

现代生产安全技术丛书

# 压力容器安全技术

王明明 蔡仰华 徐桂容 编著



化学工业出版社

安全科学与工程出版中心

· 北京 ·

# (京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

压力容器安全技术/王明明, 蔡仰华, 徐桂容编著. —北京:  
化学工业出版社, 2004. 3  
(现代生产安全技术丛书)  
ISBN 7-5025-5420-3

I. 压… II. ①王…②蔡…③徐… III. 压力容器-安全技术 IV. TH49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 033691 号

---

现代生产安全技术丛书

压力容器安全技术

王明明 蔡仰华 徐桂容 编著

责任编辑: 郭乃铎 杜进祥

文字编辑: 张燕文

责任校对: 蒋宇

封面设计: 关飞

\*

化学工业出版社 出版发行  
安全科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市海波装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 14 $\frac{1}{4}$  字数 332 千字

2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5420-3/X·431

定 价: 28.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 前 言

压力容器是比较容易发生事故且事故危害较为严重的特殊设备，广泛地应用于经济领域中，是很多行业和生产企业中较为常见的设备。随着我国改革开放进程的深入，压力容器的应用范围不断扩大，数量不断增加，随之而来的安全问题显得十分突出。近年来，已多次发生压力容器爆炸伤人的恶性事故。压力容器安全是“人命关天的事，一定要慎之又慎，确保万无一失”。我国政府历来重视锅炉压力容器安全，1999年中央领导同志针对一起锅炉压力容器事故曾指示“像锅炉这类压力容器，它的质量好坏，直接关系到国家财产和人民生命的安全，切不可稍有疏忽”，“对锅炉这类产品，从制造到安装，每个环节都必须进行严格的质量检验，不合格的绝对不允许出厂和使用。运行中的锅炉，也必须定期严格检查，及时发现和消除隐患，防患于未然”。

保证压力容器生产和使用的安全，是从事压力容器管理、设计、使用等人员义不容辞的责任和义务。为适应压力容器安全管理的需要，普及压力容器安全知识，我们编写了本书。

本书根据压力容器安全方面的内容和要求，从生产实际出发，结合《中华人民共和国安全生产法》、《钢制压力容器》(GB 150—1998)、《管壳式换热器》(GB 151—1999)、《压力容器安全技术监察规程》(1999版)、《气瓶安全监察规程》(2000版)等有关法规、标准，结合我国压力容器安全管理现状，特别是使用管理现状，针对从压力容器的设计、制造、选购、安装，到使用、管理、修理、改造、检验及安全附件等压力容器管理的各个环节，阐述了压力容器安全的基本要求和具

此为试读, 需要完整PDF请访问: [www.ertong.com](http://www.ertong.com)

体做法。本书内容全面，切合实际，具有较强的实用性，适合从事压力容器技术管理和安全管理的各级管理人员，特别是压力容器使用单位的有关管理人员和操作人员作为培训、自学教材。对容器的设计、制造、检验等方面的技术人员和从事企业安全生产管理的安全技术人员，也有较好的参考价值和实用价值，对从事压力容器安全技术管理和生产设备安全管理的工程技术人员和管理人员提高技术素质和增长专业知识大有益处。

应该说明的是，本书所标注的压力除特别注明为“（绝对）”外均指表压。

本书的大部分章节由蔡仰华同志和徐桂容同志编写。王明明同志拟定了本书提纲，完成了个别章节的编写，并对全书进行了统稿。

在本书的编写过程中，得到了崔政斌同志的悉心指导和聂幼平同志的大力帮助，在此表示衷心的感谢！

由于编者的水平和编写时间有限，难免存在不妥甚至不当之处，诚望广大读者批评指正。

编者

2004年2月

# 目 录

<b>第一章 基础知识</b> .....	1
<b>第一节 概述</b> .....	1
一、界定 .....	1
二、应用 .....	4
三、我国压力容器的管理和监察 .....	6
<b>第二节 分类</b> .....	9
一、一般分类 .....	9
二、按安全的重要程度分类 .....	17
三、代号标记法 .....	19
<b>第三节 安全的重要性</b> .....	20
一、事故率 .....	20
二、事故率高的原因 .....	22
三、事故造成的危害 .....	23
四、相关的法律、法规 .....	26
<b>第二章 设计</b> .....	29
<b>第一节 材料的选用</b> .....	30
一、材料的性能 .....	30
二、影响材料性能的因素 .....	34
三、材料的选用 .....	41
四、其他要求 .....	47
<b>第二节 结构设计</b> .....	48
一、压力容器的结构 .....	48
二、主要零部件的结构设计 .....	50
三、几种典型设备的结构设计要点 .....	55

<b>第三节 强度计算与校核</b> .....	59
一、应力与应力分析 .....	60
二、设计参数 .....	63
三、常用的设计计算公式 .....	69
四、压力试验 .....	72
<b>第三章 制造与检验</b> .....	74
<b>第一节 壳体的成型与焊接</b> .....	74
一、成型 .....	74
二、焊接 .....	77
<b>第二节 制造缺陷对安全的影响</b> .....	83
一、制造缺陷 .....	83
二、对安全的影响 .....	89
<b>第三节 检验与验收</b> .....	92
一、加工成型与组装的检查 .....	92
二、焊缝检查 .....	94
三、出厂要求 .....	108
<b>第四节 制造管理</b> .....	109
一、制造单位资格审批与管理 .....	109
二、制造过程的质量管理 .....	113
三、质量保证体系和质量保证手册 .....	114
四、产品制造质量的监督检查 .....	116
<b>第四章 破裂形式</b> .....	120
<b>第一节 延性破裂</b> .....	120
一、机理 .....	120
二、特征 .....	121
三、原因 .....	121
四、事故预防 .....	122
<b>第二节 脆性破裂</b> .....	122

一、机理 .....	123
二、特征 .....	123
三、原因 .....	123
四、事故预防 .....	124
<b>第三节 疲劳破裂</b> .....	<b>124</b>
一、机理 .....	125
二、特征 .....	125
三、原因 .....	126
四、事故预防 .....	126
<b>第四节 腐蚀破裂</b> .....	<b>126</b>
一、分类 .....	127
二、形态 .....	128
三、机理 .....	130
四、原因 .....	132
五、事故预防 .....	132
<b>第五节 压力冲击破裂</b> .....	<b>133</b>
一、类型与机理 .....	133
二、特征 .....	135
三、事故预防 .....	136
<b>第六节 蠕变破裂</b> .....	<b>137</b>
一、机理 .....	138
二、特征 .....	138
三、原因 .....	138
四、事故预防 .....	138
<b>第五章 安全附件</b> .....	<b>139</b>
<b>第一节 设置</b> .....	<b>139</b>
一、分类 .....	139
二、设置原因 .....	140

此为试读, 需要完整PDF请访问: [www.ertong.com](http://www.ertong.com)

三、安全泄压装置 .....	144
四、设置要求 .....	148
<b>第二节 安全泄放量的计算</b> .....	<b>150</b>
一、含义 .....	150
二、计算 .....	150
<b>第三节 安全阀</b> .....	<b>155</b>
一、工作原理与基本要求 .....	155
二、开启压力与回座压力 .....	157
三、分类与适用范围 .....	159
四、排量计算 .....	166
五、选用与安装 .....	171
六、检验调整与维护保养 .....	176
七、常见故障的原因与排除 .....	180
<b>第四节 爆破片</b> .....	<b>181</b>
一、类型与特点 .....	182
二、选用 .....	185
三、制造与质量要求 .....	188
四、装设 .....	190
五、更换 .....	191
<b>第五节 压力表与液面计</b> .....	<b>191</b>
一、压力表 .....	191
二、液面计 .....	195
<b>第六节 其他附件</b> .....	<b>199</b>
一、温度计 .....	200
二、减压阀 .....	202
三、快开门式压力容器安全联锁装置 .....	207
四、紧急切断装置 .....	216
<b>第六章 定期检验</b> .....	<b>223</b>

<b>第一节 目的与要求</b> .....	223
一、目的 .....	223
二、检验周期和项目 .....	224
三、检验要求 .....	229
<b>第二节 常用的检验方法</b> .....	236
一、直观检查和量具检查 .....	236
二、无损探伤 .....	238
三、力学性能试验 .....	242
四、化学成分分析 .....	243
五、金相分析 .....	244
<b>第三节 耐压试验</b> .....	245
一、加压介质 .....	245
二、试验温度与试验压力 .....	246
三、方法与步骤 .....	248
四、气压试验 .....	250
五、残余变形的测定 .....	251
六、结果评定 .....	256
<b>第四节 缺陷检查与评定</b> .....	257
一、常见缺陷与检查 .....	257
二、常见缺陷的处理 .....	265
三、安全状况等级评定 .....	272
<b>第七章 使用管理</b> .....	278
<b>第一节 运行</b> .....	278
一、投用 .....	278
二、运行的控制 .....	281
三、操作的安全注意事项 .....	284
四、运行中的主要检查内容 .....	286
五、停止运行 .....	287

<b>第二节 使用管理</b> .....	291
一、内容与要求 .....	291
二、基础管理 .....	293
三、安全使用管理制度 .....	301
<b>第三节 维护保养</b> .....	304
一、使用期间 .....	305
二、停用期间 .....	308
<b>第八章 气瓶安全</b> .....	309
<b>第一节 概述</b> .....	309
一、结构 .....	309
二、分类 .....	312
三、钢印标记 .....	316
四、颜色标记 .....	318
<b>第二节 充装</b> .....	320
一、对气瓶充装单位的要求 .....	320
二、对充装气瓶的基本要求 .....	322
三、永久气体气瓶的充装 .....	323
四、液化气体气瓶的充装 .....	333
五、乙炔气瓶的充装 .....	342
<b>第三节 定期检验</b> .....	348
一、基本要求 .....	348
二、定期检验与评定 .....	356
三、压力试验与容积变形的测定 .....	366
四、检验后的处理 .....	377
<b>第四节 使用管理</b> .....	381
一、安全附件 .....	382
二、运输、储存与销售 .....	388
三、安全使用 .....	395

四、事故与预防措施 .....	399
<b>第九章 事故危害与事故分析 .....</b>	<b>405</b>
<b>第一节 事故危害 .....</b>	<b>405</b>
一、破裂爆炸能量 .....	405
二、爆炸的危害 .....	411
<b>第二节 事故调查分析 .....</b>	<b>418</b>
一、事故调查 .....	418
二、事故分析 .....	425
<b>第三节 事故处理和事故应急预案 .....</b>	<b>431</b>
一、事故分类 .....	432
二、事故报告 .....	432
三、事故处理 .....	433
四、事故的应急预案 .....	435
<b>参考文献 .....</b>	<b>440</b>

# 第一章 基础知识

## 第一节 概 述

容器器壁两边存在着一定压力差的所有密闭容器，均可称作压力容器。这也是压力容器在广义上的定义。从这个意义上来说，压力容器较为广泛地存在于现代社会中，小到日常生活中的抽真空罐头、汽水瓶、保温瓶、家用压力煲（压力锅）、煤气罐（家用液化石油气瓶）、灭蚊杀虫喷雾剂、喷发胶瓶等，大到工业生产的人工合成材料装置、冶炼、食品医药、石油、化工、热电、核电厂等生产装备中的压力容器，交通储运的储罐、气瓶、槽车甚至万吨巨轮、深水潜艇、大型高空喷气式飞机和导弹、火箭等军事装备以及 2003 年 10 月我国成功发射和返回的载人宇宙飞船“神舟五号”返回舱等航空航天设备，所有这些均属于广义上的压力容器。压力容器遍布工业生产、基本建设、医疗卫生、地质勘探、文化教育、科研国防以至人们的日常生活等国民经济各部门各领域，现代社会、现代生活离不开压力容器。

### 一、界定

压力容器器壁两边（内、外部）所存在的压力差称作压力载荷，由于压力容器器壁承受压力载荷，所以压力容器也称作受压容器。压力容器所承受的这种压力载荷等于人为地将能量进行提升、积蓄，使容器具备了能量随时释放的可能性和危险性，也就是会泄漏和爆炸。这种可能性和危险性与容器的介质、容积、所承受的压力载荷以及结构、用途等有关。实际上，只有一部分的压力容器容易发生事故，而且事故的危害比

较大，这部分压力容器大多都是工业生产中承载压力的容器。许多国家在工业化进程中饱受了这类容器引发的灾难，吸取了血的教训。经过不断总结经验，最终把这类容器划归为一种特殊设备进行管理，设立专门机构对其进行监督，建立健全了各类规章制度，并要求严格按照规定的规范进行选材、设计、制造、安装、使用管理与维修改造和定期检验。目前，我国的这一专门的监督检查机构是国家质量监督检验检疫总局。习惯上，所说的压力容器就是指这一类作为特殊设备的压力容器。

既然压力容器是指那些比较容易发生事故、特别是事故危害比较大的特殊设备，那么其界定就应从事故发生的可能性和事故危害的严重性来考虑。一般来说，这种可能性和危害的严重程度与压力容器的工作介质、工作压力及容积等密切相关。

压力容器的工作介质是指容器所盛装的，或在容器中参与反应的物质。工作介质是液体的压力容器，由于液体的压缩性很小，因此在卸压时介质的膨胀很小，容器爆炸时所释放的能量也很小。而工作介质是气体的压力容器，因为气体有很大的压缩性，因此在容器爆破时气体瞬时卸压膨胀所释放的能量也就很大。承载压力和容积相同的压力容器，工作介质为气体的要比介质为液体的爆破能量大数百倍至数万倍。例如，一个容积为  $10\text{m}^3$ 、工作压力为  $1.1\text{MPa}$ （绝对）的容器，如果介质是空气，它爆破时所释放的能量（气体绝热膨胀所做的功）约为  $1.36 \times 10^7\text{J}$ ；如果介质是水，则其爆炸时所释放的能量仅为  $2.2 \times 10^3\text{J}$ 。前者为后者的 6200 倍。由此可见，容器内的介质若为液体，即使容器爆破，其破坏性也是较小的。不过应该注意的是，这里所说的液体，是指常温下的液体，而不包括高于其标准沸点（在标准大气压下的沸点）的饱和液体（如锅炉中汽包的高温饱和水）和沸点低于常温（包括有可能达到的最高使用温度或周围环境温度）的液化气体。因为这些介质在容

器内只是由于压力较高才呈现液态（实际在容器内是气液并存的饱和状态），如果容器破裂，容器内的压力下降，这些饱和液体即呈现过热状态，并立即蒸发气化，体积急剧膨胀，发生“蒸气爆炸”（暴沸），其所释放的能量要比同体积、同压力的饱和蒸汽大得多（相当于瞬间不断地产生饱和蒸汽）。所以从物质的集性状态方面考虑，压力容器的工作介质应该包括压缩气体、水蒸气、液化气体和工作温度高于其标准沸点的饱和液体。

压力容器的工作压力是指容器在正常使用过程中，所承受的最高压力载荷。一般来说工作压力越高，或者容器的容积越大，则容器爆炸时气体膨胀所释放的能量也越大，事故的危害性越严重。但是压力和容积范围的划分，并不像工作介质那样有一个比较明显的界限，一般都是人为地规定一个比较适当的下限。

我国目前完全纳入《压力容器安全技术监察规程》适用范围的压力容器应同时具备下列三个条件。

- ① 高工作压力  $p_w \geq 0.1\text{MPa}$ （不含液体静压）。
- ② 内直径（非圆形截面指其最大尺寸）不小于  $0.15\text{m}$ ，且容积  $V \geq 0.025\text{m}^3$ 。
- ③ 盛装介质为气体、液化气体或最高工作温度高于或等于标准沸点的液体。

部分纳入《压力容器安全技术监察规程》适用范围的压力容器如下。

- ① 与移动压缩机一体的非独立的容积不大于  $0.15\text{m}^3$  的储罐、锅炉房内的分气缸。
- ② 容积小于  $0.025\text{m}^3$  的高压容器。
- ③ 深冷装置中非独立的压力容器、直燃型吸收式制冷装置中的压力容器、空分设备中的冷箱。

④ 螺旋板换热器。

⑤ 水力自动补气气压给水（无塔上水）装置中的气压罐、消防装置中的气体或气压给水（泡沫）压力罐。

⑥ 水处理设备中的离子交换或过滤用压力容器、热水锅炉用的膨胀水箱。

⑦ 电力行业专用的全封闭式组合电器（电容压力容器）。

⑧ 橡胶行业使用的轮胎硫化机及承压的橡胶模具。

## 二、应用

在工业生产中，容器的主要作用是储存、运输有压力的气体或液化气体，或者是为这些流体的传热、传质反应提供一个密闭的空间。容器具有各式各样的形状结构，从小至容积只有几升的瓶或罐，到大至上万立方米的球形容器或高达上百米的塔式容器。

压缩空气是一种使用得较为普遍的动力源，被广泛用于机械制造、交通运输、建筑、装修、采矿、化工、冶金及国防工业等各个领域各个部门。而压缩空气的主要来源是空气压缩机，压缩机的附属设备如气体冷却器、油水分离器、储气罐、干燥过滤装置等都是压力容器。

此外，在工业生产中还经常使用各种气体作为原料或辅助材料。如制造消毒水和农药要用氯气，金属焊接和气割需要氢气、乙炔气、氧气、氩气，食品饮料行业要用到的二氧化碳气体等。这些气体往往都经过增压使其成为压缩气体（如氧、氮等）、液化气体（如液氯、液氨等）或溶解气体（如乙炔），而储运这些压缩气体、液化气体或溶解气体的容器，如气瓶、液化气体储罐及槽（罐）车等，都是压力容器。

制冷装置是食品工业、化学工业和医疗卫生等部门用以制造“人造冷”的一种通用设备。它是利用制冷压缩机将气态的冷冻剂（最常用的是氨和氟里昂）进行压缩，然后在冷凝器中

用水将其冷凝为液体，再把这些液化了的冷冻剂通过调节阀节流降压进入蒸发器。由于压力降低，液化冷冻剂在蒸发器内不断地蒸发，并吸收大量的热，使其周围的介质和环境温度降低。蒸发后的冷冻剂再回到压缩机，如此继续循环，在蒸发器中便可以连续获得“人造冷”。而制冷装置中的多数设备，如冷凝器、蒸发器、液体冷冻剂储罐等都是压力容器。

有些工业产品的制备需要在较高的温度下进行，因此在生产工艺过程中常常需要将物料加热。加热往往使用水蒸气，因为它是一种较易获得的热源。水蒸气必须是有压力的气体才能方便地输送和使用。用它来对物料进行加热的设备，无论是间接式换热装置（如蒸汽夹套、蒸汽列管加热器等），或者直接式加热设备（如蒸煮锅、蒸汽消毒器等）都是一种压力容器。

化工生产中所使用的反应设备大部分也是压力容器。因为有许多化学反应需要在加压的条件下进行，或者在比较高的压力下加速其反应，提高设备效率。例如，用乙烯和水（高压过热蒸汽）制造乙醇（酒精），就需要在 7MPa 的压力下进行；用氢和氮来制造合成氨，要在 10~100MPa 的压力下才能较好地反应。因此，不但这些反应器本身是压力容器，而且参加反应的介质也要先经过加压、精制、加热或冷却等处理，这些工艺过程所用的设备，都是压力容器。

随着石油化学工业的迅速发展，高分子聚合物的生产不断扩大，高分子聚合物是由单体分子经过聚合反应而得到的，而大部分聚合反应都需要在较高的压力下进行。例如，用乙烯气体聚合成聚乙烯，低压法需要的压力为 3.5~10MPa，高压法则需要 100~250MPa。因此，制取高分子聚合物的设备不仅聚合釜（进行聚合反应的设备）是压力容器，而且这些单体分子在聚合前的一系列工艺处置过程（如储存、精制、加热等），也都需要压力容器。

由此可见，压力容器在工业生产中的应用是极为普遍的，尤其是在化学工业中，几乎每一个工艺过程都离不开压力容器，而且压力容器还常常是生产中的主要设备。

### 三、我国压力容器的管理和监察

在我国众多使用压力容器的企业中，国有企业和大型外资、合资企业对压力容器的使用和管理较为规范，特别是石油、化工行业中的大中型企业，他们有优良的传统和较为丰富的使用管理经验，加之有一批专业和职能较为齐全、技术较为全面、经验较为丰富的压力容器技术管理人员，使我国在压力容器的使用和管理方面，从总体上来说比较规范和成功。

但是随着社会的发展，科学技术的进步，压力容器的使用日益广泛，数量日益增长，逐渐趋向容量大型化、结构复杂化、适用性广泛化，并且正从主要用于第一、第二产业的传统，迅速走向第三产业。特别是民营经济等非公有经济的蓬勃发展，中小型压力容器用户（使用压力容器的企业）正如雨后春笋般地大量涌现。这些企业充满活力又较为灵活，具有较强的竞争意识和风险意识，并且很多是跨行业、新兴行业或边界行业，如保健医药品、食品、副食品、深加工、化妆品、日用品、各类添加剂、洗涤漂染、消毒杀虫、涂料黏胶的生产，家具和装饰材料生产、林产品加工及各类精细化工企业，他们生产规模较小，并受经济利益的驱使和心存侥幸等因素的影响，在生产上往往只注重配方、工艺而忽视对压力容器这类特殊的危险设备的管理，企业中甚至没有专门的或相关专业的技术管理人员和持证上岗的操作人员。从容器的订购到安装使用和管理等均未经过法定程序和有效的监察，为压力容器的使用埋下了安全隐患。

2002年11月1日起施行的《中华人民共和国安全生产法》，对压力容器这类特种设备的使用作了强制性的规定。其