

石油化工厂设备检修手册



容 器

王福利 主编

中国石化出版社

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

石油化工厂设备检修手册

容 器

王福利 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书以最新颁布的标准为指导,详细讲解了容器的基础理论,系统地介绍了各种类型容器的结构、工作原理、主要参数及性能指标、安装、检修、维护以及故障与处理。内容包括:容器用钢材;压力容器设计;钢制塔式容器;卧式容器;压力容器零部件;压力容器常用钢材的焊接;压力容器检验;容器使用与管理;塔类设备结构与检修;球形容器结构与检修;立式储油罐结构与检修;气柜结构与检修;槽车、气瓶结构与检修;炼油装置主要容器设备结构与检修等。

本书可以作为石化企业设备管理、安装和检修公司的工程技术人员常用的一本工具书,可以帮助读者解决有关压力容器安全运行和检修维护工作中遇到的技术疑难问题;也可以作为从事压力容器安装检修、设备维护工作的中、高级技术工人培训的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

石油化工厂设备检修手册. 容器 / 王福利主编. —北京:
中国石化出版社, 2011. 5
ISBN 978 - 7 - 5114 - 0703 - 0

I. ①石… II. ①王… III. ①石油化工 - 化工设备 - 检修 - 手册②石油化工 - 容器 - 检修 - 手册 IV. ①TE682 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 006786 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

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 58.5 印张 1483 千字

2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷

定价: 158.00 元

出版说明

《石油化工厂设备检修手册》是在原《炼油厂设备检修手册》的基础上补充、修订、编写而成的。原手册共有五个分册，已于1980年前后陆续出版。二十多年来，这套丛书为我国炼油工业的发展做出了应有的贡献，得到了现场工程技术人员的好评。

随着科学技术的飞速发展，我国的炼油工业技术水平不断提高，管理水平日趋完善，石油化学工业也犹如初升的太阳，在国家经济建设中占有越来越重要的地位。老装置的技术改造，新装置的建设和投产，以及各种技术条件、标准及规范的变化，对设备检修技术及管理水平提出了新的要求。因此，迫切需要重新组织编写一套设备检修丛书，这就是《石油化工厂设备检修手册》诞生的由来。

本手册以国家、部委颁发的最新规范、标准为准绳，密切联系生产实际，力求解决检修现场带有普遍性的问题，跟上检修技术不断发展的步伐。这次修订，增加了土建工程、防腐工程、吊装工程三个分册；并把转动设备和静止设备按类别划分为数个分册。同时，对原有各分册的内容也进行了充实，在原来以炼油厂设备检修为主线的基础上，注意增加了石油化工厂设备检修方面的内容。修订后的手册在具体内容上，更加深入地接触了检修现场的实际情况。

修订后的《石油化工厂设备检修手册》的内容包括：基础数据、焊接、土建工程、防腐工程、泵、压缩机、加热炉、换热器、容器、工艺管线、吊装工程等若干个分册。在组织编写过程中，得到了中国石油化工集团公司、中国石油天然气集团公司、中国石油大学等有关方面的大力支持，使手册得以顺利出版，特此表示感谢。

《容器》分册在较为详细讲解了容器的基础理论之外，系统地介绍了各种类型容器的结构、工作原理、主要参数及性能指标、安装、检修、维护以及故障与处理。本书可以作为石化企业设备管理、安装和检修公司的工程技术人员常用的一本工具书，可以帮助读者解决有关压力容器安全运行和检修维护工作中遇到的技术疑难问题；也可以作为从事压力容器安装检修、设备维护工作的中、高级技术工人培训的参考资料。

参与本书编写的人员分工如下：第一章、第二章由王国璋、王福利编写；第三章~第八章由马秉骞、赵忠宪编写；第九章由王福利编写；第十、十一章由田吉新编写；第十二、十三、十四、十五章由王玉贺、刘庆红编写；第十六章由王光胜、王福利、田吉新、梁文斌编写。

目 录

第一章 容器的基本知识	(1)
第一节 容器概述	(1)
第二节 容器的基本要求	(4)
第三节 容器分类	(7)
第四节 压力容器的质量保证体系	(10)
第五节 压力容器标准规范与相关标准	(15)
第六节 压力容器技术现状与发展趋势	(24)
第七节 压力容器的强度理论、失效准则和破坏形式	(28)
第八节 应力分类	(36)
第二章 容器用钢材	(48)
第一节 容器用钢的特点与要求	(48)
第二节 压力容器常用钢材	(71)
第三节 压力容器钢材的管理	(115)
第三章 压力容器设计	(119)
第一节 设计参数	(119)
第二节 内压圆筒和球壳的强度计算	(131)
第三节 封头的设计	(134)
第四节 容器的开孔与补强	(144)
第四章 钢制塔式容器	(152)
第一节 塔的受载分析及计算	(152)
第二节 塔器应力校核	(161)
第三节 裙座结构设计	(169)
第五章 卧式容器	(176)
第一节 卧式容器的载荷分析	(176)
第二节 卧式容器的应力校核	(178)
第三节 卧式容器设计方法的适用范围及合理设计	(185)
第六章 压力容器零部件	(187)
第一节 封头	(187)
第二节 压力容器法兰	(196)
第三节 人孔与手孔	(215)
第四节 视镜、液面计	(222)
第五节 容器支座	(226)
第七章 压力容器常用钢材的焊接	(243)
第一节 低碳钢的焊接	(243)
第二节 低合金高强度钢的焊接	(246)

第三节	低温用钢的焊接	(246)
第四节	耐热钢的焊接	(247)
第五节	奥氏体不锈钢的焊接	(250)
第八章	压力容器检验	(254)
第一节	压力容器检验的内容与依据	(254)
第二节	焊接质量及焊缝缺陷	(258)
第三节	焊缝的外观检验	(262)
第四节	渗透检测	(265)
第五节	磁粉检测	(269)
第六节	射线检测	(272)
第七节	超声检测	(280)
第九章	容器使用与管理	(288)
第一节	使用条件控制	(288)
第二节	环境条件控制	(289)
第三节	设计、制造资格控制	(295)
第四节	制造质量控制	(297)
第五节	使用、维护和管理	(305)
第十章	卧式容器的结构与检修	(321)
第十一章	塔类设备结构与检修	(349)
第十二章	球形容器结构与检修	(442)
第一节	概述	(442)
第二节	材料选用	(446)
第三节	结构设计及强度计算	(457)
第四节	焊接及焊后热处理	(486)
第十三章	立式储油罐结构与检修	(554)
第一节	概述	(554)
第二节	立式储油罐的结构与安装及检验	(579)
第三节	储罐附件及其选用	(630)
第四节	检修与维护	(646)
第十四章	气柜结构与检修	(665)
第一节	概述	(665)
第二节	气柜结构	(684)
第三节	气柜的检修与维护	(706)
第十五章	槽车、气瓶结构与检修	(736)
第一节	槽车	(736)
第二节	气瓶	(755)
第十六章	炼油装置主要容器设备结构与检修	(778)
第一节	原油蒸馏装置	(778)
第二节	催化裂化装置	(800)
第三节	催化重整装置	(829)

第四节	加氢裂化(精制)装置	(847)
第五节	制氢装置	(886)
第六节	焦化装置	(890)
第七节	硫磺回收装置	(901)
第八节	脱硫装置	(909)
第九节	酸性水汽提装置	(918)
附录	国内锅炉及压力容器常用钢新旧牌号对照表	(923)
参考文献		(926)

第一章 容器的基本知识

第一节 容器概述

容器是工业生产过程中不可缺少的重要设备,广泛应用于石油、化工、电力、冶金、核能、运输等各种工业领域中。按其几何形状,可以分为敞式容器、平底立式圆筒形储槽、具有成型顶盖的立式或卧式圆筒形容器、球形或类球形容器等类型。在炼油、化工、化纤、化肥生产过程中,一般情况下,无危险性的液体可以采用敞式容器,有危险性流体(例如具有毒性、腐蚀性、易燃易爆)和存储条件下为气态,或压力高于(或低于)大气压力、温度高于(或低于)常温的流体,则应采用密闭性容器。

石油化工生产过程中,常有高温、高压、低温、高真空等工况,为满足操作条件的要求,需要使用能够承受压力的不同种类的容器,例如反应器、塔器、分离器、换热器、流体存储容器等,“压力容器”就是指这类压力达到一定的数值、容器的容积超过规定大小的密闭容器。按照 TSG R0004—2009《固定式压力容器安全技术监察规程》(以下简称《容规》)规定,当容器同时具备以下三个条件时,定义为压力容器,即:

- ① 最高工作压力 $p_w \geq 0.1 \text{ MPa}$ (不含液体静压力);
- ② 设计压力与容积的乘积大于或者等于 $2.5 \text{ MPa} \cdot \text{L}$, 即 $pV \geq 2.5 \text{ MPa} \cdot \text{L}$;
- ③ 盛装介质为气体、液化气体或最高工作温度 $\geq$ 标准沸点的液体。

对于核能装置中受辐射作用的容器、经常搬运的容器(例如各类气体槽车、罐车和气瓶等)、真空下工作的压力容器(不含夹套压力容器)、直接受火焰加热的设备以及压力超过 100 MPa 的超高压容器、正常运行最高工作压力小于 0.1 MPa 的压力容器等,由于具有各自特点,另有专门规程进行监管,故不在《容规》范围之内。

GB 150《固定式压力容器》规定:凡设计压力不大于 35 MPa 、设计温度范围按钢材允许使用温度确定的容器,其设计、制造、检验和验收都必须符合该标准的规定,同时还应遵守国家颁布的有关法令、法规和规章,但对于下列各类容器则不属于 GB 150 的监管范围,它们是:

- ① 直接用火焰加热的容器;
- ② 核能装置中的容器;
- ③ 旋转或往复运动机械中,自成整体或作为部件的受压容器室;
- ④ 设计压力低于 0.1 MPa 的容器;
- ⑤ 真空度低于 0.02 MPa 的容器;
- ⑥ 内径小于 150 mm 的容器;
- ⑦ 要求作疲劳分析的容器;
- ⑧ 已有其他行业标准的容器。

压力容器和常压容器相比,不仅在安全性要求上差别极大,而且在设计原理上也有区别。压力容器壳体的壁厚是根据强度设计确定的,而常压容器由于承受的压力很低,按强度计算出的壁厚很薄,从而使产品在制造、运输和安装过程中会由于刚度不够而产生过大的变

形，因此常压容器的壁厚应按刚度和制造要求来确定。这里必须指出：即使是压力容器，当按强度计算的厚度小于其按刚度要求的最小厚度时，也应按刚度要求确定壁厚。

压力容器与常压容器不应只从压力高低来划分；我国1982年出版的《钢制石油化工压力容器设计规定》(以下简称《设计规定》)参照国外标准(英国BS 1515)，以压力和直径的组合来划分压力容器和常压容器，即当设计压力 p 低于 $9.81/(DN + 82)^2 \text{MPa}$ ，真空度低于 $(3100/DN + 82) \text{mmH}_2\text{O}$ 的容器均划为常压容器；否则，属于压力容器。按上述计算式可列出表1-1如下。

表1-1 以公称直径和设计压力划分压力容器(或真空度)界限

公称直径/ mm	设计压力/ 10^5Pa	真空度/ 10^2Pa	公称直径/ 10^3Pa	设计压力/ 10^5Pa	真空度/ 10^2Pa	公称直径/ mm	设计压力/ 10^5Pa	真空度/ 10^2Pa
400	0.9246	783.2	1600	0.7432	201.9	2800	0.6104	118.9
600	0.8330	524.9	1800	0.7182	180.4	3000	0.5917	111.5
800	0.8573	395.7	2000	0.6944	163.2	4000	0.5102	85.7
1000	0.8264	318.2	2200	0.6719	149.1	5000	0.4444	70.2
1200	0.7972	236.5	2400	0.6504	137.4	6000	—	—
1400	0.7695	229.6	2600	0.6299	127.4	8000	—	—

对于压力容器与超高压容器的界限，我国将设计压力 $p \geq 100 \text{MPa}$ (即 1000kgf/cm^2) 的容器划为超高压容器。高压和超高压容器属于厚壁容器，即容器外径和内径的比值 $K = D_o/D_i > 1.2$ ，器壁应力为三向受力状态；一般压力容器多属薄壁容器，容器外径和内径的比值 $K = D_o/D_i \leq 1.2$ ，厚度相对于直径较小，强度计算是以旋转壳体薄膜理论为基础，器壁应力可简化为两向应力，且应力沿壁厚均匀分布，当 K 值越小时，器壁的实际应力愈接近薄膜理论假设的情况。但是随着 K 值的增大，器壁内的三向应力状态则愈加明显，应力沿壁厚分布也逐渐非均匀化，按薄膜理论假设所确定的强度计算误差会越来越大，这时则需要应用符合三向应力状态的计算(例如《分析计算标准》)进行强度设计。

压力容器不仅是工业生产过程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，尤其是用于石油化工行业的容器具有如下特点：

1. 行业的特殊性

用于石油化工生产过程的容器，其内部物料多数是易燃、易爆或有毒的气体、液体，如果容器在运行中一旦损坏或泄漏，除了由于容器本身失效所造成的损失外，还可能发生由于内部介质向外泄漏扩散而引起的着火、爆炸，造成人员伤亡和经济损失；有毒的气体、液体将会污染环境，使人中毒。

2. 介质的腐蚀性

用于石油化工生产过程的各种容器，其内部物料一般都含一定的腐蚀性介质，有些物料本身就是腐蚀性介质(如高温氧、高温氢、硫化氢、各种有机酸及各种浓度的酸、碱、盐等)，处于腐蚀环境中的容器设备会因各种类型的腐蚀导致其使用寿命缩短甚至失效。

3. 操作条件苛刻性

用于石油化工生产过程的容器，除了常温常压储罐之外，通常是在有一定的温度和压力条件下工作的。其中有些容器是在高温高压、低温低压，甚至低温高压的苛刻操作条件下工

作的；有些容器是在操作工况周期性变化条件下工作的（如间歇式反应器）；有时由于某些原因设备的操作条件在一定范围内相应变化（如产品方案调整、生产负荷变化、装置开工、停工等）。在如此苛刻工况条件下，设备要承受热疲劳、机械疲劳和腐蚀疲劳，要保证设备长期安全运行，就必须在设计、选材、制造、检验及使用管理上有一整套严格的规范和要求，否则将导致容器使用寿命缩短甚至失效。

容器失效不仅使其本身遭到损伤和破坏，还能导致生产中断或停产，造成直接经济损失，而且往往会诱发一连串恶性事故产生，例如破坏其他设备和建筑设施、危及职工健康和生命安全、污染环境等等。这就对压力容器的安全可靠提出更加严格的要求。因此对于压力容器的设计、制造与验收，应遵守下列国家或行业标准技术条件的规定：

- ① GB 150—2010《固定式压力容器》
- ② JB 4732—95《钢制压力容器 - 分析设计标准》
- ③ 《钢制石油化工压力容器设计规定》(1985 年版)
- ④ JB/T 4709—2007《钢制压力容器焊接规程》
- ⑤ JB 754—80《多层压力容器技术条件》
- ⑥ JB/T 1149—80《扁平钢带压力容器 技术条件》
- ⑦ GB 12337—1998《钢制球形储罐》
- ⑧ JB/T 4710—2005《钢制塔式容器》
- ⑨ JB/T 4730—2005《压力容器无损检测》
- ⑩ JB 4726—2000《压力容器用碳素钢和低合金钢锻件》
- ⑪ JB 4727—2000《低温压力容器用碳素钢和低合金钢锻件》
- ⑫ JB 4728—2000《压力容器用不锈钢锻件》
- ⑬ CD 130A3—84《不锈复合钢板焊制压力容器技术条件》
- ⑭ GB/T 13148—2008《不锈钢复合钢板焊接技术条件》
- ⑮ SH/T 3527—2009《石油化工不锈复合钢板焊接规程》
- ⑯ HG 20584—1998《钢制化工容器制造技术条件》
- ⑰ JB 4708—2000《钢制压力容器焊接工艺评定》
- ⑱ HG/T 3143—1982《液化石油气汽车槽车技术条件》
- ⑲ GB/T 10478—2006《液化气体铁道罐车》
- ⑳ GB/T 12605—2008《无损检测 金属管道熔化焊环向对接接头射线照相检测方法》
- ㉑ SH 3022—1999《石油化工设备和管道涂料防腐蚀技术规范》
- ㉒ JB/T 4711—2003《压力容器涂敷与运输包装》
- ㉓ GB/T 3323—2005《金属熔化焊焊接接头射线照相》等。

同时，压力容器的设计、制造与监察管理还要求遵守以下法规和规程：

- ① 固定式压力容器安全技术监察规程(2009. 12)
- ② 压力容器定期检验规则(2004. 6)
- ③ 锅炉压力容器制造监督管理办法(国家质量技术监督局, 2003. 1)
- ④ 特种设备安全监察条例(2009. 5)
- ⑤ 锅炉压力容器压力管道设备事故处理规定(1997. 7. 18)
- ⑥ 气瓶安全监察规程(国家质量监督检验检疫总局, 2003. 4)
- ⑦ 溶解乙炔气瓶安全监察规程(劳动部, 1993. 10)

- ⑧ 液化石油气汽车槽车安全管理规定(原国家劳动总局, 1981. 2)
- ⑨ 锅炉压力容器焊工考试规则(新规)(劳动人事部, 1988. 9)
- ⑩ 锅炉压力容器无损检测人员资格考核规则(原劳动人事部, 1993. 12)

第二节 容器的基本要求

对容器最主要、最基本的要求是必须最大限度地保证工艺生产有效、安全地实施。换句话说, 压力容器必须具备工艺要求的特定使用性能, 安全可靠、制造安装简单、结构先进、维修方便和经济合理等方面的特点。这些特点可归纳为容器质量特性, 可以概括为: 适用性、可靠性、安全性、耐久性和经济性等五个方面, 为此。压力容器必须满足以下特性要求。

(一) 适用性

在规定的条件下完成规定功能的能力叫压力容器的适用性。适用性的优劣可以通过满足使用目的所要求的技术特性指标来表达。对于各种压力容器, 都要求其在规定的工作条件(如压力、温度)下实现容器内某些介质的化学、物理过程, 如化学反应、介质分离、介质热量交换、介质储存等。压力容器的技术特性指标主要有下面几点:

1. 工艺性能

压力容器都要具有一定的工艺性能, 如反应容器能否在规定的温度、压力、浓度等条件下进行所需的化学反应, 反应率及反应速度是否达到要求; 分离容器能否将处于混合状态的多种介质实施分离, 分离的精度及处理量能否达到要求; 换热容器能否在规定的流量和温度条件下实施规定的热量交换等等。这些都是反映工艺性能的内容, 并可通过一定的指标来表达。例如: 加氢反应器能否在设计的操作压力、温度、物料状况等条件下完成指定的加氢裂化或精制反应, 反应率反应速度以及反应产品是否达到要求; 催化裂化三级旋风分离器能否将处于气固混合状态下的催化剂微小粒子分离出来, 使净化后高温烟气中催化剂粒度和浓度达到进入烟气轮机的苛刻要求等等, 这些都是“工艺性能”的内容。这些指标反映了压力容器最根本的质量特性, 也是容器适应性最基本的要求。

2. 强度

强度是指容器壳体及所有部件在确定的压力或其他外部载荷作用下抵抗破裂或过量塑性变形的能力。按照常规设计方法, 就是保证容器或其零部件不出现屈服, 强度不足会导致容器或容器部件产生塑性变形甚或破裂失效。例如: 反应器或分离器的筒体会因为强度设计不足, 在压力作用下产生塑性变形, 导致直径不断扩大、器壁变薄, 最后发生破裂, 使容器破坏。

压力容器设计中, 为了最省材料, 通常将各部件设计为等强度; 但出于安全考虑, 也常把容器中某一受压元件的强度设计得较低一些, 使得一旦超载时该元件首先破坏, 以保证整台容器的安全。安装在容器上的爆破片就是这种超压防护装置的实例。

容器及其零部件的机械强度是决定应力大小的依据, 常用的是拉伸、压缩与弯曲的强度极限 σ_b 及屈服极限 σ_s (或 σ'_s 、 $\sigma'_{0.2}$), 高温时还应考虑持久极限 σ'_D 及蠕变极限 σ'_n 。不同材料的屈强比(即屈服极限与强度极限的比值)是不同的, 即使同一种材料, 也会因容器的工作温度、热处理状态等情况不同而异。研究强度问题就是找出结构在外力作用下所产生的应

力与材料许用应力之间的关系，不管容器及其零部件中的应力分析有多么复杂，但都是从载荷平衡、几何变形和物理特性等三方面分析和确定结构内部受力状况，选择合适的强度理论进行强度设计或强度校核。

3. 刚度

刚度是指容器或其零部件在外载荷作用下抵抗变形、保持原来形状的能力。容器有一定的刚度要求，为防止在其制造加工、运输、安装过程中不产生过大的变形，容器壳体不得小于规定的最小厚度，有些情况下，该厚度也许超过按强度条件计算所需的数值。这时容器的设计主要决定于刚度而不是强度，否则就会由于刚度不够弹性变形过大而发生失稳，丧失正常工作能力。例如压力容器设备法兰和接管法兰如果由于刚度不足而变形，会导致密封垫片处泄漏；换热器管板若刚度不够，在介质压力作用下变形过大，造成换热管弯曲、管束变形，影响正常使用等等。

4. 稳定性

稳定性是指在外压或其他外部载荷作用下，容器及其零部件或其他结构抵抗突然变形的能力。它和刚性都是反映在外力作用下结构的变形，但刚性产生变形在材料的弹性范围内，变形与外力成正比关系，即外力加大，变形也按比例增大，除去外力弹性变形随之消失。而稳定性不足所产生的失稳变形只发生在结构内应力为压应力的部位，当外力达到某一临界值时突然发生变形而丧失稳定，即使除去外力，变形并不恢复。因此，对于受外压的薄壁容器必须考虑其稳定性，防止形状突然“压瘪”。就是对于能够在整体上满足强度要求的压力容器，也应计算其存在较大压应力的危险部位的稳定性，例如对塔器的裙座背风侧底部、卧式容器支座截面的下部和中间截面的上部，一般都应进行稳定性校核。与弹性强度相关的一些主要参数：弹性模量 E 、延伸率 δ 、断面收缩率 ψ 、冲击韧性 α_k 等，是结构稳定计算的主要依据。

5. 密封性

密封性能的好坏是关系到容器能否长期安全运行的关键问题之一，特别是石油化工容器内的物料很多是易燃易爆或有毒物质，一旦带压泄漏出来，轻者造成物料损失，重者使操作人员中毒、发生燃烧爆炸、导致装置停产，使生命财产遭到巨大损失。对于负压容器，如果密封出问题，使得外界空气漏入设备内，同样会造成燃烧、爆炸、人身伤亡和装置停产。

密封性无论对于高压、中低压或常压容器都同样十分重要，为此应根据容器的操作条件（温度、压力、介质的腐蚀性和相态变化等）正确决定密封结构，经济合理地选择密封材料，以保证各类容器在可靠的密封性能下安全、稳定、长周期运行。

（二）可靠性

容器在设定的条件和设定的运行周期内，完成规定功能的能力叫可靠性。用于石油化工行业的压力容器，在设定的温度、压力和介质条件下长期运行，且容器内介质多为易燃、易爆、有毒甚至剧毒，因此对其可靠性有较高的要求。容器应从选材、结构设计、加工制造等诸方面保证其有足够的可靠性。

（三）安全性

产品在制造和使用过程中保证人身和环境免遭危害的程度叫产品的安全性。用于石油化工行业的压力容器，多在一定的温度和压力下操作运行。随着生产的发展和技术的进步，其操作工艺条件向高温、高压及低温发展，工作介质种类繁多，且具有易燃、易爆、剧毒、腐蚀等特征。危险性更为显著，一旦发生破裂甚或爆炸事故，就会危及人身安全、造成财产损

失、影响环境等灾难性后果。

压力容器内为处于压缩状态的气体介质，如因容器破裂而在瞬间降压膨胀，产生极大的能量；容器内若为液化气或工作温度高于当地大气压力下沸点介质，如容器发生破裂，则容器内介质将从工作压力迅速降至大气压力，使原来处于饱和状态的液体沸腾汽化，体积急剧膨胀，发生爆沸，比压缩气体膨胀产生的能量更大。

无论是压缩气体的膨胀还是饱和液体的爆沸毕竟是单纯的物理过程，而更为严重的是紧随其后的可能发生的着火和化学爆炸。石油化工行业工质大多为可燃易爆介质，一旦释放到大气中遇氧引起燃烧甚至爆炸。

压力容器发生破裂、爆炸事故的主要原因，一是存在较严重的先天性缺陷，即设计结构不合理、选材不当、强度不足、粗制滥造；二是使用管理不善，即操作失误、超温、超压、超负荷运行、失检、失修、安全装置失灵等。因此，压力容器安全涉及容器设计、制造、安装、使用管理、检验、修理、改造等各个方面。

安全可靠性是压力容器的首要问题。压力容器爆炸事故破坏力大、波及面广、伤亡严重、损失惊人，教训极为深刻。目前在工业发达国家，压力容器事故虽然基本上得到控制，但由于压力容器使用范围不断扩大，很多大型压力容器在其苛刻的条件下操作，人们已有的知识与经验显得不足，压力容器仍潜伏着产生恶性事故的危险，因而压力容器的安全问题至今仍是这些国家设计、制造、使用、监察等各方面关心的问题。目前世界各国正在加强对压力容器安全工程技术、可靠性工程技术和失效分析技术的科学研究，采用安全系统工程理论和方法全面分析、评价以及消除系统中存在的缺陷，隐患及危险性，最终实现压力容器的可靠和安全运行。

(四) 耐久性

耐久性是指容器所要求的使用年限，即“使用寿命”。它和强度、刚度和稳定性一样，是评定容器性能的重要标志。严格地说，容器只有在设计规定的使用条件下完成规定功能所保证的工作总时间(不应包括装置停工检修时间)才是设计寿命。如果容器超负荷运行或经常在超过规定的设计参数下操作，使用寿命将会缩短；反之，容器若在低负荷或低于规定的操作参数下运行，一般来说可使寿命延长。

耐久性大多决定腐蚀情况，但对于长期在高温条件下操作的容器，温度、压力波动较大，反复加压、泄压或呈现周期性变化的容器，及其有相对运动或承受周期性强迫振动的容器及构件，还应考虑蠕变、疲劳、振动及磨损等因素。按照常规设计方法，应先根据强度或稳定性计算出壁厚然后加上一定的腐蚀裕量，所加腐蚀裕量的大小则由容器工作状态下介质的腐蚀强弱、选用材料抗均匀腐蚀能力的高低(年腐蚀率)和设计要求的使用寿命来确定。腐蚀裕量大，则使用寿命长；但是鉴于现代生产技术快速发展，设备更新周期不断缩短，综合考虑生产效益，实际上不宜把使用寿命定得过长。一般情况下，压力容器的设计寿命为10年，对于高压容器，考虑到加工难度大、制造成本高，壳体部分可定为20~25年，器内构件可以不断改进或更换。当然，如果容器运行使用、日常维护和保养以及定常检验良好，容器的实际使用寿命将会比设计使用年限长得多。

(五) 经济性

容器寿命周期的总费用叫容器的经济性。容器从设计、制造、安装、使用直至报废的整个期限称为容器寿命周期。容器在整个寿命周期内所需的一切费用，包括容器制造费、安装费、运行费和维修费。

容器在结构设计上应力求最少的材料消耗和便于制造。尽量采用标准设计和标准部件,从而提高设计质量和速度,降低制造成本,缩短制造周期。容器设计与制造应考虑安装、维护和检修的方便,其结构尺寸、形状、重量要符合铁路、公路或水路运输的规定。

提高容器的自动化装备水平可以大大地简化操作,采用节能降耗新技术,降低运行成本。

第三节 容器分类

压力容器的种类很多,分类方法也各异,为了便于技术管理和监督检查,一般按下列分类方法,把种类繁多的容器根据其相近的共同性质加以划分,归纳整理成为各种类型。

(一) 按压力分类

按容器承受压力(p)的数值和容器壳体的承压状况可分为内压和外压容器两种。

(1) 内压容器:壳体内部承受介质压力或壳体内部压力高于外部压力。

① 低压容器: $0.1\text{MPa} \leq p < 1.6\text{MPa}$;

② 中压容器: $1.6\text{MPa} \leq p < 10\text{MPa}$;

③ 高压容器: $10\text{MPa} \leq p < 100\text{MPa}$;

④ 超高压容器: $p \geq 100\text{MPa}$ 。

(2) 外压容器:壳体外部承受介质压力或壳体内部压力低于外部压力。其中,壳体内部压力 $p < 0.1\text{MPa}$ (即小于一个绝对大气压)的外压容器称为真空容器。

内压容器与外压容器的主要区别在于设计原理不同,内压容器的器壁承受拉应力,壁厚一般根据强度计算确定,而外压容器的器壁承受压应力,在压应力作用下使壳体丧失稳定性成为更加突出的问题(特别对于薄壁容器),故一般按稳定性条件确定壁厚。

(二) 按壁厚分类

工程上以容器外径和内径的比值($K = D_o/D_i$)作为划分薄壁和厚壁容器的界限,即:

① 薄壁容器: $K \leq 1.2$;

② 厚壁容器: $K > 1.2$ 。

薄壁容器的壁厚相对于直径较小,按照旋转壳体薄膜理论,可以认为器壁内呈平面应力状态,且两向应力都是沿壁厚均匀分布;当 K 值越小时,按薄膜理论公式计算的误差越小。而厚壁容器器壁内的应力分布是三向应力状态,且沿壁厚分布不均匀,难以符合薄膜理论,且 K 值越大,工程计算的误差也越大,因此需要另外采用能够反映三向应力状态的方法进行容器设计。

(三) 按《容规》规定分类

如图 1-1 所示,《容规》从安全方面考虑,容器按压力高低、工艺用途、容积和介质特性划分为下列三类(详见《容规》第 6 条):

1. 第一类压力容器

低压容器 $0.1\text{MPa} \leq p < 1.6\text{MPa}$ (不包括第二类、第三类中的低压容器)。

2. 第二类压力容器

(1) 中压容器 $1.6\text{MPa} \leq p < 10\text{MPa}$ (不包括第三类的中压容器);

(2) 介质毒性程度为 I、II 级的低压容器;以及易燃介质、毒性程度为 III 级的低压反应器和低压存储容器;

(3) 低压管壳式余热锅炉和低压搪玻璃压力容器。

3. 第三类压力容器

- (1) 高压容器 $p \geq 10\text{MPa}$;
- (2) 中压容器(仅限毒性程度为极度和高度危害介质);
- (3) 中压储存容器(仅限易燃或毒性程度为中度危害介质,且 pV 乘积大于等于 $10\text{MPa} \cdot \text{m}^3$);
- (4) 中压反应器(仅限易燃或毒性程度为中度危害介质,且 pV 乘积大于等于 $0.5\text{MPa} \cdot \text{m}^3$);
- (5) 低压容器(仅限毒性程度为极度和高度危害介质,且 pV 乘积大于等于 $0.2\text{MPa} \cdot \text{m}^3$);
- (6) 高压、中压管壳式余热锅炉;
- (7) 中压搪玻璃容器;
- (8) 使用强度级别较高(指相应标准中抗拉强度规定值下限大于等于 540MPa)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、[液化气体运输(半挂)车、低温液体运输(半挂)车、永久气体运输(半挂)车]和罐式集装箱(介质为液化气体、低温液体)等;
- (10) 球形储罐(容积大于等于 50m^3);
- (11) 低温液体储存容器(容积大于 5m^3)。

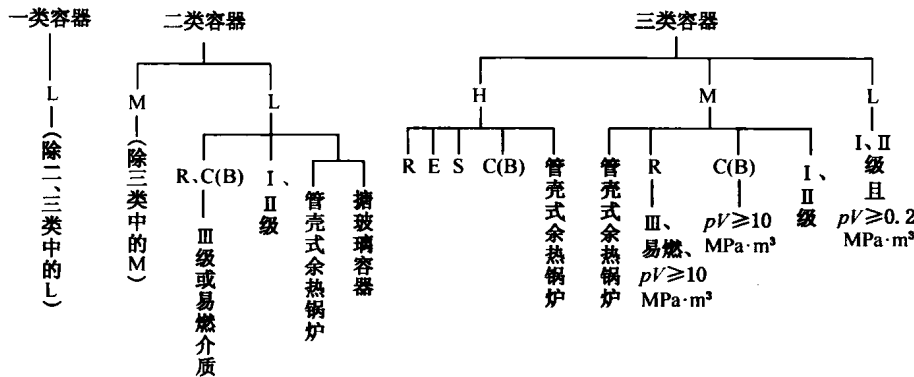


图 1-1 压力容器按《容规》分类

H—高压容器; M—中压容器; R—反应容器; E—换热器;
S—分离容器; C—储存容器; B—球罐; I、II、III—介质毒性程度
为极度、高度、中度危害(见表 1-2); pV —设计压力与容积的乘积

表 1-2 常见职业性接触毒物危害程度分级

级 别	毒 物 名 称
极度危害	汞及其化合物, 砷及其无机化合物, 氯乙烯, 铬酸盐, 重铬酸盐、黄磷, 铍及其化合物, 对硫磷, 碳基镍, 八氟异丁烯, 氯甲醚、锰及其无机化合物, 氰化物, 苯
高度危害	三硝基甲苯、铅及其化合物、二硫化碳、氯、丙烯腈、四氯化碳、硫化氢、甲醛、苯胺、氯化氢、五氯酚及其钠盐, 镉及其化合物, 敌百虫、氯丙烯、钋及其化合物, 溴甲烷, 硫酸二甲酯, 金属镍、甲苯二异氰酸酯、环氧氯丙烷、砷化氢、敌敌畏、光气、氯丁二烯、一氧化碳、硝基苯
中度危害	苯乙烯、甲醇、硝酸、硫酸、盐酸、甲苯、二甲苯、三氯乙烯、二甲基甲酰胺、六氟丙烯、苯酚、氮氧化物
轻度危害	溶剂汽油、丙酮、氯氧化钠、四氯乙烯、氨

注: 非致癌的无机砷化合物除外。

(四) 按作用原理分类

1. 反应压力容器(代号 R)

主要用于完成介质的物理、化学反应的压力容器。例如：反应器、反应釜、聚合釜、高压及超高压釜、合成塔、分解塔、变换炉等等。对于反应压力容器，一般来说，其中的化学反应起主导和决定作用。

2. 换热压力容器(代号 E)

主要用于完成介质的热量交换的容器。例如换热器、冷却器、冷凝器、蒸发器、加热器、蒸压釜、废热锅炉等等。

3. 分离压力容器(代号 S)

主要用于完成介质的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、过滤器、洗涤器、重沸器、再沸器、吸收塔、碱洗塔、分馏塔、萃取塔、干燥塔等等。

4. 储运压力容器(代号 C, 其中球罐代号 B)

主要用于储存、盛装气体、液体、液化气体等介质的压力容器。例如各种形式的储罐、铁路和公路槽车等。

对于“反应压力容器”，一般情况下，器内化学反应起着主导和决定作用，但同时也伴随流体流动、传质传热、物料混合等物理传递过程，且反过来也为化学反应提供了必要条件。对于不同的反应要求，反应器的结构类型多种多样，操作方式也有间歇式操作和连续式操作。为了达到反应条件和反应速度，有的需要较高的温度或压力，有的在反应过程中由于气相物料体积的变化常产生较大的压力波动，对于周期性间歇操作的反应器，壳体器壁受交变应力作用。由于反应器大多是在复杂的化学反应过程和物理传递过程(传热、传质和动量传递等)下长期工作，因此对其安全性、可靠性要求更严格。

对于换热压力容器加分离压力容器，在工艺生产过程中都是用来完成一定的物理过程，前者的主要作用是完成不同介质之间的热交换(有的还同时伴有气液相态变化)，后者则是利用介质之间或物料各组分之间某种不同的物理性质(如沸点、密度、溶解度等)，将处于混合状态下的物质进行组分分离。与反应容器相比，此两类容器的操作条件比较平稳缓和，易满足安全可靠性的要求。

储运压力容器的工作温度和压力一般不会很高，通常使用温度按环境温度考虑，压力按储存介质在最高环境温度下的饱和蒸汽压确定。但是对于石油化工厂，因所储介质大多是易燃、易爆和有毒物质，且容器的设计容量较大，故对其安全性要求较高。

某些情况下，在同一种容器内可能发生两个以上的工艺作用，这时按工艺过程中的主要作用来划分容器所属类别。例如合成氨装置二氧化碳水洗塔，既有冷却原料的换热作用，又有吸收分离二氧化碳的作用，但主要作用是后者，故应属于分离压力容器。又如重沸器，气液分离比之换热作用占据主导位置，一般也将其列入分离压力容器等等。

(五) 按其他方法分类

1. 按制造方法分类

根据壳体制造方法，可分为焊接、铆接、铸造、锻造、多层包扎、热套、绕带式等容器。其中以焊接容器加工方法较为简单和常用，制造成本较低，制造工艺成熟，且质量可靠性大、能满足各种使用要求，因此占据主导地位，得到广泛应用。

2. 按安装方式分类

根据容器安装后轴线所处的位置，分为直立容器(容器轴线垂直于地面)和卧式容器(容

器轴线平行于地面)两种。直立容器通常具有较大的高径比,多数安装于室外,在自重(设备重量以及介质或水压试验时充水重量)、风载荷和地震载荷作用下,对于高径比 $H/D > 5$ 、且高度 $H > 10\text{m}$ 的自承式直立容器的几处危险截面需进行稳定校核计算。同样,卧式容器由于受自重和内部介质等载荷的作用,在壳体的危险截面处也会产生较大的局部应力(周向应力、轴向应力及切向剪应力)。因此由于容器的安装方式所产生的上述问题,在设计容器时都应认真考虑。

3. 按结构分类

根据结构形式可分为单层或多层容器、带衬里容器、夹套容器以及可拆结构容器等。

4. 按形状分类

根据外形可分为圆筒形、球形、圆锥形、椭圆形容器以及组合型容器。以圆筒形容器使用最广。

5. 按结构材料分类

(1) 金属容器

金属容器可分为钢制容器、铸铁制容器、铝制容器、铜制容器、复合钢板容器等。

(2) 非金属容器

非金属容器中有塑料容器、石墨容器、玻璃钢容器等。

6. 按受热方式分类

根据受热方式可分为直接用火焰加热的容器(如烟道式余热锅炉等)与不直接火焰加热的容器。

压力容器的种类繁多,结构形式多种多样,对于多腔式压力容器(如换热器、外夹套容器、内部带有加热或冷却盘管的容器),各腔内的工艺条件存在差异,在划分其类别时一般可按下列原则确定:

(1) 主体结构原则

即以主要结构腔所属的类别作为该容器的类别。例如,对于一般带外夹套容器或带内蛇管式容器,可取其壳体腔的类别作为该容器的类别。此时,对各腔的设计、制造和检验技术要求可以区别对待,也可适当提高对低类腔的要求。

(2) 最高类别原则

即以各腔的最高类别作为该容器的类别。例如,对于一般的列管式换热器,可按其壳程和管程类别较高者来确定换热器的类别。此时,对各腔的设计、制造和检验技术要求可以按其中类别高的考虑,也可各腔区别对待,以及在区别对待的前提下适当提高对低腔的要求。

(3) 各腔的压力、容积、介质的确定

原则上按各自情况分别考虑,在确定容积时,一般不扣除腔内其他构件所占的体积。

对各腔结构、工艺参数、以及重要性等差别较大的压力容器,一般可按“最高类别原则”处理。

第四节 压力容器的质量保证体系

由于压力容器是化工、石油化工、核能、冶金、机械、轻工、食品、纺织、航空、航天以及海洋石油工业中广泛使用的、有爆炸危险的承压设备,所以对承担压力容器的设计,制造、安装、使用、检验、修理、改造,直至判定退役等各有关单位,都必须遵守国家质量技