



普通高等教育“十五”国家级规划教材

压力容器安全管理技术

谭蔚 编著



化学工业出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

压力容器安全管理技术

谭 蔚 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书结合近年来国内多起压力容器事故的分析,从压力容器爆炸可能造成的危害入手,系统地阐述了压力容器安全管理所涉及的安全监察法规、标准体系,设计技术,制造技术,检测技术,压力容器的主要破坏形式、危害及防爆措施,并介绍气瓶和移动式压力容器的分类、结构和使用管理要求。

该教材使多门专业基础课知识在压力容器安全管理的角度上得到应用与体现,为学生今后从事设计、制造和使用等压力容器的安全管理工作打下基础。

目标读者人群:机械类及相关专业的本科生、研究生及工程技术人员。

图书在版编目(CIP)数据

压力容器安全管理技术/谭蔚编著. —北京:化学工业出版社, 2006. 12
普通高等教育“十五”国家级规划教材
ISBN 978-7-5025-9812-9

I. 压… II. 谭… III. 压力容器-安全管理-高等学校-教材 IV. TH49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 161375 号

责任编辑:程树珍 金玉连
责任校对:战河红

装帧设计:韩 飞

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:北京市彩桥印刷有限责任公司

787mm×960mm 1/16 印张 13½ 字数 292 千字 2006 年 5 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:28.00 元

版权所有 违者必究

过程装备与控制工程学科的研究方向、趋势和前沿

代 序

人类的主要特点是能制造工具，富兰克林曾把人定义为制造工具的动物。通过制造和使用工具，人把自然物变成他的活动器官，从而延伸了他的肢体和感官。人们制造和使用工具，有目的、有计划地改造自然、变革自然，才有了名符其实的生产劳动。

现代人越来越依赖高度机械化、自动化和智能化的产业来创造财富，因此必然要创造出现代化的工业装备和控制系统来满足生产的需要。流程工业是加工制造流程性材料产品的现代国民经济支柱产业之一，必然要求越来越高度机械化、自动化和智能化的过程装备与控制工程。如果说制造工具是原始人与动物区别的最主要标志，那么就可以说，现代过程装备与控制系统是现代人类文明的最主要标志。

工程是人类将现有状态改造成所需状态的实践活动，而工程科学是关于工程实践的科学基础。现代工程科学是自然科学和工程技术的桥梁。工程科学具有宽广的研究领域和学科分支，如机械工程科学、化学工程科学、材料工程科学、信息工程科学、控制工程科学、能源工程科学、冶金工程科学、建筑与土木工程科学、水利工程科学、采矿工程科学和电子/电气工程科学等。

现代过程装备与控制工程是工程科学的一个分支，严格地讲它并不能完全归属于上述任何一个研究领域或学科。它是机械、化学、电、能源、信息、材料工程乃至医学、系统学等学科的交叉学科，是在多个大学科发展的基础上交叉、融合而出现的新兴学科分支，也是生产需求牵引、工程科技发展的必然产物。显而易见，过程装备与控制工程学科具有强大的生命力和广阔的发展前景。

学科交叉、融合和用信息化改造传统的“化工设备与机械”学科产生了过程装备与控制工程学科。化工设备与机械专业是在建国初期向前苏联学习，在我国几所高校首先设立后发展起来的，半个世纪以来，毕业生几乎一直供不应求，为我国社会主义建设输送了大批优秀工程科技人才。1998年3月教育部应上届教学指导委员会建议正式批准建立了“过程装备与控制工程”学科。这一学科在美欧等国家本科和研究生专业目录上是没有的，在我国已有60多所高校开设这一专业，是适合我国国情，具有中国特色的一门新兴交叉学科。其主要特点如下。

(1) 过程装备 与生产工艺即加工流程性材料紧密结合，有其独特的过程单元设备和工程技术，如混合工程、反应工程、分离工程及其设备等，与一般机械设备完全不同，有其独特之处。

(2) 控制工程 对过程装备及其系统的状态和工况进行监测、控制，以确保生产工艺有

序稳定运行,提高过程装备的可靠度和功能可利用度。

(3) 过程装备与控制工程 是指机、电、仪一体化连续的复杂系统,它需要长周期稳定运行;并且系统中的各组成部分(机泵、过程单元设备、管道、阀、监测仪表、计算机系统 etc)均互相关联、互相作用和互相制约,任何一点发生故障都会影响整个系统;又由于加工的过程材料有些易燃易爆、有毒或是加工要在高温、高压下进行,系统的安全可靠性十分重要。

过程装备与控制工程的上述特点就决定了其学科研究的领域十分宽广,一是要以机电工程为主干与工艺过程密切结合,创新单元工艺装备;二是与信息技术和知识工程密切结合,实现智能监控和机电一体化;三是不仅研究单一的设备和机器,而且更主要的是要研究与过程生产融为一体的机、电、仪连续复杂系统,在工程上就是要设计建造过程工业大型成套装备。因此,要密切关注其他学科的新的发展动向,博采众长、集成创新,把诸多学科最新研究成果之他山之石为我所用;同时要以现代系统论(Systemics)和耗散结构理论为指导,研究本学科过程装备与控制工程复杂系统独特的工程理论,不断创新和发展过程装备与控制工程学科是我们的重要研究方向。

我国科技部和国家自然科学基金委员会在本世纪初发表了《中国基础学科发展报告》,其中分析了世界工程科学研究的发展趋势和前沿,这也为过程装备与控制工程学科的发展指明了方向,值得借鉴和参考。

(1) 全生命周期的设计/制造正成为研究的重要发展趋势。由过去单纯考虑正常使用的设计,前后延伸到考虑建造、生产、使用、维修、废弃、回收和再利用在内的全生命周期的综合决策。

过程装备的监测与诊断工程、绿色再制造工程和装备的全寿命周期费用分析、安全和风险评估等正在流程工业开始得到应用。工程科技界已开始移植和借鉴现代医学与疾病做斗争的理论和方法,去研究过程装备故障自愈调控(Fault Self-recovering Regulation),探讨装备医工程(Plant Medical Engineering)理论。

(2) 工程科学的研究尺度向两极延伸。过程装备的大型化是多年发展方向,近年来又有向小型化、集成化的趋势。

(3) 广泛的学科交叉、融合,推动了工程科学不断深入、不断精细化,同时也提出了更高的前沿科学问题,尤其是计算机科学和信息技术的发展冲击着每个工程科学领域,影响着学科的基础格局。过程装备与控制工程学科的发展也必须依靠学科交叉和信息化,改变传统的生产观念和 production 模式,过程装备复杂系统的监控一体化和数字化是发展的必然趋势。

(4) 产品的个性化、多样化和标准化已经成为工程领域竞争力的标志,要求产品更精细、灵巧并满足特殊的功能要求。产品创新和功能扩展/强化是工程科学研究的首要目标,柔性制造和快速重组技术在大流程工业中也得到了重视。

(5) 先进工艺技术得到前所未有的广泛重视,如精密、高效、短流程、敏捷制造、虚拟制造等先进制造技术对机械、冶金、化工、石油等制造工业产生了重要影响。

(6) 可持续发展的战略思想渗透到工程科学的多个方面,表现了人类社会与自然相协调

的发展趋势。制造工业和大型工程建设都面临着有限资源和破坏环境等迫切需要解决的难题，从源头控制污染的绿色设计和制造系统为今后发展的主要趋势之一。

众所周知，过程工业是国民经济的支柱产业；是发展经济提高我国国际竞争力的不可缺少的基础；过程工业是提高人民生活水平的基础；过程工业是保障国家安全、打赢现代战争的重要支撑，没有过程工业就没有强大的国防；过程工业是实现经济、社会发展与自然相协调从而实现可持续发展的重要基础和手段。因而，过程装备与控制工程在发展国民经济的重要地位是显而易见的。

新中国成立以来，特别是改革开放以来，中国的制造业得到蓬勃发展。中国的制造业和装备制造业的工业增加值已居世界第四位，仅次于美国、日本和德国。但中国制造业的劳动生产率远低于发达国家，约为美国的 5.76%、日本的 5.35%、德国的 7.32%。其中最主要原因是技术创新能力十分薄弱，基本上停留在仿制，实现国产化的低层次阶段。从 20 世纪 70 年代末，中国大规模、全方位地引进国外技术和进口国外设备，但没做好引进技术装备的消化、吸收和创新，没有同时加快装备制造业的发展，因此，步入引进一落后一再引进的怪圈。以石油化工设备为例，20 年来，化肥生产企业先后共引进 31 套合成氨装置、26 套尿素装置、47 套磷复肥装置，总计耗资 48 亿美元；乙烯生产企业先后引进 18 套乙烯装置，总计耗资 200 亿美元。因此，要振兴我国的装备制造业，必须变“国际引进型”为“自主集成创新型”，这是历史赋予我们过程装备与控制工程教育和科技工作者的历史重任。过程装备与控制工程学科的发展不仅仅要发表 EI、SCI 文章，而且要十分重视发明专利和建立标准，也要重视工程实践，实现产、学、研相结合。这样才能为结束我国过程装备“出不去，挡不住”的局面做出应有的贡献。

过程装备与控制工程是应用科学和工程技术，这一学科的发展会立竿见影，直接促进国民经济的发展。过程装备的现代化也会促进机械工程、材料工程、热能动力工程、化学工程、电子/电气工程、信息工程等工程技术的发展。我们不能只看到过程装备与控制工程是一个新兴的学科，是博采诸多自然科学学科的成果而系统集成的一项工程科学技术，而忽略了反过来的一面，一个反馈作用，也就是过程装备与控制工程学科也应对自然科学的发展做出应有的贡献。

实际上，早在 18 世纪末期，自然科学的研究就超出了自然界，从而包括了整个世界，即自然界和人工自然物。过程装备与控制工程属人工自然物，它也理所当然的是自然科学研究的对象之一。工程科学能把过程装备与控制工程在工程实践中的宝贵经验和初步理论精练成具有普遍意义的规律，这些工程科学的规律就可能含有自然科学里现在没有的东西。所以对工程科学研究的成果即工程理论加以分析，再加以提高就可能成为自然科学的一部分。钱学森先生曾提出：“工程控制论的内容就是完全从实际自动控制技术总结出来的，没有设计和运用控制系统的经验，绝不会有工程控制论。也可以说工程控制论在自然科学中是没有它的祖先的。”因此对现代过程装备与工程的研究也有可能创造出新的工程理论，为自然科学的发展做出贡献。

过程装备与控制工程学科的发展历史性地落在我们这一代人的肩上，任重道远。我们深

信，经过一代又一代人的努力奋斗，过程装备与控制工程这一新兴学科一定会兴旺发达，不但会为国民经济的发展建功立业，而且会为自然科学的发展做出应有的贡献。

高质量的精品教材是培养高素质人才的重要基础，因此编写面向 21 世纪的迫切需要的过程装备与控制工程“十五”规划教材，是学科建设的重要内容。遵照教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》，全面贯彻国家的教育方针和科教兴国战略，面向现代化、面向世界、面向未来，充分发挥高等学校在教材建设中的主体作用，在有关教师 and 教学指导委员会委员的共同努力下，过程装备与控制工程的“十五”规划教材陆续与广大师生和工程科技界读者见面了。这套教材力求反映近年来教学改革成果，适应多样化的教学需要；在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力和实践能力的培养，为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。在此向所有为这些教材问世付出辛勤劳动的人们表示诚挚的敬意。

教材的建设往往滞后于教学改革的实践，教材的内容很难包含最新的科研成果，这套教材还要在教学和教改实践中不断丰富和完善；由于对教学改革研究深度和认识水平都有限，在这套书中不妥之处在所难免。为此，恳请广大读者予以批评指正。

教育部高等学校机械学科教学指导委员会副主任委员
过程装备与控制工程专业教学指导分委员会主任委员

北京化工大学 教授

中国工程院 院士

高永吉

2003 年 5 月于北京

前 言

作为特种设备的压力容器广泛应用于石油、化工、冶金、能源等工业领域，在国民经济发展中起着重要的作用。由于特种设备具有一定的危险性和危害性，因此它们的安全运行直接关系到人民的生命财产，影响着国民经济的建设。

压力的容器的安全涉及到材料、设计、制造、安装、使用、检验、管理等多个环节，包含了基础科学、技术科学和工程技术等诸多内容。本书在编写上以我国最新标准和法规为依据，力求将基础理论、工程应用与实际问题相结合，并列举了较多的案例，便于读者的理解。

本书共分为九章。第1章总论，介绍了压力的容器的基本概念、特点与基本要求，论述了压力容器安全管理意义以及我国安全监察管理体制；第2章压力的容器的强度与应力，分析了压力的容器的受力特点，介绍了压力容器应力的分类、设计方法和设计监督管理；第3章压力的容器的材料与结构，从材料的力学性能方面介绍了压力容器常用材料的特点与应用，重点论述了材料的脆化与劣化，并从压力容器安全性能方面考虑，提出了压力容器结构设计的要求；第4章压力容器制造与焊接，介绍了典型的压力容器制造工艺，以及压力的容器的焊接方法、焊接质量控制和焊接性能评定，压力容器制造监督管理；第5章压力容器检测试验技术，介绍了压力容器制造、检验过程中涉及到的宏观检测、理化测试、力学性能试验、耐压试验、气密性试验和爆破试验；第6章压力的容器的无损检测，在介绍压力容器缺陷的种类及产生原因基础上，详细介绍了压力的容器的无损检测方法，包括射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测、涡流检测和声发射检测方法；第7章压力的容器的安全装置，介绍了压力的容器的安全装置分类、选用与设置，重点介绍了安全阀、爆破片、压力表等安全附件；第8章气瓶与移动式压力容器，介绍了气瓶的分类、典型结构与安全充装、使用注意事项，移动式容器中分别简介了常温和低温液化气体汽车罐和铁路罐车，以及目前发展的长管拖车；第9章压力容器检验技术，介绍了产品安全性能监督检验、现场组焊压力容器安全质量检验和在用压力的容器的检验，并列举了几种特殊容器的检验特点以及气瓶的定期检验。

本书由天津大学谭蔚教授编写。在编写过程中杨小刚、张翼、周连刚、朱雨峰、谭晓飞、张运强和汪自祥等为本书的编写做了大量的具体工作。天津市特种设备监督检验技术研究院提供了许多宝贵的资料和建议，天津大学化工学院为本书的出版给予了大力支持，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中如有不完善或欠妥之处，衷心希望读者予以指正。

编 者

2006年4月

目 录

1 压力容器安全总论	1
1.1 压力容器的安全性	1
1.2 压力容器的定义与分类	4
1.2.1 压力容器的定义	4
1.2.2 压力容器的分类	4
1.3 压力容器的运行特性与基本要求	7
1.3.1 压力容器运行的特性	7
1.3.2 压力容器的基本要求	7
1.4 压力容器的失效	8
1.4.1 强度失效	8
1.4.2 其他失效	9
1.5 压力容器的安全监察	10
1.5.1 国外安全监察机构简介	10
1.5.2 国内安全监察机构简介	11
1.6 压力容器法规标准体系	11
1.6.1 法律	12
1.6.2 行政法规	12
1.6.3 部门规章	12
1.6.4 安全技术规范	12
1.6.5 技术标准	12
参考文献	13
2 压力容器的应力与设计方法	14
2.1 压力容器的载荷	14
2.1.1 工作压力	14
2.1.2 重力载荷	14
2.1.3 风载荷	15
2.1.4 地震载荷	15
2.1.5 温度载荷	15
2.2 压力容器的应力分类	16
2.2.1 一次应力 P	16
2.2.2 二次应力 Q	17
2.2.3 峰值应力 F	17

2.3 压力容器的局部应力	18
2.3.1 边缘应力	18
2.3.2 热应力	19
2.3.3 制造偏差引起的附加应力	20
2.3.4 焊接接头的局部应力	21
2.4 压力容器的设计方法	21
2.4.1 常规设计	22
2.4.2 分析设计	22
2.5 压力容器设计监督管理	27
参考文献	29
3 压力容器的材料与结构设计	30
3.1 压力容器的材料	30
3.1.1 材料的力学性能	30
3.1.2 压力容器常用材料	32
3.1.3 压力容器材料脆化与劣化	39
3.1.4 热处理	42
3.2 压力容器的结构设计	44
3.2.1 概述	44
3.2.2 压力容器结构设计的一般原则	45
3.2.3 压力容器零部件设计	45
3.2.4 结构设计中注意的问题	50
参考文献	54
4 压力容器制造与焊接	55
4.1 压力容器制造	55
4.1.1 板焊结构压力容器制造	55
4.1.2 锻焊压力容器制造	56
4.2 压力容器的焊接	57
4.2.1 常用的焊接方法	57
4.2.2 焊缝与焊接接头	62
4.2.3 焊接剩余应力与变形	66
4.2.4 焊接质量控制方法	68
4.2.5 焊接性能评定	71
4.2.6 焊工考试	72
4.3 压力容器制造监督管理	72
参考文献	73
5 压力容器检测试验技术	74
5.1 宏观检查	74

5.1.1	外观检查	74
5.1.2	结构检查	74
5.1.3	几何尺寸检查	74
5.2	理化实验	75
5.2.1	硬度测定	75
5.2.2	化学元素分析	76
5.2.3	金相检验	76
5.2.4	应力应变试验	77
5.3	力学性能试验	77
5.3.1	拉伸试验	77
5.3.2	弯曲试验	77
5.3.3	冲击试验	78
5.4	耐压试验	78
5.4.1	耐压试验的目的	78
5.4.2	耐压试验的介质	79
5.4.3	耐压试验的压力	79
5.4.4	耐压试验的温度	80
5.4.5	耐压试验时的应力校核	81
5.4.6	耐压试验操作过程	81
5.4.7	耐压试验结果的评定	82
5.5	气密性试验	82
5.5.1	气密性试验基本要求	83
5.5.2	用空气做气密性试验	83
5.5.3	氨渗透试验	83
5.5.4	氨检漏试验	84
5.5.5	卤素检漏试验	84
5.6	爆破试验	84
5.6.1	试验的方法与要求	84
5.6.2	测量的方法与要求	85
5.6.3	试验的结果评定	85
	参考文献	86
6	压力容器的无损检测	87
6.1	缺陷的种类及产生原因	87
6.1.1	钢焊缝中常见的缺陷及产生原因	87
6.1.2	铸件中常见的缺陷及产生原因	94
6.1.3	锻件中常见的缺陷及产生原因	95
6.1.4	型材中常见的缺陷及产生原因	97

6.1.5	铝材和铜材中常见的缺陷及产生原因	98
6.1.6	使用中常见的缺陷及产生原因	99
6.2	无损检测方法	100
6.2.1	概述	100
6.2.2	射线检测	102
6.2.3	超声波检测	105
6.2.4	磁粉检测	111
6.2.5	渗透检测	114
6.2.6	涡流检测	117
6.2.7	声发射检测	118
	参考文献	119
7	压力容器的安全装置	120
7.1	安全装置分类与选用原则	121
7.1.1	分类	121
7.1.2	设置原则	121
7.1.3	选用原则	122
7.2	超压泄放装置	122
7.2.1	容器超压过程及原因	122
7.2.2	超压泄放装置的形式	126
7.2.3	容器安全泄放量的计算	127
7.2.4	安全阀	128
7.2.5	爆破片	137
7.2.6	爆破帽	146
7.2.7	易熔塞	146
7.3	压力表	147
7.3.1	压力表的结构与工作原理	147
7.3.2	压力容器常用的压力表	148
7.3.3	压力表的选用与安装	149
7.3.4	压力表的维护与校验	150
7.4	其他安全装置	150
7.4.1	液面计	150
7.4.2	减压阀	153
7.4.3	温度计	153
	参考文献	155
8	气瓶与移动式压力容器	156
8.1	气瓶	156
8.1.1	气瓶的分类	156

8.1.2	气瓶的典型结构	158
8.1.3	气瓶的主要技术参数	159
8.1.4	气瓶附件	161
8.1.5	气瓶的充装	164
8.1.6	气瓶的使用	173
8.1.7	气瓶的运输	175
8.1.8	气瓶的贮存	176
8.2	移动式容器	178
8.2.1	常温液化气体汽车罐车	178
8.2.2	常温液化气体铁路罐车	184
8.2.3	低温液化气体罐车	184
8.2.4	长管拖车	186
	参考文献	188
9	压力容器检验技术	190
9.1	产品安全性能监督检验	190
9.2	现场组焊压力容器安全质量检验	191
9.2.1	现场组装	191
9.2.2	现场焊接	192
9.2.3	焊后整体热处理	193
9.2.4	质量检验与控制	194
9.3	其他类型压力容器检验	194
9.3.1	低温容器	194
9.3.2	奥氏体不锈钢容器	195
9.3.3	钛制容器	195
9.3.4	超高压容器	197
9.4	在用压力容器检验	198
9.4.1	年度检查	198
9.4.2	定期检验	200
9.4.3	安全状况等级评定	202
9.5	气瓶的定期检验	202
9.5.1	检验周期	202
9.5.2	检验项目	202
	参考文献	203

1 压力容器安全总论

1.1 压力容器的安全性

压力容器是指在化工和其他工业生产中用于完成反应、换热、分离和贮存等生产工艺过程，承受一定压力的设备，它属于承压类特种设备，广泛地应用于石油、化工、航空等工业部门的生产和人们生活中。在石油、化工等行业中，大多数的工艺过程都是在压力容器内进行的，如用以进行化学反应的合成塔、聚合釜、反应器，用以贮存物料的贮罐，用以进行物理过程的换热器、蒸馏塔、沉降器等。由于各种化学生产工艺的要求不尽相同，使得设备处在极其复杂的操作条件下运行。并且随着化工和石油化学工业的发展，压力容器的工作温度范围越来越宽，加之规模化生产的要求，许多工艺装置越来越大，压力容器的容量也随之不断增大，这对压力容器提出了更高的安全和技术要求。

压力容器是一种可能引起爆炸或中毒等危害性较大事故的特种设备。当设备发生破坏或爆炸时，设备内的介质会迅速膨胀、释放出极大的内能，这不仅使容器本身遭到破坏，瞬间释放的巨大能量还将产生冲击波，往往还会诱发一连串恶性事故，破坏附近其他设备和建筑物，危及人员生命安全，有的甚至会使放射性物质外逸，造成更为严重的后果。

例如，2005年3月21日，某化肥厂发生尿素合成塔爆炸重大事故，尿素合成塔塔身爆炸成3节，导致四周设备和厂房严重受损，4人死亡，1人重伤，经济损失惨重。

发生事故的尿素合成塔是1999年制造的，2000年投入使用。该塔设计工作压力21.57MPa，设计温度195℃，公称容积37.5m³，工作介质为尿素溶液和氨基甲酸铵。该容器为立式高压反应容器，由10节筒节和上、下封头组成。筒节内径1400mm，壁厚110mm，总长26210mm。筒节为多层包扎结构，层板为15MnVR及16MnR板，内衬为8mm厚的尿素级不锈钢衬里；顶部为20MnMo球形锻件，底部为19Mn6球形封头；端部法兰与顶盖采用双头螺栓连接，密封形式为平面齿形垫结构。

尿素合成塔塔身爆炸成3节，事故第一现场残存塔基、下封头和第10节筒节，且整体向南偏西倾斜约15°，见图1-1。南侧5m处六层主厂房坍塌；西北侧20m处二层厂房坍塌；北侧、东北侧装置受爆炸影响，外隔热层脱落；东侧2个碱洗塔隔热层全部脱落，冷却排管系统全部损坏。第二现场在尿素合成塔南侧主厂房二层房顶即原三层楼上。第9节筒节破墙而入，落在主厂房三层的一个房间内。筒体两端的多层包扎板局部变形成为平板，层与层之间分离，筒节环缝处多数层板上有明显的纵向裂纹（见图1-2），爆口呈多处不规则裂纹（见图1-3）。第8节筒节以上至上封头，向北偏东方向飞过一排厂房，上封头朝下、第8节筒节朝上斜插入土中，落地处距塔基约90m，见图1-4。在朝上的第8节筒节环焊缝处，

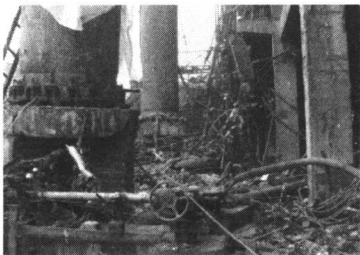


图 1-1 残留在原安装位置的筒节

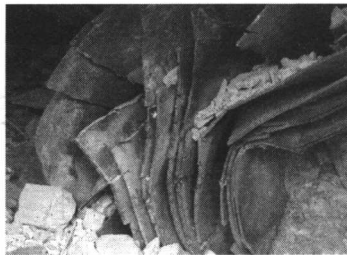


图 1-2 爆口呈多处不规则裂纹



图 1-3 第 9 节筒节残片呈现纵向裂纹



图 1-4 飞落在约 90m 远处的第 3 段

可见长约 350mm 的纵向撕裂，撕裂处无纵焊缝，长约 850mm 的环向多层板分层，断裂处焊缝呈现不规则状态。

引起该尿素合成塔爆炸的直接原因为塔体材料（包括焊缝）的应力腐蚀开裂。而引起该塔材料应力腐蚀的诱因为塔在制造过程中改变了衬里蒸汽检漏孔的原始设计，将原来竣工图中要求的堆焊插管结构改为螺纹结构。特点是在盲板上锥螺纹后再将检漏管拧入连接，见图 1-5 和图 1-6。这种结构将导致氨渗漏检测介质和检漏蒸汽渗漏进塔体多层层板间的缝隙中，在生产使用中可能发生泄漏，引发筒体应力腐蚀。另一诱因为该塔在制造过程中，盲板材料 Q235-A 的纵向焊缝已被数点点焊连接方式所代替，此种结构可以进一步促成氨渗漏检测介质和检漏蒸汽渗漏进入塔体多层层板间的扩散。

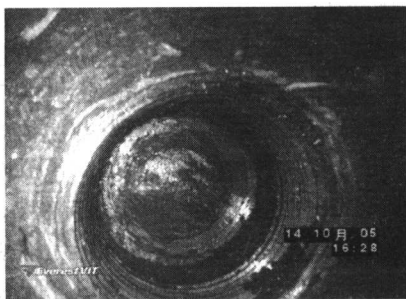


图 1-5 爆炸的合成塔检漏孔的实际结构

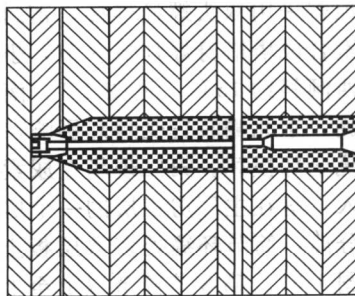


图 1-6 检漏孔的设计结构

表 1-1 和表 1-2 分别给出了中国 2001~2004 年压力容器和气瓶事故统计表。表 1-3 给出了美国 2001~2002 年压力容器事故统计表。从上面的事故分析和表中的事故统计可以看出,作为特种设备的压力容器,材料的选择、结构设计、安全操作和定期检验与维护都对容器的安全性能至关重要。

表 1-1 2001~2004 年压力容器事故统计表

年份	事故起数	特重大事故起数	重大事故起数	严重事故起数	死亡人数	受伤人数	直接经济损失/万元
2001	40	1	2	37	41	72	259.4
2002	30	0	0	30	23	41	380.1
2003	45	0	4	41	38	70	1113.3
2004	35	0	4	31	44	60	1207.7

表 1-2 2001~2004 年气瓶事故统计表

年份	事故起数	特重大事故起数	重大事故起数	严重事故起数	死亡人数	受伤人数	直接经济损失/万元
2001	41	0	0	41	31	80	150.3
2002	36	0	2	34	28	91	178.2
2003	33	0	1	32	19	87	158.8
2004	46	0	1	45	35	104	488.3

表 1-3 美国 2001~2002 年压力容器事故统计表

年份	事故类别	事故起数	受伤人数	死亡人数
2001	安全阀	6	2	0
	极限控制	4	0	0
	不正确安装	8	2	0
	不正确修理	8	0	0
	错误设计或制造	16	0	0
	操作失误或维护不良	142	14	4
	未知/在调查中	17	0	0
	小计	201	18	4
2002	安全阀	7	0	0
	低水位工况	96	0	0
	极限控制	23	0	0
	不正确安装	11	0	0
	不正确修理	2	0	0
	错误设计或制造	60	0	0
	操作失误或维护不良	215	0	0
	燃烧器烧坏	28	1	0
	未知/在调查中	30	0	0
	小计	472	1	0

压力容器的事故率虽然比较高,事故危害性比较大,但事故也不是完全不可避免。为了防止压力容器发生事故,保证其安全运行,保障人民生命和财产的安全,目前中国对压力容器安全管理推行的是国家监察全过程控制的管理方法,即把容器设计、制造、安装、使用、检验、修理改造、事故、报废和信息反馈等各个环节作为一个系统实施管理,确保压力容器安全、经济地运行。通常,在进行压力容器设计时,要分析容器的使用要求和操作条件,选择合适的材料及确定合理的结构形式,并规定制造工艺和质量要求。为了使压力容器在确保安全的前提下达到设计先进、结构合理、便于制造、使用可靠和造价经济等目的,各国都制定了有关压力容器的标准、规范和技术条件,对容器的设计、制造、检验和使用等各个方面提出具体和必须遵守的规定。

1.2 压力容器的定义与分类

1.2.1 压力容器的定义

承受流体介质压力的密闭壳体都可属于压力容器。按照 GB 150—1998 钢制压力容器的规定,设计压力低于 0.1MPa 的容器属于常压容器,而设计压力大于或等于 0.1MPa 的容器属于压力容器。

从安全角度考虑,压力并不是表征压力容器安全性能的唯一指标。在相同压力下,容器容积的大小不同,意味着容器内积蓄的能量也不同,一旦发生破裂或爆炸造成的危害也不同。此外,容器内盛装的介质特性也影响了设备的安全性能。因此,压力、容积、介质特性是关联到压力容器安全的三个重要指标。

中国《压力容器安全技术监察规程》中定义同时具备下列三个条件的容器可作为压力容器。

- ① 最高工作压力大于或等于 0.1MPa (不含液体静压力);
- ② 内直径 (非圆形截面指其最大尺寸) 大于或等于 0.15m, 且容积大于或等于 0.025m³;
- ③ 盛装介质为气体、液化气体或最高工作温度高于或等于标准沸点的液体。

按中国《特种设备安全监察条例》附则的规定,压力容器的含义是:盛装气体或者液体,承受一定压力的密闭设备,其最高工作压力大于或等于 0.1MPa (表压),且压力与容积的乘积大于或等于 2.5MPa·L 的气体或液化气体和最高工作温度高于或等于标准沸点的液体的固定式容器和移动式容器;盛装公称工作压力大于或等于 0.2MPa (表压),且压力与容积的乘积大于或等于 1.0MPa·L 的气体或液化气体和标准沸点等于或低于 60℃ 的液体气瓶;医用氧舱等。

1.2.2 压力容器的分类

压力容器的种类很多,根据不同的要求,有许多种分类的方法。

- ① 按承压性质可将容器分为内压容器和外压容器两类。