



安全工程系列教材

ANQUAN
GONGCHENG
XILIEJIAOCAI

GUOLUYALIRONGQIANQUAN



锅炉压力容器安全

刘清方 吴孟娴 / 编著



首都经济贸易大学出版社

23.6

0

图书在版编目(CIP)数据

锅炉压力容器安全/刘清方,吴孟娴编著. —北京:首都经济贸易大学出版社,2000.7

ISBN 7-5638-0791-8

I. 锅… II. ①刘… ②吴… III. ①锅炉-安全技术②压力容器-安全技术

IV. TK288

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 05591 号

首都经济贸易大学出版社出版发行

(北京市朝阳区红庙)

北京市文星福利印刷厂印刷

全国新华书店经销

787×1092 毫米 16 开本 15.75 印张 377 千字

2000 年 7 月第 1 版 2000 年 7 月第 1 次印刷

印数:1~6 000

ISBN 7-5638-0791-8/TK·1

定价:28.00 元

《安全工程系列教材》

编委会

主 任 闪淳昌

副主任 姜 亢 钮英建

委 员 (按姓氏笔画为序)

王勇毅 毛海峰 刘清方

李泰国 吴孟娴 杨有启

杨泗霖 袁化临 郭晓宏

内容简介

锅炉压力容器安全与企业安全生产和人们生活安全密切相关,受到国家和全社会的关注。要保证锅炉压力容器安全,需要了解和掌握锅炉压力容器安全技术的基本原理和规律,对锅炉压力容器的设计、制造、安装、使用、维护、改造、检验等环节进行严格的安全控制。

本书首先简要介绍了锅炉压力容器的分类与结构,锅炉工作原理,然后重点介绍锅炉压力容器应力分析与强度设计、制造质量控制、安全装置、安全管理、缺陷检验、失效防范等。全书共九章,内容深入浅出,体现了国家最新标准及科研成果。

本书可用作安全工程及相关专业的锅炉压力容器安全教材,也可供锅炉压力容器安全监察、检验、管理、教育人员及其他相关人员参阅。

《安全工程系列教材》 出版说明

随着社会的发展和科学技术的进步,人们在生产及生活中接触的高速、高能设备及机电设施愈来愈多,与之相关的安全问题也愈来愈受到全社会的关注,这为安全工程技术的发展提供了物质基础和社会基础。

安全工程技术是涉及人、机、环境及多学科领域的系统安全工程,其中的机电安全领域不仅涉及多个特殊工种的安全操作,更涉及多种机电设备的本质安全性能及大、中、小各种形式的作业环境和社会环境。安全工程技术涵盖的内容,随着社会生产力的发展及科学技术的进步而不断变化和更新。

首都经济贸易大学安全工程系在安全工程技术领域,特别是在机电安全领域进行过长期的探索和研究,在这方面具有一定的优势和特点。大约 10 年前,曾经组织编写出版了一套《安全与卫生工程系列教材》(91 系列),在国内安全监察、管理及教育中发挥了积极的作用。

读者现在看到的《安全工程系列教材》,在一定意义上是 91 系列的发展、更新与精练。它包括《现代安全管理理论与实务》、《电气安全工程》、《起重与机械安全》、《锅炉压力容器安全》和《防火与防爆》等 5 本教材。

根据教学与实际工作的需要,本系列教材体现少而精和深入浅出的原则,将安全工程的基本内容、相关主要法规及最新技术进展简明扼要地展现出来,使读者可以在较短的时间内方便地了解、掌握本领域的基本知识。

本系列教材除可用作安全工程专业本科教材外,还可用作专业安全技术工作者的培训教材和参考资料。

《安全工程系列教材》编委会
2000 年 6 月

前 言

锅炉和压力容器是使用广泛而又具有爆炸危险的特殊设备。锅炉压力容器安全在国内均受到社会各方面的普遍关注。

由于锅炉是最早被使用的大型工业设备之一,所以锅炉压力容器安全技术是较早发展起来的特种设备安全工程技术。经过世界各国近百年的努力,随着生产的发展和科学技术的进步,锅炉和压力容器的规格及建造技术也在不断发展提高;锅炉压力容器发生事故及保证安全的基本规律已大体上被人们掌握,其安全技术已经发展为比较系统、成熟的技术。

理论研究及大量社会实践均表明,锅炉压力容器安全是一个以设备安全为中心、理论与实际相结合、技术与管理并重的系统安全工程问题,涉及锅炉和压力容器的设计、制造、安装、使用、维护、检验、修理等诸多环节及相关人员和环境。

本书编写的目的,就是根据教学及社会的需要,总结作者多年教学工作的经验,吸取社会实践中相关经验教训,在有限的篇幅内简明扼要地介绍锅炉压力容器安全的基本理论与成熟技术,以便读者掌握锅炉压力容器安全的相关知识。

本书的编写力求概念清晰、论述简明、体现本领域最新成果及我国最新标准和法规,并尽可能采用较多图表,以便读者理解和使用。

由于锅炉压力容器安全涉及诸多理论及实际问题,而本书的篇幅有限,在书中仅对锅炉压力容器安全较为关键的问题,如应力分析、强度设计、主要安全装置、事故防范等作了较详细的介绍,而对其他问题仅作一般介绍,如需进一步了解,可查阅有关资料。对于书中的不妥及错误之处,欢迎批评指正。

编者

2000年1月

目 录

绪论	(1)
第一章 锅炉压力容器分类与结构	(4)
第一节 锅炉压力容器分类	(4)
第二节 受压元件及压力容器结构	(8)
第三节 锅壳锅炉结构	(12)
第四节 小型水管锅炉结构	(16)
第五节 水火管锅炉结构及锅炉型号	(22)
第二章 锅炉基础	(27)
第一节 锅炉燃料及其燃烧	(27)
第二节 锅炉中的传热	(39)
第三节 锅炉热平衡	(42)
第四节 锅炉水循环和汽水分离	(44)
第五节 锅炉水质监控	(54)
第三章 锅炉压力容器应力分析	(68)
第一节 无矩理论与薄膜应力	(68)
第二节 承压圆平板的应力	(74)
第三节 圆筒壳的边界效应	(80)
第四节 厚壁圆筒在内压作用下的应力	(88)
第五节 热应力	(93)
第六节 应力分类	(98)
第四章 锅炉压力容器强度设计	(101)
第一节 强度设计概述	(101)
第二节 锅炉压力容器钢材	(104)
第三节 常见受压元件强度计算	(117)
第四节 薄壁筒体开孔补强	(125)
第五节 锅炉压力容器结构设计的一些问题	(130)
第五章 锅炉压力容器制造质量控制	(136)
第一节 壳体的成形与装焊	(136)
第二节 制造缺陷与安全	(139)
第三节 制造质量控制与检查	(146)
第六章 锅炉压力容器安全装置	(154)
第一节 概述	(154)
第二节 安全阀	(158)
第三节 爆破片装置	(164)
第四节 其他安全装置	(168)
第七章 锅炉压力容器安全管理	(177)

第一节 安全管理要点.....	(177)
第二节 锅炉启动、运行与停炉	(178)
第三节 锅炉事故.....	(188)
第四节 压力容器安全管理.....	(193)
第五节 气瓶安全管理.....	(196)
第八章 锅炉压力容器检验.....	(202)
第一节 概述.....	(202)
第二节 锅炉压力容器常见缺陷.....	(206)
第三节 常用检验方法.....	(211)
第九章 锅炉压力容器断裂及预防.....	(214)
第一节 失效分析简介.....	(214)
第二节 承压部件的断裂形式.....	(217)
第三节 锅炉压力容器爆炸能量及事故危害.....	(228)
附录 A 常用的国际单位与工程单位换算.....	(235)
附录 B 饱和水蒸气	(236)
参考文献.....	(239)

绪 论

锅炉和压力容器在国民经济中占有重要的地位。

锅炉是一种能量转换设备,在锅炉中通过燃料燃烧,将燃料的化学能转变为热能,再通过传热将热能传给工质——水,并使水变成蒸汽或较高温度的水。简言之,锅炉是生产蒸汽或加热水的设备。生产蒸汽的锅炉叫蒸汽锅炉;加热水使其升温但不汽化的锅炉叫热水锅炉。

压力容器泛指承受流体压力的密闭容器。安装和使用地点固定、工艺条件和操作人员也比较固定的容器为固定式容器;用以盛装并运输气体或液体介质的容器为移动式容器。

锅炉是特殊的压力容器——受火焰加热的压力容器系统。

一、锅炉压力容器安全的重要性

(一) 锅炉压力容器在工业生产及日常生活中应用十分广泛

锅炉广泛应用于电力、机械、化工、轻工、纺织、交通运输等部门及日常生活中。作为火力发电系统三大主机之一的锅炉,通常称做电站锅炉,其产汽量大、蒸汽参数高,一台锅炉即有多个承压部件,结构庞大复杂,总台数较少;其他工业企业及供暖使用的锅炉统称工业锅炉,其单台产汽量或供热量较小,参数较低,但数量巨大。我国矿石燃料产量的半数以上,都被锅炉消耗,转化为电能或热能。

压力容器广泛应用于石油化工、轻工、纺织、冶金、机械、航空航天、交通、采矿、医药等行业部门及日常生活中。如与压气机配套的储气罐,贮运永久气体或液化气体的气瓶、槽车、储罐,提供介质反应密闭空间的聚合釜、合成塔,加热或冷却介质的蒸煮锅、冷却器,用以分离不同介质的分离器、过滤器等,都是常见的压力容器种群。在化学工业和石化工业中,几乎每一个工艺过程都离不开压力容器,而且是生产中的主要设备。而液化石油气钢瓶等压力容器,则已进入千家万户,与人们的日常生活密切相关。

可以说,在工业生产的各个部门和社会生活的许多场所,都离不开锅炉和压力容器。

(二) 锅炉压力容器的工作条件恶劣,容易发生事故

1. 承受压力及温度。锅炉的汽水系统由密闭的容器和管道组成,在工作中承受介质压力和火焰加热,有时承受的压力和温度会达到很高的水平。压力容器承受大小不同的压力载荷和其他载荷,有些容器还在高温或深冷条件下运行。锅炉、压力容器内的压力可能因操作失误或反应异常而迅速升高,从而导致承压部件超压破裂。

2. 接触腐蚀性介质。压力容器的工作介质常常具有较强的腐蚀性,会导致氧腐蚀、硫腐蚀、硫化氢腐蚀以及各种浓度的酸、碱、盐腐蚀等;锅炉金属表面一侧要接触烟气、灰尘;另一侧要接触水或蒸汽,常会造成腐蚀或磨损。

3. 局部应力比较复杂。锅炉压力容器通常都有开孔接管或其他形状的不连续结构,在这些局部区域内存在着较高的应力,在不利的使用环境或载荷条件下,会导致承压部件破裂。

4. 连续运转不易检验。锅炉压力容器大多是钢制焊接结构,在焊缝部位常隐含漏检缺陷或标准允许缺陷。在使用中,锅炉及很多压力容器必须连续运行,不便停用检查,常因缺

陷扩展而导致破裂。

在上述因素共同影响下,即使设计、制造质量符合标准的锅炉和压力容器,也常发生各种事故,更不要说带有设计制造缺陷的设备了。

锅炉、压力容器的事故率,通常以万台设备每年发生的事故次数表示,即:事故数/(万台·年)。

(三) 锅炉压力容器事故后果严重,其爆炸是灾难性的

锅炉、压力容器承压部件的断裂破坏,具有巨大的破坏力,不仅损坏设备本身,而且损坏周围的设备和建筑,并常常造成人身伤亡,后果极其严重。造成伤害的因素主要有:

1. 冲击波破坏设备、建筑或直接伤人。锅炉、压力容器内的介质一般是具有较高压力的气体、液化气体或高温液体,承压部件一旦破裂,介质即泄压膨胀或瞬时汽(汽)化,瞬间释放出很大的能量。其中,85%的能量用以产生冲击波,向周围快速传播,破坏设备、建筑并危害人身安全。如果压源压力达 0.1MPa,就可以使距压源 1m 以内的人员死亡。

2. 碎片伤人或击穿设备、建筑。锅炉或压力容器破裂时,有些壳体可能会断裂成碎片并高速飞出,击穿、撞坏相遇的设备或建筑,有时直接伤人。

3. 容器内介质外溢,引起中毒、燃烧、二次爆炸,产生连锁反应。如果容器内的介质是毒性的,介质外溢会造成大面积毒害区域,不仅伤害域内人员,而且破坏生态环境;如果容器内介质是高温气、液介质,介质泄放会造成严重烫伤;如果容器内介质为可燃的气体或液化气体,当容器破裂时,可燃介质溢出与空气混合,将会产生二次爆炸并酿成火灾。

锅炉压力容器爆炸,常造成大面积的、立体性的破坏和群体伤害,对事发单位和社会造成严重危害。美国曾有一次锅炉爆炸死亡千余人的记录;国内外锅炉压力容器爆炸事故伤害的实例不胜枚举。

综上所述,锅炉、压力容器应用广泛,工作条件恶劣,容易损坏并发生事故,事故后果严重,因而对锅炉、压力容器的安全不能等闲视之。国家主席江泽民最近针对锅炉爆炸事故指出:人命关天的事,一定要慎之又慎,确保万无一失。我国同世界上其他国家一样,把锅炉压力容器作为一种特殊设备,由专门机构对其安全进行检查、监督。

二、避免锅炉压力容器事故的途径

从 19 世纪 70 年代开始,一些工业国家连续发生多起锅炉压力容器爆炸事故,典型的如美国 1905 年发生的某鞋厂火管锅炉爆炸事故,死亡 58 人,受伤 117 人。锅炉压力容器的安全问题逐渐引起人们的重视,许多国家先后成立了各种研究机构,从事锅炉压力容器安全的科学研究并制定有关技术规范;不少国家设置专门机构对锅炉压力容器进行安全监督。多年行之有效的实践证明,避免锅炉压力容器事故的基本途径是:

1. 用法规指导锅炉压力容器的设计、制造、安装、使用、检验、修理、改造等环节。美国机械工程师学会(ASME)制定的锅炉压力容器建造规范,是用于控制锅炉压力容器设计、制造、检验的安全规范。美国尚有锅炉压力容器检查管理局的检查规范,对锅炉压力容器的安装、修理、改造、运行、检验等也作了详细规定,用以保证锅炉压力容器的安全运行。其中 ASME 规范诞生于 20 世纪初期,经过 80 多年的发展与完善,目前已成为世界上公认的权威规范。其他工业国家如英国、德国、法国、日本等,都制定有法令性的锅炉压力容器技术规范。

我国在 1960 年颁布了第一个锅炉安全法规——蒸汽锅炉安全规程。1979 年以后陆续颁布了多个锅炉压力容器技术标准和法规。1982 年国务院颁布《锅炉压力容器安全监察暂行条例》, 以此为依据, 以后又陆续制定或修订了蒸汽锅炉、热水锅炉、压力容器、气瓶等安全技术监察规程。国家和有关部门颁布了各种锅炉压力容器设计制造标准。如 GB 150《钢制压力容器》、GB 9222《水管锅炉受压元件强度计算》、GB/T 16508《锅壳锅炉受压元件强度计算》等。实践证明, 严格依据有关法规、标准进行锅炉压力容器的设计、制造、安装、使用、检验、修理、改造等, 即可有效地避免锅炉压力容器事故。

2. 实行官方或第三方监督。美国于 1919 年成立国家锅炉压力容器检查管理局, 统一贯彻实施有关锅炉压力容器的安全标准和管理办法。英、法、德等国在 19 世纪就开始建立锅炉检验和保安机构, 现在英国的技术检查联合机构(AOTC)已拥有数千名锅炉压力容器检验人员。德国的锅炉压力容器监督和检验权力机构是技术检验协会(TÜV), 负责监督有关锅炉压力容器技术规范的执行情况, 而规范的制定则由压力容器委员会负责。法国压力容器安全监督权力机构是内政部矿业司; 日本的锅炉压力容器安全监督工作由政府的劳动省负责。

我国于 1956 年在劳动部设立锅炉安全检查总局, 1963 年扩充为锅炉压力容器安全监察局。各省、市、自治区也都设置了锅炉压力容器安全监察机构和检验单位。近年来我国实行对锅炉、压力容器的设计和制造的许可审批制度。实践证明, 这对防止锅炉压力容器的粗制滥造, 保证这一类承压设备的质量起到很大的作用。已形成规模和体系的国家锅炉压力容器检验研究中心和各省、市的检验研究所, 推进和完善了我国锅炉压力容器的检验工作。

三、学科特点及研究方法

锅炉压力容器安全技术是一门以设备安全为中心的系统安全工程技术。锅炉压力容器事故, 特别是锅炉压力容器爆炸, 是承压贮能设备破裂瞬时释放能量的结果。保证设备在承压贮能过程中不破裂, 就从根本上解决了锅炉压力容器的安全问题。

锅炉压力容器破裂爆炸, 不外乎两个方面的原因: 一是工作条件严重恶化, 远远超出设计工作条件, 比如严重超压或超温; 二是设备本身隐含或产生缺陷, 使设备承受不了正常的设计工作条件。

相应地, 避免破裂爆炸的对策是: (1) 选用的材料及设备应满足正常工作条件的要求; (2) 避免工作条件恶化; (3) 防止和消除设备缺陷。同时做到这几点并不是一件容易的事, 这既涉及锅炉、压力容器设备本身的安全性能, 又涉及相关的附件、辅机、人员和环境; 需要掌握锅炉压力容器的基本结构和工作原理, 也需要了解确保安全的一系列知识, 涉及数学、材料力学、流体力学、热力学、金属学及热处理、化学、管理学等多个学科, 具有较强的综合性和实践性。只要有意识地综合应用各个学科的有关知识, 循序渐进, 逐步累积, 坚持理论与实践相结合, 就不难掌握基本的锅炉压力容器安全技术。

第一章 锅炉压力容器分类与结构

第一节 锅炉压力容器分类

一、锅炉分类

(一) 锅炉规格

锅炉规格表示锅炉生产蒸汽或加热水的能力及水平。蒸汽锅炉的规格以单位时间内产生蒸汽的数量及蒸汽参数表示,热水锅炉的规格以单位时间内水的吸热量及热水参数表示。

蒸汽锅炉每小时所产生蒸汽的数量,称为锅炉的蒸发量,也称锅炉的容量或出力,常以符号 D 表示,单位是 t/h (吨/时)。通常所说的蒸发量是指锅炉的“额定蒸发量”,即锅炉在规定的蒸汽参数和给水温度下,连续运行时所必须保证的最大蒸发量,锅炉铭牌上的蒸发量就是额定蒸发量。

热水锅炉的容量是单位时间内水在锅炉里的吸热量,单位为 MW (兆瓦)。其额定值称额定热功率。

在比较热水锅炉与蒸汽锅炉时,通常认为 $0.7MW$ 的容量相当于 $1t/h$ 蒸发量。

锅炉容量的大小与锅炉受热面的多少密切相关。受热面是锅炉中隔开火焰(包括烟气)与水汽介质,并将热量由前者传给后者的金属壁面。受热面大多是管子及薄壁筒壳,不但受热,还承受水汽介质的压力。

蒸汽锅炉的蒸汽参数以锅炉主汽阀出口处蒸汽的压力(表压)和温度表示。压力的符号为 p ,单位为 MPa (兆帕);温度的符号为 t ,单位为 $^{\circ}C$ (摄氏度)。热水锅炉的介质参数以额定出水压力及额定进口/出口水温表示,符号与单位同上。

我国锅炉参数容量系列已纳入国家标准。工业蒸汽锅炉参数容量系列见表 1-1。

表 1-1 工业蒸汽锅炉参数容量系列

额定蒸发量/t·h ⁻¹	额定出口蒸汽压力(表压)/MPa										
	0.4	0.7	1.0	1.25		1.6		2.5			
	额定出口蒸汽温度/℃										
	饱和	饱和	饱和	饱和	250	350	饱和	350	饱和	350	400
0.1	△										
0.2	△										
0.5	△	△									
1	△	△	△								

续表

额定蒸发量/t·h ⁻¹	额定出口蒸汽压力(表压)/MPa										
	0.4	0.7	1.0	1.25		1.6		2.5			
	额定出口蒸汽温度/℃										
	饱和	饱和	饱和	饱和	250	350	饱和	350	饱和	350	400
2		△	△	△			△				
4		△	△	△			△		△		
6			△	△	△	△	△	△	△		
8			△	△	△	△	△	△	△		
10			△	△	△	△	△	△	△	△	△
15				△	△	△	△	△	△	△	△
20				△		△	△	△	△	△	△
35				△			△	△	△	△	△
65										△	△

(二) 锅炉的分类

可以从不同角度出发对锅炉进行分类。

1. 按用途不同,可以分为电站锅炉、工业锅炉、机车船舶锅炉、生活锅炉等。
2. 按容量的大小,可以分为大型锅炉、中型锅炉和小型锅炉。习惯上,把蒸发量大于100t/h的锅炉称作大型锅炉;把蒸发量为20~100t/h的锅炉称为中型锅炉;把蒸发量小于20t/h的锅炉称为小型锅炉。
3. 按蒸汽压力的大小,可以分为低压锅炉($p \leq 2.5\text{MPa}$)、中压锅炉($2.5\text{MPa} < p \leq 5.9\text{MPa}$)、高压锅炉($p = 9.8\text{MPa}$)、超高压锅炉($p = 13.7\text{MPa}$)、亚临界锅炉($p = 16.7\text{MPa}$)和超临界锅炉($p > 22\text{MPa}$,即高于临界压力)。
4. 按燃料和能源种类不同,可以分为燃煤锅炉、燃油锅炉、燃气锅炉、原子能锅炉、废热(余热)锅炉等。
5. 按锅炉结构形式不同,可以分为锅壳锅炉(火管锅炉)、水管锅炉和水火管锅炉。
6. 按燃料在锅炉中的燃烧方式不同,可以分为层燃炉、沸腾炉、室燃炉。
7. 按工质在蒸发系统的流动方式不同,可以分为自然循环锅炉、强制循环锅炉、直流锅炉等。

电站锅炉一般是压力较高(中压以上)、容量较大(中型以上)、采用室燃方式的水管锅炉,又可以分为许多种。

工业锅炉一般压力较低($p \leq 2.5\text{MPa}$),容量较小($D \leq 65\text{t/h}$),大都采用层燃,结构形式和燃烧设备种类繁多,主要用于工业生产用汽及采暖供热之中。工业锅炉的分类见表1-2。

表 1-2 工业锅炉类型

分类方法	锅 炉 类 型	
按锅炉结构形式	锅 壳	立式横水管、立式弯水管、立式直水管、立式横火管、卧式内燃回火管等
	水 管	单锅筒纵置式、单锅筒横置式、双锅筒纵置式、双锅筒横置式、纵横锅筒式、强制循环式等
	水 火 管	卧式快装
按燃烧设备	固定炉排、活动手摇炉排、链条炉排、抛煤机、振动炉排、下饲式炉排、往复推饲炉排、沸腾炉、室燃炉等	
按燃料种类	无烟煤、贫煤、烟煤、劣质烟煤、褐煤、油、气、甘蔗渣、稻壳、煤矸石、特种燃料、余热(废热)等	
按出厂形式	快装、组装、散装	
按供热工质	蒸汽、热水及其他工质	

二、压力容器分类

压力容器包括所有承受气液介质压力的密闭容器。目前我国纳入安全监察范围的压力容器则是同时具备下列三个条件的容器：

第一，最高工作压力 $p_w \geq 0.1 \text{ MPa}$ (表压，不含液柱静压力)；

第二，内直径(非圆形截面指断面最大尺寸) $D_i \geq 0.15 \text{ m}$ ，且容积 $V \geq 0.025 \text{ m}^3$ ；

第三，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(标准大气压对应的饱和温度)的液体。

压力容器的形式很多，根据不同的要求，分类方法有很多种。按容器的壁厚分为薄壁容器和厚壁容器；按承压方式分为内压容器和外压容器；按工作壁温分为高温容器、常温容器和低温容器；按壳体的几何形状分为球形容器、圆筒形容器、圆锥形容器和轮胎形容器等；按制造方法分为焊接容器、锻造容器、铸造容器和铆接容器；按制造材料分为钢制容器、铸铁容器、有色金属容器和非金属容器。

从安全管理和技术监督的角度，一般把压力容器分为两大类，即固定式容器和移动式容器。

(一) 固定式容器

固定式容器有固定的安装和使用地点，工艺条件和使用操作人员也比较固定。固定式容器还可以按其工作压力和用途进行分类。

1. 按压力分类。压力是压力容器最主要的一个工作参数。从安全角度讲，压力越高，发生爆炸事故的危害越大。为了便于对压力容器进行分级管理和技术监督，我国《压力容器安全技术监察规程》将压力容器分为四个压力级别，即：

低压容器 $0.1 \text{ MPa} \leq p < 1.6 \text{ MPa}$

中压容器 $1.6 \text{ MPa} \leq p < 10 \text{ MPa}$

高压容器 $10 \text{ MPa} \leq p < 100 \text{ MPa}$

超高压容器 $p \geq 100 \text{ MPa}$

其中， p 为压力容器的设计压力。

2. 按用途分类。根据容器在生产工艺过程中所起的作用，可以归纳为四大类，即反应容器、贮存容器、换热容器和分离容器。

(1) 反应容器:主要作用是为工作介质提供一个进行化学反应的密闭空间。如反应器、聚合釜、合成塔等。许多反应容器内工作介质发生化学反应的过程,往往又是放热或吸热过程,为了保持一定的反应温度,常装设一些加热或冷却、搅拌等附属装置。

(2) 贮存容器:主要用来贮备工作介质,以保持介质压力的稳定,保证生产的持续进行。介质在容器内一般不发生化学变化或物理变化。常用的压缩气体或液化气体贮罐、压力缓冲器等都属于这类容器。贮装容器的结构比较简单,一般仅由壳体、接管及外部一些必要的附件构成。大型的容器多采用球形,小型的容器则常为卧式圆筒形。

(3) 换热容器:主要作用是使工作介质在容器内进行热交换,以达到生产工艺过程中所需要的将介质加热或冷却的目的。如消毒器、水洗塔、冷却塔、板式换热器、夹套容器等。

(4) 分离容器:主要作用是让介质通入容器,利用降低流速、改变流动方向或用其他物料吸收等方式来分离气体中的混合物,从而净化气体或提取、回收杂质中的有用物料。在分离容器中,主要介质不发生化学反应。如分离器、吸收塔、洗涤器、过滤器等。

在实际生产过程中,有些容器往往具有多种用途,应按工艺过程中的主要作用来划分其种类。

(二) 移动式容器

移动式容器是一种贮运容器,它的主要用途是装运永久气体、液化气体和溶解气体。这类容器没有固定的使用地点,一般也没有专职的操作人员,使用环境经常变迁,管理比较复杂,也比较容易发生事故。移动式容器按其容积大小和结构形状分为气瓶、气桶和槽车三种。

(三) 压力容器的安全综合分类

为了在设计制造中对安全要求不同的压力容器有区别地进行技术管理和监督检查,我国《压力容器安全技术监察规程》根据容器压力的高低、介质的危害程度以及在使用中的重要性,将压力容器分为以下三类:

1. 三类容器。符合下列情况之一者为三类容器:

- (1) 高压容器;
- (2) 中压容器(毒性程度为极度和高度危害介质);
- (3) 中压贮存容器(易燃或毒性程度为中度危害介质,且设计压力与容积之积 $pV \geq 10\text{MPa} \cdot \text{m}^3$);
- (4) 中压反应容器(易燃或毒性程度为中度危害介质,且 $pV \geq 0.5\text{MPa} \cdot \text{m}^3$);
- (5) 低压容器(毒性程度为极度和高度危害介质,且 $pV \geq 0.2\text{MPa} \cdot \text{m}^3$);
- (6) 高压、中压管壳式余热锅炉;
- (7) 中压搪玻璃压力容器;
- (8) 使用强度级别较高(抗拉强度规定值下限 $\geq 540\text{MPa}$)的材料制造的压力容器;
- (9) 移动式压力容器,包括铁路罐车(介质为液化气体、低温液体)、罐式汽车(液化气体、低温液体或永久气体运输车)和罐式集装箱(介质为液化气体、低温液体)等;
- (10) 球形贮罐(容积 $V \geq 50\text{m}^3$);
- (11) 低温液体贮存容器($V \geq 5\text{m}^3$)。

2. 二类容器。符合下列情况之一且不在第1款之内者为二类容器:

- (1) 中压容器;

- (2) 低压容器(毒性程度为极度和高度危害介质);
- (3) 低压反应容器和低压贮存容器(易燃介质或毒性程度为中度危害介质);
- (4) 低压管壳式余热锅炉;
- (5) 低压搪玻璃压力容器。

3. 一类容器。低压容器且不在第 1、第 2 款之内者。

压力容器中化学介质毒性程度和易燃介质的划分可参照有关规定,或依据下述原则:

最高容许浓度 $<0.1\text{mg}/\text{m}^3$,为极度危害(I级);

最高容许浓度 $0.1\sim<1.0\text{mg}/\text{m}^3$,为高度危害(II级);

最高容许浓度 $1.0\sim<10\text{mg}/\text{m}^3$,为中度危害(III级);

最高容许浓度 $\geq 10\text{mg}/\text{m}^3$,为轻度危害毒性介质(IV级)。

而介质与空气的混合物爆炸下限 $<10\%$ 或爆炸上限与下限之差 $>20\%$ 者为易燃介质。

第二节 受压元件及压力容器结构

锅炉压力容器中按几何形状划分的基本承压单元称为受压元件。一个封闭的承压结构往往包括多个受压元件。例如,一个圆筒形容器,可以分为圆筒体和封头两大受压元件,圆筒上的接管、人孔及人孔盖则又是另外的受压元件。

压力容器的结构一般比较简单,其主要部件是一个能承受压力的壳体及其他必要的连接件和密封件。压力容器的本体结构形式较多,最常用的是球形和圆筒形壳体。

锅炉的结构形式很多,其系统比较复杂,但主要承压部件如锅筒、集箱、受热面管子、锅壳及炉胆等,大都是直径不同的圆筒形壳体。

综上所述,锅炉和压力容器的主要受压元件就是球壳、圆筒壳和与其相配的各种形式的封头。

一、球壳

球形容器的本体是一个球壳,一般都是焊接结构。球形容器的直径一般都比较大,难以整体或半整体压制成形,所以它大多是由许多块按一定的尺寸预先压制成形的球面板组焊而成。这些球面板的形状不完全相同,但板厚一般都相同。只有一些特大型、用以贮存液化气体的球形贮罐,球体下部的壳板才比上部的壳板要稍微厚一些。

从壳体受力的情况来看,最适宜的形状是球形。因为在内压力作用下,球形壳体的应力是圆筒形壳体的 $1/2$,如果容器的直径、制造材料和工作压力相同,则球形容器所需要的壁厚也仅为圆筒形的 $1/2$ 。从壳体的表面积来看,球形壳体的表面积要比容积相同的圆筒形壳体小 $10\%\sim 30\%$ (视圆筒形壳体高度与直径之比而定)。表面积小,所使用的板材也少,再加上需要的壁厚较薄,因而制造同样容积的容器,球形容器要比圆筒形容器节省板材约 $30\%\sim 40\%$ 。但是球形容器制造比较困难,工时成本较高,而且作为反应或传热、传质用容器,既不利于在内部安装工艺附件装置,也不利于内部相互作用的介质的流动,因此球形容器仅用作贮存容器。

球壳表面积小,除节省钢材外,当需要与周围环境隔热时,还可以节省隔热材料或减少热的散失。所以球形容器最适宜作液化气体贮罐。目前大型液化气体贮罐多采用球形。此

外,有些用蒸汽直接加热的容器,为了减少热损失,有时也采用球体,如造纸工业中用于蒸煮纸浆的蒸球等。

半球壳或球缺可用作圆筒壳的封头。

二、圆筒壳

圆筒形容器是使用得最为普遍的一种压力容器。圆筒形容器比球形容器易于制造,便于在内部装设工艺附件及内部工作介质的流动,因此它广泛用作反应、换热和分离容器。圆筒形容器由一个圆筒体和两端的封头(端盖)组成。

(一)薄壁圆筒壳

中、低压容器的筒体为薄壁(其外径与内径之比不大于1.2)圆筒壳。薄壁圆筒壳除了直径较小者可以采用无缝钢管外,一般都是焊接结构,即用钢板卷成圆筒后焊接而成。直径小的圆筒体只有一条纵焊缝;直径大的可以有两条甚至多条纵焊缝。同样,长度小的圆筒体只有两条环焊缝,长度大的则有多条。圆筒体有一个连续的轴对称曲面,承压后应力分布比较均匀。由于圆筒体的周向(环向)应力是轴向应力的两倍,所以制造圆筒时一般都使纵焊缝减至最少。

容器的筒体直径以公称直径 D_g 表示。用无缝钢管制作的圆筒体,其公称直径是指它的外径;对于焊接的圆筒体,公称直径是指它的内径。我国圆筒形薄壁容器的公称直径已形成标准系列。

夹套容器的筒体由两个大小不同的内外圆筒组成,外圆筒与一般承受内压的容器一样,内圆筒则是一个承受外压的壳体。在压力容器的压力界限范围内,虽然没有单纯承受外压的压力容器,但有承受外压的部件,如受外压的筒体、封头等。

(二)厚壁圆筒壳

高压容器一般都不是贮存容器,除少数是球体外,绝大部分是圆筒形容器。因为工作压力高,所以壳壁较厚,同样是由圆筒体和封头构成。厚壁圆筒的结构可分为单层筒体、多层板筒体和绕带式筒体等三种形状。

1. 单层筒体。单层厚壁筒体主要有三种结构形式,即整体锻造式、锻焊式和厚板焊接式。

(1) 整体锻造式厚壁筒体是全锻制结构,没有焊缝。它是用大型钢锭在中间冲孔后套入一根芯轴,在水压机上锻压成形,再经切削加工制成的。这种结构,金属消耗量特别大,其制造还需要一整套大型设备,所以目前已很少采用。

(2) 锻焊式厚壁筒体是在整体锻造式的基础上发展起来的。它由多个锻制的筒节组装焊接而成,只有环焊缝而没有纵焊缝。它常用于直径较大的高压容器(直径可达5~6m)。

(3) 厚板焊接式厚壁筒体是用大型卷板机将厚钢板热卷成圆筒,或用大型水压机将厚钢板压制圆筒瓣,然后用电渣焊焊接纵缝制成圆筒节,再由若干段筒节焊制而成。这种结构的金属耗量小,生产效率较高。

对于单层厚壁筒体来说,由于壳壁是单层的,当筒体金属存在裂纹等缺陷且缺陷附近的局部应力达到一定程度时,裂纹将沿着壳壁扩展,最后导致整个壳体的破坏。同样的材料,厚板不如薄板的抗脆性好,综合性能也差一些。当壳体承受内压时,壳壁上所产生的应力沿壁厚方向的分布是不均匀的,壁厚越厚,内外壁上的应力差别也越大。单层筒体无法改变这种应力分布不均匀的状况。