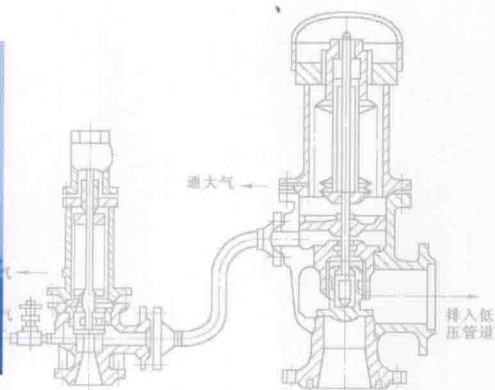
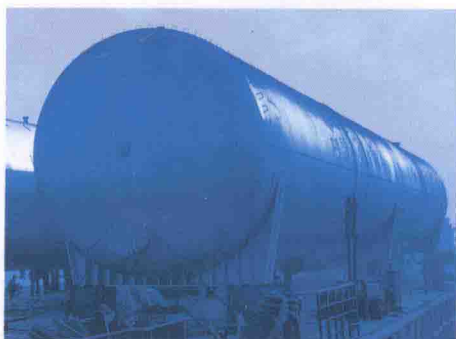


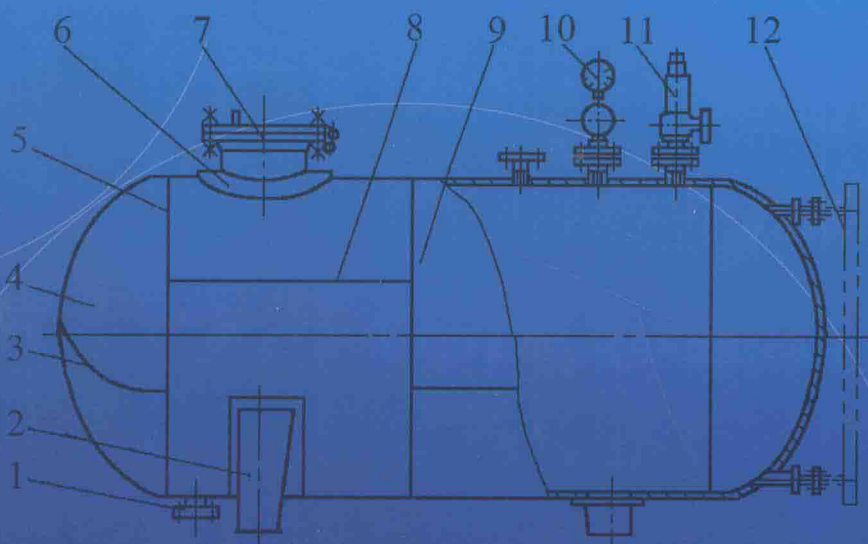
上海市重点图书



压力容器安全基础

YALI RONGQI ANQUAN JICHU

朱大滨 安源胜 乔建江 编著



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

上海市重点图书

压力容器安全基础

朱大滨 安源胜 乔建江 编著



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 上海 ·

图书在版编目(CIP)数据

压力容器安全基础/朱大滨,安源胜,乔建江编著.—上海:华东理工大学出版社,2014.2
ISBN 978-7-5628-3781-7

I. ①压力… II. ①朱…②安…③乔… III. ①压力容器安全—高等学校—教材
IV. ①TH490.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 018112 号

上海市重点图书

压力容器安全基础

编 著/ 朱大滨 安源胜 乔建江

责任编辑/ 徐知今

责任校对/ 金慧娟

出版发行/ 华东理工大学出版社有限公司

地 址: 上海市梅陇路 130 号, 200237

电 话: (021)64250306(营销部)

(021)64252722(编辑室)

传 真: (021)64252707

网 址: press.ecust.edu.cn

印 刷/ 常熟华顺印刷有限公司

开 本/ 710 mm×1000 mm 1/16

印 张/ 12.75

字 数/ 248 千字

版 次/ 2014 年 2 月第 1 版

印 次/ 2014 年 2 月第 1 次

书 号/ ISBN 978-7-5628-3781-7

定 价/ 34.00 元

联系我们: 电子邮箱 press@ecust.edu.cn

官方微博 e.weibo.com/ecustpress

淘宝官网 <http://shop61951206.taobao.com>



前 言

压力容器是工业生产和人们生活中必不可少的设备。作为承压类特种设备,由于压力、温度和复杂介质等原因,压力容器容易发生事故,且事故的后果往往非常严重。面对压力容器安全的严峻形势,我国越来越重视对这类特种设备的安全监察和管理,相继制定和修订了一系列有关压力容器的规程、规范和标准,对压力容器设计、制造、使用、维修、检验等各个方面进行了规范管理。

《压力容器安全基础》是为安全工程专业本科教学而编写的专业技术教材。本书依据现行的法规、规程、规范及标准,结合安全工程专业学生的知识结构和培养目标,充分体现了压力容器安全基本要求的最新规定。本书内容包括压力容器的基础知识、失效与爆炸危害、安全装置、使用与安全管理、定期检验、事故处理等。为了满足学生和广大工程技术人员对大量使用的移动式压力容器安全技术专业知识的需求,本书还介绍了气瓶安全的相关知识。

本书的编写从两方面入手,详细介绍压力容器的基本结构、材料、设计理论、制造工艺及法律、法规和标准;重点介绍压力容器的安全装置、使用与管理、定期检验环节的安全管理及技术要求。书中还着重分析了导致压力容器失效的原因,介绍了压力容器爆炸事故的危害、事故的调查与处理方法。大量的事故统计表明,造成压力容器事故的主要原因是人为与管理因素,如违章操作、对设备维护保养不善、不按规定定期检验等,因此,本书非常重视压力容器的安全管理,强调技术与管理并重。

本书共分7章,第1章、第3章由安源胜编写,第2章、第4章、第5章由朱大滨编写,第6章、第7章由乔建江编写。

在本书的编写过程中,华东理工大学教务处提供了编写经费支持,华东理工大学机械与动力工程学院承压系统与安全教育部重点实验室、资源与环境工程学院安全工程教研室有关师生提供了大力支持和帮助。在此,向为本书编写提供帮助的各位朋友致以深深的谢意。本书在编写过程中参阅了大量的有关资料,谨对原作者表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2013年12月

目 录

第 1 章 压力容器基本知识	1
1.1 概述	1
1.2 压力容器的基本结构	7
1.3 压力容器常用材料	22
1.4 压力容器受力分析与强度设计	31
1.5 压力容器制造	52
1.6 压力容器设计、制造的安全管理	58
1.7 压力容器法律、法规与标准	60
第 2 章 压力容器的失效形式与爆炸危害	68
2.1 压力容器的失效	68
2.2 压力容器的爆炸危害	81
第 3 章 压力容器的安全装置	93
3.1 安全装置类型及安全泄放量	93
3.2 安全阀	97
3.3 爆破片	103
3.4 其他安全装置	113
第 4 章 压力容器的使用管理与安全运行	122
4.1 压力容器的使用管理	122
4.2 压力容器的安全运行	125
4.3 压力容器的维护保养	130
第 5 章 压力容器的定期检验	132
5.1 定期检验目的及检验周期	132
5.2 压力容器的检验内容	136
5.3 压力容器的常见缺陷及检验	146
5.4 压力容器的常用无损检测方法	149

第 6 章 压力容器事故及分析	155
6.1 压力容器事故分级	155
6.2 压力容器事故调查与处理	156
6.3 压力容器事故分析	161
6.4 典型压力容器事故案例分析	169
第 7 章 气瓶安全技术	175
7.1 气瓶概述	175
7.2 气瓶的钢印标志和颜色标志	180
7.3 气瓶的充装	181
7.4 气瓶的使用管理	189
7.5 气瓶的定期检验	194
参考文献	197

第1章 压力容器基本知识

1.1 概述

压力容器是指能够承受压力的密闭容器。压力容器在工业生产中的应用十分广泛,是化工、石油、轻工、食品、制药等行业的关键设备。其中,石油化学工业中应用的压力容器约占全部压力容器总数的50%左右。压力容器不仅数量多,增长速度快,而且逐渐向容量大型化和结构复杂化的方向发展。压力容器由于密封、承受压力和储存危险介质等原因,往往容易发生燃烧、爆炸事故,直接危及操作人员生命安全和设备、财产安全,并带来环境污染问题。因此,世界各国均对压力容器实行严格的控制管理和安全监督。

广义上,压力容器是指所有承受压力载荷的密闭容器。工业上,把比较容易发生事故,且事故的危害比较大的压力容器作为一类承压类特种设备,由专门机构进行安全监督,并按规定的技术管理规范进行设计、制造和使用,这就需要对压力容器的范围加以限定。

1.1.1 压力容器范围的限定与定义

1. 压力容器范围的限定

限定压力容器的范围,主要考虑压力容器发生事故的可能性与事故产生危害的大小两个方面。压力容器发生爆炸事故时,其危害性大小与容器内的工作介质、工作压力及容积等因素有关。

工作介质是指容器内所盛装的或在容器内参与反应的物质。容器爆炸时所释放的能量与工作介质的物性、状态有关。

液态(指常温下的液体)的工作介质,由于压缩性小,膨胀时的膨胀功也小,容器爆破时释放的能量就小,所带来的危害也小。气态的工作介质,由于压缩性大,容器爆破时泄压膨胀所释放的能量也很大,危害性就相对液体大很多。对温度高于标准沸点(标准大气压下的沸点)的饱和液体和液化气体(指标准沸点在室温下,加压液化了的气体),在容器内部时由于压力较高,呈液态或气、液共存;当容器破裂时,容器内压力降低,饱和液体立即蒸发汽化,体积急剧膨胀,发生“爆沸”,释放的能量很大,危害性也大。因此,从工作介质来限定范围,应包括气体、液化气体和工作温度高于其标准沸点的饱和液体。

对工作压力和容积这两个因素,一般工作压力越高,容积越大,容器爆破时所释放的能量就越大,事故的危害性也就越大。但工作压力与容积的限定不像

工作介质那样有一个明确的界限,都是人为地规定一个比较合适的下限值。例如,对工作压力的下限值规定为 1 个大气压(0.098 MPa,表压);对容积,则以容器的工作压力与容积的乘积达到某一规定的数值作为下限。

我国《固定式压力容器安全技术监察规程》(TSG R0004—2009)对压力容器范围做了明确的限定,规定同时具备下列 3 个条件的容器为压力容器:

- (1) 最高工作压力大于或者等于 0.1 MPa(表压);
- (2) 最高工作压力与容积的乘积大于或者等于 $2.5 \text{ MPa} \cdot \text{L}$;
- (3) 盛装的介质为气体、液化气体以及最高工作温度高于或者等于其标准沸点的液体。

2. 压力容器的定义

我国《特种设备安全监察条例》对压力容器给出了限制性定义:

压力容器,是指盛装气体或者液体,承载一定压力的密闭设备,其范围规定为:最高工作压力大于或者等于 0.1 MPa(表压),且压力与容积的乘积大于或者等于 $2.5 \text{ MPa} \cdot \text{L}$ 的气体、液化气体和最高工作温度高于或者等于其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者等于 0.2 MPa(表压),且压力与容积的乘积大于或等于 $1.0 \text{ MPa} \cdot \text{L}$ 的气体、液化气体及液体介质标准沸点等于或者低于 60°C 的气瓶、氧舱等。

2

1.1.2 压力容器分类

压力容器形式多样,为了便于对不同类型的压力容器进行设计、制造或管理,常将容器按不同方法进行分类。

从压力容器的使用特点和安全方面考虑,常把压力容器分为两大类,即固定式压力容器和移动式压力容器。

1. 固定式压力容器

固定式压力容器是指除了用作运输压力储存气、液体的盛装容器以外的所有压力容器。这类容器有固定的安装和使用地点,工艺条件和操作人员也比较固定。容器一般不是单独装设,而是使用管道与其他设备相连。固定式压力容器还可以按照设计压力、作用原理、安全综合管理角度等进行分类。

1) 按设计压力分类

根据我国《固定式压力容器安全技术监察规程》附件 A 的规定,压力容器按设计压力分为:

- 低压容器(代号为 L): $0.1 \leq p < 1.6 \text{ MPa}$;
 - 中压容器(代号为 M): $1.6 \leq p < 10.0 \text{ MPa}$;
 - 高压容器(代号为 H): $10 \leq p < 100 \text{ MPa}$;
 - 超高压容器(代号为 U): $p \geq 100 \text{ MPa}$ 。
- 2) 按在生产工艺过程中的作用原理分类

压力容器按在生产工艺过程中的作用原理,划分为反应压力容器、换热压力容器、分离压力容器和储存压力容器。

(1) 反应压力容器(代号 R):主要是用于完成介质的物理、化学反应的压力容器,如各种反应器、反应釜、聚合釜、合成塔、变换炉、煤气发生炉等。

(2) 换热压力容器(代号 E):主要是用于完成介质的热量交换的压力容器,如各种热交换器、冷却器、冷凝器、加热器、蒸发器等。

(3) 分离压力容器(代号 S):主要是用于完成介质的流体压力平衡缓冲和气体净化分离的压力容器,如各种分离器、过滤器、集油器、洗涤器、吸收塔、铜洗塔、干燥塔、汽提塔、分汽缸、除氧器等。

(4) 储存压力容器(代号 C,其中球罐代号 B):主要是用于盛装气体、液体、液化气体等介质的压力容器,如各种形式的储罐、缓冲罐、消毒锅、印染机、烘缸、蒸锅等。

在一种压力容器中,如同时具备两个以上的工艺作用原理时,应当按工艺过程中的主要作用来划分品种。

3) 按安全综合管理角度分类

为了在压力容器设计、制造、检验、使用中对安全要求不同的压力容器有区别地进行安全技术管理和监督检查,《固定式压力容器安全技术监察规程》将压力容器分为三类。其分类方法是:首先根据介质特性,确定介质组别,选择类别划分图;再根据设计压力和容积值在不同介质分组图上标出坐标点,确定压力容器类别(I类、II类、III类)。

《固定式压力容器安全技术监察规程》将压力容器的工作介质分为两组,包括气体、液化气体或者最高工作温度高于或等于标准沸点的液体。第一组介质,即毒性程度为极度、高度危害的化学介质,易爆介质和液化气体;第二组介质,即除第一组介质以外的介质。

介质危害性是指压力容器在生产过程中因事故致使介质与人体大量接触,发生爆炸,或者因经常泄漏引起职业性慢性危害的严重程度,用介质毒性程度和爆炸危害程度表示。

毒性程度综合考虑急性毒性、最高允许浓度和职业性慢性危害等因素,极度危害最高允许浓度小于 0.1 mg/m^3 ;高度危害最高允许浓度 $0.1 \sim 1.0 \text{ mg/m}^3$ (含 0.1 mg/m^3 , 不含 1.0 mg/m^3);中度危害最高允许浓度 $1.0 \sim 10 \text{ mg/m}^3$ (含 1.0 mg/m^3 , 不含 10 mg/m^3);轻度危害最高允许浓度大于或等于 10 mg/m^3 。属于极度危害、高度危害的常见介质有氟、氢氟酸、氢氰酸、光气、氟化氢、氯等。

易爆介质指气体或液体的蒸气、薄雾与空气混合形成的爆炸混合物,并且其爆炸下限小于 10%,或者爆炸下限和爆炸上限的差值大于或等于 20% 的介质,如乙烷、乙烯、氯甲烷、环氧乙烷、氢、丁二烯、丁烷、丁烯、丙烯、丙烷、甲烷、天然气等。

压力容器介质的毒性危害程度和爆炸危险程度按照《压力容器中化学介质毒性危害和爆炸危险程度分类》(HG 20660—2000)确定。HG 20660 没有规定的,由压力容器设计单位参照《职业性接触毒物危害程度分级》(GBZ 230—2010)的原则,决定介质组别。

工作介质特性确定后,对第一组介质,压力容器的分类见图 1-1;对第二组介质,压力容器的分类见图 1-2。

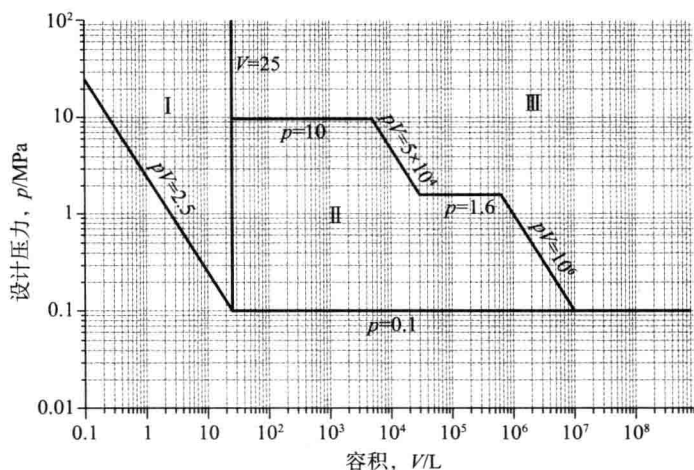


图 1-1 压力容器类别划分图(第一组介质)

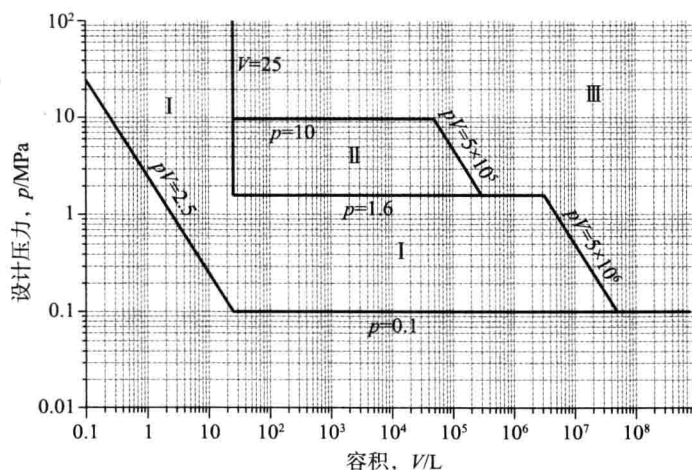


图 1-2 压力容器类别划分图(第二组介质)

2. 移动式压力容器

移动式压力容器的主要作用是储装和运输有压力的气体或液化气体。容器在气体制造厂充装气体,然后运送到使用单位使用。这类容器没有固定的使用地点,一般也没有专职的使用操作人员,使用环境经常更换,不确定因素较多,管理比较复杂,因而也比较容易发生事故。移动式压力容器按其容积的大小及结构形式可分为气瓶、槽(罐)车两大类。

1) 气瓶

气瓶的容积较小,一般都在 200L 以下,常用的为 40L 左右。气瓶按外形不同分为两种:一种两端不对称,分头部和底部两部分,头部缩颈收口并装阀,整体形状如瓶;另一种为筒状,两端有封头,一般相互对称,容积稍大,约为 200~1 000L。

按盛装气体的特性、用途和结构形式不同,气瓶分为永久气体气瓶、液化气体气瓶、溶解气体气瓶和其他气瓶等。我国《气瓶安全监察规定》(国家质检总局第 46 号,2003)规定气瓶的适用条件为:正常环境温度($-40\sim 60^{\circ}\text{C}$)下使用,公称工作压力大于或等于 0.2 MPa(表压),压力与容积的乘积大于或等于 $1.0\text{ MPa}\cdot\text{L}$,盛装气体、液化气体和标准沸点等于或低于 60°C 的液体的气瓶(不含仅在灭火时承受压力、储存时不承受压力的灭火用气瓶)。

(1) 永久气体气瓶:过去称作压缩气体气瓶,一般以较高的压力充装气体,目的是增加气瓶的单位容积盛装量,以提高气瓶的利用率和运输效率。常用的充装压力有 15 MPa 和 12.5 MPa,也有充装 20 MPa 和 30 MPa 的。所装的永久气体有氧气、氢气、氮气、空气、一氧化碳、甲烷、一氧化氮及氦、氖、氩等惰性气体。

(2) 液化气体气瓶(临界温度 $\geq -10^{\circ}\text{C}$ 的气体用气瓶):液化气体充装时都是以低温液态罐装。分高压液化气体气瓶和低压液化气体气瓶。高压液化气瓶充装的气体有二氧化碳、乙烷、乙烯等;低压液化气瓶充装的气体有氨、氯、丙烷、液化石油气等。

(3) 溶解气体气瓶:指专供盛装乙炔的气瓶。由于乙炔极不稳定,必须溶解在溶剂中(常见的是丙酮)。这种气瓶的内部装满了多孔性物质,用以吸收溶剂。一般情况下,溶解气体气瓶的最高工作压力 $p\leq 3.0\text{ MPa}$ 。

(4) 其他气瓶:指气瓶所盛装气体介质的特性、制造工艺、结构形式和使用要求等不同于上述三类的气瓶。这类气瓶的产品技术要求因介质而异,其主要类型有混合气体的气瓶、焊接气瓶、低温绝热气瓶、纤维缠绕气瓶和非重复充装气瓶等。其中,最常用的是空分行业中的低温、超低温液化气体的气瓶,它的外壳包裹着绝热夹套或绝热保温层。此外,液氧、液氮瓶(罐)等均属于此类。

2) 槽(罐)车

槽(罐)车指固定安装在流动车架上的一种卧式储罐,有火车槽车和汽车槽

车两种。容积较大,是专门用于运输液化气体用的。由于直径较大,一般不宜承受高压,因此只限于用以盛装低压液化气体。常用的是液化石油气槽车、液氨槽车和液氯槽车。

1.1.3 保证压力容器安全的重要性

压力容器使用广泛,数量多,但比较容易发生事故,且事故的破坏性往往又比较严重,因此其安全问题就特别值得注意。

1. 压力容器是工业生产中的常用设备

压力容器早期主要用于化学工业,压力多在 10 MPa 以下。合成氨和高压聚乙烯等高压生产工艺出现后,要求压力容器的压力达 100 MPa 以上。随着化工和石油化工等工业的发展,压力容器的工作温度范围越来越宽,容量不断增大,耐介质腐蚀的要求也越来越高。20 世纪 60 年代开始,核电站的发展对反应堆压力容器提出了更高的安全和技术要求,从而促进了压力容器的进一步发展。

目前,压力容器广泛应用于化工、石油、机械、动力、冶金、核能、航空、航天、海洋、食品等部门。如化工、石油工业中的反应装置、换热装置、分离装置的外壳、气液储罐,航空航天工业中的飞机、火箭、宇宙飞船壳体,动力工业中的核动力反应堆压力壳、电厂锅炉汽包,机械工业中的水压机、液压缸、储能器,食品工业中的杀菌锅、发酵罐等都是压力容器。压力容器已成为生产过程中必不可少的核心设备,是一个国家装备制造水平的重要标志。

2. 压力容器是容易发生破坏事故的特殊设备

压力容器作为一种特殊设备,由国家设置专门机构进行安全监督,其主要原因是它的事故发生率要比一般机械设备高,且事故的危害往往又特别严重。

压力容器事故发生率高有技术方面和管理方面的原因。

1) 技术方面的原因

(1) 工作条件恶劣。压力容器一般在较高的压力下工作,有时还处于高温或低温下工作,有的压力容器还盛装有毒、易燃、易爆或腐蚀性介质,工况环境比较恶劣。

(2) 局部应力复杂。压力容器的结构虽然简单,但受力情况复杂,特别是在容器开孔附近及其他结构不连续处,常会因过高的局部应力和反复的加载、卸载而造成疲劳破裂。

(3) 容易造成超压。压力容器在运行中容易产生超压。自身不产生压力的压力容器,当输入气量大于输出气量、输送管道被异物堵塞、阀门操作失误时会造成超压;自身产生压力的容器,常因装料过量、反应器中产物发生异常化学反应、操作失误时会造成超压。

(4) 容器本身常隐藏有严重缺陷。焊接或锻制的容器,常会在制造时留下微小裂纹等严重缺陷,这些缺陷若在运行中不断扩大,或在适当的条件(如使用

温度、工作介质性质等)下都会使容器突然破裂。

2) 管理方面的原因

(1) 压力容器管理、操作不符合要求。企业不配备或缺乏懂得压力容器专业知识和了解国家对压力容器的有关法规、标准的技术管理人员。压力容器操作人员未经必要的专业培训和考核,无证上岗,极易造成操作事故。

(2) 压力容器管理处于“四无状态”。即一无安全操作规程,二无压力容器技术档案,三无压力容器持证上岗人员和相关管理人员,四无定期检验管理,使压力容器和安全附件处于盲目使用、盲目管理的失控状态。

(3) 擅自改变使用条件,擅自修理改造。经营者无视压力容器安全,为了适应某种工艺需要而随意改变压力容器的用途和使用条件,甚至带“病”操作,违规超负荷生产等造成严重后果。

(4) 地方政府的安全监察管理部门和相关行政执法部门管理不到位。安全监察管理部门和相关行政执法部门的工作未能适应经济的发展,特别是规模小、分布广的民营和私营企业的急增,使压力容器的安全监察管理存在盲区和管理不到位的现象,助长了压力容器的违规使用和违规管理。

3. 压力容器爆炸可能造成严重破坏

压力容器由于密封、承受压力及介质等原因,容易发生爆炸、燃烧起火而危及人员、设备和财产的安全及污染环境事故。压力容器爆炸时,可能造成以下严重后果:

(1) 爆炸冲击波破坏建筑物、设备或直接伤人。

(2) 爆炸碎片伤人或击穿设备。

(3) 压力容器内介质若为有毒物质,爆炸后介质外溢,会造成大面积的毒害区,也会破坏生态环境,造成环境污染;当容器内盛装的介质为可燃液化气体时,在容器破裂爆炸现场形成大量可燃蒸气,并迅速与空气混合形成可爆性混合气,在扩散中遇明火即发生火灾,发生二次爆炸。

由此可见,加强压力容器的安全管理工作,保证压力容器安全运行具有重要的意义。

1.2 压力容器的基本结构

1.2.1 压力容器基本结构

压力容器的结构比较简单,一般由承压部件和附件组成,如图1-3所示。承压部件包括壳体、封头(端盖)、密封装置(法兰、密封元件、紧固件)、开孔与接管、支座(不受压力载荷)。附件包括安全附件(安全阀、爆破片)、测量与控制仪表。

1. 壳体

壳体用以储存物料或完成化学反应所需要的压力空间,是压力容器最主要的受压元件之一。其形状有圆筒形、球形、锥形和组合型等,常用的是圆筒形和球形两种。

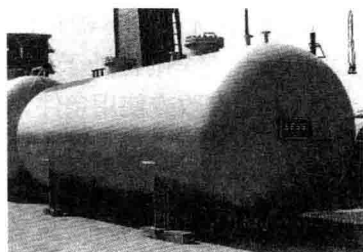
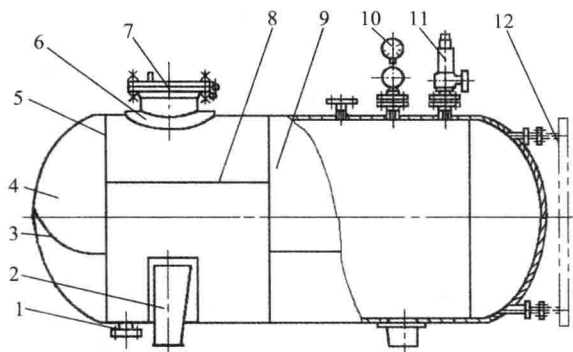


图 1-3 压力容器的基本结构

1—法兰;2—支座;3—封头拼焊焊缝;4—封头;5—环焊缝;6—补强圈;7—人孔
8—纵焊缝;9—筒体;10—压力表;11—安全阀;12—液面计

(1) 圆筒形壳体。圆筒形壳体形状是一圆柱形圆筒,应力分布比较均匀,承载能力较强,且易于制造,便于在内部安装工艺附件,并有利于相互作用的工作介质的相对流动,因而被广泛用作反应容器、换热容器和分离容器。

圆筒形容器筒体直径较小时(一般 $<500\text{ mm}$),可用无缝钢管制作;直径较大时,可用钢板在卷板机上先卷成圆筒,然后焊接而成。随着容器直径的增大,钢板需要拼接,因而钢板的纵焊缝条数增多。当壳体较长时,因受钢板尺寸的限制,需将两个或两个以上的筒体(此时每个筒体称为筒节)组焊成所需长度的筒体。

为了便于成批生产,筒体直径的大小已经标准化,其圆筒直径(公称直径)表示分两个系列:对由钢板卷制的筒体和成形的封头来说,公称直径是指其内径;当筒体的直径较小,直接采取无缝钢管制作时,容器的公称直径是指其外径。

圆筒体的长度与直径之比,一般是根据容器的工艺用途和制造方法来确定。长度与直径之比越大,容器用材料越省,但有些容器不适宜,如需要限制介质在筒体内的流速时。特别是小而长的薄壁容器,长度与直径比大,制造困难,安装和使用都不方便。

(2) 球形壳体。球形壳体的形状特点是中心对称,其优点是受力均匀,当压力、直径相同时,球壳的壁厚仅为圆筒形容器的一半,所以用球壳做容器,节省材料。缺点是制造困难,用于反应、传质或传热容器时,既不利于在内部安装工艺内件,也不利于内部相互作用的介质的流动。因此,球形壳体一般只用于中、低压的储存容器,又称球罐,如液化石油气储罐、液氨储罐等。此外,有些用蒸汽直

接加热的容器,为了减少热损失,有时也采用球形壳体,如造纸工艺中用于蒸煮纸浆的“蒸球”等。

球形容器直径一般比较大,难以整体或半球体压制成形,大多数是由许多块板材按一定尺寸预先压制成球面板后再经组焊而成。

2. 封头

与筒体以焊接连接而成不可拆的筒体端部,称为封头;与筒体以法兰等形式连接且可拆的筒体端部则称为端盖。根据 GB/T 25198—2010《压力容器封头》的规定,封头按几何形状不同,可分为半球形、椭圆形、碟形、球冠形、锥形和平板形等数种,对于组装后不需要再开启的容器,如无内件或虽有内件而不需要更换、检修的容器,封头和筒体采用焊接连接形式,能有效地保证密封,且节省钢材和减少制造加工量。对需要开启的容器,封头(端盖)和筒体的连接应采用可拆式的,此时在端盖和筒体之间必须装设密封件。

常见的封头形式有半球形封头、碟形封头、椭圆形封头、球冠形封头、锥形封头和平板封头等,如图 1-4 所示。

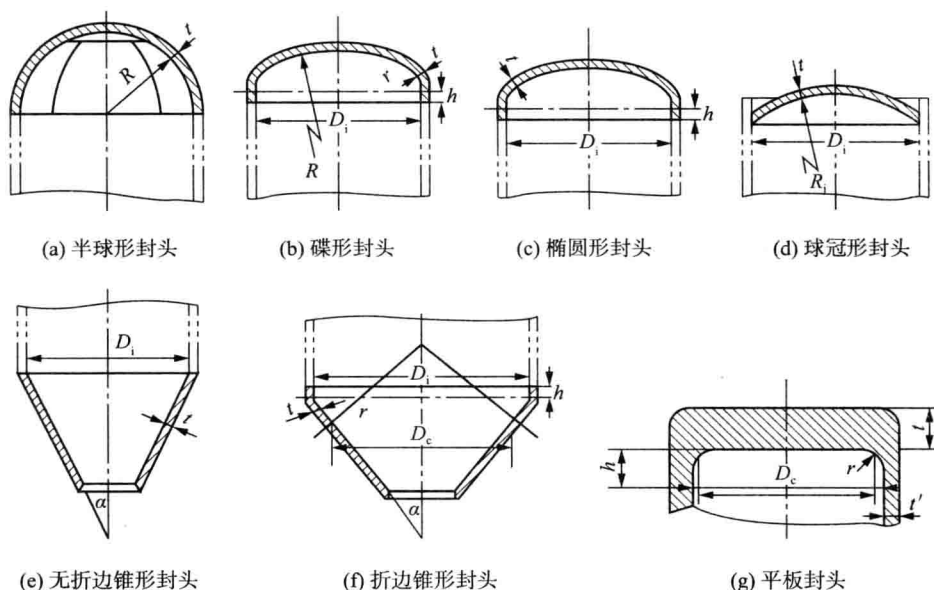


图 1-4 常见的封头形式

(1)半球形封头。半球形封头是半个球壳,如图 1-4(a)所示。其优点是同样容积下其表面积最小;在相同承压条件下,它所需要的壁厚最薄。因而从节省材料和满足强度的观点来看,采用半球形封头是最合理的。但从制造工艺来看,半球形封头深度大,用整体冲压方法制造较困难,尤其是当直径较小时加工非常困难。因而半球形封头除了用作压力较高、直径较大的储罐外,一般中低压容器

很少采用。

(2) 碟形封头。碟形封头由半径为 R 的部分球面、曲率半径为 r 的过渡段及高度为 h 的圆柱直边段三段组成,如图 1-4(b)所示。碟形封头成型加工方便,但在三部分连接处,由于经线曲率发生突变,受力状况不佳,故应力分布不像椭圆形封头均匀,因而在工程上应用并不理想。但当椭圆形封头的模具加工困难时,一般以碟形封头代替。碟形封头直边部分高度一般为 $20\sim 25\text{ mm}$,其目的是为了使边缘应力不作用在封头与筒体的连接焊缝上。

(3) 椭圆形封头。椭圆形封头是由半个椭球壳和一段高度为 h 的直边段部分组成的,如图 1-4(c)所示。由于椭圆部分经线曲率平滑连续,故封头中的应力分布比较均匀。目前国内外使用的中、低压容器,大部分都是椭圆形封头。其中,长短轴之比为 2 的椭圆形封头称为标准椭圆形封头。

(4) 球冠形封头。球冠形封头是一块深度很小的球面体,又称无折边球形封头,如图 1-4(d)所示。球冠形封头结构简单、深度浅、制造容易,但在球面与圆筒连接处存在相当大的不连续应力,故受力状况不良。因此,其只能用于直径较小、压力较低且不承担反复载荷的压力容器。

(5) 锥形封头。锥形封头主要用于压力较低的容器上。当介质含固体颗粒或介质黏度很大时,为了便于出料,常采用锥形封头。

锥形封头有两种形式,一种是无折边锥形封头,如图 1-4(e)所示,适用于半顶角 $\alpha < 30^\circ$,且内压不大的情况;另一种是有折边锥形封头,如图 1-4(f)所示,它与筒体连接处有一过渡圆弧与高度为 h 的圆筒形部分,一般 $h = 25\sim 40\text{ mm}$,其目的是降低局部连接应力,它用于半顶角 $\alpha > 30^\circ$ 的场合。当 $45^\circ < \alpha \leq 60^\circ$ 时,封头大小端均需折边。

(6) 平板封头。平板封头,如图 1-4(g)所示。与其他封头相比较,平板封头结构最为简单,制造方便,但受力状况最差。相同压力下,平板封头中产生的应力最大,所以在相同的受压条件下,平板封头比其他封头厚得多,所以它一般用于直径较小和压力较低的情况。平板封头在过去制造的高压容器上有所采用。但随着高压容器的大型化,用大型锻件加工成的平板封头就显得特别笨重,因此近年来制造的高压容器,特别是大直径的高压容器很少采用平板封头了。

3. 法兰连接结构

法兰连接由法兰、垫片和螺栓组成,借助螺栓把两部分设备连接在一起,并压紧垫片使连接处紧密不漏,如图 1-5 所示。

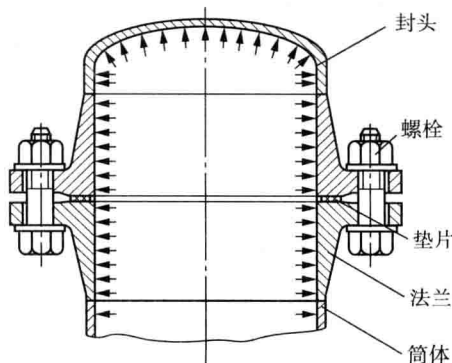


图 1-5 法兰连接结构

在压力容器应力分析中,法兰具有特殊性。不仅法兰本身是一个承受外载荷的结构部件,而且法兰连同螺栓和垫片成为承受初始预紧力的装配结构(螺栓法兰连接系统),其失效表现为泄漏,要解决法兰连接的问题,需要对整个系统的特性进行分析。

法兰连接的基本问题是在各种操作条件下,设备的法兰接头可能会向外或向内(在真空或减压条件下)发生泄漏,即法兰接头的紧密性问题。

1) 法兰类型

法兰分容器法兰和管法兰。压力容器法兰根据使用压力、使用温度和壳体公称直径的不同,分为甲型平焊法兰、乙型平焊法兰和长颈对焊法兰三种,如图1-6所示。乙型平焊法兰带有一个圆筒短节,长颈对焊法兰是用厚度较大的长颈代替圆筒短节。压力容器法兰的尺寸分别见标准 NB/T 47021—2012、NB/T 47022—2012、NB/T 47023—2012。

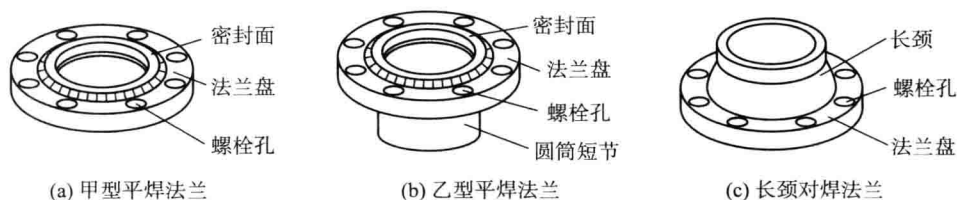


图 1-6 压力容器法兰

管法兰用于管道与管道间的可拆连接,与容器法兰不能互用。管法兰类型如图1-7所示。国际上通用的管法兰标准有两大体系,即以美国为代表的美洲体系和以德国为代表的欧洲体系。我国的管法兰标准也有两个,一个是国家标准 GB/T 9112~9124—2010,另一个是工业和信息化部颁发的行业标准 HG/T 20592~20635—2009(在原化学工业部颁发的标准 HG/T 20592~20635—1997基础上修订)。HG 标准包含了美洲和欧洲两大体系,内容完整,体系清晰。

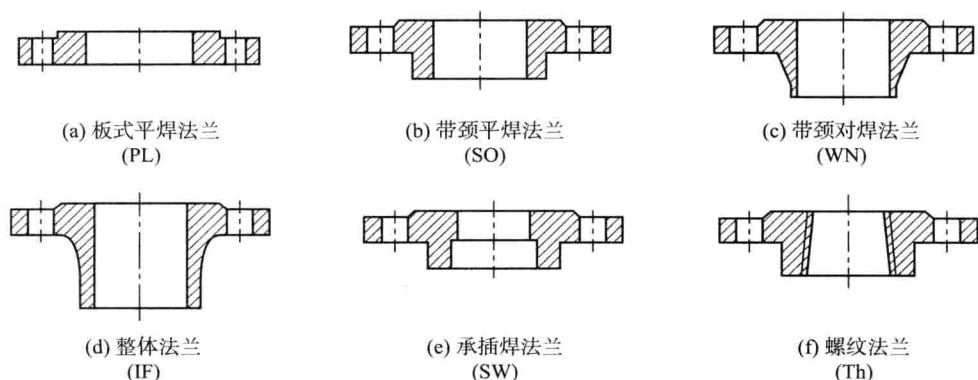


图 1-7 管法兰类型