

YALI RONGQI

ANQUAN JISHU

压力容器

肖 晖 刘贵东 主编

安全技术

(第2版)

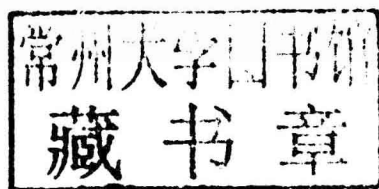


黄河水利出版社

压力容器安全技术

(第2版)

主 编 肖 晖 刘贵东
副主编 佟 桁 侯俊国 崔英贤



黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是在张兆杰主编的《压力容器安全技术》的基础上,对原书内容进行修订和补充完成的。全书共分 11 章,前 5 章是对压力容器知识的全面介绍,分别讲述了压力容器基础知识、压力容器结构、安全附件、压力容器的使用管理、压力容器事故危害及事故分析等,后 6 章是对换热器、烘筒、制冷系统、移动式压力容器、蒸压釜、空压机等的分别讲述。

本书可作为压力容器和换热器、烘筒、制冷系统、气体充装、蒸压釜、空压机等工种的操作和管理人员的培训教材和参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

压力容器安全技术/肖晖,刘贵东主编. —2 版. —郑州:黄河水利出版社,2012. 6

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0289 - 3

I. ①压… II. ①肖… ②刘… III. ①压力容器安全 IV. ①TH490. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 125453 号

组稿编辑:王路平 电话:0371 - 66022212 E-mail:hhsllwp@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsllcs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:14

字数:320 千字

版次:2001 年 10 月第 1 版

印次:2012 年 6 月第 1 次印刷

2012 年 6 月第 2 版

定价:36.00 元

再版前言

本书原主编张兆杰同志(原河南省特种设备协会副秘书长)自2001年第一次主编出版《压力容器安全技术》以来,又陆续主编并由黄河水利出版社出版发行了《锅炉操作安全技术》、《工业锅炉操作安全技术》、《锅炉水处理技术》、《气体充装安全技术》、《特种设备焊工培训教程》、《电梯操作安全技术》、《起重机械安全技术》、《锅炉安全管理人员培训教程》、《压力容器安全管理人员培训教程》、《气瓶检验充装质量手册编制指南》等一系列特种设备安全技术丛书。截至目前,各类特种设备系列丛书经多次再版重印并已累计发行10余万册,为我省乃至全国的特种设备设计、制造、检验、操作、安全监察、安全管理等人员的教育培训事业做出了巨大贡献。但是由于张兆杰同志多年来为特种设备事业呕心沥血,心力交瘁,不幸英年早逝,在本书再版之际,特此说明,以表深切怀念!

在本次再版编写过程中,保留了原书的主体结构和注重实用性的特色,采纳了从事压力容器设计、制造、检验、安全管理等方面的专家及一线作业人员提出的很多宝贵意见和建议,并根据2009年国务院第549号令《国务院关于修改〈特种设备安全监察条例〉的决定》、《特种设备事故报告和调查处理规定》、《固定式压力容器安全技术监察规程》、《移动式压力容器安全技术监察规程》、《压力容器》(GB 150—2011)等一系列国家及行业新颁布的标准、规范及法规,对原书的相关内容进行了修订和更新,将原书第九章“气体充装”内容删去,增加了移动式压力容器的有关内容,以满足移动式压力容器安全管理人员和作业人员的培训要求。

本书编写人员及编写分工如下:河南省锅炉压力容器安全检测研究院佟桁编写第一章、第三章,南阳市锅炉压力容器检验所宋震编写第二章,南阳市锅炉压力容器检验所侯俊国编写第四章、第五章,南阳市锅炉压力容器检验所崔英贤编写第六章、第九章,河南省锅炉压力容器安全检测研究院肖晖编写第七章、第十章、第十一章,巩义市质量技术监督局刘贵东编写第八章。本书由肖晖、刘贵东担任主编,肖晖负责全书统稿,由佟桁、侯俊国、崔英贤担任副主编。

本书的不当之处,恳请广大读者批评指正,以便作进一步修订。

编者

2012年5月

目 录

再版前言

第一章 压力容器基础知识	(1)
第一节 压力容器简介	(1)
第二节 压力容器工艺参数	(5)
第三节 压力容器的分类	(7)
第四节 压力容器常用的钢材	(10)
第五节 压力容器的应力及其对安全的影响	(13)
习 题	(14)
第二章 压力容器结构	(16)
第一节 容器的基本构成	(16)
第二节 圆筒体结构	(22)
第三节 封 头	(26)
第四节 法兰连接结构	(29)
第五节 密封结构	(33)
第六节 支 座	(37)
习 题	(41)
第三章 安全附件	(42)
第一节 安全阀	(42)
第二节 爆破片	(48)
第三节 压力表	(51)
第四节 液面计	(52)
第五节 温度计	(56)
第六节 常用阀门	(58)
习 题	(61)
第四章 压力容器的使用管理	(62)
第一节 容器的安全技术档案	(62)
第二节 容器的使用、变更登记	(64)
第三节 容器的安全使用管理	(65)
第四节 容器的操作与维护	(67)
第五节 容器的检验	(72)
习 题	(84)
第五章 压力容器事故危害及事故分析	(85)
第一节 容器的爆炸能量	(85)

第二节	压力容器事故的危害	(88)
第三节	容器破裂形式	(91)
第四节	事故分析	(95)
习 题		(103)
第六章	换热器	(104)
第一节	概 述	(104)
第二节	典型事故	(120)
习 题		(123)
第七章	烘 筒	(124)
第一节	概 述	(124)
第二节	典型事故	(127)
习 题		(130)
第八章	制冷系统	(131)
第一节	安全技术在制冷系统中的意义	(131)
第二节	安全装置	(131)
第三节	安全操作	(134)
第四节	紧急救护	(136)
第五节	制冷装置操作管理与维护检修	(138)
第六节	制冷事故案例分析	(159)
习 题		(165)
第九章	移动式压力容器	(166)
第一节	概 述	(166)
第二节	常温液化气体汽车罐车	(167)
第三节	常温液化气体铁路罐车	(175)
第四节	低温液化气体汽车罐车	(177)
第五节	液化气体罐车的使用管理	(180)
第六节	液化气体汽车罐车的定期检验	(182)
习 题		(184)
第十章	蒸压釜	(185)
第一节	概 述	(185)
第二节	典型事故	(192)
习 题		(195)
第十一章	空压机	(196)
第一节	概 述	(196)
第二节	活塞式压缩机	(200)
第三节	空压机的使用管理	(213)
习 题		(216)
附录	各章习题参考答案	(217)
参考文献		(218)

第一章 压力容器基础知识

压力容器是工业生产过程中不可缺少的一种设备。随着国民经济的发展和人民生活水平的提高,压力容器的使用越来越广泛,它不仅用于工农业、科研、国防、医疗卫生和文教体育等国民经济各部门,而且已深入到千家万户之中。压力容器不仅数量多,增长速度快,而且类型复杂,发生事故的可能性较大。作为压力容器操作人员,保证压力容器安全运行是自己应尽的职责。为了帮助操作人员提高理论知识和实际操作水平,本章将较详细地讲解一些与压力容器有关的基础知识。

第一节 压力容器简介

一、压力

我们把垂直作用在物体表面上的力叫做压力。当人们在烂泥路上步行时,两脚常会陷得很深,如果在路面上铺一块木板,人从木板上走,两脚就不会下陷。由此可见,是否会陷入路面不仅与路面承受的压力大小有关,而且与受力的面积有关。因此,应以单位面积上所受到的压力来进行比较。我们把单位面积上承受的力叫做压强。若用 P 表示压强, F 表示压力, S 表示受力面积,则:

$$P(\text{压强}) = F(\text{压力}) / S(\text{受力面积}) \quad (1-1)$$

力的单位用“N(牛顿)”表示;面积的单位用“ m^2 ”和“ cm^2 ”表示。压强的法定计量单位是“帕斯卡”,简称“帕”,用“Pa”表示。 $1 \text{ 帕} = 1 \text{ 牛}/\text{米}^2$,即 $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2$ 。它与以往所用压强单位“ kgf/cm^2 ”的换算关系为:

$$1 \text{ kgf}/\text{cm}^2 = 10\,000 \text{ kgf}/\text{m}^2 = 9.8 \times 10^4 \text{ Pa} = 0.098 \text{ MPa} \approx 0.1 \text{ MPa}$$

从上述分析可知,压力与压强是两个不同概念的物理量,但在压力容器上或一般工程技术上,人们习惯于将压强称为压力。因此,在未加说明时,本书中以后所说的压力实际上就是压强。

(一) 大气压力

地球表面被一层很厚的大气包裹着。大气受地心的吸引产生重力,所以包围在地球外面的大气层对地球表面及其上的物体便产生了大气压力,即所谓的大气压。大气层越厚,压力就越大;反之,就越小。所以大气压力不是恒定不变的,高山上的大气压就比海平面上的小。为了使计算有个统一基点,以往我们将海平面上的大气压 $1.033 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ (相当于 0.1 MPa , MPa 读作兆帕, $1 \text{ 兆} = 100 \text{ 万}$),或 760 毫米汞柱 称为 1 个标准大气压 ,或一个物理大气压。

工程上为了计算方便,把 $1 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ (0.098 MPa) 的压力称为 1 个工程大气压 。它与标准大气压之间的换算关系为:

1 工程大气压 = 0.968 标准大气压 = 735.6 mmHg

如果以水柱高度来计算压力,其换算关系为:

1 kgf/m² (9.8 Pa) = 1 mmH₂O

1 kgf/cm² (0.098 MPa) = 10 000 mmH₂O = 10 mH₂O

(二) 绝对压力、表压力与负压力

容器内介质(液体或气体)的压力高于大气压时,介质处于正压状态;低于大气压时,则介质处于负压状态。容器内的实际压力称为绝对压力,用符号“Pa”表示。

当容器内介质的压力等于大气压力时,压力表的指针指在零位(见图 1-1(a)),或 U 形管压力表的液面高度相等(见图 1-2(a))。

当容器内介质的压力大于大气压力时,压力表的指针才会转动,表上才有读数(见图 1-1(b)),或 U 形管压力表的液面被容器内介质压向通大气的一端,形成液柱差 H (见图 1-2(b))。此时压力表的读数或液柱差 H 产生的压力值就是容器内介质压力超出大气压力的部分,即表压力,简称表压。

当容器内介质的压力低于外界大气压力时,则 U 形管压力表的液面被大气压力压向与容器相连的一端,形成液柱差 H' (见图 1-2(c)), H' 的压力值即为介质的压力低于大气压力的部分,称为负压力或真空,简称负压。

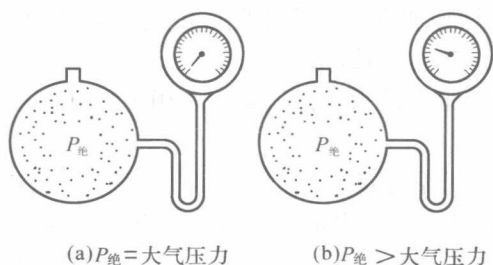


图 1-1 压力表读数示意

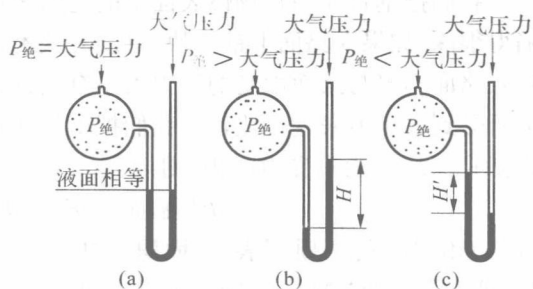


图 1-2 U 形管压力表测压示意图

绝对压力、表压力及大气压力三者之间的关系为:

$$P_{\text{绝}} = P_{\text{表}} + P_{\text{大气}} \quad (1-2)$$

由上式可知,只有当表压力是负数时,绝对压力才有可能小于大气压力,而出现负压力 $P_{\text{负}}$:

$$P_{\text{负}} = P_{\text{大气}} - P_{\text{绝}} \quad (1-3)$$

人们通常所说的容器压力或介质压力均指表压力。

二、压力容器的定义

所谓容器,通常的说法是:由曲面构成用于盛装物料的空间构件。通俗地讲,就是化工、炼油、医药、食品等生产所用的各种设备外部的壳体都属于容器。不言而喻,所有承受压力的密闭容器称为压力容器,或者称为受压容器。

三、压力容器的压力源

容器所盛装的或在容器内参加反应的物质,称为工作介质。常用压力容器的工作介质是各种压缩气体或水蒸气,所以我们这里主要讲气体介质的压力来源。压力来源可以分为气体压力的产生或增大来自容器内或容器外两类。

(1)容器的气体压力产生于容器外时,其压力源一般是气体压缩机或蒸汽锅炉。气体压缩机主要有容积型(活塞式、螺杆式、转子式、滑片式等)和速度型(离心式、轴流式、混流式等)两类。容积型气体压缩机是通过缩小气体的体积,增加气体的密度来提高气体压力的。而速度型气体压缩机则是通过增加气体的流速,使气体的动能转变为势能来提高气体压力的。工作介质为压缩气体的压力容器,其可能达到的最高压力为气体压缩机出口的气体压力(当然,气体在容器内温度大幅度升高或产生其他物理化学变化使压力升高的情况除外)。

蒸汽锅炉是利用燃烧放出的热量将水加热蒸发而产生水蒸气的一种设备。由于在相同压力下水蒸气的体积是饱和水的1 000多倍,例如在1个绝对大气压力下,1 kg饱和水的体积是1.043 L,而变为水蒸气后的体积则是1 725 L,约增大1 700倍。因为锅炉是密闭的,汽包(或锅筒)的体积有限,随着锅水不断受热蒸发,蒸汽密度不断增加,压力也随之增大。工作介质为水蒸气的压力容器,其可能达到的最高压力为锅炉出口处的蒸汽压力。

(2)容器的气体压力产生于容器内时,其原因有:容器内介质的聚集状态发生改变;气体介质在容器内受热,温度急剧升高;介质在容器内发生体积增大的化学反应等。

由于介质的聚集状态发生改变而产生或增加压力的,一般是由于液态或固态物质在容器内受热(如周围环境温度升高;容器内其他物料发生放热化学反应等),蒸发或分解为气体,体积剧烈膨胀,但因受到容器容积的限制,气体密度增加,因而在容器内产生压力或使原有的气体压力增加。例如二氧化硫,当温度低于 $-10.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (标准沸点)时,它在密闭容器内的蒸汽压力低于大气压力,而当温度升高至 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,呈液态的二氧化硫便大量蒸发,其蒸汽压力即升高到11.25个绝对大气压。又如高分子聚合物固态聚甲醛,受热后“角聚”变为气态,体积约增大1 065倍,在密闭容器内也会产生很高的气体压力。

由于气体介质在容器内受热而产生或显著增加压力的情况一般是少见的。只有因特殊原因,气体在容器内吸收了大量的热量,温度大幅度升高时,压力显著增加的情况才会发生。例如,在有些储装易于发生聚合反应的气体容器(如某些碳氢化合物储罐),在合适条件下,单分子气体可以局部发生聚合反应,产生大量的聚合热,使容器内的气体受热,温度大幅度上升,使压力剧烈增大,有时还会因此而产生容器超压爆炸事故。

由于介质在容器内发生体积增大的化学反应而使压力升高的例子较多,例如用碳化钙加水经化学反应生成乙炔气体,体积大为增加,在密闭的容器内会产生较高的压力。又如电解水制取氢和氧的反应,因为 1 m^3 的水可以分解成 $1\,240\text{ m}^3$ 的氢气和 620 m^3 的氧气,体积约增大2 000倍,在密闭的容器内也会产生很高的压力。

常用的压力容器中,气体压力在容器外增大的较多,在容器内增大的较少。但后者危险性较大,对压力控制的要求也更严格。

四、压力容器界限

本书讨论的压力容器,主要是指那些容易发生事故,而且事故的危害性较大,须由专门机构进行监督,并按规定的技术管理规范进行制造和使用的压力容器。也就是对压力容器划个界限,哪些按一般设备对待,哪些按特种设备对待。本书所叙述的系指按特种设备对待的压力容器。

(一)划分压力容器的界限应考虑的因素

划分压力容器的界限应考虑的因素,主要是事故发生的可能性与事故危害性的大小两个方面。目前,国际上对压力容器的界限范围尚无完全统一的规定。一般说来,压力容器发生爆炸事故时,其危害性大小与工作介质的状态、工作压力及容器的容积等因素有关。

工作介质是液体的压力容器,由于液体的压缩性极小,因此在容器爆炸时其膨胀功,即所释放的能量很小,危害性也小。而工作介质是气体的压力容器,因气体具有很大的压缩性,容器爆炸时膨胀功,即瞬时所释放的能量很大,危害性也就大。例如一个容积为 10 m^3 ,工作压力为 11 个绝对大气压的容器,如果盛装空气,容器爆炸时所释放的能量约为 $13.3 \times 10^6 \text{ J}$ 。如果盛装的是水,则容器爆炸时所释放的能量仅为 $21.6 \times 10^2 \text{ J}$,约为前者的 $1/6200$ 。由此可见,工作介质为液体时,即使容器爆炸,其危害性也是比较小的,所以一般都不把这类工作介质为液体的压力容器列入作为特殊设备的压力容器范围内。值得注意的是,这里所说的液体,是指常温下的液体,不包括最高工作温度高于其标准沸点(即标准大气压下的沸点)的液体和液化气体。因为这些介质虽然在容器中由于压力较高而绝大部分呈液态(实际上是气、液并存的饱和状态),但当容器爆炸时,容器内压力下降,这些饱和液体会立即汽化,体积急剧膨胀,所释放出来的能量也很大。所以,从工作介质的状态来划分压力容器的界限范围时,它应包括介质为气体、水蒸气、工作温度高于其标准沸点的饱和液体和液化气体的容器。

划分压力容器的界限,除了考虑工作介质的状态,还应考虑容器的工作压力和容积这两个因素。一般说来,工作压力越高,容积越大,容器储存的能量就越大,所以事故的危害性也就越大。但压力和容积的划分不像工作介质那样有一个比较明确的界限,都是人为地规定一个比较合适的下限值,如工作压力的下限值规定为 1 个大气压(0.098 MPa,表压)。至于压力容器的容积应如何规定才合适却很难说,所以有些国家不是单独规定容积的下限值,而是以容器的工作压力和容积的乘积达到某一规定数值作为下限条件。如有的国家规定容器的工作压力与容积的乘积等于 $19.6 \text{ MPa} \cdot \text{L}$ 作为划分的下限值。

(二)我国压力容器的界限范围

根据 2009 年 1 月 14 日国务院第 549 号令《特种设备安全监察条例》第 99 条规定: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,其适用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者等于 $1.0 \text{ MPa} \cdot \text{L}$ 的气体、液化气体和标准沸点等于或者低于 60°C 液体的气瓶;氧舱等。

五、压力容器在工业生产中的应用

压力容器在各个工业领域中应用广泛,如化学工业、炼油、制药、炸药、油脂、化肥、食品工业、皮鞋制造、水泥、冶金、涂料、合成树脂、合成橡胶、塑料、合成纤维、造纸、深海探测器、潜水舱、火力发电站、航空、深冷、运输储罐、原子能发电,等等。就当前来说,以石油化学工业应用的最为普遍,约占压力容器总数的50%。

石油化学工业是一个多品种、多行业的部门,与人民生活、工业、农业及国防密切相关,在国民经济中占有极重要的地位。在石油化工中,压力容器可以作为一种简单的盛装容器,用以储存有压力的气体、蒸汽或液化气体,如液氨储罐、氢气、氮气储罐等。这类容器内部一般没有其他的工艺装置,可以单独构成一台设备,或者作为其他装置的一个独立部件。压力容器也可以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、传质、传热、分离、蒸馏等)提供必要的压力空间,并将该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,其内部必须装入某些工艺装置(俗称内件)才能构成一台完整的设备,如氨合成塔、尿素合成塔、废热锅炉、二氧化碳吸收塔、氨分离器等。

压力容器除用于工业生产外,还用于基本建设、医疗卫生、地质勘探、文教体育等国民经济各部门。

第二节 压力容器工艺参数

压力容器的工艺参数是由生产的工艺要求确定的,是进行压力容器设计和安全操作的主要依据。容器的主要工艺参数为压力和温度。

一、压力

这里主要讨论压力容器工作介质的压力,即压力容器工作时所承受的主要载荷。压力容器运行时的压力是用压力表来测量的,表上所显示的压力值为表压力。在各种压力容器规范中,经常出现工作压力、最高工作压力和设计压力等概念,现将其定义分述如下。

(一)工作压力

工作压力也称操作压力,是指容器顶部在正常工艺操作时的压力(即不包括液体静压力)。

(二)最高工作压力

最高工作压力是指容器顶部在工艺操作过程中可能产生的最大表压力(即不包括液体静压力)。压力超过此值时,容器上的安全装置就要动作。容器最高工作压力的确定与工作介质有关,如《固定式压力容器安全技术监察规程》对盛装液化气体的容器的最高工作压力,根据不同情况作出以下三条具体规定:

(1)盛装临界温度高于或等于50℃的液化气体的容器,如有可靠的保冷措施,其最高工作压力应为所盛装气体在可能达到的最高工作温度下的饱和蒸气压力;如无保冷措施,其最高工作压力不得低于50℃时的饱和蒸气压力。

(2)盛装临界温度低于50℃的液化气体的容器,如有可靠的保冷措施并能确保低温

储存的,其最高工作压力不得低于试验实测的最高工作温度下的饱和蒸气压力;没有试验实测数据或没有保冷措施的容器,其最高工作压力不得低于所装介质在规定的最大充装量下为 50℃ 的气体压力。

(3) 盛装混合液化石油气的容器,其 50℃ 时的饱和蒸气压力低于异丁烷在 50℃ 时的饱和蒸气压力时,取 50℃ 时异丁烷的饱和蒸气压力为最高工作压力;如高于 50℃ 时异丁烷的饱和蒸气压力时,取 50℃ 时丙烷的饱和蒸气压力为最高工作压力;如高于 50℃ 时丙烷的饱和蒸气压力时,取 50℃ 时丙烯的饱和蒸气压力为最高工作压力。

(三) 设计压力

设计压力是指在相应设计温度下用以确定容器计算壁厚及其元件尺寸的压力。一般取设计压力等于或略高于最高工作压力,由于考虑问题的角度不一样,不同规范对设计压力的选取原则可能会略有差异。

《固定式压力容器安全技术监察规程》规定容器的设计压力,其值不低于工作压力。

根据 GB 150—2011《压力容器》,确定设计压力时,应考虑:

(1) 容器上装有超压泄放装置时,应按《压力容器》中附录 B 的规定确定设计压力。

(2) 对于盛装液化气体的容器,如果具有可靠的保冷设施,在规定的装量系数范围内,设计压力应根据工作条件下容器内介质可能达到的最高温度确定;否则,按相关法规确定。

(3) 对于外压容器(如真空容器、液下容器和埋地容器),确定计算压力时应考虑在正常工作情况下可能出现的最大内外压力差。

(4) 确定真空容器的壳体厚度时,设计压力按承受外压考虑;当装有安全控制装置(如真空泄放阀)时,设计压力取 1.25 倍最大内外压力差或 0.1 MPa 两者中的低值;当无安全控制装置时,取 0.1 MPa。

(5) 由两个或两个以上压力室组成的容器,如夹套容器,应分别确定各压力室的设计压力;确定公用元件的计算压力时,应考虑相邻室之间的最大压力差。

二、温度

(一) 介质温度

介质温度是指容器内工作介质的温度,可以用测温仪表测得。

(二) 设计温度

压力容器的设计温度不同于其内部介质可能达到的温度,是容器在正常工作情况下,设定的元件金属温度(沿元件金属截面的温度平均值)。GB 150—2011《压力容器》对设计温度的确定有如下规定:

(1) 设计温度不得低于元件金属在工作状态可能达到的最高温度。对于 0℃ 以下的金属温度,设计温度不得高于元件金属可能达到的最低温度。

(2) 容器各部分在工作状态下的金属温度不同时,可分别设定每部分的设计温度。

(3) 元件的金属温度通过以下方法确定:①传热计算求得;②在已使用的同类容器上测定;③根据容器内部介质温度并结合外部条件确定。

(4) 在确定最低设计金属温度时,应当充分考虑在运行过程中,大气环境低温条件对

容器壳体金属温度的影响。大气环境低温条件是指历年来月平均最低气温(指当月各天的最低气温值之和除以当月天数)的最低值。

第三节 压力容器的分类

压力容器的形式繁多,可有许多分类方法,常用的有以下几种。

一、按压力分类

按所承受压力(P)的高低,压力容器可分为低压、中压、高压、超高压四个等级。具体划分如下(压力单位为 MPa,按 $1 \text{ kgf/cm}^2 \approx 0.1 \text{ MPa}$ 换算):

(1) 低压容器: $0.1 \text{ MPa} \leq P < 1.6 \text{ MPa}$;

(2) 中压容器: $1.6 \text{ MPa} \leq P < 10 \text{ MPa}$;

(3) 高压容器: $10 \text{ MPa} \leq P < 100 \text{ MPa}$;

(4) 超高压容器: $P \geq 100 \text{ MPa}$ 。

二、按壳体承压方式分类

按壳体承压方式不同,压力容器可分为内压(壳体内部承受介质压力)容器和外压(壳体外部承受介质压力)容器两大类。

这两类容器是截然不同的,其差别首先反映在设计原理上,内压容器壁厚是根据强度指标确定的,而外压容器设计则主要考虑稳定性问题。其次,反映在安全性上,外压容器一般较内压容器安全,因此本书将着重介绍内压容器。

三、按设计温度分类

按设计温度(t)的高低,压力容器可分低温容器($t \leq -20 \text{ }^\circ\text{C}$)、常温容器($-20 \text{ }^\circ\text{C} < t < 450 \text{ }^\circ\text{C}$)和高温容器($t \geq 450 \text{ }^\circ\text{C}$)。

四、从安全技术管理角度分类

按安全技术管理分类,压力容器可分为固定式容器和移动式容器两大类。

(一) 固定式容器

固定式容器是指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,一般不是单独装设,而是用管道与其他设备相连接的容器。如合成塔、蒸球、管壳式余热锅炉、热交换器、分离器等。

(二) 移动式容器

移动式容器是指一种储装容器,如气瓶、汽车槽车等。其主要用途是装运有压力的气体。这类容器无固定使用地点,一般也没有专职的使用操作人员,使用环境经常变迁,管理比较复杂,较易发生事故。

五、按在生产工艺过程中的作用原理分类

按在生产工艺过程中的作用原理分类,压力容器可分为反应容器、换热容器、分离容

器和储存容器。

(一) 反应容器(代号 R)

主要是用于完成介质的物理、化学反应的压力容器,如反应器、反应釜、分解锅、硫化罐、分解塔、聚合釜、高压釜、超高压釜、合成塔、变换炉、蒸煮锅、蒸球、蒸压釜、煤气发生炉等。

(二) 换热容器(代号 E)

主要是用于完成介质的热量交换的压力容器,如管壳式余热锅炉、热交换器、冷却器、冷凝器、蒸发器、加热器、消毒锅、染色器、烘缸、蒸炒锅、预热锅、溶剂预热器、蒸锅、蒸脱机、电热蒸汽发生器、煤气发生炉水夹套等。

(三) 分离容器(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,如分离器、过滤器、集油器、缓冲器、洗涤器、吸收塔、铜洗塔、干燥塔、汽提塔、分汽缸、除氧器等。

(四) 储存容器(代号 C,其中球罐代号 B)

主要是用于储存、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。

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,应按工艺过程中的主要作用来划分品种。

六、《固定式压力容器安全技术监察规程》对压力容器的分类

为有利于安全技术管理和监督检查,根据容器的压力高低、介质的危害程度以及在生产过程中的重要作用,《固定式压力容器安全技术监察规程》将压力容器类别划分如下。

(一) 介质分组

压力容器的介质分为以下两组:

(1) 第一组介质,毒性程度为极度危害、高度危害的化学介质,易爆介质,液化气体。

(2) 第二组介质,除第一组外的介质。

(二) 介质危害性

介质危害性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。

1. 毒性程度

综合考虑急性毒性、最高容许浓度和职业性慢性危害等因素,极度危害最高容许浓度小于 0.1 mg/m^3 ;高度危害最高容许浓度 $0.1 \text{ mg/m}^3 \sim 1.0 \text{ mg/m}^3$;中度危害最高容许浓度 $1.0 \text{ mg/m}^3 \sim 10.0 \text{ mg/m}^3$;轻度危害最高容许浓度大于或者等于 10.0 mg/m^3 。

2. 易爆介质

易爆介质指气体或者液体的蒸汽、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%,或者爆炸上限和爆炸下限的差值大于或者等于 20% 的介质。

3. 介质毒性危害程度和爆炸危险程度的确定

按照 HG 20660—2000《压力容器中化学介质毒性危害和爆炸危险程度分类》确定。HG 20660 没有规定的,由压力容器设计单位参照 GB 5044—85《职业性接触毒物危害程度分级》的原则,确定介质组别。

(三) 压力容器类别划分方法

1. 基本划分

压力容器类别的划分应当根据介质特性,按照以下要求选择类别划分图,再根据设计压力 P (单位 MPa) 和容积 V (单位 L),标出坐标点,确定压力容器类别:

(1) 第一组介质,压力容器类别的划分见图 1-3;

(2) 第二组介质,压力容器类别的划分见图 1-4。

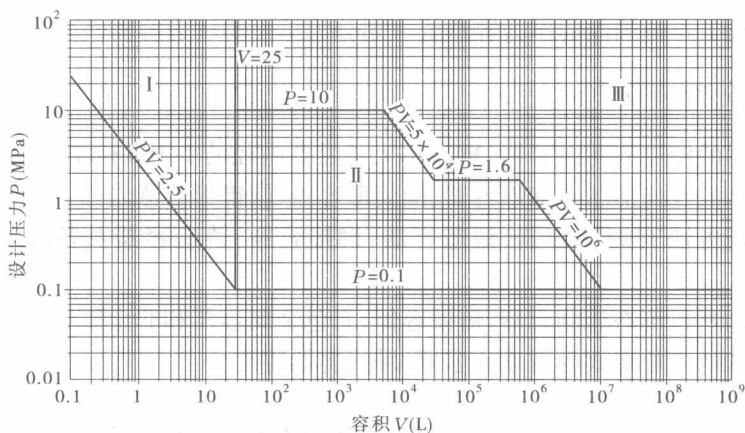


图 1-3 压力容器类别划分图(第一组介质)

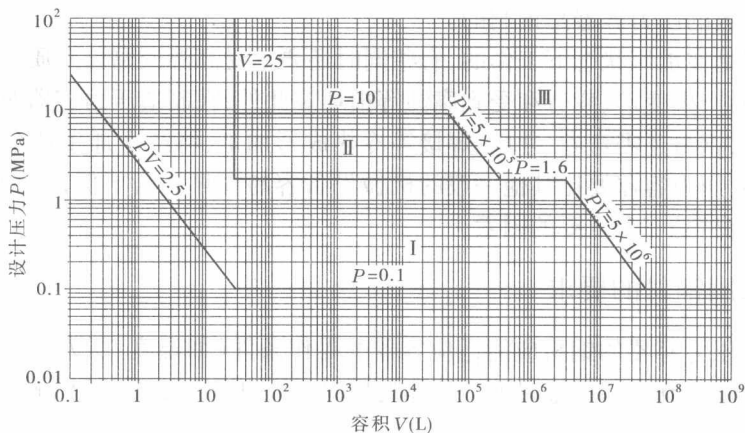


图 1-4 压力容器类别划分图(第二组介质)

2. 多腔压力容器类别划分

多腔压力容器(如换热器的管程和壳程、夹套容器等)按照类别高的压力腔作为该容器的类别并且按照该类别进行使用管理。但是,应当按照每个压力腔各自的类别分别提出设计、制造技术要求。对各压力腔进行类别划分时,设计压力取本压力腔的设计压力,容积取本压力腔的几何容积。

3. 同腔多种介质压力容器类别划分

一个压力腔内有多种介质时,按照组别高的介质划分类别。

4. 介质含量极小的压力容器类别划分

当某一危害性物质在介质中含量极小时,应当根据其危害程度及其含量综合考虑,按照压力容器设计单位确定的介质组别划分类别。

5. 特殊情况的类别划分

(1)坐标点位于图 1-3 或者图 1-4 的分类线上时,按照较高的类别划分其类别;

(2)本规程 1.4 范围内的压力容器统一划分为第 I 类压力容器。

七、其他分类方法

(1)按容器的壁厚有薄壁容器(壁厚不大于容器内径的 $1/10$)和厚壁容器之分。

(2)按壳体的几何形状有球形容器、圆筒形容器、圆锥形容器之分。

(3)按制造方法有焊接容器、锻造容器、铆接容器、铸造容器及各式组合制造容器之分。

(4)按结构材料可有钢制容器、铸铁容器、有色金属容器和非金属容器之分。

(5)按容器的安放形式则有立式容器、卧式容器等之分。

第四节 压力容器常用的钢材

制造压力容器的材料种类较多,有金属材料和非金属材料,黑色金属和有色金属等,但目前绝大多数的压力容器是钢制的。

压力容器是在承压状态下工作的,有些同时还要承受高温或腐蚀介质的作用,因此工作条件较差,易产生变形、疲劳和受到腐蚀等损坏。此外,在制造压力容器时,为了获得所需的几何形状,钢材还需弯卷、冲压、焊接等冷热成形加工,将产生加工残余应力及缺陷。由于这些原因,压力容器要比其他一般的机械设备容易损坏。为了保证压力容器安全运行,正确选用钢材是一个重要的因素。

一、对选用钢材的要求

用来制造压力容器的钢材应能适应容器的操作条件(如温度、压力、介质特性等),并有利于容器的加工制造和质量保证。具体选用时,重点应考虑钢材的机械性能、工艺性能和耐腐蚀性。

(一)机械性能

用于压力容器的钢材主要强调其强度、塑性、韧性三个性能指标。

1. 强度

物体的原子间存在着的相互作用力称为内力,这是物体所固有的。当对物体施加外力时,在物体内部将引起附加的内力,这一附加内力会随着外力的加大而相应地增加。我们把物体单位面积上所承受的附加内力称为应力。对于某一种材料来说,所能承受的应力有一定的限度,超过了这个限度,物体就会破坏,这一限度就称为强度。在此,我们也可

以将物体的强度简单说成能承受外力和内力作用而不破坏的能力。

对于压力容器用钢材的强度,以常温及工作温度下的抗拉强度(R_m)和屈服极限(R_{el})表示其短时强度性能,而以蠕变极限和持久强度来表示其长时高温强度性能。当压力容器在室温和低于50℃下工作时,钢材的短时强度以设计温度下的抗拉强度和屈服极限来控制;当压力容器的工作温度(或设计温度)超过某一界限(如碳钢及Q345R钢约为400℃),在高温下长期工作时,必须考核钢材的高温持久强度和蠕变极限。

上述强度参数都是通过试验得出的,其含义分别解释于下:

(1) 抗拉强度:钢材试样在拉伸试验中,拉断前所能承受的最大应力。

(2) 屈服极限(又称屈服强度):试样在拉伸过程中,拉力不增加(甚至有所下降),还继续显著变形时的最小应力。有些钢材在拉伸试验时,无明显临界屈服点,则规定其发生0.2%残余伸长的应力为“条件屈服极限”,以“ $R_{p0.2}$ ”表示。

(3) 蠕变极限:首先应知道何谓蠕变。常温条件下金属受外力作用时,如应力小于屈服极限,仅会发生弹性变形(外力消除能恢复原状的变形);如应力达到屈服极限时,除发生弹性变形外金属还会产生一定的塑性变形(外力消除不能恢复原状的变形),这些变形值只要受力不变就一直保持下去,不随时间而改变。但在高温条件下则不然,金属材料即使受到小于屈服极限的应力,也会随着时间的增长而缓慢地产生塑性变形,且时间愈长,累积的塑性变形量愈大,这种现象就称为蠕变。而蠕变极限,是指在一定温度和恒定拉力负荷下,试样在规定的时间间隔内的蠕变变形量或蠕变速度不超过某规定值时的最大应力。例如,在《压力容器》中采用的 R'_m 是指在设计温度 t 条件下,经过10万小时蠕变率为1%的蠕变极限。

(4) 持久强度:对于压力容器来讲,失效的形式主要是破坏而不是变形,所以要有一个能更好地反映高温元件失效特点的强度指标——持久强度,即试样在给定温度下,经过规定时间发生断裂的应力。在《压力容器》中用“ R'_b ”表示,即在设计温度 t 下,经10万小时断裂的持久强度的平均值。

2. 塑性

塑性是指金属材料发生塑性变形的性能。压力容器在制造过程中要经受弯卷、冲压等成形加工,要求用于制造压力容器的钢材具有较好的塑性,以防止压力容器在使用过程中因意外超载而导致破坏,也便于加工。这是因为塑性好的钢材在破坏以前一般都会产生较明显的塑性变形,不但易于发现,且可松弛局部超应力而避免断裂。塑性指标包括伸长率(A :试样拉断后的总伸长与原长比值的百分数)和断面收缩率(Z :试样拉断后,断口面积缩减值与原截面面积比值的百分数),可由拉伸试验获得:

$$\text{即} \quad A = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%; \quad Z = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中: L_1 为试样拉断后的长度,mm; L_0 为试样原始长度,mm; F_1 为试样拉断后断面面积,mm²; F_0 为试样原始断面面积,mm²。 A 和 Z 的值愈大,则钢材的塑性愈好。

3. 韧性

为了防止或减少压力容器发生脆性破坏(在较低的应力状态下发生无显著塑性变形的破坏),要求压力容器用钢材在使用温度下有较好的韧性(α_K :一定尺寸和形状的试样