



远程教育“十二五”规划教材

压力容器安全工程学

YALI RONGQI ANQUAN GONGCHENGXUE

主 编 杨晓明



東北大學出版社
Northeastern University Press



远程教育“十二五”规划教材

压力容器安全工程学

杨晓明 主编

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 杨晓明 2012

图书在版编目 (CIP) 数据

压力容器安全工程学 / 杨晓明主编. — 沈阳: 东北大学出版社, 2012. 12
ISBN 978-7-5517-0240-9

I. ①压… II. ①杨… III. ①压力容器安全—安全工程 IV. ①TH490.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 263086 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110819

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress. com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳航空发动机研究所印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印 张: 17.25

字 数: 445 千字

出版时间: 2012 年 12 月第 1 版

印刷时间: 2012 年 12 月第 1 次印刷

责任编辑: 潘佳宁

封面设计: 刘江旻

责任校对: 辛 思

责任出版: 唐敏志

ISBN 978-7-5517-0240-9

定 价: 36.00 元

远程教育“十二五”规划教材建设指导委员会

主 任 姜茂发

常务副主任 卢俊杰 刘常升

委 员 (以姓氏笔画为序)

于天彪 马 明 吕文慧 孙新波

巩亚东 宋叔尼 李鸿儒 李 晶

杜宝贵 陈国秋 周成利 赵 文

徐文清 栗 志 黄卫祖 蒋 敏

总 序

2010年，党中央、国务院召开了新世纪第一次全国教育工作会议，发布了《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》。纲要中明确指出：“加快发展继续教育。更新继续教育观念，加大投入力度，加快各类学习型组织建设，基本形成全民学习、终身学习的学习型社会。”“大力发展现代远程教育……为学习者提供方便、灵活、个性化的学习条件。”指明了教育事业科学发展的方向，描绘了教育改革发展的宏伟蓝图。

2012年6月，教育部颁布《国家教育事业第十二个五年规划》，对我国未来五年继续教育体系建设做出了科学规划。强调要发挥现代信息技术在继续教育中的作用，把发展现代远程教育作为建设学习型社会的重要战略举措。

自教育部1999年3月批准现代远程教育第一批试点高校以来，已有68所高校开展了远程教育的试点工作。到2010年年底，远程教育在校本专科学生数达到453万人，占当年全国继续教育人数的35%（数据来源：教育部网站）。远程教育已经成为继续教育体系中的重要组成部分。

教材是与远程学习者关系最为密切的一个要素，是资源建设的一个重要组成部分。随着试点工作的不断深入，各高校在人才培养模式、资源建设、学习支持服务等方面开展了积极的探索与实践，远程教育教材建设工作越来越为各试点高校所重视。开发建设适合远程教育学习的教材，直接影响学习者的学习成效，关系到远程教育的质量。

在十几年来远程教育试点工作经验基础上，针对远程教育的特点及学生的实际情况，我们开发了“远程教育‘十二五’规划教材”。在教材开发过程中，从教材建设指导委员会到每一位编著者，都对远程教育的现状与特点做了认真研究；教材编著者都是远程教育的课程主讲教师，熟悉远程教育教学模式，了解学生实际情况及

需求,保证了教材具有较强的先进性、针对性和实用性。

教材是远程教育资源的重要组成部分,教材建设工作是一项长期而艰巨的任务。符合远程教育实际,能够满足学生实际需求的教材,对于提高学生学习效率,构建学生自主学习环境具有重要意义。我们希望通过“远程教育‘十二五’规划教材”的建设工作,探索出一条教材建设工作的新思路、新方法,为我国远程教育事业的发展起到积极的推动作用。

(东北大学) 远程教育“十二五”规划教材建设指导委员会

2012年11月18日

目 录

第1章 概 论	1
1.1 压力容器的应用及其安全问题	1
1.2 压力容器技术进展	6
1.3 压力容器的规范和标准	9
1.4 压力容器安全工程学研究的对象和任务	15
第2章 压力容器的基本知识	16
2.1 压力容器	16
2.2 压力容器的分类	19
2.3 压力容器的结构形式	22
第3章 压力容器的应力分析	35
3.1 压力容器的薄膜应力	35
3.2 平板盖的应力	48
3.3 壳体的边缘应力	55
3.4 厚壁壳体的应力	58
第4章 压力容器设计的安全要求	61
4.1 容器的载荷及由此产生的应力	61
4.2 压力容器的设计方法	64
4.3 压力容器设计监督管理	70
4.4 内压薄壁圆筒与封头的强度设计	71
4.5 压力容器的材料及其选择	88
4.6 压力容器的结构要求	116
第5章 压力容器制造的要求	121
5.1 压力容器制造	121
5.2 压力容器的焊接	123
5.3 压力容器的制造缺陷及其影响	137
5.4 工艺要求与允许偏差	147
5.5 出厂的检验与验收	148
5.6 压力容器制造监督管理	151

第6章 压力容器的使用管理	154
6.1 管 理	154
6.2 使 用	155
6.3 压力容器检测试验技术	164
第7章 压力容器的安全装置	192
7.1 安全装置分类与选用原则	192
7.2 安全泄压装置	193
7.3 压力表	215
7.4 其他安全装置	218
第8章 压力容器的事故分析	223
8.1 压力容器的强度失效	223
8.2 压力容器其他失效形式	248
8.3 压力容器破裂爆炸及其危害	248
8.4 事故调查分析	258
参考文献	268

第1章 概 论

1.1 压力容器的应用及其安全问题

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,被广泛地应用于石油、化工、航空等工业部门的生产和人们的生活中。压力容器的用途极为广泛,它在民用、军事工业、医疗卫生、地质勘探、文教体育等多个部门,以及在科学研究的许多领域,都起着重要的作用。所以,要发展国民经济,就需要大量地制造和使用各种压力容器。

石油化学工业是压力容器的主要用户,它所使用的压力容器约占总数的50%。几乎每一个工艺过程都离不开压力容器,而且它还常常是生产中的主要设备。

在石油化学工业中,许多化学反应过程都需要在有压力的条件下才能进行,或者要用增高压力的方法来加快它的反应速度,因此,压力容器在石油化学工业中的应用非常广泛。例如,用乙烯和水(高压过热蒸汽)制造乙醇(酒精),就需要在7MPa的压力下进行;用氮和氢来合成氨,则要在10~100MPa压力下才能较好地反应。这样,不仅反应器本身需要压力容器,而且由于这些参与反应的有压力的介质往往先要经过精制、加热或冷却等,参与这些工艺过程所有的设备也都是压力容器。随着石油化学工业的迅速发展,高分子聚合物的生产规模不断扩大。高分子聚合物是由单体分子经过聚合反应而得到的,而大部分聚合反应都需要在较高的压力下进行。例如,用乙烯气体聚合成固体的聚乙烯,低压法也要在4~10MPa压力下进行,高压法则需要100~250MPa的压力。因此,制取高分子聚合物的设备往往不仅聚合釜是压力容器,而且这些单体分子在聚合以前的一系列工艺处置过程(储存、精制、加热等)也需要压力容器。

压力容器可以作为一种单纯的盛装容器,用以贮存有压力的气体、液体或液化气体。如液氨贮罐,氢气、氮气贮罐等。作为盛装用的容器,其内部一般没有其他的工艺装置,可单独构成一台设备或者作为其他设备的一个独立部件(如高压泵的稳压器)。压力容器也可作为其他石油化工设备的外壳,为各种化工单元操作(如化学反应、换热、吸收、萃取、分离等)提供必要的压力空间,并将该压力空间与外界大气隔离,此时压力容器不能作为一台设备独立存在,其内部必须装设某些工艺装置(俗称内件)才能构成一台完整的设备,诸如石油化学工业中普遍应用的各类反应器、换热器、塔器、分离器等,在这方面的应用实例是不胜枚举的。

在化肥工业中,有氨合成塔、尿素合成塔、二氧化碳吸收塔、氨分离器等;在石油精炼装置中,有加氢脱硫反应器、加氢裂化反应器和各种分离塔、吸收塔及换热器等;在合成甲醇、合成乙醇工业中所用的各种大型高压容器;在乙烯装置中所用的各种低温压力容

器；在聚乙烯装置中所用的各种超高压容器等。

在能源工业中，随着世界性的能源危机，许多国家正在大力开发新的能源：一方面加紧开发埋藏量很大的煤气和天然气，以代替日渐枯竭的石油资源；另一方面积极发展核能发电、太阳能发电等新能源。上述能源装置均需要大量的压力容器。煤气化的操作温度为 900 ~ 1000℃，其反应器的设计压力为 3 ~ 8MPa，直径约 10m，壁厚约 200mm，高度大于 30m。煤气化反应器的壳体不仅要在蠕变条件下操作，而且要承受硫化物的腐蚀、酸的腐蚀及氢脆，其操作环境的苛刻程度不亚于核能的钠冷却反应堆，其规格尺寸超过了目前最大的轻水型反应堆容器。核动力装置反应堆类型依据反应堆热量带出的方式不同，主要分为轻水堆、重水堆、石墨气冷堆 3 种。它们都是由燃料元件、堆芯结构、压力容器和控制棒驱动机构等主要部分组成的。

航天、海洋开发、军事等科技的发展，又为压力的应用开拓了新的更加广泛的领域，各类动力火箭均属于压力容器，甚至作为武器用的大炮，也可视为承受反复瞬时压力的开口容器。在海洋开发领域，各类深海探测器及军事上所用的潜艇，都是典型的外压容器。

在民用工业领域，压力容器也获得了广泛的应用，如煤气或液化气贮罐；工业机械所用的各种蓄能器，如水压机蓄势器、换热器、分离器；各类蒸煮釜、大型管道工程等。

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的恶性事故，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。由于压力容器应用的广泛性、特殊性和事故率高、危害性大等特点，如何确保压力容器的安全运行，使之不发生事故，尤其是重大事故，便成为摆在人们面前十分重要的问题。

学习“压力容器安全工程学”这门课程不仅仅是由于压力的应用广泛，更主要的是因为压力容器比较容易发生事故，而且事故的破坏性往往又很严重，因此它的安全问题就特别值得注意，许多工业国家都把锅炉和压力容器作为一种特殊设备，需要由专门的机构进行监督，并按照相关的规范制造和使用。

表 1-1 所示为我国劳动部门统计的锅炉、压力容器爆炸事故的资料。

表 1-1 锅炉、压力容器爆炸事故资料

时 间	爆炸事故	死亡人数	受伤人数	直接损失
1977—1987 年	2254 起	1200 人	4900 人	4.5 亿元
压力容器爆炸事故	(205 起/年)	(109 人/年)	(445 人/年)	(0.45 亿元/年)
1990—1991 年	260 起	172 人	369 人	1.39 亿元
锅炉与压力容器爆炸事故	(130 起/年)	(86 人/年)	(185 人/年)	(0.7 亿元/年)

另据统计，1998 年我国共发生锅炉、压力容器、气瓶、压力管道爆炸事故 140 起，严重事故 287 起，共死亡 130 人，伤 520 人，直接经济损失 3021.55 万元。由此可见压力容器安全与管理的意义重大。随着科学技术水平和管理水平的提高，压力容器事故将逐渐减少。表 1-1 表明，20 世纪 90 年代我国压力容器爆炸事故就比 70 年代和 80 年代有大幅度的下降。杜绝或减少压力容器安全事故是一项极为艰难、复杂和重要的工作。

表 1-2 和表 1-3 分别给出了我国 2001—2004 年压力容器与气瓶事故统计表。表 1-4 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 1-2 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/人	受伤人数/人	直接经济损失/万元
2001 年	40	1	2	37	41	72	259.4
2002 年	30	0	0	30	23	41	380.1
2003 年	45	0	4	41	38	70	1113.3
2004 年	35	0	4	31	44	60	1207.7

表 1-3 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/人	受伤人数/人	直接经济损失/万元
2001 年	41	0	0	41	31	80	150.3
2002 年	36	0	2	34	28	91	178.2
2003 年	33	0	1	32	19	87	158.8
2004 年	46	0	1	45	35	104	488.3

表 1-4 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/人	死亡人数/人
2001 年	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/调查中	17	0	0
	合 计	201	18	4
2002 年	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/调查中	30	0	0
	合 计	472	1	0

影响设备事故的因素是多方面的,它与技术水平,社会制度等都有比较密切的关系。但从总的情况来看,在同样的条件下,压力容器的破坏率一般都比较高,从技术的角度来分析,其原因主要是:

① 一般压力容器的结构虽然比较简单,但其部件的受力情况还是比较复杂的,特别是在开孔附近及结构不连续处;

② 压力容器的使用条件比较苛刻,它不但承受着大小不同的压力载荷(在许多情况下还是脉动载荷),而且有些还在高温或深冷的条件下运行,现代的压力容器又大都是焊接

结构,制造时(特别是焊接时)留下的微小缺陷在使用中遇到合适的条件(如使用温度等),就会迅速扩展而突然发生破坏;

③ 与其他设备比较起来,压力容器比较容易发生超载,而且一旦超载,会迅速造成破坏事故。

压力容器之所以作为特殊设备,除了因为它比较容易发生事故以外,更主要的是事故的破坏性严重。压力容器发生爆炸事故,不但使整台设备遭到毁坏,而且常常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,当容器爆破时,内部的介质即卸压膨胀,瞬时释放出较大的能量,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,并在大气中传播,从而造成更大的破坏。不但如此,在石油、化学工业的压力容器中,工作介质有很多是可燃或有毒的气体,这些容器一旦在运行中被损坏,除了由于容器本身爆炸所造成的破坏以外,还会由于它内部介质的向外扩散而引起化学爆炸、着火燃烧和恶性中毒等严重事故。

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的。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安全,目前我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,要分析压力容器的使用要求和操作条件,选择合适的材料、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,对压力容器的设计、制造、检验和使用等各个方面提出具体和必须遵守的规定。

历年来,世界各国由于压力容器爆炸所造成的灾害性事故为数不少。

美国东部俄亥俄州克里夫兰市一个液化天然气贮藏基地,在1944年10月20日发生重大事故。这个基地共有4台贮罐,其中一台为 $\Phi 21.3\text{m} \times 12.8\text{m}$ 的圆桶形贮罐,其余3台为直径17.4m的球形贮罐,圆桶形设备在使用过程中,先在其 $1/3 \sim 1/2$ 高度突然发生脆性破裂,于是大量的可燃气体夹着液体从贮罐内喷出,接着听到雷鸣般的响声,形成二次空间爆炸,变成火焰,然后整个贮罐爆炸,形成一片火海,20min后,又引起邻近的 $\Phi 17.4\text{m}$ 球罐倒塌和爆炸,灾情进一步扩大,造成128人死亡、400余人受伤,直接损失达680万美元。大火烧毁面积11.7万平方米,受害范围65万平方米。

1979年9月7日,我国浙江省某电化厂发生液氯爆炸事故。事故的经过是:该厂液氯灌装车间由于没有严格执行安全操作规程,钢瓶灌装前未作认真检查,将一只混进氯化石蜡的钢瓶充灌液氯,引起剧烈的化学反应,产生高温、高压而猛烈爆炸,这只0.5吨液氯钢瓶的碎片又击穿5吨液氯计量贮罐1只,并引爆了旁边已灌装氯气的4只钢瓶(1吨的3只,0.5吨的1只)。氯爆的威力很大,360m²的车间全部被炸毁,附近的厂房、办公楼和280多间民房都遭到不同程度的破坏。爆炸中心是厚约50cm的水泥、石子、石块结构的地坪,被炸成直径6m、深近2m的大坑。厚度18mm的5吨吊车工字钢梁5处被击穿,钢瓶碎片最远飞越800m,现场某只钢瓶被气浪掀起,腾空超过30m,附落在30m以外,打断屋梁,跌进盐库。液氯爆炸后,黄绿色的毒雾向上翻滚,高达50m左右,笼罩了整个厂区,并迅速向下风方向扩散,扩散的氯气总量约11吨,大量扩散的时间延续了约2.5h,波及7.35km²的市区。除中毒伤亡的以外,眼膜充血、呕吐、咳嗽等轻微中毒者不计其

数。200m 以内的绿化植物被熏枯萎。事故造成死亡 59 人，中毒住院 779 人，直接经济损失 63 万元，这次事故破坏力之大，在压力容器爆炸事故中，为我国历史上所罕见。

又如，2005 年 3 月 21 日，某化肥厂发生尿素合成塔爆炸重大事故，尿素合成塔塔身被炸成 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 年建造的，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。

事故发生后，尿素合成塔塔身被炸成 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，冷却排管系统全部被损坏。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，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。

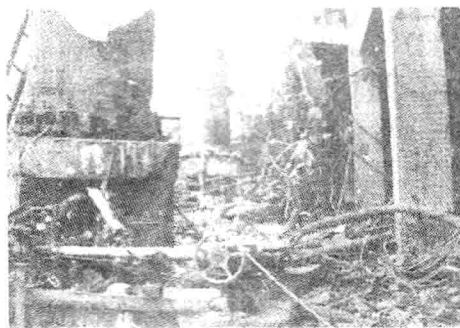


图 1-1 残留在原安装位置的筒节



图 1-2 第 9 节筒节残片呈现纵向裂纹

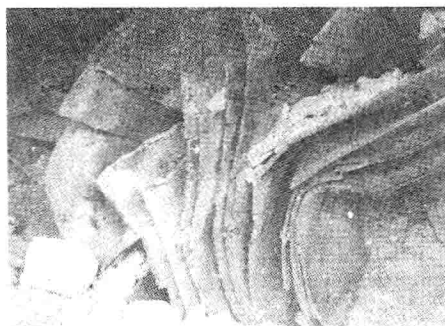


图 1-3 爆口呈多处不规则裂纹



图 1-4 飞落在约 90m 远处的 3 段

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。另一诱因为该塔在建造过程中,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。

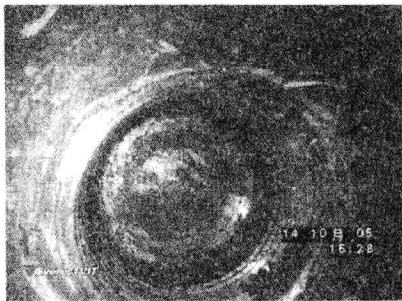


图 1-5 爆炸的合成塔检漏孔的实际结构

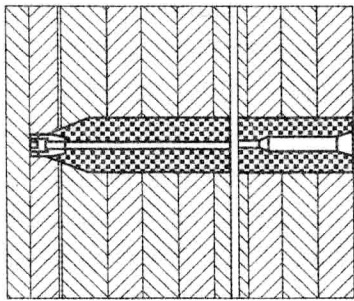


图 1-6 检漏孔的设计结构

1.2 压力容器技术进步

压力容器是一个涉及多行业、多学科的综合性产品,其技术涉及冶金、机械加工、腐蚀与防腐、无损检测、安全防护等众多行业。随着冶金、机械加工、焊接和无损检测等技术的不断进步,特别是计算机技术的飞速发展,在世界各国投入了大量人力物力进行深入研究的基础上,压力容器技术领域也取得了相应的进展。为了生产和使用更安全、更具有经济性的压力容器产品,传统的设计、制造、焊接和检验方法已经和正在不同程度地为新技术、新产品所代替,而冶金、机械加工、焊接和无损检测等压力容器相关行业的技术进步,是压力容器行业整体技术水平提高的前提条件。

1.2.1 压力容器用材料的技术进展

近年来,压力容器产品大型化、高参数化的趋势日益明显,千吨级的加氢反应器、一万立方米的天然气球罐等已经在我国大量应用,压力容器在石油化工、核工业、煤化工等领域中的应用场合也日益苛刻。因此,耐高温、高压和耐腐蚀的压力容器用材料的研制与开发一直是压力容器行业所面临的重大课题。对此,各国均投入了大量的人力物力从事相关的研究工作。目前,压力容器用材料的主要研究成果和技术进步表现在以下几个方面。

① 材料的高纯净度:冶金工业整体技术水平和装备水平的提高,极大地提高了材料的纯净度,提高了压力容器用材料的力学性能指标,提高了安全性;

② 材料的介质适用性:针对各种腐蚀性介质和操作工况,已研究开发出各种金属材料,使之适合各种应用条件,给设计者以更多选择的空间;

③ 材料的应用界限:针对高温蠕变、回火脆化、低温脆断所进行的研究,准确地给

出材料的应用范围。

1.2.2 计算机技术在压力容器的广泛应用

在信息时代的今天,计算机技术应用已经渗透到压力容器行业的每一个领域。计算机软硬件的每一个进步都极大地影响着压力容器行业的技术进展,其主要表现为以下几个方面。

(1) 设 计

传统的计算机辅助设计已逐步向计算机辅助工程的方向发展。

计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD),运用计算机软件制作并模拟实物设计,展现新开发商品的外形,结构,色彩,质感等特色。随着技术的不断发展,计算机辅助设计不仅仅适用于工业,还被广泛运用于平面印刷出版等诸多领域。它同时涉及软件和专用的硬件。

计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, CAE)是用计算机辅助求解复杂工程和产品结构强度、刚度、屈曲稳定性、动力响应、热传导、三维多体接触、弹塑性等力学性能的分析计算以及结构性能的优化设计等问题的一种近似数值分析方法。其基本思想是将一个形状复杂的连续体的求解区域分解为有限的形状简单的子区域,即将一个连续体简化为由有限个单元组合的等效组合体;通过将连续体离散化,把求解连续体的场变量(应力、位移、压力和温度等)问题简化为求解有限的单元节点上的场变量值。此时求解的基本方程将是一个代数方程组,而不是原来描述真实连续体场变量的微分方程组,得到的是近似的数值解,求解的近似程度取决于所采用的单元类型、数量以及对单元的插值函数。

计算机辅助工艺过程设计(Computer Aided Process Planning, CAPP)是一种将企业产品设计数据转换为产品制造数据的技术,通过这种计算机技术辅助工艺设计人员完成从毛坯到成品的设计。CAPP系统的应用将为企业数据信息的集成打下坚实的基础。

计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)是工程师大量使用产品生命周期管理计算机软件的产品元件制造过程。计算机辅助设计中生成的元件三维模型用于生成驱动数字控制机床的计算机数控代码。这包括工程师选择工具的类型、加工过程以及加工路径。

有些CAM与CAD系统集成在一起。每一个CAM软件首先都要解决CAD数据交换的问题,因为生成数据的CAD系统就像文字处理软件,经常按照它自己的专有格式保存数据。通常需要CAD操作员将数据输出成通用的数据格式,如IGES或者STL等,因为通常不需要再进行编辑,且这种格式可以较为简单。

CAM软件的输出结果通常是简单、有时也会非常大的G代码文本,然后使用直接数字控制(Distributed Numerical Control, DNC)程序将它传送到机床。

尽管长期以来人们一直希望CAM软件能够独立运转,但是通常它仍然需要知识与技能都很丰富的操作员选择合适的铣刀,并且定义生成高效率的路径所需的参数及策略。

随着计算机能力的不断增强和分析手段的日益多样化,设计者在结构设计阶段就可以预见到诸如焊接过程中所产生的残余应力、设备组装和运输过程中可能会出现碰撞等问题,并在设计阶段消除这些问题,分析设计和结构优化设计已经逐渐为设计者所掌握。

(2) 制 造

计算机辅助制造(CAM)技术正在逐步改变压力容器制造厂传统的工艺卡方式,质量管

理意识和生产方式已经发生了深刻的变革。压力容器全过程的计算机管理使得所有控制点均能得到有效的控制,极大地减少了人为失误,有效地保证了产品质量的稳定,保证了生产周期和生产成本的降低。

(3) 焊接

计算机控制的仿形焊机、激光焊机和全位置自动焊机的应用以及药芯焊丝的普遍应用,极大地提高了生产效率和产品质量。

(4) 无损检测

计算机射线实时成像、超声扫描模拟成像和多通道声发射等技术的应用,再配以专门研制的专家系统,使检测的结果更加准确和客观。特别是超声扫描模拟成像缺陷探察技术已经成功地用于核设备、加氢反应器等厚度大于 100mm 的重型容器。在 ASME CODE-CASE2235 和欧洲标准中,已经将该方法正式列入,这对提高重型容器的生产效率和减少射线污染起到了积极的作用。

1.2.3 结构设计

现代的压力容器结构设计正在逐步摆脱传统观念的束缚,体现真正满足工艺要求的设计理念,追求实效性、安全性和经济性的和谐统一。

① 结构的合理性设计:事实上,国外标准中对容器的具体结构形式不予限制,因此国外的压力容器结构所受的制约较少,给设计者很大的发挥空间,有利于设计出更加合理的结构。另外,分析设计手段的运用和验证性试验的实施为结构的合理性设计提供了必要的保障。由于我国缺少必要的应力分析手段和相关人才,在管理体制方面也存在不必要的制约因素,大多数设计者不敢脱离标准进行结构的优化设计,使得大量结构设计多年来重复使用,既存在不合理性,也严重制约了设计水平的提高。

② 结构的经济性设计:容器的安全性和经济性的和谐统一一直是设计者的追求,应力分析标准就是应此要求而出现的。焊接钢管的使用和特殊结构的应用,在很大程度上考虑了压力容器结构的经济性。近年来,我国压力容器结构的经济性设计日益得到重视,并逐渐为用户所接受,但仍然受到我国普遍存在的设计与制造脱离的体制性弊端的制约。

1.2.4 安全系数的降低

为了增加本国产品的竞争力,降低安全系数是目前世界各个国家和地区压力容器标准的普遍倾向,美国和欧洲统一压力容器标准均降低了相应的安全系数,美国将 n_b 由 4.0 降为 3.5,欧洲统一压力容器标准的 n_b 最小值为 1.875。我国也提出了将特定材料按照分析设计方法设计的安全系数 n_b 降为 2.6 的提案。安全系数的降低关系到压力容器标准的基础,对压力容器行业的经济性及安全性影响极大,必须慎之又慎。降低安全系数的前提条件是:

- ① 结构分析设计水平的提高;
- ② 制造经验的积累和制造技术水平的提高;
- ③ 更严格的材料技术要求;
- ④ 更科学的质量保证体系。

1.3 压力容器的规范和标准

1.3.1 国外有关压力容器规范及安全监督机构

本书所指的安全监察机构，一般是指锅炉、压力容器安全监察机构。

1778年瓦特发明了蒸汽机以后，在欧洲工业革命中，蒸汽锅炉作为蒸汽动力和热力设备蓬勃兴起，显示了它的生命力。但是锅炉设备的频繁爆炸，严重地威胁着人们的生命财产安全。从1870—1910年的40年间，美国、加拿大、墨西哥有记录的锅炉爆炸事故就有1万起左右。于是锅炉和压力容器的安全问题逐渐引起了人们的普遍注意。从20世纪初期起，许多工业国家都先后成立了各种研究机构，从事压力容器的科学研究工作和制定有关技术规范，并设置专门机构负责压力容器的安全监督工作。

19世纪中叶，欧洲大陆的主要工厂为维护企业主的利益，防止锅炉爆炸，联合聘请专门的工程技术人员对锅炉的设计、制造和材料等进行研究，对在用设备进行检验。这样，相应的专职检验机构、专业保险公司应运而生。随着生产的进一步发展，这类机构和组织日益巩固和完善，逐渐形成了独立于设备制造厂和用户以外的专业监督检验机构。如德国的“技术监督协会”(TÜV)，美国的“全国锅炉压力容器检验师协会”(NBBI)，法国的“蒸汽与电气机械工厂主联合会”(APAVE)，英国的“技术检查委员会”(AOTC)及其锅炉保险公司等都是这样发展起来的。20世纪初，这种形式的专业机构已遍及欧洲各工业国家。

专业监督检验机构成立以后，其首要任务是立法，为使所有工业企业遵守所制定的法规、标准、规程，必须得到政府部门的支持和认可。为此许多国家的政府部门都相继设立了专管机构，以批准、颁布这类法律、标准、规程。部分国家在民间监督机构的基础上成立了政府主管的监督部门，这样，不少原来的民间联合团体，由于官方的委托和认可，在某些方面代表政府行使权力，从而带有半官方性质。目前，多数国家的监督检验机构完全成为一种独立行事的专业机构，既不代表制造厂的利益，又不代表用户的利益，即称为“第三方”。目前，这种“第三方”的检验已经变成一种世界性的不成文法律。凡是锅炉、压力容器以及其他有危险的特种设备(如起重机械、电梯等)如未得到第三方的检验认可，则不得出厂，不得安装，不得使用，也不许进口。

目前各国监察机构都有一套严格的技术监督制度，现根据其任务及其组成状况，大致可分为3类。

① 国家设立统一的监督机构，统管制定规程，批准设计、制造、使用的管理工作。如中国、俄罗斯、马来西亚等。

② 国家设立监督机构，负责批准规程，批准设计和制造等工作。具体的检验工作由行业检验公司或检验师进行。如美国、英国、日本等。

③ 国家不设立专门的监督机构，由历史上形成的技术权威机构或协会承担监督检验工作，对这类机构的合法性，国家给予承认。如德国、瑞士等。

压力容器是具有爆炸危险的特种设备，特种设备安全监察机构就是为了保障其安全运行而设立的机构，它的职责是制定安全监察制度、规程和标准，并保证其执行。