

摘要

压力容器在石油、化工以及冶金等领域应用广泛，结构虽然简单，但受力情况却很复杂，一旦投入使用就要连续运行，还具有爆炸的危险。随着科学技术的发展，压力容器制造水平越来越高，压力容器涉及多个学科，综合性很强，一台压力容器从参数确定到投入正常使用，要通过很多的环节及相关部门的各类工程技术人员的共同努力才能实现。因此，重视压力容器设计具有重要的意义。本论文简述了压力容器结构标准，主要探讨压力容器设计的一般要求。通过查阅压力容器工艺手册，我们发现压力容器的每个部分都需要确定使用的材料与工艺，不可忽视每一个很小的环节，否则将会有生命的危险。这样多种性的操作特点给压力容器从选材、制造、检验到使用、维护以致管理等诸方面造成了复杂性，因此对压力容器的制造、现场组焊、检验等诸多环节提出了越来越高的要求。

关键词：压力容器 设计要求 结构标准 工艺

目录

摘要	0
目录	1
前言	2
第1章 压力容器	3
1.1 压力容器的结构与分类	3
1.2 压力容器的失效和设计要求	5
1.3 设计参数的规定	5
第2章 容器的选型和选材	6
2.1 筒体的选材及结构	6
2.2 封头的结构及选材	6
第3章 设计计算	7
3.1 筒体壁厚计算	7
3.2 封头壁厚计算	8
3.3 压力试验	8
第4章 容器的开孔及补强	9
4.1 容器的开孔	9
4.2 容器的补强	10
第5章 支座的选择	13
5.1 支座结构和材料的选取	13
5.2 裙座设计	13
5.2.1 座体设计	14
5.2.2 基础环设计	15
5.2.3 螺栓座的设计	15
第6章 容器焊缝标准	16
6.1 压力容器焊接结构设计要求	16
6.2 筒体与椭圆封头的焊接接头	16
6.3 管法兰与接管的焊接接头	17
6.4 接管与壳体的焊接接头	17
参考文献	18

前言

压力容器是一种特殊的焊接结构，它比较容易发生事故且事故的危害较为严重。随着我国改革开放的深入，压力容器的应用范围不断扩大，数量不断增加。在化工、炼油、医药等行业中，压力容器几乎成为生产中的主要设备。设备的增多，随之而来的安全问题，显得非常突出。近年来，国内已经多次发生压力容器爆炸伤人的恶性事故。因此，保证压力容器生产和使用安全，是从事压力容器生产制造、管理以及压力容器使用人员义不容辞的责任和义务。国内外压力容器发生破坏的事故不少，究其原因，基本上可分为两类性质完全不同的破坏方式：一类是超强度破坏，即容器因晶间腐蚀、均匀腐蚀和高温氧化等原因，导致材料强度削弱或壁厚减薄引起的破坏，以及操作失误，致使压力、温度超过极限值引起的破坏。另一类是裂纹扩展破坏，即在正常使用条件或设计条件下，甚至在水压试验时，由于制造和使用中形成的各种裂纹失稳扩展所引起的破坏。

压力容器都是采用传统的方法进行设计。但是，在以往的压力容器设计中，由于对容器各部分的受力以及它们对容器强度的影响，缺乏全面、精确、深刻的了解，因而只能在设计中采用较高的安全系数，以保证压力容器的运行安全。在很长一段时间内，这一设计方法对压力容器设计和技术的发展起着积极的推动作用。由于传统设计方法简单易行，具有丰富的使用经验，各国依然采用它进行一般压力容器的设计。在压力容器建造的初期，产品建造的目的为满足本国相应工业的需求，压力容器的生产技术也是以本国的基本生产条件为基础。生产技术的总结和统一安全质量的要求，使得国家依据自己的生产技术和管理要求制定出了适合于本国国情的相应安全法规和技术标准体系。中国已经加入 WTO，我国的压力容器行业已经不可避免地面临国际市场的激烈竞争。在新形势下，压力容器生产厂家应充分认识自身的优势和不足，改变观念，实行国际压力容器生产的通行做法，使产品早日走出国门。

压力容器设计是指根据给定的工艺设计条件，遵循现行的标准规范的规定，在确保安全的前提下，经济、正确合理地选择材料，并进行结构、强（刚）度和密封设计。

压力容器设计的基本思路：设计参数、容器类别和设计标准的确定、结构型式选择、主体尺寸确定、材料的选择、强度计算（应力分析）、初步设计和施工图设计、容器附件的选择、安全附件的配用、制造、检验和验收的技术条件的编制。

第 1 章 压力容器

1.1 压力容器的结构与分类

化学工业、石油化学工业领域使用的受压设备十分繁多，这些设备的功能及其内、外结构各异，但从强、刚度的角度分析，除个别者外都是受压力载荷的回转壳体，都属于压力容器范畴。压力容器通常由筒体、封头、接管(开孔)、密封件、支座等部分组成。它们又被称为化工设备通用零部件，通常，承压不大的化工设备通用零件大多有已有标准，设计时尽可能直接选用。

为了保证使用的安全性，我国国家质量技术监督局制定及公布了《压力容器安全技术监察规程》(以下简称《容规》)。按照《容规》的要求，根据设计压力的高低、在运行中可能发生危险的程度、所储介质的毒性和易燃等级等把压力容器划分为一、二、三等三个类别。其要点如下。

(1)按设计压力大小容器分为四个等级：

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

中压(代号 M)容器 $1.6\text{MPa} \leq p < 10\text{MPa}$ ；

高压(代号 H)容器 $10\text{MPa} \leq p < 100\text{MPa}$ ；

超高压(代号 U)容器 $p \geq 100\text{MPa}$ 。

(2)按容器在生产工艺过程中的作用原理可分为：

反应压力容器(代号 R)：用于完成介质的物理、化学反应。

换热压力容器(代号 E)：用于完成介质的热量交换。

分离压力容器(代号 S)：用于完成介质的流体压力平衡缓冲和气体净化分离。

储存压力容器(代号 C，其中球罐代号 B)：用于储存、盛装气体、液体、液化气体等介质。

这两种分类方法还不便于对压力容器的分类管理工作。因此，从安全监察的角度，《容规》将压力容器按照其危险性和危害性进行分类，即综合考虑设计压力的高低、容器内介质的危险性大小、反应或作用过程的复杂程度以及一旦发生事故的危害性大小，把它分为三类。

(1)第三类压力容器，具有下列情况之一的，为第三类压力容器：

高压容器；

中压容器(仅限毒性程度为极度和高度危害介质)；

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 $10\text{MPa} \cdot \text{m}^3$)；

中压反应容器（仅限易燃或毒性程度为中度危害介质，且 pV 乘积大于等于 $0.5\text{MPa} \cdot \text{m}^3$ ）；

低压容器（仅限毒性程度为极度和高度危害介质，且乘积大于等于 $0.2\text{MPa} \cdot \text{m}^3$ ）；

高压、中压管壳式余热锅炉；

中压搪玻璃压力容器；

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；

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；

球形储罐（容积大于等于 50m^3 ）；低温液体储存容器（容积大于 5m^3 ）。

低温液体储存容器（容积大于 5m^3 ）

(2)第二类压力容器，具有下列情况之一的，为第二类压力容器：

中压容器；

低压容器（仅限毒性程度为极度和高度危害介质）；

低压反应容器和低压储存容器（仅限易燃介质或毒性程度为中度危害介质）；

低压管壳式余热锅炉；

低压搪玻璃压力容器。

(3)第一类压力容器，除上述规定以外的低压容器为第一类压力容器。

1.2 压力容器的失效和设计要求

压力容器常见的失效现象有以下三大类：过度变形失效（强度失效、刚度失效）、断裂失效、表面损伤失效。压力容器存在多种失效模式，容器设计时必须切实防止各种失效的出现以保障容器的安全。容器设计时按防止各种不同失效所建立的设计准则进行强度或刚度的设计校核。概括的说，压力容器的设计应当以安全为前提，综合考虑质量保证的各个环节，并尽可能做到经济合理。一般先从掌握应力分析的理论基础着手，进入具体问题的设计计算，然后从综合考虑落实到机构设计。

1.3 设计参数的规定

工作压力 (P_w) 指在正常工作情况下，容器顶部可能达到的最高压力。

设计压力 (P) 指设定容器顶部的最高压力，与相应的设计温度一起作为设计载荷条件，其值不得低于工作压力。即 $P \geq P_w$ 。

计算压力 (P_c) 指在相应设计温度下，用以确定元件厚度的压力，其中包括液柱静压力。当元件所承受的液柱静压力小于 5%设计压力时，可忽略不计。故 $P_c \geq P$ ；

试验压力 (P_t) 指压力试验时, 容器顶部的压力。(试验用压力表口设计位置应位于容器顶部)

设计温度 指容器在正常工作情况下, 设定的元件的金属温度(沿元件金属截面的温度平均值)。设计温度与设计压力一起作为设计载荷条件。

试验温度 指压力试验时, 壳体金属的温度。

计算厚度 δ 指按厚度计算公式计算得到的厚度。

设计厚度 δ_d 指计算厚度 (δ) 与腐蚀裕量 (C_2) 之和。即 $\delta_d = \delta + C_2$, 因此 $\delta_d \geq \delta$

名义厚度 δ_n 指设计厚度 (δ_d) 加上钢材厚度负偏差 (C_1) 后向上圆整至钢材标准规格的厚度。即标在图样上的厚度。

$$\delta_n \geq (\delta_d + C_1)$$

有效厚度 δ_e 指名义厚度 (δ_n) 减去腐蚀裕量 (C_2) 和钢材厚度负偏 (C_1)。

$$\begin{aligned}\delta_e &= \delta_n - C_1 - C_2 \\ &= \delta_n - (C_1 + C_2) = \delta_n - C \quad (\text{厚度附加量})\end{aligned}$$

厚度附加量 C 由钢材厚度负偏差 C_1 和腐蚀裕量 C_2 两部分组成。

$$C = C_1 + C_2$$

钢材厚度负偏差 C_1 按钢材标准的规定; 当钢材厚度负偏差不大于 0.25mm, 且不超过名义厚度的 6% 时, 厚度负偏差 C_1 可忽略不计。

腐蚀裕量 C_2 为防止容器元件由于腐蚀、机械磨损而致厚度的削弱减薄, 应考虑腐蚀裕量。对有腐蚀或磨损的零件, 应根据预期的容器寿命和介质对钢材的腐蚀速率而定。

最小厚度 容器在较低内压力作用下, 按厚度计算方法得到的厚度很小, 虽然能满足容器的强度要求, 但刚度不够。为解决刚度问题, GB150 中规定了壳体加工成形后不包括腐蚀裕量的最小厚度:

- 1) 对碳素钢、低合金钢制容器, 不小于 3 mm;
- 2) 对高合金钢制容器, 不小于 2 mm。

因此, 碳素钢和低合金钢制的容器的最小名义厚度应不小于 4 mm。

许用应力 容器使用钢材常用指标是力学性能, 在 D 类容器中, 主要指标是材料的抗拉强度 σ_b 和屈服点 σ_s (或 $\sigma_{0.2}$)。容器使用中达到屈服或断裂时即为破坏, 在实际应用中必须控制容器的材料受力处在安全范围内, 即除以系数 n , n 称为材料许用应力系数 (即是设计安全系数)。

焊接接头系数 焊接接头系数应根据受压元件的焊接接头型式及无损检测的长度比例确定。

第 2 章 容器的选型和选材

2.1 筒体的选材及结构

本设计课题条件：工作温度：45℃；设计温度：50℃；工作压力：0.95 MPa；设计压力：10 MPa；介质：空气； $D_i=2500\text{mm}$ ；总容积：43m³

查相关手册可以判断设计的容器为储存内压压力容器，按《容规》规定， $0.1\text{ MPa} \leq p < 1.6\text{ MPa}$ ；属于低压容器。设计温度为 50℃，在 -20℃~200℃ 条件下工作属于常温容器。

根据空气的物性选择罐体材料，空气的腐蚀性很小，且又属于低压储罐，可以考虑 20R 和 16MnR 这两种钢材。如果纯粹从技术角度看，建议选用 20R 类的低碳钢板，16MnR 钢板的价格虽比 20R 贵，但在制造费用方面，同等重量设备的计价 16MnR 钢板比较经济。所以在此选择 16MnR 钢板作为制造筒体和封头材料。钢板标准号为 GB6654-1996。

筒体结构设计为圆筒形。因为作为容器主体的圆柱形筒体，制造容易，安装内件方便，而且承压能力较好，这类容器应用最广。

2.2 封头的结构及选材

封头有多种形式，半球形封头就单位容积的表面积来说为最小，需要的厚度是同样直径圆筒的二分之一，从受力来看，球形封头是最理想的结构形式，但缺点是深度大，直径小时，整体冲压困难，大直径采用分瓣冲压，其拼焊工作量也较大。椭圆形封头的应力情况不如半球形封头均匀，但对于标准椭圆形封头与厚度相等的筒体连接时，可以达到与筒体等强度。它吸取了蝶形封头深度浅的优点，用冲压法易于成形，制造比球形封头容易，所以选择椭圆形封头，结构由半个椭球面和一圆柱直边段组成。查椭圆形封头标准（JB/T4737-95）

表 2.1 椭圆封头标准

公称直径 DN	曲面高度 h1	直边高度 h2	内表面积 F_i/m^2	容积 V/m^3
2500	673	31	9.5	3.5

封头取与筒体相同材料。

第 3 章 设计计算

$$\delta = \frac{p_c D_i}{2[\sigma]^t \phi - 0.5 p_c}$$

3.1 筒体壁厚计算

查《压力容器材料使用手册-碳钢及合金钢》得 16MnR 的密度为 7.85t/m³，熔点为 1430℃，许用应力 $[\sigma]^t$ 列于下表：

表 3.1 16MnR 许用应力

钢号	板厚/mm	在下列温度（℃）下的许用应力/ Mpa					
		≤20	100	150	200	250	300
16MnR	6~16	170	170	170	170	156	144
	16~36	163	163	163	159	147	134
	36~60	157	157	157	150	138	125
	>60~100	153	153	150	141	128	116

圆筒的计算压力为 0.95 Mpa, 容器筒体的纵向焊接接头和封头的对接接头都采用双面焊或相当于双面焊的全焊透的焊接接头，取焊接接头系数为 0.85, 局部无损探伤。取许用应力为 170 Mpa。

壁厚：10.43mm

式 (3-1)

钢板厚度负偏差 $C_1 = 0.8 \text{ mm}$, 查材料腐蚀手册得 50℃下空气对钢板的腐蚀速率小于 0.05 mm/年，所以双面腐蚀取腐蚀裕量 $C_2 = 2 \text{ mm}$ 。

所以设计厚度为：

式 (3-2)

圆整后取名义厚度 14mm。

3.2 封头壁厚计算

标准椭圆形封头 $a:b=2:1$ ，其中 a、b 分别为椭圆形封头的长半轴和短半轴。
封头计算公式：

式 (3-3)

可见封头厚度近似等于筒体厚度，则取同样厚度。由封头壁厚查标准得标准椭圆形封头的直边高度 $h_2=40\text{mm}$ 。

3.3 压力试验

水压试验，为了避免试验时发生低温脆性破坏，对于 16MnR 钢制容器，其液体的温度不得低于 5°C ；

试验方法：试验时容器顶部应设排气口，充液时应将容器内的空气排尽，试验过程中，应保持容器外表面的干燥。试验时压力应缓慢上升，达到规定试验压力后，保压时间一般不少于 30min。然后将压力降至规定试验压力的 80%，并保持足够长的时间以便对所有焊接接头和连接部位进行检查。如有渗漏，修补后重新试验。

水压试验时的压力

式 (3-4)

$$\text{水压试验的应力校核: } p_t = 1.25 p \frac{[\sigma]}{[\sigma]'} = 1.25 \times 0.85 = 1.06 \text{MPa}$$

水压试验时的应力

式 (3-5)

$$\text{水压试验时的 } \sigma_T = \frac{P_t(D_i + \delta_e)}{2\delta_e\phi} = \frac{1.25 \times 0.85 \times [3200 + (14-1)]}{2 \times (14-1) \times 0.85} = 164.2 \text{Mpa}$$

许用应力为

式 (3-6)

, 故筒体厚 $0.9\phi\sigma_s = 0.9 \times 1 \times 345 = 310.5 \text{MPa}$ 度满足水压试验时的强度要求。

$$\sigma_T < 0.9\phi\sigma_s$$

第 4 章 容器的开孔及补强

4.1 容器的开孔

考虑到容器主要用来空气贮备，应开 7 个孔，包括进气孔、出气孔、安全阀孔、放净气孔、备用孔、压力计孔、人孔。

开孔 N1：接管公称直径为 $\Phi 150\text{mm}$ ，外径为 $\Phi 159\text{mm}$ ，厚度为 4.5mm，接管法兰的标准见 16-17（《化工设备机械基础》华东化工学院出版社出版），法兰直径为 M16，数量为 8 个，法兰重量为 6.12kg。

开孔 N2：出气孔的基本尺寸以及法兰与进气孔相同。接管公称直径为 $\Phi 150\text{mm}$ ，外径为 $\Phi 159\text{mm}$ ，厚度为 4.5mm，接管法兰的标准见 16-17（《化工设备机械基础》华东化工学院出版社出版），法兰直径为 M16，数量为 8 个，法兰重量为 6.12kg。

开孔 N3：接管公称直径为 $\Phi 100\text{mm}$ ，外径为 $\Phi 108\text{mm}$ ，厚度为 4mm，接管法兰的标准见 16-17（《化工设备机械基础》华东化工学院出版社出版），法兰直径为 M16，数量为 8 个，法兰重量为 4.01kg。

开孔 N4：接管公称直径为 $\Phi 50\text{mm}$ ，外径为 $\Phi 57\text{mm}$ ，厚度为 3.5mm，接管法兰的标准见 16-17（《化工设备机械基础》华东化工学院出版社出版），法兰直径为 M16，数量为 4 个，法兰重量为 2.09kg。

开孔 N5：接管公称直径为 $\Phi 50\text{mm}$ ，外径为 $\Phi 57\text{mm}$ ，厚度为 3.5mm，接管法兰的标准见 16-17（《化工设备机械基础》华东化工学院出版社出版），法兰直径为 M16，数量为 4 个，法兰重量为 2.09kg。

开孔 M：接管公称直径为 $\Phi 500\text{mm}$ ，外径为 $\Phi 530\text{mm}$ ，厚度为 9mm，接管法兰的标准见 16-17（《化工设备机械基础》华东化工学院出版社出版），法兰直径为 M22，数量为 20 个，法兰重量为 27.7kg。

开孔 P：接管公称直径为 $\Phi 25\text{mm}$ ，外径为 $\Phi 35\text{mm}$ ，厚度为 3.5mm，接管法兰的标准见 16-17（《化工设备机械基础》华东化工学院出版社出版），法兰直径为 M12，数量为 4 个，法兰重量为 0.89kg。

为了增强容器的强度需验证是否需要补强。

4.2 容器的补强

开孔补强结构：压力容器开孔补强常用的形式可分为补强圈补强、厚壁管补强、整体锻件补强三种。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要
下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/786053145122010111>