

ICS 23.020.10

J 74



# 中华人民共和国行业标准

NB/T 47003.1—2009

部分代替 JB/T 4735—1997

## 钢制焊接常压容器

Steel welded atmospheric pressure vessels



2009-12-01 发布

2010-05-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	3
4 总则 .....	4
5 材料 .....	9
6 基本结构元件 .....	19
7 立式圆筒形容器 .....	42
8 矩形容器 .....	57
9 制造、检验与验收 .....	74
附录 A (资料性附录) 钢材在不同温度下的性能 .....	85

## 前 言

JB/T 4735 分为两个部分：

—— JB/T 4735.1：钢制焊接压力容器；

—— JB/T 4735.2：固体料仓。

本部分与 JB/T 4735—1997 相比，主要变化如下：

—— 在修订了碳素钢、低合金钢、铁素体高合金钢的安全系数，将钢材标准抗拉强度下限值的安全系数由 2.5 降为 2.4；

—— 对第 4 章的最小厚度和计算厚度的定义进行了修订；压力试验中增加气压试验；压力试验时的应力校核进行了修订；

—— 第 5 章根据钢材标准的变动，相应的增加钢号；增加螺柱、螺母用钢钢号；增加型钢许用应力；增加焊接材料；

—— 将原标准的第 5 章“内压圆筒”、第 6 章“外压圆筒与外压球壳”、第 7 章“封头”、第 8 章“平盖”、第 9 章“开孔和开孔补强”、第 10 章“法兰”合并为本部分第 6 章“基本结构元件”；

—— 对第 6 章“基本结构元件”中的“平盖”、“开孔和开孔补强”和“法兰”的部分公式进行了修正；放宽了开孔的范围和直径；

—— 对第 7 章“立式圆筒形容器”的部分公式进行了修正；

—— 对第 8 章“矩形容器”的部分公式进行了修正；

—— 第 9 章增加了矩形容器、气压试验及方法的内容。将气压试验时介质温度修改为应不低于 5℃；

—— 撤消原标准第 12 章“立式圆筒形储罐”、第 14 章“圆筒形料仓”、附录 A“材料的补充规定”、附录 C“立式圆筒形储罐的抗震设计”、附录 D“带肋拱顶的设计”、附录 E“立式圆筒形储罐基础设计的基本要求”、附录 F“储罐 T 型接头、角焊接接头试件制备和检查”、附录 G“结构节点详图”、附录 H“齐平型清扫孔的开孔和开孔补强”。

本部分的附录 A 是资料性附录。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会 (SAC/TC 262) 提出并归口。

本部分负责起草单位：甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司。

本部分参加起草单位：安徽省特种设备检测院、中国石化工程建设公司、中国寰球工程公司、中国石油工程设计公司大连分公司、中国石化集团上海工程有限公司、洛阳石化工程公司、中国特种设备检测研究院、北京市燃气集团有限责任公司特种设备检验所。

本部分主要起草人：刘福录、张勇、严国华、费继增、夏莉、岳国印、赵建新、王文江、冀峰、岳彬、姜英明、沈炳余、朱保国、王万磊、李晓明、李世玉、寿比南、王为国、江枫。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

—— JB/T 4735—1997。

# 钢制焊接常压容器

## 1 范围

1.1 本部分规定了钢制焊接常压容器（以下简称容器）的设计、制造、检验与验收的要求。

常压卧式容器的设计计算按 JB/T 4731《钢制卧式容器》的有关规定，其许用应力值可按本部分 4.6 选取。

1.2 本部分适用的容器范围为：

- a) 圆筒形容器：设计压力大于 - 0.02MPa，小于 0.1MPa，设计温度范围按钢材允许的使用温度确定；
- b) 矩形容器：设计压力为零，设计温度范围按钢材允许的使用温度确定。

1.3 本部分不适用于下列各类容器：

- a) 直接受火焰加热的容器；
- b) 受核辐射的容器；
- c) 盛装毒性为极度或高度危害介质的容器；
- d) 直接埋入地下的容器；
- e) 可升降气柜；
- f) 经常搬运的容器；
- g) 料仓；
- h) 几何容积大于 1000m<sup>3</sup> 的立式圆筒形容器；
- i) 高度大于 10m 且长径比大于 5 的塔式容器。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB 150	钢制压力容器
GB/T 699—1999	优质碳素结构钢
GB/T 700—2006	碳素结构钢 ( GB/T 700-2006, ISO 630:1995, NEQ )
GB/T 711—2008	优质碳素结构钢热轧厚钢板和宽钢带
GB 712—2000	船体用结构钢
GB 713—2008	锅炉和压力容器用钢板
GB 912—2008	碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板及钢带 (GB 912—2008, ISO 4995:2001(E), ISO 4996:1999(E), NEQ)
GB/T 983—1995	不锈钢焊条
GB/T 985.1—2008	气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口 (GB/T

NB/T 47003.1—2009

985.1—2008, ISO 9692-1:2003,MOD)

GB/T 985.2—2008	埋弧焊的推荐坡口(GB/T 985.2—2008, ISO 9692-2:1998,MOD)
GB/T 1220—2007	不锈钢棒
GB/T 1591—2008	低合金高强度结构钢
GB/T 1804—2000	一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差
GB/T 3077—1999	合金结构钢
GB 3087—2008	低中压锅炉用无缝钢管(GB 3087—2008, ISO 9329-1:1989,NEQ)
GB/T 3091—2008	低压流体输送用焊接钢管(GB/T 3091—2008, ISO 559:1991,NEQ)
GB/T 3098.1—2000	紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱
GB/T 3098.2—2000	紧固件机械性能 螺母 粗牙螺纹
GB/T 3274—2007	碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带
GB/T 3280—2007	不锈钢冷轧钢板和钢带
GB/T 4237—2007	不锈钢热轧钢板和钢带
GB/T 4334—2008	金属和合金的腐蚀 不锈钢晶间腐蚀试验方法(GB/T 4334—2008, ISO 3651-1:1998&ISO 3651-2:1998,MOD)
GB/T 4334.6—2000	不锈钢 5%硫酸腐蚀试验方法
GB/T 5117—1995	碳钢焊条
GB/T 5118—1995	低合金钢焊条
GB/T 5293—1999	埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂
GB/T 5779.1—2000	紧固件表面缺陷 螺栓、螺钉和螺柱 一般要求(GB/T 5779.1—2000, ISO 6157-1:1988,IDT)
GB/T 5779.2—2000	紧固件表面缺陷 螺母(GB/T 5779.2—2000, ISO 6157-1:1995,IDT)
GB 6479—2000	高压化肥设备用无缝钢管 ( GB6479-2000,ISO9329-2:1997,NEQ )
GB/T 8162—2008	结构用无缝钢管
GB/T 8163—2008	输送流体用无缝钢管
GB/T 8165—2008	不锈钢复合钢板和钢带
GB/T 9019—2001	压力容器公称直径
GB/T 12470—2003	埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂
GB 13296—2007	锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管
GB/T 14957—1994	熔化焊用钢丝
GB/T 14976—2002	流体输送用不锈钢无缝钢管
GB 50009—2001	建筑结构荷载规范
GB 50011—2001	建筑抗震设计规范
GB 50017—2003	钢结构设计规范
GB 50236—1998	现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范
JB/T 4701	甲型平焊法兰
JB/T 4702	乙型平焊法兰
JB/T 4703	长颈对焊法兰
JB 4708	承压设备焊接工艺评定

JB/T 4709	压力容器焊接规程
JB/T 4710	钢制塔式容器
JB/T 4711	压力容器涂敷与运输包装
JB/T 4712.1	容器支座 第1部分：鞍式支座
JB/T 4712.2	容器支座 第2部分：腿式支座
JB/T 4712.3	容器支座 第3部分：耳式支座
JB/T 4712.4	容器支座 第4部分：支承式支座
JB/T 4726	压力容器用碳素钢和低合金钢锻件
JB/T 4728	压力容器用不锈钢锻件
JB/T 4730.2	承压设备无损检测 第2部分：射线检测
JB/T 4730.3	承压设备无损检测 第3部分：超声检测
JB/T 4731	钢制卧式容器
JB/T 4733.1	压力容器用爆炸焊接复合板 第1部分：不锈钢-钢复合板
JB/T 4733.2	压力容器用爆炸焊接复合板 第2部分：镍-钢复合板
JB/T 4733.3	压力容器用爆炸焊接复合板 第3部分：钛-钢复合板
JB/T 4733.4	压力容器用爆炸焊接复合板 第4部分：铜-钢复合板
JB 4744	钢制压力容器产品焊接试板的力学性能检验
JB/T 4746	钢制压力容器用封头
JB/T 4747	压力容器用钢焊条订货技术条件
SY 5036—1983	承压流体输送用螺旋缝埋弧焊钢管
SY/T 5037—2000	低压流体输送管道用螺旋缝埋弧焊钢管
SY/T 5038—1992	普通流体输送管道用螺旋缝高频焊钢管
HG 20592~20635	铜制管法兰、垫片、紧固件
HG 20660—2000	压力容器化学介质毒性危害和爆炸危险程度分类
HG 21514~21535	钢制人孔和手孔
HG 21594~21604	不锈钢人、手孔
YB/T 5092—2005	焊接用不锈钢丝
锅炉压力容器管道焊工考试与管理规则(2002) 国家质量监督检验检疫总局	

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本部分。

#### 3.1

压力 **pressure**

除注明者外，压力均指表压力。

#### 3.2

工作压力 **operating pressure**

工作压力指在正常工作情况下，容器顶部可能达到的最高压力。

#### 3.3

设计压力 **design pressure**

设计压力指设定的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，其值不低

于工作压力。

外压容器的设计压力，应取不低于在正常工作情况下可能出现在壳壁内外的最大压力差。

### 3.4

#### 计算压力 **calculating pressure**

计算压力指在相应的设计温度下，用以确定容器各部位或元件计算厚度的压力，其值为设计压力与容器各部位或元件所承受的液柱静压力之和。由两室或两个以上容积室组成的容器，如夹套容器，确定计算压力时，应考虑各室之间的最大压力差。

### 3.5

#### 金属温度 **metal temperature**

金属温度指沿容器元件金属截面的温度平均值。

在任何情况下，元件金属的表面温度不得超过钢材允许的使用温度。

### 3.6

#### 设计温度 **design temperature**

设计温度指在正常工作情况下，设定的元件金属温度，其值不得低于元件金属在工作状态下可能出现的最高金属温度，对 0℃以下的金属温度，设计温度不得高于元件金属可能达到的最低温度。

容器设计温度（即标注在容器铭牌上的设计温度）系指壳体的设计温度。

注：对具有多种操作工况的容器，应在图样或相应技术文件中注明各操作工况下相应的设计压力 and 设计温度，并按最苛刻的工况设计。

### 3.7

#### 试验温度 **test temperature**

试验温度指在压力试验时，容器壳体的金属温度。

## 4 总则

### 4.1 通则

容器的设计、制造、检验与验收除应符合本部分的规定外，还应遵守国家颁布的有关法令、法规和规章。

### 4.2 容器的范围

本部分的容器范围系指容器壳体及与其连为整体的零部件，且划定在下列范围内：

#### a) 容器与外部管道连接：

- 1) 焊接连接的第一道环向接头坡口端面；
- 2) 螺纹连接的第一个螺纹接头端面；
- 3) 法兰连接的第一个法兰密封面；
- 4) 专用连接件或管件连接的第一个密封面。

#### b) 接管、人孔、手孔等的成型封头、平盖及其紧固件。

#### c) 容器的支承元件、开孔补强元件及其与壳体的连接焊接接头等。

#### d) 直接安装在容器上的安全泄放装置。

### 4.3 资格与职责

#### 4.3.1 容器的设计、制造单位应具备健全的质量管理体系。

#### 4.3.2 设计单位应对设计文件（一般包括设计计算书和设计图样）的正确性、完整性负责。制

造单位应按照设计图样要求进行容器制造。如需修改原设计，应取得原设计单位的认可。

4.3.3 制造单位的检验部门在容器制造的过程中和完工后，应按本部分规定和设计图样要求，对容器进行各项具体检验和试验，提出检验报告，并对检验报告的准确性和完整性负责。

#### 4.4 载荷

设计时应考虑以下载荷：

- a) 设计压力；
- b) 液柱静压力；
- c) 容器自重（包括内件和填料等）以及在正常工作条件下或试验状态下内装物料（或试压液体）的重力载荷，以及固体粉、粒料导致的摩擦力等；
- d) 附属设备及隔热材料、衬里、管道、扶梯、平台等的自重载荷；
- e) 雪载荷、风载荷及地震载荷；

必要时，还应考虑以下载荷的影响：

- f) 来自支承、连接管道及其他部件引起的作用力；
- g) 由于热膨胀不同引起的作用力；
- h) 运输、安装、维修时，容器承受的作用力。

#### 4.5 厚度

##### 4.5.1 厚度附加量

厚度附加量按式(4-1)确定：

$$C=C_1+C_2 \quad \dots\dots\dots (4-1)$$

式中：

$C$ ——厚度附加量，mm；

$C_1$ ——钢板或钢管的厚度负偏差，按相应钢板或钢管标准选取，mm；

当钢材的厚度负偏差不大于 0.25 mm 且不超过名义厚度的 6% 时，可取  $C_1=0$ ；

$C_2$ ——腐蚀裕量，为弥补容器由于腐蚀、机械磨损而导致厚度减薄的附加量，根据容器的工艺操作要求及所处环境条件确定（除不锈钢外，一般不宜小于 1mm）。

##### 4.5.2 最小厚度

不包括腐蚀裕量的圆筒最小厚度：对碳素钢及低合金钢为 3 mm；对高合金钢为 2 mm。

##### 4.5.3 计算厚度

计算厚度指按各章公式计算所得到的厚度，需要时，尚应计入其他载荷所需厚度（见 4.4）。

##### 4.5.4 设计厚度

设计厚度指以计算厚度与最小厚度二者中较大值与腐蚀裕量之和。

##### 4.5.5 名义厚度

名义厚度指设计厚度加上钢材厚度负偏差后，向上圆整至钢材标准规格的厚度，即标注在图样上的厚度。

当计算厚度小于最小厚度时，其名义厚度可不考虑钢材厚度负偏差。

##### 4.5.6 有效厚度

有效厚度指名义厚度减去腐蚀裕量和钢材厚度负偏差。

4.5.7 容器制造单位应根据制造工艺条件，并考虑板材的实际厚度自行确定加工裕量，以确保

容器产品各部位的实际厚度不小于该部位的名义厚度减去钢材厚度负偏差。

4.6 许用应力

4.6.1 本部分所用材料的许用应力按第 5 章选取。确定许用应力的依据为：钢材（除螺栓材料外）按表 4-1，螺栓材料按表 4-2。

表 4-1 钢材许用应力

材 料	许用应力 取下列各值中的最小值，MPa		
	碳素钢，低合金钢，铁素体高合金钢	$\frac{R_m}{2.4}$	$\frac{R_{eL}}{1.5}$
奥氏体高合金钢	$\frac{R_{eL}}{1.5}$	$\frac{R_{eL}^t}{1.5}$ <sup>a</sup>	
注： $R_m$ —— 钢材标准抗拉强度下限值，MPa； $R_{eL}$ —— 钢材标准常温屈服强度，MPa； $R_{eL}^t$ —— 钢材在设计温度下的屈服强度，MPa。			
<sup>a</sup> 当部件允许有微量永久变形时，可适当提高许用应力，但不得超过 $0.9 R_{eL}^t$ 。此规定不适用于法兰或其他当有微量永久变形就产生泄漏或故障的场合。			

表 4-2 螺栓许用应力

材 料	螺栓直径	热处理状态	许用应力，MPa
碳素钢	≤ M22	热轧、正火	$R_{eL}^t / 2.7$
	M24~M48		$R_{eL}^t / 2.5$
低合金钢 马氏体高合金钢	≤ M22	调 质	$R_{eL}^t / 3.5$
	M24~M48		$R_{eL}^t / 3.0$
	≥ M52		$R_{eL}^t / 2.7$
奥氏体高合金钢	≤ M22	固 溶	$R_{eL}^t / 1.6$
	M24~M48		$R_{eL}^t / 1.5$
注： $R_{eL}^t$ —— 钢材在设计温度下的屈服强度，MPa。			

4.6.2 设计温度低于 20℃时，取 20℃时的许用应力。

4.6.3 不锈钢复合钢板的许用应力

对于覆层与基层结合率达到 JB/T 4733 中 B2 级板以上的复合钢板，在设计计算中，如需计入覆层材料的强度时，其设计温度下的许用应力按式（4-2）确定：

$$[\sigma]^t = \frac{[\sigma]_1^t \delta_1 + [\sigma]_2^t \delta_2}{\delta_1 + \delta_2} \dots\dots\dots (4-2)$$

式中：

$[\sigma]^t$ —— 设计温度下复合钢板的许用应力，MPa；

$[\sigma]_1^t$ ——设计温度下基层钢板的许用应力, MPa;

$[\sigma]_2^t$ ——设计温度下覆层钢板的许用应力, MPa;

$\delta_1$ ——基层钢板的有效厚度, mm;

$\delta_2$ ——覆层材料的有效厚度, mm。

#### 4.6.4 许用轴向压缩应力

圆筒或管子的许用轴向压缩应力取下列两者中的较小值:

a) 设计温度下的材料许用应力(见第5章);

b) 按下列步骤求取的  $B$  值:

1) 按式(4-3)计算  $A$  值:

$$A = \frac{0.094\delta_c}{R_o} \dots\dots\dots (4-3)$$

式中:

$A$ ——系数;

$\delta_c$ ——圆筒或管子的有效厚度, mm;

$R_o$ ——圆筒或管子的外半径, mm。

2) 根据所选材料、设计温度及  $A$  值按 GB 150 图 6-3~图 6-10 查(遇中间温度用内插法)求取  $B$  值。

若  $A$  值落在设计温度下材料线的左方, 则按式(4-4)计算  $B$  值。

$$B = \frac{2}{3} AE^t \dots\dots\dots (4-4)$$

式中:

$B$ ——许用轴向压缩应力, MPa;

$E^t$ ——设计温度下材料的弹性模量, MPa。

#### 4.7 焊接接头系数

4.7.1 本条所列焊接接头系数适用于本部分中各元件的相应计算, 其值根据容器受压部分的接头型式和无损检测要求选取。

4.7.2 双面焊或相当于双面焊的全熔透对接接头:

100%无损检测  $\varphi = 1.0$

局部无损检测  $\varphi = 0.85$

不做无损检测  $\varphi = 0.70$

4.7.3 单面焊的对接接头, 且沿其根部全长具有紧贴基本金属的垫板:

100%无损检测  $\varphi = 0.90$

局部无损检测  $\varphi = 0.80$

不做无损检测  $\varphi = 0.65$

注: 本部分一般不要求 100%无损检测, 但设计需要 100%无损检测且取相应的  $\varphi$  值时则按 GB 150 要求的无损检测合格级别。

4.7.4 单面焊无垫板对接接头:

局部无损检测  $\varphi = 0.70$

不做无损检测  $\varphi = 0.60$

4.8 试验

4.8.1 容器制成后应经压力试验或渗漏试验。试验可做盛(充)水试验、液压试验、气压试验、气密性试验以及煤油渗漏试验等,当无法做液压试验时,可做气压试验,其试验方法及项目应在图样上注明。试验的具体要求见 9.7 的规定。

4.8.2 试验压力:

a) 液压试验:

$$p_T = \begin{cases} 1.25p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} & \text{取两者的较大值} \\ 0.05 & \end{cases} \dots\dots\dots (4-5)$$

b) 气压试验:

$$p_T = \begin{cases} 1.15p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} & \text{取两者的较大值} \\ 0.05 & \end{cases} \dots\dots\dots (4-6)$$

c) 气密性试验:

$$p_T = 1.0p \dots\dots\dots (4-7)$$

式中:

$p_T$  —— 试验压力, MPa;

$p$  —— 设计压力, MPa;

$[\sigma]$  —— 容器元件材料在试验温度下的许用应力, MPa;

$[\sigma]^t$  —— 容器元件材料在设计温度下的许用应力, MPa。

注1:如因采用 0.05MPa(液压试验)或 0.05MPa(气压试验)试压,会导致必须增加壳体厚度时,则允许适当降低试验压力,但不得低于  $1.25p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t}$ (液压试验)或  $1.15p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t}$ (气压试验)。

注2:容器各元件(圆筒、封头、接管、法兰及紧固件等)所用材料或设计温度不同时,应取各元件  $\frac{[\sigma]}{[\sigma]^t}$  之比值中的最小者。

注3:容器以卧置进行液压试验时,试验压力应为立置时的试验压力  $p_T$  加液柱静压力。

4.8.3 当容器需做液压试验,但液压试验所需充液高度高于容器规定的储液高度,且设计又不允许时,可采用液压与气压组合试验。试验压力  $p_T$  按式(4-6)确定。试验时,先给容器充水到达设计允许的液位高度,再将压缩空气注入容器上部,直至气相空间压力达到图样要求的试验压力值。

外压容器以内压进行压力试验。

4.8.4 压力试验时的应力校核

压力试验时,圆筒的薄膜应力按式(4-8)计算:

$$\sigma_T = \frac{p_T(D_i + \delta_e)}{2\delta_e} \dots\dots\dots (4-8)$$

式中：

$\sigma_T$ ——圆筒薄膜应力，MPa；

$p_T$ ——试验压力，MPa；

$D_i$ ——圆筒内直径，mm；

$\delta_e$ ——圆筒的有效厚度，mm。

$\sigma_T$ 应满足下列条件：

液压试验时：

$$\sigma_T \leq 0.9\phi R_{eL} \quad \dots\dots\dots (4-9)$$

气压试验时（液压与气压组合试验时）：

$$\sigma_T \leq 0.8\phi R_{eL} \quad \dots\dots\dots (4-10)$$

式中：

$R_{eL}$ ——圆筒材料在试验温度下的屈服强度，MPa；

$\phi$ ——圆筒的焊接接头系数。

## 5 材料

### 5.1 总则

5.1.1 容器用钢应符合本章规定，焊接结构用钢须是焊接性良好的钢材。

5.1.2 列入 GB 150 的钢材均可作容器用钢。

5.1.3 容器用钢应由平炉、电炉或氧气转炉冶炼。钢材的技术要求应符合相应的钢材标准或有关技术条件的规定。

5.1.4 容器用钢应附有钢材生产单位的钢材质量证明书，容器制造单位应按质量证明书对钢材进行验收，必要时尚应进行复验。

5.1.5 选择容器用钢应考虑容器的使用条件（如设计温度、介质特性和操作特点等）、材料的焊接性能、容器的制造工艺以及经济合理性等。

5.1.6 容器用钢的使用温度下限，按钢材允许的使用温度下限。

5.1.7 对钢材有特殊要求时，设计单位应在图样或相应技术文件中注明。

5.1.8 钢材的不同温度性能参考值见附录 A（资料性附录）。

### 5.2 钢板

5.2.1 钢板的标准、使用状态及许用应力按表 5-1 的规定。

表 5-1 钢板许用应力

钢号	钢材标准	使用状态	厚度 mm	常温强度指标		在下列温度 (°C) 下的许用应力值, MPa							注
				$R_m$ , MPa	$R_{eL}$ , MPa	≤ 20	100	150	200	250	300	350	
碳素钢板													
Q235A.F	GB 912	热轧	3~4	375	235	140	126	120	112	100	-	-	a
	GB/T 3274		4.5~16	375	235	140	126	120	112	100	-	-	a
Q235A	GB 912	热轧	3~4	375	235	140	126	120	112	100	92	84	a
	GB/T 3274		4.5~16	375	235	140	126	120	112	100	92	84	a
			>16~40	375	235	140	120	114	107	96	88	80	a
Q235B	GB 912	热轧	3~4	375	235	140	126	120	112	100	92	84	a
	GB/T 3274		4.5~16	375	235	140	126	120	112	100	92	84	a
			>16~40	375	235	140	120	114	107	96	88	80	a
Q235C	GB 912	热轧	3~4	375	235	156	140	133	124	111	102	93	
	GB/T 3274		4.5~16	375	235	156	140	133	124	111	102	93	
			>16~40	375	235	156	133	127	119	107	98	89	
Q245R	GB 713	热轧或正火	6~16	400	245	163	147	140	131	117	108	98	
			>16~36	400	235	157	140	133	124	111	101	91	
			>36~60	400	225	150	133	127	119	107	98	89	
低合金钢板													
Q345R	GB 713	热轧或正火	6~16	510	345	213	210	197	183	167	153	143	
			>16~36	490	325	204	197	183	170	157	143	133	
Q370R	GB 713	正火	6~16	530	370	221	221	213	200	190	183	170	
			>16~36	530	360	221	220	207	193	183	173	163	

表 5-1 (续)

钢号	钢材标准	使用状态	厚度 mm	常温强度指标		在下列温度 (°C) 下的许用应力值, MPa						注
				$R_m$ , MPa	$R_{eL}$ , MPa	≤ 20	100	150	200	250	300	
高合金钢钢板												
0Cr13	GB/T 4237	退火	2~60	137	126	123	120	119	117	112		
0Cr18Ni9	GB/T 4237	固溶	2~60	137	137	137	130	122	114	111	b	
				137	114	103	96	90	85	82		
0Cr18Ni10Ti	GB/T 4237	固溶或稳定化	2~60	137	137	137	130	122	114	111	b	
				137	114	103	96	90	85	82		
0Cr17Ni12Mo2	GB/T 4237	固溶	2~60	137	137	137	134	125	118	113	b	
				137	117	107	99	93	87	84		
0Cr18Ni12Mo2Ti	GB/T 4237	固溶	2~60	137	137	137	134	125	118	113	b	
				137	117	107	99	93	87	84		
00Cr19Ni10	GB/T 4237	固溶	2~60	118	118	118	110	103	98	94	b	
				118	97	87	81	76	73	69		
00Cr17Ni14Mo2	GB/T 4237	固溶	2~60	118	118	117	108	100	95	90	b	
				118	97	87	80	74	70	67		
00Cr18Ni5Mo3Si2	GB/T 4237	固溶	2~25	197	197	190	173	167	163			
注：中间温度的许用应力可按本表的应力值用内插法求得。												
<sup>a</sup> 所列许用应力已乘质量系数 0.9。 <sup>b</sup> 该行许用应力仅适用于允许产生微量永久变形之元件，对于法兰或其他有微量永久变形就引起泄漏或故障的场合不能采用。												

5.2.2 碳素钢沸腾钢板 Q235A.F 的适用范围按以下规定：

- a) 钢板的使用温度为 0°C ~ 250°C；
- b) 用于容器壳体时，钢板厚度不大于 16mm；
- c) 不得用于盛装毒性为极度、高度和中度危害介质以及盛装易燃介质的各类容器。

注：介质毒性程度的分级的划分按 HG 20660 的规定。

5.2.3 碳素钢镇静钢板 Q235A、Q235B、Q235C 的适用范围按以下规定：

- a) 钢板的使用温度为 0°C ~ 350°C；
- b) 用于容器壳体时，钢板厚度不大于 40mm。

注：与大气连通的圆筒形及矩形容器不受上列适用范围的限制。

5.2.4 用于法兰、管板、平盖等元件，厚度大于 50mm 的 20R 和 16MnR 钢板应在正火状态下使用。

5.2.5 用于圆筒形容器壳体时，当设计温度和钢板厚度符合下列情况时，应每批取一张钢板进行夏比 V 形缺口低温冲击试验，试验温度为最低设计温度，试样取样方向为横向：

- a) 设计温度高于 -20°C，且低于 -10°C，钢板厚度大于 12mm 的 20R。3 个试样的冲击功平均值不小于 27J，允许 1 个试样的冲击功小于平均值，但不得小于 70%；
- b) 设计温度高于 -20°C，且低于 -10°C，钢板厚度大于 20mm 的 16MnR。3 个试样的冲击功平均值不小于 31J，允许 1 个试样的冲击功小于平均值，但不得小于 70%。

5.2.6 高合金钢钢板一般按 GB/T 4237 选用。对厚度小于 4mm 的钢板，当按 GB/T 4237 选用时，设计单位应注明钢板表面质量的组别；当按 GB/T 3280 选用时，设计单位应注明钢板表面加工等级。

### 5.3 钢管

5.3.1 钢管的标准及许用应力按表 5-2 的规定。

5.3.2 采用 GB/T 8162 应增做液压试验。

### 5.4 锻件

5.4.1 锻件的标准及许用应力按表 5-3 的规定。

5.4.2 锻件的级别由设计单位确定，并应在图样上注明。用于易燃以及毒性程度为中度危害介质工况的锻件应选用 II 级或更高级别。

### 5.5 螺柱和螺母

5.5.1 螺柱用钢的标准、使用状态及许用应力按表 5-4 的规定。

表 5-2 钢管许用应力

钢 号	钢管标准	壁厚 mm	常温强度指标		在下列温度 ( °C ) 下的许用应力值 , MPa							注
			$R_m$ , MPa	$R_{eL}$ , MPa	≤ 20	100	150	200	250	300	350	
碳素钢管												
Q235A	GB/T 3091 GB/T 3092	≤ 10	335	215	140	126	120	112	—	—	—	
Q235B	GB/T 3091 GB/T 3092	≤ 10	375	235	140	126	120	112	—	—	—	
10	GB/T 8162 GB/T 8163	≤ 10	335	205	137	121	115	108	98	88	82	
20	GB/T 8162 GB/T 8163	≤ 10	390	245	163	147	140	131	117	108	98	
低合金钢管												
16Mn Q345	GB 6479 GB/T 8162 , GB/T 8163	≤ 16	490	320	204	196	183	170	156	143	133	
高合金钢管												
钢 号	钢管标准	壁厚 mm	在下列温度 ( °C ) 下的许用应力值 , MPa							注		
			≤ 20	100	150	200	250	300	350			
0Cr13	GB/T 14976	≤ 18	137	126	123	120	119	117	112			
0Cr18Ni9	GB 13296 GB/T 14976	≤ 13	137	137	137	130	122	114	111	a		
		≤ 18	137	114	103	96	90	85	82			

NB/T 47003.1—2009

表 5-2 (续)

钢 号	钢管标准	壁厚 mm	常温强度指标		在下列温度 ( °C ) 下的许用应力值, MPa							注
			$R_m$ , MPa	$R_{eL}$ , MPa	≤ 20	100	150	200	250	300	350	
高合金钢管												
0Cr18Ni10Ti	GB 13296 GB/T 14976	≤ 13	—	—	137	137	137	130	122	114	111	<sup>a</sup>
		≤ 18	—	—	137	114	103	96	90	85	82	
0Cr17Ni12Mo2	GB 13296 GB/T 14976	≤ 13	—	—	137	137	137	134	125	118	113	<sup>a</sup>
		≤ 18	—	—	137	117	107	99	93	87	84	
0Cr18Ni12Mo2Ti	GB 13296 GB/T 14976	≤ 13	—	—	137	137	137	134	125	118	113	<sup>a</sup>
		≤ 18	—	—	137	117	107	99	93	87	84	
00Cr19Ni10	GB 13296 GB/T 14976	≤ 13	—	—	118	118	118	110	103	98	94	<sup>a</sup>
		≤ 18	—	—	118	97	87	81	76	73	69	
00Cr17Ni14Mo2	GB 13296 GB/T 14976	≤ 13	—	—	118	118	117	108	100	95	90	<sup>a</sup>
		≤ 18	—	—	118	97	87	80	74	70	67	
注：中间温度的许用应力可按本表的应力值用内插法求得。GB 13296 的钢管壁厚小于或等于 13mm、GB/T 14976 的钢管壁厚小于或等于 18mm。												
<sup>a</sup> 该行许用应力仅适用于允许产生微量永久变形之元件，对于法兰或其他有微量永久变形就引起泄漏或故障的场合不能采用。												

表 5-3 锻件许用应力

钢 号	锻件标准	公称厚度 mm	常温强度指标		在下列温度 ( °C ) 下的许用应力值 , MPa						注	
			$R_m$ , MPa	$R_{eL}$ , MPa	≤ 20	100	150	200	250	300		350
碳素钢锻件												
20	JB 4726	≤ 200	390	215	143	130	121	111	101	91	85	
低合金钢锻件												
16Mn	JB 4726	≤ 300	450	275	183	163	157	144	137	124	117	
高合金钢锻件												
钢 号	锻件标准	公称厚度 mm	在下列温度 ( °C ) 下的许用应力值 , MPa						注			
			≤ 20	100	150	200	250	300		350		
0Cr13	JB 4728	≤ 100	137	126	123	120	119	117	117	112		
0Cr18Ni9	JB 4728	≤ 200	137	137	137	130	122	114	114	111	a	
			137	114	103	96	90	85	82	82		
0Cr18Ni10Ti	JB 4728	≤ 200	137	137	137	130	122	114	114	111	a	
			137	114	103	96	90	85	82	82		
0Cr17Ni12Mo2	JB 4728	≤ 200	137	137	137	134	125	118	118	113	a	
			137	117	107	99	93	87	84	84		
00Cr19Ni10	JB 4728	≤ 200	117	117	117	110	103	98	98	94	a	
			117	97	87	81	76	73	69	69		
00Cr17Ni14Mo2	JB 4728	≤ 200	117	117	117	108	100	95	95	90	a	
			117	97	87	80	74	70	67	67		
00Cr18Ni5Mo3Si2	JB 4728	≤ 100	197	197	178	163	156	156	153	—		
注：中间温度的许用应力可按本表的应力值用内插法求得。												
a 该行许用应力仅适用于允许产生微量永久变形之元件，对于法兰或其他有微量永久变形就引起泄漏或故障的场合不能采用。												

表 5-4 螺柱许用应力

钢 号	钢材标准	使用状态	螺柱规格 mm	常温强度指标		在下列温度 (°C) 下的许用应力值, MPa							注
				$R_m$ , MPa	$R_{eL}$ , MPa	≤ 20	100	150	200	250	300	350	
碳素钢螺柱													
Q235A	GB/T 700	热 轧	≤ M20	375	235	87	78	74	69	62	56	—	
35	GB/T 699	正 火	≤ M20	530	315	117	105	98	91	82	74	69	
			M24 ~ M27	510	295	118	106	100	92	84	76	70	
低合金钢螺柱													
40MnB	GB/T 3077	调 质	≤ M22	805	685	196	176	171	165	162	154	143	
			M24 ~ M36	765	635	212	189	183	180	176	167	154	
30CrMoA	GB/T 3077	调 质	≤ M22	700	550	157	141	137	134	131	129	124	
			M24 ~ M48	660	500	167	150	145	142	140	137	132	
35CrMoA	GB/T 3077	调 质	≤ M22	835	735	210	190	185	179	176	174	165	
			M24 ~ M48	805	685	228	206	199	196	193	189	180	
高合金钢螺柱													
钢 号	钢材标准	使用状态	螺柱规格 mm	在下列温度 (°C) 下的许用应力值, MPa							注		
				≤ 20	100	150	200	250	300	350			
2Cr13	GB/T 1220	调 质	≤ M22	126	117	111	106	103	100	97			
			M24 ~ M27	147	137	130	123	120	117	113			
0Cr18Ni9	GB/T 1220	固 溶	≤ M22	129	107	97	90	84	79	77			
			M24 ~ M48	137	114	103	96	90	85	82			
0Cr18Ni10Ti	GB/T 1220	固 溶	≤ M22	129	107	97	90	84	79	77			
			M24 ~ M48	137	114	103	96	90	85	82			
0Cr17Ni12Mo2	GB/T 1220	固 溶	≤ M22	129	109	101	93	87	82	79			
			M24 ~ M48	137	117	107	99	93	87	84			
注：中间温度的许用应力可按本表的应力值用内插法求得。													

5.5.2 与各螺柱用钢组合使用的螺母用钢的标准、使用状态及许用应力可按表 5-5 选用。

表 5-5 螺母用钢

螺 柱 用 钢			螺 母 用 钢			
钢 号	钢材标准	使用状态	钢 号	钢材标准	使用状态	使用温度, °C
Q235A	GB/T 700	热轧	Q215A、Q235A	GB/T 700	热轧	> - 20 ~ 300
35	GB/T 699	正火	Q235A	GB/T 700	热轧	> - 20 ~ 300
			20, 25	GB/T 699	正火	> - 20 ~ 350
40MnB	GB/T 3077	调质	35, 45, 40Mn	GB/T 699	正火	> - 20 ~ 350
30CrMoA	GB/T 3077	调质	45, 40Mn	GB/T 699	正火	> - 20 ~ 350
			30CrMoA	GB/T 3077	调质	> - 20 ~ 350
35CrMoA	GB/T 3077	调质	45, 40Mn	GB/T 699	正火	> - 20 ~ 350
			30CrMoA, 35CrMoA	GB/T 3077	调质	> - 20 ~ 350
2Cr13	GB/T 3077	调质	1Cr13, 2Cr13	GB/T 1220	调质	> - 20 ~ 350
0Cr18Ni9	GB/T 1220	固溶	1Cr13	GB/T 1220	退火	> - 20 ~ 350
			0Cr18Ni9	GB/T 1220	固溶	~ 350
0Cr18Ni10Ti	GB/T 1220	固溶	0Cr18Ni10Ti	GB/T 1220	固溶	~ 350
0Cr17Ni12Mo2	GB/T 1220	固溶	0Cr17Ni12Mo2	GB/T 1220	固溶	~ 350

## 5.6 型钢

5.6.1 结构型钢按 GB/T 700 和 GB/T 1591 选用。

5.6.2 与容器相连的碳素钢和低合金钢结构型钢的许用应力按表 5-6 的规定。

表 5-6 碳素钢和低合金钢结构型钢的许用应力

钢号	钢材标准	钢材厚度 (直径) mm	在常温下的许用应力, MPa	
			抗拉、抗压和抗弯	抗剪
Q235A.F	GB/T 700	≤ 16	150	88
Q235A		>16 ~ 40	137	84
Q235B				
Q235C	GB/T 700	≤ 16	167	98
		>16 ~ 40	152	93
Q345	GB/T 1591	≤ 16	235	142
		>16 ~ 25	225	137

## 5.7 焊接材料

5.7.1 常压容器用焊接材料应符合下列标准：

GB/T 983、GB/T 5117、GB/T 5118、GB/T 5293、GB/T 12470、GB/T 14957、JB/T 4747、YB/T 5092。

## 5.7.2 焊接材料质量证明书

5.7.2.1 焊接材料应有质量证明书。当无质量证明书或对质量证明书有疑问时，应对焊接材料进行复验。

5.7.2.2 焊接材料质量证明书应符合相应国家标准的规定和要求。

## 5.7.3 焊接材料的选用

5.7.3.1 常用的碳素钢、低合金钢之间相焊的焊接材料可按表 5-7 的规定选用。

表 5-7 常用的碳素钢、低合金钢之间相焊的焊接材料选用表

钢号	焊条电弧焊		埋弧焊			二氧化碳 气体保护焊 焊丝钢号	氩弧焊 焊丝钢号
	焊条型号	对应 牌号 示例	焊丝钢号	焊剂			
				型 号	对应牌 号示例		
Q235A.F Q235A 10 (管) 20 (管)	E4303	J422	H08A H08MnA	HJ401-H08A	HJ431	H08MnSi	—
Q235B Q235C Q245R 20 (锻)	E4316	J426	H08A H08MnA	HJ401-H08A	HJ431	H08MnSi	—
	E4315	J427					
Q345、16Mn (锻)、 Q345R	E5016	J506	H10MnSi H10Mn2	HJ401-H08A	HJ431	H08Mn2SiA	H10MnSi
	E5015	J507		HJ402-H10Mn2 HJ404-H08MnA	HJ350 SJ101		
Q370R	E5515-G	J557	—	HJ404-H08MnA	SJ101	—	—

5.7.3.2 常用的高合金钢之间相焊的焊接材料可按表 5-8 的规定选用。

表 5-8 常用的高合金钢之间相焊的焊接材料选用表

钢号	焊条电弧焊		埋弧焊		氩弧焊 焊丝钢号
	焊条型号	焊条对应牌号示例	焊丝钢号	焊剂对应牌号示例	
0Cr18Ni9	E308-16	A102	H0Cr21Ni10	HJ260	H0Cr20Ni10
	E308-15	A107			
0Cr18Ni10Ti	E347-16	A132	H0Cr20Ni10Ti	HJ260	H0Cr20Ni10Ti
	E347-15	A137			
0Cr17Ni12Mo2	E316-16	A202	H0Cr19Ni12Mo2	HJ260	H0Cr19Ni12Mo2
	E316-15	A207			
0Cr18Ni12Mo2Ti	E316L-16	A022	H0Cr20Ni14Mo3	HJ260	H0Cr20Ni14Mo3
	E318-15	A212			
00Cr19Ni10	E308L-16	A002	H00Cr21Ni10	HJ260	H00Cr21Ni10
00Cr17Ni14Mo2	E316L-16	A022	—	—	—
0Cr13	E410-16	G202	—	—	—
	E410-15	G207			

5.7.3.3 常用的不同钢号之间相焊的焊接材料可按表 5-9 的规定选用。

表 5-9 不同钢号之间相焊的焊接材料选用表

被焊钢材类别	常用钢号	焊条电弧焊		埋弧焊		
		焊条型号	对应牌号示例	焊丝钢号	焊剂	
					型号	对应牌号示例
碳素钢之间焊接	Q235A, Q235B, Q235C + 10 (管), 20R	E4303	J422	H08A	HJ401-H08A	HJ431
		E4315	J427			
碳素钢与低合金钢之间焊接	Q235-A, 20R + 16Mn, 16MnR 15MnNbR	E4303	J422	H08A H08MnA	HJ401-H08A	HJ431
		E4315	J427			
		E5015	J507			
碳素钢与奥氏体不锈钢之间焊接	Q235B, Q235C, 20R + 0Cr18Ni10Ti 0Cr18Ni9	E309-16	A302	H1Cr24Ni13	—	HJ260
		E309-15	A307			
		E309Mo-16	A312	—	—	—
低合金钢与奥氏体不锈钢之间焊接	16Mn, 16MnR + 0Cr18Ni10Ti 0Cr18Ni9	E309-16	A302	H1Cr24Ni13	—	HJ260
		E309Mo-16	A312			

## 6 基本结构元件

### 6.1 内压圆筒和内压球壳

#### 6.1.1 符号说明

- $D_i$ ——圆筒或球壳内直径, mm;  
 $p_c$ ——计算压力, MPa;  
 $\delta$ ——设计温度下圆筒或球壳的计算厚度, mm;  
 $\delta_e$ ——圆筒或球壳的有效厚度, mm;  
 $\sigma$ ——设计温度下圆筒或球壳的计算应力, MPa;  
 $[\sigma]^t$ ——设计温度下材料许用应力, MPa;  
 $\phi$ ——焊接接头系数。

#### 6.1.2 适用范围

本条适用于受内压和(或)液柱静压力作用下容器圆筒和球壳厚度的计算。

#### 6.1.3 计算厚度

##### 6.1.3.1 设计温度下圆筒的计算厚度按式(6-1)确定:

$$\delta = \frac{p_c D_i}{2[\sigma]^t \phi} \dots\dots\dots (6-1)$$

##### 6.1.3.2 设计温度下球壳的计算厚度按式(6-2)确定:

$$\delta = \frac{p_c D_i}{4[\sigma]^t \phi} \dots\dots\dots (6-2)$$

6.1.4 计算应力

6.1.4.1 设计温度下圆筒计算应力按式(6-3)确定：

$$\sigma = \frac{p_c D_i}{2\delta_e} \dots\dots\dots (6-3)$$

6.1.4.2 设计温度下球壳计算应力按式(6-4)确定：

$$\sigma = \frac{p_c D_i}{4\delta_e} \dots\dots\dots (6-4)$$

6.1.4.3  $\sigma$  应满足式(6-5)的要求：

$$\sigma \leq \phi[\sigma]^t \dots\dots\dots (6-5)$$

6.2 外压圆筒和外压球壳

6.2.1 外压圆筒和外压球壳的计算

外压圆筒和外压球壳的计算按 GB 150 中 6.2 规定。

6.2.2 外压圆筒加强圈的设计

外压圆筒加强圈的设计按 GB 150 中 6.3 规定。

6.2.3 许用应力取值

材料的许用应力取值应按第 5 章规定。

6.3 封头

6.3.1 符号说明

$A$ —— 球冠形封头或无折边锥形封头大端与圆筒连接处所需总承压面积， $\text{mm}^2$ ；

$A'$ —— 无折边锥形封头小端与圆筒连接处所需总承压面积， $\text{mm}^2$ ；

$A_r$ —— 封头与圆筒连接处实际需要增加的承压面积， $\text{mm}^2$ ；

$D_{hi}$ —— 凸形封头内直径或锥形封头大端内直径， $\text{mm}$ ；

$D_{his}$ —— 锥形封头小端内直径， $\text{mm}$ ；

$D_{ho}$ —— 锥形封头大端计算外直径， $\text{mm}$ ；

$D_{hos}$ —— 锥形封头小端计算外直径， $\text{mm}$ ；

$D_i$ —— 圆筒内直径， $\text{mm}$ ；

$h_i$ —— 封头曲面深度， $\text{mm}$ ；

$L_h$ —— 锥形封头轴向计算长度， $\text{mm}$ ；

$p_c$ —— 计算压力， $\text{MPa}$ ；

$[p]$ —— 最大允许工作压力， $\text{MPa}$ ；

$Q$ —— 球冠形封头或无折边锥形封头大端与圆筒连接处总的环向力， $\text{N}$ ；

$Q'$ —— 无折边锥形封头小端与圆筒连接处总的环向力， $\text{N}$ ；

$R_{hi}$ —— 凸形封头球面部分的内半径， $\text{mm}$ ；

- $r$  —— 碟形封头过渡区转角处的内半径，mm；
- $T_1$  —— 球冠形封头或无折边锥形封头大端处单位环向长度上的经向内力，N/mm；
- $T_1'$  —— 无折边锥形封头小端处单位环向长度上的经向内力，N/mm；
- $T_2$  —— 球冠形封头或无折边锥形封头大端处单位经向长度上的环向内力，N/mm；
- $T_2'$  —— 无折边锥形封头小端处单位经向长度上的环向内力，N/mm；
- $T_{2s}$  —— 球冠形封头或无折边锥形封头大端与圆筒连接处圆筒母线上单位长度的环向内力，N/mm；
- $T_{2s}'$  —— 无折边锥形封头小端与圆筒连接处圆筒母线上单位长度的环向内力，N/mm；
- $W_c$  —— 球冠形封头或无折边锥形封头大端与圆筒连接处圆筒上的有效宽度，mm；
- $W_c'$  —— 无折边锥形封头小端与圆筒连接处圆筒上的有效宽度，mm；
- $W_h$  —— 无折边锥形封头大端连接处封头上的有效宽度，mm；
- $W_h'$  —— 无折边锥形封头小端连接处封头上的有效宽度，mm；
- $\alpha$  —— 对无折边锥形封头为锥壳半顶角，对球冠形封头为连接处球壳切线与圆筒壁的夹角，(°)；
- $\delta_e$  —— 圆筒有效厚度，mm；
- $\delta_{es}$  —— 球冠形封头或无折边锥形封头大端与圆筒连接处圆筒上的有效厚度，mm；
- $\delta_{es}'$  —— 无折边锥形封头小端与圆筒连接处圆筒上的有效厚度，mm；
- $\delta_h$  —— 封头计算厚度，mm；
- $\delta_{he}$  —— 封头有效厚度或无折边锥形封头大端与圆筒连接处封头的有效厚度，mm；
- $\delta_{he}'$  —— 无折边锥形封头小端与圆筒连接处封头的有效厚度，mm；
- $\delta_{hn}$  —— 封头名义厚度，mm；
- $\delta_n$  —— 圆筒名义厚度，mm；
- $\delta_r$  —— 连接处加强圈的厚度，mm；
- $[\sigma]^t$  —— 设计温度下材料许用应力，MPa；
- $\phi$  —— 焊接接头系数。

### 6.3.2 适用范围

本条规定了凸形封头（椭圆形封头、碟形封头、球冠形封头）和无折边锥形封头等的设计，如图 6-1、图 6-3 所示。折边锥形封头及带法兰的凸形封头按 GB 150 中 7.2 和 7.6 规定。

### 6.3.3 凸形封头

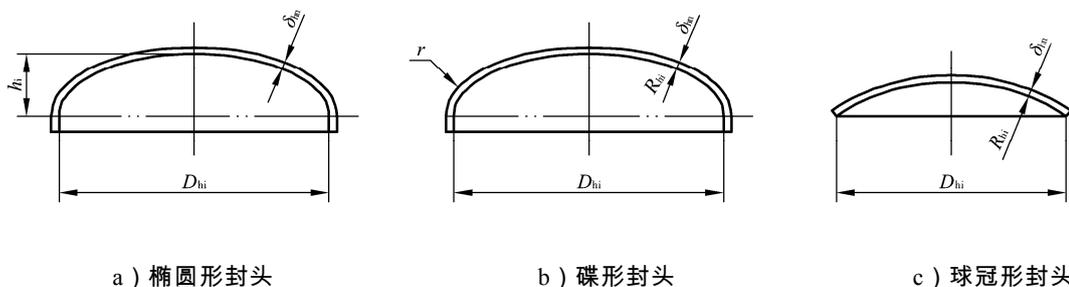


图 6-1 椭圆形封头、碟形封头和球冠形封头

6.3.3.1 椭圆形封头

推荐采用长短轴比值为 2 的标准椭圆形封头。

6.3.3.1.1 受内压（凹面受压）椭圆形封头计算厚度按式（6-6）确定：

$$\delta_h = \frac{K p_c D_{hi}}{2[\sigma]^t \phi} \dots\dots\dots (6-6)$$

式中：

$K$  —— 椭圆形封头形状系数，其值见表 6-1，也可按式（6-7）确定：

$$K = \frac{1}{6} \left[ 2 + \left( \frac{D_{hi}}{2h_i} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (6-7)$$

标准椭圆形封头  $K = 1$ 。

表 6-1 系数  $K$  值

$D_{hi}/2h_i$	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8
$K$	1.46	1.37	1.29	1.21	1.14	1.07	1.00	0.93	0.87
$D_{hi}/2h_i$	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	—
$K$	0.81	0.76	0.71	0.66	0.61	0.57	0.53	0.50	—

$K \leq 1$  的标准椭圆形封头的有效厚度应不小于封头内直径的 0.15%， $K > 1$  的椭圆形封头的有效厚度应不小于封头内直径的 0.30%。但当确定封头厚度时已考虑了内压下的弹性失稳问题，可不受此限制。

6.3.3.1.2 椭圆形封头的最大允许工作压力按式（6-8）确定：

$$[p] = \frac{2[\sigma]^t \phi \delta_{hc}}{K D_{hi}} \dots\dots\dots (6-8)$$

6.3.3.1.3 受外压（凸面受压）椭圆形封头的厚度计算按 GB 150 中 7.1.2.2 的规定。

6.3.3.2 碟形封头

碟形封头球面部分的内半径应不大于封头内直径，通常取 0.9 倍的封头内直径。碟形封头过渡段转角内半径  $r$  应不小于封头内直径的 10%，且不得小于 3 倍的名义厚度  $\delta_{hn}$ 。

6.3.3.2.1 受内压（凹面受压）碟形封头计算厚度按式（6-9）确定：

$$\delta_h = \frac{M p_c R_{hi}}{2[\sigma]^t \phi} \dots\dots\dots (6-9)$$

式中：

$M$  —— 碟形封头形状系数，其值见表 6-2，也可按式（6-10）确定：

$$M = \frac{1}{4} \left[ 3 + \sqrt{\frac{R_{hi}}{r}} \right] \dots\dots\dots (6-10)$$

表 6-2 系数  $M$  值

$R_{hi}/r$	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00
$M$	1.00	1.03	1.06	1.08	1.10	1.13	1.15	1.17	1.18
$R_{hi}/r$	3.25	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00
$M$	1.20	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	1.36	1.39	1.41
$R_{hi}/r$	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00	—	—	—
$M$	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52	1.54	—	—	—

$M \leq 1.34$  的碟形封头，其有效厚度应不小于封头内直径的 0.15%， $M > 1.34$  的碟形封头，其有效厚度应不小于封头内直径的 0.30%。但当确定封头厚度时已考虑了内压下的弹性失稳问题，可不受此限制。

6.3.3.2.2 受内压（凹面受压）碟形封头的许用压力按式（6-11）确定：

$$[p] = \frac{2[\sigma]^t \phi \delta_{hc}}{MR_{hi}} \quad \dots\dots\dots (6-11)$$

6.3.3.2.3 受外压（凸面受压）碟形封头的厚度计算按 GB 150 中 7.1.3.2 规定。

6.3.3.3 球冠形封头

球冠形封头可用作端封头，也可用作容器两独立室的中间封头，其结构形式如图 6-2 所示。

6.3.3.3.1 球冠形封头的最小厚度应不小于与其连接的圆筒的最小厚度。封头与圆筒连接处的设计见 6.3.5。

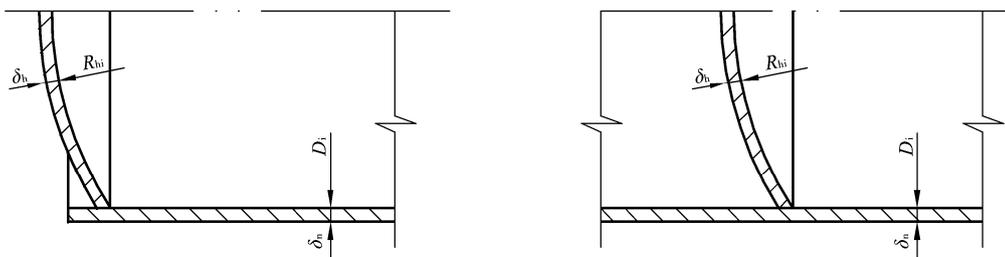


图 6-2 球冠形封头与圆筒连接

6.3.3.3.2 受内压（凹面受压）球冠形封头计算厚度按式（6-12）确定：

$$\delta_h = \frac{p_c D_i}{2[\sigma]^t \phi} \quad \dots\dots\dots (6-12)$$

6.3.3.3.3 受外压（凸面受压）球冠形封头计算厚度取下列三者中的最大值：

- a) 圆筒的最小厚度；
- b) 按 GB 150 中 6.2.2 确定的厚度；
- c) 按式（6-12）确定的厚度。

6.3.3.3.4 球冠形封头用作两独立器室的中间封头时，按一侧受压，或两侧同时受压的工况，以

其可能出现的最苛刻工况的受力组合计算封头厚度。

6.3.4 无折边锥形封头 (锥壳半顶角  $\alpha < 60^\circ$  的轴对称无折边锥形封头, 如图 6-3 所示)

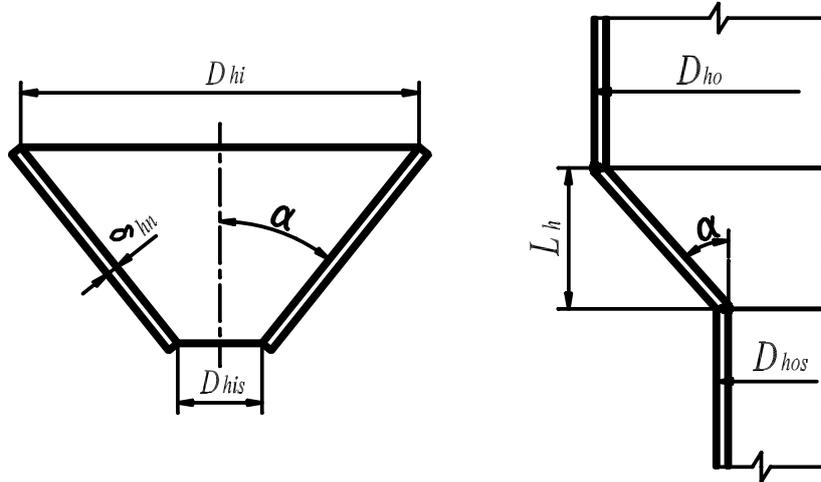


图 6-3 无折边锥形封头

6.3.4.1 无折边锥形封头的最小厚度不小于与其相连接的大端圆筒的最小厚度, 封头与圆筒连接处的结构设计见 6.3.5。

6.3.4.2 受内压的无折边锥形封头计算厚度按式 (6-13) 确定:

$$\delta_h = \frac{p_c D_{hi}}{2[\sigma]^t \phi \cos \alpha} \dots\dots\dots (6-13)$$

6.3.4.3 受外压的无折边锥形封头的有效厚度按 GB 150 中 7.2.5.2 的规定。

6.3.5 封头与圆筒连接处的设计

6.3.5.1 球冠形封头、无折边锥形封头与圆筒连接处的设计如图 6-4 所示, 且封头、圆筒自身的拼接采用对接焊接。封头与圆筒连接处的焊接接头应采用全焊透结构。

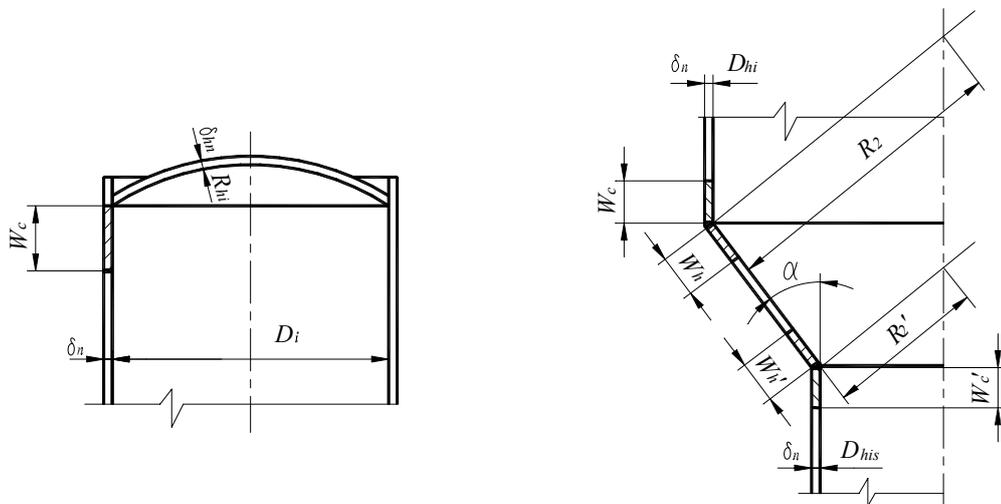


图 6-4 球冠形封头、无折边锥形封头与圆筒的连接

## 6.3.5.2 封头与圆筒连接处单位内力的计算

## 6.3.5.2.1 圆筒上单位长度的环向内力按式(6-14)、式(6-15)确定:

- a) 与球冠形封头连接或与无折边锥形封头大端连接的圆筒母线上单位长度的环向内力按式(6-14)确定:

$$T_{2s} = \frac{1}{2} D_{hi} p_c \quad \dots\dots\dots (6-14)$$

- b) 与无折边锥形封头小端连接的圆筒母线上单位长度的环向内力按式(6-15)确定:

$$T'_{2s} = \frac{1}{2} D_{his} p_c \quad \dots\dots\dots (6-15)$$

## 6.3.5.2.2 球冠形封头上单位长度的经向、环向内力按式(6-16)确定:

$$T_1 = T_2 = \frac{1}{2} R_{hi} p_c \quad \dots\dots\dots (6-16)$$

## 6.3.5.2.3 无折边锥形封头上单位长度的经向内力与环向内力按式(6-17)~式(6-20)确定:

- a) 无折边锥形封头大端处单位长度的经向内力与环向内力按式(6-17)、式(6-18)确定:

$$T_1 = \frac{p_c D_{hi}}{4 \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (6-17)$$

$$T_2 = \frac{p_c D_{hi}}{2 \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (6-18)$$

- b) 无折边锥形封头小端处单位长度的经向内力与环向内力按式(6-19)、式(6-20)确定:

$$T'_1 = \frac{p_c D_{his}}{4 \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (6-19)$$

$$T'_2 = \frac{p_c D_{his}}{2 \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (6-20)$$

注:  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_{2s}$  及  $T'_1$ 、 $T'_2$ 、 $T'_{2s}$  为正值表示拉力, 为负值表示压力。

## 6.3.5.3 封头与圆筒连接处的有效宽度

## 6.3.5.3.1 圆筒承受环向力的有效宽度按式(6-21)、式(6-22)确定:

- a) 球冠形封头或无折边锥形封头大端与圆筒连接处圆筒上的有效宽度按式(6-21)确定:

$$W_c = 0.6 \sqrt{0.5 D_{hi} \delta'_{es}} \quad \dots\dots\dots (6-21)$$

- b) 无折边锥形封头小端与圆筒连接处圆筒上的有效宽度按式(6-22)确定:

$$W'_c = 0.6 \sqrt{0.5 D_{his} \delta'_{es}} \quad \dots\dots\dots (6-22)$$

## 6.3.5.3.2 封头承受环向力的有效宽度按式(6-23)~式(6-25)确定:

- a) 球冠形封头上的有效宽度按式(6-23)计算:

$$W_h = 0.6 \sqrt{R_{hi} \delta_{he}} \quad \dots\dots\dots (6-23)$$

- b) 无折边锥形封头大端连接处封头上的有效宽度按式(6-24)确定:

$$W_h = 0.6 \sqrt{R_2 \delta_{he}} \quad \dots\dots\dots (6-24)$$

- c) 无折边锥形封头小端连接处封头上的有效宽度按式(6-25)确定:

$$W'_h = 0.6\sqrt{R'_2\delta'_{he}} \quad \dots\dots\dots (6-25)$$

式中：

$R_2, R'_2$ ——锥形封头大端、小端与圆筒连接处沿锥壳法线至圆筒中心的距离(见图 6-4), mm。

$R_2, R'_2$ 按式(6-26)、式(6-27)确定：

$$R_2 = \frac{D_{hi}}{2\cos\alpha} \quad \dots\dots\dots (6-26)$$

$$R'_2 = \frac{D_{his}}{2\cos\alpha} \quad \dots\dots\dots (6-27)$$

6.3.5.4 封头与圆筒连接处总环向力

封头与圆筒连接处总环向力按式(6-28)、式(6-29)确定：

a) 球冠形封头或无折边锥形封头大端与圆筒连接处总环向力按式(6-28)确定：

$$Q = T_2W_h + T_{2s}W_c - \frac{1}{2}T_2D_{hi}\sin\alpha \quad \dots\dots\dots (6-28)$$

b) 无折边锥形封头小端与圆筒连接处总环向力按式(6-29)确定：

$$Q' = T'_2W'_h + T'_{2s}W'_c - \frac{1}{2}T'_2D_{his}\sin\alpha \quad \dots\dots\dots (6-29)$$

6.3.5.5 封头与圆筒连接处所需的总承压面积

封头与圆筒连接处所需的总承压面积按式(6-30)~式(6-33)确定：

a) 当  $Q < 0$  时(受压), 球冠形封头或无折边锥形封头大端与圆筒连接处所需的总承压面积按式(6-30)确定：

$$A = \frac{Q}{[\sigma]_{cr}^t} \quad \dots\dots\dots (6-30)$$

b) 当  $Q' < 0$  时(受压), 无折边锥形封头小端与圆筒连接处所需的总承压面积按式(6-31)确定：

$$A' = \frac{Q'}{[\sigma]_{cr}^t} \quad \dots\dots\dots (6-31)$$

c) 当  $Q > 0$  时(受拉), 球冠形封头或无折边锥形封头大端与圆筒连接处所需的总承压面积按式(6-32)确定：

$$A = \frac{Q}{[\sigma]^t\phi} \quad \dots\dots\dots (6-32)$$

d) 当  $Q' > 0$  时(受拉), 无折边锥形封头小端与圆筒连接处所需的总承压面积按式(6-33)确定：

$$A' = \frac{Q'}{[\sigma]^t\phi} \quad \dots\dots\dots (6-33)$$

式中：

$[\sigma]_{cr}^t$ ——设计温度下材料的许用压缩应力, 对碳素钢和奥氏体不锈钢可按表 6-3 选取, MPa。

表 6-3  $[\sigma]_{cr}^t$  值

MPa

设计温度 $t, ^\circ\text{C}$	$t \leq 100$	$100 < t \leq 200$	$200 < t \leq 250$	$250 < t \leq 350$
$[\sigma]_{cr}^t$	103	100	95	80

6.3.5.6 封头与圆筒连接处实际需增加的承压面积

封头与圆筒连接处实际需增加的承压面积应满足式 (6-34) ~ 式 (6-36) 的要求：

- a) 球冠形封头或无折边锥形封头大端与圆筒连接处实际需增加的承压面积应满足式 (6-34) 的要求：

$$A_r \geq A - W_c \delta_{es} - W_h \delta_{he} \quad \dots\dots\dots (6-34)$$

- b) 无折边锥形封头小端与圆筒连接处实际需增加的承压面积应满足式 (6-35) 的要求：

$$A_r \geq A' - W'_c \delta'_{es} - W'_h \delta'_{he} \quad \dots\dots\dots (6-35)$$

- c) 当球冠形封头用作两独立受压室的中间封头时，其与圆筒连接处实际需增加的承压面积应满足式 (6-36) 的要求：

$$A_r \geq A - 2W_c \delta_{es} - W_h \delta_{he} \quad \dots\dots\dots (6-36)$$

6.3.5.7 受压封头与圆筒连接处的计算

当  $Q < 0$  (受压) 时，封头与圆筒连接处的计算除应满足式 (6-34) 或式 (6-36) 实际需增加的承压面积要求外，还应满足式 (6-37) 的要求：

$$W_h \sin \alpha \geq 0.0075 D_{hi} \quad \dots\dots\dots (6-37)$$

6.3.5.8 封头与圆筒连接处加强圈

6.3.5.8.1 封头与圆筒连接处的计算如不能满足式 (6-34)、式 (6-35) 及式 (6-36) 要求时，应增加封头和圆筒的厚度，或增设加强圈。

6.3.5.8.2 加强圈可采用扁钢、角钢、槽钢或其他组合型结构形式。

6.3.5.8.3 加强圈伸出圆筒外侧的水平宽度不宜超过 16 倍的加强圈厚度  $\delta_r$ ，且应尽量设置在靠近封头与圆筒的连接处，如图 6-5 所示。

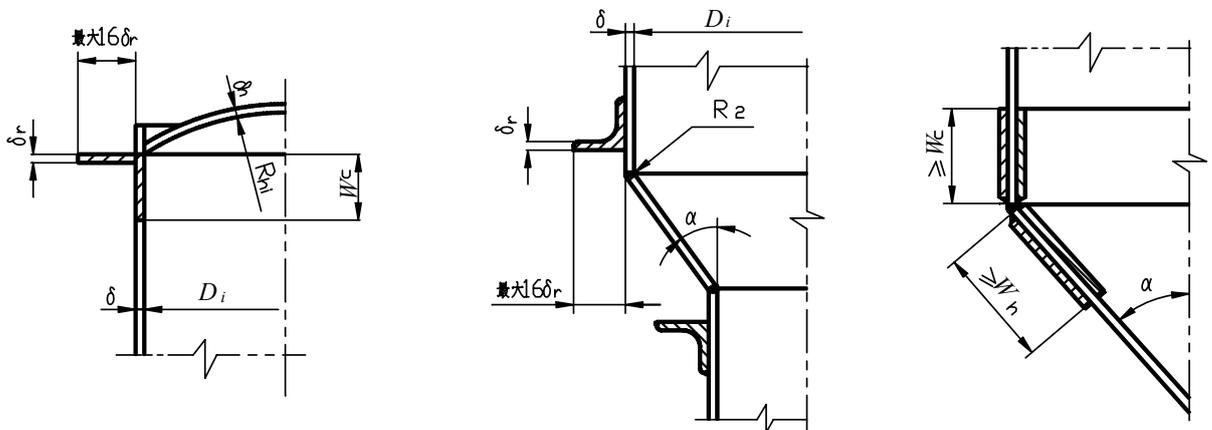


图 6-5 加强圈的设置

6.3.5.8.4 加强圈自身的连接应采用对接焊接接头型式，加强圈与圆筒的连接可采用连续角焊接接头型式或断续角焊接接头型式。当采用断续角焊接接头型式时，每两段焊接接头间的未焊部分的长度不大于圆筒有效厚度的8倍，且焊接总长度不小于圆周长度的一半，焊脚高度为两相焊件中较薄件的厚度。

#### 6.4 平盖

##### 6.4.1 符号说明

- $a$ ——非圆形平盖的短轴长度，mm；
- $b$ ——非圆形平盖的长轴长度，mm；
- $D_c$ ——平盖计算直径（见表6-4中简图），mm；
- $D_i$ ——容器内直径，mm；
- $K_p$ ——结构特征系数（查表6-4）；
- $L$ ——用角钢加强平盖两角钢之间距离，mm；
- $L_G$ ——螺栓中心至垫片压紧力作用中心线的距离（见表6-4中简图），mm；
- $L_p$ ——非圆形平盖螺栓中心连接周长，mm；
- $p_c$ ——计算压力，MPa；
- $r$ ——平盖的过渡区圆弧半径，mm；
- $W$ ——预紧状态时或操作状态时的螺栓设计载荷（按6.6，取 $W_a$ 或 $W_p$ 较大值），N；
- $Z_p$ ——非圆形平盖的形状系数， $Z_p=3.4-2.4a/b$ ，且 $Z_p \leq 2.5$ ；
- $Z_S$ ——加强筋与平盖组合截面实际截面系数， $\text{mm}^3$ ；
- $Z_X$ ——加强筋与平盖组合截面所需截面系数（按表6-4）， $\text{mm}^3$ ；
- $\delta$ ——壳体的计算厚度，mm；
- $\delta_1$ ——加强筋的厚度，mm；
- $\delta_e$ ——壳体的有效厚度，mm；
- $\delta_p$ ——平盖计算厚度，mm；
- $[\sigma]^t$ ——设计温度下材料许用应力（按第5章），MPa；
- $\phi$ ——焊接接头系数。

##### 6.4.2 适用范围

本条适用于受内压或外压的圆形和非圆形（椭圆形、长圆形、矩形及正方形等）的平盖设计。  
本条不适用于放置在不平基础上（作罐底用）的平盖。

##### 6.4.3 平盖厚度

平盖与圆筒连接型式及其结构见表6-4。

6.4.3.1 对表6-4中序号为1和2所示平盖，其厚度可按表6-5选取。

6.4.3.2 对表6-4中序号为3~17所示平盖，圆形平盖厚度按式（6-38）计算：

$$\delta_p = D_c \sqrt{\frac{K_p p_c}{[\sigma]^t \phi}} \quad \dots\dots\dots (6-38)$$

对表6-4中序号为3~16所示平盖，非圆形平盖厚度按式（6-39）计算：

$$\delta_p = a \sqrt{\frac{K_p Z_p p_c}{[\sigma]^t \phi}} \quad \dots\dots\dots (6-39)$$

对表 6-4 中序号 17 所示非圆形平盖厚度按式 ( 6-40 ) 计算 :

$$\delta_p = a \sqrt{\frac{K_p p_c}{[\sigma]^t \phi}} \dots\dots\dots ( 6-40 )$$

其中  $K_p$  值见表 6-4。

6.4.3.3 对表 6-4 中序号为 17 所示平盖 ,计算时 ,应取其操作状态及预紧状态的  $K_p$  值代入式( 6-38 ) 或式 ( 6-40 ) 分别计算 , 取较大值 , 其中预紧状态的  $[\sigma]^t$  取常温的许用应力。

6.4.4 加强筋设计 :

- a) 加强筋可采用扁钢、角钢、槽钢等型钢 ;
- b) 加强筋采用扁钢时 , 扁钢的高与厚度之比应不大于 16 ;
- c) 表 6-4 中序号为 10 ~ 14 所示平盖 , 其加强筋也可在容器内部 ;
- d) 加强筋与平盖组合截面系数  $Z_S$  应不小于表 6-4 中规定计算出的所需截面系数  $Z_X$  , 加强筋与平盖组合截面包括加强筋中心两侧各  $10\delta_p$  范围 ;
- e) 加强筋与平盖的连接可采用连续或间断焊。当采用间断焊时 , 加强筋每侧间断焊接接头总长不小于加强筋长度的 1/2。

表 6-4 平盖结构图

序号	固定方法	简图	系数 $K_p$		截面系数 $Z_X, \text{mm}^3$	备注
			圆形	非圆形		
1	与筒体角焊连接				适用范围 : $p_c \leq 0.002 \text{MPa}$ $t \leq 200^\circ\text{C}$ $D_i \leq 2\ 200 \text{mm}$ 见表 6-5	
2	螺栓连接				适用范围 : $p_c \leq 0.002 \text{MPa}$ $t \leq 200^\circ\text{C}$ $D_i \leq 2\ 200 \text{mm}$ 螺栓数量应为 4 的整数倍 螺栓最大间距 220mm 见表 6-5	

表 6-4 (续)

序号	固定方法	简图	系数 $K_p$		截面系数 $Z_x, \text{mm}^3$	备注
			圆形	非圆形		
3	与筒体角焊连接		0.03		$\frac{0.01 p_c D_c^3}{[\sigma]^t}$	适用范围： $p_c \leq 0.07 \text{MPa}$ $D_1 = D_c/3$
4			0.03		$\frac{0.01 p_c D_c^3}{[\sigma]^t}$	适用范围： $p_c \leq 0.07 \text{MPa}$ $D_1 = D_c/3$
5			$0.44 \delta / \delta_e$ 且不小于 0.2	0.44		
6			$0.44 \delta / \delta_e$ 且不小于 0.2	0.44		
7			0.2			

表 6-4 (续)

序号	固定方法	简图	系数 $K_p$		截面系数 $Z_x, \text{mm}^3$	备注
			圆形	非圆形		
8	与筒体对焊接		0.03		$\frac{0.01 p_c D_c^3}{[\sigma]^t}$	$D_1 = D_c / 3$
9	与筒体角焊接		$0.44 \delta / \delta_c$ 且不小 0.2	0.44		
10			0.132		$\frac{0.05 p_c D_c^3}{[\sigma]^t}$	
11			0.08		$\frac{0.041 p_c D_c^3}{[\sigma]^t}$	

表 6-4 (续)

序号	固定方法	简图	系数 $K_p$		截面系数 $Z_x, \text{mm}^3$	备注
			圆形	非圆形		
12	与筒体角焊连接		0.032		$\frac{0.019 p_c D_c^3}{[\sigma]^t}$	
13			0.018		$\frac{0.018 p_c D_c^3}{[\sigma]^t}$	
14			0.012		$\frac{0.014 p_c D_c^3}{[\sigma]^t}$	

表 6-4 (续)

序号	固定方法	简图	系数 $K_p$		截面系数 $Z_x, \text{mm}$	备注
			圆形	非圆形		
15	与筒体角焊连接		0.03		$\frac{0.01 p_c D_c^3}{[\sigma]^4}$	$D_1 = D_c / 3$
16	螺栓连接		0.25	0.25		
17			操作时： $0.3 + \frac{1.78 W L_G}{p_c D_c^3}$ 预紧时： $\frac{1.78 W L_G}{p_c D_c^3}$	操作时： $0.3 Z_p + \frac{6 W L_G}{p_c L_p a^2}$ 预紧时： $\frac{6 W L_G}{p_c L_p a^2}$		

表 6-5 平盖厚度及加强角钢规格

容器 公称直径 mm	碳素钢及低合金钢				不锈钢			
	平盖厚度, mm		角钢规格 mm	间距 $L$ mm	平盖厚度, mm		角钢规格 mm	间距 $L$ mm
	序号 1 所示平盖	序号 2 所示平盖			序号 1 所示平盖	序号 2 所示平盖		
≤600	4	6	无		3	4	无	
700~1 100	5	6	无		3	4	无	
1 200	5	6	无		4	4	无	
1 400	6	6	无		4	4	无	
1 600~1 800	5	5	∟50×50×5	600	4	4	∟50×50×5	600
2 000	5	5	∟63×63×6	700	4	4	∟63×63×6	700
2 200	6	6	∟63×63×6	750	5	5	∟63×63×6	750

注：碳素钢及低合金钢允许腐蚀裕量 1.5mm。

## 6.5 开孔和开孔补强

### 6.5.1 符号说明

$A$  —— 开孔削弱所需的补强截面积,  $\text{mm}^2$ ;

$B$  —— 补强有效宽度, mm;

$C$  —— 厚度附加量,  $C=C_1+C_2$ , mm;

$C_1$  —— 钢板或接管厚度负偏差, mm;

$C_2$  —— 腐蚀裕量, mm;

$D_1$  —— 圆筒内直径, mm;

$D_0$  —— 平盖直径, mm;

$d$  —— 开孔直径, 圆形孔取接管内直径加 2 倍厚度附加量, 即  $d = d_1 + 2(C_2 + C_1)$ ; 椭圆形或长圆形孔取所考虑平面上的尺寸 (弦长, 包括厚度附加量), mm;

$h_1$  —— 接管外侧有效补强高度, mm;

$h_2$  —— 接管内侧有效补强高度, mm;

$p_c$  —— 计算压力, MPa;

$R_1$  —— 球壳内半径、椭圆形封头当量内球面半径或碟形封头内球面半径, mm;

$\delta$  —— 壳体开孔处的计算厚度, mm;

$\delta_e$  —— 壳体开孔处的有效厚度,  $\delta_e = \delta_n - C$ , mm;

$\delta_{et}$  —— 接管有效厚度,  $\delta_{et} = \delta_{nt} - C$ , mm;

$\delta_n$  —— 壳体开孔处的名义厚度, mm;

$\delta_{nt}$  —— 接管名义厚度, mm;

$\delta_p$  —— 平盖的计算厚度, mm;

$\delta_t$  —— 接管的计算厚度, mm;

$[\sigma]^t$  —— 设计温度下壳体的许用应力 (按第 5 章), MPa;

$\phi$ ——焊接接头系数。

### 6.5.2 总则

本条规定了容器壳体的开孔及补强。

壳体上的开孔为圆形、椭圆形或长圆形。当开设椭圆形或长圆形孔时，孔的长径与短径之比不应大于 2.0。

### 6.5.3 适用的开孔范围

#### 6.5.3.1 圆筒

当其内直径  $D_i \leq 1500\text{mm}$  时，开孔最大直径  $d \leq 0.6D_i$ ，且  $d \leq 600\text{mm}$ ；

当其内直径  $D_i > 1500\text{mm}$  时，开孔最大直径  $d \leq 0.4D_i$ ，且  $d \leq 1200\text{mm}$ 。

#### 6.5.3.2 凸形封头或球壳

凸形封头或球壳的开孔最大直径  $d \leq 0.6D_i$ 。

#### 6.5.3.3 锥壳（或锥形封头）

锥壳（或锥形封头）的开孔最大直径  $d \leq 0.4D_i$ ， $D_i$  为开孔中心处的锥壳内直径。

#### 6.5.3.4 椭圆形或碟形封头过渡部分

在椭圆形或碟形封头过渡部分开孔时，其孔的中心线宜垂直于封头表面。

### 6.5.4 不另行补强的最大开孔直径

壳体开孔满足下列全部要求时，可不考虑补强：

- 两相邻开孔中心的间距（曲面间距以弧长计算）应不小于两孔直径之和的 2 倍；
- 接管公称直径  $DN \leq 100\text{mm}$ ；
- 接管最小壁厚满足表 6-6 要求。

表 6-6 接管最小壁厚

mm

接管公称直径 DN	25	32	40	50	65	80	100
接管最小壁厚	3.5		4.0	5.0		6.0	
注：接管的腐蚀裕量为 1mm。							

### 6.5.5 开孔补强结构

壳体的开孔补强可按具体条件选用补强圈或厚壁管结构型式，其焊接接头可参见 GB 150。

补强圈的材料应与被开孔壳体的材料相同，且补强圈厚度一般不大于壳体厚度。

### 6.5.6 补强计算

通过开孔中心，且垂直于壳体表面的截面上所需的最小补强面积按下列要求确定。

#### 6.5.6.1 内压力容器：

##### 6.5.6.1.1 圆筒和锥壳开孔削弱所需的补强截面积按式（6-41）计算：

$$A = d\delta \quad \dots\dots\dots (6-41)$$

式中：

$\delta$ ——圆筒或锥壳（或锥形封头）的计算厚度，分别按式（6-1）、式（6-13）计算，对锥壳以开孔中心处的内直径取代式（6-13）中的  $D_{hi}$ 。

##### 6.5.6.1.2 椭圆形或碟形封头开孔削弱所需的补强截面积按式（6-41）计算，式中 $\delta$ 按下列情况确

定：

a) 开孔位于以椭圆形封头中心为中心 80%封头内直径的范围时， $\delta$  按式 ( 6-42 ) 计算：

$$\delta = \frac{p_c K_1 D_1}{2[\sigma]^t \phi} \dots\dots\dots ( 6-42 )$$

式中：

$K_1$ ——椭圆形长短轴比值决定的系数，由 GB 150 中表 7-2 查得。

b) 开孔位于碟形封头的球面部分时， $\delta$  按式 ( 6-43 ) 计算：

$$\delta = \frac{p_c R_1}{2[\sigma]^t \phi} \dots\dots\dots ( 6-43 )$$

c) 开孔位于 a)、b) 两条所述范围之外时， $\delta$  按式 ( 6-6 )、式 ( 6-9 ) 计算。

6.5.6.2 外压容器

外压容器开孔所需的补强截面积按式 ( 6-44 ) 计算：

$$A = 0.5d\delta \dots\dots\dots ( 6-44 )$$

式中：

$\delta$ ——按外压计算所得计算厚度，mm。

6.5.6.3 凡交替受内压和外压的容器，开孔所需的补强截面积应分别按内压和外压计算，取较大值。

6.5.6.4 平盖开孔补强的要求：

a) 平盖开孔直径  $d \leq \frac{1}{2} D_0$  ( 或加撑平盖当量直径的 1/2，或非圆形平盖短轴长度的 1/2 ) 时，所需的补强截面积按式 ( 6-45 ) 计算：

$$A = 0.5d\delta_p \dots\dots\dots ( 6-45 )$$

式 ( 6-45 ) 适用于外加补强元件的补强要求。

若采用增加平盖的厚度进行补强时，则对螺栓连接的平盖，将本章平盖厚度计算式中的  $K_p$  增大为  $2K_p$  进行计算；对其他形式的平盖，应将相应厚度计算式中的  $K_p$  以  $2K_p$  或者 0.75 两者中的较小值代入进行计算；

b) 平盖中心开孔直径  $d > \frac{1}{2} D_0$  时，按 GB 150 的 8.9 进行设计。

6.5.7 有效补强范围及补强面积

计算开孔补强时，有效补强范围及补强面积按图 6-6 中矩形 WXYZ 范围确定。

6.5.7.1 有效补强范围：

a) 有效宽度  $B$  按式 ( 6-46 ) 计算：

$$B = 2d \dots\dots\dots ( 6-46 )$$

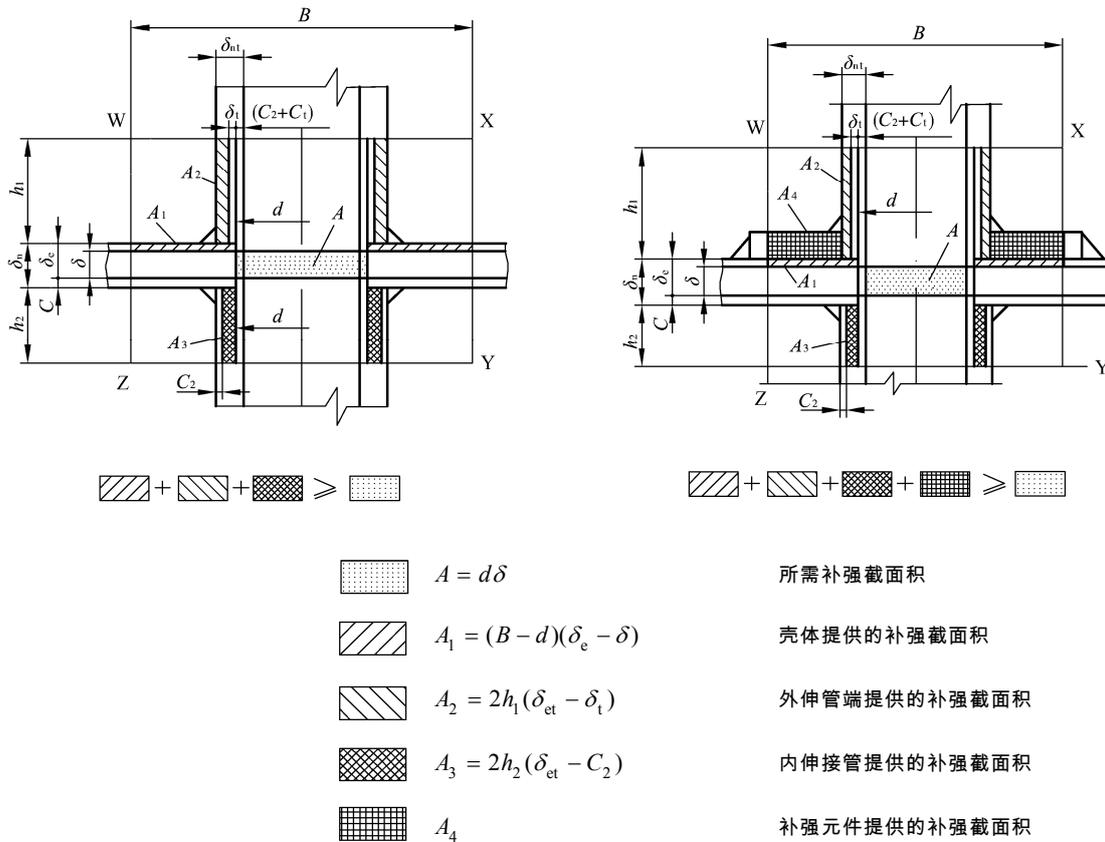


图 6-6 有效补强范围示意图

b) 有效高度按式 (6-47)、式 (6-48) 计算，分别取式中较小值。

外侧高度：

$$h_1 = \begin{cases} \sqrt{d\delta_{nt}} \\ \text{接管实际外伸高度} \end{cases} \dots\dots\dots (6-47)$$

内侧高度：

$$h_2 = \begin{cases} \sqrt{d\delta_{nt}} \\ \text{接管实际内伸高度} \end{cases} \dots\dots\dots (6-48)$$

6.5.7.2 补强面积

在有效补强范围内，可作为补强的截面积按式 (6-49) 计算：

$$A_e = A_1 + A_2 + A_3 \dots\dots\dots (6-49)$$

式中：

$A_e$  —— 补强面积， $\text{mm}^2$ ；

$A_1$  —— 壳体有效厚度减去计算厚度之外的多余面积，按式 (6-50) 计算， $\text{mm}^2$ ；

$$A_1 = (B-d)(\delta_e - \delta) \dots\dots\dots (6-50)$$

$A_2$  —— 外伸接管有效厚度减去计算厚度之外的多余面积，按式 (6-51) 计算， $\text{mm}^2$ ；

$$A_2 = 2h_1(\delta_{et} - \delta_i) \quad \dots\dots\dots (6-51)$$

$A_3$  —— 内伸接管有效厚度减去计算厚度之外的多余面积，按式(6-52)计算， $\text{mm}^2$ ；

$$A_3 = 2h_2(\delta_{et} - C_2) \quad \dots\dots\dots (6-52)$$

若  $A_e \geq A$ ，则开孔不需另加补强；

若  $A_e < A$ ，则开孔需另加补强，其另加补强面积按式(6-53)计算：

$$A_4 \geq A - A_e \quad \dots\dots\dots (6-53)$$

式中：

$A_4$  —— 有效补强范围内另加的补强面积(见图6-6)， $\text{mm}^2$ 。

### 6.5.8 多个开孔补强

6.5.8.1 当任意两个相邻开孔的中心距小于两孔直径之和，而使其补强范围彼此重叠时(见图6-7)，则此两开孔应在两孔中心线的平面内按6.5.8.2进行补强计算，且应采用联合补强。联合补强的总面积，要求不小于各孔单独补强所需面积之和。两孔之间的补强面积至少应等于两孔所需总补强面积的50%。在计算联合补强面积时，任意截面不得重复计入。孔中心在同一直线上的开孔，可按逐次配对的开孔处理。

6.5.8.2 当两个以上相邻开孔的中心距小于该两孔直径之和，且采用联合补强时(见图6-8)，则这些相邻开孔的中心距应至少等于其平均直径的  $1\frac{1}{3}$  倍。任意相邻两孔之间的补强面积应至少等于该两孔所需总补强面积的50%。

若任意两相邻开孔中心距小于其平均直径的  $1\frac{1}{3}$  倍，则该两孔之间的任何金属均不得作补强，这些开孔必须按6.5.8.3的方法进行补强。

6.5.8.3 任何数量并以任何方式排列的相邻开孔，均可作为一个假想孔(其直径包括所有靠近的开孔)进行补强。假想孔的直径不得超过6.5.3的规定，所有接管金属均不得用作补强。

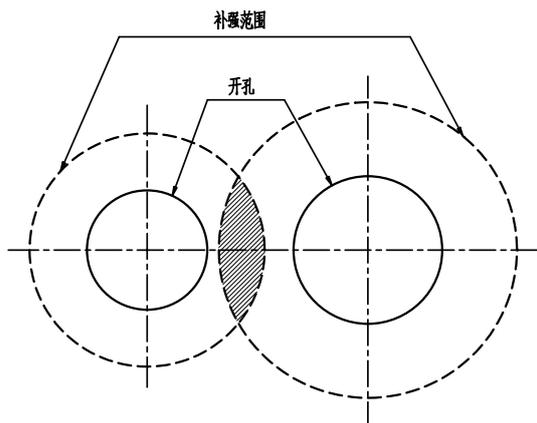


图 6-7 相邻开孔示意图

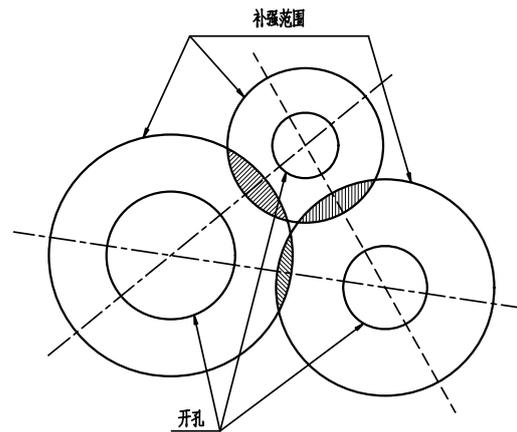


图 6-8 多个开孔示意图

## 6.6 矩形法兰

### 6.6.1 符号说明

$A_a$  —— 预紧状态下，需要的单个螺栓最小截面积，以螺纹小径计算或以无螺纹部分的最小直径计算，取较小值， $\text{mm}^2$ ；

- $A_b$  —— 单个螺栓实际使用截面积，以螺纹小径计算或以无螺纹部分的最小直径计算，取较小值， $\text{mm}^2$ ；
- $A_m$  —— 需要的单个螺栓截面积，取  $A_a$  与  $A_p$  两者的较大值， $\text{mm}^2$ ；
- $A_p$  —— 操作状态下，需要的单个螺栓最小截面积，以螺纹小径计算或以无螺纹部分的最小直径计算，取较小值， $\text{mm}^2$ ；
- $b$  —— 预紧状态垫片有效密封宽度， $\text{mm}$ ；
- $2b'$  —— 操作状态垫片有效密封宽度， $\text{mm}$ ；
- $b_o$  —— 预紧状态垫片基本密封宽度， $b_o = D - D_b$ ， $\text{mm}$ ；
- $D$  —— 短边截面垫片外侧距离或法兰外侧距离，取两者的较小值， $\text{mm}$ ；
- $D_b$  —— 短边截面螺栓中心距， $\text{mm}$ ；
- $D_i$  —— 短边截面法兰内侧距离， $\text{mm}$ ；
- $d$  —— 螺栓公称直径， $\text{mm}$ ；
- $d_b$  —— 螺栓孔直径， $\text{mm}$ ；
- $F$  —— 作用于斜线阴影区（见图 6-9 主视图）流体压力引起的轴向力， $F = 0.5(D_b - d_b)L_F p_c$ ， $\text{N}$ ；
- $F_D$  —— 作用于横线阴影区（见图 6-9 主视图）法兰内截面部分的流体压力引起的轴向力， $F_D = 0.5D_i L_F p_c$ ， $\text{N}$ ；
- $F_G$  —— 预紧状态下，单个螺栓需要的最小垫片压紧力， $\text{N}$ ；
- $F_p$  —— 操作状态下，单个螺栓需要的最小垫片压紧力， $\text{N}$ ；
- $F_R$  —— 作用在螺栓中心外侧，为平衡  $F_D$ 、 $F_p$ 、 $F_T$  产生的力矩所需的轴向力， $\text{N}$ ；
- $F_T$  ——  $F$  与  $F_D$  之差， $F_T = F - F_D$ ， $\text{N}$ ；
- $L_A$  —— 螺栓中心至法兰背面焊缝的距离， $\text{mm}$ ；
- $L_D$  —— 螺栓中心至  $F_D$  作用位置处的距离， $\text{mm}$ ；
- $L_e$  —— 螺栓中心至法兰外侧的距离， $\text{mm}$ ；
- $L_F$  —— 相邻螺栓间距， $\text{mm}$ ；
- $L_{F\max}$  —— 螺栓最大间距， $\text{mm}$ ；
- $L_p$  —— 螺栓中心至  $F_p$  作用位置处的距离， $\text{mm}$ ；
- $L_R$  —— 螺栓中心至  $F_R$  作用位置处的距离， $\text{mm}$ ；
- $L_T$  —— 螺栓中心至  $F_T$  作用位置处的距离， $\text{mm}$ ；
- $m$  —— 垫片系数，由表 6-7 查得；
- $M_o$  —— 法兰设计力矩， $\text{N}\cdot\text{mm}$ ；
- $p_c$  —— 计算压力， $\text{MPa}$ ；
- $W_a$  —— 预紧状态下，需要的单个螺栓最小载荷， $\text{N}$ ；
- $W_p$  —— 操作状态下，需要的单个螺栓最小载荷， $\text{N}$ ；
- $y$  —— 垫片比压力，由表 6-7 查得， $\text{MPa}$ ；
- $\delta_f$  —— 法兰有效厚度， $\text{mm}$ 。
- $[\sigma]_b$  —— 常温下螺栓材料的许用应力， $\text{MPa}$ ；
- $[\sigma]_b^t$  —— 设计温度下螺栓材料的许用应力， $\text{MPa}$ ；
- $[\sigma]_f^t$  —— 设计温度下法兰材料的许用应力， $\text{MPa}$ ；

### 6.6.2 总则

6.6.2.1 本条规定了宽面矩形法兰的计算方法,如图 6-9 所示,对于螺栓连接的圆形法兰设计应按 GB 150 的规定。

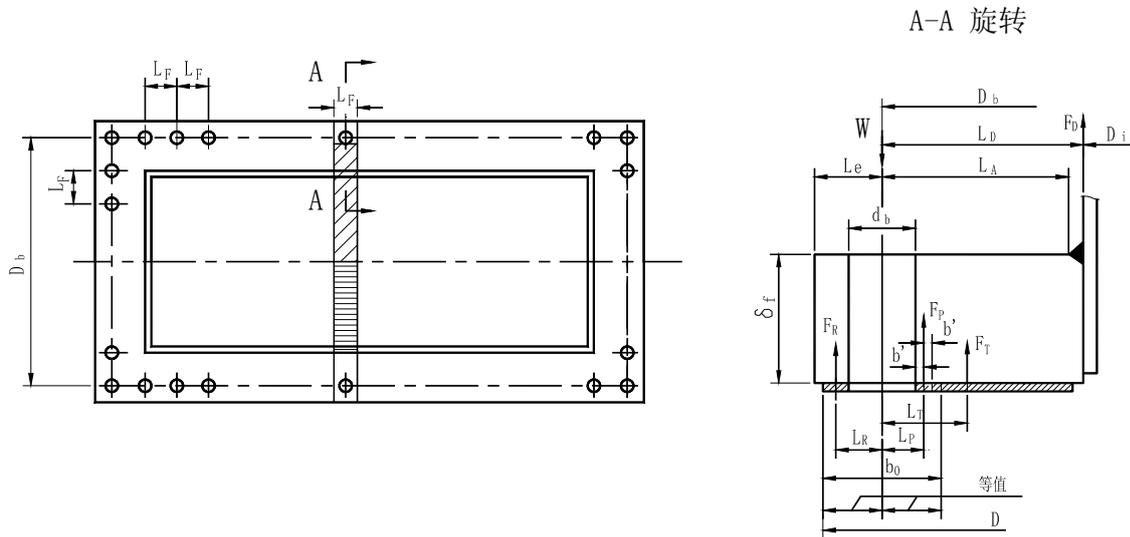


图 6-9 法兰结构型式

6.6.2.2 本条适用于承受流体静压力及垫片压紧力作用并符合下列条件的螺栓法兰连接设计：

- a) 长、短边比大于 2 的矩形宽面法兰(即垫片的接触面分布于螺栓孔中心内外两侧);对于长、短边比小于 2 的矩形法兰,也可参照本方法计算;
- b) 密封面为光滑平面;
- c) 采用厚度不小于 1.5mm 的非金属软垫片。

6.6.2.3 螺栓法兰连接设计包括：

- a) 确定垫片材料及尺寸;
- b) 确定螺栓材料、规格及数量;
- c) 确定法兰材料及结构尺寸;
- d) 进行应力校核。

注：计算中所有尺寸均不包括腐蚀裕量。

### 6.6.3 垫片

#### 6.6.3.1 常用软垫片的特性参数

常用软垫片的特性参数 ( $m, y$ ) 可由表 6-7 查取。

#### 6.6.6.2 垫片有效密封宽度：

- a) 预紧状态垫片有效密封宽度按式 (6-54) 确定：

$$b = 4\sqrt{b_0} \dots\dots\dots (6-54)$$

- b) 操作状态垫片有效密封宽度 ( $2b'$ ) 应等于 5mm。

#### 6.6.6.3 垫片压紧力：

- a) 预紧状态需要的最小垫片压紧力按式 (6-55) 计算：

$$F_G = L_F by \quad \dots\dots\dots (6-55)$$

b) 操作状态需要的最小垫片压紧力按式(6-56)计算：

$$F_p = 2b'L_F m p_c \quad \dots\dots\dots (6-56)$$

表 6-7 常用软垫片特性参数  $m$ 、 $y$

垫片材料			垫片系数 $m$	比压力 $y$ MPa
合成橡胶板	肖氏 硬度	< 75	0.50	0
		≥ 75	1.00	1.4
石棉橡胶板、石棉板	厚度 mm	3	2.00	11
		1.5	2.75	25.5
内有棉纤维的橡胶板			1.25	2.8
植物纤维			1.75	7.6

6.6.4 螺栓

6.6.4.1 螺栓布置：

- a) 螺栓间距  $L_F$  及法兰结构尺寸  $L_A$ 、 $L_c$  的最小值可按表 6-8 确定；
- b) 推荐的螺栓最大间距按式(6-57)计算：

$$L_{Fmax} = 3d_b + 2\delta_f \quad \dots\dots\dots (6-57)$$

表 6-8  $L_F$ 、 $L_A$ 、 $L_c$  的最小值 mm

$d_b$	12	16	20	22	24	27	30	36
$L_F$	32	38	46	52	56	62	70	80
$L_c$	16	18	20	24	26	28	30	36
$L_A$	16	20	24	26	28	31	36	39

6.6.4.2 螺栓载荷：

- a) 预紧状态螺栓载荷按式(6-58)计算：

$$W_a = F_G = L_F by \quad \dots\dots\dots (6-58)$$

- b) 操作状态螺栓载荷按式(6-59)计算：

$$W_p = F + F_p + F_R \quad \dots\dots\dots (6-59)$$

式中：

$$F_R = \frac{F_D L_D + F_p L_p + F_T L_T}{L_R} ;$$

$$L_R = 0.25(D - D_b + d_b) ;$$

$$L_p = 0.5(d_b + 2b') ;$$

$$L_T = 0.25(D_b - D_i + d_b + 2b')。$$

6.6.4.3 螺栓面积：

a) 预紧状态需要的最小螺栓面积按式 ( 6-60 ) 计算：

$$A_a = \frac{W_a}{[\sigma]_b} \dots\dots\dots ( 6-60 )$$

b) 操作状态需要的最小螺栓面积按式 ( 6-61 ) 计算：

$$A_p = \frac{W_p}{[\sigma]_b^t} \dots\dots\dots ( 6-61 )$$

c) 需要的螺栓面积  $A_m$  取  $A_a$  与  $A_p$  之大值；

d) 实际螺栓面积  $A_b$  应不小于需要的螺栓面积  $A_m$ 。

6.6.5 法兰

6.6.5.1 法兰力矩按式 ( 6-62 ) 计算：

$$M_o = F_R L_R \dots\dots\dots ( 6-62 )$$

6.6.5.2 法兰厚应按式 ( 6-63 ) 计算：

$$\delta_f = \sqrt{\frac{6M_o}{(L_F - d_b)[\sigma]_f^t}} \dots\dots\dots ( 6-63 )$$

7 立式圆筒形容器

7.1 符号说明

- $A$  —— 组合截面的面积， $A = B \times T + \delta_1 \times L_{S1} + \delta \times L_S$ ， $\text{mm}^2$ ；
- $A_b$  —— 地脚螺栓截面积，以螺栓小径计算， $\text{mm}^2$ ；
- $A_t$  —— 单根支腿的横截面面积， $\text{mm}^2$ ；
- $a$  —— 支座底板长度， $\text{mm}$ ；
- $b$  —— 支座底板宽度， $\text{mm}$ ；
- $c$  —— 支座盖板宽度， $\text{mm}$ ；
- $d$  —— 支座中性轴与底板下表面交点至容器外壁的距离， $\text{mm}$ ；
- $D_b$  —— 地脚螺栓的中心圆直径， $\text{mm}$ ；
- $D_o$  —— 容器（圆筒）的外直径， $\text{mm}$ ；
- $F$  —— 每个支耳上的载荷， $\text{N}$ ；
- $F_H$  —— 容器的水平力，是由风载荷和地震载荷而定， $\text{N}$ ；
- $F_L$  —— 支柱的最大垂直反力， $\text{N}$ ；

- $F_R$ ——沿中性轴的载荷(见图 7-3), N;  
 $h$ ——基础顶面至设备质心的高度或支耳筋板的高度, mm;  
 $L_1$ ——基础板下表面到支腿装配焊缝中心的长度, mm;  
 $n$ ——支腿的个数或带整体加强环耳式支座的支承点数;  
 $n_b$ ——一个支腿的地脚螺栓个数;  
 $P_w$ ——风载荷, N;  
 $R_{eL}$ ——支腿材料的屈服强度, MPa;  
 $W$ ——垂直载荷, N, 取设备最大操作重量;  
 $\alpha$ ——筋板与底板的夹角, ( $^\circ$ );  
 $\delta_a$ ——支座盖板厚度, mm;  
 $\delta_b$ ——支座底板或基础环的厚度, mm;  
 $\delta_g$ ——筋板厚度, mm;  
 $\sigma$ ——支腿的水平反力, N;  
 $\sigma_{c\max}$ ——筋板的最大压缩应力, MPa;  
 $[\sigma]$ ——筋板、底板、支腿或钢性环材料的许用应力, MPa;  
 $[\sigma]_a$ ——盖板材料的许用弯曲应力, MPa;  
 $[\sigma]_b$ ——支腿、底板材料的许用弯曲应力, MPa;  
 $[\sigma]_c$ ——支腿、筋板材料的许用压缩应力, MPa;  
 $[\sigma]^t$ ——支腿设计温度下的许用应力, MPa;  
 $\sigma_{c1}$ ——支腿作用在混凝土基础上压缩应力, MPa;  
 $\lambda$ ——支腿的有效长细比;  
 $\lambda_c$ ——支腿的极限长细比。

## 7.2 结构设计

7.2.1 球形(冠)封头、无折边锥形封头与筒体或法兰的连接角焊缝, 应采用全焊透结构。

7.2.2 容器法兰可按 JB/T 4701~JB/T 4703 选用。

7.2.3 人孔、手孔和检查孔的设置: 需进行内部清理或制造安装以及检查、维修上有要求的容器, 应开设人孔或手孔、检查孔, 其设置位置应便于检查、清理, 对人孔还要考虑进出方便。碳素钢和低合金钢制人孔、手孔可按 HG 21514~21535 选用。不锈钢制人孔、手孔按 HG 21594~21604 选用。

7.2.4 接管及接管法兰: 接管的伸出长度宜根据管径、设备有无保温和工艺的要求确定, 接管是否需要加固应根据管径和接管伸出长度来确定。钢制管法兰、垫片、紧固件宜按 HG 20592~20635 选用。

### 7.2.5 支承分类

立式圆筒形容器的支承分为以下四种型式:

- 耳式支座, 分为不带整体加强环耳式支座和带整体加强环耳式支座两种型式;
- 支腿式支承;
- 支承式支承, 分为管式结构和板式结构两种型式;
- 裙式支承。

### 7.2.6 一般要求

7.2.6.1 各式支承由钢板或型材制成。

7.2.6.2 对操作温度较高的容器，应设置特制的滑动支撑板，其结构如图 7-1 所示。

7.2.6.3 所有支座宜优先按标准规定选用，超出标准范围支座的应参照标准的计算方法进行计算。

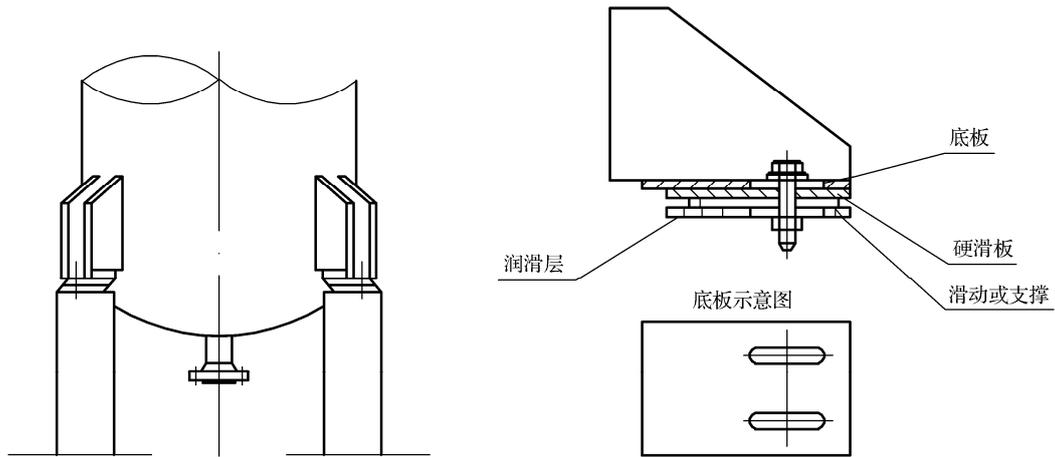


图 7-1 立式容器滑动支撑板结构

### 7.3 耳式支座

耳式支座宜优先按 JB/T 4712.3 选用。

#### 7.3.1 不带整体加强环耳式支座

##### 7.3.1.1 通则

不带整体加强环耳式支座一般由底板、筋板组成。为降低容器壳体的局部应力，以及考虑壳体的稳定，可采用加长筋板、增加盖板或设置垫板等加强措施。不带整体加强环耳式支座的结构如图 7-2 所示。

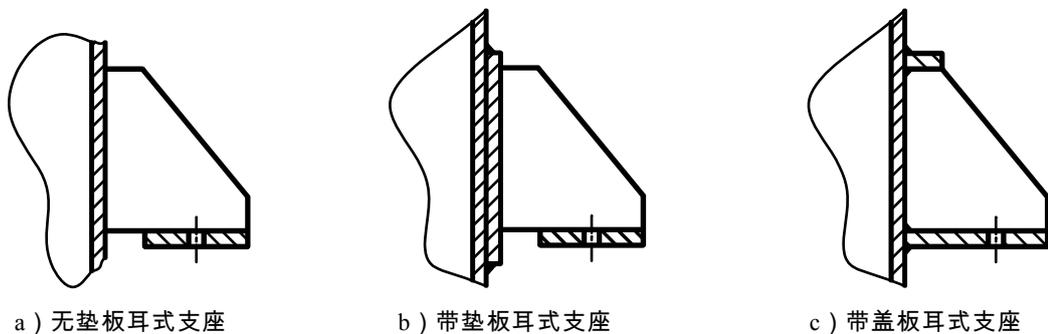


图 7-2 不带整体加强环耳式支座

7.3.1.2 一般容器采用 4 个耳式支座均布。对于仅承受静力载荷，直径小于或等于 700mm 的容器，可以采用 2 个耳式支座对称分布。对于大直径且重量较重的容器，应当增加耳式支座的数量。

### 7.3.1.3 计算

先假定结构尺寸(见图 7-3),再按以下步骤进行核算:

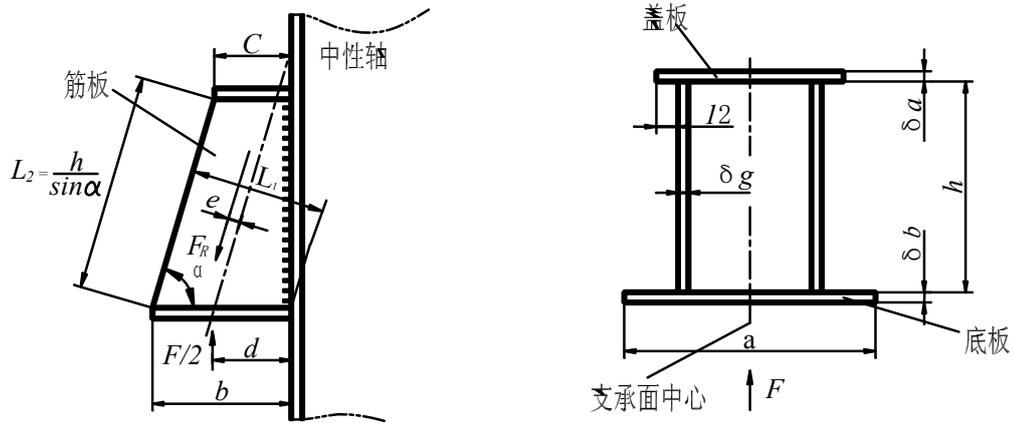


图 7-3 带盖板耳式支座受力分析

a) 筋板的最大压缩应力按式 (7-1) 计算, 最大压缩应力应小于或等于筋板材料的许用压缩应力  $[\sigma]_c$ ,  $[\sigma]_c$  按式 (7-2) 计算。

$$\sigma_{c \max} = \frac{F_R}{L_1 \delta_g} + \frac{6eF_R}{L_1^2 \delta_g} \quad \dots\dots\dots (7-1)$$

式中:

$$L_1 = b \sin \alpha ;$$

$$e = \left( d - \frac{b}{2} \right) \sin \alpha ;$$

$$F_R = \frac{F}{2 \sin \alpha}。$$

$$[\sigma]_c = \frac{[\sigma]}{1 + \frac{(L_2/r)^2}{140[\sigma]}} \quad \dots\dots\dots (7-2)$$

式中:

$r$  —— 筋板惯性半径,  $r = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = 0.289\delta_g$ , mm;

$L_2$  —— 筋板长度,  $L_2 = \frac{h}{\sin \alpha}$ , mm;

$I_{\min}$  —— 最小惯性矩,  $\text{mm}^4$ ;

$A$  —— 筋板截面积,  $\text{mm}^2$ 。

b) 底板的最大应力按式 (7-3) 计算, 最大应力应小于或等于底板材料的许用应力  $[\sigma]_b$ 。

$$\sigma_b = \frac{\beta F b}{a \delta_b^2} \quad \dots\dots\dots (7-3)$$

式中：

$\beta$ ——由底板的长度  $a$ 、宽度  $b$  决定的系数，见表 7-1。

表 7-1 由底板的长度、宽度决定的系数  $\beta$

$a/b$	0.50	0.667	1.0	1.25	1.5	2.0	4.0
$\beta$	0.36	0.45	0.67	0.72	0.77	0.79	0.80

c) 盖板的最大应力按式 (7-4) 计算，最大应力应小于或等于盖板材料的许用弯曲应力  $[\sigma]_a$ 。

$$\sigma_a = \frac{0.75Fda}{\delta_a c^2 h} \dots\dots\dots (7-4)$$

式中：

$c$ ——最小值为 50mm，最大值为  $8\delta_a$ 。

7.3.2 带整体加强环耳式支座

7.3.2.1 当耳式支座处圆筒壁内存在较高的局部应力或对圆筒壁变形有较严格要求，而不宜采用垫板时，可采用带整体加强环的耳式支座。

7.3.2.2 带整体加强环的耳式支座可设置 2、3、4、6、8 个支承点，沿环周向均布，如图 7-4 所示。

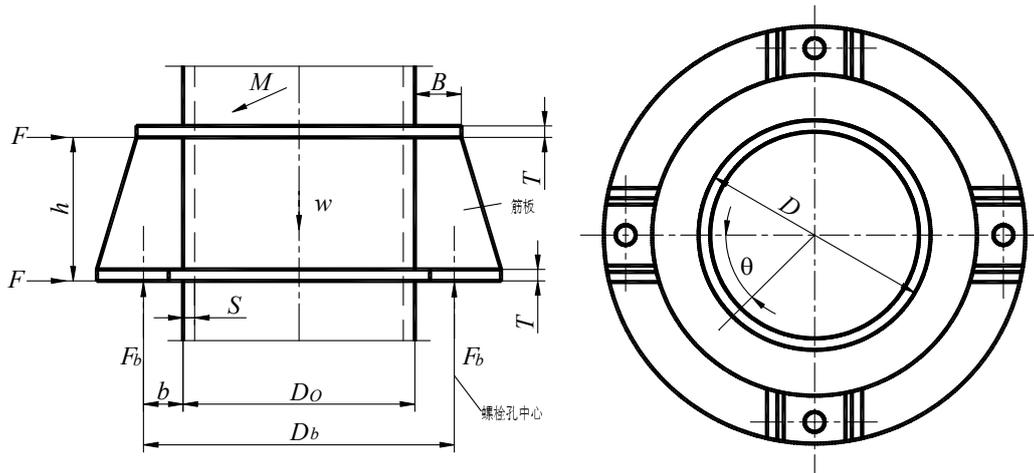


图 7-4 带整体加强环耳式支座的容器

7.3.2.3 强度计算。

7.3.2.3.1 组合截面的惯性矩计算：

假定刚性环的尺寸如图 7-5 所示。

圆筒壳体上有效加强宽度  $L_s$  按式 (7-5) 计算：

$$L_s = 1.1\sqrt{D_o\delta_e} \dots\dots\dots (7-5)$$

式中：

$L_s$ ——圆筒壳体有效加强宽度，mm；

$\delta_e$ ——圆筒壳体的有效厚度，mm。

圆筒上带垫板的有效加强宽度  $L_{s1}$  按式 (7-6) 计算：

$$L_{s1} = 1.1\sqrt{D_{o1}\delta_{e1}} \dots\dots\dots (7-6)$$

式中：

$L_{s1}$ ——圆筒上带垫板的有效加强宽度，mm；

$D_{o1}$ ——垫板圆筒的外径，mm；

$\delta_{e1}$ ——垫板的有效厚度，mm。

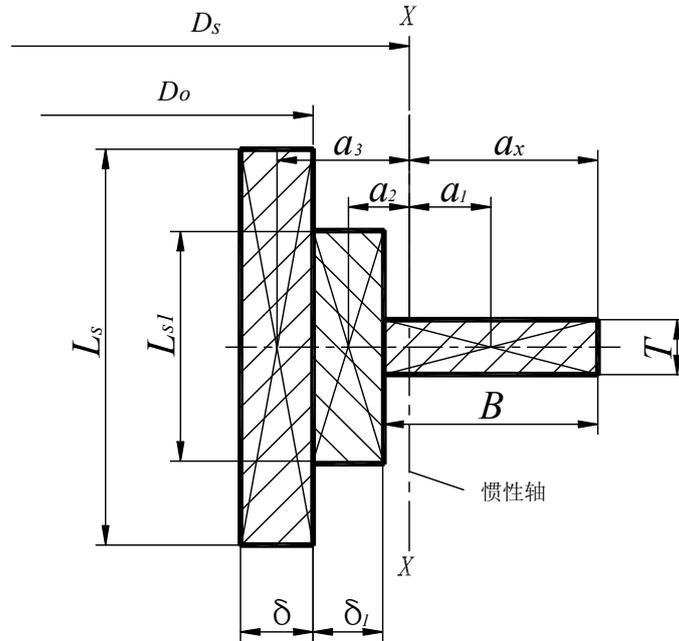


图 7-5 刚性环、垫板与壳体的组合截面

组合截面的惯性矩  $I$ ， $\text{mm}^4$ ，按式 (7-7) 计算：

$$I = \sum I_i = I_1 + I_2 + I_3 \quad \dots\dots\dots (7-7)$$

式中：

$$I_1 = \frac{1}{12} B^3 T + B T a_1^2 ;$$

$$I_2 = \frac{1}{12} \delta_1^3 L_{s1} + \delta_1 L_{s1} a_2^2 ;$$

$$I_3 = \frac{1}{12} \delta^3 L_s + \delta L_s a_3^2 ;$$

$$a_1 = a_x - \frac{1}{2} B ;$$

$$a_2 = B + \frac{1}{2} \delta_1 - a_x ;$$

$$a_3 = B + \delta_1 + \frac{1}{2} \delta - a_x \circ$$

式中：

$B$ ——刚性环的宽度，mm；

$T$ ——刚性环的厚度，mm；

$\delta_1$ ——垫板的厚度，mm。

惯性轴直径  $D_s$  , mm , 按式 ( 7-8 ) 计算 :

$$D_s = D_o + 2(\delta_1 + B - a_x) \quad \dots\dots\dots ( 7-8 )$$

组合截面的惯性轴 X-X 的位置 :

$$a_x = \frac{(TB^2)/2 + \delta_1 L_{s1}(B + \delta_1/2) + \delta L_s(B + \delta_1 + \delta/2)}{BT + \delta_1 L_{s1} + \delta L_s} \quad \dots\dots\dots ( 7-9 )$$

式中 :

$a_x$  —— 刚性环外缘至惯性轴的距离 , mm。

7.3.2.3.2 计算支座处作用于刚性环上的力 :

支座处作用于刚性环上的力  $F$  , 按式 ( 7-10 ) 计算 :

$$F = \frac{F_b b}{h} \quad \dots\dots\dots ( 7-10 )$$

式中 :

$F_b$  —— 作用于一个支座上的力 , N , 按式 ( 7-11 ) 计算 :

$$F_b = \frac{4M}{nD_b} + \frac{W}{n} \quad \dots\dots\dots ( 7-11 )$$

式中 :

$M$  —— 外载荷作用在容器上的力矩 , N · mm ;

$D_b$  —— 支座与基础接触面中心的直径。当缺少此数据时 , 可按地脚螺栓中心圆直径来计算 , mm。

计算刚性环组合断面上的内力、应力 ( 见图 7-6 )。

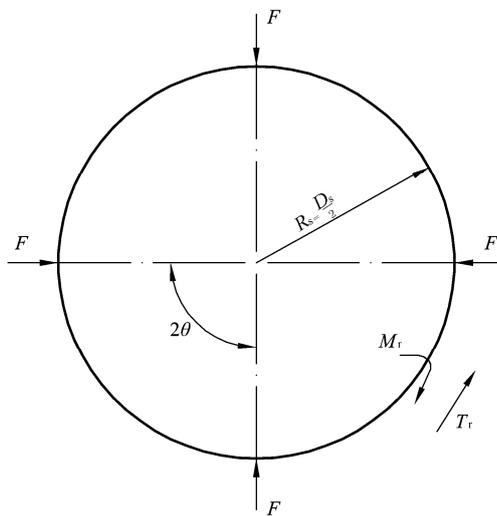


图 7-6 刚性环组合断面上的力和力矩

7.3.2.3.3 计算支座处和两支座中间处刚性环组合断面上的应力 :

支座处 :

内力矩  $M_r$  , 按式 ( 7-12 ) 计算 :

$$M_r = -\frac{1}{2}FR_s \left( \frac{1}{\theta} - \cot\theta \right) \quad \dots\dots\dots ( 7-12 )$$

式中：

$\theta$  角， $\theta = \frac{\pi}{n}$ ，rad。

当支座数量  $n=4$  时： $\theta = \frac{\pi}{4}$ 。

周向力  $T_r$ ，按式 (7-13) 计算：

$$T_r = \frac{1}{2} F \cot \theta \quad \dots\dots\dots (7-13)$$

应力  $\sigma$  按式 (7-14) 计算：

$$\sigma = \frac{|M_r| a_x}{I} + \frac{T_r}{A} \leq [\sigma] \quad \dots\dots\dots (7-14)$$

两支座中间处：

内力矩  $M_r$ ，按式 (7-15) 计算：

$$M_r = \frac{1}{2} F R_s \left( \frac{1}{\sin \theta} - \frac{1}{\theta} \right) \quad \dots\dots\dots (7-15)$$

周向力  $T_r$ ，按式 (7-16) 计算：

$$T_r = \frac{F}{2 \sin \theta} \quad \dots\dots\dots (7-16)$$

应力  $\sigma$  按式 (7-17) 计算：

$$\sigma = \frac{|M_r| a_x}{I} + \frac{T_r}{A} \leq [\sigma] \quad \dots\dots\dots (7-17)$$

## 7.4 支腿式支撑

### 7.4.1 通则

支腿由底板、支柱、盖板组成。必要时可增加加强板，如图 7-7 所示。支柱通常由钢管或等边角钢制成，也可以用槽钢或工字钢制成。支腿式支座宜优先按 JB/T 4712.2 选用，超出标准范围的按照 7.4.4 计算。



图 7-7 支腿

7.4.2 支腿

筒体直径小于或等于 1200mm 时，推荐用 3 个支腿，筒体直径大于 1200mm 时，推荐用 4 个支腿，筒体直径更大时可用 6~8 个支腿。支腿与器壁的贴合处，遇到容器的环向焊接接头时，应在支腿上切割缺口，避免与焊接接头相碰，在支腿顶部宜加焊盖板。

7.4.3 不宜采用支腿支撑的容器

支腿一般不适用下列条件的立式容器：

- a) 安装于非刚性基础上的容器；
- b) 通过管线直接与往复运转的机器刚性连接的容器。

7.4.4 强度计算

7.4.4.1 载荷

支腿受力图见图 7-8。

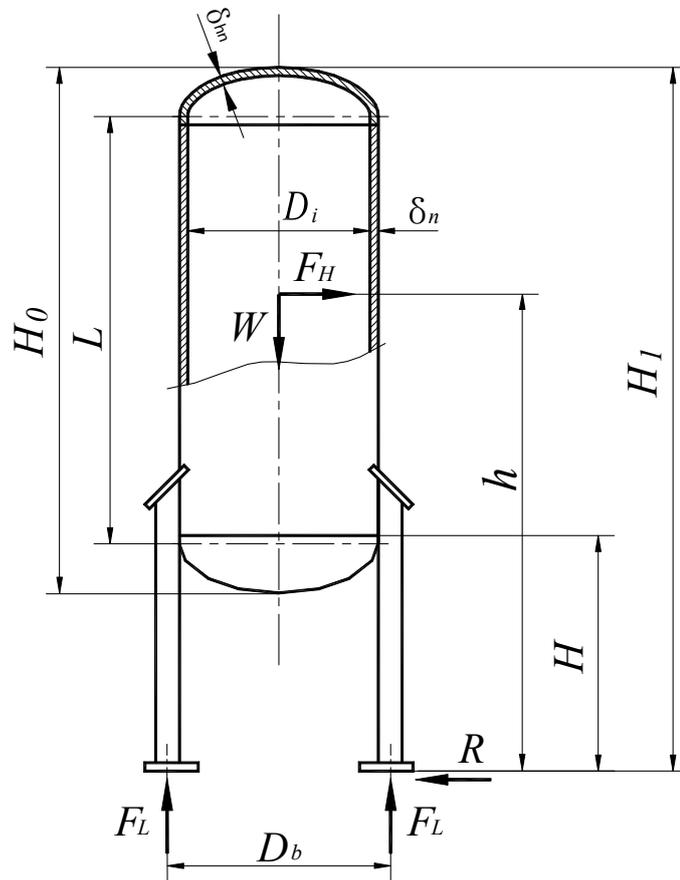


图 7-8 支腿受力图

支腿的水平反力  $\sigma$  按式 (7-18) 计算：

$$\sigma = \frac{F_H}{n} \dots\dots\dots (7-18)$$

支腿的最大垂直反力  $F_L$  按式 (7-19) 计算：

$$F_L = \pm \frac{4hF_H}{nD_b} - \frac{W}{n} \quad \dots\dots\dots (7-19)$$

7.4.4.2 支腿稳定及强度计算

假定支腿与壳体的连接为固接，支腿端部为自由端。单根支腿内产生的最大应力，发生在受压侧的支腿内。单根支腿的压缩应力  $\sigma_c$  按式 (7-20) 计算，压缩应力应小于或等于支腿的临界许用压缩应力  $[\sigma]_c$ 。

$$\sigma_c = \frac{F_L}{A_t} \quad \dots\dots\dots (7-20)$$

支腿的临界许用压缩应力  $[\sigma]_c$ ，MPa，由式 (7-21) 或式 (7-22) 求取。

当  $\lambda \leq \lambda_c$  时：

$$[\sigma]_c = \frac{1.2 \left[ 1 - 0.4 \left( \frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^2 \right] R_{eL}}{n_s \eta} \quad \dots\dots\dots (7-21)$$

当  $\lambda > \lambda_c$  时：

$$[\sigma]_c = \frac{0.227 R_{eL}}{\left( \frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^2} \quad \dots\dots\dots (7-22)$$

式中：

$\lambda$  —— 支腿的有效长细比， $\lambda = \frac{0.7H}{i}$ ；

$n_s$  —— 由  $\lambda$  和  $\lambda_c$  决定的系数， $n_s = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left( \frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^2$ ；

$\eta$  —— 设备重要度系数，取  $\eta = 1$ ；

$i$  —— 单根支腿截面的最小回转半径， $i = \sqrt{\frac{I}{A_t}}$ ，mm；

$H$  —— 支承高度，mm；

$I$  —— 单根支腿的最小截面惯性矩， $\text{mm}^4$ 。

支腿的临界长细比  $\lambda_c$  按式 (7-23) 计算：

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6 R_{eL}}} \quad \dots\dots\dots (7-23)$$

式中：

$E$  —— 材料的弹性模量，对于碳钢， $E = 2.1 \times 10^5$  MPa。

支腿的剪切应力  $\tau$  按式 (7-24) 计算，剪切应力应小于或等于支腿的许用剪切应力  $[\tau]$ ， $[\tau] = 0.6[\sigma]^t$ 。

$$\tau = \frac{F_H}{nA_t} \quad \dots\dots\dots (7-24)$$

支腿的弯曲应力  $\sigma_b$  按式 (7-25) 计算, 弯曲应力应小于或等于支腿的许用弯曲应力  $[\sigma]_b$ 。

$$\sigma_b = \frac{RL_1 + F_L e}{Z_{\min}} \quad \dots\dots\dots (7-25)$$

式中:

$Z_{\min}$  —— 单根支腿的最小抗弯截面模量,  $\text{mm}^3$ ;

$e$  —— 壳体外径至支腿形心的距离,  $\text{mm}$ 。

支腿结构应满足式 (7-26) 要求:

$$\frac{\sigma_c}{[\sigma]_c} + \frac{\sigma_b}{[\sigma]_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (7-26)$$

#### 7.4.4.3 地脚螺栓的强度计算

地脚螺栓的拉应力  $\sigma_{bt}$  按式 (7-27) 计算, 当计算得的值小于 0 时, 其值为 0。拉应力应小于或等于地脚螺栓的许用拉应力  $[\sigma]_{bt}$ , 对于碳钢常温下:  $[\sigma]_{bt} = 147\text{MPa}$ 。

$$\sigma_{bt} = \frac{1}{n \cdot n_b \cdot A_{bt}} \left( \frac{4F_H h}{D_b} - W \right) \quad \dots\dots\dots (7-27)$$

式中:

$A_{bt}$  —— 一个地脚螺栓的有效截面面积,  $A_{bt} = \frac{\pi}{4} \left( d_1 - c_{bt} - \frac{0.866 \times t_b}{6} \right)^2$ ,  $\text{mm}^2$ ;

$d_1$  —— 地脚螺栓的内径,  $\text{mm}$ ;

$c_{bt}$  —— 地脚螺栓腐蚀裕量,  $\text{mm}$ ;

$t_b$  —— 地脚螺栓螺距,  $\text{mm}$ 。

地脚螺栓的剪切应力  $\tau_{bt}$  按式 (7-28) 计算, 当计算得的值小于 0 时, 其值为 0。剪切应力应小于或等于地脚螺栓的许用剪切应力  $[\tau]_{bt}$ , 对于碳钢常温下:  $[\tau]_{bt} = 117.6\text{MPa}$ 。

$$\tau_{bt} = \frac{F_H - 0.4W}{n \cdot n_b \cdot A_{bt}} \quad \dots\dots\dots (7-28)$$

#### 7.4.4.4 底板

支腿作用在混凝土基础上压缩应力  $\sigma_{c1}$  按式 (7-29) 计算, 压缩应力应小于或等于混凝土许用耐压应力  $[\sigma]_{c1}$ 。

$$\sigma_{c1} = \frac{F_L}{b_1 b_2} \quad \dots\dots\dots (7-29)$$

式中:

$b_1$ 、 $b_2$  —— 底板的长和宽,  $\text{mm}$ 。

底板的厚度  $\delta_b$  按式 (7-30) 计算:

$$\delta_b = B \sqrt{\frac{3\sigma_{c1}}{[\sigma]} + c_b} \quad \dots\dots\dots (7-30)$$

式中：

$B$ ——支柱到基础板边缘的最大长度，mm；

$c_b$ ——底板腐蚀裕量，mm。

7.4.4.5 支腿装配焊缝的强度计算

支腿装配焊缝的剪切应力  $\tau_1$  按式 (7-31) 计算：

$$\tau_1 = \frac{F_L}{A} \dots\dots\dots (7-31)$$

式中：

$A$ ——焊缝的横截面积，mm<sup>2</sup>。

支腿装配焊缝的弯曲应力  $\sigma_f$  按式 (7-32) 计算：

$$\sigma_f = \frac{\sigma L_1}{Z} \dots\dots\dots (7-32)$$

式中：

$Z$ ——焊缝的抗弯截面模量，mm<sup>3</sup>。

支腿装配焊缝的当量应力  $\sigma_z$  按式 (7-33) 计算：

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau_1^2} \dots\dots\dots (7-33)$$

$$[B] = 1.5[\sigma]^t \phi \dots\dots\dots (7-34)$$

式中：

$[B]$ ——支腿装配焊缝的抗弯、抗剪许用应力，MPa；

$\phi$ ——焊缝系数。对于角焊缝受剪切时， $\phi=0.49$ 。

支腿装配焊缝的剪切应力  $\tau_1$  应满足式 (7-35) 的要求：

$$\tau_1 \leq [B] \dots\dots\dots (7-35)$$

支腿装配焊缝的弯曲应力  $\sigma_f$  应满足式 (7-36) 的要求：

$$\sigma_f \leq [B] \dots\dots\dots (7-36)$$

支腿装配焊缝的当量应力  $\sigma_z$  应满足式 (7-37) 的要求：

$$\sigma_z \leq [B] \dots\dots\dots (7-37)$$

7.5 支承式支座

支承式支座分为管式结构和板式结构两种型式，分别见图 7-9 及图 7-10。支承式支座宜优先按 JB/T 4712.4 选用。

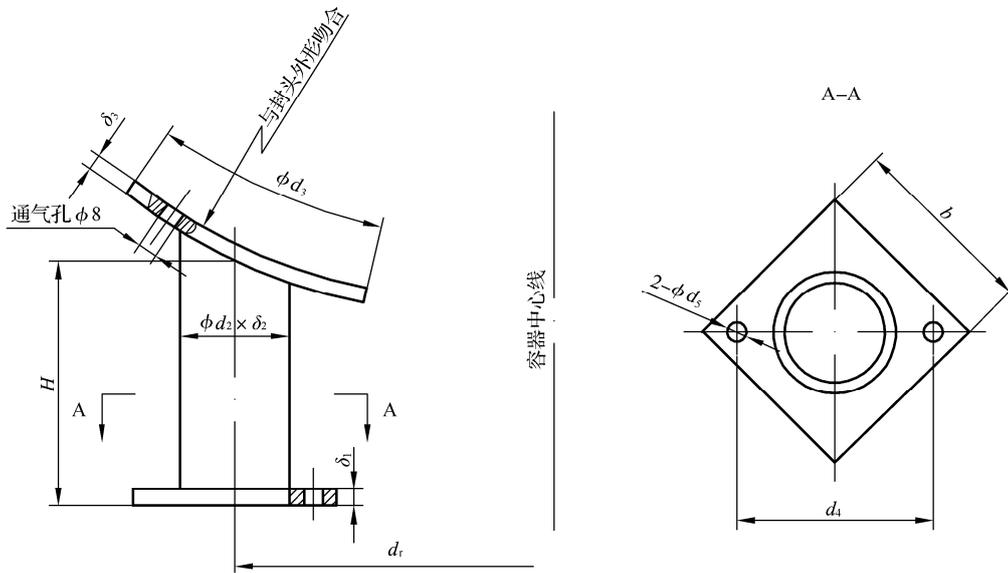


图 7-9 管式支座

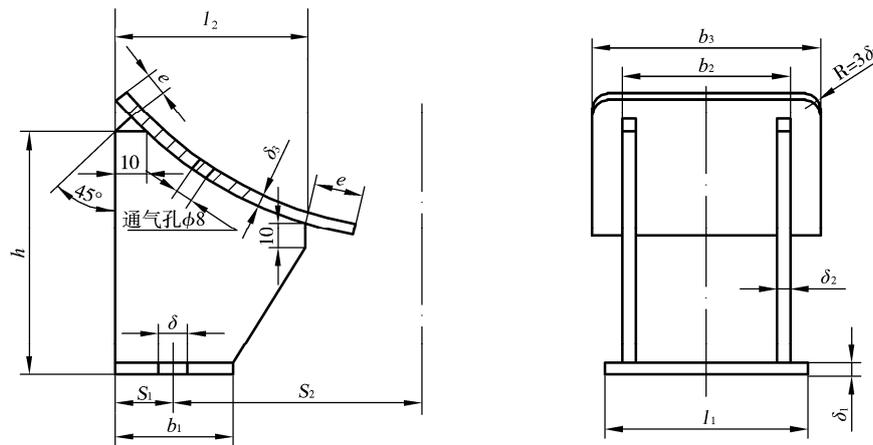


图 7-10 板式支座

### 7.6 裙式支承

裙式支承的设计计算可参照 JB/T 4710 进行。其结构、材料和选型还应符合以下规定：

7.6.1 裙座与容器连接处，可采用对接或搭接的形式。当对接时，宜使裙座壳的外径与下封头的外径相等，裙座筒体与容器封头的连接焊接接头应采用全焊透对接连续焊。当搭接时，应校核焊接接头的剪切力。搭接接头的角焊接头必须填满。

裙座筒体壁厚不得小于 3mm。

对接焊接接头形式及尺寸见图 7-11 所示，搭接焊接接头形式及尺寸见图 7-12 所示。

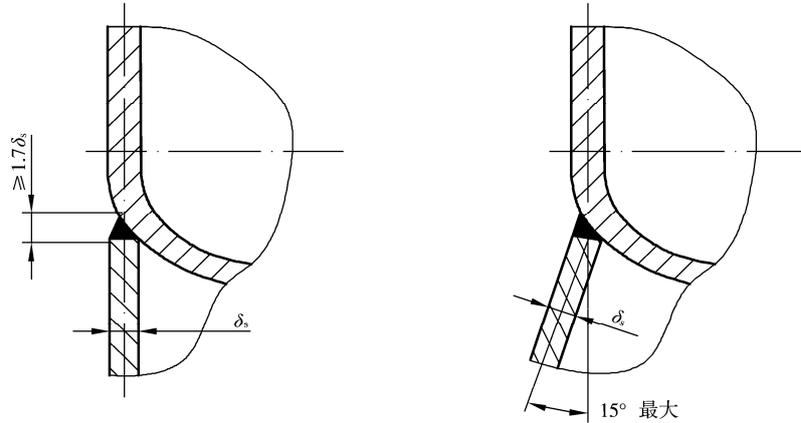


图 7-11 裙座和筒体的对接焊接接头

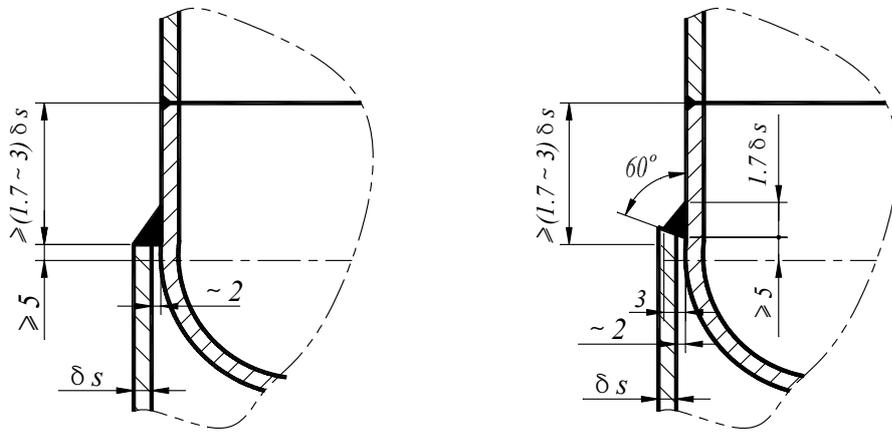


图 7-12 裙座和筒体的搭接焊接接头

7.6.2 立式容器裙座的材料当设计温度高于  $0^{\circ}\text{C}$ ，低于  $250^{\circ}\text{C}$  时可以采用 Q235A.F，但其厚度不应大于 12mm。当设计温度高于  $-20^{\circ}\text{C}$ ，低于  $350^{\circ}\text{C}$  时可以采用 Q235B。

7.6.3 当碳素钢裙座与合金钢、不锈钢的壳体相焊时，必须采用过渡段或其他消除异种钢焊接影响的措施。

7.6.4 裙座排气孔或排气管：

当筒体与裙座不设保温（保冷、防火）层时，在距离裙座顶端 140mm 处应均匀开设  $\varnothing 80\text{mm}$  的排气孔。

裙座内径小于或等于 1200mm 时，开设 2 个孔，当裙座内径大于 1200mm 时，开设 4 个孔。裙座上部开有避开封头拼接焊接接头的缺口时（其结构形式见图 7-13），可不开设排气口。裙座筒体尺寸按表 7-2 确定。

表 7-2 裙座筒体缺口尺寸

mm

	4~8	10~18	20~26
封头名义厚度 $\delta_n$	4~8	10~18	20~26
宽度 $K$	70	100	120
缺口半径 $R$	35	50	60

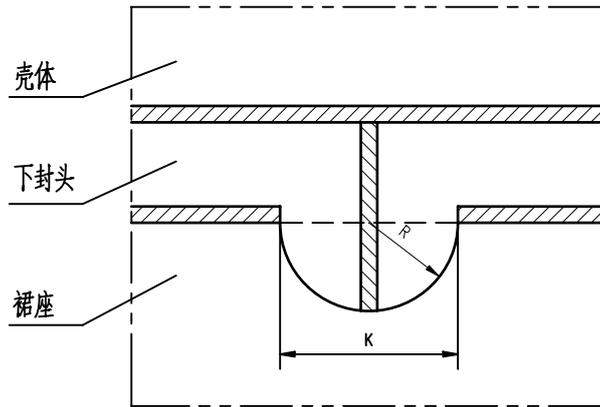


图 7-13 裙座筒体缺口形式

当筒体与裙座有保温（保冷、防火）层时，裙座上部应均匀设置 $\phi 89 \times 4$ mm 排气管。裙座内径为 600mm~1200mm 时，设 2 个；裙座内径为 1200mm~2400mm 时，设 4 个；裙座内径大于 2400mm 时，设 6 个。

7.6.5 裙座圆筒底部一般设置 1 个排水孔，其结构尺寸如图 7-14 所示。

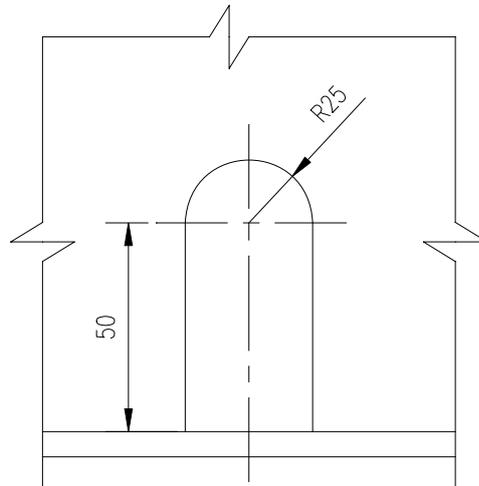


图 7-14 排水孔

7.6.6 立式容器在自身足够稳定的情况下，基础环和筋板的结构尺寸可按图 7-15 和表 7-3 选取。

基础环无筋板时，其厚度按式（7-38）计算：

$$\delta_b = 1.73b \sqrt{\frac{\sigma_{b \max}}{[\sigma]_b}} \quad \dots\dots\dots (7-38)$$

基础环有筋板时，其厚度按式（7-39）计算：

$$\delta_b = \sqrt{\frac{6M_s}{[\sigma]_b}} \quad \dots\dots\dots (7-39)$$

式中：

$\sigma_{b \max}$  —— 混凝土基础上的最大压应力，按 JB/T 4710 中式（8-54）计算；

$M_s$ —— 计算力矩，取矩形板对  $X, Y$  轴的弯矩  $M_X, M_Y$  绝对值较大者， $M_X, M_Y$  按 JB/T 4710 中式 (8-56)、式 (8-57) 计算；

$[\sigma]_b$ —— 基础环材料的许用应力，对低碳钢取  $[\sigma]_b=147\text{MPa}$ 。

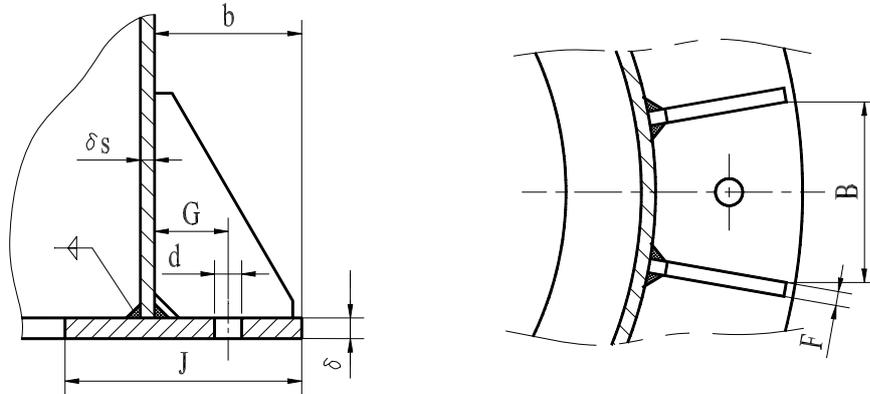


图 7-15 基础环和筋板结构

表 7-3 基础环和筋板尺寸

mm

螺栓直径	$d$	$b$	$G$	$J$	$B$	$F$
M16	20	60	35	120	80	6
M20	24	70	40	140	100	8
M24	28	90	50	180	120	10
M30	36	100	55	200	140	10

## 8 矩形容器

### 8.1 符号说明

$A, B$  —— 矩形板计算公式与图表中矩形边的一般符号，mm；应用时视具体问题以  $L, L_p, L_T$  代替  $A$ ，以  $H, H_i, W, W_T$  代替  $B$ ；

$a$  —— F 型矩形容器拉杆水平间距，mm；

$b$  —— 扁钢宽度，mm；

$C$  —— 厚度附加量， $C=C_1+C_2$ ，mm；

$C_1$  —— 钢板厚度负偏差，mm；

$C_2$  —— 腐蚀裕量，mm；

$d$  —— C、E 型矩形容器圆钢拉杆直径，mm；

$d_i$  —— F 型矩形容器第  $i$  截面拉杆直径，mm；

$E^t$  —— 设计温度下材料的弹性模量，MPa；

$F_i$  —— D、E 型矩形容器第  $i$  截面加固圈单位长度上的载荷，N/mm；

$[f]$  —— 壁板或顶板的许用挠度，mm；

$f_{i,\max}$  —— D、E、G 型矩形容器第  $i$  层壁板最大挠度，mm；

$f_{W,\max}, f_{T,\max}$  —— 壁板、顶板最大挠度，mm；

- $g$  —— 重力加速度,  $g=9.81 \text{ m/s}^2$  ;  
 $H$  —— 容器高度, mm ;  
 $H_c$ 、 $L_c$  —— 顶边加固件承受储液压力的高度、宽度, mm ;应用时视具体问题以  $H$ 、 $h_1$  代替  $H_c$ , 以  $L$ 、 $L_p$  代替  $L_c$  ;  
 $H_i$  —— D、E、G 型矩形容器第  $i$  段加固圈、拉杆或联杆段间距, mm ;  
 $h$  —— F 型矩形容器拉杆垂直间距, mm ;  
 $h_i$  —— D、E、F、G 型矩形容器顶边与第  $i$  截面加固圈、拉杆或联杆距离, mm ;  
 $i$  —— D、E、F、G 型矩形容器加固圈、拉杆或联杆的层序号, 从顶边以下分别为 1、2、3...  
 $I_{c,i}$  —— D、E 型矩形容器第  $i$  截面加固圈所需惯性矩,  $\text{mm}^4$  ;  
 $I_{c,T}$  —— 顶边加固件所需惯性矩,  $\text{mm}^4$  ;  
 $I_x$  —— G 型矩形容器顶部联杆组合截面惯性矩,  $\text{mm}^4$  ;  
 $L$  —— 容器长度, mm ;( $L \geq W$ ) ;  
 $L_b$  —— 底板支承梁间距, mm ;  
 $L_{b,\max}$  —— 底板支承梁最大允许间距, mm ;  
 $L_p$ 、 $L_{p,\max}$  —— C、E、G 型矩形容器加固柱间距, 最大间距, mm ;  
 $L_R$  —— 拉杆或联杆长度, mm ;  
 $L_T$ 、 $W_T$  —— 顶板加强筋沿  $L$ 、 $W$  方向的间距, mm ;  
 $M$  —— 加固柱承受的最大弯矩,  $\text{N} \cdot \text{mm}$  ;  
 $p_a$  —— 顶板附加载荷,  $p_a=1.2 \times 10^{-3} \text{ MPa}$  ;  
 $p_c$  —— 计算压力, MPa ;  
 $W$  —— 容器宽度 ( $W \leq L$ ), mm ;  
 $Z_p$  —— C、E、G 型矩形容器加固柱所需截面系数,  $\text{mm}^3$  ;  
 $Z_{T,L}$ 、 $W_{T,W}$  —— 顶板  $L$  方向、 $W$  方向加强筋所需截面系数,  $\text{mm}^3$  ;  
 $Z_T$  —— 顶板加强筋所需截面系数,  $\text{mm}^3$  ;  
 $Z_x$  —— G 型矩形容器顶部联杆组合截面所需截面系数,  $\text{mm}^3$  ;  
 $\Gamma$ 、 $\Delta$  —— 矩形板的长边和短边,  $\Gamma$  为 A、B 中的较大值,  $\Delta$  为 A、B 中的较小值, mm ;  
 $\alpha$ 、 $\beta$  —— 系数, 见图 8-5、图 8-7、图 8-15 ;  
 $\delta_b$ 、 $\delta_{b,n}$ 、 $\delta_{b,e}$  —— 底板计算厚度, 名义厚度, 有效厚度, mm ;  
 $\delta_e$  —— 矩形容器壁板, 底板有效厚度, mm ;  
 $\delta_i$ 、 $\delta_{i,n}$ 、 $\delta_{i,e}$  —— D、E、F、G 型矩形容器第  $i$  层壁板计算厚度, 名义厚度, 有效厚度, mm ;  
 $\delta_{nb}$  —— G 型矩形容器扁钢联杆名义厚度, mm ;  
 $\delta_T$ 、 $\delta_{T,n}$ 、 $\delta_{T,e}$  —— 顶板计算厚度, 名义厚度, 有效厚度, mm ;  
 $\delta_W$ 、 $\delta_{W,n}$ 、 $\delta_{W,e}$  —— 壁板计算厚度, 名义厚度, 有效厚度, mm ;  
 $\eta$  —— 可选许用挠度的系数 ;  
 $\rho$  —— 储液密度,  $\text{kg/mm}^3$ ,  $\rho=1 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$  ;  
 $\rho_M$  —— 矩形板或加固件的材料密度,  $\text{kg/mm}^3$ ,  $\rho_M=7.85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$  ;  
 $[\sigma]_b$  —— 常温下型钢结构件材料的许用应力, MPa ;  
 $[\sigma]_{bt}$  —— 常温下拉杆或联杆抵抗液体静压对外推力的许用应力, MPa ;普通碳素钢取 55.6MPa ;  
 $[\sigma]^t$  —— 设计温度下矩形板材料的许用应力, MPa ;

- $\sigma_{n,w}$  —— 拉杆或联杆自身重力引起的弯曲应力，MPa；
- $\sigma_{t,p}$  —— 拉杆或联杆液体静压引起的拉应力，MPa；
- $\sigma_{t,w}$  —— 拉杆或联杆自身重力引起的拉应力，MPa；
- $\sigma_{R,max}$  —— 作用于拉杆或联杆的最大应力，MPa；

8.2 结构设计

8.2.1 结构形式分类

矩形容器可采用不加固型（A型）、顶边加固型（B型）、垂直加固型（C型）、横向加固型（D型）、垂直和横向联合加固型（E型）、拉杆加固型（F型）及带双向水平联杆垂直加固型（G型）等七种结构形式，其分类说明按表 8-1。

表 8-1 矩形容器分类说明

类型	代号与名称	加固方式	尺寸范围与选用原则	设计元件
小型	A 型 不加固型	不加固	$V \leq 1m^3$ $0.3 \leq H/L \leq 3$	顶板[可选]、底板、壁板
中型	B 型 顶边加固型	顶边加固	选用原则按 设计流程	同 A 型；顶边加固件
	C 型 垂直加固型	顶边加固 垂直加固		同 B 型；垂直加固件、拉杆[可选]
	D 型 横向加固型	顶边加固 横向加固		同 B 型；水平加固件
	E 型 垂直和横向联合加固型	顶边加固 垂直加固 横向加固		同 A 型；垂直加固件、水平加固件
较大型	F 型 拉杆加固型	顶边加固 内部壁板由双向拉杆加固		同 A 型；拉杆
	G 型 带双向水平联杆垂直加固型	顶边加固 内部垂直加固 内部水平双向联杆加固		同 B 型；垂直加固件，水平联杆

8.2.2 矩形容器板边连接形式及加固措施如图 8-1。对垂直加固的矩形容器，如采用[图 8-1a) ]的筋板加固时，此筋板应与加固柱对中。

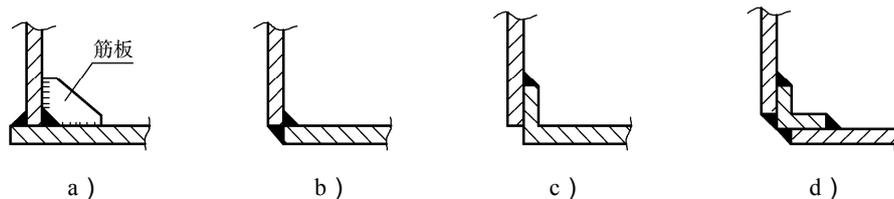


图 8-1 板边连接焊接接头

8.2.3 容器内部设置有分室隔板时，隔板应按壁板设计。

8.2.4 壁板及顶板加固件可用连续焊或间断焊，每侧间断焊接接头的总长不少于加固件长度的1/2。

8.2.5 矩形容器可置于平面基础上，也可用型钢支撑（如图8-16）。

8.3 设计控制方式

8.3.1 容器各元件的设计

矩形容器壁板、顶板需作强度设计以确定壁厚，并作刚度校核；容器底板作强度设计；加固件按相应的强度或刚度要求作截面设计。

8.3.2 许用应力和许用挠度

8.3.2.1 矩形容器壁板、顶板、底板钢板许用应力按4.6及5.2.1规定；加固件型材许用应力按5.6规定。

8.3.2.2 矩形容器壁板、顶板许用挠度按式（8-1）计算：

$$[f] = 5 \left( \frac{\delta_e}{2} + \sqrt{\frac{B}{A} \cdot \frac{A}{500}} \right) \dots\dots\dots (8-1)$$

式中可选许用挠度系数  $\eta$ ，根据矩形板短边与长边之比  $\Delta/\Gamma$  由图8-2查取。

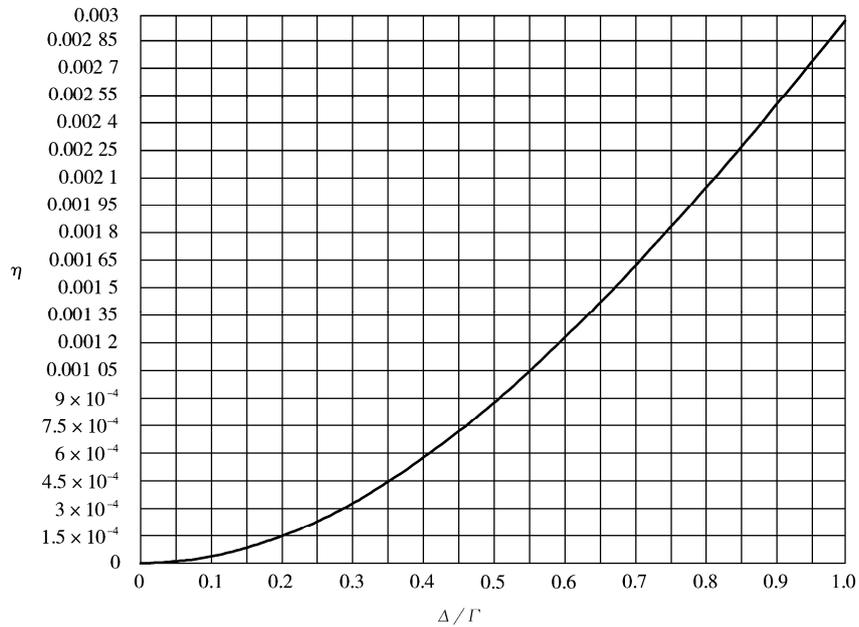


图8-2 可选许用挠度系数  $\eta$

8.3.3 矩形容器的选型及设计可参照图8-3的设计流程进行。



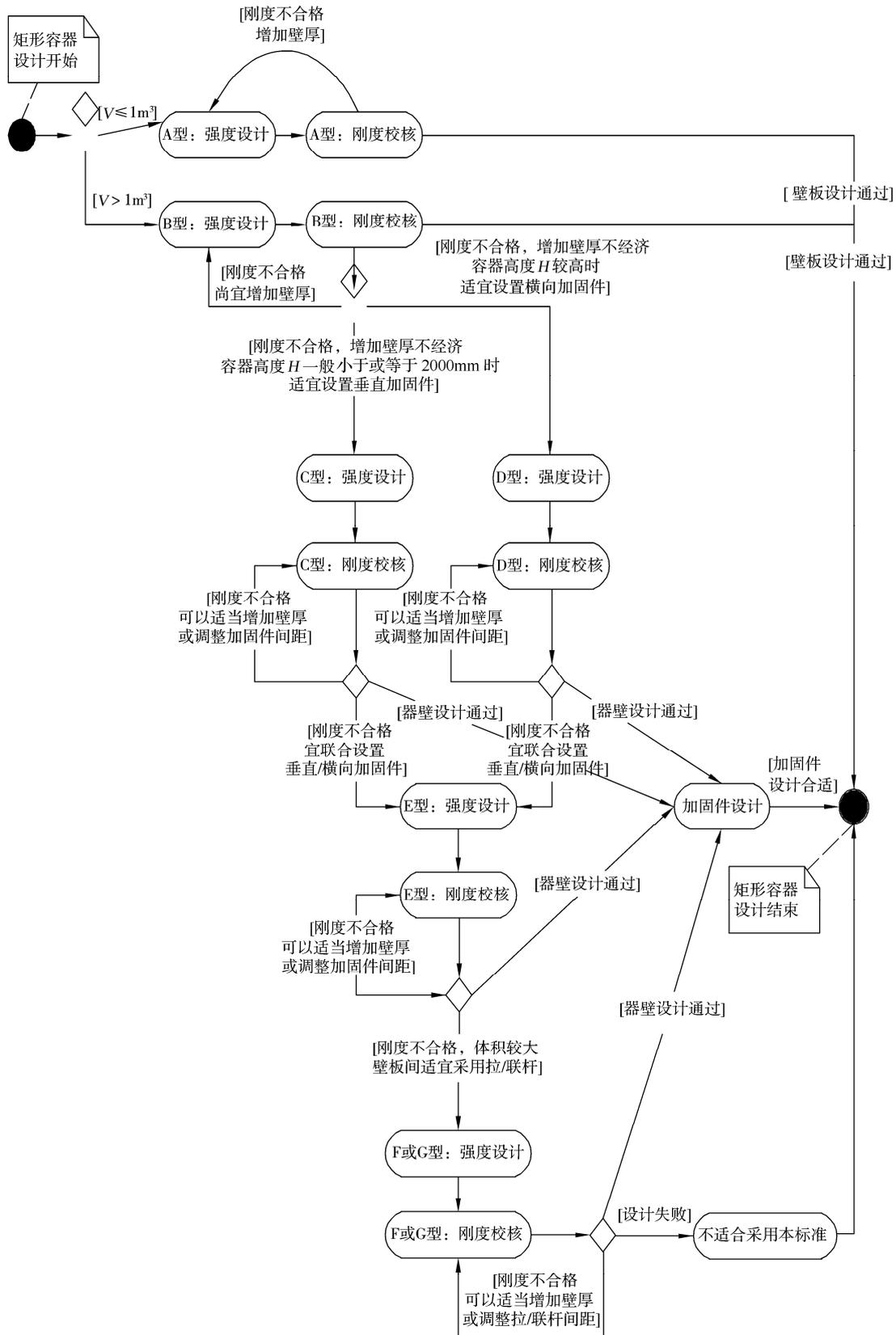


图 8-3 矩形容器设计流程

8.4 A型、B型、C型、D型设计中的统一公式

8.4.1 壁板计算厚度按式(8-2)计算：

$$\delta_w = 2.45 A \sqrt{\frac{\alpha p_c}{[\sigma]^t}} \dots\dots\dots (8-2)$$

8.4.2 壁板最大挠度按式(8-3)计算：

$$f_{w,max} = \frac{\beta A^4 p_c}{E^t \delta_{w,e}^3} \dots\dots\dots (8-3)$$

8.4.3 壁板最大挠度应满足式(8-4)要求：

$$f_{w,max} < [f] \dots\dots\dots (8-4)$$

8.4.4 顶边加固件一般采用角钢，其规格不应小于L50×50×5。

顶边加固件所需惯性矩  $I_{c,T}$  按式(8-5)计算，加固件实际的惯性矩应不小于  $I_{c,T}$ ：

$$I_{c,T} = \frac{0.217 \rho g H^2 L_c^3}{E^t} \dots\dots\dots (8-5)$$

8.5 不加固型(A型)

8.5.1 结构

A型矩形容器体积不应大于  $1\text{m}^3$ ，结构形式如图8-4。

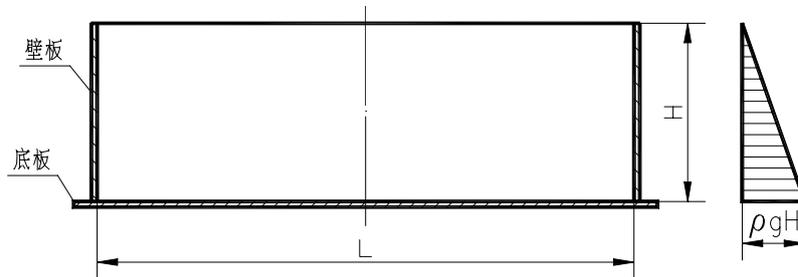


图8-4 不加固型(A型)矩形容器

8.5.2 壁板

A型矩形容器壁板计算厚度按式(8-2)计算，壁板最大挠度按式(8-3)计算，壁板最大挠度校核按式(8-4)计算。式中各参数取值为：按图8-4， $A$ 取为  $L$ ； $\alpha$ 、 $\beta$ 以  $H/L$ 查图8-5； $[f]$ 按式(8-1)，其中  $\Gamma$ 为  $L$ 、 $H$ 中的较大值， $\Delta$ 为  $L$ 、 $H$ 中的较小值； $p_c$ 按式(8-6)计算：

$$p_c = \rho g H \dots\dots\dots (8-6)$$

8.6 顶边加固型(B型)

8.6.1 结构

B型矩形容器的顶边设置加固件，一般采用角钢，其规格不应小于L50×50×5，其结构如图8-6。

8.6.2 壁板

B 型矩形容器壁板计算厚度按式 (8-2) 计算, 壁板最大挠度按式 (8-3) 计算, 壁板最大挠度校核按式 (8-4)。式中各参数取值为: 如图 8-6,  $A$  取为  $L$ 、 $B$  取为  $H$ ;  $\alpha$ 、 $\beta$  以  $B/A$  查图 8-7;  $[f]$  按式 (8-1), 其中  $\Gamma$  为  $L$ 、 $H$  中的较大值,  $\Delta$  为  $L$ 、 $H$  中的较小值;  $p_c$  按式 (8-6) 计算。

8.6.3 顶边加固件

B 型矩形容器顶边加固件所需惯性矩按式 (8-5) 计算。式中各参数取值为: 如图 8-6,  $H_c$  取为  $H$ ,  $L_c$  取为  $L$ 。

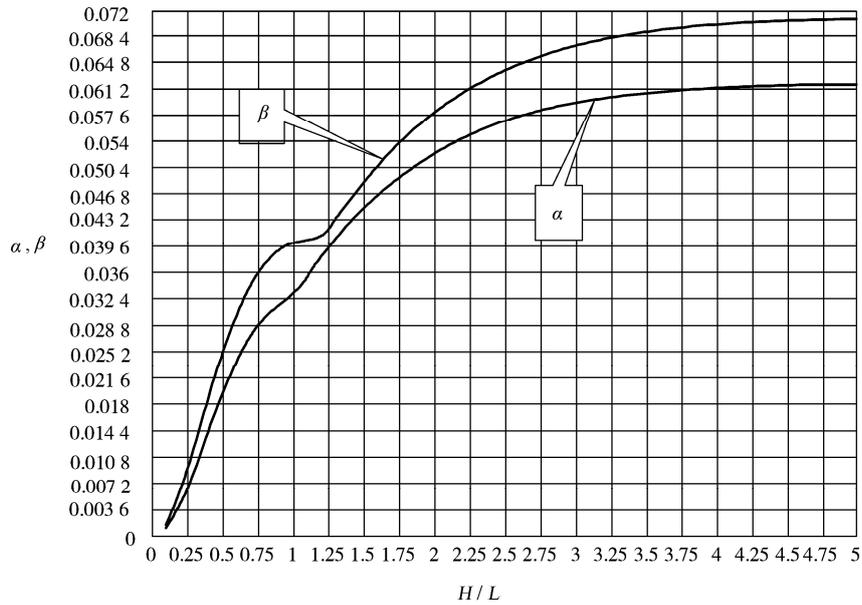


图 8-5  $\alpha$ 、 $\beta$  计算图 (三边简支顶边自由, 三角形载荷)

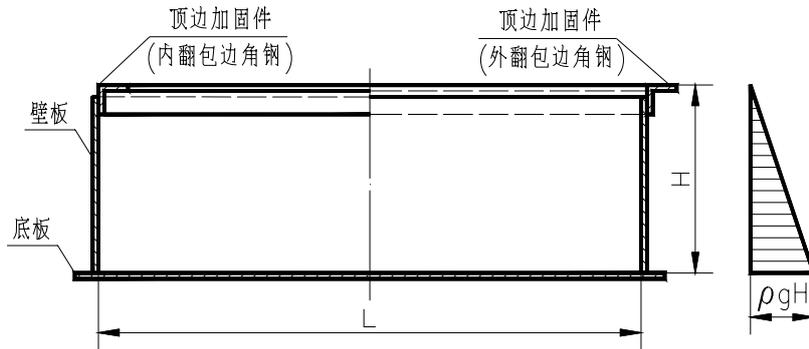


图 8-6 顶边加固型 (B 型) 矩形容器

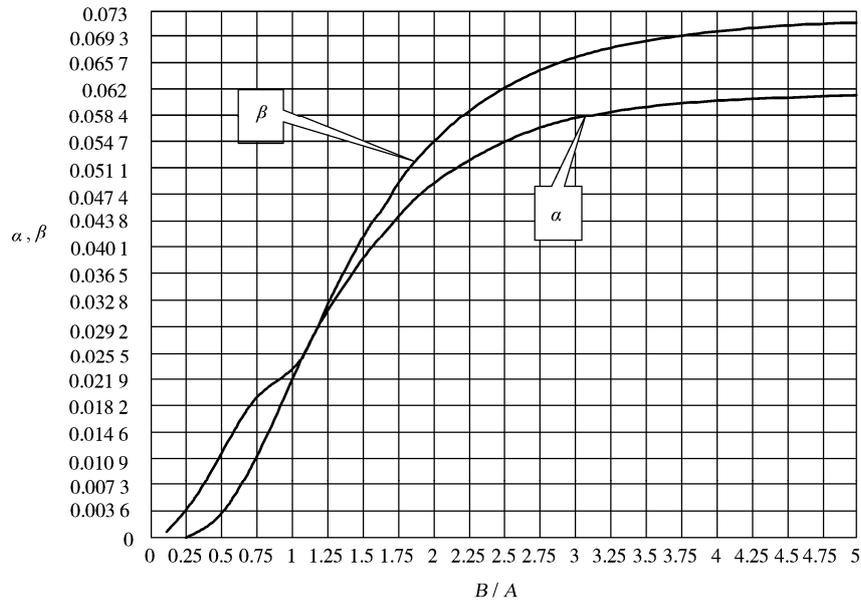


图 8-7  $\alpha$ 、 $\beta$  计算图（四边简支，三角形载荷）

### 8.7 垂直加固型（C 型）

#### 8.7.1 结构

C 型矩形容器，顶边设置加固件，一般采用角钢，其规格不应小于  $L 50 \times 50 \times 5$ ；在长度方向、宽度方向器壁上设置垂直加固柱，相对器壁的加固柱之间可设置拉杆，其结构如图 8-8。

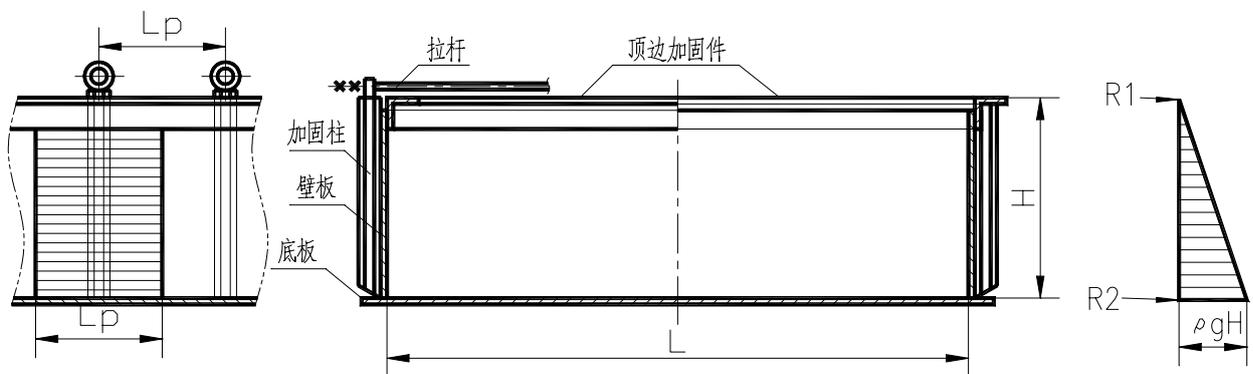


图 8-8 垂直加固型（C 型）矩形容器

#### 8.7.2 壁板

先假设 C 型矩形容器加固柱间距  $L_p$  值，然后按 8.4 计算壁板名义厚度  $\delta_{w,n}$  值，再按 8.7.3、8.7.4 和 8.7.5 对加固柱、顶边加固件和拉杆进行设计；最后按 8.4 对壁板最大挠度进行校核。如图 8-8， $A$  取为  $L_p$ 、 $B$  取为  $H$ ； $\alpha$  以  $B/A$  查图 8-7； $p_c$  按式（8-6）计算。

#### 8.7.3 加固柱

8.7.3.1 加固柱的最大间距按式（8-7）计算：

$$L_{p,max} = 0.408 \delta_{w,e} \sqrt{\frac{[\sigma]^t}{\alpha p_c}} \dots\dots\dots (8-7)$$

式中各参数取值为：如图 8-8， $A$  取为  $L_p$ 、 $B$  取为  $H$ ； $\alpha$ 、 $\beta$  以  $B/A$  查图 8-7； $p_c$  按式 (8-6) 计算。

8.7.3.2 图 8-8 中实际的加固柱间距  $L_p$  应不大于  $L_{p, \max}$ 。

8.7.3.3 加固柱所需截面系数  $Z_p$  按式 (8-8) 计算，加固柱实际截面系数应不小于  $Z_p$ ：

$$Z_p = L_p \left( \frac{0.0642 \rho g H^3}{[\sigma]^t} - \frac{\delta_{w,e}^2}{6} \right) \dots\dots\dots (8-8)$$

#### 8.7.4 顶边加固件

顶边加固件所需惯性矩按式 (8-5) 计算。式中各参数取值为：如图 8-8，当有拉杆时， $H_c$  取为  $H$ ， $L_c$  取为  $L_p$ ；当无拉杆时， $H_c$  取为  $H$ ， $L_c$  取为  $L$ 。

#### 8.7.5 圆钢拉杆

8.7.5.1 当拉杆长度  $L_R \geq 363 d^{2/3}$ ，拉杆直径按式 (8-9)、式 (8-10) 计算：

$$d = 0.553H \sqrt{\frac{\rho g L_p}{[\sigma]_{bt}} + C_2} \dots\dots\dots (8-9)$$

$$\left. \begin{aligned} [\sigma]_{bt} &= [\sigma]_b - 62.1 \\ \text{对普通碳素钢可取} [\sigma]_{bt} &= 55.6 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8-10)$$

8.7.5.2 当拉杆长度  $L_R < 363 d^{2/3}$ ，按式 (8-11) ~ 式 (8-15) 进行应力校核：

拉杆自身重力引起的拉应力按式 (8-11) 计算：

$$\sigma_{t,w} = 0.864E^t \frac{d^2}{L_R^2} \dots\dots\dots (8-11)$$

拉杆自身重力引起的弯曲应力按式 (8-12) 计算：

$$\sigma_{n,w} = \frac{\rho_M g L_R^2}{d} \dots\dots\dots (8-12)$$

液体静压力作用于拉杆上引起的拉应力按式 (8-13) 计算：

$$\sigma_{t,p} = \frac{0.306 \rho g H^2 L_p}{d^2} \dots\dots\dots (8-13)$$

拉杆的最大应力按式 (8-14) 计算：

$$\sigma_{R, \max} = \sigma_{t,w} + \sigma_{n,w} + \sigma_{t,p} \dots\dots\dots (8-14)$$

拉杆的最大应力应满足式 (8-15) 计算：

$$\sigma_{R, \max} \leq [\sigma]_b \dots\dots\dots (8-15)$$

### 8.8 横向加固型 (D 型)

#### 8.8.1 结构

D 型矩形容器，顶边设置加固件，一般采用角钢，其规格不应小于  $L 50 \times 50 \times 5$ ；在器壁上设置横向加固圈，其结构如图 8-9。

8.8.2 顶边加固件

顶边加固件所需惯性矩按式(8-5)计算。式中各参数取值为：如图8-9， $H_c$ 取为 $h_1$ ， $L_c$ 取为 $L$ 。

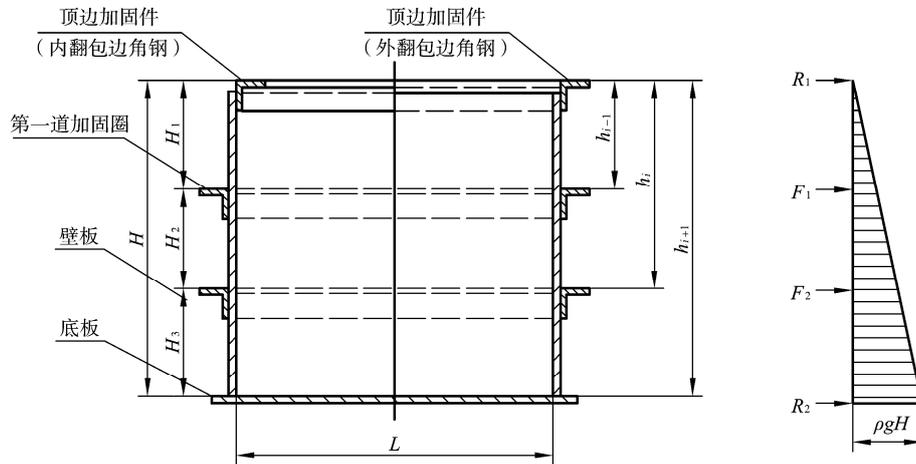


图 8-9 横向加固型 (D 型) 矩形容器

8.8.3 加固圈

推荐的加固圈数量与段间距见表 8-2 和表 8-3。

表 8-2 加固圈数量

容器高 $H$ , mm	1 500~2 100	>2 100~3 000	>3 000~4 000	>4 000
加固圈数量 (个)	1	2	3	4

表 8-3 加固圈段间距

数量 (个)	段间距, mm				
	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$
1	$0.60H$	$0.40H$	—	—	—
2	$0.45H$	$0.30H$	$0.25H$	—	—
3	$0.37H$	$0.25H$	$0.21H$	$0.17H$	—
4	$0.31H$	$0.21H$	$0.18H$	$0.16H$	$0.14H$

8.8.4 各段设计

8.8.4.1 第一段

第一道加固圈单位长度上的载荷按式(8-16)计算：

$$F_1 = \frac{1}{6} \rho g h_2 (h_1 + h_2) \quad \dots\dots\dots (8-16)$$

第一道加固圈所需的惯性矩按式(8-17)计算，该道加固圈实际的惯性矩应不小于  $I_{c,T}$ ：

$$I_{c,T} = \frac{1.3F_1L^3}{E^t} \quad \dots\dots\dots (8-17)$$

第一段壁板计算厚度按式 (8-18) 计算：

$$\delta_1 = L \sqrt{\frac{3\alpha_1 \rho g h_1}{[\sigma]^t}} \quad \dots\dots\dots (8-18)$$

式中  $\alpha_1$  查图 8-7 的  $\alpha$ ，查图时， $A$  取为  $L$ ， $B$  取为  $H_1$ 。

#### 8.8.4.2 第一段以下各段

由矩形容器顶端算起，第  $i$  ( $i=2, 3, 4, \dots$ ) 道横向加固圈单位长度上的载荷按式 (8-19) 计算：

$$F_i = \frac{1}{6} \rho g (h_{i+1} - h_{i-1})(h_{i+1} + h_i + h_{i-1}) \quad \dots\dots\dots (8-19)$$

第  $i$  道横向加固圈所需的惯性矩按式 (8-20) 计算，各道加固圈实际的惯性矩应不小于  $I_{c,i}$ ：

$$I_{c,i} = \frac{1.3F_i L^3}{E^t} \quad \dots\dots\dots (8-20)$$

第  $i$  段壁板计算厚度按式 (8-21) 计算：

$$\delta_i = L \sqrt{\frac{6\alpha_i \rho g (h_{i-1} + h_i)}{[\sigma]^t}} \quad \dots\dots\dots (8-21)$$

式中  $\alpha_i$  查图 8-7 的  $\alpha$ ，查图时， $A$  取为  $L$ ， $B$  取为  $H_i$ 。

#### 8.8.5 各段刚度校核

##### 8.8.5.1 第一段

按式 (8-18) 计算的第一段壁板厚度，应按式 (8-22) 计算最大挠度，并按式 (8-23) 校核刚度：

$$f_{1,\max} = \frac{\beta_1 L^4 \rho g h_1}{2E^t \delta_{1,e}^3} \quad \dots\dots\dots (8-22)$$

$$f_{1,\max} \leq [f] \quad \dots\dots\dots (8-23)$$

式 (8-22) 中， $\beta_1$  查图 8-7 的  $\beta$ ，查图时， $A$  取为  $L$ ， $B$  取为  $H_1$ ；式 (8-23) 中， $[f]$  按式 (8-1)，其中  $\Gamma$  取  $L$ 、 $H_1$  中较大值， $\Delta$  取  $L$ 、 $H_1$  中较小值， $\eta$  根据矩形板短边与长边之比  $\Delta/\Gamma$  由图 8-2 查取。

##### 8.8.5.2 第一段以下各段

按式 (8-21) 计算的各段壁板厚度，应按式 (8-24) 计算最大挠度，并按式 (8-25) 校核刚度：

$$f_{i,\max} = \frac{\beta_i L^4 \rho g (h_{i-1} + h_i)}{2E^t \delta_{i,e}^3} \quad \dots\dots\dots (8-24)$$

$$f_{i,\max} \leq [f] \quad \dots\dots\dots (8-25)$$

式 (8-24) 中， $\beta_i$  查图 8-7 的  $\beta$ ，查图时， $A$  取为  $L$ ， $B$  取为  $H_i$ ；式 (8-25) 中， $[f]$  按式 (8-1)，其中  $\Gamma$  取  $L$ 、 $H_1$  中较大值， $\Delta$  取  $L$ 、 $H_i$  中较小值， $\eta$  根据矩形板短边与长边之比  $\Delta/\Gamma$  由图 8-2 查取。

#### 8.9 垂直和横向联合加固型 (E 型)

##### 8.9.1 结构

当矩形容器高  $H$  超过 2200mm 时，通常在壁板垂直加固的型式上，再加横向加固圈，以增加壁板的刚度，此即垂直横向联合加固型（E 型）矩形容器，如图 8-10。

8.9.2 设计

E 型矩形容器顶边加固件、各段横向加固圈与壁板的设计、校核按 8.8，各项计算中的  $A$  改用  $L_p$ ；垂直加固柱和圆钢拉杆的设计按 8.7.3 和 8.7.5。

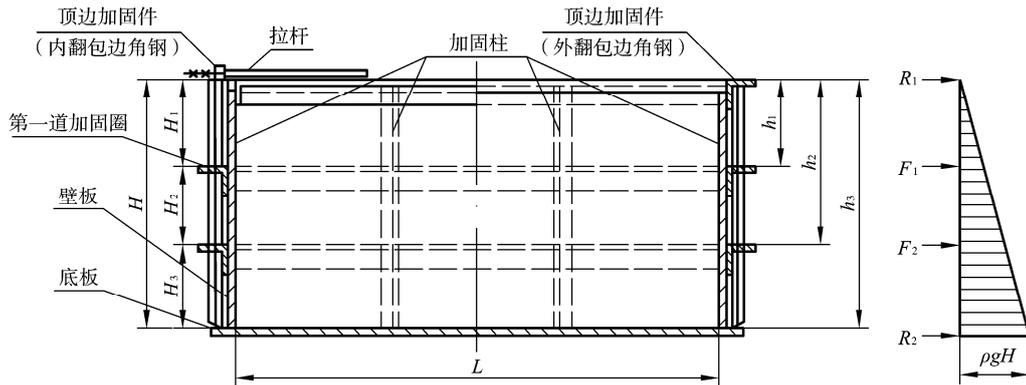


图 8-10 垂直和横向联合加固型（E 型）矩形容器

8.10 拉杆加固型（F 型）

8.10.1 结构

对较大矩形容器，可采用内部拉杆结构，结构如图 8-11，拉杆布置时，宜使  $a \approx h$ 。

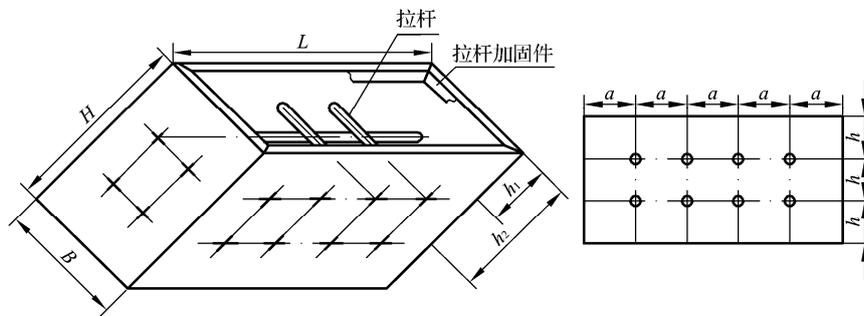


图 8-11 拉杆加固型（F 型）矩型容器

8.10.2 壁板

拉杆间距  $a \approx h$  时，壁板计算厚度按式（8-26）计算：

$$\delta_i = h \sqrt{\frac{\rho g h_i}{2[\sigma]}} \dots\dots\dots (8-26)$$

8.10.3 拉杆

拉杆直径按式（8-27）计算，且不应小于 6mm。

$$d_i = 1.13 \sqrt{\frac{a h \rho g h_i}{2[\sigma]_{bt}}} + C_2 \dots\dots\dots (8-27)$$

8.10.4 顶边加固件

顶边加固件所需的惯性矩按式(8-5)计算。式中各参数取值为：如图8-11,  $H_c$  取为  $h_1$ ,  $L_c$  取为  $L$ 。

8.11 带双向水平联杆垂直加固型(G型)

8.11.1 结构

带双向水平联杆垂直加固型(G型)矩形容器,为内部加固的较大型矩形容器,通常在垂直加固柱之间设置一排或两排不等距的联杆,顶部联杆兼作盖板支承,其结构如图8-12,  $\alpha$ 、 $\beta$  由图8-7查取。

8.11.2 加固柱与联杆

8.11.2.1 设置一层联杆时

8.11.2.1.1 加固柱

联杆宜设置在  $H_1=0.6H$  处,此时,加固柱所需的截面系数  $Z_p$  按式(8-28)计算,实际的截面系数应不小于  $Z_p$  :

$$Z_p = L_p \left( \frac{0.015 \rho g H^3}{[\sigma]_b} - \frac{\delta_{W,e}^2}{6} \right) \dots\dots\dots (8-28)$$

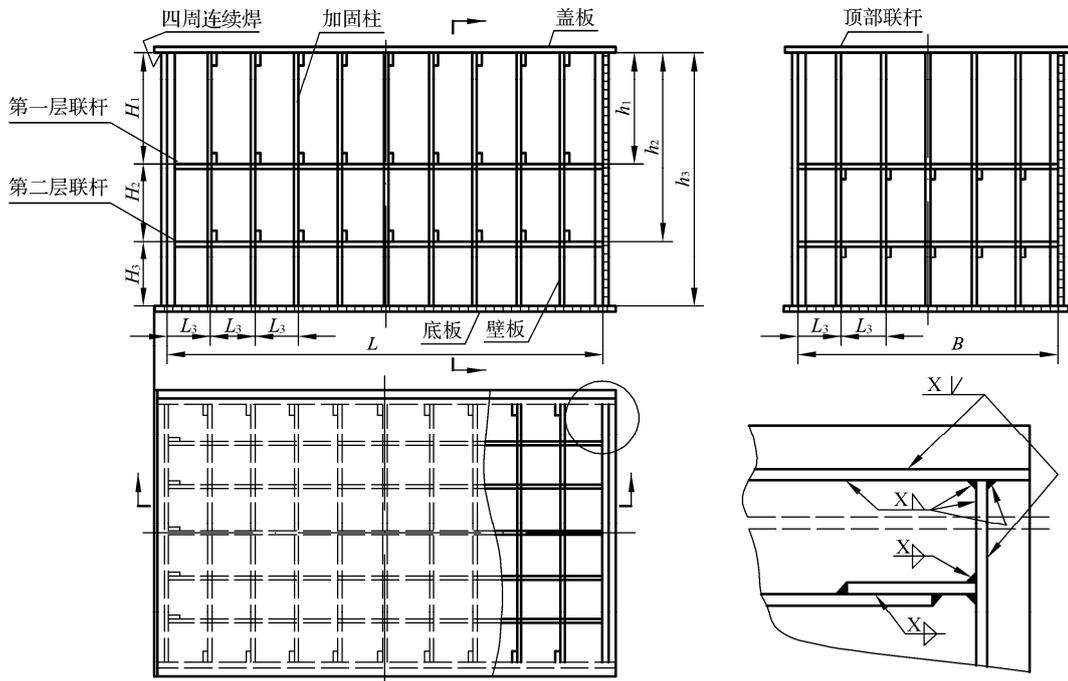


图 8-12 带双向水平联杆垂直加固型(G型)矩形容器

8.11.2.1.2 扁钢联杆

a) 中间联杆 :

联杆自身重力引起的拉应力按式(8-29)计算 :

$$\sigma_{t,w} = \frac{0.8 E^t b^2}{L_R^2} \dots\dots\dots (8-29)$$

联杆自身重力引起的弯曲应力按式 (8-30) 计算：

$$\sigma_{n,w} = \frac{0.75 \rho_M g L_R^2}{b} \dots\dots\dots (8-30)$$

液体静压力作用于中间联杆上引起的拉应力按式 (8-31) 计算：

$$\sigma_{t,p} = \frac{0.27 \rho g H^2 L_p}{(\delta_{nb} - 2C)(b - 2C)} \dots\dots\dots (8-31)$$

中间联杆的最大应力按式 (8-32) 计算：

$$\sigma_{R,max} = \sigma_{t,w} + \sigma_{n,w} + \sigma_{t,p} \dots\dots\dots (8-32)$$

中间联杆的最大应力  $\sigma_{R,max}$  应满足式 (8-33) 的要求：

$$\sigma_{R,max} \leq [\sigma]_b \dots\dots\dots (8-33)$$

b) 顶部联杆：

顶部联杆与顶板的计算组合截面见图 8-13，式 (8-34)、式 (8-35) 中组合截面的惯性矩  $I_x$ 、组合截面系数  $Z_x$  按截面力学特性公式计算。

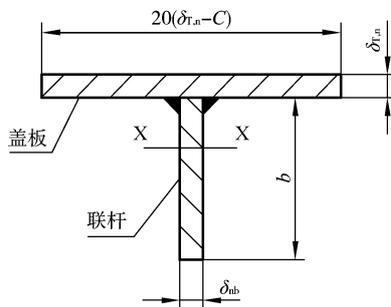


图 8-13 顶部联杆与顶板计算组合截面

联杆自身重力引起的拉应力按式 (8-34) 计算：

$$\sigma_{t,w} = \frac{9.6 E^t I_x}{L_R^2 (\delta_{nb} b + \delta_{T,n} L_p)} \dots\dots\dots (8-34)$$

联杆自身重力引起的弯曲应力按式 (8-35) 计算：

$$\sigma_{n,w} = \frac{9.62 \times 10^{-6} L_R^2 (\delta_{nb} b + \delta_{T,n} L_p)}{Z_x} \dots\dots\dots (8-35)$$

液体静压力作用于顶部联杆上的拉应力按式 (8-36) 计算：

$$\sigma_{t,p} = \frac{0.06 \rho g H^2 L_p}{(b - C)(\delta_{nb} - 2C) + L_p \delta_{T,e}} \dots\dots\dots (8-36)$$

顶部联杆的最大应力按式 (8-37) 计算：

$$\sigma_{R,\max} = \sigma_{t,w} + \sigma_{n,w} + \sigma_{t,p} \quad \dots\dots\dots (8-37)$$

顶部联杆的最大应力  $\sigma_{R,\max}$  应满足式 (8-38) 的要求：

$$\sigma_{R,\max} \leq [\sigma]_b \quad \dots\dots\dots (8-38)$$

### 8.11.2.2 设置两层联杆时

#### 8.11.2.2.1 加固柱

联杆宜设置在  $H_1=0.45H$ 、 $H_2=0.3H$ 、 $H_3=0.25H$  处，此时，加固柱所需的截面系数  $Z_p$  按式 (8-39) 计算，实际的截面系数应不小于  $Z_p$ ：

$$Z_p = L_p \left( \frac{0.0054\rho g H^3}{[\sigma]_b} - \frac{\delta_{w,e}^2}{6} \right) \quad \dots\dots\dots (8-39)$$

#### 8.11.2.2.2 扁钢联杆

##### a) 第一层联杆：

联杆自身重力引起的拉应力  $\sigma_{t,w}$  和弯曲应力  $\sigma_{n,w}$  按式 (8-29) 和式 (8-30) 计算，液体静压力作用于第一层联杆上引起的拉应力按式 (8-40) 计算：

$$\sigma_{t,p} = \frac{0.15\rho g H^2 L_p}{(\delta_{nb} - 2C)(b - 2C)} \quad \dots\dots\dots (8-40)$$

##### b) 第二层联杆：

联杆自身重力引起的拉应力  $\sigma_{t,w}$  和弯曲应力  $\sigma_{n,w}$  按式 (8-29) 和式 (8-30) 计算，液体静压力作用于第二层联杆上引起的拉应力按式 (8-41) 计算：

$$\sigma_{t,p} = \frac{0.202\rho g H^2 L_p}{(\delta_{nb} - 2C)(b - 2C)} \quad \dots\dots\dots (8-41)$$

第二层联杆的最大应力  $\sigma_{R,\max}$  及所要满足的要求分别按式 (8-37) 和式 (8-38)。

##### c) 顶部联杆：

顶部联杆与顶板的计算组合截面见图 8-13。

联杆自身重力引起的拉应力  $\sigma_{t,w}$  和弯曲应力  $\sigma_{n,w}$  按式 (8-34) 和式 (8-35) 计算，液体静压力作用于顶部联杆上引起的拉应力按式 (8-42) 计算：

$$\sigma_{t,p} = \frac{0.034\rho g H^2 L_p}{(b - C)(\delta_{nb} - 2C) + L_p \delta_{T,e}} \quad \dots\dots\dots (8-42)$$

顶部联杆的最大应力  $\sigma_{R,\max}$  及所要满足的要求分别按式 (8-37) 和式 (8-38)。

### 8.11.3 壁板

如图 8-12，壁板按分层联杆分段，各段壁板的计算厚度按式 (8-18) 和式 (8-21) 计算，计算和查图中的  $L$  改用  $L_p$ 。

### 8.12 顶板

#### 8.12.1 结构

矩形容器顶板上一般需设置加强筋，如图 8-14。以下顶板的计算厚度和最大挠度，只考虑顶板自重和附加载荷  $p_a=1.2 \times 10^{-3} \text{MPa}$ 。

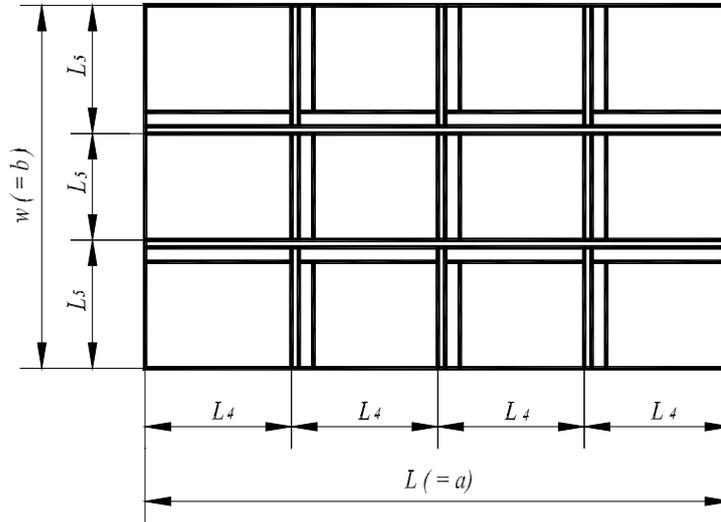


图 8-14 顶板上加强筋的布置

8.12.2 顶板的计算厚度按式 (8-43) 计算：

$$\delta_T = \frac{3A^2 \alpha \rho_M g + A \sqrt{3\alpha (3A^2 \alpha \rho_M^2 g^2 + 2p_a [\sigma]^t)}}{[\sigma]^t} \dots\dots\dots (8-43)$$

式中取值为：当如图 8-14 设置加强筋时， $A$  取为  $L_T$ ， $B$  取为  $W_T$ ；当不设加强筋时， $A$  取为  $L$ ， $B$  取为  $W$ 。 $\alpha$  以  $B/A$  查图 8-15。

8.12.3 顶板最大挠度按式 (8-44) 计算，最大挠度应满足式 (8-45) 要求：

$$f_{T,\max} = \frac{\beta A^4 (\rho_M g \delta_{T,e} + p_a)}{E^t \delta_{T,e}^3} \dots\dots\dots (8-44)$$

$$f_{T,\max} \leq [f] \dots\dots\dots (8-45)$$

式中取值为：当如图 8-14 设置加强筋时， $A$  取为  $L_T$ ， $B$  取为  $W_T$ ；当不设加强筋时， $A$  取为  $L$ ， $B$  取为  $W$ 。 $\beta$  以  $B/A$  查图 8-15。

$[f]$  按式 (8-1)，其中  $\Gamma$  为  $A$ 、 $B$  中的较大值， $\Delta$  为  $A$ 、 $B$  中的较小值， $\eta$  以  $\Delta/\Gamma$  查图 8-2。

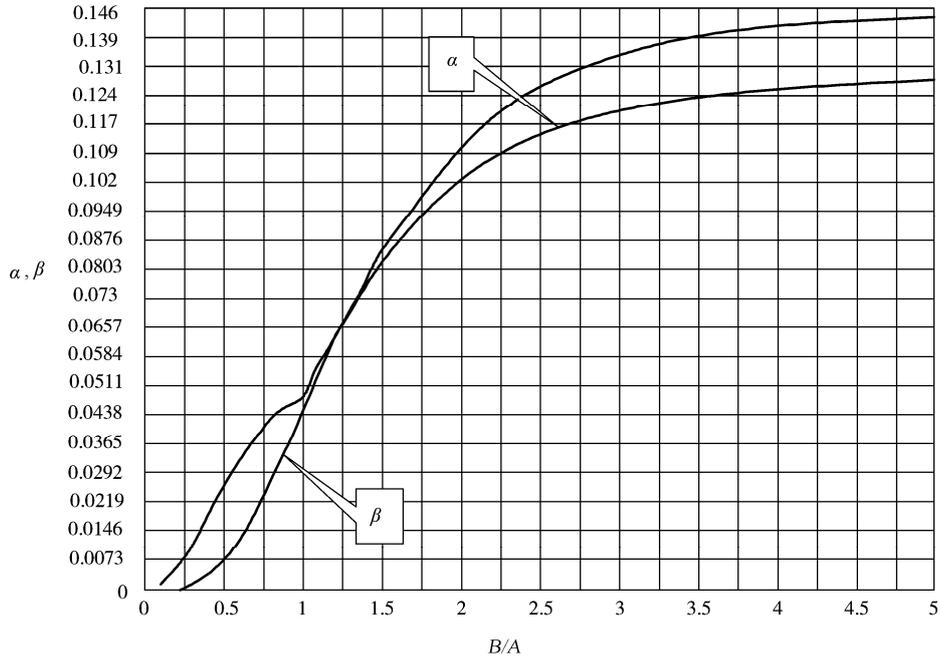


图 8-15  $\alpha$ 、 $\beta$  计算图（四边简支，均布载荷）

8.12.4 加强筋

顶板上加强筋的截面系数  $Z_T$  取  $L$  方向截面系数  $Z_{T,L}$  与  $W$  方向截面系数  $Z_{T,W}$  的较大值， $Z_{T,L}$ 、 $Z_{T,W}$ 、 $Z_T$  分别按式（8-46）~式（8-48）计算，顶板上加强筋实际的截面系数应不小于  $Z_T$ 。

$$Z_{T,L} = \frac{(\rho_M g \delta_{T,e} + p_a) L_T W_T^2}{9.4[\sigma]_b} - \frac{L_T \delta_{T,e}^2}{6} \dots\dots\dots (8-46)$$

$$Z_{T,W} = \frac{(\rho_M g \delta_{T,e} + p_a) W_T L_T^2}{9.4[\sigma]_b} - \frac{W_T \delta_{T,e}^2}{6} \dots\dots\dots (8-47)$$

$$Z_T = \max \{ Z_{T,L}, Z_{T,W} \} \dots\dots\dots (8-48)$$

8.13 底板

8.13.1 结构

底板可放置在型钢支撑上，如图 8-16。也可放置在整个平面上，平面支承的底板，当壁板厚度小于 10mm 时，底板厚度不小于 6mm；当壁板厚度为 10mm~20mm 时，底板厚度不小于 8mm。

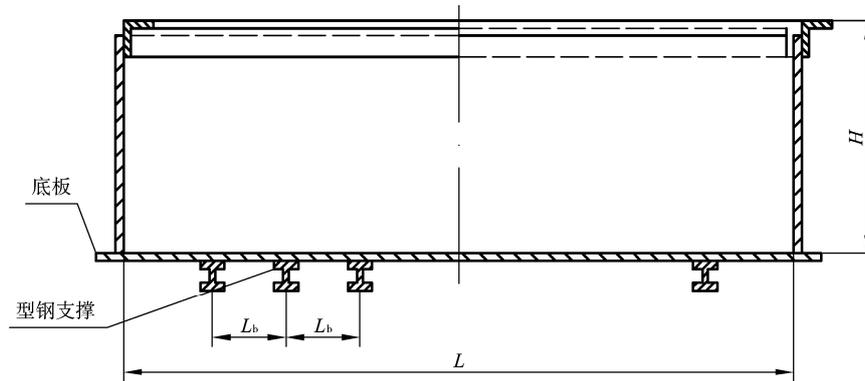


图 8-16 型钢上的矩形容器底板

### 8.13.2 型钢上的矩形容器底板

型钢支承的底板计算厚度按式 (8-49) 计算：

$$\delta_b = 0.8L_b \sqrt{\frac{\rho g H}{[\sigma]^t}} \quad \dots\dots\dots (8-49)$$

如果已知底板厚度  $\delta_{b,n}$  (或先设  $\delta_{b,n}$ )，则支承的最大间距按式 (8-50) 计算：

$$L_{b,max} = 1.25 \delta_{b,e} \sqrt{\frac{[\sigma]^t}{\rho g H}} \quad \dots\dots\dots (8-50)$$

### 8.13.3 在平基础上全平面支撑的底板

当底板整个表面被支撑时，底板最小厚度常用 4mm~6mm (或与壁板等厚)，同时考虑腐蚀裕量来确定底板的名义厚度。

## 9 制造、检验与验收

### 9.1 总则

9.1.1 容器的制造、检验与验收除应符合本章规定外，还应符合设计图样的规定。

9.1.2 容器制造单位对设计的修改，原则上应取得原设计单位出具的设计变更文件。容器制造单位应将设计改动内容在竣工图上做详细记载。

### 9.2 材料

在下列情况下应对制造容器的材料进行复验：

- a) 钢材质量证明书提供的材料性能数据不全；
- b) 焊接材料无质量证明书；
- c) 图样注明对钢材有特殊要求。

### 9.3 加工成型

#### 9.3.1 坡口表面要求：

- a) 坡口表面不得有裂纹、分层、夹杂等缺陷；
- b) 施焊前，应清除坡口及其母材两侧表面 20mm 范围内 (以离坡口边缘的距离计算) 的氧化物、油污、熔渣及其他有害杂质。

## 9.3.2 封头：

- a) 封头各种不相交的拼焊焊缝中心线间距离至少应为钢板名义厚度  $\delta_n$  的 3 倍,且不小于 100mm。径向焊接接头之间最小距离也不得小于上述的规定,如图 9-1 所示。若采用平行拼缝的旋压封头,为避免焊缝分布到封头的过渡区,造成封头成型后焊缝严重变形而无法进行无损检测,由制造单位确定拼缝距板边缘的最小距离；
- b) 先拼板后成型的凸形封头,其内侧表面的焊接接头与外侧表面影响成型质量的焊接接头应于成型前打磨至与母材齐平,所有拼焊接头应于封头成型后进行 100%射线或超声检测,其结果射线 III 级、超声 II 级为合格。若成型前进行无损检测,则成型后应在圆弧过渡区再做无损检测。对锥形封头仅对大小口翻边处焊缝进行 100%射线检测,而没有发生纤维变化的其他部位焊缝应与筒体检测比例相同；

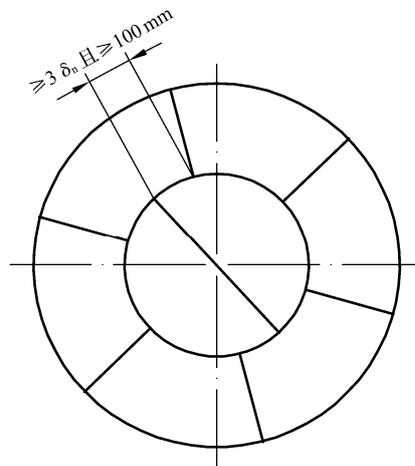


图 9-1 封头拼焊焊缝

- c) 碟形封头由成型的瓣片和顶圆板拼接制成时,顶圆板应不大于  $0.7DN$  ( $DN$  为封头外径)；
- d) 冲压成型后的封头,其最小厚度不应小于钢板名义厚度  $\delta_n$  减去钢板负偏差或按图样要求；
- e) 碟形封头、折边锥形封头及折边平盖的过渡区转角半径不得小于图样规定；
- f) 凸形封头、锥形封头(或壳体)和平盖(见图 9-2)的加工允差应不大于表 9-1 的规定(平盖表面局部凹凸量  $b$  公差不得大于  $0.3\%D_0$  且不大于 4mm)。

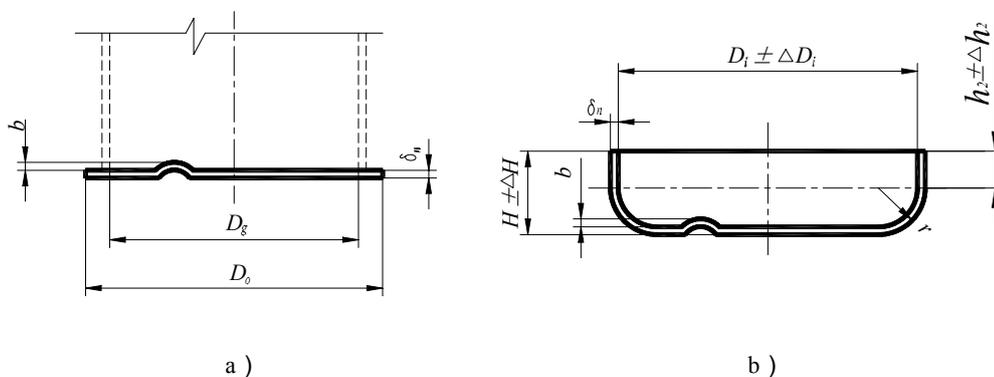


图 9-2 凸形封头、锥形封头(或壳体)和平盖

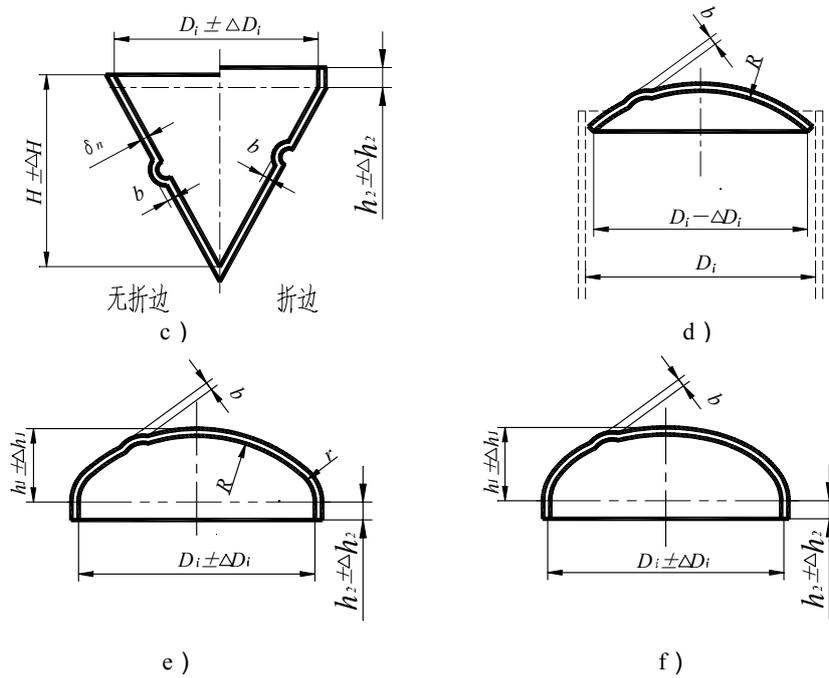


图 9-2 (续)

表 9-1 封头加工允差表

mm

项 目	内直径 $D_i$								
	< 800	800 ~ 1200	1300 ~ 1600	1700 ~ 2400	2600 ~ 3000	3200 ~ 4000	4200 ~ 6000	6000 ~ 10000	> 10000
$\Delta D_i$ 球冠形封头	$\pm 2$	$\pm 2$	$\pm 2.5$	$\pm 3$	$\pm 3$	$\pm 3$	$\pm 3.5$	$\pm 4.5$	$\pm 5.0$
$\Delta D_i$ 其他型式封头	$\pm 2$	+4 -3	+4 -3	+4 -3	+4 -3	+4 -3	+6 -4	+6 -4	+7 -5
最大最小内直径之差 $e$	3	5	7	10	14	18	25	25	30
表面局部凹凸量 $b$	2	3	4	4	4	4	4	4	4
直边高度允差 $\Delta h_2$		+3 -2					+4 -2		
封头全高允差 $\Delta H$	+4 -1	+6 -2	+8 -3	+12 -4	+16 -5	+20 -6	+20 -7	+20 -7	+20 -7

9.3.3 壳体：

a) 壳体上各类焊接接头对口错边量  $b$  (见图 9-3) 应符合表 9-2 的规定。复合钢板对口错边量  $b$  (见图 9-4) 应不大于钢板覆层厚度的 50%，且不大于 2mm；

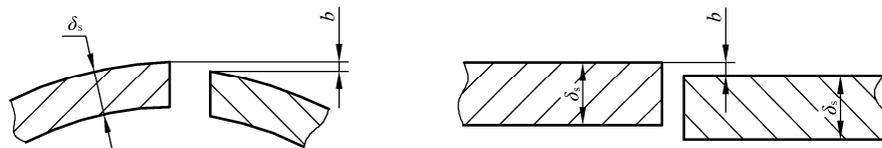


图 9-3 焊接接头对口错边量

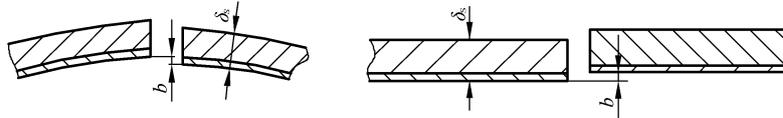


图 9-4 复合钢板的对口错边量

表 9-2 焊接接头对口错边量

mm

对口处的钢板名义厚度, $\delta_n$	对口错边量, $b$	
	纵向焊接接头	环向焊接接头
$\leq 12$	$\leq 1/4\delta_n$	$\leq 1/4\delta_n$
$>12 \sim 20$	$\leq 3$	$\leq 1/4\delta_n$
$>20 \sim 40$	$\leq 3$	$\leq 5$

- b) 在焊接接头环向形成的棱角  $E$ , 用弦长等于  $1/6$  内径  $D_i$ , 且不小于 300mm 的内样板或外样板检查 (见图 9-5), 其  $E$  值不大于  $(\delta_n/10 + 2)$  mm, 且不大于 5mm。  
 在焊接接头轴向形成的棱角  $E$  (见图 9-6), 用长度不小于 300mm 的直尺检查, 其  $E$  值不大于  $(\delta_n/10 + 2)$  mm, 且不大于 5mm;

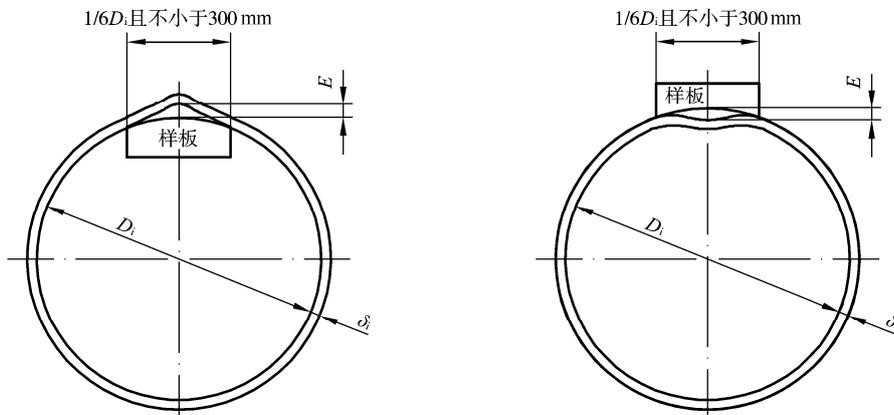


图 9-5 焊接接头环向形成的棱角

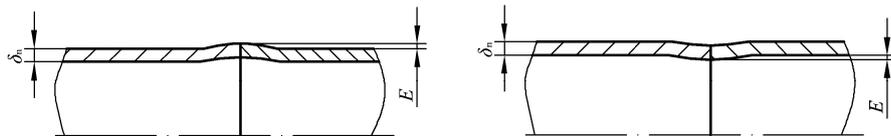


图 9-6 焊接接头轴向形成的棱角

- c) 壳体上的对接焊接接头, 当两板厚度不等时, 若薄板厚度不大于 10mm, 且两板厚度差超过 3mm, 以及薄板厚度大于 10mm, 且两板厚度差大于薄板厚度的 30% 或超过 5mm 时,

均应按图 9-7 的要求削薄厚板的边缘；

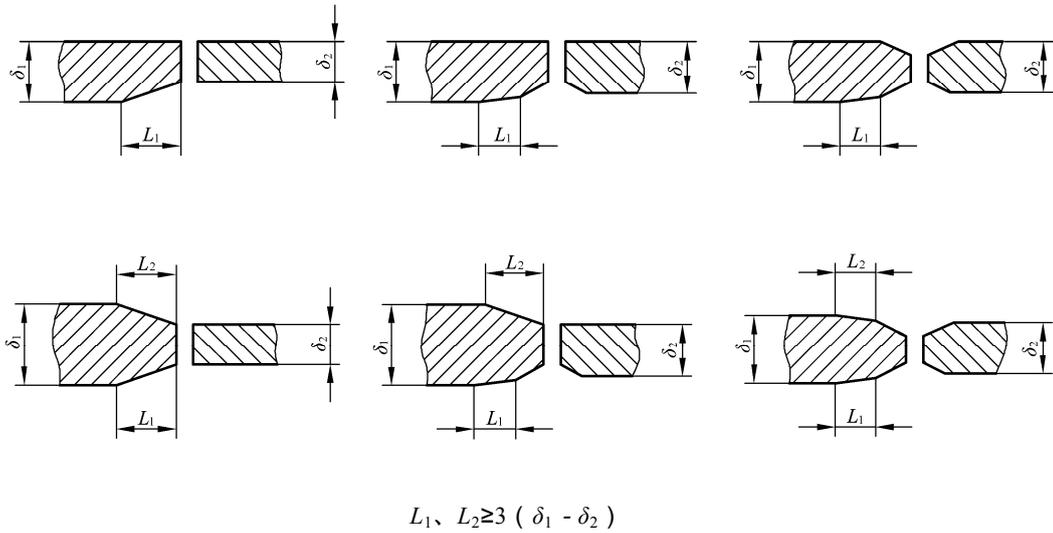


图 9-7 两板厚度不等的对接焊接接头

- d) 壳体同一断面上最大内直径与最小内直径之差应不大于该断面内径  $D_i$  的 1%，且不大于 30mm (见图 9-8)；

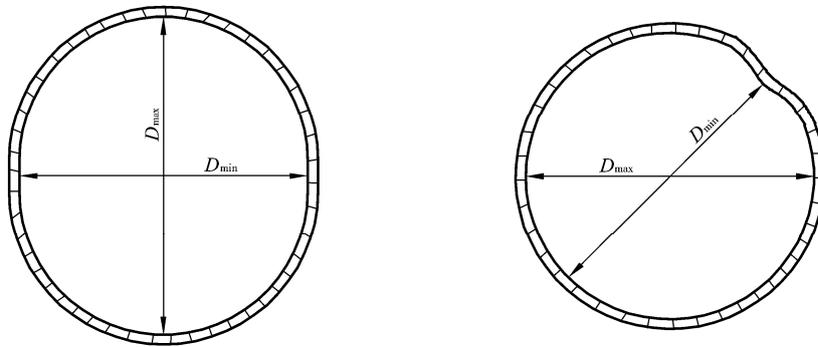


图 9-8 壳体同一断面上最大内直径与最小内直径

当被检断面位于开孔处，或离开孔中心 1 倍开孔内直径范围内时，则该断面最大内直径与最小内直径之差，应不大于该断面内径  $D_i$  的 1% 与开孔内直径的 3% 之和，且不大于 35mm。矩形容器同一截面上，最大边长与最小边长之差应不大于该截面边长的 1%，且不大于 30mm (见图 9-9)；

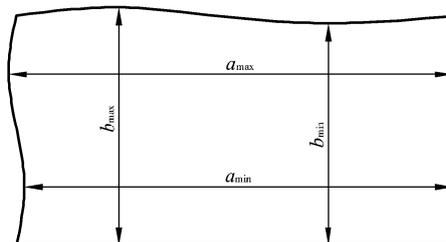


图 9-9 矩形容器截面上最大边长与最小边长

- e) 制造壳体时，相邻圆筒的纵向焊接接头的距离，或封头拼接焊接接头的端点与相邻圆筒的纵向焊接接头的距离均应大于钢板名义厚度  $\delta_n$  的 3 倍，且不小于 100mm。筒节长度应不小于 300mm。矩形容器壁板相邻拼接焊缝间距  $\Delta$  应大于钢板名义厚度  $\delta_n$  的 3 倍，且不小于 100mm (见图 9-10)；

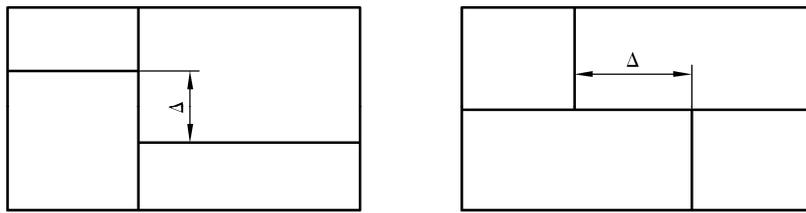


图 9-10 矩形容器壁板相邻拼接焊缝间距

- f) 制造中应避免钢板表面的机械损伤，对较严重的机械伤痕应进行修磨。对壳体钢板的修磨深度不得超过钢板名义厚度  $\delta_n$  的 10%，且不大于 2mm，并使修磨范围内均匀过渡，不得有突变；
- g) 高合金钢制容器的表面不应有影响耐腐蚀性的局部伤痕、刻槽等缺陷。若有缺陷须予修磨，修磨深度应不超过钢板厚度（复合钢板指覆层厚度）的负偏差。若修磨深度超出规定，允许采用焊接修补，补焊后还应满足本条要求。

#### 9.3.4 法兰：

- a) 接管法兰、容器法兰按相应标准要求进行加工。
- b) 角钢或扁钢制法兰（见图 9-11）的加工要求如下：

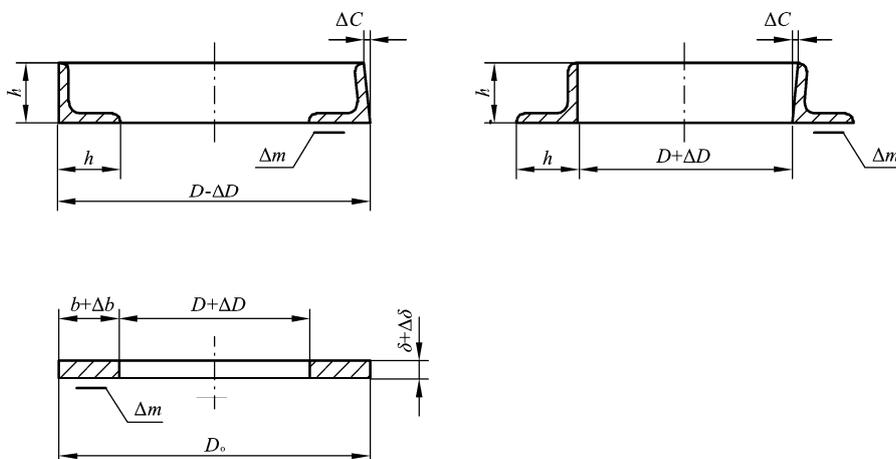


图 9-11 角钢或扁钢制法兰

1) 角钢或扁钢制法兰加工允差按表 9-3 的规定；

表 9-3 角钢或扁钢制法兰加工允差

mm

项 目		直 径 $D$					
		<800	800 ~ 1 200	1 300 ~ 1 600	1 700 ~ 2 400	2 600 ~ 3 000	3 200 ~ 4 000
直径允差 $\Delta D$	$h < 100$	3	4	5	6	7	7
	$h > 100$	4	5	6	7	8	8
表面不平度 $\Delta m$		3	3	3	4	4	4
最大最小直径之差 $e$		4	5	6	7	7	8
立筋不垂直度 $\Delta C$	$h \leq 100$	2.5					
	$h > 100$	3.5					
宽度允差 $\Delta b$	$b \leq 100$	+3 - 2					
	$b > 100$	+4 - 2					
厚度允差 $\Delta \delta$		$\leq 0.1\delta$ 且 $\leq 3$					
注：角钢、扁钢表面不平度用长度不小于 300mm 的直尺检查， $\Delta m$ 为直尺与被检平面之间隙。							

2) 非配钻螺栓孔中心圆直径和相邻两孔弦长允差为  $\pm 1\text{mm}$ ，任意两弦长允差应不大于 2mm；

3) 法兰表面不得有裂纹、毛刺，以及降低强度和连接可靠性的缺陷。

c) 法兰面应垂直于接管或圆筒的主轴中心线。法兰的螺栓通孔应与壳体主轴线或铅垂线跨中布置（见图 9-12）。有特殊要求时，应在图样上注明。

d) 安装接管法兰应保证法兰面的水平或垂直（有特殊要求的应在图样中注明），其偏差均不得超过法兰外径的 1%（法兰外径小于 100mm 时，按 100mm 计），且不大于 3mm。

e) 直立容器的底座圈、底板上地脚螺栓通孔应跨中布置，中心圆直径允差、相邻两孔弦长允差和任意两孔弦长允差均不大于 2mm。

f) 矩形容器底板如设置地脚螺栓（见图 9-13），地脚螺栓孔中心线长度  $L_b$ 、 $W_b$  的允差为 2mm；同一螺栓孔中心线上，相邻、任意两螺栓孔中心距离允差为 2mm。

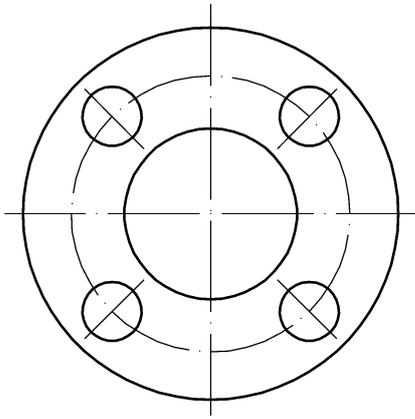


图 9-12 法兰的螺栓通孔图

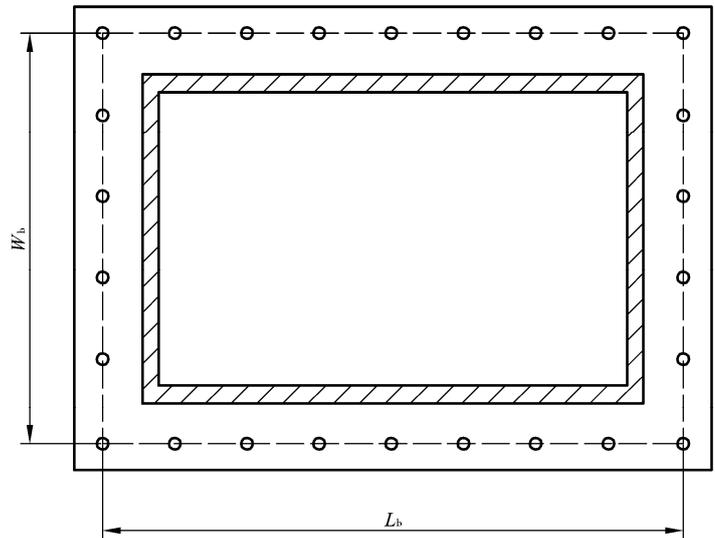


图 9-13 矩形容器底板地脚螺栓孔

### 9.3.5 螺栓、螺母

螺栓、螺母等紧固件应根据图样要求分别按 GB/T 3098.1、GB/T 3098.2、GB/T 5779.1、GB/T 5779.2 的规定加工。

### 9.3.6 极限偏差

机械加工表面和非机械加工表面的线性尺寸的极限偏差,分别按 GB/T 1804 中的 m 级和 c 级的规定。

## 9.4 焊接

### 9.4.1 焊工资格

从事焊条电弧焊、埋弧焊的焊工应按《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》的有关规定进行考试,并取得相应合格证书。

### 9.4.2 焊前准备及施焊环境:

- a) 容器施焊前,应根据图样要求制定合理的焊接工艺规程。
- b) 容器施焊前,应检查圆筒的组装质量,清除坡口及其两侧 20mm 范围内的泥砂、铁锈、油污、氧化皮及其他杂质。
- c) 焊条、焊剂及其他焊接材料的储存库应保持干燥,相对湿度不大于 60%。
- d) 当施焊环境出现下列任一情况,且无有效防护措施时,禁止施焊:
  - 1) 焊条电弧焊时风速大于 10m/s;
  - 2) 气体保护焊时风速大于 2m/s;
  - 3) 相对湿度大于 90%;
  - 4) 雨、雪环境。
- e) 当焊件温度低于 0°C 时,应在始焊处 100mm 范围内预热到 15°C 左右。

### 9.4.3 焊接工艺:

- a) 容器施焊前的焊接工艺评定,应按 JB 4708 进行;

b) 焊接工艺评定报告、焊接工艺规程、施焊记录及焊工的识别标记，应保存 3 年。

9.4.4 焊缝表面外观要求：

- a) 焊接接头表面不得有裂纹、气孔、弧坑和飞溅物；
- b) 焊接接头咬边的连续长度不得大于 100mm，焊接接头两侧咬边的总长度不得超过该条焊接接头总长的 10%，咬边深度不得大于 0.5mm，高合金钢制容器不得有咬边；
- c) 焊接接头的余高  $e_1$ 、 $e_2$  按表 9-4 和图 9-14 的规定。

表 9-4 焊接接头的余高 mm

单面坡口		双面坡口	
$e_1$	$e_2$	$e_1$	$e_2$
$0 \sim 15\% \delta_n$ 且 $\leq 4$	$\leq 1.5$	$0 \sim 15\% \delta_1$ 且 $\leq 4$	$0 \sim 15\% \delta_2$ 且 $\leq 4$

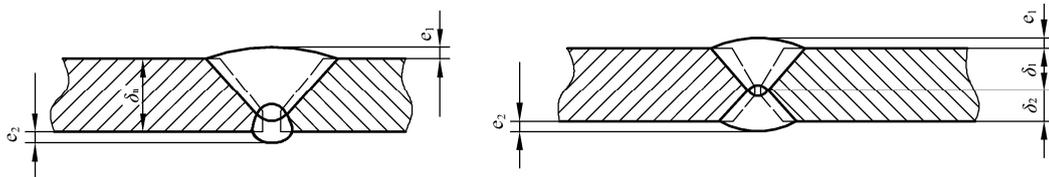


图 9-14 焊接接头的余高

9.4.5 焊接返修：

- a) 需要返修的焊接接头其返修工艺应符合 9.4.3 的有关规定；
- b) 返修次数、部位和返修情况应记入容器的质量证明书；
- c) 有抗晶间腐蚀要求的高合金钢制容器，返修部位仍需保证原有要求。

9.5 热处理

9.5.1 冷或温成型封头应进行热处理。当制造单位确保冷成型后的材料性能符合设计、使用要求时，不受此限。除图样另有规定，冷成型的奥氏体高合金钢封头可不进行热处理。

9.5.2 图样注明有应力腐蚀的容器，应进行消除应力热处理。

9.5.3 有防腐要求的高合金钢及复合钢板制容器表面，应进行酸洗、钝化处理。该类钢制零部件按图样要求进行热处理后，还需作酸洗、钝化处理。

9.6 无损检测

9.6.1 除另有规定，容器对接焊接接头需进行局部射线或超声检测，检测长度不得少于各条焊接接头长度的 10%。局部无损检测应优先选择 T 形接头部位。

9.6.2 焊接接头的无损检测应按 JB/T 4730.2、JB/T 4730.3 的规定进行，要求如下：

- a) 焊接接头的射线检测技术等级为 AB 级；质量等级 III 级合格；
- b) 焊接接头的超声检测技术等级为 B 级；质量等级 II 级合格。

9.7 试验

9.7.1 容器制造完成后，应按图样要求进行盛水试验、液压试验、气压试验、气密性试验或煤油渗漏试验等。

9.7.2 容器的开孔补强圈应在压力试验以前通入 0.1MPa 的压缩空气检查焊接接头质量。

9.7.3 试验液体一般采用水，需要时也可采用不会导致危险的其他液体。试验气体一般采用干燥、洁净的空气，需要时也可采用氮气或其他惰性气体。奥氏体不锈钢制容器用水进行液压试验后应将水渍清除干净。当无法达到这一要求时，应控制用水的氯离子含量不超过 25mg/L。

9.7.4 试验时应采用两个经校正的，且量程相同的压力表，压力表的量程为试验压力的 2 倍左右。

9.7.5 盛水试验方法：

- a) 试验前应将焊接接头的外表面清除干净，并使之干燥；
- b) 试验的持续时间应根据观察所需的时间决定，但不得少于 1h；
- c) 试验中焊接接头应无渗漏；
- d) 如有渗漏，修补后应重新试验；
- e) 试验完毕后，应将水排尽并用压缩空气将内部吹干。

9.7.6 液压试验及方法

9.7.6.1 试验压力按图样规定。

9.7.6.2 试验液体的温度应不低于 5℃。

9.7.6.3 液压试验方法：

- a) 试验时容器的顶部应设排气口，进液时打开排气口，以确保容器内空气排净。试验过程中，应保持容器外表面干燥；
- b) 试验时压力应缓慢上升，达到规定试验压力后，应保持 30min 以上，并检查所有焊接接头和连接部位，如有渗漏，修补后重做试验；
- c) 试验完毕应立即打开排气口，应将水液体排尽并用压缩空气将内部吹干。

9.7.7 气压试验及方法

9.7.7.1 在下列情况下，可采用气压试验代替液压试验：

- a) 由于结构或支承原因，容器不能安全地盛水；
- b) 容器内部不容易干燥，运行中不允许残留试验液体。

9.7.7.2 气压试验应有安全措施。

9.7.7.3 气压试验压力应按图样规定。

9.7.7.4 气压试验时介质温度应不低于 5℃。

9.7.7.5 气压试验方法

试验时压力应缓慢上升，至规定试验压力的 50% 时，保压 5min，然后对所有焊接接头和连接部位进行初次泄漏检查，如有泄漏，修补后重新试验。初次泄漏检查合格后，再继续缓慢升压至规定试验压力。保压 10min 后再次进行泄漏检查。如有泄漏，修补后重做试验。

9.7.8 气密性试验及方法

9.7.8.1 对图样规定有气密性试验要求的容器，需经液压试验合格后再进行气密性试验。

9.7.8.2 气密性试验压力应按图样规定。

9.7.8.3 气密性试验时，压力应缓慢上升，达到规定试验压力后保压 10min，然后降至设计压力，对焊接接头和连接部位进行泄漏检查。如有泄漏，修补后重做试验。小型容器做气密性试验时也可浸入水中检查。

9.7.9 煤油渗漏试验及方法

9.7.9.1 将焊接接头能够检查的一面清理干净，涂以白粉浆，晾干后，在焊接接头另一面涂以煤

油，使表面得到足够的浸润，经 0.5h 后以白粉上没有油渍为合格。

9.7.9.2 在图样允许的情况下或经设计单位同意，可以用煤油渗漏试验代替盛水试验。

9.7.9.3 对于有保温夹套的容器，应先对容器（本体）按规定进行各项试验，试验合格后再焊夹套。对夹套做液压试验时，应进行容器承受外压的稳定验算。

## 9.8 验收

### 9.8.1 质量证明书

容器出厂质量证明文件应包括三部分：

a) 产品合格证；

b) 容器说明书，至少应包括下列内容：

—— 容器特性（包括设计压力、试验压力、设计温度、工作介质）；

—— 容器总图（由订货单位供图时可不包括此项）；

—— 容器主要零部件表；

—— 容器热处理状态与禁焊等特殊说明。

c) 质量证明书，至少应包括下列内容：

—— 主要零部件材料的化学成分和力学性能；

—— 无损检测结果；

—— 压力试验结果；

—— 与图样不符的项目。

### 9.8.2 容器铭牌

容器铭牌应固定于容器明显的位置。容器铭牌应包括如下内容：

a) 制造单位名称；

b) 制造单位对该容器产品的编号；

c) 制造日期；

d) 设计压力；

e) 试验压力；

f) 设计温度；

g) 容器重量。

### 9.8.3 容器的油漆、包装、运输

容器的油漆、包装、运输按 JB/T 4711 的规定。

附 录 A  
(资料性附录)  
钢材在不同温度下的性能

表 A.1 钢板高温屈服强度

钢 号	厚度 mm	在下列温度 ( °C ) 下的 $R_{p0.2}$ ( $R_{eL}$ ), MPa						
		≤20	100	150	200	250	300	350
碳 素 钢 钢 板								
Q245R	6~16	245	220	210	196	176	162	147
	>16~36	235	210	200	186	167	153	139
	>36~60	225	200	191	178	161	147	133
低 合 金 钢 钢 板								
Q345R	6~16	345	315	295	275	250	230	215
	>16~36	325	295	275	255	235	215	200
	>36~60	305	280	260	240	220	200	185
Q370R	6~16	370	340	320	300	285	270	255
	>16~36	360	330	310	290	275	260	245
	>36~60	350	325	305	285	270	255	240
高 合 金 钢 钢 板								
0Cr13		205	189	184	180	178	175	168
0Cr18Ni9		205	171	155	144	135	127	123
0Cr18Ni10Ti		205	171	155	144	135	127	123
0Cr17Ni12Mo2		205	175	161	149	139	131	126
00Cr19Ni10		177	145	131	122	114	109	104
00Cr17Ni14Mo2		177	145	130	120	111	105	100
0Cr18Ni12Mo2Ti		205	175	161	149	139	131	126

表 A.2 钢管高温屈服强度

钢 号	钢管壁厚 mm	在下列温度 (°C) 下的 $R_{p0.2}$ ( $R_{eL}$ ), MPa						
		≤20	100	150	200	250	300	350
碳 素 钢 钢 管								
10	≤16	205	181	172	162	147	133	123
20	≤16	245	220	210	196	176	162	147
低 合 金 钢 钢 管								
16Mn	≤16	320	295	275	255	235	215	200
	17~40	310	285	265	245	225	205	191
注：高合金钢管高温屈服强度可参考表 A.1 所列相应钢号的数据。								

表 A.3 锻件高温屈服强度

钢 号	公称厚度 mm	在下列温度 (°C) 下的 $R_{p0.2}$ ( $R_{eL}$ ), MPa						
		≤20	100	150	200	250	300	350
碳 素 钢 锻 件								
20	≤100	215	191	181	167	152	137	127
低 合 金 钢 锻 件								
16Mn	≤300	275	245	235	215	205	186	176
注：高合金钢锻件高温屈服强度可参考表 A.1 所列相应钢号的数据。								

表 A.4 螺柱高温屈服强度

钢 号	螺柱规格 mm	在下列温度 (°C) 下的 $R_{p0.2}$ ( $R_{eL}$ ), MPa						
		≤20	100	150	200	250	300	350
碳 素 钢 螺 柱								
35	≤M22	315	285	265	245	220	200	186
	M24~M27	295	265	250	230	210	191	176
低 合 金 钢 螺 柱								
40MnB	≤M22	685	620	600	580	570	540	500
	M24~M36	635	570	550	540	530	500	460
30CrMoA	≤M22	550	495	480	470	460	450	435
	M24~M48	500	450	435	425	420	410	395
35CrMoA	≤M22	735	665	645	625	615	605	580
	M24~M48	685	620	600	585	575	565	540
注：高合金钢螺柱高温屈服强度可参考表 A.1 所列相应钢号的数据。								

表 A.5 钢材弹性模量

材 料	在下列温度 (°C) 下的弹性模量, $10^3\text{MPa}$							
	- 20	20	100	150	200	250	300	350
碳素钢 ( $C \leq 0.30\%$ )	194	192	191	189	186	183	179	173
碳素钢 ( $C > 0.30\%$ )、碳锰钢	208	206	203	200	196	190	186	179
奥氏体钢	199	195	191	187	184	181	177	173
高铬钢 ( Cr13 ~ Cr17 )	203	201	198	195	191	187	181	175

表 A.6 钢材平均线膨胀系数

材 料	在下列温度 (°C) 与 20°C 之间的平均线膨胀系数, $10^{-6}\text{mm}/(\text{mm}\cdot^\circ\text{C})$								
	- 50	0	50	100	150	200	250	300	350
碳素钢、碳锰钢	10.39	10.76	11.12	11.53	11.88	12.25	12.56	12.90	13.24
奥氏体钢	15.97	16.28	16.54	16.84	17.06	17.25	17.42	17.61	17.79
高铬钢 ( Cr13 ~ Cr17 )	8.95	9.29	9.59	9.94	10.20	10.45	10.67	10.96	11.19