

81.18
HHJG

七一查

高压容器設計手冊

化工部化工設備設計專業技術中心站

高压容器设计手册

江苏工业学院图书馆
藏书章

化工部化工设备设计专业技术中心站

1969年4月

内 容 提 要

本手册为从事化工高压容器设计、制造的广大工人及工程技术人员设计时使用，亦可为化工机械与设备专业师生作参考。

本手册除附录外共十二章，较为系统地，全面地叙述了高压容器筒体的结构，密封型式，筒体顶部、端部法兰和封头，温差应力，材料，焊缝系数及焊缝坡口型式，低温和高温容器，设计压力为50至100公斤/厘米²的容器的计算方法、数据和结构。并附有计算实例。对于新型筒体结构和密封型式等亦在附录中加以介绍。

高压容器设计手册

*

化工部化工设备设计技术中心编

(上海南京西路1856号)

内部发行

*

开本 787×1092 毫米 $\frac{1}{18}$ · 印张 $11\frac{2}{3}$

1969年4月上海

定价：1.50 元

“要认真总结经验。”“到一个单位去了解情况，要了解运动的全过程，开始怎样，后来怎样，现在怎样，群众是怎么搞的，领导是怎么搞的，发生过一些什么矛盾和斗争，这些矛盾后来发生了什么变化，人们的认识有什么发展，从中找出规律性的东西。”

“从旧学校培养的学生，多数或大多数是能够同工农兵结合的，有些人并有所发明、创造，不过要在正确路线领导之下，由工农兵给他们以再教育，彻底改变旧思想。这样的知识分子，工农兵是欢迎的。”

“要把一个落后的农业的中国改变成为一个先进的工业化的中国，我们面前的工作是很艰苦的，我们的经验是很不够的。因此，必须善于学习。”

“学习有两种态度。一种是教条主义的态度，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一下，学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我们有益的经验，我们需要的是这样一种态度。”

目 录

序言

第一章 总则

一、范围	1
二、设计压力	1
三、设计温度	1
四、壁厚附加量(壁厚腐蚀裕度)	1
五、压力试验	2

第二章 筒体设计

一、概述	3
二、单层厚板筒体	4
三、层板包扎筒体	9
四、绕带式筒体	13
五、锻造筒体	16
六、扁平钢带筒体	18
七、铸钢筒体	21

第三章 密封设计

一、概述	23
✓ 二、平垫密封	24
三、双锥密封	31
四、卡扎里密封	36
五、伍德密封	44
六、N. E. C 密封	48
七、布里奇曼密封	51
八、三角垫密封	53
九、“O”形环密封	55

第四章 筒体顶部、端部法兰和封头设计

一、概述	56
二、整体锻造法兰计算	56
三、焊接的筒体端部法兰和扁平钢带容器端部法兰强度校核	58
四、筒体端部螺纹法兰计算	58
五、螺纹连接的筒体顶部强度计算	59
六、伍德式密封筒体顶部计算	60
七、N. E. C 密封筒体端部法兰计算	62
八、容器封头设计	63

✓ 第五章 温差应力	
一、概述	67
二、单层圆柱形高压容器的温差应力计算	67
三、组合圆柱形高压容器的温差应力计算	71
第六章 材料	
一、概述	72
二、筒体、层板和内筒用钢板以及钢带材料	72
三、锻件	78
四、铸钢件	80
五、主螺栓和主螺母材料	82
六、焊接材料	83
七、高压容器材料的耐腐蚀问题	85
第七章 焊缝系数及焊缝坡口型式	
第八章 低温高压容器	
一、概述	94
二、材料	94
三、设计和制造中常用规定	96
第九章 高温高压容器设计	
一、在高温高压下长期工作的钢材的选用	97
二、高温高压容器设计计算	98
✓ 第十章 设计压力为 50 到 100kg/cm ² 的容器设计	
第十一章 设计实例	
一、氨分离器壳体设计	107
二、氨合成塔(层板包扎式)壳体设计	118
三、氨合成塔(绕带式)壳体设计	127
✓ 四、需计算温差应力的筒体计算	137
五、定型高压容器的设计参数汇总表	139
六、常用高压容器技术条件	146
第十二章 计算图表	
附录 一、绕板式高压容器	152
二、球形容器	155
三、超高压容器的设计	158
四、“B”形密封环	169
五、金属“O”形环密封	170
六、卡箍	176
✓ 七、开孔设计	179
八、高压容器衬里设计	186
九、爆破压力的计算	201

第一章 总 则

一、范 围

本手册重点编制压力范围为 $100\sim 1000\text{ kg/cm}^2$ ，温度范围为 $-30^{\circ}\text{C}\sim +350^{\circ}\text{C}$ 。对于工作压力为 $50\sim 100\text{ kg/cm}^2$ 及 $1000\sim 3500\text{ kg/cm}^2$ 的容器，以及工作温度在 $+350^{\circ}\text{C}$ 以上及 $-30\sim -60^{\circ}\text{C}$ 的容器，另编章节作补充说明。

二、设计 压 力

① 设计压力为容器全部使用过程中可能出现的最大工作压力，而最大工作压力是由工艺生产过程的技术要求而确定的。

② 使用安全阀时，取最大工作压力的 $1.05\sim 1.10$ 倍为设计压力。

③ 当操作压力由于化学反应等原因而可能引起压力突然上升时，除必须有泄压装置外，还应以最大工作压力的 $1.15\sim 1.30$ 倍为设计压力。

④ 设计压力的选取还必须考虑控制系统的完善程度和灵敏程度。

三、设计 温 度

① 全部使用过程中（包括开车、运行及保温保压）容器器壁可能出现的最高或最低温度取为设计温度。

② 用蒸汽、气体或液体介质加热或冷却的容器取加热介质的最高温度或冷却介质的最低温度为设计温度。

③ 用火焰或电加热的容器：

i. 直接加热容器取容器内介质温度再增加 50°C 为设计温度（但最低不小于 250°C ）。

ii. 间接加热容器取容器介质温度再增加 20°C 为设计温度（但最低不小于 250°C ）。

四、壁厚附加量（壁厚腐蚀裕度）

① 本手册中的计算壁厚是容器的最小壁厚，未考虑腐蚀裕度。

② 壁厚腐蚀裕度按工艺生产介质腐蚀要求选取。

五、压力试验

1. 水压试验

- ① 高压容器制成后应进行水压试验。水压试验压力按下式计算：

$$P_w = 1.3 \left\{ P \frac{[\sigma]_P}{[\sigma]} \times \frac{S}{S-C} \right\}$$

式中： P_w ——容器水压试验压力(kg/cm²)；

P ——容器设计压力(kg/cm²)；

$[\sigma]_P$ ——在试验温度下容器材料的许用应力(kg/cm²)；

$[\sigma]$ ——在设计温度下容器材料的许用应力(kg/cm²)；

S ——容器实际壁厚(cm)；

C ——壁厚附加量(cm)。

- ② 拔制式容器用作贮瓶时水压试验压力应为设计压力的 1.5 倍。

③ 水压试验时在试验压力下，容器上所有元件的计算应力不得超过该元件材料常温屈服限的 90%，否则应增加元件的厚度或换用强度更高的材料。

2. 气压试验

① 当容器或支承结构的设计不适于灌水，或者容器内部不易干燥，而生产中又不允许留下液体时，可进行气压试验。

- ② 气压试验压力按下式计算：

$$P_g = 1.25 \left\{ P \frac{[\sigma]_P}{[\sigma]} \times \frac{S}{S-C} \right\}$$

式中： P_g ——容器气压试验压力(kg/cm²)；

其它符号同上。

③ 气压试验时在试验压力下，容器上所有元件材料的计算应力不得超过该材料常温屈服限的 90% 否则应增加元件的厚度或换用强度更高的材料。

3. 验证性水压试验

① 凡容器或其部件强度不能准确地计算时，其最高许用工作压力由验证性水压试验来决定。

② 在升压过程中用应变测定或脆性涂料等方法来决定容器产生明显屈服时的试验压力。

③ 在验证性水压试验时测得容器筒体产生明显屈服时的试验压力后，按下式决定容器最高工作压力：

$$P = \frac{1}{1.65} P_s \times \left(\frac{S-C}{S} \right) \times \frac{[\sigma]}{[\sigma]_P}$$

式中： P_s ——容器产生明显屈服时的试验压力(kg/cm²)；

P ——容器允许的最高工作压力(kg/cm²)；

其它符号同前。

第二章 筒 体 设 计

一、概 述

高压容器是高压工业中的关键设备，因而对其材料、设计和制造都有严格的要求，一般应满足下列条件：

- ① 在工作条件下安全可靠(包括高压、高温以及有腐蚀介质存在的情况)。
- ② 结构简单、便于制造。
- ③ 能长期连续使用。

随着我国社会主义建设的飞速发展，大量新兴工业的出现，高压容器得到了越来越广泛的应用，几年来已使用的结构有：多层卷板式、锻造式、铸钢容器、单层卷板、瓦片式、无缝钢管式、绕带容器以及扁平钢带容器。此外正在研究试制的有绕板容器，双层热套容器，球形容器以及自增强容器等。

容器结构的正确选择和设计是一个相当复杂的问题，不仅决定于设备制造厂的生产能力和操作条件，同时还要保证运行中的安全性。因此在结构选择时，必须对机械制造和冶金技术水平、生产规模以及制造该种容器的技术经济指标是否先进等因素作全面的综合分析。

根据我国目前高压容器的制造、使用和科学研究水平，在选择和设计容器结构时应注意下列各点：

① 多层卷板式高压容器

是我国生产历史最长，目前生产能力最大的一种结构，制造经验比较成熟，只要起重能力满足要求，就能迅速组织生产，其突出的优点是所需设备简单。这种结构通常用于内径从 $\phi 500$ 到 $\phi 1400$ mm，压力在 200 kg/cm^2 以上，温度在 -30°C 到 $+350^\circ\text{C}$ 的高压容器。

② 铸钢高压容器

这是我国首创用于高压的一种容器结构。这种容器钢材利用率较高，成本低，而且由于容器的纤维没有方向性，故其筒体受力较好，且可借助于铸造过程中添加合适的合金元素改进钢的机械性能，以提高承载能力，只要采用合适的制造工艺则其质量并不比锻造容器差。但应该指出，由于浇铸技术复杂，容易出现各种缺陷，此外由于受到浇制设备的限制，因此建议用作小直径高压容器。其直径在 $\phi 300 \sim \phi 600$ mm，压力在 350 kg/cm^2 以下，温度在 -30°C 到 200°C 比较合适。

③ 扁平钢带容器

这是我国工人阶级、革命技术人员高举毛泽东思想伟大红旗发扬敢想敢干的革命精神独创出来的一种新型结构。这种结构兼备绕带和多层卷板容器的优点。由于容器材料来源广泛，制造设备简单，一般制造厂均能制造。又因制造方法简单，生产周期短，成

本大大降低，尤其适用于中小型化工机械厂制造高压容器。目前在小型氮肥厂已广泛采用。看来这类结构不仅适于直径 $\phi 500$ mm 以下，压力 350 kg/cm^2 以下，温度 200°C 以下的高压容器，而且也可用来制造大直径的高压容器，目前正在试制 $\phi 1000$ mm 以上的容器。

④ 锻造容器

锻造容器包括整体锻造式和锻焊式两种。这种容器的生产一般应具有大型锻压和热处理设备，并须掌握大型锻件的锻造技术。通常内径在 $\phi 800$ mm 以下，长 12 米以下的高压容器都以整体锻造为主。整体锻造容器与其他各种类型高压容器相比消耗材料最多，当需要采用耐腐蚀材料时，为避免消耗大量昂贵的合金材料，应采用衬里或堆焊的结构。根据目前的生产使用情况，建议用于内径在 $\phi 800$ mm 以下的容器。

⑤ 绕带式高压容器

是近几年来才开始制造的高压容器。无论结构上，材料使用上，经济上都属比较先进。制造过程大部分为机械化，生产效率高适于成批生产，一般作为 $\phi 800$ mm 以上， 350°C 以下， 200 kg/cm^2 以上的高压容器比较经济合理。

⑥ 单层卷焊及瓦片式高压容器

通常这类容器的生产受到卷板机能力、热处理设备以及钢板厚度的限制，只要上述条件许可则这类容器的生产可广泛采用。因其生产率高，工序少，制造较简单，自动化程度高，因而成本低廉，特别在我国已经采用了筒节的喷淋淬火技术可以提高材料的强度，其使用范围将更广。一般可用作直径 $\phi 400$ 到 $\phi 1800$ mm，压力为 $100 \sim 1000 \text{ kg/cm}^2$ 的高压容器。

⑦ 无缝钢管容器

此种容器只要在现成的钢管两端焊上顶底盖即成高压容器，因而制造特别简单，其规格随无缝钢管而定，一般推荐作为小型高压容器。

⑧ 筒体内径尺寸的选择

筒体的内径主要取决于使用部门的工艺需要，但是为适应高压容器日益增多的需要尽量简化容器的设计、生产，以及考虑选用的方便，根据我国目前生产使用情况推荐如下系列(无缝钢管式容器直径系列见表 2-1)：

$\phi 100, \phi 200, \phi 300, \phi 400, \phi 500, \phi 600, \phi 700, \phi 800, \phi 1000, \phi 1200, \phi 1400, \phi 1600, \phi 1800, \phi 2000$ mm。

注：国内曾设计生产过内径为 $\phi 430, \phi 450, \phi 1300$ mm 的高压容器。

二、单层厚板筒体

单层厚板筒体有如下三种结构型式：

(1) 单层卷焊式

这种型式的筒体是将厚钢板在卷板机上卷成圆筒，然后焊接纵缝构成筒节，最后通过焊接环缝将筒节与筒节以及筒节与筒体顶底部或封头组装成单层卷焊式高压容器。

焊接的方法有手工焊、自动焊和电渣焊，可以由各制造厂根据条件决定。一般纵焊

缝往往采用自动焊或电渣焊，环焊缝则往往采用自动焊。

这种型式的容器生产率高、工序少、制造较简单，自动化生产程度高。同时，由于可对焊完纵缝的筒节进行喷淋淬火提高材料的强度，所以目前已被逐渐推广使用。但是它要求大型卷板机和热处理设备。同时，还要求供应优质的厚钢板。

建议使用范围为：

- ① 容器内径为 $\phi 400 \sim \phi 1800$ mm。
- ✓ ② 压力由 $100 \sim 1000$ kg/cm²。
- ✓ ③ 各种温度范围(低温、常温和高温)。
- ✓ ④ 容器壁厚不超过 110 mm。

(2) 单层瓦片式

这种型式的筒体与单层卷焊式筒体的不同在于构成筒节的方法不同。它是由水压机将厚钢板压成圆弧形板坯(瓦片状)，通过二条以上纵焊缝的焊接构成筒节。这种结构只有在卷板机能力不够，且具有水压机设备时才采用。它的制造方法比单层卷焊式复杂，工夹具多，费时，费料。

建议使用范围为：

- ① 容器内径为 $\phi 400 \sim \phi 1800$ mm。
- ② 压力为 $100 \sim 1000$ kg/cm²。
- ③ 各种温度范围(低温、常温和高温)。
- ④ 容器壁厚视水压机能力和钢板供应情况而定。

(3) 无缝钢管式

这种型式就是将无缝钢管作为筒节，两端与筒体顶底部或封头焊接而形成无缝钢管式高压容器。这种容器制造简单，生产周期短，在我国小型化肥厂已广泛采用，但是由于无缝钢管规格的限制，仅用于小直径容器。

使用范围由无缝钢管规格而定，见表 2-1。

表 2-1 无缝钢管筒体推荐尺寸

外径×壁厚 mm	K 值 范 围	外径×壁厚 mm	K 值 范 围
$\phi 168 \times 8 \sim 18$	1.15 ~ 1.38	$\phi 245 \times 9 \sim 16$	1.08 ~ 1.15
($\phi 173 \times 18 \sim 25$)	1.26 ~ 1.41	($\phi 252 \times 16 \sim 40$)	1.15 ~ 1.47
$\phi 180 \times 8 \sim 16$	1.10 ~ 1.24	$\phi 273 \times 10 \sim 16$	1.08 ~ 1.13
($\phi 185 \times 16 \sim 28$)	1.21 ~ 1.44	($\phi 282 \times 16 \sim 40$)	1.13 ~ 1.39
($\phi 194 \times 8 \sim 16$)	1.09 ~ 1.2	$\phi 299 \times 10 \sim 16$	1.07 ~ 1.12
($\phi 200 \times 16 \sim 30$)	1.19 ~ 1.43	($\phi 308 \times 16 \sim 40$)	1.12 ~ 1.35
$\phi 219 \times 8 \sim 16$	1.08 ~ 1.17	$\phi 325 \times 10 \sim 16$	1.07 ~ 1.11
($\phi 225 \times 16 \sim 30$)	1.17 ~ 1.37	($336 \times 16 \sim 40$)	1.10 ~ 1.33

注：有括号者，为非标准。

以上三种结构型式的筒体顶底部可以是锻件，也可以是铸件。顶底盖可以是冲压球盖，也可以是锻造或铸钢盖。

单层厚板高压容器可以用于 1000 kg/cm^2 压力以下，它可以用作 $-30 \sim +350^\circ\text{C}$ 高压容器，或用作低温或高温高压容器。

对于腐蚀性介质，若采用单层高压容器，则全部壁厚都要求采用耐腐蚀材料，经济上很不合理，这时最好采用衬里结构，复合钢板或组合式容器。

1. 材 料

(1) 选材原则

- ① 必须选用平炉、电炉或氧气顶吹转炉冶炼的镇静钢。
- ② 材料应具有良好的塑性和冲击韧性，一般要求延伸率 $\delta_5 \geq 15\%$ 。
- ③ 材料应具有良好的可焊性。
- ④ 用于腐蚀性介质场合材料要满足耐腐蚀要求。

(2) 推荐材料

- ① 单层卷焊式及瓦片式：

20R、16MnR、15MnVR、15MnV*、12Cr3MoA**、20Cr3NiMoA**、15MnTi(须经正火处理)、18MnMoNb、14MnMoVg、14MnMoVRe、14CrMnMoVB。

- ② 无缝钢管式：

20、16Mn、09Mn2。

2. 设 计 计 算

高压容器极大部分是受内压的容器。在内压作用下，容器内表面所受应力为最大，外表面所受应力为最小，所以一般设计计算时以内壁应力为基准。但在有温差存在时，也可能在外表面上出现最大应力，这时就必须以外壁应力为基准。

通常，要求容器在材料弹性极限以下工作，筒体内表面不允许屈服。较多的试验证明采用第四强度理论进行计算比较符合实际，所以在进行强度计算时，建议采用第四强度理论公式。由于在 K 值较小时，各种公式计算值相差不多，而其中中径公式计算比较简单，在 $K=1.15$ 时中径公式计算值和第四强度理论公式计算的应力值相近， $K < 1.15$ 以下用中径公式略大一点，所以建议 $K \leq 1.15$ 时采用中径公式。

(1) 只受内压作用的容器强度计算

$K \leq 1.15$ ：

$$\sigma = \frac{P(D_i + S)}{2S} \leq [\sigma] \varphi$$

或者

$$S \geq \frac{PD_i}{2[\sigma]\varphi - P}$$

注：1. 有 * 者为代用材料，其他各节相同。

2. 有 ** 者为高温耐氢腐蚀场合使用，其他各节相同。

式中: σ ——受内压作用容器内壁应力(kg/cm²);
 P ——设计压力(kg/cm²);
 D_i ——筒体内径(cm);
 S ——筒体壁厚(cm);
 φ ——焊缝系数, 见第七章;
 $[\sigma]$ ——许用应力(kg/cm²).

$K > 1.15$;

$$\sigma = \frac{\sqrt{3} P K^2}{K^2 - 1} \leq [\sigma] \varphi$$

或者

$$S \geq \frac{D_i}{2} \left(\sqrt{\frac{[\sigma] \varphi}{[\sigma] \varphi - \sqrt{3} P}} - 1 \right)$$

式中: K ——筒体外径与内径之比值 $K = \frac{D_o}{D_i}$;
 D_o ——筒体外径(cm).

(2) 内压和温差同时存在的容器强度计算

① 内加热容器: 首先按只受内压作用的容器计算出壁厚, 然后按下式校核外壁应力:

$$\sigma_{\theta 0} = \sqrt{(\Sigma \sigma_{t 0})^2 + (\Sigma \sigma_{z 0})^2 - (\Sigma \sigma_{t 0})(\Sigma \sigma_{z 0})} \leq \sigma_t$$

式中: $\Sigma \sigma_{t 0} = \sigma_{t 0}^P + \sigma_{t 0}^T = \frac{2P}{K^2 - 1} + \sigma_{t 0}^T$;

$$\Sigma \sigma_{z 0} = \sigma_{z 0}^P + \sigma_{z 0}^T = \frac{P}{K^2 - 1} + \sigma_{z 0}^T$$

$\sigma_{\theta 0}$ ——容器外壁最大综合应力(kg/cm²);

$\Sigma \sigma_{t 0}$ ——容器外壁切向总应力(kg/cm²);

$\Sigma \sigma_{z 0}$ ——容器外壁轴向总应力(kg/cm²);

$\sigma_{t 0}^P$ ——只受内压作用时容器外壁切向应力(kg/cm²);

$\sigma_{z 0}^P$ ——只受内压作用时容器外壁轴向应力(kg/cm²);

$\sigma_{t 0}^T$ ——容器外壁的切向温差应力(kg/cm²)(见第五章);

$\sigma_{z 0}^T$ ——容器外壁的轴向温差应力(kg/cm²)(见第五章);

如果不满足要求则应增大壁厚再行校核, 直到满足要求为止。

校核外壁应力还可采用下述简化式:

$$\sigma_{\theta 0} = \sigma_0^P + \sigma_0^T \leq \sigma_t$$

式中: $\sigma_0^P = \frac{\sqrt{3} P}{K^2 - 1}$, $\sigma_0^T = \sigma_{t 0}^T = \sigma_{z 0}^T$;

σ_0^P ——只受内压作用的容器外壁应力(kg/cm²);

σ_0^T ——容器外壁温差应力(kg/cm²);

容器温差应力的计算方法见第五章。

② 外加热容器: 首先按只受内压作用的容器计算出壁厚, 适当增大, 然后用下式

校核:

$$\sigma_{\theta i} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\Sigma\sigma_{ti} - \Sigma\sigma_{zi})^2 + (\Sigma\sigma_{zi} - \Sigma\sigma_{ri})^2 + (\Sigma\sigma_{ri} - \Sigma\sigma_{ti})^2]}$$

式中: $\Sigma\sigma_{ti} = \sigma_{ti}^P + \sigma_{ti}^T = \frac{K^2+1}{K^2-1}P + \sigma_{ti}^T$;

$$\Sigma\sigma_{zi} = \sigma_{zi}^P + \sigma_{zi}^T = \frac{P}{K^2-1} + \sigma_{zi}^T$$

$$\Sigma\sigma_{ri} = \sigma_{ri}^P = -P$$

$\Sigma\sigma_{ti}$ ——容器内壁切向总应力(kg/cm²);

$\Sigma\sigma_{zi}$ ——容器内壁轴向总应力(kg/cm²);

$\Sigma\sigma_{ri}$ ——容器内壁径向总应力(kg/cm²).

或采用简化式校核:

$$\sigma_{\theta i} = \sigma_i^P + \sigma_i^T \leq \sigma_s^t$$

式中: σ_i^T ——由于温差存在产生的容器内壁温差应力(kg/cm²);

σ_i^P ——只受内压作用的容器内壁应力(kg/cm²).

如果一次校核, 不满足要求, 则再增大壁厚进行校核, 直到满足要求为止.

温差应力的计算方法见第五章.

3. 许用应力

(1) 安全系数

安全系数的选取是合理设计高压容器的关键之一, 在选取安全系数时应该综合考虑材料的冶炼和容器的设计制造检验水平.

容器在 350°C 以下工作, 材料无明显的蠕变现象, 因此, 只须按强度限和屈服限选取. 奥氏体不锈钢因屈服限很低, 所以就不考虑采用强度限.

根据我国实际经验, 安全系数建议选取下列数值为宜:

钢材(不包括奥氏体不锈钢):

$$n_s = 1.65 \quad n_b = 2.45$$

奥氏体不锈钢:

$$n_s = 1.5$$

(2) 许用应力

材料的许用应力取下列二者最小值:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_b}{n_b} \quad [\sigma] = \frac{\sigma_s^t}{n_s}$$

式中: $[\sigma]$ ——材料的许用应力(kg/cm²);

σ_b ——材料常温下最低强度限(kg/cm²);

σ_s^t ——材料工作温度下最低屈服限(kg/cm²);

n_b ——对强度限的安全系数;

n_s ——对屈服限的安全系数.

三、层板包扎筒体

层板包扎式筒体一般都是由厚度为 13~20 mm 的优质钢板卷焊成内筒,经热处理和机械加工后,将预先弯成半圆形或瓦片形的厚度为 4~8 mm (我国目前普遍采用 6 mm) 的层板,用钢丝绳扎紧并点焊固定在内筒上,然后松去钢丝绳,焊接纵缝并用砂轮磨平焊缝。以后用同样的方法逐层包扎,直至其层数达到设计要求为止。各层层板由于钢丝绳的扎紧并靠纵缝焊接后的收缩与内筒组成一个整体的筒节,筒节两端经机械加工车出环焊缝坡口,通过环缝焊接组装成符合设计要求的完整筒体。

主要优缺点与适用范围:

① 在包扎与焊接各层层板时,由于钢丝绳的拉紧及纵焊缝的收缩作用,筒壁内存在预应力,在承受内压时筒壁内应力沿壁厚分布较单层筒体均匀。

② 筒体上各层板的纵焊缝沿圆周均匀分布,即在任何轴向剖面上无二条以上焊缝,即使某层层板的纵缝存在缺陷,也不致延展至其他各层,因此焊缝削弱影响小;同时破坏时无碎片,故安全性高。

③ 制造条件要求不高,所需设备简单,不需大型复杂装置,中小型厂也能制造,层板层数一般不受限制,因此层板包扎式容器适用于压力高,直径大,筒壁较厚的场合。

④ 制造周期长,包扎松紧不易均匀。因层板间总是存在着微量间隙与气膜,传热性能远不如整体的筒节,因此层板包扎式筒体不适用于外加热或利用筒壁进行换热的情况,例如带有加热或冷却夹套的反应釜等。

⑤ 由于在高温的长期作用下,层板中预应力会逐渐减少与消失,因此层板包扎式筒体不宜用于高温场合。环焊缝一般也不作焊后热处理,且环缝探伤较困难,因此其环缝质量不如单层卷焊容器。

一般认为此种结构形式用在直径为 $\phi 500 \sim \phi 1400$ mm,压力 ≥ 200 kg/cm²,温度 $\leq 350^\circ\text{C}$ 的场合比较经济合理,过大的直径和过高压力将使包扎层数太多,在这种情况下多层包扎式并不是最合理的结构。

1. 材 料

(1) 选材原则

① 内筒和层板材料都必须选用电炉、平炉或氧气顶吹转炉冶炼的镇静钢。

② 内筒与层板材料都应具有良好的塑性与冲击韧性,一般要求内筒材料延伸率 $\delta_5 \geq 16\%$,层板材料延伸率 $\delta_5 \geq 14\%$ 。

③ 内筒与层板材料都应具有良好的可焊性,因层板包扎式筒体一般焊后不宜进行热处理,因此不宜选用必须通过焊后热处理方能保证其焊缝与热影响区机械性能的材料作为内筒与层板用材。

④ 内筒与高压介质直接接触,要求材料组织严密,能耐介质腐蚀。层板主要是承受应力,应尽量选用低合金高强度钢作为层板材料。

(2) 推荐材料

内筒: 16MnR、15MnVR、12Cr3MoA**、20Cr3NiMoA、14MnMoVB、20R、15MnTi、16Mn*、15MnV*。

层板: 19gc、16Mngc、15MnVgc、14MnMoVB、16MnR* 20R*、20g、A3R*。

2. 设计计算

层板包扎式筒体在包扎层板时, 靠钢丝索拉紧与焊缝的收缩作用, 使各层间存在有预应力, 内层受到压紧力, 在筒体承受内压时, 由于预应力的作用, 可抵消部分拉应力, 使筒壁内应力较相同条件下的单层筒体分布均匀。因此从理论上讲其壁厚应比相同条件下的单层筒体薄。但因预应力的大小与层板纵缝宽度, 每层层板上纵焊缝数量, 焊接规范、焊接材料、包扎的松紧程度等许多因素有关。根据当前的制造工艺严格控制予应力的大小尚有困难, 因此在设计时尚无法作定量的计算, 设计时一般都不考虑预应力的作用, 采用单层容器强度计算公式进行计算。

(1) 只受内压作用时筒体强度计算

$$K \leq 1.15 \text{ 时: } \sigma = \frac{P(D_i + S)}{2S}$$

$$\text{或者 } S \geq \frac{PD_i}{2[\sigma]\varphi - P}$$

式中: S ——计算筒体壁厚(cm);

P ——设计压力(kg/cm²);

D_i ——筒体内径(cm);

$[\sigma]$ ——许用应力取下列二式中较小者:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s^t}{n_s} \quad \text{或} \quad [\sigma] = \frac{\sigma_b}{n_b};$$

σ_s^t ——材料在设计温度下的屈服限(kg/cm²),

当内筒材料与层板材料不同时采用综合屈服限, 其值由下式计算

$$\sigma_s^t = \frac{S_i}{S_T} \sigma_{st}^t + \frac{S_0}{S_T} \sigma_{s0}^t;$$

S_i ——内筒厚度(cm);

S_T ——筒体总厚度(cm);

S_0 ——层板总厚度(cm);

σ_{st}^t ——内筒材料在设计温度下的屈服限;

σ_{s0}^t ——层板材料在设计温度下的屈服限;

σ_b ——筒体材料在常温下的强度限。当内筒材料与层板材料不同时采用综合强度限, 可由下式计算:

$$\sigma_b = \frac{S_i}{S_T} \sigma_{bt} + \frac{S_0}{S_T} \sigma_{b0} \quad (\text{kg/cm}^2);$$

σ_{bt} ——内筒材料常温强度限(kg/cm²);

σ_{b0} ——层板材料常温强度限(kg/cm²);

n_s ——对屈服限的安全系数, $n_s = 1.65$;

n_b ——对强度限的安全系数, $n_b=2.45$;

φ ——焊缝系数。因层板包扎式筒体的纵焊缝沿壁厚方向是非连续的, 是分散于各层层板中, 因此即使某层层板焊缝中存在缺陷, 也不会延展至其他各层。而且层板系薄板焊接, 质量易保证。因此层板包扎式筒体纵焊缝对筒体强度的削弱较单层卷焊式小, 并且其对筒体的削弱随着层数的增加而减少, 推荐按下列数值选取:

层板层数 n	≤ 6	7~10	11~15	≥ 16
焊缝系数 φ	0.95	0.96	0.97	0.98

$K > 1.15$ 时:

$$\sigma = P \frac{\sqrt{3} K^2}{K^2 - 1} \leq \varphi [\sigma]$$

或者:

$$K = \sqrt{\frac{[\sigma] \varphi}{[\sigma] \varphi - 1.732 P}}$$

$$S = R_i (K - 1)$$

式中: K ——筒体的外径与内径的比值, $K = D_o/D_i$;

P ——设计压力 (kg/cm^2);

S ——筒体壁厚 (cm);

R_i ——筒体内半径 (cm);

$[\sigma]$ ——许用应力, 取法同前 (kg/cm^2);

φ ——焊缝系数, 取法同前。

(2) 温差应力计算

在下列情况下可不考虑温差应力:

① 筒体有良好的保温。

② 壁内外表面温差 $\Delta t \leq 20^\circ\text{C}$ 。

层板包扎式筒体由于其内壁结构不同于单层容器, 所以其温差应力计算方法也不同于单层容器, 但目前尚无精确计算的方法, 层板包扎筒体结构与绕带容器结构相似, 因此推荐绕带容器中计算温差应力的经验公式:

$$\sigma^T = 20 \Delta t$$

式中: σ^T ——温差应力 (kg/cm^2);

Δt ——筒壁内外壁温度差在工作温度 $< 350^\circ\text{C}$ 时可按下列经验公式确定:

在室外无保温时:

$$\Delta t = 0.2 S$$

在室内无保温时:

$$\Delta t = 0.15 S$$

式中: S ——筒体壁厚 (mm)。

(3) 在内压和温差应力同时作用时的强度计算

可按内压单独作用时计算公式算出一个壁厚, 然后按下列公式验算筒体外壁的综合应力, 限制综合应力数值小于许用应力: