

压力容器基础知识讲义

第一卷 基础知识

(试用本)

劳动人事部 锅炉压力容器安全杂志社

70.8

8603429

出 版 说 明

本书是在原国家劳动总局锅炉安全监察局组织编写的《压力容器基本知识讲义》(试用本)的基础上,根据几年来各地办班实践经验和对原书提出的意见,对原书作了一些删节和改动而成的。

鉴于各地培训急需教材,我们未来得及对原书作大的修改。

原书是第一机械工业部通用机械研究所李景辰、李学潜和沈行道三位工程师编写的。李景辰工程师参加了这次对原书的删节和改动工作。本书的修改和出版呈蒙有关单位和许多同志的大力协助和支持,特此表示谢意。

劳动人事部^{锅 炉}_{压力 容器}检测中心

一九八三年七月

目 录

第一篇 压力容器基础

第一章 压力容器基本知识.....	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 压力容器的用途.....	(3)
第三节 压力容器的工艺参数.....	(5)
第四节 压力容器发展概况.....	(7)
第二章 压力容器的分类与构造.....	(10)
第一节 压力容器的分类.....	(10)
第二节 压力容器的基本构成.....	(12)
第三节 不同外形压力容器的比较.....	(15)
第三章 压力容器筒体与密封.....	(16)
第一节 压力容器壳体.....	(16)
第二节 压力容器密封(一).....	(24)
第三节 压力容器密封(二).....	(29)
第四章 压力容器支座.....	(35)
第一节 卧式容器支座.....	(35)
第二节 立式容器支座.....	(38)
第三节 球形容器支座.....	(41)
第五章 压力容器运行中的测量及安全装置.....	(43)
第一节 概 述.....	(43)
第二节 压力测量仪表.....	(45)
第三节 视镜、液位计和温度计.....	(49)
第四节 安全阀.....	(53)
第五节 防爆装置.....	(56)
第六章 压力容器标准、设计文件及图面要求.....	(60)
第一节 压力容器有关标准简介.....	(60)
第二节 压力容器的设计文件.....	(65)
第三节 图面技术要求.....	(67)

第二篇 压力容器设计

第一章 压力容器设计概论.....	(71)
第一节 概 述.....	(71)
第二节 国外主要规范简介.....	(74)
第三节 钢制石油化工压力容器设计规定简介.....	(77)
第二章 压力容器设计的力学基本知识.....	(80)
第一节 受力与变形.....	(80)
第二节 拉伸与压缩.....	(85)
第三节 剪 切.....	(91)
第四节 弯 曲.....	(93)
第五节 复杂受力状态的应力和变形分析.....	(101)
第三章 薄壁容器承受内压时的应力分析.....	(106)
第一节 概 述.....	(106)
第二节 一般形状回转壳体的应力分析.....	(108)
第三节 圆柱壳和球壳的应力分析.....	(112)
第四节 椭球壳和锥形壳的应力分析.....	(114)
第四章 厚壁容器承受内压时的应力分析.....	(116)
第一节 概 述.....	(116)
第二节 单层厚壁圆筒的应力分析.....	(118)
第三节 厚壁与薄壁圆筒应力公式的比较.....	(122)
第四节 超高压热套容器的应力分析.....	(123)
第五章 薄壁(中低压)容器的强度设计.....	(129)
第一节 概述和强度理论.....	(129)
第二节 压力容器典型壳体的壁厚强度设计公式.....	(132)
第三节 安全系数和许用应力的确定.....	(140)
第四节 强度设计中其它参数的确定.....	(144)
第六章 厚壁(高压)容器的强度设计.....	(167)
第一节 厚壁容器的强度设计准则.....	(167)
第二节 厚壁容器的强度设计公式.....	(169)
第三节 强度设计中有关参数的确定.....	(171)
第七章 法兰设计.....	(174)
第一节 法兰的作用和分类.....	(174)

第二节	法兰的受力特点及设计程序·····	(177)
第三节	法兰的密封面及垫片·····	(178)
第四节	法兰螺栓设计·····	(181)
第五节	法兰设计·····	(184)
第六节	厚壁(高压)容器法兰的设计·····	(188)
第八章	圆平板类零部件的强度设计·····	(191)
第一节	概 述·····	(191)
第二节	不同支承条件下圆平板的弯矩与应力公式·····	(193)
第三节	圆平板类零部件的强度设计·····	(195)
第九章	开孔和开孔补强·····	(199)
第一节	概 述·····	(199)
第二节	等面积补强法的适用范围·····	(201)
第三节	等面积补强法的补强面积和补强范围·····	(203)
第四节	等面积补强法的补强结构和补强形式·····	(205)
第十章	温差应力的计算·····	(209)
第一节	概 述·····	(209)
第二节	压力容器中温差应力的计算·····	(212)
第十一章	压力容器的结构设计与安全·····	(216)
第一节	概 述·····	(216)
第二节	焊接结构设计·····	(219)
第三节	压力容器结构设计的某些原则·····	(229)
第十二章	压力容器中应力的分类和压力容器设计的发展·····	(234)
第一节	概 述·····	(234)
第二节	压力容器中应力的分类·····	(237)
第三节	压力容器设计方法的发展·····	(239)

目 录

第三篇 压力容器用钢

第一章 金属材料的基本知识.....	(1)
第一节 金属的机械性能.....	(2)
第二节 热处理基础.....	(5)
第三节 金属材料的脆性.....	(11)
第四节 常用钢号的表示方法及其意义.....	(15)
第二章 压力容器用钢的特点及一般要求.....	(18)
第一节 力学性能要求.....	(18)
第二节 工艺性能要求.....	(20)
第三章 碳钢、低合金高强度钢与合金结构钢的特点和应用.....	(23)
第一节 碳钢.....	(23)
第二节 低合金高强度钢.....	(24)
第三节 合金结构钢.....	(42)
第四章 低温钢和抗氢钢.....	(46)
第一节 低温用钢.....	(46)
第二节 抗氢氮钢.....	(54)
第五章 不锈钢.....	(62)
第一节 不锈钢的工作特点和分类.....	(62)
第二节 典型介质中不锈钢的应用.....	(70)

目 录

第四篇 压力容器制造

第一章 压力容器制造概论.....	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 压力容器制造技术条件.....	(3)
第二章 压力容器制造工艺装备.....	(6)
第一节 划线、下斜、边缘准备.....	(6)
第二节 筒节成型.....	(10)
第三节 容器组装及焊接.....	(12)
第四节 封头成型.....	(14)
第三章 压力容器的制造工艺.....	(18)
第一节 单层卷焊压力容器.....	(18)
第二节 热套压力容器.....	(23)
第三节 多层包扎压力容器.....	(30)
第四节 绕带容器.....	(37)
第五节 球形容器制造.....	(39)

第五篇 压力容器焊接

第一章 压力容器焊接概况.....	(43)
第一节 概述.....	(43)
第二节 压力容器常用焊接方法.....	(46)
第三节 金属材料可焊性及其试验方法.....	(59)
第四节 焊接接头的组织与性能.....	(54)
第五节 与压力容器焊接有关的规程和标准.....	(56)
第二章 压力容器用钢的焊接.....	(60)
第一节 低合金钢的焊接.....	(60)

第二节 奥氏体不锈钢的焊接·····	(95)
第三节 钛的焊接·····	(68)
第四节 焊接材料及其选择·····	(70)
第三章 典型结构压力容器的焊接·····	(76)
第一节 中、低压容器的焊接·····	(77)
第二节 单层和热套压力容器的焊接·····	(84)
第三节 多层式压力容器的焊接·····	(93)
第四节 球形容器的焊接·····	(98)
第四章 压力容器的焊接缺陷及防止措施·····	(107)
第一节 焊接接头的缺陷·····	(107)
第二节 焊接中的气孔·····	(109)
第三节 热裂纹及其防止措施·····	(112)
第四节 冷裂纹及其防止措施·····	(113)
第五节 再热裂纹及其防治·····	(118)
第五章 压力容器的补焊·····	(120)
第一节 尿素合成塔的补焊·····	(120)
第二节 多层容器的补焊·····	(123)
第三节 球形容器的补焊·····	(124)
第四节 不用焊后热处理的补焊·····	(125)
第五节 小结·····	(126)
第六章 压力容器焊接技术进展·····	(127)
第一节 压力容器用材可焊性的改善·····	(127)
第二节 窄间隙焊接在压力容器制造中的应用·····	(131)
第三节 电子束焊接在压力容器制造中的应用·····	(135)
第四节 大型压力容器现场组焊·····	(137)

第一篇 压力容器基础

第一章 压力容器基本知识

第一节 概 述

目前,对于容器尚无一个严格的科学定义。

在石油、化学等工业部门中,其单元操作装置一般分为两大类:运动的装置称为机器;静止的装置称为设备。石油化工设备依据各自的特点又可分成很多种,容器是其中之一,它是指内部不进行化学反应或其它化工过程的那些设备。容器主要用于储存气态或液态的原料、中间产品或成品,如原油、乙烯及液氨贮罐等。

其它石油化工设备(如反应设备、换热设备、分离设备等)可以看成是由外壳及装入外壳内能满足工艺要求的内件所组成。从广义上说,这些外壳本身也是容器。对容器的结构设计和强度计算,同样适用于其它化工设备外壳的设计计算。

因此,在石油化工领域,容器是指储存设备和其它各种设备的外壳。

容器按所承受压力的高低又可分为常压容器和压力容器两大类。压力容器的壁厚是根据强度计算确定的。而常压容器的壁厚则不能根据强度计算来确定,因为当内压很低时,按强度计算的壁厚就很薄,容器在制造、运输和吊装过程中,往往因刚度不够而产生过大的不允许的变形,故常压容器的壁厚应按刚度和制造要求,由结构设计来确定。

压力容器和常压容器的压力分界是人为规定的,因而在不同规范中其数值可能略有差异。我国一机、石油、化工三部颁发的《钢制石油化工压力容器设计规定》(以下简称《设计规定》)中规定:设计压力低于 $\frac{100}{(Dg+10)^2}$ 公斤力/厘米²或真空度低于 $\left(\frac{310}{Dg}+8.2\right)$ 厘米水柱(Dg——公称直径,米)称为常压容器;设计压力或真空度分别等于或高于上述两个数值的称为压力容器。国务院颁发的《锅炉压力容器安全监察暂行条例》规定,压力为一个表压以上的容器为压力容器。

蒸汽锅炉也属压力容器,但它是一种直接用燃烧热产生蒸汽的特种受压容器,一般称为用直接火焰加热的容器,其设计、选材、运行维护另有特殊要求,通常不包括在一般压力容器的范畴之内,因此,本教材中不涉及蒸汽锅炉等用直接火焰加热的容器。

从安全技术角度,压力容器又可分为固定式和移动式两大类。移动式容器有气瓶、气桶、槽车等,是专门运输气体(或液化气体)的压力容器,其结构、使用和安全方面均有特殊要求,往往也不属于一般压力容器的范畴。由于气瓶已有专门教材,这里不再赘述。

近30年来,在发达的工业国家核能容器获得了迅速地发展。核能容器的出现,标志着压力容器的设计、制造技术达到了一个新的更高的水平。核能容器不仅是同时承受高压高温的超厚壁容器(如压水堆容器其工作压力一般为140~160公斤力/厘米²,个别高达200公斤力/

厘米²，工作温度250~330℃，某些部位壁厚达400~500毫米），而且容器本身还要承受堆芯核裂变时产生的强烈中子流和γ射线辐照，导致材料冲击韧性与延性的显著下降，使容器发生脆性破坏的可能性增加，此外，为防止容器内放射性物质泄漏污染环境，对密封结构的安全可靠性也提出了更为苛刻的要求。因此，核能容器和一般压力容器相比，无论在设计、选材、制造，还是在检验、运行维护方面，均提出一系列更高的要求。由于我国的核能工业尚处于技术准备阶段，因此，国内现行的压力容器规范（如《设计规定》和《压力容器安全监察规程》以下简称《监察规程》）均明确规定不包括核能容器。

综上所述，本教材主要介绍一般的非直接火焰加热的固定式压力容器。在内容编排上将以数量最多的石油化工用压力容器为重点。

压力容器不仅是工业生产中的常用设备，同时也是一种比较容易发生事故的特殊设备。和其他生产装置不同，压力容器发生事故时不仅使容器本身遭到破坏，往往还会诱发一连串恶性事故，如破坏其它设备和建筑设施，危及职工的生命和健康，污染环境，给国民经济造成重大损失。七九年十二月吉林市城建局煤气公司液化石油气厂发生的恶性爆炸事故，就是一起典型事例。这一事故的起因是二号球罐破裂，液化石油气大量喷出遇明火燃烧，在大火中导致邻近的一号球罐超压发生爆炸燃烧，使整个罐区遭到破坏，伤亡近百人，直接经济损失高达六百余万元。

压力容器的这种潜在危险性，是和压力容器的操作工况及内部介质特性密切相关的。

压力容器，顾名思义是在有压力条件下工作的容器。如合成氨成套装置中的压力容器，一般在150~320公斤力/厘米²压力下操作；高压聚乙烯的工作压力为3500公斤力/厘米²；某些特殊用途的压力容器，操作压力竟高达10000公斤力/厘米²以上。不少压力容器工作时，不仅要承受较高的压力，同时还经常处于高温或深冷状态。在这样严峻的工作条件下，要保证容器长期安全运行，就必须在设计、选材、制造、检验和使用管理上有一整套严格的要求。否则容器一旦发生爆炸，在爆炸瞬间将猛烈地释放出巨大的能量，其摧毁力之大是惊人的，如一九六五年十二月英国一台高压容器水压试验时破坏，其爆炸能量竟使一块2吨重的碎片飞出150呎远。而压力容器爆炸时所释放能量的多少、是和容器的容积、操作工况（压力、温度）及内部介质状态（液态、气态）直接相关的。

内部介质特性对容器的运行安全和使用寿命影响较大。尤其是石油化工容器，其内部介质不仅具有强烈的腐蚀性（如氢腐蚀、硫化氢腐蚀，各种浓度的酸、碱腐蚀等），从而对容器材料的选用提高苛刻的要求外，很多介质本身还是易燃、易爆或有毒的气体，如果容器在运行中一旦损坏或泄漏，除了由于容器本身爆炸所造成的损坏外，还可能产生由于内部介质向外扩散而引起的化学爆炸（又称二次爆炸）、着火燃烧，有毒气体将会污染环境使人中毒。我国温州市液氯钢瓶爆炸并造成多人氯气中毒的严重事故，就是这方面的典型实例。

近年来，随着石油化工生产向高效、低耗及单机处理能力大型化发展，压力容器的规格越来越大，操作条件日趋苛刻。以氨合成塔为例：在六十年代初，氨合成塔日产量只有120吨，内径900毫米，壁厚120毫米，空塔重70吨；到七十年代，氨合成塔日产量高达910~1360吨，内径3200~3400毫米，空塔重270~353吨。容器的规格增大，不仅给制造、运输、安装带来一系列困难，更重要的是由于厚钢板的质量和深厚焊缝的存在，增加了容器发生脆性破坏的危险性。

影响压力容器安全运行的因素是多方面的。它涉及到应力分析，强度设计，材料研究，

制造工艺,无损检测以及破坏机理等多个技术领域。本教材编写的目的,就是试图以压力容器安全分析为中心,较系统的介绍上述几方面有关影响压力容器安全运行的技术问题,以供劳动部门压力容器安全监察人员在工作中参考。

在介绍压力容器设计、材料、制造及事故分析等篇内容之前,必须对容器的基本概况有个初步了解。本篇“压力容器基础”就是从压力容器基本知识;容器的分类和构成;压力容器壳体与密封;压力容器支座;压力容器运行中的测量及安全装置;压力容器标准等六个方面来介绍容器的基本概况。

在“压力容器基本知识”这一章里,我们首先以石油化学工业为主简要介绍容器在各个领域中的应用,然后介绍容器的有关工艺参数,最后介绍容器的发展简况和发展趋向。

第二节 压力容器的用途

容器的用途极为广泛。在工农业军工及民用等许多部门,在科学研究的许多领域,都起着重要的作用。就当前而言,以石油化学工业应用的最为普遍,约占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,它主要包括化肥、医药、农药、炼油、无机化工和有机合成等行业,与人民生活、工业、农业及国防有着密切的联系,在国民经济中占有极重要的地位。在石油化工中,许多化学反应过程都需要在有压力的条件下才能进行,或者要用增高压力的方法来加快它的反应速度,因此,容器的应用非常广泛。

在石油化工中,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、氮贮罐等。作为贮存用的容器,其内部一般没有其他的工艺装置,可以单独构成一台设备(如液氨贮罐)或者作为其他装置的一个独立部件(如高压泵的稳压器)容器也可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、传热、传质、蒸馏、萃取、分离等)提供必要的压力空间,并将该压力空间与外界大气隔离,此时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,诸如石油化学工业中普遍应用的各类反应设备、换热器、塔器、分离设备等等。这方面的应用实例是不胜枚举的:在化肥工业中有氨合塔、尿素合成塔、废热锅炉、二氧化碳吸收塔、氨分离器等;在石油精炼装置中有加氢脱硫反应器、加氢裂化反应器和各种分离塔、吸收塔及换热器等;在合成甲醇、合成乙醇工业中所用的各种大型高压容器;在乙烯装置中所用的各种低温压力容器;在聚乙烯装置中所用的各种超高压容器等等。

容器在其他民用工业领域也获得了广泛的应用。例如各城市、各企业所用的煤气或液化气贮罐;工业机械所用的各种蓄能器如水压机蓄势器;各种动力机械的辅机如换热器、分离器等;制糖、造纸所用的各类蒸煮釜,大型管道工程。

随着航天、海洋开发、军工等科学技术的飞速发展,又为容器的应用开了新的更加广泛的领域。航空和军事上所用的各类动力火箭均属于高温高压容器,飞机上的各种专用气瓶以及研制新飞机的多种专用试验装置也属容器,日本在1965年研制出一套超音速风洞气罐,其内径1380毫米,长度1750毫米,操作压力200公斤力/厘米²,其结构就是多层包

扎式压力容器。在海洋开发领域，各类深海探测器及军事上所用的潜艇，都是典型的外压力容器，在海洋研究中为了模拟深海情况需要不同规格的内压力容器，称为深海试验容器，美国在1968年研制了一台操作压力为705公斤力/厘米²的深海试验容器，其内、外径分别为3400和4008毫米，壁厚304毫米，总重750吨，该试验容器可从压力上模拟7000米的深海状态。超高压技术在粉末冶金上获得了应用，如美国的一台等静压粉末冶金容器，其操作压力为5620公斤力/厘米²，壁厚558毫米。作为武器用的大炮，也可视为承受反复瞬时压力的开口容器。

压力不仅能促进化学反应，还能改变一些物质的物理性能。一些物质在很高的液压（往往要1000公斤力/厘米²以上）挤压下，分子的距离缩小，密度增大，甚至产生分子与原子的变形，而使物质的物理性能产生根本的变化。如不导电无金属光泽的白磷，经12000公斤力/厘米²液压挤压后，就变成能导电有金属光泽的黑磷。一些金属在超高静液压挤压下，其屈服强度、导电、导热性能都有大幅度提高。木材经超高压挤压处理，也会具有金属一样的强度与硬度。总之，超高压技术可以把某些性能低劣廉价的物质转变为性能优良的昂贵物质，大家所熟知的人造金刚石、人造宝石都是采用超高压技术合成的。

随着世界性的能源危机，许多国家正在大力开发新的能源。一方面加紧开发埋藏量很大的煤和天然气，以替代日渐枯竭的石油；另一方面积极发展核能发电、太阳能发电等新能源。上述能源装置均需要大量的压力容器。由于能源开发日益为世界各国所重视，预计在不久的将来，能源将取代石油化工成为压力容器的主要用户。

液化天然气，液化石油气的处理装置，必须经过天然气开采、输送至液化工厂，气体液化后输送到消费地区，再气化及贮藏等很多过程。为了提高收益必须采用巨大的设备。这些装置中的气体分离、精炼及液化，再气化过程需要很多的压力容器。由于整个过程几乎都是在低温下进行的，因此在天然气处理装置中所用的压力容器，多是大型厚壁低温容器。

煤的气化及液化装置，目前除有少数生产性设备已正式投入运行外，一般尚处于实机试验阶段或生产性试验设备阶段。美国、苏联、澳大利亚等国由于煤的埋藏量很大，正在积极的开发研究，预计在1990年左右将能正式投产。这些装置中的压力容器大多在高温、高压，氢介质条件下运行，其设计条件为175~250公斤力/厘米²，450~550℃，个别操作温度高达900~1000℃，比石油精炼反应塔还要严峻。上述高温高压容器，不仅工况十分苛刻，其规格之大也十分惊人，它的内径约3000~5000毫米，壁厚200~400毫米，重量400~2600吨。

核能是当今世界上正在大力发展的新能源。目前已有二十二个国家和地区，建成各种类型的核电站223座，加上正在建造和计划建造的，总数已近700座。在一些国家里，核电已占全国总电力的10%以上。有些国家，如法国和意大利已有或准备有全国核能的计划（即今后只造核电站）。预计到公元2000年，核电可达全世界总发电量的45%左右。核能和石油、煤炭、天然气、水力是目前世界上五大重要能源。核能所以获得迅速发展，主要由于它具有能量密度高、燃料消耗少，环境污染小，发电成本低廉等优点，原来人们最担心的安全问题，已得到实践的检验：据美国环境保护机构的实测数据表明，核电站的放射性效应是微不足道的，它比烧煤电站排放的飘尘中铀、钍等杂质所引起的辐射剂量小得多。核动力装置反应堆类型依据反应堆热量带出的方式不同，主要分为轻水堆、重水堆、石墨气冷堆等三种。轻水堆又可分为压水堆和沸水堆，这两种堆型目前处于领先地位，约占总容量的80%，其中尤以压水堆为主，约为沸水堆的一倍。尽管堆型不同，但核动力装置中的反应堆都是由燃料元件、堆芯结构、压力容器和控制棒驱动机构等几个主要部分组成。反应堆压力容器（简称反

应堆容器，也称核容器或压力壳）是在长期核辐照条件下工作的大型厚壁高温高压容器。目前已有的和即将发展的反应堆压力容器的规格尺寸与重量，如表1—1所示。

表 1-1

设备名称	现 在			即 将		
	生 产 能 力	尺 寸 直径×长度×厚度 (米)×(米)×(毫米)	重 量 (吨)	生 产 能 力	尺 寸 直径×长度×厚度 (米)×(米)×(毫米)	重 量 (吨)
反应堆容器	1000千瓦	4.5×8×260	450	1500千瓦	7.8×8×317	650
蒸汽发生器		5×20×120	420		6×20.7×150	620
反应堆容器	1000千瓦	6.4×15×156	690	1600千瓦	7.8×16.4×190	1000
主复水器		6×15×40	170		7.3×15.7×49	260

综上所述，压力的应用范围是相当广泛的。仅就我们国家而言，压力的制造、使用、设计研究及监察管理就涉及到机械、核能、电子、航空、航天、交通、海洋石油、化工、轻工、纺织、冶金、高教、科学院、国防科委、国家标准局、国家医药总局及劳动人事部等近廿个系统。

第三节 压力的工艺参数

工艺参数是进行压力容器结构设计和强度设计的主要依据。工艺参数是由生产的工艺要求确定的。影响压力容器设计的主要工艺参数有压力、温度、直径等，下面分别予以简单的介绍。

一、压力

在物理学中和工程上关于压力的概念是不相同的。

在物理学中，压力系指垂直作用于物体表面的力；而把垂直作用于物体单位面积上的力称为压力强度，简称压强。

工程上压力的概念实质上就是物理学中的压强，即工程上把垂直作用于物体单位面积上的力称为压力，这是一种习惯性叫法。

工程上压力的单位一般用大气压或公斤力/厘米²来表示，低的压力有时也用米水柱或毫米汞柱来表示。

1个大气压是指在海平面高度上的空气由于地心吸力的作用而引起的压力，它相当于每平方厘米的面积受1.033公斤的力，亦相当于760毫米汞柱高或4℃时，10.33米水柱高的压强，这种大气压称为物理大气压或标准大气压。工业中，为了计算方便，常采用所谓：“工程大气压”作为压力的单位，1工程大气压等于1公斤力/厘米²或10米水柱高的压强。本教材中工程大气压一律用公斤力/厘米²来表示。

压力容器中的压力是用压力表来测量的，压力表上所标示的压力叫作表压力，它是表示容器内部流体超过大气压力的压力值。容器内的绝对压力应为压力表显示的压力加上周围的大气压力。

在各种压力容器设计规范中，经常出现工作压力、最高工作压力及设计压力等概念。现

将它们的定义分述如下：

工作压力也称操作压力系指容器在正常工艺操作时的压力（不包括液柱压力）。

最高工作压力系指容器在工艺操作过程中可能出现的最大表压力（不包括液柱压力）。

关于在不同情况下最高工作压力的选取，《监察规程》中有如下三条具体规定：

盛装临界温度高于50℃的液化气体的容器，如有可靠保冷设施，其最高工作压力为所盛装气体在最高操作温度下的饱和蒸汽压力；如无保冷设施，其最高工作压力应为50℃的饱和蒸汽压力。

盛装临界温度低于50℃的液化气体容器，如有可靠保冷设施能确保在低温下贮存，其最高工作压力应不低于试验实测的最高温度下的饱和蒸汽压力，如没有试验实测数据应取不低于其临界压力。

盛装混合液化石油气的容器，其50℃时的饱和蒸汽压低于丙烷在50℃时的饱和蒸汽压时，取50℃时丙烷的饱和蒸汽压为最高工作压力；如高于50℃丙烷的饱和蒸汽压，取50℃时丙烯的饱和蒸汽压力为最高工作压力。

设计压力，系指在相应设计温度下用以确定容器壳壁计算壁厚及其元件尺寸的压力。一般设计压力取等于或略高于最高工作压力。在各种工作条件下，不同的设计规范中设计压力的选取原则，可能会略有出入，《设计规定》和《监察规程》中的有关规定，将在本教材第二篇第五章中加以介绍，此处不再赘述。

在石油化工领域中还引用了公称压力这一概念，所谓公称压力是一种经标准化后压力的数值。即把压力范围按等级区分成一定数目的系列。该系列中的各压力值称为公称压力，它是制定石油化工设备通用零部件标准重要参数之一。常用的公称压力有1、2.5、6、10、16、25、40、64、100、160、250、320公斤力/厘米²等。在选用通用零部件标准压力级时应采用与设计压力相接近而又稍大些的那一级公称压力。

二、温度

压力容器的设计温度和其内部介质可能达到的温度不是一回事，它系指容器在工作过程中在相应的设计压力下壳壁或元件金属可能达到的最高或最低（指-20℃以下）温度。当容器的各个部分在工作过程中可能产生的不同温度时，可取预计的不同温度作为各相应部分的设计温度。

由于材料的选用和设计温度有关，并要根据设计温度以确定所选金属材料在该温度时的机械性能、物理性能，因此按设计温度的高低，压力容器又可分为低温容器、常温容器和高温容器。《监察规程》中规定，当设计温度低于-20℃时为低温容器；设计温度高于450℃时为高温容器。《设计规定》中关于低温容器的划分和《监察规程》相同，但对高温容器的温度界限则无明确规定，一般来说它和所用钢材产生蠕变变形的温度范围有关，当碳素钢的操作温度超过300℃~350℃，合金钢超过350℃~400℃时，在一定应力长期作用下均有可能发生蠕变。

对于不同条件下设计温度的选取原则，将在本教材第二篇第五章中介绍。

三、直径

一般所说的容器直径系指其内径，单位多用毫米表示。

出于标准化的需要，把容器的直径按尺寸大小排列成一定数目的系列，该系列中的各尺寸称为公称直径。容器的公称直径是一种经标准化后的尺寸，在设计和计算容器直径时，应

取与之相近的公称直径作为容器的直径，以利封头、法兰等零部件的标准化生产。压力容器公称直径系列尺寸如表1—2所示；其中带括号的公称直径尽量避免采用。

表 1-2

压 力 容 器 公 称 直 径 (毫米)									
300	(350)	400	(450)	500	(550)	600	(650)	700	800
900	1000	(1100)	1200	(1300)	1400	(1500)	1600	(1700)	1800
(1900)	2000	(2100)	2200	(2300)	2400	2600	2800	3000	3200
3400	3600	3800	4000						

上表适用于容器壳体用钢板卷制的情况，表中所列公称直径均指容器内径。

当采用钢管制造容器壳体，容器公称直径应按如下尺寸系列选取：159、219、273、25、377、426、529、630、720毫米。此时容器公称直径均指钢管的外径。

公称直径的标记为符号Dg，如Dg800系表示容器的公称直径为800毫米。

第四节 压力容器发展概况

压力容器是石油化工等工业领域的重要生产装置，因此，它的发展是和石油化工等工业的发展密切相关，互相促进的。

以化肥中的合成氨为例。

早在十九世纪，人类便认识到氨是化肥、炸药及其它工业的重要原料，空气和水中存在着大量的制氨原料：氮和氢。可是如何使氮、氢分子直接合成为氨呢？1888年法国化学家第一次提出利用压力这个因素来促进氮氢的合成反应及提高氨的产量的著明原理与设想，并提出从元素直接合成氨的可能性和压力数值。但由于当时压力容器设计、制造水平的限制，这一设想长期未能付诸实践。直到1910年德国在进行了大量有关压力容器试验研究的基础上才建立起一个中间工厂，在200公斤力/厘米²操作压力下第一次得到了氨的工业产品。设计试制这台操作压力200公斤力/厘米²的容器，在当时是很了不起的大事，因为那时蒸汽锅炉的最高压力很少有超过20公斤力/厘米²的。

近几十年来，随着工业生产需要和科学技术水平的提高，压力容器技术获得了迅速的发展，它主要表现在容器规格、设计、结构、材料、制造与检验、科学研究等各个方面，以下分别予以简要介绍。

单机生产规模的大型化，是目前世界上石油化工发展的一大特点。大型化在经济上有很大的优点，首先它可以大大降低工厂的基建投资，从表1—3中可以看出，日产1000吨和日产200吨的合成氨厂相比，前者产量为后者的5倍，而建厂总投资却仅为后者的3.12倍。此外，大型厂主要消耗指标大大低于中小型厂，自动化水平高，需要劳动力少，这就最终使产品成本大幅度下降，不同规模合成氨厂主要技术经济指标的比较如表1—4所示。单机生产规模的大型化，就意味着压力容器规格即容器的直径、壁厚和重量越来越大，表1—5给出了氨合成塔的规格发展概况。

随着压力容器的大型化和使用条件日益苛刻，高参数设计是目前容器发展的又一特征。例如：美国的一台球形压力壳，直径为3050毫米，压力为700公斤力/厘米²；合成氨新工艺

(等压流程)中的压力容器,使用温度为 -196°C ,压力150公斤力/厘米²;紫铜浸渍罐的设计压力为320公斤力/厘米²,设计温度 1100°C 。另外,还有不少容器不仅要承受高温,还要承受热疲劳和机械疲劳的联合作用,大大增加了容器的设计难度。因此,近年来世界各国从确保产品的安全可靠出发,改变了传统的设计思想和方法,开展了压力容器精心设计的大量研究工作,其中包括:容器压力、应变的详细分析与评定;容器的疲劳和高温设计;容器的概率设计及断裂力学在压力容器上的应用等。

表 1-3

不同规模的合成氨厂建厂投资的比较					
规模(短吨/日)	200	400	600	800	1000
主要设备费(百万美元)	3.6	5.8	7.7	9.5	11.2
附属设备费(百万美元)	0.9	1.5	1.9	2.4	11.2
建厂总投资(百万美元)	4.5	7.3	9.6	11.9	14.0
建厂费比值	1.0	1.62	2.13	2.65	3.12

表 1-4

	日本三井30万吨机组	我国6万吨机组
电耗(度/吨 NH_3)	21	1265
原料消耗(米 ³ /吨 NH_3)	1130	2030
蒸汽量(吨/吨 NH_3)	输出1.64	外供1.9
产品成本(元/吨 NH_3)	66(估算)	200

表 1-5

年 代	设计压力 公斤力/厘米 ²	结构型式	内 径 毫米	壁 厚 毫米	长 度 毫米	重 量 吨
1929	300	整 锻	700	170	7000	29
1936	300	整 锻	740	170	7000	32
1956	300	整 锻	940	140	12000	78
1964	360	锻 焊	1605	200	14200	182
1965	360	三层包扎	1700	185	15400	153
1968	263	多层包扎	2870	204	20300	400

压力容器结构的发展,是和容器规格、材料供应、制造技术水平密切相关的。现以壳体结构为例。最早的压力容器壳体是采用整锻结构,由于锻造设备生产能力的限制,容器规格较小。后来随着焊接技术的发展和冶金水平的提高,出现了锻焊及单层卷焊等壳体结构,并发展了多层包扎和槽型绕带等组合式壳体结构,六十年代以前,压力容器壳体结构以上述几种型式为主。自六十年代以来,由于石油化工等工业的急速发展和军工的需要,从而刺激了新型壳体结构的研制,研制的重点是组合式结构,以适应容器大型化的发展。这方面的主要成果有:研制成功大型多层热套容器,并已成批投产;研制成功卷板式容器并对多层包扎式结构加以改进;研制成功冷套胀合式容器;在超高压容器领域发展了自增强技术和研制出等静

压装置。此外，在密封结构和组合式法兰等方面也取得了很大进展。

随着压力容器的大型化和操作条件日益苛刻，在压力容器用钢方面相应地出现了一些新的特点：首先低合金高强度钢逐渐替代了碳素钢，在压力容器上获得了广泛的应用。和碳素钢相比，低合金高强度钢具有较高的强度，较好的塑性、韧性和可焊性，它的广泛应用减轻了设备自重，节约了大量钢材，有利于解决大型容器运输、吊装上的困难。其次，厚钢板及超厚板的生长增长很快，据报道目前锻造环的最大外径10米，厚板的最大压延尺寸5.3米×最大板厚350毫米，由于采用了调质等先进热处理技术，改善了厚板的性能。第三，各种专用钢材（如高温高压抗氢钢、低温钢、原子能压力容器用钢等）的冶炼、轧制和焊接工艺有了进一步改善，性能稳定的成熟钢种日渐增多。

近年来，压力容器的制造、检验技术也取得了巨大的进步。制造技术的进展是在尽量减少焊缝，简化制造工艺的同时，采用高效优质的焊接方法，全面提高质量和经济效果。如大型厚壁半球封头，以往都是分片成形再组焊而成，目前由于整体热态成形方法及大直径圆板压延技术的发展，已成功地制造出直径4.1米壁厚165毫米的整体封头。现在各类埋弧自动焊、气体保护焊、窄间隙焊、等离子弧焊等高效优质的焊接方法，已在压力容器制造中推广应用。大型容器的现场组焊技术也获得了迅速发展。压力容器无损检测技术的进展，一方面是提高原有方法的灵敏度和自动化程度，如射线检查使用了线性加速器，使探伤能力从几十毫米提高到可检查450毫米厚钢板的内部质量，超声波探伤的可靠性大为提高，已进入定性定量检验的阶段，自动探伤和记录的超声波探伤仪也已投入实用。另一方面加强了对压力容器运行中的检查、监视，发展了声发射等新技术。

总之，近年来压力容器各个技术领域的发展是非常迅速的。今后随着能源问题的日益突出和其它新技术的开发，压力容器必将取得更大的发展，表1—6给出了目前世界上石油化工

表 1-6

设 备 名 称		现 在			即 将		
		生产能力	尺 寸 直径(米)×长度(米) ×厚度(毫米)	重量 吨	生产能力	尺 寸 直径(米)×长度(米) ×厚度(毫米)	重量 吨
石油精炼设备	常压蒸馏塔	15万桶/日	6.7×49×15~17	180	20万桶/日	8×50×18~21	270
	减压蒸馏塔		8.5×38.5×21~25	210		10×40×25~30	320
	CO ₂ 吸收塔		1.8×34.6×15~36	150		2.2×40×18~43	300
脱硫设备	加氢脱硫反应器 分离器		4.2×22.9×273	850			
			3.6×73×167	130			
乙烯设备	丙烯分馏塔	35万吨/年	4.5×80×33	300	70万吨/年	5.9×79×75	660
	乙烯分馏塔		4.1×70×31	315		4.5×67×30~32	330
	汽 油		7.4×27.3×16	172		8.8×30×20	260
合成氨设备	合 成 塔	1000吨/日	2.1×19.6×141	240	1500吨/日	2.5×22×198	400
	高压分离器		1.5×4.5×96	35		1.8×5×115	50
	CO ₂ 吸收塔		3.5×50×60~90	390		4.2×50×76~83	440
尿素设备	合 成 塔	1000吨/日	2.2×33.2×120	313	1700吨/日	2.3×37.2×180	400
	高压分离器		1.8×3.6×109	30		2.2×4×220	45
甲醇设备	反 应 器 蒸 馏 塔	2500吨/日	5.5×10.9×184	450	4000~5000 吨/日	6.5×14.1×220	750
			4.5×50×20~30	230		7×50×20~30	300