

# 压力容器 安全操作技术

石智豪 陈显才 编



劳动部锅炉压力容器安全杂志社

## 前 言

压力容器是具有爆炸危险的特种设备，故压力容器的操作人员属于特种作业人员，须经考试合格才能独立上岗操作。《压力容器安全技术》就是根据国务院发布的《锅炉压力容器安全监察暂行条例》和中华人民共和国国家标准GB5306—85《特种作业人员安全技术考核管理规则》的有关规定，为了适应操作人员培训考核工作的需要而编写的。本书重点介绍了容器的基本知识，介质特性，压力容器安全操作及维护，压力容器安全检修，压力容器安全附件及阀门以及国内典型压力容器事故案例等。

本书在编写时，力求做到内容全面适用，理论联系实际，通俗易懂，图文并茂，学以致用。本书既可作为压力容器操作人员的培训教材，又可作为从事压力容器设计、制造、检验以及安全管理人员的自学参考资料。

本书由湖南省劳动厅石智豪、陈显才同志任主编，湖南省劳动厅锅炉处李训仁工程师、长岭炼油厂何泰忠高级工程师和岳阳石油化工总厂储运公司黄望总工程师参加了编写并对全书结构提出了宝贵的意见。在编写过程中曾得到岳阳市氮肥厂、湖南省维尼纶厂、湖南省石油化工建设公司和湘潭市锅炉压力容器检验所等单位的大力支持，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，水平有限，书中错误难免，恳请广大读者提出意见，以便作进一步的修订。

编者

一九八九年六月

# 目 录

<b>第一章 压力容器基础知识</b> .....( 1 )	四、 法兰连接的紧固形式.....( 25 )
<b>第一节 压力容器简介</b> .....( 1 )	<b>第五节 密封结构</b> .....( 26 )
一、 压力.....( 1 )	一、 密封结构分类.....( 26 )
二、 压力容器的定义.....( 2 )	二、 几种常用的密封结构.....( 26 )
三、 压力容器的压力系数.....( 2 )	<b>第六节 支座</b> .....( 30 )
四、 压力容器界限.....( 3 )	一、 立式容器支座.....( 30 )
五、 压力容器在工业生产中的应用.....( 4 )	二、 卧式容器支座.....( 30 )
<b>第二节 压力容器的工艺参数</b> .....( 5 )	三、 球形容器支座.....( 31 )
一、 压力.....( 5 )	<b>第三章 压力容器安全附件</b> .....( 34 )
二、 温度.....( 6 )	<b>第一节 安全阀</b> .....( 34 )
<b>第三节 压力容器的分类</b> .....( 6 )	一、 安全阀的结构型式和工作原理.....( 34 )
一、 按压力分类.....( 6 )	二、 安全阀的型号规格及主要性能参数.....( 35 )
二、 按壳体承压方式分类.....( 6 )	三、 安全阀的选用与安装.....( 36 )
三、 按设计温度分类.....( 6 )	四、 安全阀的测量、维护和校验.....( 37 )
四、 从安全技术管理角度分类.....( 6 )	<b>第二节 防爆片</b> .....( 37 )
五、 按在生产工艺过程中的作用原理分类.....( 7 )	一、 防爆片的作用和适用范围.....( 37 )
六、 《容器规程》对压力容器的分类.....( 7 )	二、 防爆片的结构型式.....( 38 )
七、 其它分类方法.....( 7 )	三、 防爆帽.....( 38 )
<b>第四节 压力容器常用的钢材</b> .....( 8 )	<b>第三节 压力表</b> .....( 38 )
一、 对选用钢材的要求.....( 8 )	一、 压力表的结构和工作原理.....( 39 )
二、 压力容器常用钢材及其使用范围.....( 10 )	二、 压力表的选用.....( 40 )
<b>第五节 压力容器的应力及其对安全的影响</b> .....( 10 )	三、 压力表的安装.....( 40 )
一、 各种载荷所产生的应力.....( 11 )	四、 压力表的维护.....( 41 )
二、 应力对容器安全的影响.....( 11 )	<b>第四节 液位计</b> .....( 41 )
<b>第二章 压力容器结构</b> .....( 12 )	一、 液位计的型式及结构.....( 42 )
<b>第一节 压力容器的基本构成</b> .....( 12 )	二、 对液位计的安全技术要求.....( 43 )
一、 壳体.....( 12 )	<b>第五节 温度计</b> .....( 44 )
二、 连接件.....( 14 )	一、 常用温度计型式及工作原理.....( 44 )
三、 密封元件.....( 14 )	二、 对温度计的安全使用要点.....( 48 )
四、 接管、开孔及其补强.....( 14 )	<b>第六节 常用阀门</b> .....( 45 )
五、 支座.....( 17 )	一、 截止阀.....( 49 )
<b>第二节 圆筒体结构</b> .....( 17 )	二、 节流阀.....( 49 )
一、 整体式筒体.....( 17 )	三、 球阀.....( 49 )
二、 组合式筒体.....( 19 )	四、 止回阀.....( 50 )
<b>第三节 封头</b> .....( 20 )	五、 减压阀.....( 51 )
一、 凸形封头.....( 20 )	六、 紧急切断阀.....( 52 )
二、 蝶形封头.....( 22 )	七、 过流阀.....( 53 )
<b>第四节 法兰连接结构</b> .....( 23 )	<b>第四章 压力容器常用介质及其特性</b> .....( 55 )
一、 法兰的连接与密封作用原理.....( 23 )	<b>第一节 工业毒物及其对人体的毒害</b> .....( 55 )
二、 法兰与筒体的连接形式.....( 23 )	一、 工业毒物与中毒.....( 55 )
三、 法兰密封面及垫片.....( 24 )	二、 工业毒物的分类.....( 55 )
	三、 工业毒物的毒性指标与分级.....( 55 )

四、工业毒物侵入人体的途径	(56)	五、制冷设备事故原因	(96)
五、最高允许浓度	(58)	第四节 电解	(97)
第二节 介质的燃烧特性和防火技术	(59)	一、电解过程	(97)
一、燃烧及燃烧条件	(59)	二、电解槽	(97)
二、爆炸极限及其影响因素	(60)	三、食盐电解过程安全技术	(98)
三、防止易燃介质燃烧爆炸的措施	(63)	第五节 液化石油气槽车的装卸	(100)
第三节 压力容器常用气体的分类及其特性	(64)	一、压缩机加压装卸法	(100)
一、气体的分类	(64)	二、泵装卸法	(100)
二、常用气体的特性	(65)	三、加热装卸法	(100)
<b>第五章 压力容器安全操作及维护保养</b>	(70)	四、静压差装卸法	(101)
第一节 压力容器运行中常见事故的原因及事故举例	(70)	五、利用压缩气体卸车	(101)
一、压力容器在运行过程中常见事故的原因	(70)	第六节 液化石油气的灌瓶	(102)
二、压力容器事故举例	(70)	一、灌瓶的工艺流程	(102)
第二节 压力容器安全操作的一般要求	(71)	二、液化石油气灌瓶的安全操作要点	(103)
一、压力容器安全操作要求	(72)	<b>第七章 压力容器检验与修理</b>	(105)
第三节 压力容器的运行操作	(75)	第一节 在用压力容器的定期检验	(105)
一、压力容器的投用	(75)	一、定期检验的重要性	(105)
二、运行中工艺参数的控制	(77)	二、定期检验的内容和要求	(105)
三、压力容器停止运行	(81)	三、进入容器内部检验的注意事项	(107)
第四节 压力容器的维护保养	(82)	第二节 在用压力容器的常见缺陷	(107)
一、压力容器设备的完好标准	(82)	一、压力容器的常见缺陷	(107)
二、压力容器的防腐措施	(83)	二、常用检验方法	(109)
三、压力容器停用期间的维护保养	(84)	第三节 压力容器检修工作注意事项	(111)
四、安全装置维护保养	(84)	一、压力容器及其装置停工后的吹扫置换	(112)
<b>第六章 典型生产工艺及安全操作要点</b>	(86)	二、加盲板	(112)
第一节 合成氨及尿素	(86)	三、检修施工用火	(113)
一、原料准备	(86)	四、容器及设备的拆卸与封闭	(114)
二、造气锅炉	(86)	五、进入容器内部作业	(114)
三、脱硫、变换	(90)	六、起重吊装	(114)
四、碳化	(91)	七、脚手架	(115)
五、精煤	(91)	八、高处作业	(115)
六、氨合成系统	(92)	九、检修现场的电气安全	(116)
七、尿素生产	(93)	十、检修质量	(116)
第二节 空分与冷冻	(94)	十一、其它注意事项	(117)
一、空分过程	(94)	第四节 压力容器的修理	(117)
二、空分塔爆炸的特征及原因	(94)	一、缺陷处理的一般原则	(118)
第三节 制冷	(95)	二、修理方法	(119)
一、制冷方法	(95)	三、压力容器修理工作要点	(119)
二、制冷过程	(96)	<b>第八章 压力容器事故</b>	(122)
三、冷冻剂	(96)	第一节 压力容器破坏简介	(122)
四、热载体	(96)	一、韧性破坏	(122)
		二、脆性破裂	(123)
		三、疲劳破裂	(124)
		四、腐蚀破裂	(124)
		五、蠕变破裂	(125)
		第二节 压力容器事故调查	(125)

一、	事故现场的检查	.....(125)
二、	事故过程的调查	.....(126)
三、	容器使用情况的调查	.....(127)
四、	事故分析	.....(127)
五、	上报和处理事故的一般要求	.....(127)
<b>第三节 压力容器典型事故案例</b> .....(127)		
一、	造纸厂蒸球重大爆炸事故	.....(128)
二、	液化石油气厂球罐爆炸事故	.....(128)
三、	一起惨痛的液氨罐车爆炸事故	.....(129)
四、	一起罕见的液氨钢瓶恶性爆炸事故	.....(129)
五、	液化石油气铁路槽车爆炸事故	.....(130)
六、	一起严重的蒸压釜爆炸事故	.....(130)
七、	反应釜爆炸事故	.....(131)
八、	硫化罐爆炸事故	.....(132)
九、	3000吨氨/年氨冷蒸发器爆炸事故	.....(134)
十、	合成系统气密性试验时爆炸事故	.....(135)
十一、	灭菌锅爆炸事故	.....(135)
十二、	食化锅爆炸事故	.....(136)
十三、	在制杀菌缸试压爆炸事故	.....(136)
十四、	烘缸的恶性爆炸事故	.....(136)
十五、	水解罐爆炸事故	.....(137)
十六、	制冷用氨冷凝器的爆炸事故	.....(137)
十七、	浸煮罐爆炸事故	.....(138)
十八、	蓄压器油罐爆炸事故	.....(139)
十九、	催化裂化车间气体分馏装置重大爆炸火	

灾事故.....(140)

二十、热电厂除氧器破裂事故.....(140)

## **第九章 压力容器安全管理**.....(142)

### **第一节 压力容器安全管理的依据及要求**

.....(142)

一、涉及压力容器管理方面的有关规定.....(142)

二、压力容器安全监察部门的工作性质.....(142)

三、压力容器安全监察机构对压力容器使用单位的要求.....(143)

### **第二节 压力容器安全管理体系**.....(143)

一、压力容器安全管理机构和职责.....(144)

二、压力容器安全管理规定.....(148)

### **第三节 压力容器的技术档案**.....(148)

一、压力容器的原始技术资料.....(149)

二、安全装置技术资料.....(149)

三、容器使用情况记录资料.....(150)

**附件一：GB5306—85《特种作业人员安全技术考核管理规则》**.....(150)

**附件二：湖南省七种特种作业人员安全技术考核管理暂行规定**.....(152)

**附件三：压力容器使用登记规则**.....(153)

**附件四：湖南省压力容器操作人员安全技术考核管理办法**.....(159)

**复习与思考题**.....(160)

# 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“牛顿(N)”表示；面积的单位用“米<sup>2</sup>(m<sup>2</sup>)”和“厘米<sup>2</sup>(cm<sup>2</sup>)”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1Pa=1N/m<sup>2</sup>。它与以往所用压强单位“公斤力/厘米<sup>2</sup>”的换算关系为：

$$1 \text{ 公斤力/厘米}^2 = 10000 \text{ 公斤力/米}^2 = 9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$$

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。

1. 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力1.033公斤力/厘米<sup>2</sup>(相当于0.1MPa；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公斤力/厘米<sup>2</sup>(0.098MPa)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：

$$1 \text{ 工程大气压} = 0.968 \text{ 标准大气压} = 735.6 \text{ 毫米汞柱}$$

如果以水柱高度来计算压力时，其换算关系为：

$$1 \text{ 公斤力/米}^2 (9.8 \text{ Pa}) = 1 \text{ 毫米水柱}$$

$$1 \text{ 公斤力/厘米}^2 (0.098 \text{ MPa}) = 10000 \text{ 毫米水柱} = 10 \text{ 米水柱}$$

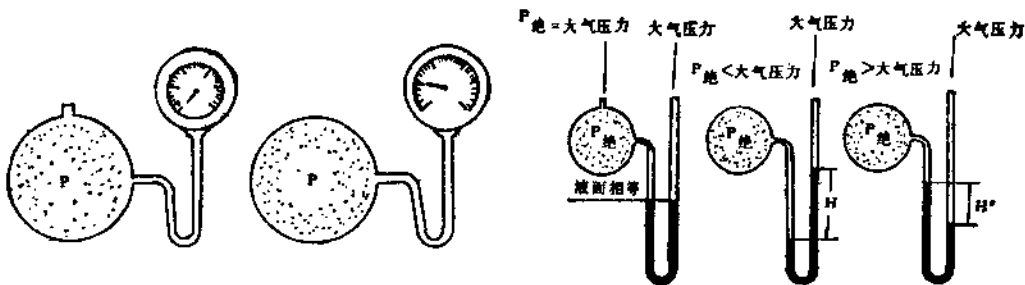
2. 绝对压力、表压力与负压力。容器内介质（液体或气体）的压力高于大气压时，介质

处于正压状态，如低于大气压时，则介质处于负压状态。容器内介质的实际压力称为绝对压力，用符号“ $P_{绝}$ ”来表示。用各种压力表测量容器介质的压力得到的压力数值称为表压力，用“ $P_{表}$ ”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型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型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型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

(a) (b) (c)  
图1—2 U型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：

$$P_{绝} = P_{表} + P_{大气}$$

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 $P_{负}$

$$P_{负} = P_{大气} - P_{绝}$$

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汽，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）。

蒸汽锅炉是利用燃料燃烧放出的热量将水加热蒸发而产生水蒸汽的一种设备。由于在相同压力下水蒸汽的体积是饱和水的1000多倍，例如在1个绝对大气压力下，1公斤饱和水的体积是1.043升，而变为水蒸汽后的体积则是1725升，约增大1700倍。因为锅炉是密闭的，汽包（或锅筒）的体积有限，随着炉水不断受热蒸发，蒸汽密度不断增加，压力也随之增大。工作介质为水蒸汽的压力容器，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，气体密度大为增加，因而在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 $-10.1^{\circ}\text{C}$ （标准沸点）时，它在密闭容器内的蒸气压力低于大气压力，而当温度升高至 $60^{\circ}\text{C}$ 时，呈液态的二氧化硫便大量蒸发，其蒸气压力即升高到11.25绝对大气压。又如高分子聚合物固态聚甲醛，受热后“解聚”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。例如有些贮装易于发生聚合反应的气体容器（如某些碳氢化合物贮罐），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，有时还会因此而发生容器超压爆破事故。

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 $1\text{米}^3$ 的水可以分解成 $1240\text{米}^3$ 的氢气和 $620\text{米}^3$ 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。

1. 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，因此在容器爆破时其膨胀功，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，容器爆破时膨胀功，即瞬时所释放的能量很大，危害性也就大。例如一个容积为 $10\text{米}^3$ ，工作压力为11绝对大气压的容器，如果盛装空气，容器爆破时所释放的能量约为 $13.3 \times 10^6$ 焦耳。如果盛装的是水，则容器爆破时所释放的能量仅为 $21.6 \times 10^3$ 焦耳，约为前者的 $1/6200$ 倍。由此可见，工作介质为液体时，即使容器爆破，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),但当容器爆破时,容器内压力下降,这些饱和液体会立即气化,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、水蒸汽、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,爆破时释放出来的能量也越大,所以事故的危害性也就大。但压力和容积的划分不象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(0.098MPa,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升·兆帕作为划分的下限值。

2.我国压力容器的界限范围。原国家劳动总局一九八一年五月颁发的《压力容器安全监察规程》(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种设备来管理。

- (1) 最高工作压力 ( $P_w$ )  $\geq 1$ 公斤力/厘米<sup>2</sup> (0.098MPa, 不包括液体静压力,下同);
- (2) 容积 ( $V$ )  $\geq 25$ 升,且  $P_w \times V \geq 200$ 升·公斤力/厘米<sup>2</sup> (19.6升·兆帕);
- (3) 介质为气体、液化气体和最高工作温度高于标准沸点(指在1个大气压下的沸点)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(0.098MPa)以上的各种压力容器”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、皮革、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、潜水仓、火力发电站、航空、深冷、运输贮罐、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百分之五十左右。

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,用以贮存有压力的气体、蒸汽或液化气体,如液氨贮罐、氢气、氮气贮罐等。这类容器内部一般没有其它的工艺装置,可以单独构成一台设备,或者作为其它装置的一个独立部件。压力容器也可以作为其它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 压力容器的工艺参数

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 and 安全操作的主要依据。压力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。在各种压力容器的规范中，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。

1. 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）。

2. 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》对盛装液化气体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 $50^{\circ}\text{C}$ 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 $50^{\circ}\text{C}$ 时的饱和蒸气压力。

(2) 盛装临界温度低于 $50^{\circ}\text{C}$ 的液化气体的容器，如有可靠的保冷措施并能确保低温贮存的，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 $50^{\circ}\text{C}$ 时的气体压力。

(3) 盛装混合液化石油气的容器，其 $50^{\circ}\text{C}$ 时的饱和蒸气压力低于异丁烷在 $50^{\circ}\text{C}$ 时的饱和蒸气压时，取 $50^{\circ}\text{C}$ 时异丁烷的饱和蒸气压力为最高工作压力；如高于 $50^{\circ}\text{C}$ 时异丁烷的饱和蒸气压时，取 $50^{\circ}\text{C}$ 时丙烷的饱和蒸气压为最高工作压力，如高于 $50^{\circ}\text{C}$ 时丙烷的饱和蒸气压时，取 $50^{\circ}\text{C}$ 时丙烯的饱和蒸气压为最高工作压力。

3. 设计压力。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。

《钢制石油化工压力容器设计规定》（下称《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，《设计规定》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作为设计压力。

(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 $1.05\sim 1.1$ 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压力。

(5) 外压容器，应取不小于在正常工作过程中任何时间内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0.1MPa (1Kgf/cm<sup>2</sup>) 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0.1MPa(1Kgf/cm<sup>2</sup>)；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

1. 介质温度。系指容器内工作介质的温度，可以用测温仪表测得。

2. 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。《设计规定》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℃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。根据不同压力容器可有许多分类方法，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1Kgf/cm<sup>2</sup>≈0.1MPa换算)：

- |                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| 1. 低压容器：0.1≤P<1.6MPa； | 3. 高压容器：10≤P<100MPa； |
| 2. 中压容器：1.6≤P<10MPa；  | 4. 超高压容器：P≥100MPa。   |

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，内压容器的壁厚是根据强度计标确定的，而外压容器的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，压力容器可分为低温容器(t≤-20℃)，常温容器(-20℃<t<450℃)和高温容器(t≥450℃)。

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。

1. 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。

2. 移动式容器，系指一种贮装容器，如气瓶、汽车槽车、铁路槽车等。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 压力容器可分为反应容器、换热容器、分离容器和贮运容器。

1.反应容器,系指主要用来完成介质的物理、化学反应的容器。如反应器、反应釜、发生器、分解锅、分解塔、聚合釜、高压釜、合成塔、变换炉、蒸煮锅、蒸球等。

2.换热容器,系指主要用来完成介质的热量交换的容器。如管壳式废热锅炉、热交换器、冷却器、冷凝器、蒸发锅、加热器、硫化锅、消毒锅、蒸压釜、蒸煮器、染色器等。

3.分离容器,系指主要用来完成介质的流体压力平衡和气体净化分离等的容器。如分离器、过滤器、集油器、缓冲器、贮能器、洗涤器、吸收塔、铜洗塔、干燥塔等。

4.贮运容器,系指主要用来盛装生产和生活用的原料气体、液体、液化气体等的容器。如各种型式的贮槽、槽车(铁路槽车、公路槽车)。

在一种容器中,如同时具有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。

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。

1.属于下列情况之一者为一类容器:(1)非易燃和无毒介质的低压容器;(2)易燃或有毒介质的低压分离容器和换热容器。

2.属于下列情况之一者为二类容器:(1)中压容器;(2)剧毒介质的低压容器;(3)易燃或有毒介质的低压反应容器和贮运容器;(4)内径小于1米的低压废热锅炉。

3.属于下列情况之一者为三类容器:(1)高压、超高压容器;(2)剧毒介质且 $P_w \times V \geq 196$ 升·兆帕的低压容器或剧毒介质的中压容器;(3)易燃或有毒介质且 $P_w \times V \geq 490$ 升·兆帕的中压反应容器,或 $P_w \times V \geq 4900$ 升·兆帕中压贮运容器;(4)中压废热锅炉或内径大于1米的低压废热锅炉。

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。

剧毒介毒——是指进入人体量 $< 50$ 克即导致肌体严重损伤或致死作用的介质,加氟、氢氟酸、氢氰酸、光气、氯化氢、碳酰氟等。

有毒介质——是指进入人体量 $\geq 50$ 克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、腐蚀和疲劳等损坏。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。

1.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,钢材的短时强度以室温下的抗拉强度和屈服极限来控制;当压力容器的工作温度超过50℃时,则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16Mn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,其涵义分别解释于下。

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),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《设计规定》中采用的“ $\sigma'_t$ ”,是指在t℃温度条件下,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:试样在给定温度下,经过规定时间

发生断裂的应力。在《设计规定》中用“ $\sigma_D$ ”表示，即在 $t$ ℃温度下，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( $\delta$ ：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：

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

式中， $L_1$ ——试样拉断后的长度(mm)； $L_0$ ——试样原始长度(mm)； $F_1$ ——试样拉断后断口处的截面积( $\text{mm}^2$ )； $F_0$ ——试样初始截面积( $\text{mm}^2$ )。 $\delta$ 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（ $a_K$ ：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）。

$$a_K = A_K / F$$

式中， $A_K$ ——冲击试验机的摆锤冲断试样时所做的功， $\text{J}/\text{cm}^2$ ；试样所作的功； $F$ ——试样槽口处的初始截面积( $\text{cm}^2$ )。一种新的表征材料韧性的参数 $K_{Ic}$ ——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。

2. 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，所以要求压力容器用钢要具有良好的工艺性能，即具有冷塑性变形能力和可焊性。前者可以通过控制塑性指标得到保证；而可焊性是取决于钢材的含碳量（对碳钢）或碳当量（对合金钢）。可焊性是指钢材在规定的焊接工艺条件下，能否得到质量优良的焊接接头的性质，在焊接中或焊接后易发生裂纹的钢材可焊性差，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其含碳量分别小于0.3%和0.25%时，一般都具有良好的可焊性。对合金钢，特别是高强度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）作为评价指标。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。

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

$$\text{英国：} \quad C_{eq} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Ni} + \text{Cu}}{15} (\%) \quad (1-6)$$

一般认为，碳当量不超过0.45%的合金钢具有良好的可焊性。

3. 耐腐蚀性。指材料在使用条件下抵抗工作介质腐蚀的能力。压力容器在使用过程中接触腐蚀性介质时会受到腐蚀，其用钢要求具有良好的耐蚀性。金属的耐蚀性（一般腐蚀，或称连续腐蚀）通常按腐蚀速率（毫米/年）评定。有关各种腐蚀性介质对常用材料的腐蚀速率可查阅防腐手册。

为了保证压力容器安全运行，《容规》和《设计规定》对压力容器金属材料的选用作了明确的规定，在选用时应严格遵照执行。

## 二、压力容器常用钢材及其使用范围

1. 碳钢。含碳量 $<2.06\%$ 的铁碳合金为碳钢，具有适当的强度和塑性，工艺性能良好，价格低廉，因而被广泛用来制造一般的中、低压容器。常用的碳钢有 $A_3F$ 、 $A_3$ 、 $A_3R$ 、20g等。

(1)  $A_3F$ 属沸腾钢，其钢板具有良好的塑性和可焊性。其使用范围限制为：容器的设计压力不得大于 $0.6\text{MPa}$  ( $6\text{Kgf/cm}^2$ )；使用温度为 $0\sim 250^\circ\text{C}$ ；用于制造壳体、封头的钢板厚度不得大于 $12\text{mm}$ ；不得用于制造盛装易燃、有毒或剧毒介质的压力容器。

(2)  $A_3$ 属镇静钢，具有与 $A_3F$ 大体相同的机械性能与工艺性能。由于镇静钢含硅量较多，脱氧完全，质量较 $A_3F$ 稍好些。其使用范围限制为：容器的设计压力不得大于 $1\text{MPa}$  ( $10\text{Kgf/cm}^2$ )；使用温度为 $0\sim 350^\circ\text{C}$ ；用于制造壳体、封头的钢板厚度不得大于 $16\text{mm}$ 。

(3)  $A_3R$ 是容器用钢，其化学成分和机械性能都与 $A_3$ 钢相同，但因为需要保证的机械性能指标为五项( $\delta_0$ 、 $\delta_2$ 、 $\delta_5$ 、 $\delta_k$ 和冷弯)，多于 $A_3$ 钢( $A_3$ 与 $A_3F$ 为 $\delta_0$ 、 $\delta_2$ 两项)，因此其使用温度为 $-20\sim 475^\circ\text{C}$ ，制造容器的许用压力没有限制。

(4) 20g是一种锅炉用钢，其钢板与优质碳钢的性能基本相同，含硫量等低于普通碳钢具有较高的强度。使用温度为 $-20\sim 475^\circ\text{C}$ ，常用来制造温度较高的中、低压容器。

2. 普通低合金钢。普通碳钢添加少量合金元素即成，其机械性能和工艺性能都较好。制造压力容器常用的普通低合金钢是16MnR (16MnR比 $A_3$ 钢多含约1%的锰，但强度却高得多)。用这种钢板制造的容器比一般碳钢 ( $A_3$ ) 减轻重量约30~40%，使用温度为 $-20\sim 475^\circ\text{C}$ 。此外，根据我国资源情况发展起来的低合金钢，如15MnVR、18MnMoNbR等常用于制造常温中低、压容器。

### 3. 特殊条件下使用的容器用钢

(1) 低温( $<-20^\circ\text{C}$ )容器用钢要求在最低使用温度下仍具有较好的韧性，以防止容器在运行中产生脆性破裂。深冷容器常采用高合金钢制造，如0Cr18Ni9、0Cr18Ni9Ti，其使用温度下限为 $-196^\circ\text{C}$ 。一般低温容器常用锰钢及锰钒钢制造，如16MnDR、09Mn2VDR等，其下限使用温度分别为 $-40^\circ\text{C}$ 和 $-70^\circ\text{C}$ 。16MnR钢板用于低温时，需要做低温冲击试验，如能保证钢板在 $-40^\circ\text{C}$ 下的冲击值 $\alpha_k \geq 34.3\text{J}/\text{cm}^2$ ，则可用到 $-40^\circ\text{C}$ 以上，此时可写成16MnDR。

(2) 高温容器用钢，碳钢  $A_3R$ 、20g等可以用到  $475^\circ\text{C}$ ，而其他普通碳钢一般只能用到  $400^\circ\text{C}$ 。使用温度在 $400\sim 500^\circ\text{C}$ 范围内的容器，一般可选用锰钒钢、锰钼钒钢等低合金钢，如15MnVR、14MnMoVg等；使用温度为 $500\sim 600^\circ\text{C}$ 时，可选用铬钼低合金钢，如15CrMo、12Cr2Mo1等；使用温度为 $600\sim 700^\circ\text{C}$ 时，则可选用镍铬高合金钢，如0Cr18Ni9、0Cr18Ni9Ti、1Cr18Ni9Ti等。

(3) 抗氢腐蚀用钢，根据国内外的使用经验，工作压力为300大气压、介质含氢的压力容器，可以根据不同的使用温度选用下列一些钢材：低于 $200^\circ\text{C}$ 时可用优质碳钢，如10号钢；低于 $350^\circ\text{C}$ 时可用铬钼低合金钢，如15CrMo、30CrMo；低于 $450^\circ\text{C}$ 时可用铬钼合金钢，如Cr6Mo。在更高温度下使用时可选用含钒量0.5%的铬钼合金钢。

压力容器常用的钢种很多，上面所列举的钢种仅是其中用得最多的一部分。

## 第五节 压力容器的应力及其对安全的影响

压力容器在运行过程中，可能承受着各种形式的载荷。其中比较常见的是压力载荷、重力载荷、温度载荷、风载荷和地震载荷等。这些载荷都会使容器器壁产生整体的或局部的变

形，并相应的产生各种应力。

### 一、各种载荷所产生的应力

1. 由压力而产生的应力。压力是压力容器最主要的载荷，受内压的容器，由于壳体在压力作用下要向外扩张，所以在器壁上总是要产生拉伸应力，这一应力又称为薄膜应力。由压力而产生的应力则是确定容器壁厚的主要因素，对大多数容器来说往往是唯一的因素。

2. 由重量而产生的应力。压力容器本身就具有一定的重量，此外，容器内的工作介质、工艺装置附件以及容器外的其他附加装置，如保温装置、扶梯、平台等也有较大的重量。所有这些重量作用在器壁上也会使器壁产生应力。如卧式容器常用的是鞍式支座，壳体横卧在两个支座上，由于重量的作用而产生弯曲应力。

3. 由温度而引起的应力。压力容器在使用过程中，由于温度变化也会引起应力。热胀冷缩是物体的固有特性，如果物体的温度发生了变化，而它又受到相邻部分或其他物体的牵制约束而不能自如地热胀冷缩，则此物体内部就会产生应力。这种应力称为温度应力。例如，厚壁容器壁内外二面温度不一样，存在着温差，如果内壁温度高于外壁，则内壁要膨胀就会受到外壁的约束而不能自由膨胀，这样就产生了温度应力（亦可称为温差应力）。又如，具有衬里或由复合钢板制成的容器，由于材料的热膨胀系数不同也会产生温度应力。

4. 风载荷产生的应力。安装在室外的塔器，大多数是支承式的，在风力作用下，塔体就会随风向发生弯曲变形，使迎风面产生拉伸应力，而背风面则产生压缩应力。

除上述载荷引起的应力外，还有地震、在容器侧旁或顶部装置的重较大的附属装置等均会使容器壁产生相应的应力。

### 二、应力对容器安全的影响

不同的载荷使容器壁产生的应力，或者由同一种载荷在容器各部位引起不同类型的应力，对于容器安全的影响是不一样的。

有些应力分布在容器壁的整个截面上，它使容器发生整体变形，且随着应力增大容器变形加剧，当这些应力达到材料的屈服极限时，容器壁即产生显著的塑性变形，若应力继续增大，容器则因过度的塑性变形而最终破裂。由容器内的压力而产生的薄膜应力就是这样一种应力。因其能直接导致容器的破坏，所以是影响容器安全的最危险的一种应力。

有些应力只产生在容器的局部区域内，也能引起容器变形，当应力值增大到材料的屈服极限时，局部地方还可能产生塑性变形，但由于相邻区域应力较低，材料处于弹性变形，使这局部地方的塑性变形受到制约而不能继续发展，应力将重新分布。一般温度应力和总体结构不连续处的弯曲应力就是这样一种应力。在这种应力作用下，容器的加载与卸载循环次数不需太多，就会导致容器破坏，因此对容器的安全也构成重要影响。

有些由应力集中而产生的局部应力，只局限在一个很小的区域内，因为这种应力衰减得快，在其周围附近会很快消失，因受到相邻区域的制约，基本上不会使容器产生任何重要变形。如容器壁上的小孔或缺口附近的应力集中就是这样一种应力。这种类型的应力虽不会直接导致容器破坏，但可使韧性较差的材料发生脆性破坏，也会使容器发生疲劳破坏。故对容器安全也有一定影响。

从上分析可知，不同应力对压力容器安全的影响虽然不同，但都可能导致容器破坏。为了防止在使用过程中压力容器早期失效或发生破裂而导致严重的破坏事故，对容器在各种载荷下可能产生的各类型的应力都必须加以控制而把它限制在允许范围内。要做到这一点，除设计人员精心设计外，操作人员认真操作，保持工况稳定，不超温、不起压也是十分重要的。



## 第二章 压力容器结构

### 第一节 压力容器的基本构成

压力容器的结构形式是多种多样的，它是根据容器的作用、工艺要求、加工设备和制造方法等因素确定的。图2—1、图2—2所示分别是常见的圆筒形容器和球形容器的。

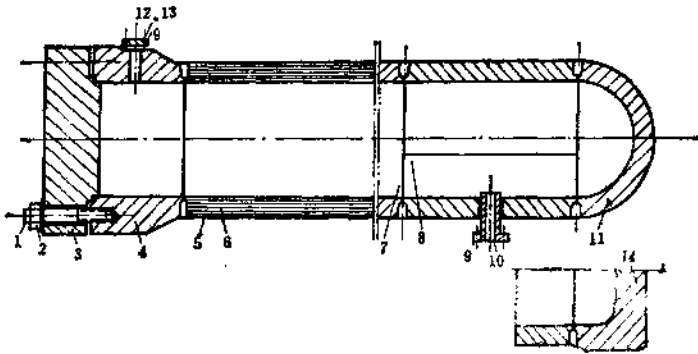


图2—1 圆筒形容器

1. 主螺栓 2. 主螺母 3. 端盖 4. 筒体端部 5. 内筒 6. 层板层 7. 环焊缝 8. 纵焊缝 9. 管法兰 10. 接管  
11. 球形封头 12. 管道螺栓 13. 管道螺母 14. 平封头

从图可知，容器的结构是由承受压力的壳体、连接件、密封元件和支座等主要部件组成。此外，作为一种生产工艺设备，有些压力容器，如用于化学反应、传热、分离等工艺过程的压力容器，其壳体内部还装有工艺所要求的内件。对此，本书不做专门介绍，而只介绍压力容器的其他部件。

一、壳体 壳体是压力容器最主要的组成部分，是贮存物料或完成化学反应所需要的压力空间，其形状有圆筒形、球形、锥形和组合形等数种，但最常用的是圆筒形和球形两种。

1. 圆筒形壳体。其形状特点是轴对称，圆筒体是一个平滑的曲面，应力分布比较均匀，承载能力较高，且易于制造，便于内件的设置和装拆，因而获得广泛的应用。圆筒形壳体由一个圆柱形的筒体和两端的封头或端盖组成。

(1) 筒体。筒体直径较小时（一般 $<500$ 毫米），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，因而筒

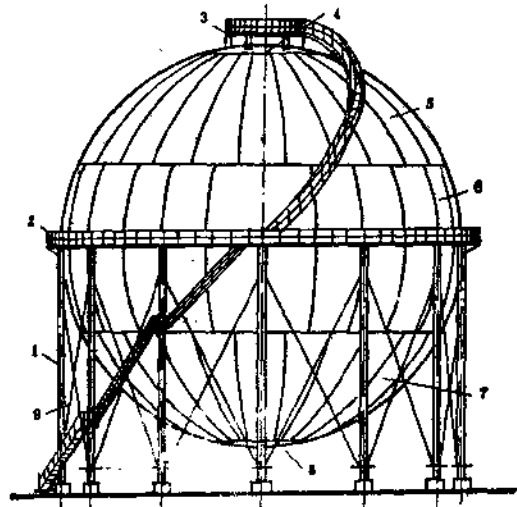


图2—2 球形容器的

1. 支柱 2. 中部平台 3. 顶部操作平台 4. 北极板  
5. 北温带 6. 赤道带 7. 南温带 8. 南极板 9. 拉杆