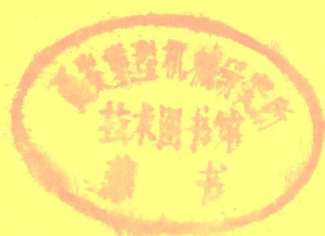


压力容器技术基础



主编 郭朋鸥
审定 李肇璠



压力容器技术基础

西北大学出版社

压力容器技术基础

郭朋鸥 尹振海 王培铄 赵 渊 编

郭朋鸥 主编

杨桐溥 校审

李肇鎏 审定

西北大学出版社

压力容器技术基础

郭朋鸥 主编

西北大学出版社出版

(西安市太白路)

新华书店发行

西北工业大学印刷厂印刷

787×1092 毫米 1/16 13.75 印张 334 千字
印数 1—4500

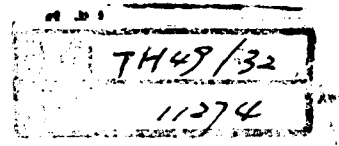
1991 年 4 月第 1 版 1991 年 4 月第 1 次印刷
ISBN 7-5604-0217-8/TQ·3 定价: 5.50

内 容 提 要

本书是一本论述压力容器技术基础知识的书籍。全书共七章，主要包括压力容器的材料及结构；强度理论及压力容器设计计算；压力容器制造、检验、安全运行及管理；压力容器事故及危害等内容。全书融理论性与技术性于一体，并紧密联系新颁国家标准及法规 GB150-89 《钢制压力容器》及《压力容器安全技术监察规程》。

本书可作为大专院校有关专业教学用书或大专水平的压力容器专业人员培训教材，也可作为从事压力容器设计、制造、安装、使用、检验、修理及改造等工作的工程技术人员、管理人员和压力容器监察检验人员的技术参考书。

22468/01



前 言

压力容器是工业生产和人民生活设施中的重要设备，又是一种具有爆炸危险的特殊设备。世界各国对它的设计、制造、安装、使用、检验、修理和改造都制定有严格的安全监察规程。随着工业的发展和科学技术的不断进步，压力容器的应用日益广泛。鉴于当前我国正在贯彻执行压力容器的新标准、新法规，从事压力容器行业工作的广大工程技术人员和管理人员很有必要深入了解和掌握它的基础技术知识及有关新规定，为此我们编写了一本融压力容器基本理论与新标准、新法规、新技术规范为一体的简明扼要的基础知识书籍以飨读者。

参加本书编写的人员分工为：郭朋鸥撰写第一、二、三章；王培铎撰写第四章；赵渊撰写第五章；尹振海、郭朋鸥撰写第六、七章和附录。全书由郭朋鸥主编。

本书承蒙化学工业部第六设计院杨桐溥高级工程师校审、化学工业部“化工设备设计全书”编辑委员会副主任委员李肇鑫高级工程师审定。在审稿过程中，他们都提出了很多宝贵的意见。本书的问世还得到陕西省劳动厅锅炉压力容器安全监察处及有关工厂、企业的大力支持，祁伏京同志为本书绘制了插图。在此，对本书的出版给予热情帮助的同志们一并表示衷心的感谢。

囿于编者的水平所限，错误和不妥之处在所难免，竭诚欢迎同行和读者不吝指正。

编 者

1990年7月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 压力容器概述	(1)
第二节 压力容器的法规、规范、标准	(4)
一、我国压力容器法规、规范、标准简况	(4)
二、国外压力容器法规、规范、标准简况	(6)
第三节 压力容器技术发展概况	(7)
第二章 压力容器结构及用材	(10)
第一节 中、低压容器结构	(10)
一、筒体(壳体)	(11)
二、封头(端盖)	(11)
三、法兰连接结构	(13)
四、容器支座	(16)
五、容器开孔的连接结构	(18)
第二节 高压容器结构	(19)
一、筒体	(20)
二、封头(端盖)	(22)
三、筒体端部法兰	(22)
四、高压密封部件	(23)
第三节 材料的力学性能与工艺性能	(26)
一、材料的力学性能(机械性能)	(26)
二、材料的加工工艺性能	(27)
三、材料的物理性能	(28)
第四节 腐蚀与材料耐腐蚀性能	(28)
一、金属的腐蚀	(28)
二、材料耐腐蚀性能	(31)
第五节 压力容器常用材料	(32)
一、常用钢材	(32)
二、压力容器材料的选用	(37)
第三章 压力容器设计	(38)
第一节 容器的失效与强度理论	(38)
第二节 压力容器的受力分析	(39)
一、薄壁容器的受力分析	(40)
二、厚壁容器的受力分析	(45)
第三节 压力容器的壁厚计算	(50)
一、壁厚的计算	(51)

二、设计参数的确定	(56)
三、容器的最小壁厚	(57)
四、器壁的开孔与补强计算	(58)
五、关于容器壁厚的几个概念	(61)
第四节 压力容器壳体结构与强度	(61)
一、壳体的形状与强度	(61)
二、壳体焊缝结构	(62)
三、壳体的局部结构	(65)
四、壳体开孔补强结构	(66)
五、厚壁容器壳体结构特点	(68)
第四章 压力容器制造	(69)
第一节 概述	(69)
第二节 容器制造的准备	(70)
一、制造前材料的处理	(70)
二、划线	(71)
三、切割	(73)
第三节 容器的成型与组对	(76)
一、封头的成型	(76)
二、钢板的弯卷	(78)
三、容器的组对	(79)
第四节 压力容器的焊接	(81)
一、常用熔化焊的方法	(81)
二、焊接接头的组织与性能	(87)
三、焊接材料及其选择	(89)
第五节 压力容器的焊接缺陷	(91)
一、热裂纹	(91)
二、冷裂纹	(92)
三、再热裂纹	(95)
四、层状撕裂	(95)
第六节 压力容器常用钢材的焊接	(97)
一、钢材的可焊性	(97)
二、低合金钢的焊接	(98)
三、奥氏体不锈钢的焊接特点	(99)
四、异种钢的焊接特点	(100)
第七节 高压热套容器的制造简介	(101)
一、合成塔壳体结构简图	(101)
二、制造工艺流程	(102)
三、热套合的工艺措施	(102)
第五章 压力容器检验	(105)
第一节 概述	(105)
第二节 压力容器的定期检验	(105)

一、定期检验的内容和周期	(106)
二、检验的一般程序	(107)
三、在用压力容器安全状况等级的评定	(107)
第三节 容器的宏观检查与理化检验	(108)
一、宏观检查	(108)
二、理化检验	(110)
第四节 射线探伤	(112)
一、射线的基本性质	(112)
二、射线与物质的相互作用	(112)
三、射线探伤设备	(115)
四、射线探伤基本原理及方法	(117)
五、射线探伤辅助器材	(119)
六、射线透照技术	(122)
第五节 超声波探伤	(125)
一、超声波的基本性质和超声波探伤特点	(125)
二、金属探伤中的超声波波型	(126)
三、超声波在介质中的传播	(127)
四、压电效应和压电材料	(132)
五、超声波探伤设备简介	(133)
六、超声波探伤方法	(136)
七、超声波探伤的一般步骤	(140)
第六节 磁粉探伤	(140)
一、铁磁性材料的磁性和磁化	(140)
二、磁粉探伤原理及其特点	(141)
三、磁化方法	(142)
四、磁粉探伤的灵敏度和磁化电流的选择	(143)
五、磁粉	(145)
第七节 渗透探伤法	(145)
一、着色渗透探伤	(146)
二、荧光渗透探伤	(148)
三、渗透探伤的安全管理	(150)
第八节 耐压试验和致密性试验	(150)
一、水压试验	(151)
二、气压试验	(152)
三、致密性试验	(153)
第六章 压力容器的安全管理	(154)
第一节 压力容器的使用登记	(154)
第二节 压力容器设备技术档案与安全管理制度	(157)
一、压力容器的设备技术档案	(157)
二、压力容器安全管理制度	(158)
第三节 压力容器的操作与维修	(159)
一、压力容器的安全操作	(159)

二、压力容器的维护与检修.....	(161)
第四节 压力容器安全泄压装置.....	(162)
一、安全阀.....	(162)
二、爆破片及爆破帽.....	(168)
第七章 压力容器破坏与事故分析	(171)
第一节 压力容器破坏原因概述.....	(171)
第二节 压力容器的破坏型式.....	(173)
一、韧性破坏.....	(173)
二、脆性破坏.....	(174)
三、疲劳破坏.....	(175)
四、腐蚀破坏.....	(176)
五、蠕变破坏.....	(178)
第三节 压力容器事故的调查分析.....	(177)
一、容器事故的情况调查.....	(177)
二、对容器材料和断口的技术检验.....	(179)
第四节 压力容器事故的综合分析.....	(180)
一、事故性质及过程的判断.....	(180)
二、容器破坏型式的鉴别.....	(181)
第五节 容器爆炸及其破坏能力.....	(181)
一、介质的爆炸能量及其破坏能力的估算.....	(182)
二、有毒液化气体容器破坏时的毒害区.....	(185)
三、可燃液化气体容器破坏时的燃烧区.....	(188)
第六节 事故树形分析简介.....	(188)
参考文献	(191)
附录一 与压力容器有关的常用标准.....	(192)
附录二 国外压力容器用钢与国产钢号对照表.....	(196)
附录三 钢板许用应力.....	(202)
附录四 西安地区部分压力容器制造厂简介.....	(208)

第一章 绪 论

第一节 压力容器概述

容器一般指贮存设备，承受到流体压力作用的密闭容器，一般称为压力容器。石油化工领域中的设备，如反应设备、换热设备和分离设备等，可以认为是由外壳以及装入外壳内能够满足工艺要求的内件构成的，这些外壳也可视为容器。因为从设计、选材、制造、检验及安全管理角度来看，它们具有共同的特点，同属于容器范畴。

《压力容器安全技术监察规程》（以下简称《监察规程》）从安全监察和方便管理的角度，规定了压力容器的条件：

最高工作压力(p_w) ≥ 0.1 MPa， p_w 不包括液体静压力，下同；

内直径（非圆形截面指断面最大尺寸） ≥ 150 mm，且容积(V) ≥ 0.025 m³；

介质为气体、液化气体和最高工作温度高于等于标准沸点（指在一个大气压下的沸点）的液体。

同时满足以上三个条件的压力容器，其设计、制造、安装、使用和检修等单位必须认真遵守《监察规程》的规定。

压力容器和常压容器相比，不仅在安全性方面存在着极大差别，而且在设计原理上也是不相同的。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是按照刚度和制造要求来确定。这是因为常压容器所承受的压力很低，若按强度计算则壁厚很薄，这样容器在制造、运输和吊装过程中往往会因为刚度不足而产生过大的不允许的变形。

压力容器是工业生产中常用的设备，但也是一种比较容易发生事故的特殊设备。由于某些容器内部的流体介质不但具有压力，而且剧毒、易燃，压力容器一旦发生事故，不仅使容器本身遭到破坏，而且往往会诱发一连串的恶性事故，如破坏其它设备和建筑物，危及职工的生命和健康，污染环境等，给国民经济造成重大损失。

压力容器内流体介质的压力可以由容器的外部因素产生，如气体压缩机、泵或蒸汽锅炉，也可由容器的内部因素产生，如工作介质为液化气体的容器，其内部压力就是液化气体的蒸汽压力。在某些化工反应容器中，两种以上的物质发生化学反应也会产生或增大压力。此外，盛装高分子聚合物的容器，聚合物本来为固态或液态，如果在容器内受热“解聚”，变成单分子的气体，则会因体积膨胀而在容器内产生压力。例如，聚甲醛（固体）的比容约为 0.7 L/kg，当它“解聚”变为甲醛（气体）时，其比容为 746 L/kg，体积要增大一千余倍，容器内将会产生很高的压力。压力剧增是引起容器爆炸的直接因素。

《监察规程》根据 GB5044《职业性接触毒物危害程度分级》的规定，将压力容器中的工作介质的毒性程度分为四级，其最高容许浓度分别为：极度危害（Ⅰ级） < 0.1 mg/m³；高度危害（Ⅱ级） $0.1 \sim < 1.0$ mg/m³，其介质如氟、氢氟酸、光气、氟化氢、氯等；中度危害（Ⅲ级） $1.0 \sim < 10$ mg/m³，如二氧化硫、氨、一氧化碳、氯乙烯、甲醇、二硫化碳、乙炔、

硫化氢等；轻度危害（Ⅳ级） $\geq 10\text{mg}/\text{m}^3$ ，如氢氧化钠、四氟乙烯、丙酮等。而易燃介质是与空气混合的爆炸下限小于10%，或爆炸上限与下限之差值大于等于20%的气体，如一甲胺、乙烷、乙烯、氯甲烷、环氧乙烷、氢、丁烷、丁烯、丙烷、丙烯、甲烷……等。

盛装剧毒或有毒液化气介质的容器破裂时，大量液体被蒸发成气体并在空气中扩散，形成大面积的毒害区域。有毒（剧毒）气体的危险浓度列入表1-1。假如这些毒气在空气中的致死浓度（吸入5~10分钟）为0.027~0.5%，则容器释放出 1m^3 浓度为100%的这种毒气即可使200~3700 m^3 的空间变成中毒伤亡区。这说明容器的容积虽小，却可造成很大的危害。

表 1-1 有毒气体的危险浓度

名 称	吸入 5~10 分钟 致死的浓度，%	吸入 0.5~1 小时 致死的浓度，%	吸入 0.5~1 小时 致重病的浓度，%
氨	0.5		
氯	0.09	0.0035~0.005	0.0014~0.0021
二氧化硫	0.05	0.053~0.065	0.015~0.019
硫化氢	0.08~0.1	0.042~0.06	0.036~0.05
二氧化氮	0.05	0.032~0.053	0.011~0.021
氢氰酸	0.027	0.011~0.014	0.01

有许多压力容器，盛装的是可燃液化气体，如液化石油气等。这些容器破裂时，容器内的液化气体大量蒸发外逸，并与周围的空气混合，当遇到适当条件时，常常在容器外发生燃烧爆炸。燃烧所放出的热量把燃烧后生成的气体（水蒸气、二氧化碳）及空气中的氮升温膨胀，从而形成体积巨大的高温燃气团，使周围很大一片地区变成火海，酿成重大火灾事故。

由以上分析可知。压力容器发生恶性事故的潜在危险是与它内部介质压力和介质特性等密切相关的。此外，压力容器的容积与事故的危害程度也直接有关。容器的容积越大，其内部介质积蓄的质量和能量也越大。一旦发生事故，造成的损失和危害也越大。因此《监察规程》把压力、介质、容积作为其管理范围的三个主要因素。

压力容器的用途很广，品种繁多，其分类方法也不少。从压力容器的分类中可以看出其发展方向和管理重点。

1. 按压力的高低进行分类

在《监察规程》中，“压力容器的压力等级和品种划分”按压力容器的设计压力（ p ），将容器分为低压、中压、高压、及超高压四个等级。其具体划分的标准是：

当 $0.1\text{MPa} \leq p < 1.6\text{MPa}$ 时，属于低压容器，代号为L；

当 $1.6\text{MPa} \leq p < 10\text{MPa}$ 时，属于中压容器，代号为M；

当 $10\text{MPa} \leq p < 100\text{MPa}$ 时，属于高压容器，代号为H；

当 $p \geq 100\text{MPa}$ 时，属于超高压容器，代号为U。

2. 按器壁的厚度进行分类

这一分类用径比 $K = D_o/D_i$ 来表示（ D_o ——容器的外径； D_i ——容器的内径），当 $K \leq 1.2$ 时为薄壁容器，而 $K > 1.2$ 则为厚壁容器。由于

$$K = \frac{D_0}{D_i} = \frac{D_i + 2\delta}{D_i} = 1 + \frac{2\delta}{D_i}$$

式中 δ 为容器壁厚。

于是： $K \leq 1.2$ ，相当于 $\delta/D_i \leq 0.1$ ，即为薄壁容器；那么 $\delta/D_i > 0.1$ 则为厚壁容器。

一般低、中压容器多属于薄壁容器，而高压及超高压容器多属于壁厚容器。

3. 按承压方式进行分类

依照承压方式的不同，压力容器可分为内压容器（压力作用在容器内部）及外压容器（压力作用于容器外部）。这两类容器在设计机理和对安全性的要求上都截然不同。鉴于外压容器的数量及破坏机率都远远少于内压容器，本书只讨论内压容器的有关问题。

4. 按制造方法进行分类

按制造方法不同，压力容器一般可分为铸造容器、铆接容器（这两类容器由于制造工艺落后，已逐渐被淘汰）、焊接容器、锻造容器、多层热套容器、多层包扎容器以及多层绕带式容器等，后三类容器多属厚壁高压或超高压容器。

5. 按容器在生产工艺中的作用进行分类

反应容器——主要是用来完成介质的物理、化学反应的容器；

换热容器——主要是用来完成介质的热量交换的容器；

分离容器——主要是用来完成介质净化、分离和流体压力平衡的容器；

贮存容器——主要是用来盛装及运送物料，如气体、液体和液化气体的容器。

6. 按对容器进行管理与监督分类

为了有利于安全技术管理和监督检查，《监察规程》根据容器承受压力的高低、容积的大小、介质的危害程度以及容器在生产过程中的作用（即用途），将压力容器分为三类。类别越高，安全管理越严格。

凡属于下列情况之一者，为第三类容器；

（1）毒性程度为极度和高度危害介质的中压容器和 $p \cdot V \geq 0.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ 的低压容器；

（2）易燃或毒性程度为中度危害介质且 $p \cdot V \geq 0.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ 的中压反应容器和 $p \cdot V \geq 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ 的中压储存容器；

（3）高压、中压管壳式余热锅炉；

（4）高压容器。

凡属于下列情况之一者，为第二类压力容器；

（1）中压容器（第三类容器中的中压容器除外）；

（2）易燃介质或毒性程度为中度危害介质的低压反应容器和储存容器；

（3）毒性程度为极度和高度危害介质的低压容器；

（4）低压管壳式余热锅炉；

（5）搪玻璃压力容器。

第一类压力容器则为除上述第二、三类压力容器以外的低压容器。

以上各不等式中， p 为设计压力， V 为容积。

从以上的分类可以看出，在第一、二、三类容器的划分中，装有毒性介质的容器以及易燃介质的容器，要酌情升类，以便在分类管理中加强其安全管理。

除以上所列的分类方法外，还可以按容器的制造材料、使用温度等来进行分类，这里就

不再赘述了。

第二节 压力容器的法规、规范、标准

为了确保压力容器的安全，各国除设置专门的管理机构外，还制定和颁布有关的法规、规程和标准。

压力容器的法规是主管压力容器的政府部门，从安全技术管理和监督检查方面对压力容器的立法，它具有法律效力。有关压力容器的设计、制造、安装、使用、检验、修理和改造单位都必须遵守。

压力容器的规范、标准，是由国家综合部门或专业部门或行业部门为保证部门之间在生产技术上必要的协调、统一而组织制定的。经主管部门认可后，以国标、部标、行标或厂标颁发。它是在所管辖范围内具有约束力的一种特定形式的技术文件。

一、我国压力容器法规、规范、标准简况

(一) 我国压力容器的法规简况

国务院 1982 年 2 月发布的《锅炉压力容器安全监察暂行条例》（简称《条例》），以及原劳动人事部 1982 年 8 月颁发试行的“《条例》实施细则”，规定了从 1982 年 7 月 1 日起，对所有的承压锅炉和压力为一个表压以上的各种压力容器的设计、制造、安装、使用、检验和改造单位，都必须予以监督检查。

国家劳动部于 1990 年 5 月颁发的《压力容器安全技术监察规程》（简称《规程》）是对原国家劳动总局颁发的《压力容器安全监察规程》的修订。它是压力容器安全技术监督的基本法规。《规程》规定了压力容器的设计、制造、安装、使用、检验、修理和改造等单位必须遵守《条例》的有关规定，并满足该规程的要求。

我国由部门发布的专业设备安全技术监督和管理法规有：

劳动部 1990 年 2 月 《在用压力容器检验规程》；

劳动部 1989 年 12 月 《气瓶安全监察规程》；

原国家劳动局 1981 年 6 月 《溶解乙炔气瓶安全监察规程》；

原国家劳动局 1981 年 2 月 《液化石油气汽车槽车安全管理规定》；

化学工业部 1982 年 3 月 《液化气体铁路槽车安全管理规定》；

化学工业部 1984 年 4 月 《化工企业压力容器安全管理规程》……等。

此外，有关部门还颁发了对压力容器焊工、无损探伤人员的管理法规。

(二) 我国压力容器规范、标准简况

1. 我国压力容器标准化体系的构成

我国压力容器规范、标准已基本形成体系，它由基础标准、相关标准、附属标准和产品标准几部分构成。

基础标准是体系的核心，其它标准都是为基础标准服务的或是由它派生出来的。GB150-89《钢制压力容器》作为基础标准，是以一般压力容器为对象，着重解决共性问题。它对压力容器的选材、结构设计、强度计算、制造和检验等提出了一整套比较完善的技术要求，是我国压力容器设计、制造以及安全监督的综合性基本技术法规。

相关标准包括材料标准,材料试验法标准和材料检验法标准。在GB150-89《钢制压力容器》(二)中,列有82项,大都是国标(GB),机标(JB)和冶标YB(T)。就其内容而言,它们并不是专门针对压力容器制定的,但由于和压力容器用材密切相关,因而被纳入压力容器标准体系中。

附属标准包括零部件标准如封头、法兰、人孔、手孔、支座、膨胀节等和产品检验标准等。它们附属于基础标准,为容器产品服务。

产品标准包括型式参数标准,它是针对产品规格尺寸和结构型式的系列化、标准化而制定的,如球形容器参数系列,压力容器公称直径等。专用产品标准则是针对不同材质和不同结构型式的压力容器产品而制定的,如钢制焊接球形贮罐技术条件、铝制焊接容器技术条件等。

目前,在我国与压力容器有关的规范、标准的编制和颁发,正逐渐过渡到由全国压力容器标准技术委员会归口。

我国颁布的与压力容器有关的常用标准见附录一。

2. 国标GB150-89《钢制压力容器》简介

该标准的前身是《钢制石油化工容器设计规定》(以下简称《设计规定》)。《设计规定》从1977年第一版开始,先后发行了三版,均为部级标准,且只包括设计方面的内容,需与JB741-80《钢制焊接压力容器技术条件》配套使用。现行的GB150-89《钢制压力容器》为国家标准,是在参考和比较了先进工业国家的有关规范,吸取和反映了执行《设计规定》以来,压力容器行业在设计、制造和使用实践方面所积累的宝贵经验而制定的。在内容上除设计部分外,还包括了制造和检验方面的基本要求,是我国当前压力容器设计、制造、检验和验收的综合性的基本技术法规。

该标准包括正文10章和附录11个,其中8个附录为补充件,3个附录为参考件。正文和补充件是必须遵循的规定,参考件是推荐性的。

该标准仍以传统设计观点为基础,适用的压力范围最高为35MPa,最低为0.1MPa;适用的温度范围根据所用钢材允许使用温度而定。制造、检验和验收部分适用于设计温度高于-20℃的钢制焊接单层压力容器、多层包扎压力容器和热套压力容器。

该标准不适用于下列9类容器:直接火加热的容器;受辐射作用的容器;经常搬运的容器;与旋转或往复机械设备连在一起自成体系的或作为组成部件的压力容器;设计压力低于0.1MPa的容器;真空度低于0.02MPa的容器;公称容积小于450L的容器;要求作疲劳分析的容器以及已有其它行业标准管辖的压力容器。

对于设计压力高于35MPa的容器,可采用国标《钢制压力容器——另一标准》(正在报批中,压力适用范围可达70MPa);对于设计压力低于0.1MPa和真空度低于0.02MPa的容器是采用国标《钢制压力容器》(在编制中);对于直接火加热、受辐射作用这类需要提高或增补技术要求的容器,应属专门的标准管辖;对任意结构的容器及元件,尤其是无法用常规设计方法确定结构尺寸的受压元件,该标准允许采取以应力分析为基础的设计或验证性试验分析或用可比的但已投入使用的结构行进对比的经验设计,但需经全国压力容器标准化技术委员会评定认可。

该标准还规定了容器的设计、制造单位必须具备健全的全面质量管理体系。设计单位应持有压力容器设计单位批准书,制造单位应持有压力容器制造许可证。

二、国外压力容器法规、规范、标准简况

(一) 国外压力容器安全监督机构及法规简况

为确保压力容器的安全,各国都先后设置有专门的管理机构,制定了安全监察法规。苏联由国家锅炉监察委员会负责锅炉、压力容器的安全监察工作,制定规范并监督各部门执行。美国由国家锅炉、压力容器检验师协会(NBBI)代表政府进行管理,制定有《NB检查规范》,对压力容器的安装、修理、改造和检验等作了详细规定。英国对压力容器监督及检验的权威机关是由部分保险公司代表所组成的联合技术委员会。德国的技术检验协会是负责监督有关技术规范执行的权力机关,官方的压力容器规范由压力容器委员会制定。日本的压力容器安全监督工作由劳动省管辖,制定有《压力容器结构规范》,通产省制定有《高压气体管理法规》。法国负责压力容器安全监督的权力机关是内政部矿业司,除监督规范的执行外,还参予新制压力容器的技术鉴定工作。

(二) 国外压力容器规范,标准简况

国外具有代表性的压力容器规范是:美国 ASME《锅炉和压力容器规范》第Ⅷ篇第一、二分篇——1986年版;英国 BS5500《非直接火焊制受压力容器规范》——1982年版;西德 AD《受压力容器规范》——1983年版;日本 JISB8243《压力容器构造》——1984年版;JISB8250《压力容器构造(特定规格)》——1984年版;法国 CODAP-85《压力容器构造》——1985年版;苏联 ГОСТ14249《容器及设备强度计算的规范和方法》——1980年版等。

1. 美国 ASME《锅炉及压力容器规范》第Ⅷ篇——1986年版

该规范是由美国机械工程师协会(ASME)和美国国家标准协会(ANSI)作为 ANSI/ASME 出版物联合颁发的,它已被美国确认为国家规范,并已成为目前世界上锅炉、压力容器规范中规模庞大,内容丰富、完整的一部规范。由于内容比较新颖而完整,严格而明确,且修订更新及时,故得到各国的重视。

该规范每隔3年修订再版一次,其间定期出6次补遗,不定期出规范实例。规范1986年版本共分11卷计22册。其中与压力容器最为密切的是第Ⅷ卷《压力容器构造规则》。从1968年开始,第Ⅷ卷又分为两册,即 ASMEⅧ-1及 ASMEⅧ-2。Ⅷ-1为原有的设计规范,适用的最高压力范围为21MPa,不包括直接火加热的容器;Ⅷ-2为受压力容器另一规则,适用范围限于安装在固定位置上作为某一特定用途的压力容器。其它范围内容大致与Ⅷ-1相同,即不包括容积低于454L、操作压力(内压或外压)低于0.1MPa、或内径小于150mm的容器,对最高压力界限未作规定,压力超过21MPa的高压容器也可按Ⅷ-2规则进行设计及制造,并可加印“ASME容器”的标记。Ⅷ-2还适用于直接火加热的容器。

Ⅷ-1与Ⅷ-2最基本的区别在于前者是以传统的设计观点为基础的,因而称为常规设计,而后者则是以应力分析观点为基础,因而称为按应力分析设计。在确定压力容器壁厚时,Ⅷ-1仅要求器壁的最大薄膜应力不大于材料的许用应力,并采用最大主应力理论来计算容器的壁厚。而Ⅷ-2则采用应力分析的方法,将应力进行分类,采用应力强度的概念来确定应力限制,同时进行容器的疲劳分析,考虑由于压力和温度的波动而导致压力容器循环载荷的失效。在对容器焊缝进行无损检验方面,Ⅷ-1按不同的容器或不同的焊缝位置规定了不同的射线检验要求,即100%、部分射线检验或免检;而Ⅷ-2则要求对容器的焊缝进行100%的射线检验。

按Ⅷ-2应力分析设计,虽然计算较繁琐,工作量大,检验费用也较高,但设计更合理,材料的利用更充分、容器的安全可靠性能更高。

2. 英国 BS5500《非直接火焊制压力容器规范》——1982年版

该规范是英国标准学会(BSI)依据国际标准化组织(ISO)推荐的压力容器标准《ISO/DIS 2694压力容器标准草案》制订和颁发的,是英国现行的化学和石油工业用的压力容器设计基准。该规范包括总则、材料、设计、制造与加工工艺、检查与试验五部分,并有13个附录。规范的适用范围介于ASMEⅧ-1与Ⅷ-2之间,不适用于常压容器和超高压等特种容器。

3. 西德 AD《受压力容器规范》——1983年版

AD规范是欧州大陆压力容器规范的典型代表,对钢材的安全系数以屈服极限为基准,且取值较低($n_s = 1.5$),对抗拉强度未作出任何限制。在设计与计算方法上与ASME、BS 5500等规范均有差异。规范适用于直径比(D_o/D_i) ≤ 1.5 的压力容器,但不包括压力低于 $5 \times 10^4 \text{ Pa}$ (表压)和容积小于2000L的压力容器。

该规范一般以活页形式发行,每一辑中的各节可以不牵涉其它节而可单独修订再版。

4. 日本 JISB8243《压力容器构造》——1984年版和 JISB8250《压力容器构造(特定规格)》——1983年版

日本的JISB8243《压力容器构造》属于常规设计,已出过多版,适用范围为 $p \leq 30 \text{ MPa}$, $\delta/D_i \leq 0.25$,不适用于直接火加热的容器。该规范由日本工业标准调查会审定,日本规格协会发行。规范的内容比较接近ASMEⅧ-1,其设计应力按平均应力考虑,也不进行细致的应力分析和疲劳分析,但规范所提出的安全系数,已充分考虑了压力容器的可靠性。

JISB8250《压力容器构造(特定规格)》属于应力分析设计,内容与ASMEⅧ-2接近。

第三节 压力容器技术发展概况

近几十年来随着工业生产的需求和科学技术水平的提高,压力容器获得了迅速的发展,并逐渐形成了一门独立的学科。压力容器学科的发展,主要表现在规格大型化、高参数精心设计、结构的改进、材料、制造与检验技术的进步等多方面。

压力容器是石油化学等工业领域的重要生产装置,而单机生产规模的大型化,是目前世界上石油化学工业发展的一大特点。以合成氨生产装置为例,其日产规模五十年代为200吨,近十几年来已扩大到1000吨甚至1800吨。大型化在经济上具有明显的优越性,首先它可以大大降低工厂的基建投资,国外建设一个日产规模200吨以天然气为原料的合成氨厂,建厂总投资需450万美元,而建设一个日产规模1000吨的合成氨厂总投资仅需1400万美元。二者相比,后者产量是前者的5倍,而建厂总投资却仅为前者的3.1倍。此外,大型厂的主要生产耗消指标大大低于中、小型工厂,而且由于生产过程的自动化水平高,所需劳动力少,最终导致产品成本大幅度下降。有人曾经估算过,日本三井年产30万吨合成氨机组生产产品的成本仅为我国年产6万吨机组所生产产品成本的1/3。单机生产规模的大型化,意味着压力容器的规格(直径、壁厚、重量)越来越大,从而对设计、制造、选材、检验等方面提出了一系列新的要求。表1-2给出了国内外大型高压容器的主要参数。

随着压力容器的大型化和操作条件的日益苛刻,高参数设计是压力容器学科发展的又一特征。例如,高压聚乙烯的聚合釜体积从200L(压力230MPa)增至600L(压力250MPa);

美国的一台球形容器直径为 3050mm，压力为 70MPa；合成氨新工艺（等压流程）中的压力容器，使用温度为 -196°C ，设计压力 15MPa；紫铜浸渍罐的设计压力为 32MPa，设计温度 1100°C 。此外，还有很多容器不仅要承受高温高压，还要承受核辐照或热疲劳和机械疲劳的联合作用，这就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：容器应力、应变的详细分析与评定；容器的防脆断设计、疲劳设计、蠕变设计、概率设计以及断裂力学在压力容器上的应用等。在设计手段上广泛采用了计算机辅助设计(CAD)，大大提高了设计计算和制图的速度、效率和准确度。

表 1-2 国内外大型高压容器主要参数

项 目	多 层 包 扎 式		多 层 热 套 式	
	国 外	国 内 (24万t/a 尿素合成塔)	国 外	国 内 (30万t/a 氨合成塔)
内径 mm	6000	2100	3900	3200
壁厚 mm	533	108	508	150
操作压力 MPa	290	16	70	15.5
操作温度 $^{\circ}\text{C}$	550	200	538	200
重量 t	850~1000		575	
已运行台数	一万多台		500台	
主要生产厂	美: CB & W 公司 日: 神户制钢厂	金州重机厂	美: Struther-Well 公司 日: 日立公司 美法联营: BABCOK-ATI-ANTIQUE 等	上海锅炉厂等

压力容器结构的发展是和容器规格、料材供应、制造技术水平密切相关的。以壳体结构为例，最早的压力容器壳体是整体锻造的。因受锻造设备能力的限制，容器的规格较小。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形绕带组合式壳体的结构。六十年代以前，压力容器壳体结构是以上述几种型式为主的。后来，由于石油、化工等工业的迅速发展和军工的需要，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，并已成批生产；研制成功多层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绕丝结构的等静压装置。此外，大型密封结构和组合法兰等方面的研制，也取得了很大的进展。

随着压力容器的大型化和操作条件的日益苛刻，在压力容器用钢方面也相应地出现了一些新的特点：首先是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，低合金钢具有较高的强度，较好的塑性、韧性，也具有良好的焊接性。它的广泛应用减轻了设备的自重，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，厚钢板和超厚钢板的生产发展很快。据报道，目前由于采用了调质等先进热处理技术，改善了厚板的性能，其压延尺寸可达 $5.3\text{m} \times 350\text{mm}$ 。第三，各种专用钢材（如高温高压抗氢钢、低温钢、各种耐腐蚀钢、核容器用钢）的冶炼、轧制和焊接工艺有了进一步改善，性能稳定