

YALIRONGQIANQUANJISHU

# 压力容器

YALIRONGQI

# 安全

主 编 张兆杰 王发现  
曹志红 马伟力

# 技术



黄河水利出版社

ANOUANJISHU

# 压力容器安全技术

主编 张兆杰 王发现 曹志红 马伟力

黄河水利出版社

## 内 容 提 要

本书共分十一章,前五章是对压力容器知识的全面介绍,分别讲述了压力容器基本知识、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,后六章是对换热器、烘筒、制冷系统、气体充装、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/张兆杰等主编. — 郑州:黄河水利出版社,2001.9  
ISBN 7-80621-504-2

I. 压… II. 张… III. 压力容器-安全技术  
IV. TH49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 072002 号

---

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrp@public2.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开 本:787mm×1 092mm 1/16

印 张:14.25

字 数:329 千字

印 数:1-4 500

版 次:2001 年 10 月第 1 版

印 次:2001 年 10 月第 1 次印刷

---

书号:ISBN 7-80621-504-2/TH·6

定价:28.00 元

# 前 言

压力容器是具有爆炸危险的特种设备。压力容器的安全问题已日益为人们所关注,从多年来发生的压力容器爆炸事故分析来看,有许多事故是由于缺乏安全技术知识引起的。为了保证压力容器安全运行,保护人民生命和财产的安全,促进国民经济的发展,根据国务院发布的《锅炉压力容器安全监察暂行条例》及国家质量监督检验检疫总局要求,对压力容器必须强化管理,压力容器操作人员必须经考核合格方可独立上岗操作。我们总结多年来对压力容器操作人员的培训经验,反复征求压力容器使用单位管理人员和操作人员的意见,编写了这本《压力容器安全技术》培训教材。

本书在编写过程中,力求做到内容全面、适用,理论联系实际,通俗易懂。虽然本书是针对压力容器操作人员编写的,但又可作为从事压力容器设计、制造、检验及安全管理人员的参考资料。

本书共十一章,第一章、第八章由张兆杰、刘贵东、徐腾编写;第四章的第五节、第六章由马伟力编写;第二章由马伟力、刘文秀编写;第三章、第四章的第一节、第二节、第三节、第四节和第九章由王发现编写;第五章、第七章、第十章、第十一章由曹志红编写。

全书由张兆杰、王发现、曹志红三人统稿。由于时间仓促、水平有限,书中错误难免,恳请广大读者提出宝贵意见,以便作进一步修订。

编 者

2001年9月20日

# 目 录

<b>第一章 压力容器基本知识</b> .....	( 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 )
<b>第二章 压力容器结构</b> .....	( 15 )
第一节 容器的基本构成 .....	( 15 )
第二节 圆筒体结构 .....	( 21 )
第三节 封头 .....	( 25 )
第四节 法兰连接结构 .....	( 28 )
第五节 密封结构 .....	( 32 )
第六节 支座 .....	( 35 )
<b>第三章 安全附件</b> .....	( 40 )
第一节 安全阀 .....	( 40 )
第二节 爆破片 .....	( 46 )
第三节 压力表 .....	( 48 )
第四节 液面计 .....	( 50 )
第五节 温度计 .....	( 53 )
第六节 常用阀门 .....	( 56 )
<b>第四章 压力容器的使用管理</b> .....	( 60 )
第一节 容器的技术档案 .....	( 60 )
第二节 容器的使用登记 .....	( 61 )
第三节 容器的安全使用管理 .....	( 62 )
第四节 容器的操作与维护 .....	( 64 )
第五节 容器的定期检验 .....	( 69 )
<b>第五章 压力容器事故危害及事故分析</b> .....	( 80 )
第一节 容器的爆炸能量 .....	( 80 )
第二节 压力容器事故的危害 .....	( 83 )
第三节 容器破裂型式 .....	( 86 )
第四节 事故分析 .....	( 90 )
<b>第六章 换热器</b> .....	( 96 )
第一节 换热器 .....	( 96 )
第二节 典型事故 .....	( 112 )

<b>第七章 烘筒</b> .....	(115)
第一节 烘筒 .....	(115)
第二节 典型事故 .....	(118)
<b>第八章 制冷</b> .....	(121)
第一节 安全技术 在制冷系统中的意义 .....	(121)
第二节 安全装置 .....	(121)
第三节 安全操作 .....	(124)
第四节 紧急救护 .....	(126)
第五节 制冷装置操作管理与维护检修 .....	(128)
第六节 制冷事故案例分析 .....	(149)
<b>第九章 气体充装</b> .....	(156)
第一节 气体基础知识 .....	(156)
第二节 气瓶 .....	(163)
第三节 气体的充装 .....	(168)
第四节 气瓶事故分析 .....	(184)
<b>第十章 蒸压釜</b> .....	(188)
第一节 蒸压釜 .....	(188)
第二节 典型事故 .....	(195)
<b>第十一章 空压机</b> .....	(199)
第一节 概述 .....	(199)
第二节 活塞或压缩机 .....	(203)
第三节 空压机的使用管理 .....	(216)

# 第一章 压力容器基本知识

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本知识。

## 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“ $\text{m}^2$ ”和“ $\text{cm}^2$ ”表示。压强的法定计量单位是“帕斯卡”,简称“帕”,用“Pa”表示。1帕斯卡 = 1牛顿/米<sup>2</sup>,即  $1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$ 。它与以往所用压强单位“ $\text{kgf/cm}^2$ ”的换算关系为:

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

从上述分析可知,压力与压强是两个概念不同的物理量,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  $1.033\text{ kgf/cm}^2$ (相当于  $0.1\text{ MPa}$ ,MPa 读作兆帕,1兆 = 1百万),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  $1\text{ kgf/cm}^2(0.098\text{ MPa})$  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时,其换算关系为:

1 kgf/m<sup>2</sup>(9.8Pa) = 1 mmH<sub>2</sub>O

1 kgf/cm<sup>2</sup>(0.098 MPa) = 10 000 mmH<sub>2</sub>O = 10 mH<sub>2</sub>O

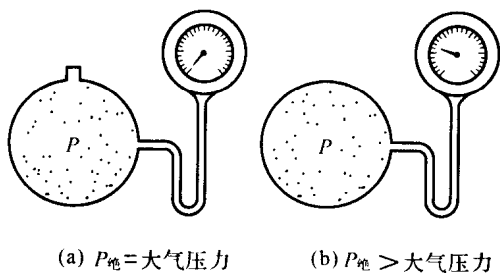
## (二)绝对压力、表压力与负压力

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;如低于大气压时,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(图 1-1(a))。或 U 形管压力表内的液面高度相等(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(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  $H$ (图 1-2(b))。此时压力表的读数或液柱差  $H$  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  $H'$ (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。



(a)  $P_{绝} = \text{大气压力}$  (b)  $P_{绝} > \text{大气压力}$

图 1-1 压力表读数示意

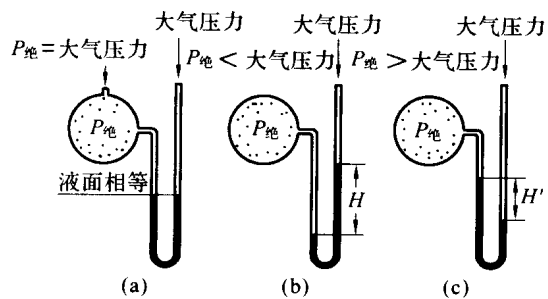


图 1-2 U 形管压力表测压示意图

绝对压力、表压力及大气压力三者之间的关系为:

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

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  $P_{负}$ :

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

人们通常所说的容器压力或介质压力均指表压力而言。

## 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,称之为工作介质。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二类。

(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1000多倍,例如在1个绝对大气压力下,1kg饱和水的体积是1.043L,而变为水蒸气后的体积则是1725L,约增大1700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℃(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℃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1065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,使压力剧烈增高,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1m<sup>3</sup>的水可以分解成1240m<sup>3</sup>的氢气和620m<sup>3</sup>的氧气,体积约增大2000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,哪些按特殊设备对待。本书所叙述的系指按特殊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  $10 \text{ m}^3$ ,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以外,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( $0.098 \text{ MPa}$ ,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。如规定容器的工作压力与容积的乘积等于  $19.6 \text{ L} \cdot \text{MPa}$  作为划分的下限值。

### (二)我国压力容器的界限范围

原国家质量技术监督局 1999 年 6 月 25 日颁发的《压力容器安全技术监察规程》(以下简称《容规》)对其作了明确划分。《容规》规定同时具备下列三个条件的容器作为特殊设备来管理。

- (1)最高工作压力( $P_w$ ) $\geq 0.1 \text{ MPa}$ ( $P_w$  不包括液体静压力,下同);
- (2)内直径(非圆形截面指其最大尺寸)大于等于  $0.15 \text{ m}$ ,且容积( $V$ )大于等于  $0.025 \text{ m}^3$ ;
- (3)介质为气体、液化气体和最高工作温度高于标准沸点的液体。

1982年2月国务院发布的《锅炉压力容器安全监察暂行条例》(下称《条例》)所规定的压力容器界限范围有所扩大,《条例》规定“压力为1个表压(0.098 MPa)以上和各种压力容器”作为特种设备来管理。当然具体执行时,仍要考虑到工作介质和容积等因素。即符合《容规》规定的三个条件的容器按《条例》和《容规》的要求进行管理;对不大符合《容规》规定的三个条件的容器则按《条例》并参照《容规》的要求进行管理。

## 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%左右。

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。

压力容器除了用于工业生产外,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,系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

系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《容规》对盛装液体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 50℃的液体气体的容器,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和 50℃时的气体压力。

(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

其系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。

《容规》规定容器的设计压力,应略高于容器在使用过程中的最高工作压力。装有安全装置的容器,其设计压力不得小于安全装置的开启压力或爆破压力。

《钢制压力容器》、《钢制石油化工压力容器设计规定》规定容器的设计压力,应略高于或等于最高工作压力。针对不同的情况,《钢制压力容器》提出了如下几种确定设计压力的方法。

(1)当容器上装有安全泄放装置时,取安全泄放装置的开启压力为设计压力。

(2)当单个容器上无安全泄放装置,而在工艺系统中装有安全泄放装置时,可根据容器在系统中的工作情况,以最高工作压力增加适当裕度作为设计压力。裕度取值并无明文规定,但多数设计者往往取最高工作压力的 1.05 ~ 1.1 倍为设计压力。

(3)当容器内为爆炸性介质时,容器的设计压力根据介质特性、爆炸前的瞬时压力、爆破膜的破坏压力以及爆破膜的排放面积与容器中气相容积之比等因素作特殊考虑。爆破膜的实际爆破压力与额定爆破压力之差,应在  $\pm 5\%$  范围之内。实际上,对于这种工况,国内设计多取最高工作压力的 1.15 ~ 1.3 倍作为设计压力。

(4)对装有液化气体的容器,应根据充装系数和可能达到的最高温度确定设计。

(5)外压容器,应取不小于在正常工作过程中任何时间可能产生的最大内外压力差为设计压力。

(6)真空容器,按外压容器设计,当装有安全控制装置时,取最大内外压力差的 1.25 倍或  $0.1 \text{ MPa}(1 \text{ kgf}/\text{cm}^2)$  两者中的较小者为设计压力;当未装安全控制装置时,设计压力取  $0.1 \text{ MPa}(1 \text{ kgf}/\text{cm}^2)$ ;对带有夹套的真空容器,按上述原则再加夹套内压力为设计压力。

## 二、温度

### (一)介质温度

其系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,系容器在正常工作过程中,在相应设计压力下,表壁或元件金属可能达到的最高或最低温度。《钢制压力容器》对设计温度的选取有如下规定:

(1)当容器的各个部位在工作过程中可能产生不同温度时,可取预计的不同温度作为各相应部位的设计温度。

(2)对有内保温的容器,应作壁温计算或以工作条件相似容器的实测壁温作为设计温度,并需在容器壁上设置测温点或涂以超温显示剂。

这里值得注意的是,只有当壳壁或元件金属的温度低于 $-20^{\circ}\text{C}$ 时,才按最低温度确定设计温度。除此而外,设计温度一律按最高温度选取。

## 第三节 压力容器的分类

压力容器的型式繁多,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  $1\text{ kgf}/\text{cm}^2 \approx 0.1\text{ MPa}$  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( $t \leq -20^{\circ}\text{C}$ )、常温容器( $-20^{\circ}\text{C} < t < 450^{\circ}\text{C}$ )和高温容器( $t \geq 450^{\circ}\text{C}$ )。

### 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

系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

系指一种储装容器,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、分离容器和贮运容器。

### (一)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)储存压力容器(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,如各种型式的储罐。

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、《容规》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,《容规》将其适用范围的容器划分为三类。

### (一)第三类压力容器

- (1)高压容器;
- (2)中压容器(仅限毒性程度为极度和高度危害介质);
- (3)中压储存容器(仅限易燃或毒性程度为中度危害介质,且  $PV$  乘积大于等于  $10 \text{ MPa}\cdot\text{m}^3$ );
- (4)中压反应容器(仅限易燃或毒性程度为中度危害介质,且  $PV$  乘积大于等于  $0.5 \text{ MPa}\cdot\text{m}^3$ );
- (5)低压容器(仅限毒性程度为极度和高度危害介质,且  $PV$  乘积大于等于  $0.2 \text{ MPa}\cdot\text{m}^3$ );

(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(指相应标准中抗拉强度规定值下限大于等于 540 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(液化气体运输(半挂)车、低温液体运输(半挂)车、永久气体运输(半挂)车)和罐式集装箱(介质为液化气体、低温液体)等；

(10)球形储罐(容积大于等于 50 m<sup>3</sup>)；

(11)低温液体储存容器(容积大于 5 m<sup>3</sup>)。

## (二)第二类压力容器

下列情况之一的,为第二类压力容器((一)中规定的除外)：

(1)中压容器；

(2)低压容器(仅限毒性程度为极度和高度危害介质)；

(3)低压反应容器和低压储存容器(仅限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。

## (三)第一类压力容器

低压容器为第一类压力容器((一)、(二)中规定的除外)。

现将上述分类中所提及的废热锅炉、剧毒介质、有毒介质和易燃介质等名词解释如下：

**废热锅炉**——一种利用化学反应热、烟气余热等废热来生产蒸汽的设备。按照热源不同而分成管壳式和烟道式两类,前者主要是利用化学反应热,后者则利用烟气余热。上述分类中的废热锅炉为管壳式,而烟道式的则参照《蒸汽锅炉安全技术监察规程》的规定进行管理。

**剧毒介质**——是指进入人体量 < 50 g 即导致肌体严重损伤或致死的介质,如氟、氢氟酸、氢氰酸、光气、氟化氢、碳酰氟等。

**有毒介质**——是指进入人体量 ≥ 50 g 即导致人体正常功能损伤的介质,如二氧化硫、氨、一氧化碳、氯乙烯、甲醇、氧化乙烯、硫化乙烯、二硫化碳、乙炔、硫化氢等。

**易燃介质**——是指与空气混合的爆炸下限 < 10 % ,或爆炸上限与下限之差值 > 20 % 的气体,如一甲胺、乙烷、乙烯、氯甲烷、环氧乙烷、环丙烷、氢、丁烷、三甲胺、丁二烯、丁烯、丙烷丙烯、甲烷等。

## 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)按容器的安放型式则有立式容器、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( $\sigma_b$ )和屈服极限( $\sigma_s$ )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 16 Mn 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)抗拉强度定义为: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)定义为: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“ $\sigma_{0.2}$ ”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原形);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),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,系指在一定温度和恒定拉力负荷下,试样在规定的时间内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《钢制压力容器》中采用的  $\sigma'_n$ ,是指在温度  $t$  条件下,经过 10 万小时后总变形量为 1% 的蠕变极限。

(4)持久强度:对于压力容器来讲,失效的型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:试样在给定温度下,经过规定时间发生断裂的应力。在《钢制压力容器》中用“ $\sigma'_b$ ”表示,即温度  $t$  下,经 10 万小时而断裂的应力。

## 2. 塑性

系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( $\sigma$ :试样拉断后的总伸长与原长比值的百分数)和断面收缩率( $\psi$ :试样拉断后,断口面积缩减值与原截面积比值的百分数),可由拉伸试验获得:

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

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,mm<sup>2</sup>; $F_0$  为试样原始断面面积,mm<sup>2</sup>; $\sigma$  和  $\psi$  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( $\alpha_K$ :一定尺寸和形状的试样在规定类型的试验机上受冲击负荷折断时,试样槽口处单位面积上所消耗的冲击功),表征材料抵抗冲击功的性能(用有缺口的冲击试样作冲击试验测得)。

$$\alpha_K = A_K / F \quad (1-4)$$

式中: $A_K$  为冲击试验机的摆锤冲断试样时所做的功,J/cm<sup>2</sup>; $F$  为试样槽口处的初始截面积,cm<sup>2</sup>。一种新的表征材料韧性的参数  $K_{IC}$  为平面应变断裂韧性,表征材料抵抗脆性断裂的能力,是根据断裂力学提出的一个性能指标,目前应用较少。

## (二)工艺性能

压力容器大多数是用钢板滚卷或冲压后焊接制成的,所以可以通过控制塑性指标得到保证;为了保证焊接质量,压力容器用钢需选用不发生裂纹、可焊性好的钢材。碳钢和普通低合金钢由于加入了较多的合金元素,其可焊性与含碳量和合金元素的含量有关,目前常用碳当量  $C_{eq}$ (将钢中的碳含量与合金元素含量折算成相当的碳含量的总和)作为主要指标。其计算方法国际上多采用日本焊接学会提出的计算公式和英国焊接标准中所采用的公式。

$$\text{日本:} \quad C_{eq} = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} (\%) \quad (1-5)$$