3.4	磁粉检测的适用范围及特点	494
17.2	无损检测的目的和作用	473	18.4	渗透检测	495
17.3	无损检测的应用特点	474	18.4.1	渗透检测的原理及分类	495
17.4	无损检测人员	476	18.4.2	渗透检测工艺要点	496
17.5	无损检测标准	477	18.4.3	渗透检测的安全管理	497
第 18 章	常用无损检测技术	478	18.4.4	渗透检测的适用范围及特点	498
18.1	射线检测	478	18.5	涡流检测	498
18.1.1	射线胶片照相法的原理	478	18.5.1	涡流检测的原理	498
18.1.2	射线检测设备	479	18.5.2	涡流检测仪器和探头	499
18.1.3	射线胶片照相法工艺要点	480	18.5.3	涡流检测工艺要点	499
18.1.4	射线的安全防护	483	18.5.4	涡流检测的适用范围及特点	500
18.1.5	射线胶片照相法的适用范围及特点	484	18.6	目视检测	500
18.2	超声检测	484	18.6.1	目视检测的基本方法	501
18.2.1	超声检测原理	485	18.6.2	目视检测的相关标准	502
18.2.2	试块	486	18.6.3	目视检测工具	504
18.2.3	超声检测工艺要点	488	18.7	声发射检测	505
18.2.4	超声检测的适用范围及特点	489	18.7.1	声发射检测的原理、特点及应用	505
18.3	磁粉检测	490	18.7.2	声发射检测主要设备	508
18.3.1	磁粉检测原理	490	18.7.3	声发射检测标准	511
18.3.2	磁粉检测设备和器材	491			

18.7.4	压力容器声发射检测 步骤.....	512	18.9.2	相控阵设备.....	534
18.7.5	检验案例.....	514	18.9.3	相控阵的优点.....	534
18.8	衍射时差法 (TOFD) 超声 检测.....	516	18.9.4	相控阵检测的应用.....	535
18.8.1	TOFD 技术的原理	516	18.10	射线数字成像检测	535
18.8.2	TOFD 检测仪器	522	18.10.1	典型射线数字成像检测方法 及其原理	535
18.8.3	TOFD 检测工艺要点	524	18.10.2	射线数字成像检测图像评定 的影响因素	539
18.8.4	典型缺陷图谱分析.....	527	18.10.3	射线数字成像检测工艺及 典型应用	541
18.8.5	TOFD 技术的特点及 应用.....	531	18.10.4	射线数字成像检测 标准	545
18.9	超声相控阵检测.....	532			
18.9.1	超声相控阵检测原理.....	532			

第 5 篇 基于风险的检验

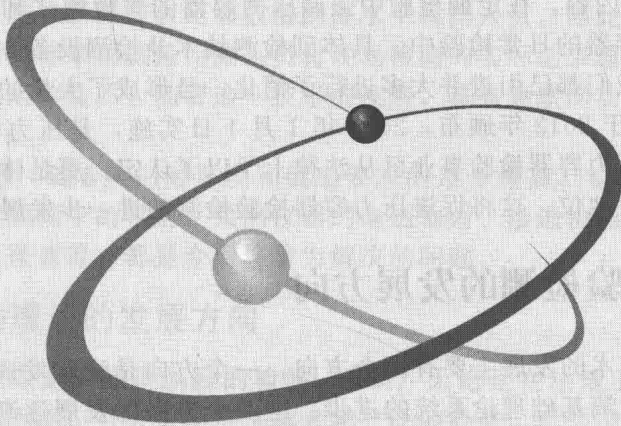
第 19 章	基于风险的检验方法介绍	548	21.1	管理系统评估.....	574
19.1	RBI 的概念.....	548	21.2	腐蚀失效计算.....	574
19.2	RBI 工作过程和内容.....	549	21.2.1	减薄.....	575
19.2.1	数据收集.....	550	21.2.2	应力腐蚀开裂.....	577
19.2.2	损伤机理和失效模式 识别.....	550	21.2.3	高温氢蚀 (HTHA)	579
19.2.3	失效概率的计算.....	550	21.2.4	炉管失效可能性分析.....	580
19.2.4	失效后果的计算.....	551	21.2.5	管道机械疲劳.....	580
19.2.5	风险计算.....	551	21.2.6	衬里.....	581
19.2.6	风险可接受准则和风险 矩阵.....	551	21.2.7	外部腐蚀.....	582
19.2.7	建立检验策略.....	552	21.2.8	脆性断裂.....	583
19.2.8	再评估.....	552	21.3	结构复杂性分析.....	583
19.3	RBI 分析方法种类.....	553	第 22 章	后果和检验策略	584
19.3.1	定性分析方法.....	553	22.1	失效后果.....	584
19.3.2	定量分析方法.....	555	22.1.1	后果分析的数据和 流程.....	584
19.3.3	半定量分析方法.....	558	22.1.2	后果的计算.....	585
第 20 章	数据收集	559	22.2	检验策略.....	586
20.1	装置划分区域.....	559	22.2.1	检验时间和范围.....	587
20.2	工厂及装置整体数据收集.....	561	22.2.2	检验类型和检验有 效性.....	588
20.3	设备数据的收集.....	561	22.3	RBI 的数据保存维护.....	592
20.4	管道数据收集.....	566	第 23 章	典型装置检验案例——乙烯裂解 装置的 RBI 检验	595
20.5	物流数据收集.....	567	23.1	生产工艺.....	595
20.5.1	划分物流回路 (存量 组)	567	23.2	乙烯装置损伤机理分析.....	595
20.5.2	标注物流.....	567	23.3	裂解炉管损伤机理分析.....	597
20.5.3	建立物流数据.....	569	23.4	乙烯装置风险分析结果.....	597
20.6	数据的审核和录入.....	570	23.5	RBI 分析建议.....	603
20.7	腐蚀回路划分.....	572	参考文献	604	
第 21 章	失效可能性分析	574			

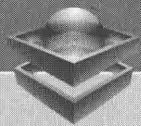
第

1

篇

概 论





1.1 压力容器检验检测的意义

压力容器的使用涉及国民经济和人民生活各个方面，大到压力高达数百 MPa 的反应容器、核容器和容积达 10000m^3 的储存容器，小到医院用的蒸煮锅及家庭用的液化气罐，涉及的领域包括航空、航天、核工业、石油、化工、交通、纺织、造纸等，几乎是无所不在。近年来随着我国国民经济的飞速增长，压力容器的数量也在飞速增长，年增长速度近 10%。截至目前我国在用压力容器已达 272 万台，其中固定式压力容器 267 万台，移动式压力容器 4.5 万台，医用氧舱 0.5 万台，在用气瓶 1.39 亿只。虽然压力容器的数量在增长，但压力容器事故的数量增长却明显放缓。这是各个方面共同努力的结果，包括压力容器检验检测所起的巨大作用。

压力容器检验检测不同于一般的工业生产，它虽不产生直接的经济效益，但是在防止恶性事故发生，保证人民生命财产安全方面的作用却是巨大的。压力容器的定期检验，是保证压力容器安全运行的重要环节。一次压力容器的爆炸事故所带来的损失，是千百次检验检测的费用所无法弥补的。因此可以说，压力容器的检验检测是企业经济效益的保证。

我国对压力容器的全面定期检验是从 1980 年开始的，1982 年《锅炉压力容器安全监察暂行条例》的颁布实施，标志着压力容器的检验已在全国范围内全面展开。随着压力容器检验检测的不断深入，压力容器的爆炸事故不断减少。据统计资料显示，我国压力容器的爆炸事故已从 1979 年的 7.9 起/万台下降到 2000 年的 0.5 起/万台。这组数据充分展示了定期检验对防止压力容器的爆炸事故带来的显著作用。

进入 21 世纪，我国的压力容器检验无论是理念上还是技术水平上已接近发达国家水平。我国已建立了一套完整的相关法规标准体系，并且在各方的努力下逐步接近完善。在检验理念上突出风险的概念和完整性的理念，基于风险的检验 RBI 已形成系统，并得到了比较广泛的应用。在 TSG R004—2009《固定式压力容器安全技术监察规程》（简称《容规》或《固容规》）和 TSG R7001—2013《压力容器定期检验规则》（简称《定检规》）中规定了基于风险的检验（RBI）的内容。在定期检验中强调压力容器的失效模式和机理说明完整性的理念已深深地植入压力容器的日常检验中。具体到检测技术及检测设备方面，世界上最先进的检测设备及检测技术我们都已引进并大多进行了消化，已形成了大量的自主知识产权。

《特种设备安全法》于 2013 年颁布，2014 年 1 月 1 日实施，是压力容器检验工作的一件大事，它标志着我国压力容器检验事业已从法律上予以了认定。更是体现了压力容器检验中监检和定检的法定检验地位。这将促进压力容器检验检测的进一步发展。

1.2 压力容器检验检测的发展方向

压力容器检验检测技术的发展主要有两个方向，一个方向是注重发现缺陷能力的提高，另一方向则致力于检验检测基础理论系统的进步。这两个方向的发展逐渐形成了两个学派，

前一个学派认为发现缺陷是最重要的,如果发现不了缺陷,一切再好的理念体系也无济于事。后一个学派认为检验检测的目的是为了保证容器的本质安全,只要从理论上解决了压力容器本质安全的问题,检测技术只是借助的手段。但是这两个方向是互相影响、互相促进的。任何一个方向的发展都离不开另一个方向的进步。

压力容器检验检测的发展始终伴随着压力容器技术的发展。在21世纪初的十余年中,压力容器检验检测基本掌握了大型化、高效率、低腐蚀、无泄漏的技术,长周期运行将是生产企业今后努力追求的目标。高效触媒、催化剂的使用,高级保温材料的使用等都会使常规的定期检验方法变得非常昂贵。这就要求定期检验技术有一个质的提高。新的《压力容器定期检验规则》也为从技术上解决此类难题提供了法规上的依据。归纳起来,压力容器定期检验技术今后将在以下方面得到发展。

1.2.1 检测技术的发展方向

在检测技术方面,大壁厚压力容器的无损检测问题已得到了根本解决,超声波检测技术与计算机技术的结合,使得复杂结构包括衬里层下开裂的检测已不是难以克服的问题。在容器外检测容器内部的缺陷已有很多的手段可以选择。今后压力容器检测技术的发展主要有以下几个方面。

① 新的检测技术的标准化、规范化及应用推广 上面提到的许多检测技术的解决方案,目前还仅掌握在少数检测机构当中,其推广应用还需要大量的工作。目前最需要做的工作就是将一些应用面广,效果好的检测技术标准化,并制定在压力容器的相关强制标准中,以利于推广应用。

② 热处理效果的检测 越来越多的压力容器材料是在热处理状态下工作,其材料热处理效果直接影响压力容器的运行安全。同样,这类容器在使用中其金相组织的时效或外界条件引起的变化,也会给压力容器的运行安全带来很大的影响。材料组织的检验技术,也是今后压力容器检测应解决的一个课题。

③ 残余应力的检测 近来随着压力装置长周期运行的要求不断提高,由残余应力造成的问题越来越多,尤其是接管的残余应力问题。接管角焊缝由于残余应力造成的开裂泄漏变得越来越突出,如何在接管焊接完成后有效地检测残余应力水平将是一个今后的重点课题。

④ 隔热层下的无损检测技术 随着用户安全意识的不断提高,定期检验的范围越来越大,检验中大量的拆除隔热层和恢复隔热层的工作对用户来说成为一个不小的负担。一方面增加了用户的成本支出,另一方面使得用户延长检修工期。因此如何发现隔热层下的缺陷成为今后检测技术的主要研究方向之一。

⑤ 远程检测技术的运用 随着检测技术的不断发展,对检测人员技术水平的要求越来越高,在现场实施检测难以保证有足够数量的高水平检测人员。因此网络技术将在检测领域中得到大量的应用。具体来说就是检测人员将现场检测的实际结果通过网络传回基地,由基地的技术人员判断缺陷的性质。随着这一技术的发展,具有物联网功能的检测仪器将会得到一个较大发展。

⑥ 环保检测技术 随着人们对环境和健康要求的逐步提高,检测技术中的环保技术也逐渐提出。比如射线检测中的辐射、检测仪器的电磁辐射、渗透检测中的可吸入污染以及射线底片加工中的废水排放等,都是今后将着力解决的问题。

1.2.2 检验基础理论的发展方向

在检验理论系统方面,基于风险的检验(RBI)无论是在法规上和标准上都已形成系统,并得到了大量的应用,且有应用范围越来越广泛的趋势,已从定期检验领域向设计领域

和制造领域延伸。在压力容器的定期检验中,根据容器的失效机理来制定检验方案已成为普遍的要求。装有价格昂贵的触媒或催化剂的容器在法规中对其检验也作出了明确的要求,在保证安全的前提下为用户避免经济损失。今后检验理论系统的发展主要有以下几个方面。

① 基于压力容器完整性的检验技术将从单台容器的检验向保证整套装置的完整性方面发展。今后将会逐步形成针对整套特定装置的检验体系。

② 针对压力装置失效机理的研究工作将大量开展。如装置的水分析等失效可能性分析方法的研究会进一步发展完善。各方面的研究成果将会得到系统地归纳和总结,形成各种装置的失效机理标准。最终形成原料控制—操作窗口—在线监测—产品监测的一整套压力装置运行保证体系。

③ 随着用户对长周期运行的要求不断提高,其完整性管理的要求也会越来越高,这一工作将会逐渐加大社会化服务的成分。检验检测机构无疑将向这一方面努力发展。

④ 压力容器的信息化管理将向深度方向发展,物联网技术将会引入压力容器的信息化管理。压力容器的制造、安装、使用、维修、检验检测等过程环节的相关信息将会纳入信息化管理当中。

⑤ 随着压力容器检验的常态化、开放化,压力容器的市场竞争必然会推动压力容器检验模式的转变。整体解决方案将是今后技术发展的方向之一。