

高职高专系列教材

# 化工机械基础

杨林 孙铁 李卫清 编

中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

高职高专系列教材

# 化工机械基础

杨林 孙铁 李卫清 编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

## 图书在版编目(CIP)数据

化工机械基础 / 杨林, 孙铁, 李卫清编.  
—北京: 中国石化出版社, 2011. 11  
ISBN 978-7-5114-1244-7

I. ①化… II. ①杨… ②孙… ③李… III. ①化工机械—高等职业教育—教材 IV. ①TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 213388 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

### 中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: [press@sinopec.com.cn](mailto:press@sinopec.com.cn)

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

787 × 1092 毫米 16 开本 16.5 印张 395 千字

2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

定价: 35.00 元

# 前 言

职业技术教育作为高等教育体系的重要组成部分，近几年发展迅速。培养既懂理论又具有实践能力的学生一直是职业技术教育的目标。我们在编写这本教材的过程中，就是本着这种指导思想，以“加强基础，拓宽专业知识，联系实际，提高能力”为原则，摒弃了理论性过强、习题过难或过易等缺陷，在理论上力求以应用为目的，需要和够用为尺度，达到可操作程度；在语言叙述上力求做到精炼，通俗易懂。

本教材主要阐述了压力容器常用材料，最新标准规范及应用，压力容器基本理论及工程应用，典型化工设备及其主要零部件的结构、特点、选型、使用等实用性内容，适合职业技术教育过程装备和控制专业师生使用，也可供石油化工行业中职、职工大学和工程技术人员使用和参考。

参加本教材编写的有辽宁石油化工大学的杨林(第2、3、5、6章)，孙铁(绪论、第9章)，韩杰(第1、4章)，王强(第7、8章)，北京石油化工学院的李卫清负责全书审校工作。

由于时间仓促，编者水平有限，不足和错误之处在所难免，欢迎读者提出宝贵意见和建议。

编 者

# 目 录

绪论 .....	( 1 )
0.1 压力容器的组成 .....	( 1 )
0.2 压力容器的分类 .....	( 2 )
0.3 压力容器设计的基本要求 .....	( 4 )
0.4 压力容器常用规范 .....	( 5 )
0.4.1 美国 ASME 规范 .....	( 5 )
0.4.2 国内主要规范标准简介 .....	( 6 )
思考题 .....	( 7 )
第 1 章 化工设备常用材料 .....	( 8 )
1.1 金属材料的基本性能 .....	( 8 )
1.2 压力容器用钢的基本要求 .....	( 9 )
1.3 压力容器的常用钢材 .....	( 10 )
1.3.1 碳素结构钢 .....	( 10 )
1.3.2 压力容器用碳素钢和低合金结构钢 .....	( 11 )
1.3.3 低温压力容器用低合金钢钢板 .....	( 12 )
1.3.4 不锈钢 .....	( 13 )
1.3.5 管材用钢 .....	( 14 )
1.4 有色金属及合金 .....	( 14 )
1.4.1 铝及铝合金 .....	( 15 )
1.4.2 铜及铜合金 .....	( 15 )
1.4.3 钛及其合金 .....	( 15 )
1.4.4 铅及其合金 .....	( 15 )
1.5 常用非金属材料 .....	( 16 )
1.5.1 无机非金属材料 .....	( 16 )
1.5.2 有机非金属材料 .....	( 17 )
1.5.3 非金属复合材料 .....	( 18 )
思考题 .....	( 19 )
第 2 章 压力容器设计基础 .....	( 20 )
2.1 概述 .....	( 20 )
2.1.1 压力容器设计要求 .....	( 20 )

2.1.2	压力容器设计方法	(20)
2.1.3	压力容器设计条件	(21)
2.1.4	设计的基本步骤	(21)
2.1.5	设计文件	(21)
2.2	压力容器设计准则	(21)
2.2.1	压力容器失效	(22)
2.2.2	压力容器设计准则	(23)
2.3	回转薄壳和无力矩理论	(25)
2.3.1	回转薄壳的几何概念	(25)
2.3.2	回转薄壳的无力矩理论	(26)
2.4	无力矩理论的应用	(27)
2.4.1	承受气压作用的圆筒形壳体	(27)
2.4.2	承受气压作用的球壳	(28)
2.4.3	锥形壳	(28)
2.4.4	承受气压作用的椭圆形壳体	(29)
2.4.5	承受液体内压作用的回转薄壳	(30)
2.5	边缘应力	(31)
2.5.1	边缘应力的产生	(31)
2.5.2	边缘应力的性质	(32)
	思考题	(33)
<b>第3章</b>	<b>内压薄壁容器</b>	<b>(34)</b>
3.1	设计参数的确定	(34)
3.1.1	压力	(34)
3.1.2	设计温度	(35)
3.1.3	许用应力	(35)
3.1.4	钢板厚度附加量	(35)
3.1.5	公称直径和公称压力	(36)
3.1.6	焊接接头系数	(37)
3.2	内压薄壁容器筒体与封头厚度的设计	(37)
3.2.1	内压薄壁圆筒的厚度设计	(37)
3.2.2	内压球壳的厚度设计	(39)
3.2.3	内压封头的厚度设计	(40)
3.3	压力试验	(53)
3.3.1	压力试验目的	(53)
3.3.2	耐压试验	(53)
3.3.3	气密性试验	(56)
	思考题	(57)

<b>第4章 外压力容器</b>	( 59 )
4.1 外压力容器稳定性	( 59 )
4.1.1 外容器的失效形式	( 59 )
4.1.2 临界压力	( 59 )
4.2 外容器的稳定性计算	( 60 )
4.2.1 长圆筒、短圆筒、刚性圆筒和临界长度	( 60 )
4.2.2 设计参数的确定	( 61 )
4.3 外压圆筒的设计	( 62 )
4.3.1 图算法的原理	( 62 )
4.3.2 外压圆筒的图算法	( 65 )
4.3.3 外压球壳的图算法	( 69 )
4.4 外压封头的设计	( 70 )
4.4.1 外压凸形封头	( 70 )
4.4.2 外压锥形封头	( 71 )
4.5 加强圈的设计计算	( 72 )
4.5.1 加强圈的结构和设置	( 72 )
4.5.2 加强圈的图算法	( 75 )
4.6 圆筒的轴向稳定性校核	( 78 )
思考题	( 78 )
<b>第5章 化工设备主要零部件</b>	( 80 )
5.1 法兰连接	( 80 )
5.1.1 法兰的类型	( 80 )
5.1.2 法兰的密封	( 81 )
5.1.3 法兰标准	( 85 )
5.1.4 压力容器法兰	( 85 )
5.1.5 管法兰连接	( 96 )
5.2 容器的开孔与补强	( 99 )
5.2.1 开孔附近的应力集中	( 100 )
5.2.2 压力容器的开孔限制	( 101 )
5.2.3 补强结构	( 101 )
5.2.4 等面积补强计算	( 103 )
5.2.5 补强圈的结构尺寸	( 104 )
5.2.6 检查孔	( 107 )
5.2.7 视镜	( 109 )
5.2.8 接管	( 112 )
5.3 容器支座	( 114 )
5.3.1 卧式设备支座	( 115 )
5.3.2 立式设备支座	( 120 )
5.3.3 球罐支座	( 129 )

5.4	安全泄放装置 .....	(130)
5.4.1	安全阀 .....	(131)
5.4.2	爆破片 .....	(132)
	思考题 .....	(133)
<b>第6章</b>	<b>高压容器 .....</b>	<b>(136)</b>
6.1	厚壁圆筒应力分析 .....	(136)
6.1.1	弹性应力分析 .....	(136)
6.1.2	温度变化引起的温差应力 .....	(139)
6.2	高压容器的结构 .....	(141)
6.2.1	高压容器的结构特点 .....	(141)
6.2.2	高压容器的结构 .....	(142)
6.3	高压筒体的失效及强度计算 .....	(145)
6.3.1	高压容器的失效及强度设计准则 .....	(145)
6.3.2	高压圆筒的强度计算 .....	(147)
6.4	高压筒体的自增强 .....	(148)
6.4.1	厚壁圆筒自增强方法 .....	(149)
6.4.2	自增强圆筒的特点 .....	(150)
6.5	高压容器的密封结构 .....	(150)
6.6	高压容器的开孔 .....	(154)
6.6.1	高压容器补强结构 .....	(154)
6.6.2	高压容器结构补强的强度设计准则 .....	(154)
6.7	高压容器的主要零部件设计 .....	(155)
6.7.1	高压容器连接螺栓的设计 .....	(155)
6.7.2	高压容器的封头设计 .....	(156)
6.7.3	高压容器筒体端部的的设计 .....	(157)
	思考题 .....	(160)
<b>第7章</b>	<b>换热器 .....</b>	<b>(161)</b>
7.1	换热器的类型及特点 .....	(161)
7.1.1	按作用原理或传热方式分类 .....	(161)
7.1.2	间壁式换热器分类 .....	(162)
7.2	管壳式换热器的基本类型 .....	(167)
7.2.1	固定管板式换热器 .....	(168)
7.2.2	浮头式换热器 .....	(168)
7.2.3	U形管换热器 .....	(169)
7.2.4	填料函式换热器 .....	(170)
7.2.5	釜式换热器 .....	(170)
7.3	管壳式换热器的主要结构 .....	(171)
7.3.1	壳体 .....	(171)
7.3.2	换热管 .....	(171)
7.3.3	管板 .....	(173)



7.3.4	折流板与挡板 .....	(176)
7.3.5	管箱 .....	(179)
7.3.6	膨胀节 .....	(180)
7.4	列管式换热器设计或选用中应注意的问题 .....	(180)
7.4.1	流体流经管程或壳程的选择原则 .....	(180)
7.4.2	流体流速的选择 .....	(181)
7.4.3	流体进出口温度的确定 .....	(181)
7.4.4	提高管内膜系数的方法——多管程 .....	(182)
7.4.5	提高管外膜系数的方法——装置挡板 .....	(182)
7.4.6	管子的规格 .....	(182)
	思考题 .....	(182)
<b>第8章</b>	<b>塔设备 .....</b>	<b>(184)</b>
8.1	概述 .....	(184)
8.2	板式塔 .....	(186)
8.2.1	板式塔分类 .....	(186)
8.2.2	板式塔种类 .....	(186)
8.2.3	板式塔的结构 .....	(190)
8.3	填料塔 .....	(202)
8.3.1	填料 .....	(202)
8.3.2	液体喷淋装置 .....	(207)
8.3.3	液体收集再分布器 .....	(210)
8.3.4	填料支承结构 .....	(210)
8.3.5	填料床层限位圈和填料压板 .....	(211)
	思考题 .....	(211)
<b>第9章</b>	<b>反应设备 .....</b>	<b>(213)</b>
9.1	概述 .....	(213)
9.1.1	反应设备的应用 .....	(213)
9.1.2	反应设备的种类和特点 .....	(213)
9.2	搅拌反应器 .....	(215)
9.2.1	总体结构 .....	(215)
9.2.2	搅拌釜体和传热装置 .....	(216)
9.2.3	搅拌装置 .....	(221)
9.2.4	传动装置 .....	(225)
	思考题 .....	(232)
附录一	压力容器常用钢板许用应力 .....	(234)
附录二	压力容器常用钢管许用应力 .....	(237)
附录三	常用锻件许用应力 .....	(239)
附录四	椭圆形封头尺寸和质量 (JB/T 4746—2002) .....	(241)
附录五	热轧型钢 .....	(243)
	参考文献 .....	(251)

# 绪 论

在化学工业生产过程中，从原料到产品，要经过一系列物理和化学处理过程，这一系列的处理过程称为化工生产过程。进行物理和化学过程的设备称为化工设备，如通常用来储存物料的存储设备；用于化工生产中换热过程的换热设备，用于传质过程的塔设备及用于生物化学反应的反应设备等。这些设备虽然作用不同，大小形状各异，内部构件的形式也千差万别，但它们都有一个外壳，称之为容器。容器是化工生产所用各种设备外部壳体的总称。所以容器也是化工设备的基本组成部分。容器和设备都是化工生产中的重要技术装备，它不仅在于石油、化工行业，而且在轻工、制药、食品、环境、生物工程、冶金、核能以及农副产品的加工等领域中也有广泛应用。

承受一定介质压力且与外界隔离的密闭容器叫压力容器。这类容器应用广泛，形式繁多。按照国家《固定式压力容器安全技术监察规程》的有关规定，若密闭容器具备以下条件即可视为压力容器：

- ① 最高工作压力大于或等于 0.1MPa(不含液柱压力)；
- ② 内直径(非圆形截面指断面最大尺寸)大于或等于 0.15m，且容积大于或等于 0.025m<sup>3</sup>；
- ③ 介质为气体、液化气或最高工作温度等于标准沸点的液体。

## 0.1 压力容器的组成

压力容器主要有圆筒形，球形和矩形三种。其中，矩形容器由平板焊接而成，承压能力差，多用于常压储槽；球形容器由于制造的原因，通常也用作有一定承压能力的大中型储罐；而圆筒形容器，由于具有制造容易，安装内件方便，承压能力较强等优点，在工业生产中应用最广。

压力容器的结构如图 0-1 所示，一般是由筒体(壳体)、封头(端盖)、法兰、支座、接管及人孔(手孔)、安全附件等组成，统称为压力容器通用零部件。

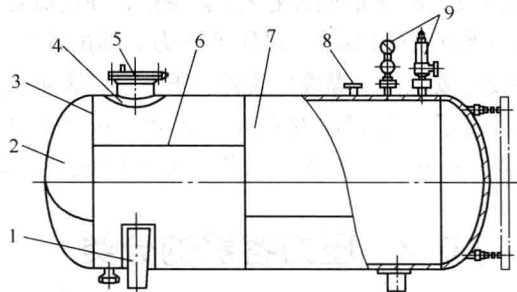


图 0-1 压力容器的结构示意图

- 1—鞍式支座；2—封头；3—封头与筒体间焊缝；4—补强圈；5—人孔；  
6—筒体纵焊缝；7—筒体；8—接管法兰；9—压力表、安全阀

### (1) 筒体

筒体的作用是提供工艺过程所需的承压空间，是压力容器最主要的受压元件之一，其内径和容积往往需要工艺计算确定。圆筒形筒体和球形筒体是工程中最常用的筒体结构。按其结构形式来分，筒体可分为单层式筒体和组合式筒体。单层筒体可用钢板卷焊成筒节，再根据设计的筒体长度将若干个筒节组焊而成；组合式筒体在筒壁的厚度方向由两层或两层以上互不连续的材料构成。按其结构和制造方式又可分为多层式和缠绕式两大类。

### (2) 封头

封头与筒体一起组成一个封闭的承压空间。封头与筒体的连接方式有焊接和可拆式连接两种。对于因检修或更换内件需经常开启的容器，通常采用可拆式连接，对这种连接方式应注意其密封性能。

根据几何形状的不同，封头可分为球形、椭圆形、碟形、锥壳和平盖等几种，其中椭圆形封头是最常用的一种封头形式。

### (3) 密封装置

压力容器上需要很多密封装置，如采用可拆式连接的封头与筒体之间、接管与外管道之间，人孔、手孔盖的连接等。常用的密封装置是螺栓法兰连接，即在一对法兰间放置密封元件，通过拧紧螺栓使密封元件压紧而保证密封。

### (4) 开孔和接管

由于工艺过程的要求和检修需要，在压力容器的筒体和封头上开设有不同尺寸的安装孔和工艺接管，如图 0-1 所示的人孔、物料进出口结构以及安装压力表、液面计、安全阀和各类检测仪表的接管等。

在压力容器壳体上开孔后，器壁会因去除一部分承载的材料而强度被削弱，并使容器结构出现局部的不连续。因而，开在筒体和封头上的孔，当尺寸超出某一规定值时，还需要进行补强设计，并通过补强结构确保压力容器所需的强度。

### (5) 支座

支座是支承并固定压力容器的一个基础部件，通常由板材或型材组焊而成。根据压力容器结构和形式的不同，支座也有不同的形式。常见的圆筒形容器支座有立式容器支座和卧式容器支座；球形容器多采用柱式和裙式支座。

### (6) 安全附件

由于压力容器的使用特点及其内部介质的化学工艺特性，往往需要在容器上设置一些安全装置和测量、控制仪表来监控工作介质的参数，以保证压力容器的使用安全和工艺过程的正常进行。压力容器的安全附件主要有安全阀、爆破片装置、压力表、液面计、测温仪表等。

如上所述的几大部件组成了压力容器的壳体，对储存设备来说，壳体即是设备，对传热、传质设备来说，还需装入一些工艺要求的内件，才能构成一个完整的设备。

## 0.2 压力容器的分类

压力容器的使用范围广、数量多、工作条件复杂，发生事故的危害性程度各不相同。因此压力容器的分类有很多种，一般是按照压力、壁厚、形状或者在生产中的作用等进行分类。本节主要介绍以下几种：

(1) 按照在生产工艺中的作用

反应容器(R): 主要用来完成介质的物理、化学反应, 例如制药厂的搅拌反应器, 化肥厂中氨合成塔等。

换热容器(E): 用于完成介质的热量交换的压力容器, 例如冷却器、蒸发器和加热器等。

分离压力容器(S): 完成介质流体压力平衡缓冲和气体净化分离的压力容器, 例如分离器、干燥塔、过滤器等。

储存压力容器(C, 球罐代号为B): 用于储存和盛装气体、液体或者液化气等介质, 如液氨储罐、液化石油气储罐等。

(2) 按照压力分

外压力容器: 容器内的压力小于外界压力的容器。当容器的内压力小于一个绝对大气压时, 称之为真空容器。

内压力容器: 容器内的压力大于外界压力的容器。

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

中压容器(M):  $1.6 \text{ MPa} \leq p < 10.0 \text{ MPa}$ ;

高压容器(H):  $10.0 \text{ MPa} \leq p < 100.0 \text{ MPa}$ ;

超高压容器(U):  $p \geq 100.0 \text{ MPa}$ 。

(3) 按安全技术管理分类

从安全技术管理方面考虑, 影响压力容器安全性的主要原因有两方面, 一方面是压力容器充装介质的危险程度; 另一方面与压力容器的设计压力  $p$  和全容积  $V$  的乘积有关,  $pV$  值越大, 容器破裂时爆炸能量越大, 对容器的设计、制造、检验、使用和管理的要求越高。因此, 《固定式压力容器安全技术监察规程》将压力容器分为三类。

第三类容器: 有下列情况之一的, 为第三类压力容器:

- ① 高压容器;
- ② 介质毒性程度为极度和高度危害的中压容器;
- ③ 介质为易燃或毒性程度中度危害, 且  $pV$  乘积大于等于  $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$  的中压储存容器;
- ④ 介质为易燃或毒性程度中度危害, 且  $pV$  乘积大于等于  $0.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$  的中压反应容器;
- ⑤ 介质毒性程度为极度和高度危害介质, 且  $pV$  乘积大于等于  $0.2 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$  的低压容器;
- ⑥ 高压、中压管壳式余热锅炉;
- ⑦ 中压搪玻璃压力容器;
- ⑧ 相应标准中抗拉强度规定值下限大于等于  $540 \text{ MPa}$  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)、罐式汽车和罐式集装箱(介质为液化气体, 低温液体)等;
- ⑩ 容积大于  $50 \text{ m}^3$  的球形储罐及容积大于  $5 \text{ m}^3$  的低温液体储存容器。

第二类容器, 有下列情况之一的, 为第二类容器:

- ① 中压容器;
- ② 介质毒性程度为极度和高度危害的低压容器;
- ③ 介质易燃或毒性程度为中度危害的低压反应容器和低压储存容器;

- ④ 低压管壳式余热锅炉；
- ⑤ 低压搪玻璃压力容器。

第一类容器，除上述规定以外的低压容器为第一类压力容器。

### 0.3 压力容器设计的基本要求

压力容器设计应首先满足设备的工艺性能，能在指定的操作条件下，如压力、温度等完成指定的生产任务，并保证产品的质量。在工艺尺寸确定后，进行结构和零部件设计，需要满足以下的要求。

#### (1) 强度

材料强度是指载荷作用下材料抵抗永久变形和断裂破坏的能力。为了保证生产安全和正常工作，设备必须满足所有零部件的强度需要。例如设备在使用寿命期限内，在正常的工艺条件下操作，不能出现过度变形和断裂。在相同的设计条件下，提高材料的强度，可以增大许用应力，减薄设备的壁厚，减轻重量，简化制造、安装和运输，从而降低成本，提高综合经济性。但在设计中，为了保证强度而盲目的加大结构尺寸是不合理的，因为会造成材料的极大浪费，增加运输及安装费用。壳体与各零部件的强度并不相同，而整体强度往往取决于强度最弱的零部件，因此，壳体与部件的等强度设计是合理发挥材料潜力的好方法（如精馏塔的变径设计）。在容器上设计强度脆弱部件，当设备承受的载荷超载时，使其首先破坏以保护设备主体不受损害是生产过程中的安全措施。

#### (2) 刚度

刚度即设备在外载荷作用下保持原有形状的能力。对于薄壁容器来说，规定它的最小壁厚值是为了保证在运输及安装施工时不致发生过大的扭曲变形；规定塔盘的厚度不小于3mm，是防止塔盘的挠度过大以致产生液层厚度较大偏差，也是为了通过液层的气液不致分布不均匀，影响塔盘分离效率。设备或管道连接的法兰发生翘曲变形，主要是由于螺栓和法兰的刚度不相匹配而引起的。

#### (3) 稳定性

稳定性指的是设备在载荷作用下维持其原有平衡的能力。当化工容器承受外压力作用时，如真空装置，必须满足稳定要求，不致在操作过程中被压瘪，失去工作能力。

#### (4) 耐久性

耐久性是根据要求的使用年限来确定。一般要求使用年限为15~20年。与其他机器类产品相比，机器的寿命取决于主要机件的磨损，而容器及设备则取决于操作介质与周围环境对其腐蚀情况，在某些情况下，如果受交变载荷或高温作用时，应考虑设备的疲劳破坏及蠕变。根据所要求的使用年限和腐蚀情况，正确选用结构材料是保证设备耐久性的重要措施。

#### (5) 密封性

容器及设备的密封性能是指其防止介质或空气泄漏的能力，密封性是容器及设备安全、可靠操作的重要保证。在石油、化工产品的生产过程中，所处理的物料具有易燃、易爆、有毒的特征。若密封性能得不到保证，使物料泄漏出来，不仅在生产中造成损失，而且会造成燃烧、爆炸、操作人员中毒等恶性事故。

### (6) 制造工艺

应在结构上保证最小的材料消耗,尤其是贵重材料的消耗。在结构设计时应使其便于加工、保证制造质量。应尽量避免复杂的加工工序,尽可能的减少加工量。设计时应采用标准设计和标准零件、部件。零部件的标准化是适应容器及设备生产特点、提高零部件互换能力、降低设备成本的一个重要途径。

### (7) 运输、安装与维修

设备及容器的自动化控制虽能简化操作过程,但将增加投资,需要细致的核算经济效益方能进行确定。结构设计的合理还应考虑安装维修方便,例如,人孔的尺寸不能太小。设备尺寸和形状还要考虑整体运输的可能性,应满足铁路、公路、水路上的桥梁和涵洞可能允许的最大尺寸,例如高度、宽度、长度、质量等。

## 0.4 压力容器常用规范

为了保证压力容器在设计寿命内安全可靠地运行,世界各工业国家都制定了一系列压力容器规范标准,给出材料、设计、制造、检验、合格评估等方面的基本要求。

### 0.4.1 美国 ASME 规范

美国机械工程师学会(American Society of Mechanical Engineers, ASME)于1911年成立了锅炉与压力容器委员会(BPVC),编制锅炉压力容器的建造安全规则(所谓建造是一个概括性的术语,它包括设备在制造和安装中要求的材料、设计、制造、安装、检验、试验、检查和鉴定),规定了强制性的最低要求,以及维护和运行的建议。1914年出版了动力锅炉规范,1925年增加了压力容器规范,1965年又增加核动力装置规范。同时,每年都有修改和增补,并纳入第二年的新版。这套ASME规范自1977年成为美国国家标准,不仅在美国和加拿大各州在法律上承认它、采用它,在西方许多国家都作为参照标准来执行。其核动力装置卷册,在世界上有较高的权威,往往直接采用。

目前ASME规范共有十二卷包括锅炉、压力容器、核动力装置、焊接、材料、无损检测等内容。ASME规范每三年出版一个新的版本,每年有两次增补。在形式上,ASME规范分为4个层次:规范、规范案例、条款解释、规范增补。

ASME规范中与压力容器设计有关的内容主要是第Ⅷ篇《压力容器》、第Ⅶ篇《移动式容器建造和连续使用规则》和第Ⅹ篇《玻璃纤维增强塑料压力容器》。第Ⅷ篇分为3册:第1册《压力容器》,第2册《压力容器另一规则》,第3册《高压容器另一规则》,简称ASMEⅧ-1、ASMEⅧ-2和ASMEⅧ-3。

ASMEⅧ-1为常规设计标准,适用压力小于等于20MPa的压力容器。它以弹性失效设计准则为依据,根据经验确定材料的许用应力,并对零部件尺寸作出一些具体规定。由于它具有较强的经验性,故许用应力较低。ASMEⅧ-1不包括疲劳设计,但包括静载下进入高温蠕变范围的容器设计。

ASMEⅧ-2为分析设计标准,它要求对压力容器各区域的应力进行详细的分析,并根据应力对容器失效的危害程度进行应力分类,再按不同的安全准则分别予以限制。跟ASMEⅧ-1相比,ASMEⅧ-2对结构的规定更细,对材料、设计、制造、检验和验收的要求更

高,允许采用较高的许用应力,所设计出的容器壁厚较薄。ASME VIII-2 包括了疲劳设计,但设计温度限制在蠕变温度以下。

ASME VIII-3 主要适用于设计压力不小于 70MPa 的高压容器。它不仅要求对压力容器各区域的应力进行详细的分析和分类评定,而且要做疲劳分析或断裂力学评定,是目前为止要求最高的压力容器规范。

#### 0.4.2 国内主要规范标准简介

我国的第一部压力容器规范是 1959 年颁布的《多层高压容器设计与检验规程》,它是四个工业部的联合标准。1960 年化工部等颁布了适用于中低压容器的《石油化工设备零部件标准》。这两个文件相互配套,暂时满足了生产需要。20 世纪 60 年代初开始,我国工程界着手进行较为完善的设计规范的制订工作,从 1967 年完成了第一版《钢制化工压力容器设计规定》试用本,到 1998 年颁布并实施的 GB 150—1998《钢制压力容器》,我国已先后制定了一系列配套的国家标准、基础标准和零部件标准,如 JB/T 4736《补强圈》、JB/T 4746《钢制压力容器用封头》及 GB 151《管壳式换热器》、GB 12337《钢制球形储罐》、JB 4732《钢制压力容器—分析设计标准》、JB 4710《钢制塔式容器》等。与此同时,对 20 世纪 80 年代颁布的《压力容器安全监察规程》进行了多次修订,1990 年改名为《压力容器安全技术监察规程》。2009 年由国家质量监督检验检疫总局进行修订。至此,标志着我国以强制性标准 GB 150—1998 为核心的压力容器标准规范体系的基本框架已经形成,并日趋完善。

##### (1) GB150《钢制压力容器》

这是中国的第一部压力容器国家标准,其基本思路与 ASME VIII-1 相同,属常规设计标准。该标准适用于设计压力不大于 35MPa 的钢制压力容器的设计、制造、检验及验收。适用的设计温度范围根据钢材允许的使用温度确定,从  $-196^{\circ}\text{C}$  到钢材的蠕变限用温度。GB150 只适用于固定的承受恒定载荷的压力容器。不适用于以下 8 种压力容器:

- ① 直接用火焰加热的容器;
- ② 核能装置中的容器;
- ③ 旋转或往复运动的机械设备中自成整体或作为部件的受压器室;
- ④ 经常搬运的容器;
- ⑤ 设计压力低于 0.1MPa 的容器;
- ⑥ 真空度低于 0.02MPa 的容器;
- ⑦ 内直径小于 150mm 的容器;
- ⑧ 要求作疲劳分析的容器等。

GB150 管辖的范围除壳体本体外,还包括:

- ① 容器与外部管道焊接连接的第一道环向接头坡口端面、螺纹连接的第一个螺纹接头端面、法兰连接的第一个法兰密封面,以及专用连接件或管件连接的第一个密封面。
- ② 其他如接管、人孔、手孔和承压封头、平盖及其紧固件,以及非受压元件与受压元件的焊接接头,直接连在容器上的超压泄放装置均应符合 GB150 的有关规定。

GB150 的内容包括圆柱形筒体和球壳的设计计算、零部件结构和尺寸的具体规定、密封设计、超压泄放装置的设置、容器的制造、检验与验收要求等。由正文、附录和提示性附录三部分组成。正文包括范围、引用标准、总论、材料、内压圆筒和内压球壳、外压圆筒和外

压球壳、封头、开孔与开孔补强、法兰、制造、检验与验收等内容；附录包括材料的补充规定、超压泄放装置、低温压力容器、非圆形截面容器、产品焊接试板的力学性能检验、钢材高温性能、密封结构、材料的指导性规定和焊接结构等。GB 150—1998 在我国具有法律效力、强制性的压力容器国家标准。

### (2) JB 4732《钢制压力容器—分析设计标准》

这是中国的第一部压力容器分析设计的行业标准，其基本思路与 ASME VIII-2 相同。该标准与 GB 150 同时实施，在满足各自要求的前提下，可选择其中之一使用，但不能混用。该标准与 GB 150 相比，允许采用较高的设计应力强度，相同设计条件下，容器的厚度可以减薄、重量可以减轻；但由于设计计算工作量大，选材、制造、检验及验收等要求较严，有时综合经济效益不一定高。

所以，该标准一般用于重量大、结构复杂、操作参数较大的压力容器。需做疲劳分析的压力容器，必须采用分析设计。

### (3) GB 151—1999《管壳式换热器》

此标准依据 GB 151—1999 实施以来所取得的经验和国内管壳式换热器发展的需要，并参照近期国际同类标准进行了变动修订而成。GB 151—1999《管壳式换热器》包括两个部分：正文和附录。正文包括范围、引用标准、总论、材料、设计、制造、检验与验收、安装、试车和维护十大部分组成。附录包括四个标准的附录和六个提示的附录。内容包括低温管壳式换热器、换热管与管板接头的焊接工艺评定、换热管用奥氏体不锈钢焊接钢管、有色金属设计数据、管束振动、壁温计算、管板与圆筒和管箱的连接、垫片、换热管特性、壳体与管束间的入口或出口面积的计算等。

### (4) 安全技术规范

安全技术规范是政府对特种设备安全性能和相应的设计、制造、安装、修理、改造、使用和检验检测等环节所提出的一系列安全基本要求、许可、考核条件、程序等一系列具有行政强制力的规范性文件。其作用是把法规和行政规章的原则规定具体化。与压力容器设计有关的基本安全技术规范为《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》和《超高压容器安全技术监察规程》。

### (5) 其他规范标准

压力容器的设计、制造等过程除了要依据国家标准以外，对于一些特定的容器或元件，还有一些相关行业标准。如 HG/T 20592 ~ 20635—2009《钢制管法兰、垫片和紧固件》、JB4700 ~ 4707—2000《压力容器法兰》、JB/T 4710—2005《钢制塔式容器》、JB/T 4712—2007《容器支座》、GB 16749—1997《压力容器波形膨胀节》等。

## 思 考 题

1. 什么是压力容器？压力容器有何特点？
2. 压力容器是如何分类的？
3. 对化工设备有哪些基本要求？怎样才能使其安全可靠地运行？
4. 压力容器主要有哪几部分组成？各部分的作用是什么？
5. 制定压力容器规范有何意义？
6. GB 150—1998《钢制压力容器》包括哪些内容？其管辖范围是什么？



# 第1章 化工设备常用材料

化工设备用材料种类很多，主要有金属材料、非金属材料和复合材料。最常用的是金属材料。如碳钢、普通低合金钢、不锈钢及各种有色金属等。化工生产条件十分复杂，温度从低温到高温，压力从真空到超高压，介质具有易燃、易爆、有毒及强腐蚀性等，不同的生产条件对材料有不同的要求。因此，为了保证化工设备的安全运行及经济性要求，必须根据设备的具体操作条件及制造等方面的要求，合理地选择材料。

## 1.1 金属材料的基本性能

金属材料的基本性能主要有机械性能、耐腐蚀性能、物理性能和加工工艺性能等。

### (1) 机械性能

机械性能是指金属材料在外力作用下表现出来的特性，主要包括材料强度、塑性及韧性等。

① 强度 强度是指材料抵抗外力作用不致破坏的性能指标，是设计中决定许用应力的依据。常用的强度指标有屈服极限  $\sigma_s$  和强度极限  $\sigma_b$ 。这两个指标是确定材料许用应力的主要依据。设计时，选用强度较高的材料，可减少构件的尺寸及重量。另外，屈服极限  $\sigma_s$  和强度极限  $\sigma_b$  的比值称为屈强比，它反映材料屈服后强化能力的高低，低强钢的屈强比数值较小，屈服后的强度裕量较大；高强钢的屈强比数值较大，屈服后的强度裕量较小。

② 塑性 材料的塑性是指材料在破坏前产生永久变形的能力。常用的塑性指标有延伸率  $\delta$  和断面收缩率  $\psi$ 。凡是采用冷加工成型工艺制造的化工设备，必须要求材料具有良好的塑性。用塑性好的材料制造的设备，在破坏前会发生明显的塑性变形，而塑性差的材料制造的设备，往往没有产生明显的变形就突然遭到破坏。因此，从设备的加工制造和安全运行角度考虑，要求材料的塑性要好。化工设备中的主要用材，一般要求  $\delta_5$  在 15% ~ 20% 以上。

③ 韧性 韧性是材料抵抗冲击力的性能指标，代表了材料在破断前单位体积材料所吸收的能量大小。材料韧性好坏可用冲击韧性  $\alpha_k$  来衡量，韧性好的材料，即使存在缺口或裂纹引起应力集中，也有较好的防止发生脆断和裂纹快速扩展的能力。化工容器用钢要求在常温下  $\alpha_k \geq 40 \sim 60 \text{J/cm}^2$ 。

某些材料在低温下，韧性明显下降，材料由塑性转变为脆性，这种现象称为材料的冷脆。材料韧性值发生突然明显降低的温度，称为材料的无塑性转变温度 (NDT)。由于材料的冷脆性，设备在低温下容易发生脆性断裂，破坏时应力较低，又无可见的变形现象发生，危险性较大。

④ 硬度 硬度是指材料对局部塑性变形的抵抗能力。常用硬度指标有布氏硬度 (HB)、洛氏硬度 (HR) 等。硬度大小反映材料的耐磨性能和切削加工的可能性。一般来说，硬度越高，耐磨性能好，但切削加工性能较差。化工设备中的某些相互连接的配合结构，其零部件的硬度有不同的要求。例如，列管式换热器中的管子与管板的连接，当采用胀接时，要求管