

化工设备机械基础

第三册

《化工设备机械基础》编写组编

石油化学工业出版社

化工设备机械基础

第三册

化工设备机械设计

《化工设备机械基础》编写组编

石油化学工业出版社

内 容 提 要

本书叙述化工设备设计中有关的机械基础知识，分为五篇，共二十五章，是根据理论联系实际的原则和由浅入深的安排将化工设备设计时必需的机械基础知识分为制图、工程力学、化工设备材料、机械传动和化工设备机械设计几个方面加以阐述。全书分三册出版。第一册为制图；第二册包括工程力学、化工设备材料和机械传动；第三册为化工设备的机械设计。另附制图习题集一本。

本册为全书的第五篇——化工设备的机械设计。通过讨论四种典型化工设备——容器、列管式换热器、塔设备和反应釜——的机械设计问题，叙述了化工设备各种零部件的结构、设计计算方法或选用方法，还通过设计实例叙述了化工设备设计的原则和步骤等。书中并有例题和复习题以供学习时参考。

本书可供石油化学工业部门厂矿、设计单位的工人、技术人员以及高等院校和“七·二一”工人大学化工工艺专业及化机专业师生参考。

参加本书编写工作的单位有：北京化工学院、天津大学化工系、太原工学院化工系、河北工学院化工系、大连工学院化工系、成都工学院化工系、上海染化十厂、上海化工学院、广东化工学院、河北化工学院和内蒙古工学院化工系。北京石油化工总厂机修厂、天津化工石油设备厂、天津碱厂、南京化工学院也参与了本书的编审工作。

化工设备机械基础

第 三 册

化工设备机械设计

《化工设备机械基础》编写组编

*

石油化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

石油化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 787×1092¹/₁₆，印张15¹/₂，插页4 字数375千字印数1—76,500

1978年2月北京第1版 1978年2月北京第1次印刷

书号 15063·化 233 定价1.75元

目 录

第五篇 化工设备机械设计

第二十二章 容器设计	1
第一节 概 述	1
一、容器的结构	1
二、容器的分类	1
三、容器机械设计的基本要求	2
四、容器零部件的标准化	2
第二节 内压圆筒与球壳的设计	4
一、圆筒在内压作用下的变形与内力	4
二、筒壁拉伸应力 $\sigma_{\text{环}}$ 与 $\sigma_{\text{轴}}$ 的计算	4
三、圆筒壁厚强度计算公式	6
四、设计参数的确定	6
五、压力试验	12
六、最小壁厚	13
七、内压圆筒壁厚表	13
八、内压筒体的边缘应力	16
九、球形容器	17
第三节 外压圆筒的设计	18
一、概 述	18
二、临界压力	19
三、外压圆筒的设计方法	21
四、外压圆筒壁厚表	26
五、外压容器的试压	26
六、加强圈设计	28
第四节 封头设计	32
一、凸形封头	32
二、圆锥形封头	37
三、平板封头	45
四、封头设计小结	48
第五节 法兰联接	48
一、法兰联接的工作情况	49
二、法兰的结构与种类	50
三、法兰密封面的型式及其所用垫片	51

四、法兰标准	52
第六节 容器的支座	58
一、卧式容器的支座	58
二、立式容器的支座	62
第七节 容器的开孔与附件	65
一、容器的开孔与补强	65
二、容器的接口管与凸缘	68
三、人孔、手孔与视镜	70
第八节 容器设计举例	71
复习题	75
第二十三章 列管式换热器的机械设计	76
第一节 概 述	76
一、列管式换热器结构及主要零部件介绍	76
二、列管式换热器分类	76
三、列管式换热器标准简介	77
四、列管式换热器机械设计内容	79
第二节 管子及其与管板的连接	79
一、管 子	79
二、管子在管板上的固定	80
第三节 管板结构	83
一、管子在管板上的排列形式	83
二、管间距	84
三、管板尺寸的确定	85
四、管程的分程及管板与隔板的连接	95
五、管板与壳体的连接结构	97
第四节 折流板、支承板、旁路挡板、拦液板的作用及结构	98
一、折流板	98
二、支承板	102
三、旁路挡板	102
四、拦液板	102
第五节 温差应力	103
一、换热器中的温差应力	103
二、温差应力的补偿	105
三、膨胀节的结构型式、基本参数及计算	107
四、管子拉脱力的计算	112
第六节 管箱与壳程接管	114
一、管 箱	114
二、壳程接管	115
第七节 列管式换热器的机械设计举例	116

第二十四章 塔设备的机械设计	121
第一节 塔体和裙座的机械设计	121
一、塔体壁厚计算	121
二、裙座设计	129
三、塔体与裙座设计举例	137
第二节 板式塔结构设计	149
一、概述	149
二、整块式塔盘结构	151
三、分块式塔盘结构	154
四、接管结构	162
五、除沫装置	164
第三节 填料塔结构设计	167
一、概述	167
二、液体分布装置	168
三、栅板结构	171
四、接管结构	174
第二十五章 反应釜的机械设计	175
第一节 概述	175
一、反应釜的总体结构	175
二、反应釜机械设计的依据	177
三、反应釜机械设计的内容和步骤	177
第二节 反应釜釜体的设计	178
一、概述	178
二、筒体的直径及高度	178
三、夹套的直径及高度	179
四、壁厚的确定	180
五、蛇管的布置	181
六、工艺接管口	184
七、反应釜釜体设计举例	185
第三节 反应釜的搅拌装置	188
一、搅拌器的型式、特点及安装方式	188
二、搅拌轴系	196
三、搅拌附件——挡板和导流筒	202
第四节 反应釜的传动装置	204
一、概述	204
二、电动机的选用	204
三、减速机的选用	206
四、传动装置的机座	209
五、底座设计	212

第五节 反应釜的轴封装置	213
一、概 述	213
二、填料箱密封	213
三、机械密封	218
四、机械密封与填料箱密封的比较	228
附 录	229
附录一 筒体和封头数据	229
附表 1-1 钢制筒体的容积、面积及重量	229
附表 1-2 以内径为公称直径的椭圆形封头的尺寸、内表面积和容积	230
附表 1-3 以内径为公称直径的碳素钢、普通低合金钢、复合钢板制椭圆形 封头的重量	232
附录二 化工设备图面技术要求	233
一、容器技术要求	233
(一)碳素钢及普通低合金钢焊制容器技术要求	233
(二)不锈钢耐酸钢焊制容器技术要求	235
二、换热器技术要求	236
(一)列管式换热器装配图技术要求	236
(二)管板技术要求	237
(三)折流板、支承板技术要求	237
三、塔设备技术要求	237
(一)板式塔装配图技术要求	238
(二)填料塔装配图技术要求	238
四、带有搅拌器的反应釜技术要求	238
(一)反应釜装配图技术要求	238
(二)搅拌轴技术要求	239
(三)搅拌器技术要求	239
(四)填料箱技术要求	240
(五)机械密封技术要求	240

第二十二章 容器设计

第一节 概 述

一、容器的结构

在化工厂中，可以看到许多设备。在这些设备中，有的用来贮存物料，例如各种贮罐、计量罐、高位槽；有的进行物理过程，例如换热器、蒸馏塔、沉降器、过滤器；有的用来进行化学反应，例如缩聚釜、反应器、合成炉。这些设备虽然尺寸大小不一，形状结构不同，内部构件的型式更是多种多样，但是它们都有一个外壳，这个外壳就叫作容器。所以，容器是化工生产所用各种设备外部壳体的总称。

容器一般是由筒体(又称壳体)、封头(又称端盖)、法兰、支座、接口管及人孔、手孔、视镜等组成(图 22-1)。它们统称为化工设备通用零部件。常、低压化工设备通用零部件大都已有标准，设计时可直接选用。

本章主要讨论承受中、低压容器的筒体、封头的设计计算，介绍常、低压化工设备通用零部件标准及其选用方法。

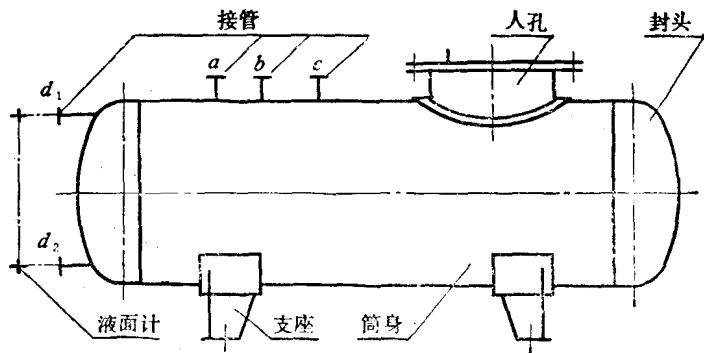


图 22-1 容器的结构

二、容器的分类

(一)容器形状 常见的容器形状主要有三种：

1. 方形或矩形容器 由平板焊成，制造简便，但承压能力差，故只用作小型常压贮槽。
2. 球形容器 由数块弓形板拼焊成。承压能力好，但由于安置内件不便和制造稍难，故一般用作贮罐。
3. 圆筒形容器 它是由圆柱形筒体和各种成型封头(半球形、椭圆形、碟形、锥形)所组成。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，因此这类容器应用最广。

(二)承压性质 按承压性质可将容器分为内压容器与外压容器两类。

当容器内部介质压力大于外界压力时为内压力容器。反之，则为外压力容器。

内压力容器按其所能承受的工作压力，可划分为中、低压容器与高压容器两类。区分它们的压力界线没有统一的规定，习惯上常将设计压力低于 100 公斤/厘米²的称为中、低压容器（习惯上将压力为 100~16 公斤/厘米²的容器称为中压力容器；将压力为 16~0.7 公斤/厘米²的称为低压容器；低于 0.7 公斤/厘米²的称为常压容器），高于 100 公斤/厘米²的称为高压容器。高压容器的选材和制造技术及检验要求较中、低压容器为高。

本章只讨论中、低压容器的设计。

(三) 结构材料 从制造容器所用的材料来看，容器有金属制的和非金属制的两类。

金属容器中，目前应用最多的是用低碳钢和普通低合金钢制的。在腐蚀严重或产品纯度要求高的场合，使用不锈钢、不锈复合钢板或铝制容器。在深冷操作中，可用铜或铜合金。不承压的塔节或容器，可用铸铁。

非金属材料既可作容器的衬里，又可作独立的构件。常用的有硬聚氯乙烯、玻璃钢、不透性石墨、化工搪瓷、化工陶瓷以及砖、板、橡胶衬里。

容器的结构与尺寸，容器的制造与施工，都在很大程度上取决于所选用的材料。不同材料的化工容器有不同的设计规定。

本章只讨论钢制化工容器的设计。

三、容器机械设计的基本要求

容器的总体尺寸(例如反应釜体容积的大小，釜体长度与直径的比例，传热方式及传热面的尺寸；又如蒸馏塔的直径与高度，接口管的数目、方位及尺寸等等)一般是根据工艺生产要求，通过化工工艺计算及生产经验决定。这些尺寸通常被称为设备的工艺尺寸。

当工艺尺寸初步确定以后，就须进行零部件的结构设计。对于容器零部件的结构设计应满足如下要求：

1. 强度 强度就是容器抵抗外力破坏的能力。容器应有足够的强度，以保证安全生产。
2. 刚度 刚度就是构件抵抗外力使其发生变形的能力。刚度必须足够，以防止容器在使用，运输或安装过程中发生不允许的变形。
3. 稳定性 稳定性就是容器或构件在外力作用下维持其原有形状的能力。稳定性也必须足够，以防止容器被压瘪或出现折皱。
4. 耐久性 容器必须保持一定的使用年限。容器的耐久性决定于材料选择的是否适当，防腐措施和施工是否正确以及介质对材料的腐蚀情况。
5. 气密性 承压的或处理有毒介质的容器应有可靠的气密性，以创造良好的劳动环境及维持正常的操作条件。
6. 节约材料和便于制造。
7. 运输、安装、操作及维修均应方便。

四、容器零部件的标准化

为了多快好省地发展我国的社会主义建设事业，为了便于设计，有利于成批生产，提高质量，便于互换，从而降低成本、提高劳动生产率，我国有关部门已制定了一系列容器零部件标准，例如封头、法兰、支座、人孔、手孔以及视镜等。

容器零部件标准化的最基本参数是公称直径与公称压力。

公称直径。对筒身及封头来说，公称直径是指它们的内径。对于管子来说，公称直径既不是它的内径，也不是它的外径，而是与管子外径相近又小于外径的一个数值。只要管子的公称直径一定，管子外径也就确定了，而管子的内径则根据壁厚不同有多种尺寸，它们大都接近管子的公称直径。

压力容器与无缝钢管的公称直径分别列于表 22-1 与表 22-2。

表 22-1 压力容器的公称直径 D_g (毫米)

300	(350)	400	(450)	500	(550)	600	(650)
700	800	900	1000	(1100)	1200	(1300)	1400
(1500)	1600	(1700)	1800	(1900)	2000	(2100)	2200
(2300)	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600
3800	4000						

注：带括号的公称直径应尽量不采用。

表 22-2 无缝钢管的公称直径 D_g 与外径 $d_{外}$ (毫米)

D_g 毫米	10	15	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150	175	200	225	250	300	350	400	450	500
$d_{外}$ 毫米	14	18	25	32	38	45	57	76	89	108	133	159	194	219	245	273	325	377	426	480	530

设计时应将工艺计算初步确定的设备内径，调整为符合表 22-1 所规定的公称直径。当筒身的直径较小，直接采用无缝钢管制作时，容器的公称直径应按表 22-3 选取。这时，容器的公称直径是指钢管的外径。

表 22-3 无缝钢管制作筒体时容器的公称直径 (毫米)

159	219	273	325	377	426
-----	-----	-----	-----	-----	-----

化工厂用来输送水、煤气以及用于采暖的管子往往是采用有缝钢管。这种有缝钢管的公称直径既可用公制(毫米)表示，也可用英制(吋)表示。它们的尺寸系列见表 22-4。

表 22-4 水、煤气输送钢管的公称直径 D_g 与外径 $d_{外}$

D_g	毫米	6	8	10	15	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150
	吋	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	4	5	6
$d_{外}$	毫米	10	13.5	17	21.25	26.75	33.5	42.25	48	60	75.5	88.5	114	140	165

对于法兰来说，它的公称直径是指与它相配的筒体或管子的公称直径。例如所谓公称直径为 200 毫米的管法兰，指的是联接公称直径为 200 毫米管子用的管法兰。所谓公称直径是 1000 毫米的压力容器法兰，指的是联接公称直径是 1000 毫米容器筒体和封头用的法兰。

在制定零部件标准时，只有公称直径这样一个参数是不够的。即使是公称直径相同的筒体，封头或法兰，只要它们的工作压力不相等，那么它们的其他尺寸也就不会一样。所以，还需要把压力容器和管子等零部件所承受的压力，也分成若干个规定的压力等级。这种规定的标准压力等级就是公称压力。表 22-5 给出了压力容器法兰与管法兰的公称压力(以 P_g 表示)。

表 22-5 压力容器法兰与管法兰的公称压力 (公斤/厘米²)

压力容器法兰	—	2.5	—	6	10	16	25	40	64
管法兰	1	2.5	4	6	10	16	25	40	64

设计时如果是选用标准零部件, 则必须将操作温度下的最高工作压力(或设计压力)调整到所规定的某一公称压力等级(调整的方法见第五节), 然后根据 D_g 与 P_g 选定该零件的尺寸。如果零件不选用标准而是自行设计, 那么设计压力就不必符合规定的公称压力。

第二节 内压圆筒与球壳的设计

一、圆筒在内压作用下的变形与内力

圆柱形筒体在内压作用下会发生如下的变形与内力:

1. 圆筒的直径稍有增大。这说明筒壁金属的环向“纤维”被拉长。因此, 在筒壁的纵向截面上必作用有环向拉伸应力 $\sigma_{环}$ 。由于筒壁厚度相对筒体直径很小, 故可近似认为 $\sigma_{环}$ 沿壁厚是均匀分布的。

2. 圆筒的纵向长度稍有伸长。这说明筒壁金属的纵向“纤维”受到拉伸。因此, 在筒壁的环形横截面上产生有轴向拉伸应力 $\sigma_{轴}$ 。这一应力沿壁厚是均匀分布的。

二、筒壁拉伸应力 $\sigma_{环}$ 与 $\sigma_{轴}$ 的计算

计算这两个应力仍采用力学中的截面法。

1. 环向拉伸应力 $\sigma_{环}$ 假想将圆筒沿其轴线从中间剖开, 移走上半个。再在下半个圆筒上截取长度为 l 的一段筒体为讨论对象(图 22-2), 分析它的受力情况可见:

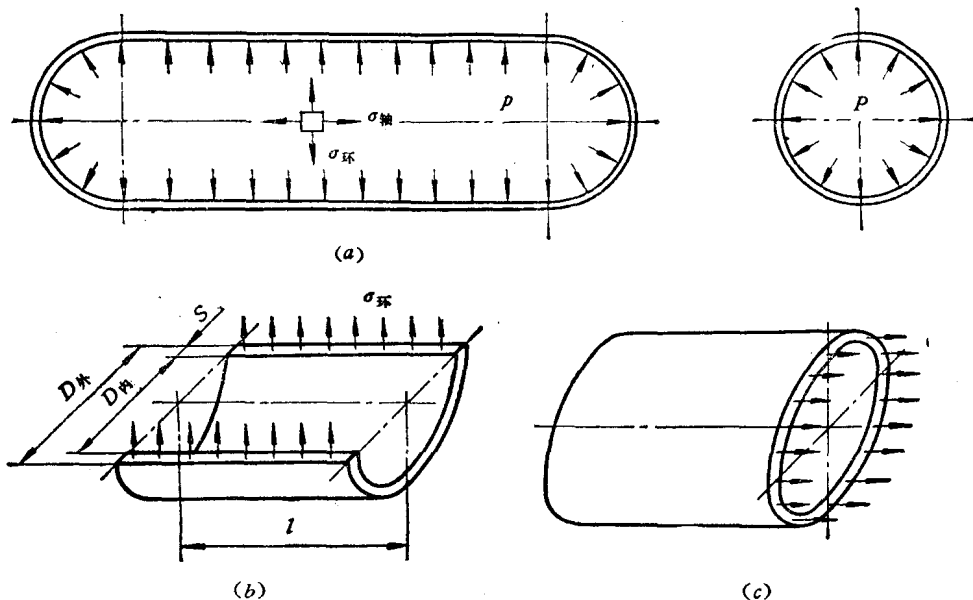


图 22-2 内压圆筒的环向应力与轴向应力

① 作用在这块筒体内表面上的压力 P 使筒体有一向下移动的趋势。内压力的合力 N 垂直向下，其值为（参阅图 22-3）

$$\begin{aligned} N &= \int_0^\pi dN \sin\theta = \int_0^\pi R_{\text{中}} d\theta l \cdot P \cdot \sin\theta \\ &= \int_0^\pi R_{\text{中}} \cdot l \cdot P \sin\theta d\theta \\ &= R_{\text{中}} \cdot l \cdot P \int_0^\pi \sin\theta d\theta \\ &= -R_{\text{中}} \cdot l \cdot P (\cos\pi - \cos 0) \\ &= 2R_{\text{中}} \cdot l \cdot P = D_{\text{中}} \cdot l \cdot P \end{aligned}$$

式中的 $D_{\text{中}} \cdot l$ 是承压曲面在假想切开的纵向剖面上的投影面积。由此可得如下结论：作用在任一曲线上的介质压力，其合力等于压力 P 与该曲面沿合力方向所得投影面积的乘积，而与曲面形状无关。

② 与介质内压力合力 N 相平衡的是作用在筒壁纵向剖面上的内力 T ，其值为

$$T = 2 \cdot S \cdot l \cdot \sigma_{\text{环}}$$

显然应

$$N = T$$

于是

$$D_{\text{中}} \cdot l \cdot P = 2 \cdot S \cdot l \cdot \sigma_{\text{环}}$$

最后得

$$\sigma_{\text{环}} = \frac{PD_{\text{中}}}{2S} \quad (22-1)$$

2. 轴向拉伸应力 $\sigma_{\text{轴}}$ 假想将圆筒沿其横截面切开，移去右半部分（图 22-2），分析左半个圆筒的受力：

作用在封头内表面上的介质内压 P 在轴向的合力 N' ，不管封头形状如何，其值均为：

$$N' = \frac{\pi D_{\text{中}}^2}{4} \cdot P$$

此力由作用在筒壁环形横截面上的内力 T' 所平衡，即

$$T' = \pi D_{\text{中}} \cdot S \cdot \sigma_{\text{轴}} = \frac{\pi D_{\text{中}}^2}{4} \cdot P$$

由此得

$$\sigma_{\text{轴}} = \frac{PD_{\text{中}}}{4S} \quad (22-2)$$

从 $\sigma_{\text{环}}$ 与 $\sigma_{\text{轴}}$ 的计算式可见：

1. 筒体承受内压时，筒壁内所产生的应力是和圆筒的 $\frac{S}{D}$ 成反比，即

$$\sigma_{\text{环}} = \frac{P}{2 \frac{S}{D_{\text{中}}}}$$

$$\sigma_{\text{轴}} = \frac{P}{4 \frac{S}{D_{\text{中}}}}$$

这里， $\frac{S}{D}$ 值的大小体现着圆筒承压能力的高低。看一个圆筒能耐多大压力不能只看它壁厚的

① 由于承压不高的圆筒其壁厚与直径相比很小，对于这类圆筒的受力分析均以中径（即平均直径）为准，故用 $R_{\text{中}}$ 代替 $R_{\text{内}}$ 。

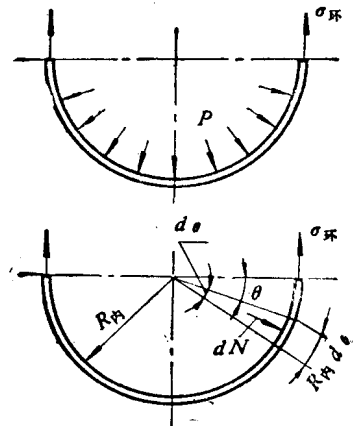


图 22-3 $\sigma_{\text{环}}$ 与 P 的关系

绝对值。

2. $\sigma_{\text{环}}$ 是 $\sigma_{\text{轴}}$ 的两倍。因此，内压圆筒纵向焊缝的强度应高于环向焊缝。当在圆筒上开设椭圆形人孔时，应使其短轴与筒体的纵向一致。

三、圆筒壁厚强度计算公式

为了保证筒体强度，应使筒壁内较大的环向应力不高于材料的许用应力，即

$$\frac{PD_{\text{中}}}{2S} \leq [\sigma] \quad (22-3)$$

式中 $[\sigma]$ ——钢板的许用应力，公斤/厘米²。

容器筒体大多是由钢板卷焊制成。由于在焊缝处往往有夹渣、气孔、未焊透等缺陷；由于在焊接加热过程中，对焊缝周围金属可能产生的不利影响，导致焊缝及其附近金属的强度往往低于钢板本体的强度。因此式 22-3 中钢板的许用应力应该用强度较低的焊缝金属许用应力代替。办法是把钢板的许用应力 $[\sigma]$ 乘以一个焊缝系数 ϕ ， ϕ 值通常小于 1。于是式 22-3 可写成：

$$\frac{PD_{\text{中}}}{2S} \leq [\sigma]\phi$$

一般由工艺条件确定的是圆筒内直径 $D_{\text{内}}$ ，在计算公式中，用内径比用中径方便。为此，将 $D_{\text{中}} = D_{\text{内}} + S$ 代入上式，可得

$$\frac{P(D_{\text{内}} + S)}{2S} \leq [\sigma]\phi$$

解出式中的 S ，并以 S_0 来表示，于是可得内压圆筒的计算壁厚 S_0 ：

$$S_0 = \frac{PD_{\text{内}}}{2[\sigma]\phi - P}$$

考虑到钢板厚度的不均匀，介质对筒壁的腐蚀作用以及热加工的损耗等，在确定钢板所需要的厚度时，还应在计算壁厚 S_0 的基础上增加一个壁厚附加量 C 。于是，内压圆筒壁厚的强度计算公式最后应为

$$S = \frac{PD_{\text{内}}}{2[\sigma]^t \phi - P} + C \quad (22-4)$$

式中 P ——设计压力，公斤/厘米²；
 $D_{\text{内}}$ ——圆筒的内直径，厘米；
 $[\sigma]^t$ ——设计温度 t 下筒体材料的许用应力，公斤/厘米²；
 ϕ ——焊缝系数；
 C ——壁厚附加量，厘米。

应当指出，式 22-4 是基于仅仅考虑介质内压所导出的壁厚计算公式。当容器除承受内压外，还承受较大的其他外部载荷（例如风载、温度应力等）时，式 22-4 往往不能作为确定圆筒壁厚的唯一依据，这时需同时校核其他外载所引起的筒壁应力。

四、设计参数的确定

(一)设计压力 设计压力一般取稍高于最大工作压力：使用安全阀时，取最大工作压力的 1.05~1.1 倍作为设计压力；使用爆破膜作为安全装置时，取最大工作压力的 1.15~1.3

表22-6 钢板选用表

序号	钢号	钢板标准	使用温度范围 °C	说明
1	A3F	GB700-65	0~250	许用压力≤10公斤/厘米 ²
2	A3	YB175-63	0~400	许用压力≤16公斤/厘米 ²
3	A3R	YB536-69	-20~475	
4	20g	GB713-72	-20~475	
5	16Mn	YB13-69	-20~475	许用压力≤16公斤/厘米 ²
6	16MnR	YB536-69	-40~475	-40°C冲击值为3.5公斤·米/厘米 ²
7	15MnVR	YB536-69	-20~500	正火状态可用至-40°C
8	09Mn2VR	YB536-69	下限-70	低温应正火状态使用
9	09MnTiCuRe		下限-70	
10	06MnNb		下限-90	
11	06AlNbCuN		下限-110	
12	18MnMoNbR	YB536-69	0~520	正火加回火状态使用
			-20~520	调质状态使用
13	14MnMoVg	GB713-72	0~520	正火加回火状态使用
			-20~520	调质状态使用
14	12CrMo			
15	15CrMo			
16	12Cr2Mo1			
17	OCr13			退火或高温回火 760~800°C 炉冷
18	OCr18Ni9		-196~700	淬火 1050~1100°C 水冷或空冷
19	OCr18Ni9Ti		-196~700	淬火 1030~1080°C 水冷或空冷
20	1Cr18Ni9Ti		-196~700	淬火 1030~1080°C 水冷或空冷
21	0Cr17Ni13Mo2Ti	YB541-70		淬火 1050~1100°C 水冷或空冷
22	0Cr17Ni13Mo3Ti	YB542-70		淬火 1050~1100°C 水冷或空冷
23	00Cr19Ni10		上限450	淬火 1050~1100°C 水冷或空冷
24	00Cr17Ni14Mo2		上限450	淬火 1050~1100°C 水冷或空冷
25	00Cr17Ni14Mo3		上限450	淬火 1050~1100°C 水冷或空冷
26	Cr23Ni18		上限900	淬火 1080~1130°C 水冷或空冷

注：GB700-65为“普通碳素钢钢号和一般技术条件”。

GB713-72为“制造锅炉用碳素钢及普通低合金钢钢板技术条件”。

YB175-63为“普通碳素钢和低合金钢热轧厚钢板技术条件”。

YB536-69为“压力容器用碳素钢及普通低合金钢热轧厚钢板技术条件”。

YB13-69为“普通低合金结构钢钢号和一般技术条件”。

YB541-70为“不锈、耐酸及耐热不起皮钢薄钢板技术条件”。

YB542-70为“不锈、耐酸及耐热不起皮钢厚钢板技术条件”。

表 22-7 设计压力低于100公斤/厘米²的压力容器筒体壁厚的许用应力

许用应力	安全系数		符 号 意 义
	碳素钢及低合金钢	奥氏体不锈钢	
$[\sigma] = \frac{\sigma_b}{n_b}$	$n_b \geq 3$ ①	—	σ_b ——材料在常温下的强度限(表22-8)
$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n_s}$ $[\sigma] = \frac{\sigma_{s'}^t}{n_s}$	$n_s \geq 1.6$	$n_s \geq 1.5$	$\sigma_s (\sigma_{s'})$ ——材料在常温(或设计温度)下的屈服限(表22-8及表22-9)
$[\sigma] = \frac{\sigma_{D'}^t}{n_D}$	$n_D \geq 1.5$	$n_D \geq 1.5$	$\sigma_{D'}^t$ ——材料在设计温度下(经10万小时断裂)的持久强度限
$[\sigma] = \frac{\sigma_{D'}^{t \min}}{n_{D'}}$	$n_{D'} \geq 1.25$	$n'_{D'} \geq 1.25$	$\sigma_{D'}^{t \min}$ ——材料在设计温度下(经10万小时断裂)的持久强度限最小值
$[\sigma] = \frac{\sigma_{n'}^t}{n_n}$	$n_n \geq 1$	$n_n \geq 1$	$\sigma_{n'}^t$ ——材料在设计温度下(经10万小时蠕变率为1%)的蠕变极限

① 对在一定范围内曾采用较低的安全系数并具有成功使用经验的容器,可按经验数据适当地降低安全系数,用 $n_b \geq 2.7$ 。但对下列情况不宜降低安全系数:
 (1) 用于储存剧毒介质的压力容器;
 (2) 钢材的 $\sigma_s/\sigma_b > 0.75$ 。

表 22-8 碳素钢、低合金钢板机械性能

钢 号	板 厚 毫 米	σ_b 公斤/ 毫米 ²	在下列温度(°C)下的 σ_s ' ($\sigma_{0.2}$ '), 公斤/毫米 ²									在下列温度(°C)下10万小时持久限 $\sigma_{D'}^t$ 公斤/毫米 ²					
			20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	400	425	450	475	500
碳素钢板																	
A3F	≤20	38	24	22	21	20	18.5										
	21~26	38	22	20.5	19.5	18.5	17										
A3	≤20	38	24	22	21	20	18.5	17	15.5	14.5							
	21~40	38	23	21	20	19	17.5	16	15	14							
	42~60	38	22	20.5	19.5	18.5	17	15.5	14.5	13.5							
A3R	6~16	38	24	22	21	20	18.5	17	15.5	14.5	13.5						
	17~36	38	23	21	20	19	17.5	16	15	14	13	17.3	13	9.3	6.2		
	38~60	38	22	20.5	19.5	18.5	17	15.5	14.5	13.5	12.5						
A4	≤20	42	26	24	22.5	21	19.5	18	16.5	15.5							
	21~40	42	25	23	21.5	20.5	19	17.5	16	15							
	42~60	42	24	22	21	20	18.5	17	15.5	14.5							
20g	6~16	41	25	23	22	21	19.5	18	16.5	15.5	14.5						
	17~25	41	24	22	21	20	19	17.5	16	15	14	17.3	13	9.3	6.2		
	26~60	41	23	21	20	19	18	17	15.5	14.5	13.5						

钢号	板厚毫米	σ_b 公斤/毫米 ²	在下列温度(°C)下的 σ_s ¹ ($\sigma_{0.2}$ ¹), 公斤/毫米 ²										在下列温度(°C)下10万小时持久限 σ_D ¹ 公斤/毫米 ²					
			20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	400	425	450	475	500	
低合金钢钢板																		
16Mn	≤16	52	35	32	30.5	28.5	26.5	24.5	23	21.5	20.5		19.1	14.3	10.1	6.5		
	17~25	50	33	30	28.5	27	25	23	21.5	20.5	19.5							
	26~36	48	31	28.5	27	25.5	24	22	20.5	19.5	18.5							
	38~50	48	29	27	25.5	24	22.5	21	19.5	18.5	17.5							
16MnR	6~16	52	35	32	30.5	28.5	26.5	24.5	23	21.5	20.5		19.1	14.3	10.1	6.5		
	17~26	50	33	30	28.5	27	25	23	21.5	20.5	19.5							
	27~36	50	31	28.5	27	25.5	24	22	20.5	19.5	18.5							
	38~60	48	29	27	25.5	24	22.5	21	19.5	18.5	17.5							
15MnVR	6~16	54	40	36.5	34.5	32.5	30.5	28.5	26.5	24.5	23		21.3	15	9.8	5.7		
	17~26	52	38	35	33	31	29	27	25	23.5	22.5							
	27~36	52	36	33.5	31.5	29.5	28	26	24	22.5	21.5							
	38~60	50	34	32	30	28	26.5	24.5	23	21.5	20.5							
												450°C	475°C	500°C	520°C	540°C		
18MnMo-NbR	16~38	65	52	48.5	47	45.5	44.5	43.5	42	40	38	35						
	40~95	65	50	46.5	45	43.5	42.5	41.5	40	38	36	33						
	100~115	60	45	41.5	40	38.5	37.5	36.5	35	33.5	32	30						
14MnMoVg	30~60	65	50	46.5	45	43.5	42.5	41.5	40	38	36	33	27	18	12	10	8	
	65~115	60	45	41.5	40	38.5	37.5	36.5	35	33.5	32	30						
												500°C	520°C	540°C	560°C	580°C	600°C	
12CrMo	≤60	42	26	23.5	22	21	20	19	18	17	16	14	13.5	9.2	6.0			
15CrMo	≤60	45	28	25.5	24	23	22	21	20	19	18	16	14	10.2	7.6	5.4		
12Cr2Mo1	≤60	48	30	27	25.5	24.5	24	23.5	23	22	21	19.5	14.5	11.2	8.6	6.7	5.2	4.1
	65~100	48	28	25.5	24	23	22.5	22	21.5	20.5	19.5	18						

注: 1. 18MnMoNbR 和 14MnMoVg 推荐用于高压容器筒体。
 2. 12CrMo、15CrMo、12Cr2Mo1 三钢种尚未列入冶金部钢板标准。
 3. A4 只作换热器管板。

表 22-9 不锈钢酸钢板机械性能

钢号	板厚 毫米	在下列温度(°C)下的 $\sigma_{0.2}$ ($\sigma_{0.1}$), 公斤/毫米 ²										
		20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
0Cr13	≤25	21	19.2	18.6	18.3	18.1	17.8	17.3	16.5	15.2	13.6	11.4
0Cr18Ni9	≤25	20	16.5	15	14	13	12	11.5	11	10.5	10	9.5
0Cr18Ni9Ti	≤25	21	17.3	15.8	14.5	13.6	12.9	12.4	12.1	11.9	11.7	11.5
1Cr18Ni9Ti	≤25	21	17.3	15.8	14.5	13.6	12.9	12.4	12.1	11.9	11.7	11.5
0Cr17Ni13Mo2Ti	≤25	21	17.8	16.3	15	14.1	13.4	12.9	12.5	12.2	12	11.8
0Cr17Ni13Mo3Ti	≤25	21	17.8	16.3	15	14.1	13.4	12.9	12.5	12.2	12	11.8
00Cr19Ni10	≤25	18	14.5	13.3	12.3	11.5	10.9	10.6	10.3	10		
00Cr17Ni14Mo2	≤25	20	17	15.6	14.5	13.6	12.9	12.4	12	11.6		
00Cr17Ni14Mo3	≤25	20	17	15.6	14.5	13.6	12.9	12.4	12	11.6		
Cr23Ni18	≤25	21	18.7	17.7	16.7	15.9	15.1	14.4	13.8	13.3	12.8	12.4

表 22-10 碳素钢、普低钢钢板许用应力

钢号	板厚 毫米	常温机械性能		在下列温度(°C)下材料的许用应力, 公斤/毫米 ²												
		σ_b 公斤/毫米 ²	σ_s 公斤/毫米 ²	≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	
碳素钢板																
A3F (GB700-65)	≤20	38	24	12.7	12.7	12.7	12.5	11.6								
	21~26	38	24	12.7	12.7	12.2	11.6	10.6								
A3 (GB700-65)	≤20	38	24	12.7	12.7	12.7	12.5	11.6	10.6	9.7	9.1					
	21~40	38	23	12.7	12.7	12.5	11.9	10.9	10	9.4	8.8					
A3R (YB536-69)	6~16	38	24	12.7	12.7	12.7	12.5	11.6	10.6	9.7	9.1	8.7	6.2	4.1		
	17~36	38	23	12.7	12.7	12.5	11.9	10.9	10	9.4	9.8	8.7	6.2	4.1		
20g (GB713-72)	6~16	41	25	13.7	13.7	13.7	13.1	12.2	11.3	10.9	9.7	8.7	6.2	4.1		
	17~25	41	24	13.7	13.7	13.1	12.5	11.9	10.9	10	9.4	8.7	6.2	4.1		
	26~60	41	23	13.7	13.1	12.5	11.9	11.3	10.6	9.7	9.1	8.7	6.2	4.1		
普低钢板																
16Mn (YB13-69)	≤16	52	35	17.3	17.3	17.3	17.3	16.6	15.3	14.4	12.7	9.5	6.7	4.3		
	17~25	50	33	16.7	16.7	16.7	16.7	15.6	14.4	13.4	12.7	9.5	6.7	4.3		
	26~36	48	31	16	16	16	15.9	15	13.8	12.8	12.2	9.5	6.7	4.3		
16MnR (YB533-69)	6~16	52	35	17.3	17.3	17.3	17.3	16.6	15.3	14.4	12.7	9.5	6.7	4.3		
	17~26	50	33	16.7	16.7	16.7	16.7	15.6	14.4	13.4	12.7	9.5	6.7	4.3		
	27~36	50	31	16.7	16.7	16.7	15.9	15	13.8	12.8	12.2	9.5	6.7	4.3		
15MnVR (YB536-69)	6~16	54	40	18	18	18	18	18	17.8	16.6	15.3	14.2	10	6.5	3.8	
	17~26	52	38	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	16.9	15.6	14.7	14.2	10	6.5	3.8	
	27~36	52	36	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	16.2	15	14.1	13.7	10	6.5	3.8	
09Mn2VR	5~20	50	35	16.7	-70°C以上低温用钢, 正火应用											
09MnTiCuRe	≤20	50	35	16.7	-70°C以上低温用钢, 正火应用											
06MnNb	≤20	40	30	13.3	-90°C以上低温用钢, 正火应用											
06AlNbCuN	≤20	40	30	13.3	-110°C以上低温用钢, 正火应用(或水淬+正火)											