

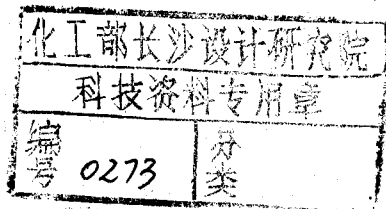
JB

中华人民共和国行业标准

JB/T 4735—1997

钢制焊接常压容器

Steel welded atmospheric
pressure vessels



1997 年 1 月 21 日 发布

1997 年 5 月 1 日 实施

中国石油化工总公司
中华人民共和国机械工业部
中华人民共和国化学工业部
中华人民共和国劳动部

发布

中国石油化工总公司 机械工业部 化学工业部 劳动部

文 件

中石化〔1997〕咨字 28 号

关于颁布推荐性行业标准 《钢制焊接常压容器》的通知

各有关单位：

现颁布推荐性行业标准《钢制焊接常压容器》，自 1997 年 5 月 1 日起实施。

该标准的名称及编号为：

JB/T 4735—1997《钢制焊接常压容器》

为使此项标准及时贯彻实施，其出版发行工作责成全国压力容器标准化技术委员会按期组织完成。

一九九七年一月二十一日

主题词：行业标准 通知

化工部长沙设计院	
科技资料专用章	
编号	分类
0273	

抄 送：国家技术监督局

中国石油化工总公司办公厅

一九九七年一月二十四日印

前 言

本标准系根据国家技术监督局〔1989〕134号文批准的我全国压力容器标准化技术委员会(以下简称“容标委”)1988~1995年制修订国家标准项目计划安排的国家标准项目,后按清理整顿现行标准工作的通知的要求,修订为行业标准,进行了编制工作。经历了以下步骤:

1. 1990年完成编制大纲、初稿编制及汇稿整编;
2. 1991年完成了征求意见稿,在全行业中征求意见;
3. 1993年完成了初审稿,在容标委设计分委员会全会讨论通过;
4. 从1994年开始在容标委秘书处召开多次专家会议,对通过的初审稿在技术内容及文字结构上做了多次修正、汇总整编,形成了报审稿。
5. 1996年容标委进行了函审通过。

本标准是在已实施了十多年的有关标准及工程实践的基础上,并吸取了国外同类标准的内容制订的。所参考的主要标准及技术文件有:

- a. GB150—89《钢制压力容器》;
- b. GBJ128—90《立式圆筒形钢制焊接油罐施工及验收规范》;
- c. JB2880—81《钢制焊接压力容器技术条件》;
- d. SH3046—92《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》;
- e. SH3048—93《石油化工钢制设备抗震设计规定》;
- f. 美国 API620《大型焊接低压储罐设计和建造推荐规定》;
- g. 美国 API650《钢制焊接储油罐》;
- h. 日本 JIS B 8270—93《压力容器(基础标准)》第3种容器;
- i. SHJ505—87《炼油化工施工安装规程》。

本标准是为确保容器安全使用的原则制订的;是基于设计压力低于0.1MPa、真空度低于0.02MPa和设计温度低于350℃的容器所能适应的设计原理、选材条件,以及制造实践制订的。在满足标准中所规定的要求下,应可保证容器的强度、稳定及刚度。

本标准按照积极采用国际标准和国外先进标准的原则,充分考虑了国外先进标准与国内具体情况相结合,使之做到技术先进、经济合理、安全可靠、协调配套。

本标准由全国压力容器标准化技术委员会设计分技术委员会归口;由全国压力容器标准化技术委员会提出。

本标准的起草单位:中石化北京石化工程公司、中石化北京设计院、中石化规划院、中石化洛阳石化工程公司、机械部合肥通用机械研究所、中国纺织工业设计院、中国寰球化学工程公司、中国石油天然气总公司四川设计院。

参加本标准编制工作的人员及分工如下:

标准总编:顾振铭、蓝文清

编、校、审人员:蓝文清、顾振铭、李世玉、王育骧、曹梦珍、黄秀戎、祖荣祺

各部分主编人员:

第1章 范围

蓝文清

第2章 引用标准

蓝文清

第3章 总 论

蓝文清

第4章 材 料

滕明德

第5章	内压圆筒	曹梦珍
第6章	外压圆筒与外压球壳	蓝文清
第7章	封 头	曹梦珍
第8章	平 盖	傅福兴
第9章	开孔和开孔补强	张有渝
第10章	法 兰	邢兆信、徐耀康
第11章	立式容器支承	丁关宝
第12章	立式圆筒形储罐	曹梦珍
第13章	矩形容器	邢兆信、徐耀康
第14章	圆筒形料仓	祖荣祺
第15章	制(建)造、检验与验收	顾振铭、曹梦珍、祖荣祺、刘亚新
附录A	材料的补充规定(标准的附录)	滕明德
附录B	钢材高温性能(提示的附录)	滕明德
附录C	立式圆筒形储罐的抗震计算(提示的附录)	曹梦珍
附录D	带肋拱顶的设计(提示的附录)	曹梦珍
附录E	立式圆筒形储罐基础设计的基本要求(提示的附录)	曹梦珍
附录F	储罐T形接头、角焊接接头试件制备和检查(提示的附录)	曹梦珍
附录G	结构结点详图(提示的附录)	张有渝
附录H	齐平型清扫孔的开孔和开孔补强(提示的附录)	蓝文清

本标准自实施之日起,原JB2880—81《钢制焊接常压容器技术条件》即行废止。

目 次

1. 范围	(1)
2. 引用标准	(1)
3. 总论	(3)
4. 材料	(7)
5. 内压圆筒	(20)
6. 外压圆筒与外压球壳	(20)
7. 封头	(34)
8. 平盖	(42)
9. 开孔和开孔补强	(50)
10. 法兰	(54)
11. 立式容器支承	(61)
12. 立式圆筒形储罐	(81)
13. 矩形容器	(89)
14. 圆筒形料仓	(99)
15. 制(建)造、检验与验收	(136)
附录 A 材料的补充规定(标准的附录)	(168)
附录 B 钢材高温性能(提示的附录)	(169)
附录 C 立式圆筒形储罐的抗震计算(提示的附录)	(171)
附录 D 带肋拱顶的设计(提示的附录)	(176)
附录 E 立式圆筒形储罐基础设计的基本要求(提示的附录)	(178)
附录 F 储罐 T 形接头、角焊接接头试件制备和检查(提示的附录)	(179)
附录 G 结构节点详图(提示的附录)	(181)
附录 H 齐平型清扫孔的开孔和开孔补强(提示的附录)	(192)

中华人民共和国行业标准

钢制焊接常压容器

Steel welded atmospheric pressure vessels

JB/T4735—1997

主题内容

本标准规定了钢制焊接常压容器(以下简称“容器”,即包括:圆筒形容器、立式圆筒形储罐、矩形容器、圆筒形料仓)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 GB150—89《钢制压力容器》的有关规定,其许用应力值可按本标准 3.6 条选取。

1 范围

1.1 本标准适用于符合表 1—1 所列条件的容器:

表 1—1 各类容器的具体适用范围

容器类别	设计压力 P_d	设计温度 t_d (°C)	容积限度
圆筒形容器	$-0.02MPa < P_d < 0.1MPa$	$-20 < t_d \leq 350^{\text{注}}$	$\geq 500L$
立式圆筒形储罐	$-500Pa \leq P_d \leq 2000Pa$	$-20 < t_d \leq 250$	$20m^3 \sim 10000m^3$
圆筒形料仓		< 100	不限
矩形容器	连通大气	常温	~

注:设计温度虽低于或等于 $-20^{\circ}C$,但符合 GB150 标准规定的“低温低应力工况”,且其调整(提高)后的设计温度高于 $-20^{\circ}C$ 的容器,以及奥氏体高合金钢制容器,可按本标准规定进行设计、制造、检验与验收。

1.2 本标准不适用于下列各类容器:

- 直接受火焰加热的容器;
- 受核辐射作用的容器;
- 盛装毒性为极度或高度危害介质的容器;
- 直接埋入地下的容器;
- 可升降气柜;
- 经常搬运的容器;
- 计算容积小于 500L 的容器。

2 引用标准

下列标准包含的条文通过在本标准中引用则构成为本标准的条文。在本标准出版后,下列标准应是现行版本。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

中国石油化工总公司
机 械 工 业 部
化 学 工 业 部
劳 动 部

1997 年 1 月 21 日 批准

1997 年 5 月 1 日 实施

GB150—89	钢制压力容器
GB196—81	普通螺纹基本尺寸
GB197—81	普通螺纹公差与配合
GB228—87	金属拉伸试验方法
GB232—88	金属弯曲试验方法
GB699—88	优质碳素结构钢技术条件
GB700—88	碳素结构钢
GB711—88	优质碳素结构钢厚钢板和宽钢带
GB712—88	船体用结构钢
GB713—86	锅炉用碳素钢和低合金钢板
GB912—89	碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板及钢带
GB983—85	不锈钢焊条
GB985—88	气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形式与尺寸
GB986—88	埋弧焊焊缝坡口的基本形式与尺寸
GB1220—92	不锈钢棒
GB1300—77	焊接用钢丝
GB/T 1591—94	低合金结构钢
GB1804—92	一般公差 线性尺寸的未注公差
GB/T 14976—94	流体输送用不锈钢无缝钢管
GB3087—82	低中压锅炉用无缝钢管
GB3092—93	低压流体输送用焊接钢管
GB3098.1—88	紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱
GB3098.2—88	紧固件机械性能 螺母
GB3274—88	碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带
GB3280—92	不锈钢冷轧钢板
GB4237—92	不锈钢热轧钢板
GB4334.1~9—84	不锈钢耐酸钢晶间腐蚀倾向试验方法
GB5117—95	碳钢焊条
GB5118—95	低合金钢焊条
GB5293—85	碳素钢埋弧焊用焊剂
GB5779.1—86	紧固件表面缺陷 螺栓、螺钉和螺柱一般要求
GB5779.2—86	紧固件表面缺陷 螺母
GB6654—96	压力容器用碳素钢和低合金钢厚钢板
GB8163—87	输送流体用无缝钢管
GB8165—87	不锈钢复合钢板
GB13296—91	锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管
GB/T 14976—94	流体输送用不锈钢无缝钢管
JB2536—80	压力容器油漆、包装和运输
JB4700~JB4707—92	压力容器法兰
JB4708—92	钢制压力容器焊接工艺评定
JB/T 4709—92	钢制压力容器焊接规程
JB4710—92	钢制塔式容器
JB/T 4712—92	鞍式支座
JB/T 4713—92	腿式支座

JB/T 4724—92	支承式支座
JB/T 4725—92	耳式支座
JB 4726—94	压力容器用碳素钢和低合金钢锻件
JB 4728—94	压力容器用不锈钢锻件
JB 4730—94	压力容器无损检测
JB 4733—96	压力容器用爆炸不锈钢复合钢板
SY 5036—83	承压流体输送用螺旋缝埋弧焊钢管
SY 5037—83	一般低压流体输送用螺旋缝埋弧焊钢管
SY 5038—83	承压流体输送用螺旋缝高频焊钢管
SY 5039—83	一般低压流体输送用螺旋缝高频焊钢管
GBJ9—87	建筑结构荷载规范
GBJ11—89	建筑抗震设计规范
GBJ17—88	钢结构设计规范
GBJ236—82	现场工业管道焊接工程施工及验收规范

3 总论

容器的设计、制造、检验与验收除应符合本标准规定外,还须遵守国家颁布的有关法令,法规和规定。

3.1 容器的范围

本标准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:

3.1.1 容器与外管道连接:

- 容器与外管道焊接连接的第一道环向焊接接头;
- 螺纹连接的第一个螺纹接头;
- 法兰连接的第一个法兰密封面;
- 专用连接件或管件连接的第一个密封面。

3.1.2 容器开孔的封闭元件,如人、手孔的成型封头、平盖及其连接紧固件等。

3.1.3 容器的支承元件以及开孔补强元件及其与壳体的连接焊接接头等。

3.1.4 直接安装在容器上的安全泄放装置(应符合图样规定)。

3.2 资格与职责

3.2.1 容器的设计、制造单位必须具备健全的全面质量管理体系。

3.2.2 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。

3.2.3 制造单位必须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。

3.2.4 制造单位的检验部门在容器制造的过程中和完工后,应按本标准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。

3.2.5 制造单位对其制造的每台产品,应具有按本标准第 15 章规定的技术文件备查;

3.3 定义

3.3.1 压力 除注明者外,均指表压力。

3.3.2 工作压力 系指在正常操作工况下,容器顶部的最高压力。

3.3.3 设计压力 系指设定的容器顶部的最高压力,亦即标注在铭牌上的容器设计压力。其值不得小于在相应设计温度下的工作压力。

外压容器的设计压力,应取不小于在正常操作工况下可能出现在壳壁内外的最大压力差。

真空容器按承受外压设计,设计压力取 1.25 倍的最大内外压差。

3.3.4 计算压力 系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。

3.3.5 金属温度 系指容器元件沿截面厚度的平均温度。

在任何情况下,元件金属的表面温度不得超过钢材的允许使用温度。

3.3.6 设计温度 系指在正常操作情况下设定的元件金属温度,其值不得低于在相应设计压力下容器壳壁可能出现的最高金属温度,对 0℃ 以下的金属温度,则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苛刻工况下相应的设计压力 and 设计温度。

3.3.7 试验温度 系指在压力试验时,容器壳体的金属温度。

3.4 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)以及在正常操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、连接管道及其它部件引起的作用力;

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。

3.5 厚度

3.5.1 厚度附加量

厚度附加量,按式(3—1)确定:

$$C = C_1 + C_2 \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

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 $0.25mm$ 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、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(一般不应小于 $1mm$)。

3.5.2 最小厚度

圆筒的最小厚度:对碳素钢及低合金钢为 $3mm$;对高合金钢为 $2mm$ 。

其它形式的容器壳壁的最小厚度,按相应章、条的有关规定。

3.5.3 计算厚度 系指按各章公式计算所得到的厚度,其值不含厚度附加量。

3.5.4 设计厚度 系指以计算厚度与最小厚度二者中之较大值与腐蚀裕量之和。

3.5.5 名义厚度 系指设计厚度加上钢材厚度负偏差,向上圆整至钢材标准规格的厚度,即图样上标注的厚度。

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。

3.5.6 有效厚度 系指名义厚度减去厚度附加量 C 。

3.5.7 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。

3.6 许用应力

3.6.1 钢材和螺栓材料的许用应力按第4章选取。许用应力系按材料各项强度数据分别除以表3—1和表3—2中相应的安全系数,取其中的较小值。

表 3—1 钢材安全系数

材 料	强 度 性 能 安 全 系 数	常 温 下 最低抗拉强度 σ_b	常温或设计温度下 屈 服 点 σ_s 或 σ'_s
		n_b	n_s
碳素钢、低合金钢、 铁素体高合金钢		≥ 2.5	≥ 1.5
奥氏体高合金钢		—	$\geq 1.5^{1)}$

注:1)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%。此规定不适用于法兰或其它当有微量永久变形就产生泄漏或故障的场合。

表 3—2 螺栓安全系数

材 料	螺栓直径	热处理状态	设计温度下屈服点 σ'_s 的 n_s
碳素钢	$\leq M22$	热轧、正火	2.7
	$M24 \sim M48$		2.5
低合金钢 马氏体高合金钢	$\leq M22$	调 质	3.5
	$M24 \sim M48$		3.0
	$\geq M52$		2.7
奥氏体高合金钢	$\leq M22$	固 溶	1.6
	$M24 \sim M48$		1.5

3.6.2 当温度低于20℃时,取20℃时的许用应力。

3.6.3 不锈钢复合钢板的许用应力

在设计计算中可计入复层材料的强度,其设计温度下的许用应力按式(3—2)确定:

$$[\sigma]' = \frac{[\sigma]'_1 \delta_1 + [\sigma]'_2 \delta_2}{\delta_1 + \delta_2}$$

..... (3—2)

式中: $[\sigma]'$ ——设计温度下复合钢板的许用应力,MPa;
 $[\sigma]'_1$ ——设计温度下基层钢板的许用应力,MPa;
 δ_1 ——基层钢板的有效厚度,mm;
 $[\sigma]'_2$ ——设计温度下复层钢板的许用应力,MPa;
 δ_2 ——复层材料的有效厚度,mm。

3.6.4 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:

设计温度下的材料许用应力(见第4章);

按下列步骤求取的 B 值:

a. 按式(3—3)计算 A 值:

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

式中: A ——系数;

δ_e ——圆筒或管子的有效厚度, mm ;

R_o ——圆筒或管子的外半径, mm ;

b. 根据所选材料、设计温度及 A 值查图 6—3~图 6—9(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(3—4)计算 B 值。

$$B = \frac{2}{3} A E' \dots\dots\dots (3-4)$$

式中: B ——许用轴向压缩应力, MPa ;

E ——设计温度下材料的弹性模量, MPa 。

3.7 焊接接头系数

本条所列焊接接头系数适用于本标准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。

3.7.1 双面焊或相当双面焊的全熔透对接接头:

100%无损检测 $\phi = 1.0$ ¹⁾

局部无损检测 $\phi = 0.85$;

不作无损检测 $\phi = 0.70$ 。

3.7.2 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 $\phi = 0.90$ ¹⁾

局部无损检测 $\phi = 0.80$;

不作无损检测 $\phi = 0.65$ 。

3.7.3 单面焊无垫板对接接头:

局部无损检测 $\phi = 0.70$;

不作无损检测 $\phi = 0.60$ 。

注:1)本标准一般不要求 100%无损检测,但设计需要 100%无损检测且取相应的 ϕ 值时则须按 GB150 要求无损检测的合格级别。

3.8 压力试验

容器制成后,必须进行压力试验或试漏。试验可做盛(充)水试验、液压试验、气密性试验,以及煤油或肥皂水试漏等,当无法做液压试验时,可做气密性试验,其试验方法及项目应在图样上注明。试验的具体要求见 15.2.5 条、15.3.7 条、15.4.7 条的规定。

3.8.1 试验压力

a. 液压试验

$$P_T = \begin{cases} 1.25P \frac{[\sigma]}{[\sigma]_t} \\ 0.1 \end{cases} \quad \text{取两者的较大值} \dots\dots\dots (3-5)$$

b. 气密性试验

$$P_r = p \frac{[\sigma]}{[\sigma]'} \quad \dots\dots\dots (3-6)$$

式中: p_r ——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;

$[\sigma]'$ ——容器元件材料在设计温度下的许用应力, MPa。

注: ①如因采用 0.1MPa(液压试验)或 0.07MPa(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 $1.25p \frac{[\sigma]}{[\sigma]'}$ MPa(液压试验)或 $1.15p \frac{[\sigma]}{[\sigma]'}$ MPa(气压试验)。

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 $\frac{[\sigma]}{[\sigma]'}$ 之比值中的最小者。

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_r 加液柱静压力。

3.8.2 当容器需作液压试验, 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_r 按式(3-6)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。

外压容器和真空容器以内压进行压力试验。

3.8.3 压力试验时的应力校核

压力试验时, 圆筒的薄膜应力按式(3-7)计算:

$$\sigma_r = \frac{p_r D_i}{2\delta\phi} \quad \dots\dots\dots (3-7)$$

式中: σ_r ——圆筒薄膜应力, MPa;

p_r ——试验压力, MPa;

D_i ——圆筒内直径, mm;

δ ——圆筒的有效厚度, mm;

ϕ ——圆筒的焊接接头系数。

在液压试验时, 圆筒的薄膜应力 σ_r 不得超过试验温度下材料屈服点的 90%(校核时应计入液柱静压力); 在气压试验或液压与气压组合试验时, 此应力不得超过试验温度下材料屈服点的 80%。

4 材料

4.1 基本要求

4.1.1 容器用钢应符合本章规定, 焊接元件用钢须是焊接性良好的钢材。

4.1.2 采用本章规定以外的钢材, 还应符合附录 A 的有关规定, 但凡是列入 GB150 的钢材均适用于本标准。

4.1.3 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。

4.1.4 容器用钢应附有钢材生产单位的钢材质量证明书(或其复印件)。容器制造单位应按质量证明书对钢材进行验收, 必要时进行复验。

4.1.5 选择容器用钢必须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。

4.1.6 钢材的使用温度下限, 除奥氏体高合金钢、低温低应力工况下的容器用钢及本章各条规定者外, 均高于 -20°C 。

本章对各钢种规定的钢材使用温度下限均系按正常工作应力工况而定,但在“低温低应力工况”下操作的容器不受所规定的限制。

4.1.7 对钢材有特殊要求时,应在图样或相应技术文件中注明。

4.1.8 钢材的高温性能参考值见附录 B。

4.2 钢板

4.2.1 钢板的标准、使用状态及许用应力按表 4—1 的规定

4.2.2 碳素钢沸腾钢板 Q235—A·F 的适用范围为:

使用温度为 0~250℃;

用于容器壳体时,钢板厚度不大于 12mm;

不得用于盛装毒性为中度危害介质的容器;

4.2.3 碳素钢镇静钢板的适用范围规定如下:

a. Q235—A 钢板:

钢板的使用温度为 0~350℃;

用于容器壳体时,钢板厚度不大于 16mm;

b. Q235—B 钢板:

钢板使用温度为 0~350℃;

用于容器壳体时,钢板厚度不大于 20mm;

c. Q235—C 钢板:

钢板使用温度为 0~350℃;

用于容器壳体时,钢板厚度不大于 30mm。

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。

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

4.2.5 用于容器壳体的下列钢板,当设计温度和钢板厚度符合下述情况时,应每批取一张钢板进行夏比(V 型缺口)低温冲击试验。试验温度按图样的规定,试样取样方向为横向。

a. 使用温度低于-10℃时;厚度大于 12mm 的 20R;

b. 使用温度低于-10℃时;厚度大于 20mm 的 16MnR。

三个试样的冲击功平均值:对 16MnR 应不小于 20J;对 20R 应不小于 18J。允许一个试样的冲击功小于平均值,但不得小于 70%。

4.2.6 高合金钢板一般按 GB4237 标准选用。对厚度不大于 4mm 的钢板,设计单位应注明钢板表面质量的组别。

对厚度不大于 4mm 的钢板,当按 GB3280 标准选用时,设计单位应注明钢板的表面加工等级。

4.3 钢管

4.3.1 钢管的标准及许用应力按表 4—2 的规定。

4.4 锻件

4.4.1 锻件的标准及许用应力按表 4—3 的规定。

4.4.2 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。

4.5 螺柱和螺母

4.5.1 螺柱用钢的标准、使用状态及许用应力按表 4—4 的规定。

4.5.2 与各螺柱用钢组合使用的螺母用钢可按表 4—5 选取,设计者也可选用有使用经验的其它螺母用钢。

表 4—5

螺栓钢号	螺 母 用 钢			
	钢 号	钢材标准	使用状态	使用温度℃
Q235—A	Q215—A, Q235—A	GB700	热轧	>—20~300
35	Q235—A	GB700	热轧	>—20~300
	20, 25	GB699	正火	>—20~350
2Cr13	1Cr13, 2Cr13	GB1220	调质	>—20~350
0Cr18Ni9	0Cr13	GB1220	退火	>—20~350
	0Cr18Ni9	GB1220	固溶	~350
0Cr18NiTi	0Cr18Ni10Ti	GB1220	固溶	~350
0Cr17Ni12Mo2	0Cr17Ni12Mo2	GB1220	固溶	~350

4.6 型钢

4.6.1 结构型钢按 GB700 和 GB1591 选用。

4.6.2 与容器相连的钢结构用型钢的许用应力按表 4—6 的规定。

表 4—6 结构型钢的许用应力

钢 号	钢材厚度(直径) mm	在常温下的许用应力 MPa	
		抗拉、抗压、抗弯	抗剪
Q235—A·F	≤16	150	88
Q235—A Q235—B	>16~40	137	84
Q235—C	>16	167	98
	>16~40	152	93
16Mn	≤16	235	142
	17~25	225	137

表 4-1 钢板许用应力

钢 号	钢板标准	使用状态	厚度 mm	常温强度指标		在下列温度(℃)下的许用应力值 MPa							注
				σ _s MPa	σ _b MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	
碳 素 钢 钢 板													
Q235—A.F	GB912	热轧	3~4	375	235	135	126	120	112	100	—	—	1)
	GB3274	热轧	4.5~16	375	235	135	126	120	112	100	—	—	1)
Q235—A	GB912	热轧	3~4	375	235	135	126	120	112	100	92	84	1)
	GB3274	热轧	4.5~16	375	235	135	126	120	112	100	92	84	1)
			>16~40	375	225	135	120	114	107	96	88	80	1)
Q235—B	GB912	热轧	3~4	375	235	135	126	120	112	100	92	84	1)
	GB3274	热轧	4.5~16	375	235	135	126	120	112	100	92	84	1)
			>16~40	375	225	135	120	114	107	96	88	80	1)
Q235—C	GB912	热轧	3~4	375	235	150	140	133	124	111	102	93	
	GB3274	热轧	4.5~16	375	235	150	140	133	124	111	102	93	
			>16~40	375	225	150	133	127	119	107	98	89	

续表 4—1

钢 号	钢板标准	使用状态	厚度 mm	常温强度指标		在下列温度(℃)下的许用应力值 MPa								注
				σ_b MPa	σ_s MPa	≤ 20	100	150	200	250	300	350		
20R	GB6654	热轧 或 正火	6~16	400	245	160	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														
16MnR	GB6654	热轧 或 正火	6~16	510	345	205	188	180	183	167	153	143		
			>16~26	490	325	196	184	183	170	157	143	133		
			>26~36	490	305	196	184	173	160	147	133	123		

续表 4—1

钢 号	钢板标准	使用状态	厚度 mm	在下列温度(℃)下的许用应力值 MPa							注
				≤20	100	150	200	250	300	350	
高 合 金 钢 钢 板											
0Cr13	GB4237	退火	2~60	137	126	123	120	119	117	112	
0Cr18Ni9	GB4237	固溶	2~60	137	137	137	130	122	114	111	2)
				137	114	103	96	90	85	82	
0Cr18Ni10Ti	GB4237	固溶或 稳定化	2~60	137	137	137	130	122	114	111	2)
				137	114	103	96	90	85	82	
0Cr17Ni12Mn2	GB4237	固溶	2~60	137	137	137	134	125	118	113	2)
				137	117	107	99	93	87	84	
0Cr18Ni12Mn2Ti	GB4237	固溶	2~60	137	137	137	134	125	118	113	2)
				137	117	107	99	93	87	84	
0Cr19Ni13Mo3	GB4237	固溶	2~60	137	137	137	134	125	118	113	2)
				137	117	107	99	93	87	84	
00Cr19Ni10	GB4237	固溶	2~60	118	118	118	110	103	98	94	2)
				118	97	87	81	76	73	69	
00Cr17Ni14Mo2	GB4237	固溶	2~60	118	118	117	108	100	95	90	2)
				118	97	87	80	74	70	67	

续表 4—1

钢 号	钢板标准	使用状态	厚度 mm	在下列温度(℃)下的许用应力值 MPa							注
				≤20	100	150	200	250	300	350	
00Cr19Ni13 Mo3	GB4237	固溶	2~60	118	118	118	118	118	118	113	2)
				118	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。

1)所列许用应力,已乘质量系数 0.9。

2)该行许用应力,仅适用允许产生微量永久变形之元件,对于法兰或其它有微量永久变形就引起泄漏或故障的场合不能采用。

表 4—2 钢管的许用应力

钢 号	钢管标准	壁厚 mm	常温强度指标		在下列温度(℃)下的许用应力值 MPa							注
			σ_b MPa	σ_s MPa	≤ 20	100	150	200	250	300	350	
碳 素 钢 钢 管												
10	GB8163	≤ 10	335	205	134	121	115	108	98	88	82	
20	GB8163	≤ 10	390	245	156	147	140	131	117	108	98	

续表 4—2

钢 号	钢管标准 ²⁾	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		
高 合 金 钢 管											
0Cr13	GB/T 14976	≤18	137	126	123	120	119	117	112		
	GB13296 GB/T 14976	≤13	137	137	137	130	122	114	111		1)
		≤18	137	114	103	96	90	85	82		

续表 4-2

钢 号	钢管标准 ²⁾	壁厚 mm	在下列温度(℃)下的许用应力值MPa								注
			≤20	100	150	200	250	300	350		
0Cr18Ni10Ti	GB13296 GB/T14976	≤13	137	137	137	130	122	114	111	1)	
		≤18	137	114	103	96	90	85	82		
0Cr17Ni12 Mo2	GB13296 GB/T14976	≤13	137	137	137	134	125	118	113	1)	
		≤18	137	117	107	99	93	87	84		
0Cr18Ni12 Mo2Ti	GB13296 GB/T14976	≤13	137	137	137	134	125	118	113	1)	
		≤18	137	117	107	99	93	87	84		
0Cr19Ni13Mo3	GB13296 GB/T14976	≤13	137	137	137	134	125	118	113	1)	
		≤18	137	117	107	99	93	87	84		
00Cr19Ni10	GB13296 GB/T14976	≤13	118	118	118	110	103	98	94	1)	
		≤18	118	97	87	81	76	73	69		
00Cr17Ni14Mo2	GB13296 GB/T14976	≤13	118	118	117	108	100	95	90	1)	
		≤18	118	97	87	80	74	70	67		
00Cr19Ni13Mo3	GB13296 GB/T14976	≤13	118	118	118	118	118	118	113	1)	
		≤18	118	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。

1) 该行许用应力仅适用于允许产生微量永久变形的元件, 对于法兰或其它有微量永久变形就引起泄漏或故障的场合不能采用。

2) 钢管标准 GB13296 的钢管壁厚 ≤13mm。

表 4—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(℃)下的许用应力值 MPa							注
			σ_b MPa	σ_s MPa	≤ 20	100	150	200	250	300	350	
碳 素 钢 锻 件												
20	JB4726	≤ 100	370	215	143	130	121	111	101	91	85	
低合金钢锻件												
16Mn	JB4726	≤ 300	450	275	183	163	157	144	137	124	117	
续表 4—3												
钢 号	锻件标准	壁厚 mm	在下列温度(℃)下的许用应力值 MPa									注
			≤ 20	100	150	200	250	300	350			
高 合 金 钢 锻 件												
0Cr13	JB4728	≤ 100	137	126	123	120	119	117	112			
0Cr18Ni9	JB4728	≤ 200	137	137	137	130	122	114	111			1)
			137	114	103	96	90	85	82			

续表 4—3

钢 号	锻件标准	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	
0Cr18Ni10Ti	JB4728	≤200	137	137	137	130	122	114	111	1)
			137	114	103	96	90	85	82	
0Cr17Ni12Mo2	JB4728	≤200	137	137	137	134	125	118	113	1)
			137	117	107	99	93	87	84	
00Cr19Ni10	JB4728	≤200	117	117	117	110	103	98	94	1)
			117	97	87	81	76	73	69	
00Cr17Ni14Mo2	JB4728	≤200	117	117	117	108	100	95	90	1)
			117	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

1) 该行许用应力适用于允许产生微量永久变形的元件, 对于法兰或其它有微量永久变形引起泄漏或故障的场合不能采用。

表 4-4 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						
				σ_b MPa	σ_s MPa	≤ 20	100	150	200	250	300	350
碳 素 钢 螺 柱												
Q 235—A ¹⁾	GB700	热轧	$\leq M20$	375	235	87	78	74	69	62	56	—
		正火	$\leq M22$	530	315	117	105	98	91	82	74	69
35	GB699		M24~M27	510	295	118	106	100	92	84	76	70
续表 4—4												
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								
				≤ 20	100	150	200	250	300	350		
高 合 金 钢 螺 柱												
2Cr13	GB1220	调质	$\leq M22$	126	117	111	106	103	100	97		
			M24~M27	147	137	130	123	120	117	113		
0Cr18Ni9	GB1220	固溶	$\leq M22$	129	107	97	90	84	79	77		
			M24~M48	137	114	103	96	90	85	82		

续表 4—4

钢 号	钢材标准	使用状态	螺栓规格 mm	在下列温度(℃)下的许用应力值 MPa						
				≤20	100	150	200	250	300	350
0Cr18Ni10Ti	GB1220	固溶	≤M22	129	107	97	90	84	79	77
			M24~M48	137	114	103	96	90	85	82
0Cr17Ni12Mo2	GB1220	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 内压圆筒

本章适用于受内压和(或)液柱静压力作用下容器圆筒厚度的计算。

5.1 符号说明

D_i ——圆筒内直径, mm ;

P_c ——计算压力, MPa ;

δ ——圆筒的计算厚度, mm ;

δ_e ——圆筒的有效厚度, mm ;

σ' ——设计温度下圆筒的计算应力, MPa ;

$[\sigma]'$ ——设计温度下圆筒材料的许用应力(见第4章), MPa ;

ϕ ——焊接接头系数(见3.7条)。

5.2 圆筒计算

圆筒计算厚度按式(5—1)确定:

$$\delta = \frac{P_c D_i}{2[\sigma]'\phi} \quad \dots\dots\dots (5-1)$$

5.3 圆筒计算应力按式(5—2)计算:

$$\sigma' = \frac{P_c D_i}{2\delta_e} \quad \dots\dots\dots (5-2)$$

σ' 应满足式(5—3)的要求:

$$\sigma' < [\sigma]'\phi \quad \dots\dots\dots (5-3)$$

6 外压圆筒和外压球壳

6.1 符号说明

A ——系数, 根据 L/D_o 及 D_o/δ 查图6—2。对带有加强圈的圆筒, 则根据选定的加强圈截面尺寸, 按式(6—6)计算 B 值, 再根据选定的材料类别、设计温度及 B 值从图6—3~图6—9查取 A 值, 若图中无交点则按式(6—7)计算 A 值;

A_s ——加强圈的横截面积, mm^2 ;

B ——系数, 查图6—3~图6—9, 对加强圈则按式(6—6)计算, MPa ;

C ——厚度附加量, (见3.5.1条), mm ;

D_i ——圆筒内直径, mm ;

D_o ——圆筒外直径, mm ;

D_s ——加强圈中性轴直径, mm ;

E' ——设计温度下材料的弹性模量, MPa ;

h_i ——封头曲面深度, mm ;

I ——加强圈与壳体组合段所需的惯性矩, mm^4 ;

I_s ——壳体起加强作用的有效段与加强圈组合截面对通过与壳体轴线平行的该截面形心轴的惯性矩, mm^4 。 I_s 值的计算可计入在加强圈中心线两侧有效宽度各为 $0.55\sqrt{D_o\delta}$ 的壳体, 若加强圈中心线两侧壳体有效宽度与相邻加强圈的壳体有效宽度相重叠, 则该壳体的有效宽度中

相重叠部分每侧按一半计算;

L ——圆筒计算长度(见图 6—1), mm ;

L_s ——在与壳体轴线相平行的方向,从加强圈中心线到相邻两侧加强圈中心线距离之和的一半,若与凸形封头相邻,在该长度中还应计入封头曲面深度的 $1/3$, mm ;

p ——设计外压力, MPa ;

$[p]$ ——许用外压力, MPa ;

R_i ——球壳内半径, mm ;

R_o ——球壳外半径, mm ;

δ_e ——圆筒或球壳的有效厚度, mm ;

δ_n ——圆筒或球壳的名义厚度, mm 。

6.2 外压圆筒和外压球壳的设计

6.2.1 外压圆筒

外压圆筒所需的有效厚度用图 6—2~图 6—9 进行计算,步骤如下:

a. 假设 δ_n , 则 $\delta_e = \delta_n - C$;

b. 根据 L/D_o 及 D_o/δ_e 查图 6—2 得到系数 A 值(遇中间值用内插法);

若 L/D_o 值大于 50, 则用 $L/D_o = 50$ 查图;

若 L/D_o 值小于 0.05, 则用 $L/D_o = 0.05$ 查图;

c. 根据所用材料类别及 A 值选用图 6—3~图 6—9 查取 B 值。按式(6—1)计算许用外压力 $[p]$:

$$[p] = \frac{B}{(D_o/\delta_e)} \quad \dots\dots\dots (6-1)$$

若所得 A 值落在设计温度下材料线的左方, 则用式(6—2)计算许用外压力 $[p]$:

$$[p] = \frac{2AE'}{(3 \frac{D_o}{\delta_e})} \quad \dots\dots\dots (6-2)$$

若 $[p]$ 小于 p , 须重新假设圆筒名义厚度 δ_n , 重复上述计算步骤, 直到 $[p]$ 大于且接近 p 为止。

6.2.2 外压球壳

外压球壳所需的有效厚度 δ_e 按以下计算步骤确定:

a. 假设 δ_n , 则 $\delta_e = \delta_n - C$

b. 用式(6—3)计算系数 A :

$$A = \frac{0.125}{(R_o/\delta_e)} \quad \dots\dots\dots (6-3)$$

c. 根据所用材料类别及 A 值选用图 6—3~图 6—9(遇中间值用内插法), 求得系数 B , 并按式(6—4)计算许用外压力 $[p]$

$$[p] = \frac{B}{R_o/\delta_e} \quad \dots\dots\dots (6-4)$$

若所得 A 值落在设计温度下材料线的左方, 则用式(6—5)计算许用外压力 $[p]$:

$$[\sigma] = \frac{0.083E'}{(R_o/\delta e)^2} \dots\dots\dots (6-5)$$

若 $[\sigma]$ 小于 p ,须重新假设名义厚度 δn ,重复上述计算步骤,直到 $[\sigma]$ 大于且接近 p 为止。

6.3 外压圆筒加强圈的设计

6.3.1 加强圈的计算

加强圈所需惯性矩按以下步骤确定:

a. 选定加强圈的距离 L 、材料及截面尺寸,并计算它的横截面积 A_s 和壳体有效段与加强圈组合截面的惯性矩 I_s ;

b. 用式(6-6)计算 B 值:

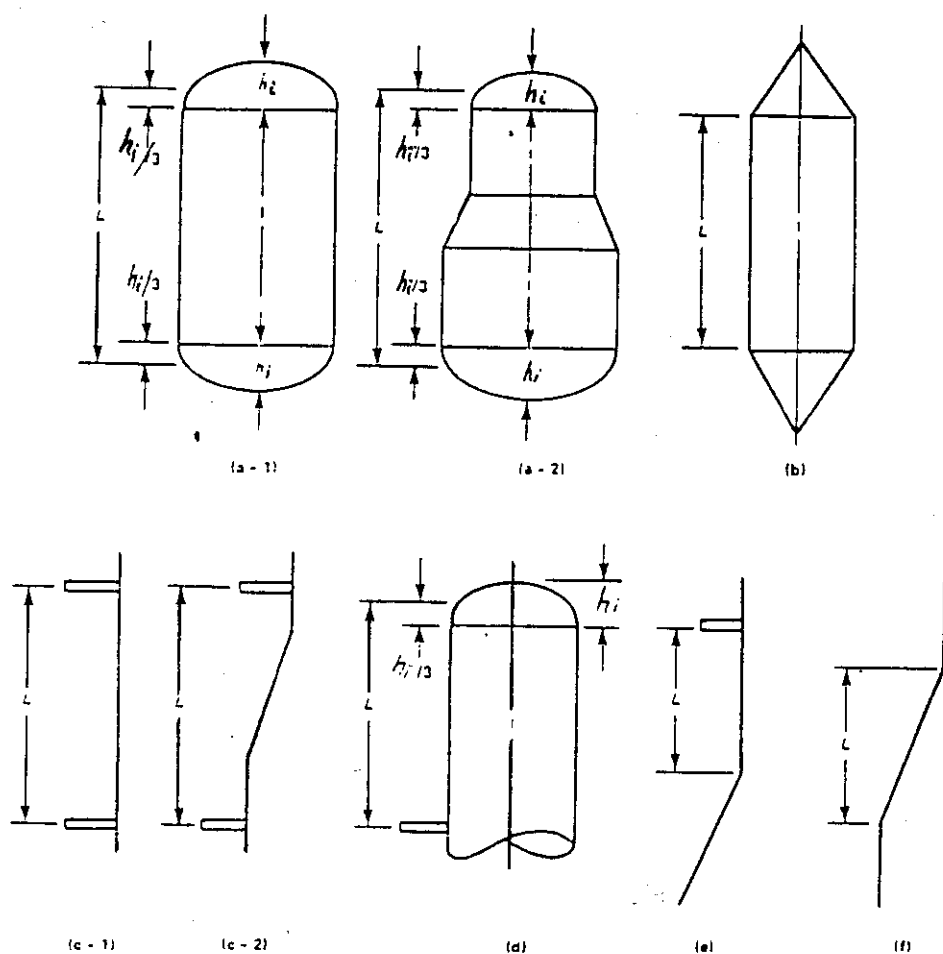


图 6—1 圆筒计算长度

$$B = \frac{P D_o}{\delta e + \frac{A s}{L s}} \dots\dots\dots (6-6)$$

c. 按式(6—6)计算出的 B 值, 查图(6—3~6—9)读出 A 值, 若图中无交点, 则按式(6—7)计算 A 值:

$$A = \frac{1.5B}{E} \dots\dots\dots (6-7)$$

d. 用式(6—8)计算加强圈与圆筒组合段所需的惯性矩 I :

$$I = \frac{D_o^2 L_s (\delta_r + A_s / L_s)}{10.9} A \dots\dots\dots (6-8)$$

e. 若 I 大于 I_s , 则必须另选一具有较大惯性矩的加强圈, 重复上述计算步骤, 直到 I_s 大于且接近 I 为止。

6.3.2 加强圈的设置

6.3.2.1 加强圈可设置在容器的内部或外部, 应整圈围绕在壳体的圆周上。加强圈两端的接合形式应按图 6—10 所示。

6.3.2.2 容器内部的加强圈, 若布置成图 6—10 中 E 或 F 所示之结构时, 则应使图中所示的截面具有该加强圈所需的惯性矩。该截面的惯性矩应以它本身的中性轴来计算。

6.3.2.3 在加强圈需要留出如图 6—10 中 A 及 E 所示的间隙时, 则不应超过图 6—11 规定的弧长, 否则须将壳体内部和外部的加强圈相邻两部分之间接合起来, 采用如图(6—10)中 C 所示的结构。但若能同时满足以下三个条件者可以除外:

- a. 壳体上不受加强圈支撑的弧长不超过 90° ;
- b. 相邻两加强圈的不受支撑的弧长相互交错 180° ;
- c. 圆筒计算长度 L 应取下列数值中的较大者;

相间隔加强圈之间的最大距离;

从封头转角线至第二个加强圈中心的距离再加上 $1/3$ 封头曲面深度。

6.3.2.4 容器内部的构件, 倘被设计成起加强作用者, 也可作加强圈用。

6.3.2.5 加强圈与壳体之间可采用连续的或间断的焊接, 当加强圈设置在壳体外面时, 加强圈每侧间断焊接的总长, 应不少于容器外圆周长的 $1/2$, 当设置在壳体里面时, 应不少于壳体内圆周长的 $1/3$ 。

间断焊接接头的布置与间距可参照图 6—12 所示的型式, 间断焊接接头可以相互错开或并排布置。

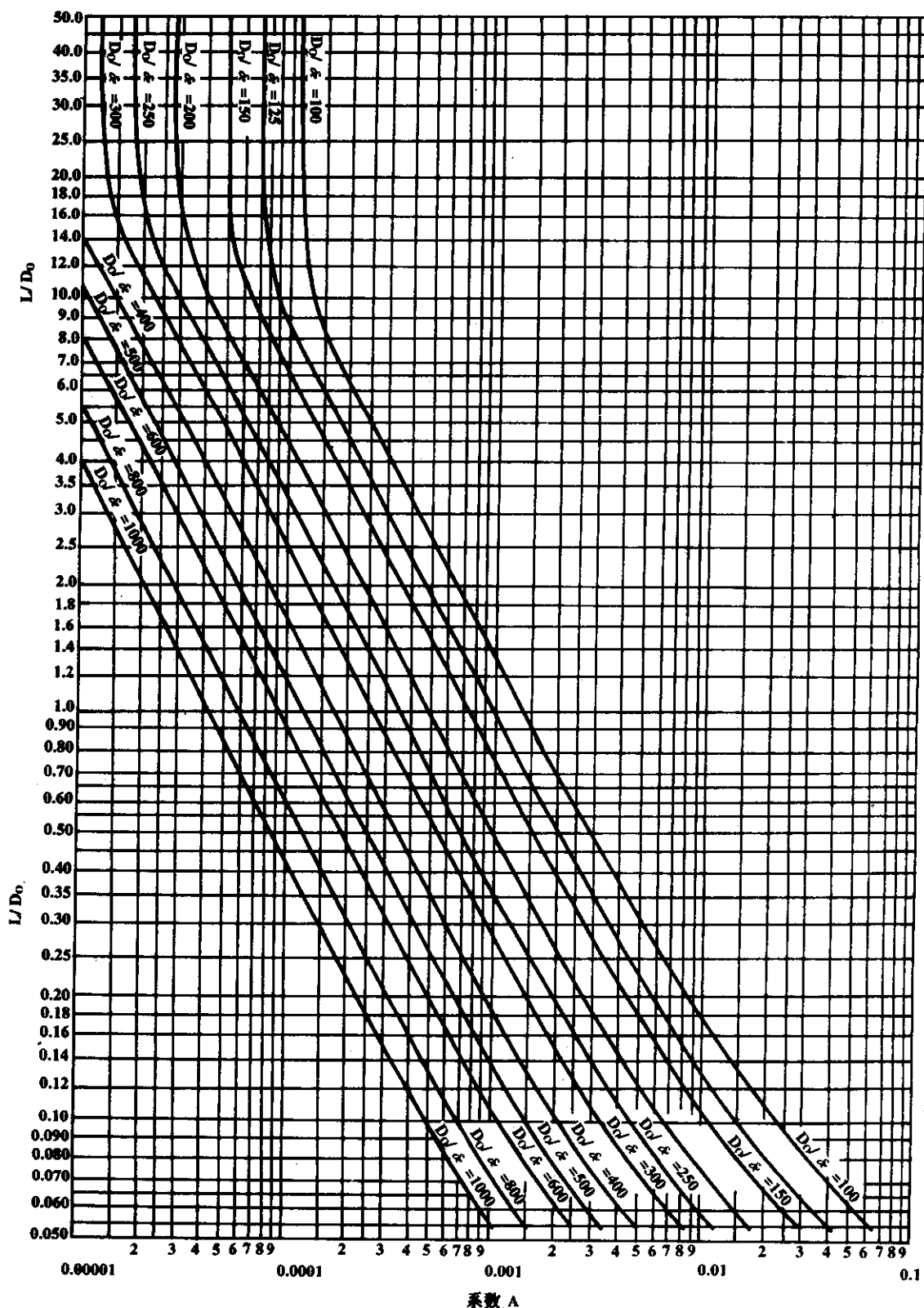


图 6—2 外压或轴向受压圆筒几何参数计算图(用于所有材料)

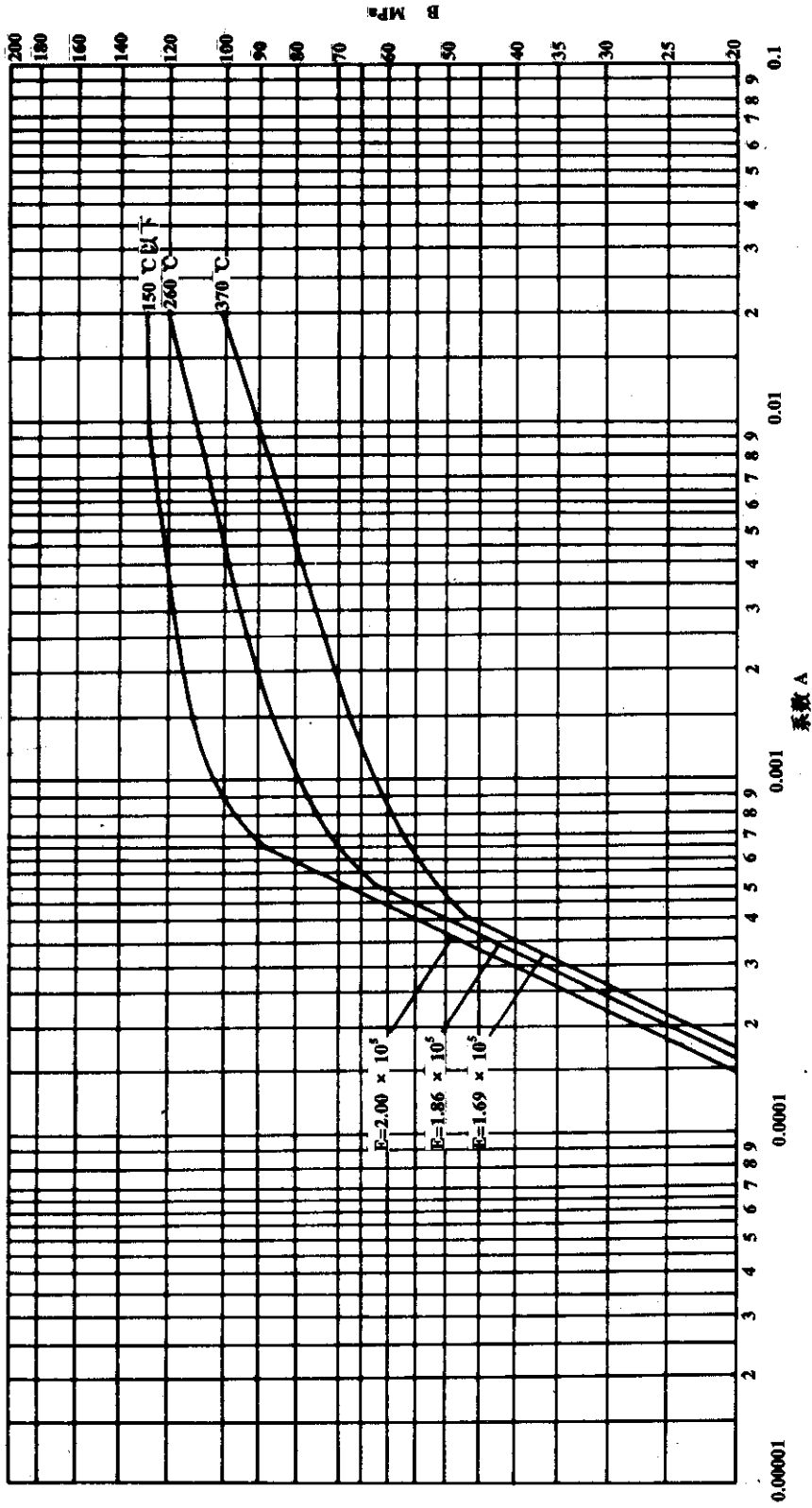


图 6—3 外压圆筒和球壳厚度计算图(屈服点 σ_s (20) MPa 的碳素钢)

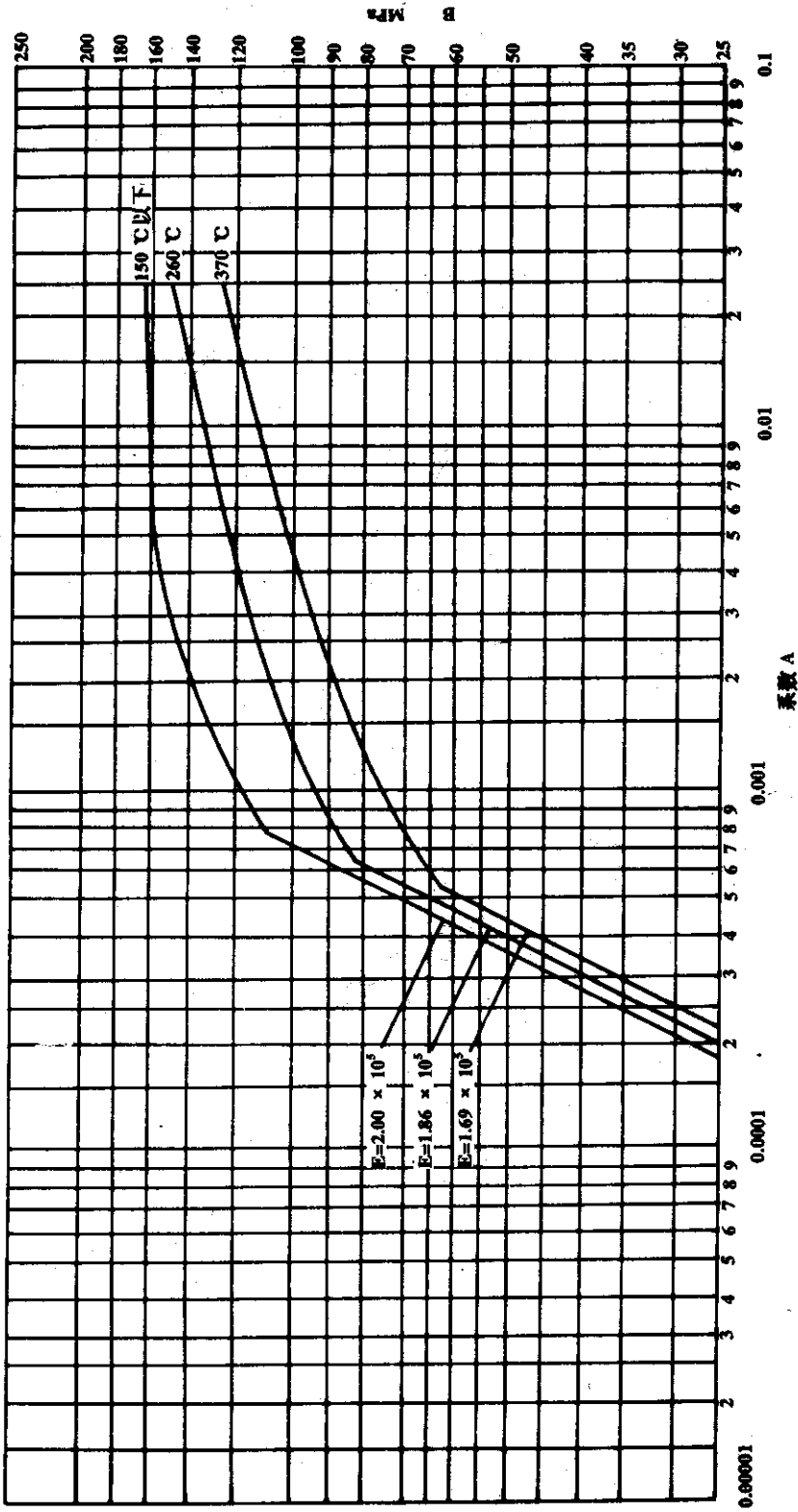


图 6—4 外压圆筒和球壳厚度计算图(屈服点 $\sigma_s > 207\text{MPa}$ 的碳素钢和 0Cr13. 1Cr13 钢)

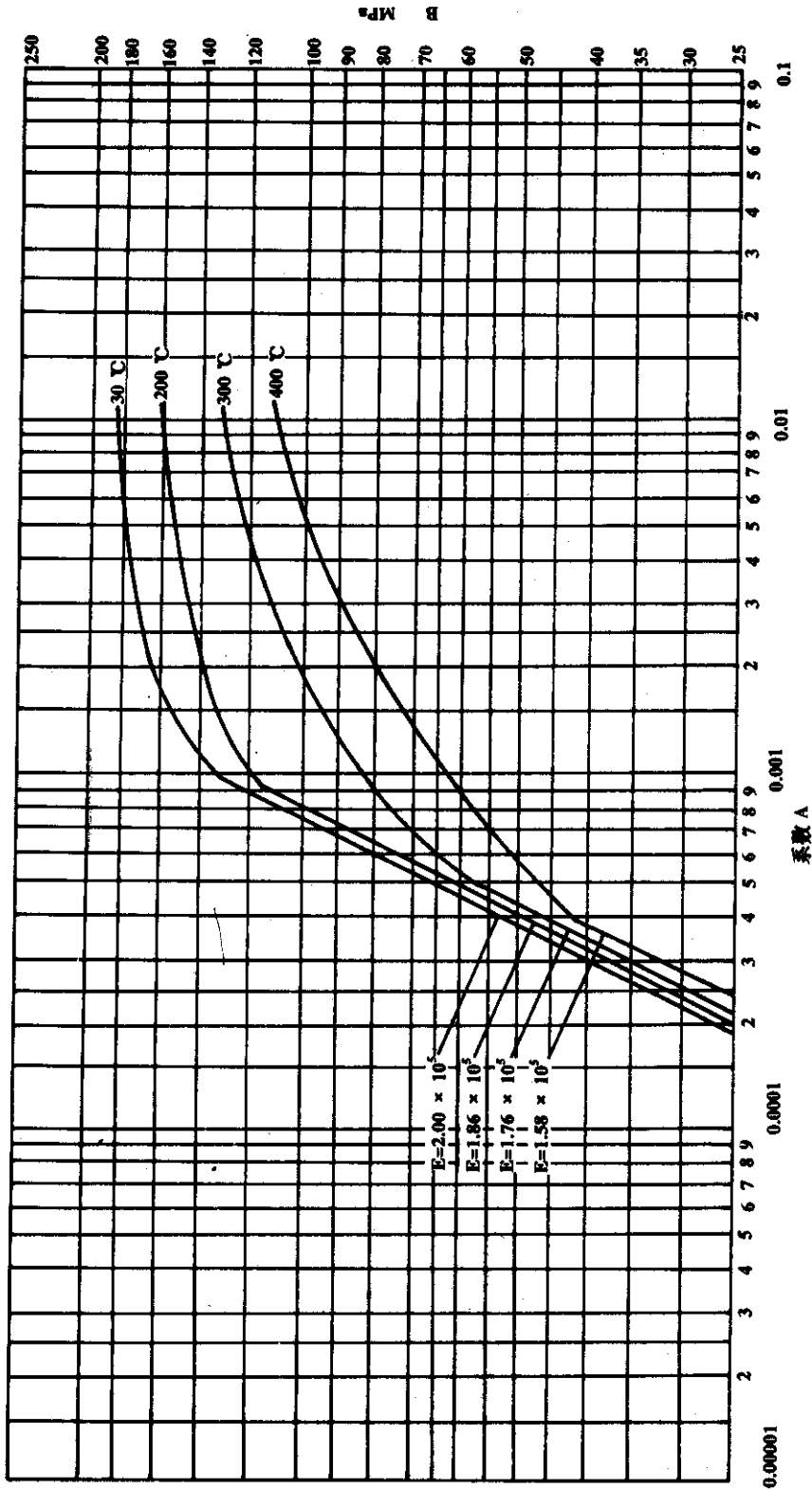


图 6—5 外压圆筒和球壳厚度计算图(16MnR 钢)

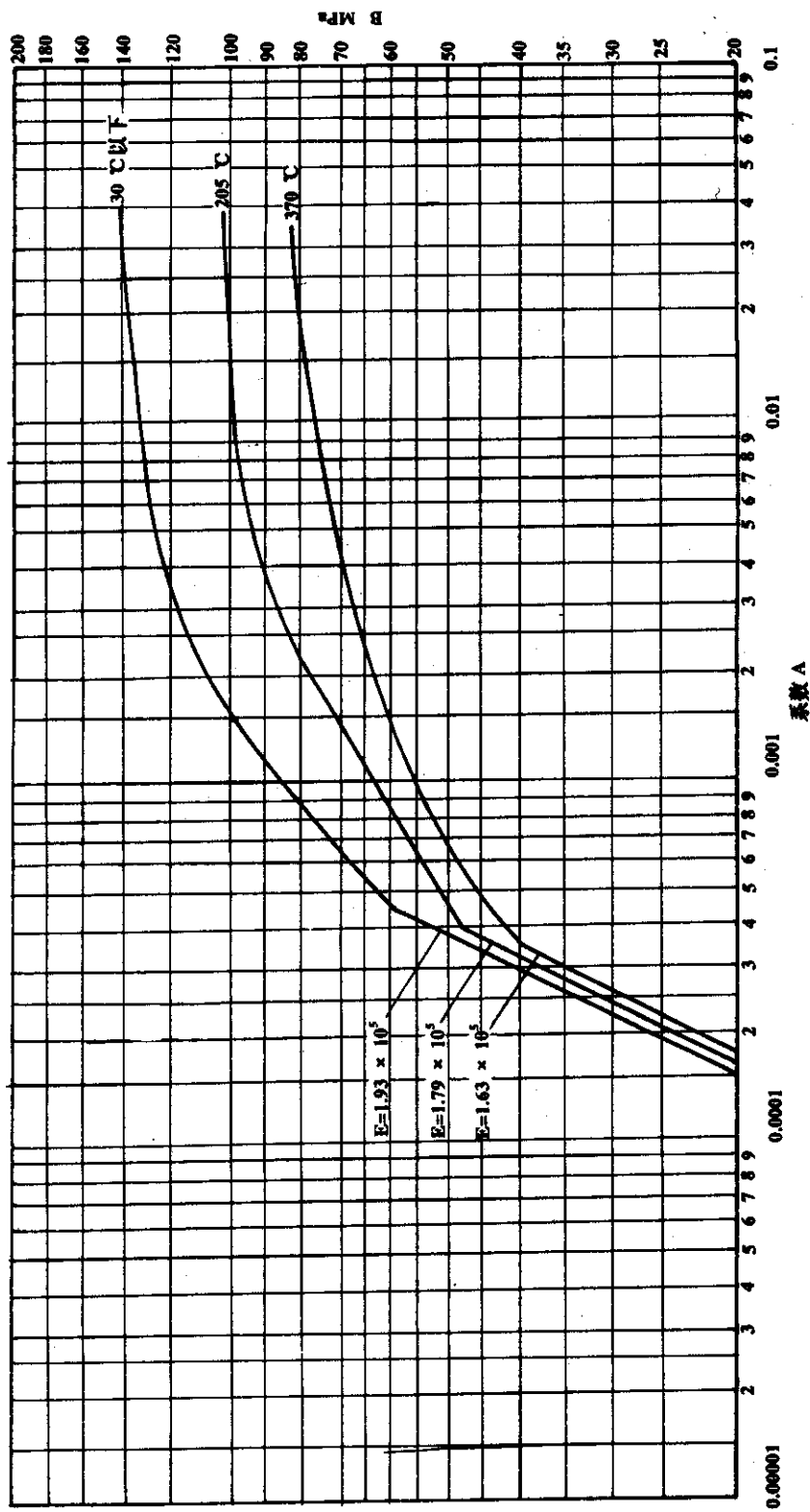


图 6—6 外压圆筒和球壳厚度计算图(OC-19Ni9 钢)

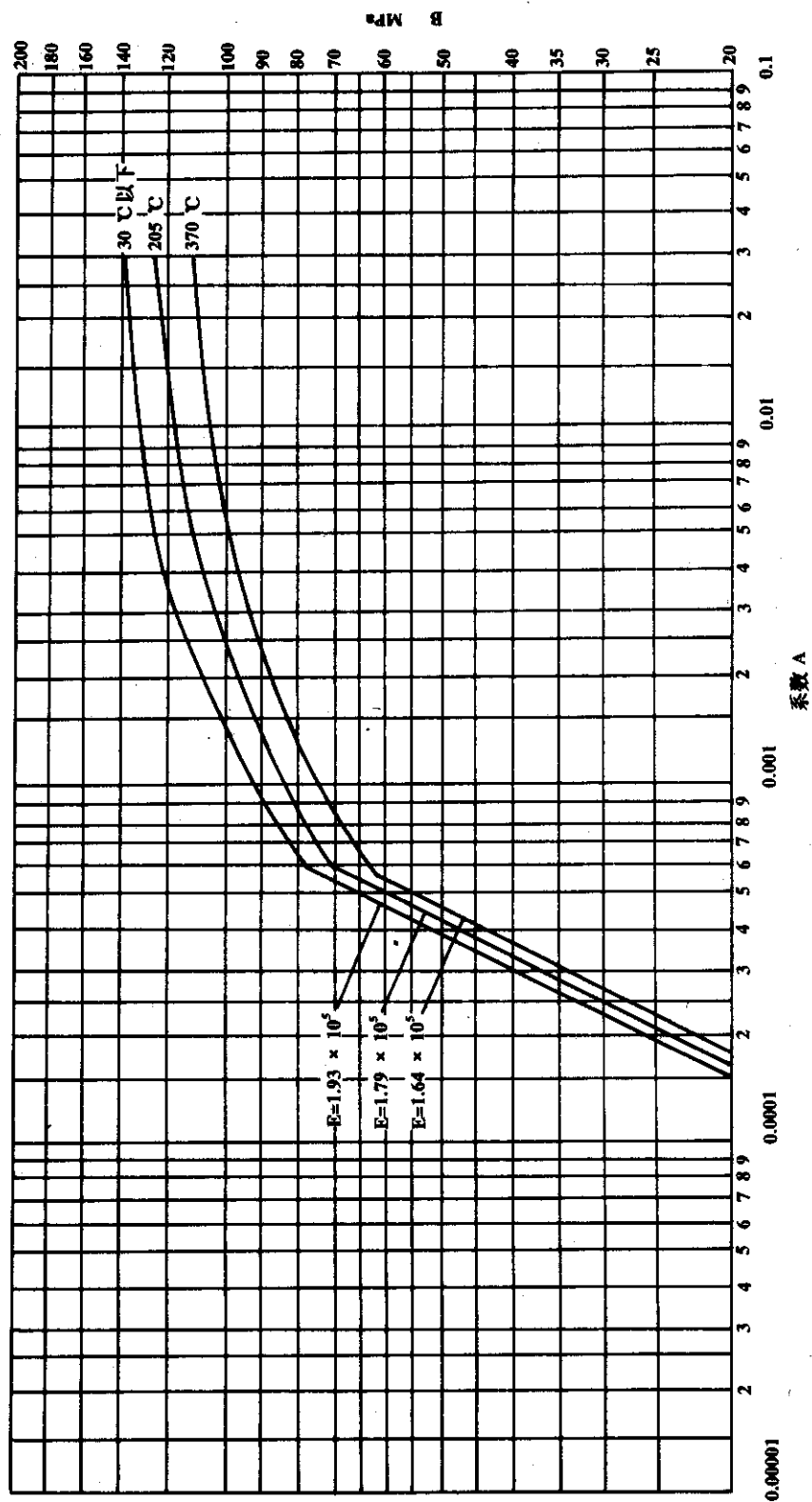


图 6—7 外压圆筒和球壳厚度计算图 (OCr18Ni9Ti、OCr17Ni12Mo2、OCr19NiMo3、OCr18Ni11Ti 钢)

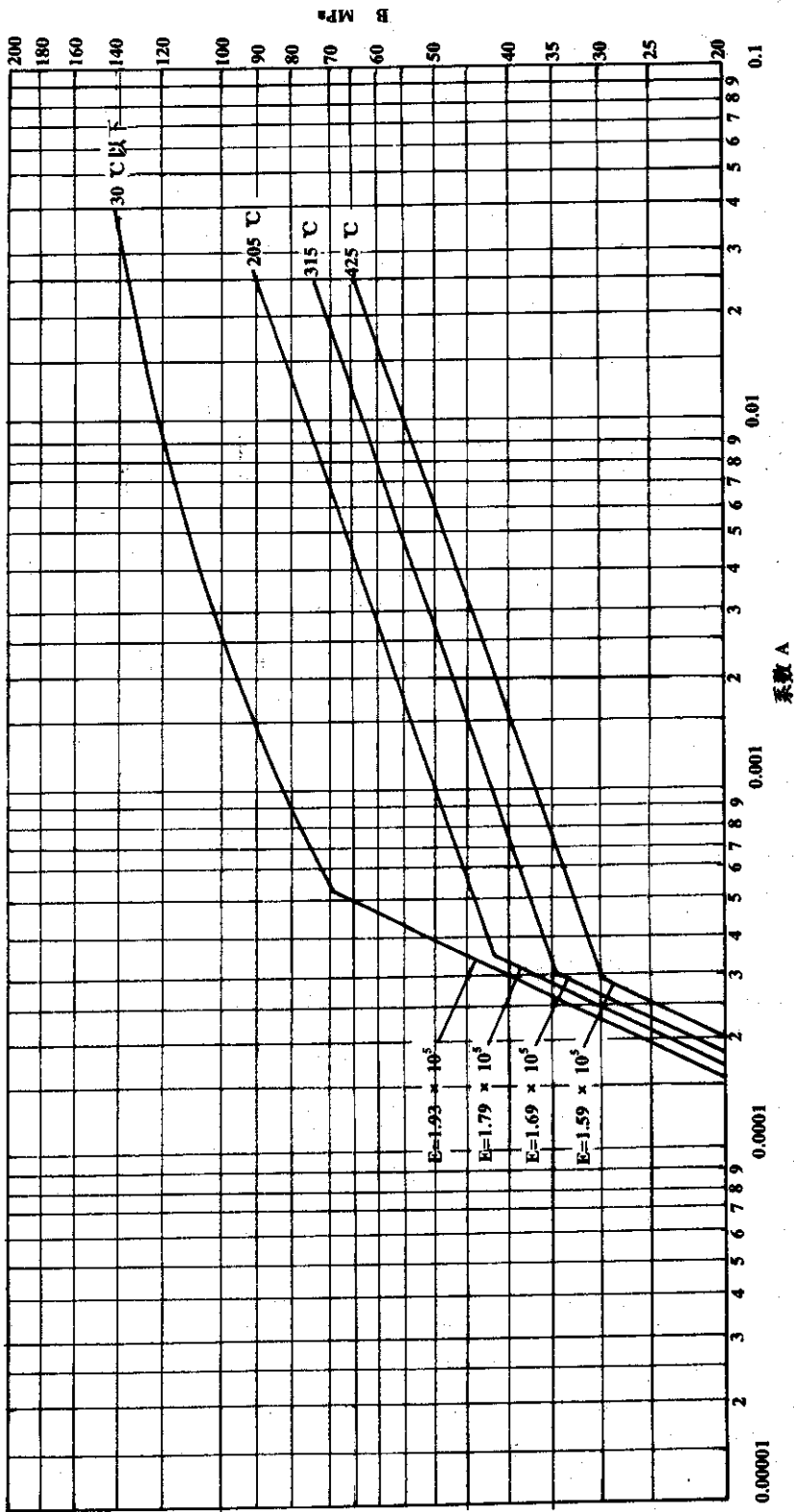


图 6—8 外压圆筒和球壳厚度计算图 (OOCr19Ni11 钢)

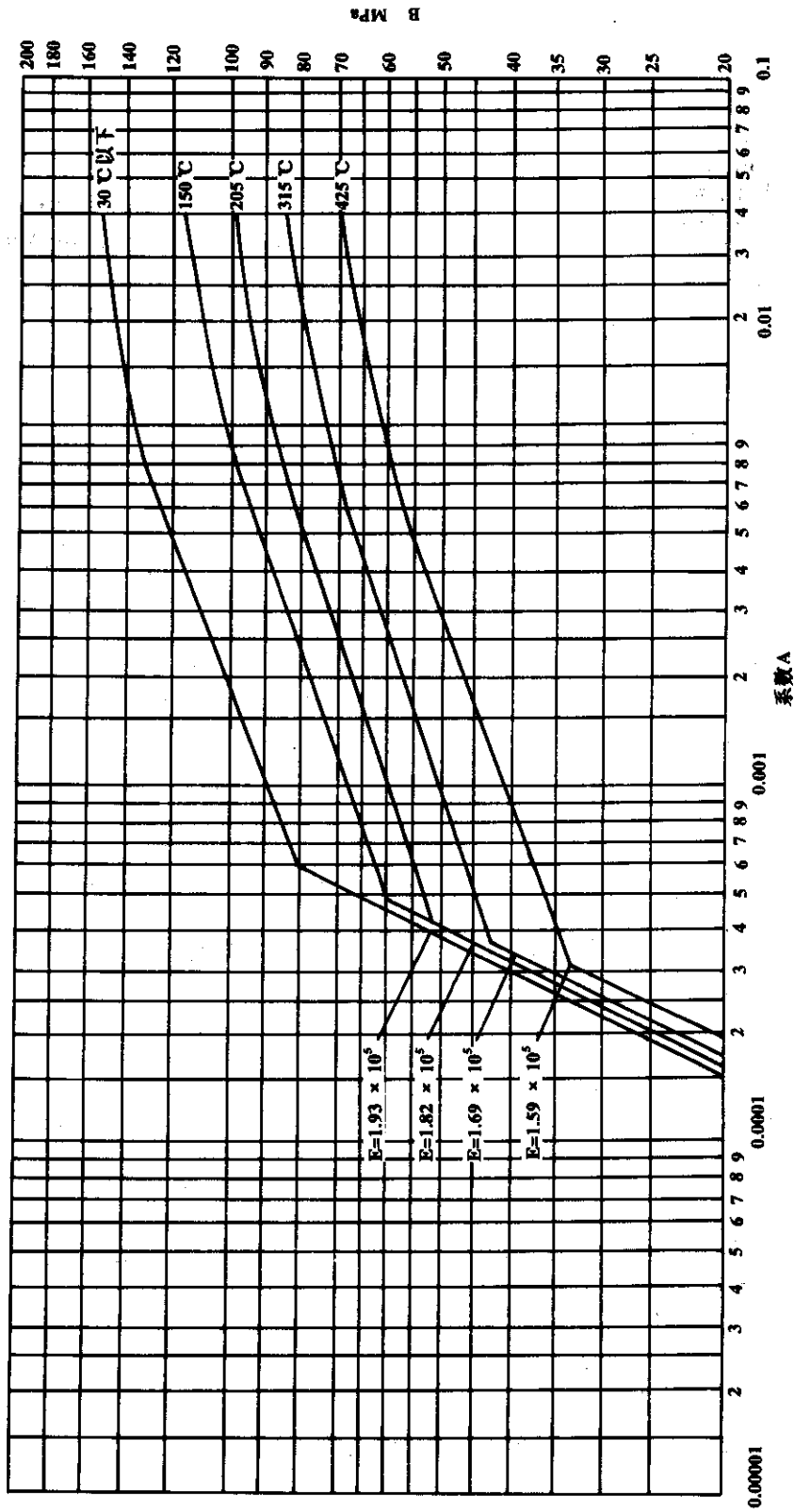


图 6—9 外压圆筒和球壳厚度计算图(OOCr17Ni14Mo2、OOCr19Ni13Mo3)钢

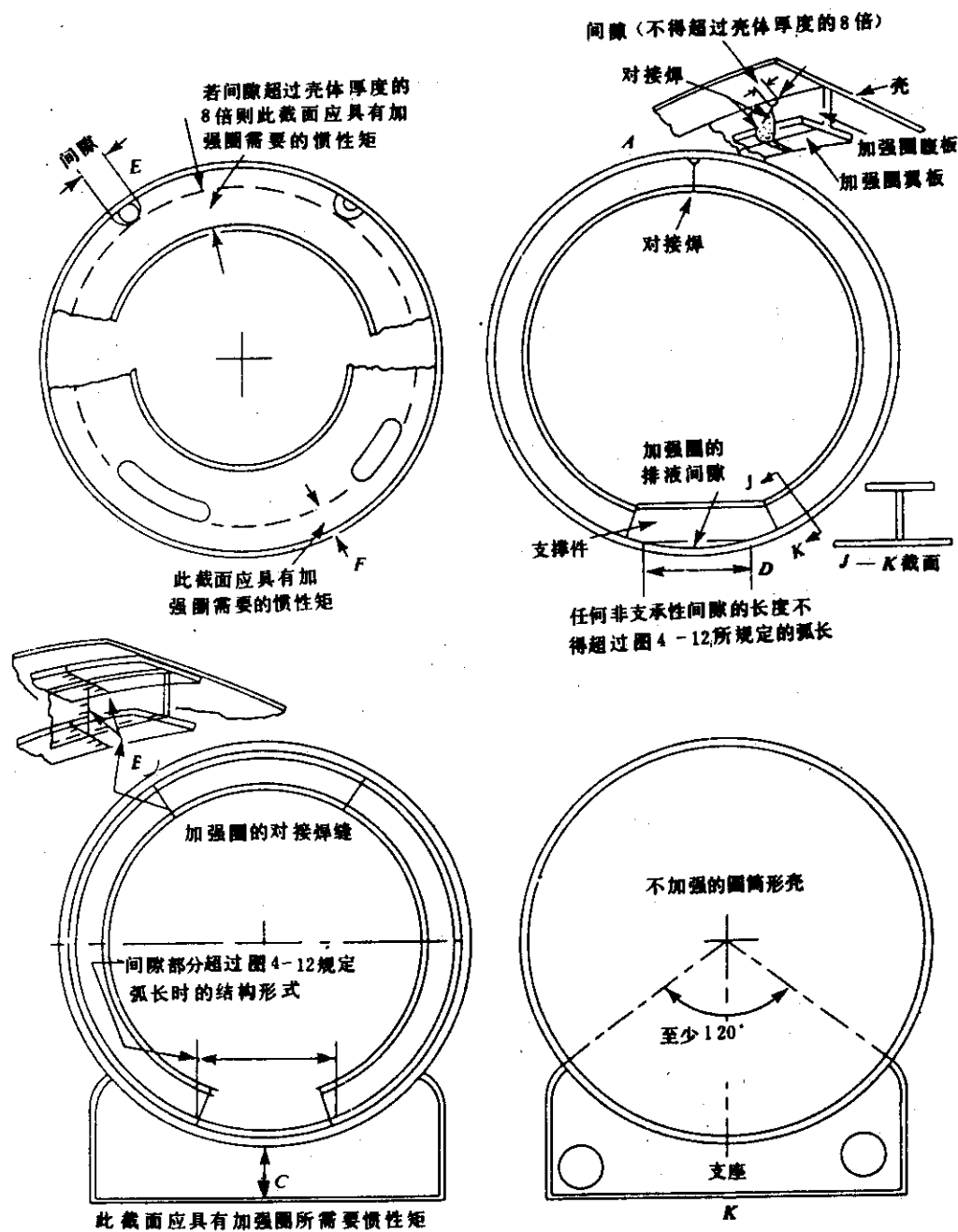


图 6—10 外压容器加强圈的各种布置图

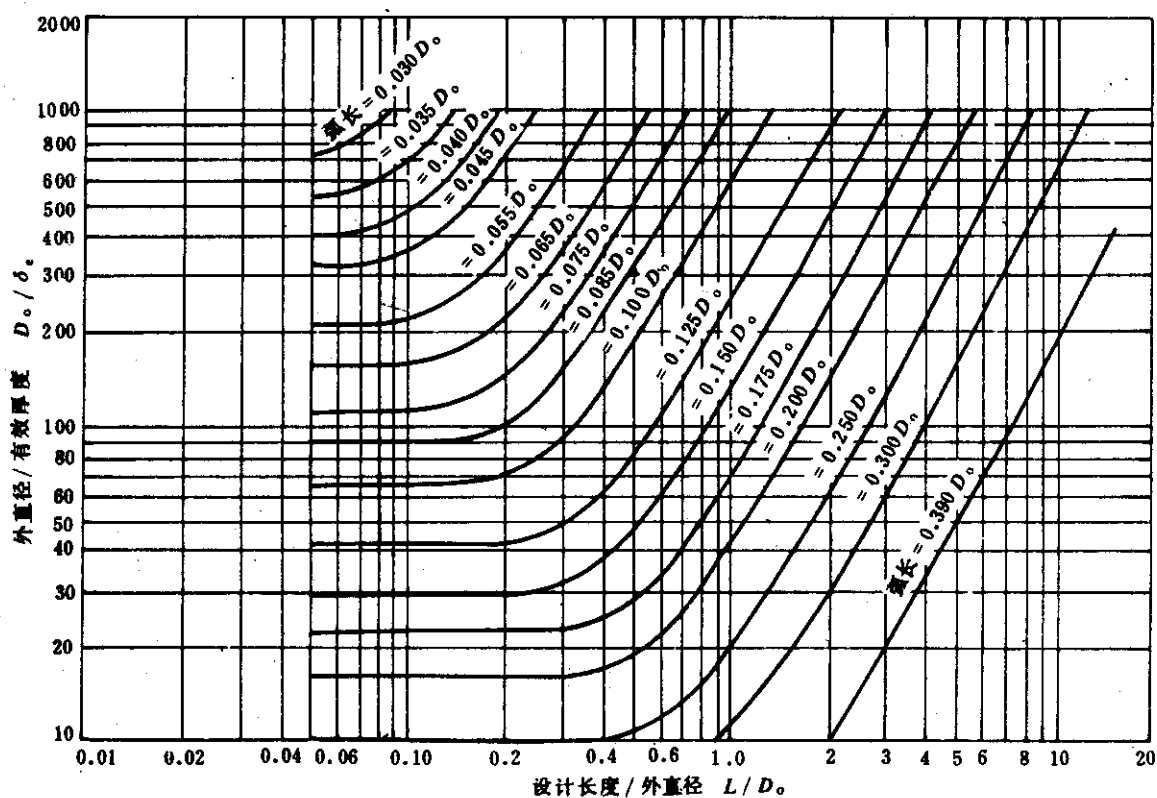


图 6—11 圆筒上加强圈允许的间断弧长值

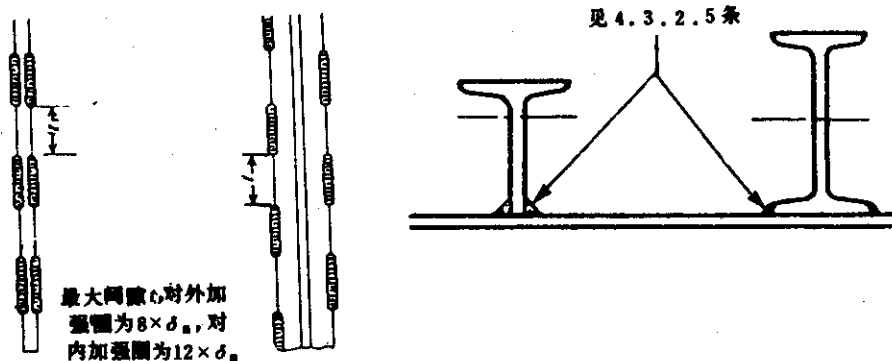


图 6—12 加强圈与壳体连接焊缝结构

7 封头

本章包括椭圆形封头、碟形封头、球冠形封头无折边锥形封头,见图 7—1~图 7—7。折边锥形封头及带法兰的凸形封头按 GB150 中有关规定。

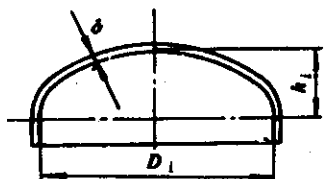


图 7—1 椭圆形封头

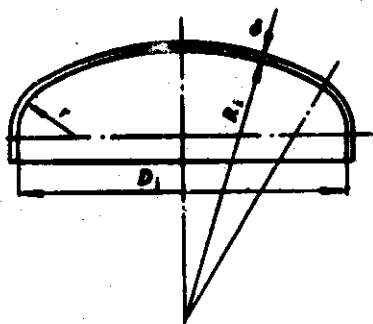


图 7—2 碟形封头

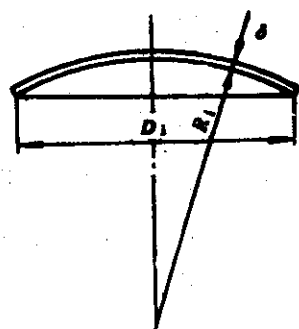


图 7—3 球冠形封头

7.1 符号说明

- A ——封头与圆筒连接处所需总承压面积, mm^2 ;
- A_r ——封头与圆筒连接处实际需要增加的承压面积, mm^2 ;
- D_i ——凸形封头内直径或锥形封头大端内直径, mm ;
- D_{is} ——锥形封头小端内直径, mm ;
- D_{os} ——锥形封头计算外直径, mm ;
- D_{os} ——锥形封头小端计算外直径, mm ;
- h_i ——封头曲面深度, mm ;
- L ——锥形封头轴向计算长度, mm ;
- p_c ——计算压力, MPa ;
- $[p]$ ——封头的许用压力, 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, N ;
- Q' ——无折边锥形封头小端与圆筒连接处总的环向力, N ;
- R_i ——凸形封头球面部分的内半径, mm ;
- R_o ——凸形封头球面部分的外半径, 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 ——球冠形封头或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 ;
- δ ——圆筒计算厚度, mm ;
- δ_s ——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 ;
- δ_s' ——无折边锥形封头小端与圆筒连接处圆筒上的有效厚度, mm ;

- δ_n ——封头的计算厚度,mm;
 δ_{he} ——封头的有效厚度,mm;
 δ_{hn} ——封头的名义厚度,mm;
 δ_r ——连接处加强圈的厚度,mm;
 α ——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,(°);
 Φ ——焊接接头系数(见 3.7 条)。
 $[\sigma]'$ ——设计温度下材料的许用应力(见第 4 章),MPa。

7.2 凸形封头

7.2.1 椭圆形封头

推荐采用长短轴比值为 2 的标准椭圆形封头。

7.2.1.1 受内压(凹面受压)椭圆形封头的有效厚度应不小于封头内直径的 0.10%。

封头计算厚度按式(7—1)确定:

$$\delta_h = \frac{K p_c D_i}{2[\sigma]'\Phi} \dots\dots\dots (7-1)$$

式中:K ——椭圆形封头形状系数,其值见表 7—1。

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

标准椭圆形封头, $K=1$;

表 7—1 系数 K 值

$D_i/2h_i$	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2	1.9	1.8
K	1.46	1.37	1.29	1.21	1.14	1.07	1	0.93	0.87
$D_i/2h_i$	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	0.5	—

椭圆形封头的许用压力按式(7—3)确定:

$$[p] = \frac{2[\sigma]'\Phi\delta_{he}}{K D_i} \dots\dots\dots (7-3)$$

7.2.1.2 受外压(凸面受压)椭圆形封头

凸面受压椭圆形封头的厚度计算采用第 6 章所列的图表法,步骤与 6.2.2 条相同,但其中 $R_o = K_1 D_o$ 。

K_1 ——由椭圆形长短轴比值决定的系数,其值见表 7—2。

表 7—2 系数 K_1 值

$D_i/2h_i$	2.6	2.4	2.2	2	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
K_1	1.18	1.08	0.99	0.90	0.81	0.73	0.65	0.57	0.50

注:①中间值用内插法求得。

② $K_1=0.90$ 为标准椭圆形封头。

7.2.2 碟形封头

碟形封头的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,封头转角处内半径应不小于封头内直径的 10%,且不得小于 3 倍的名义厚度 δ_n 。

7.2.2.1 受内压(凹面受压)碟形封头

对 $R_i=0.9D_i$, $r=0.17D_i$ 的常用碟形封头其有效厚度应不小于封头内直径的 0.10%。

封头计算厚度按式(7—4)确定:

$$\delta_s = \frac{Mp_c R_i}{2[\sigma]^t \Phi} \quad \dots\dots\dots (7-4)$$

式中: M ——碟形封头形状系数,其值见表 7—3。

$$M = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{R_i}{r}} \right) \quad \dots\dots\dots (7-5)$$

表 7—3 系数 M 值

R_i/r	1	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5	2.75	3
M	1	1.03	1.06	1.08	1.1	1.13	1.15	1.17	1.18
R_i/r	3.25	3.5	4	4.5	5	5.294	5.5	6	6.5
M	1.2	1.22	1.25	1.28	1.31	1.325	1.34	1.36	1.39
R_i/r	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	—	—
M	1.41	1.44	1.46	1.48	1.5	1.52	1.54	—	—

碟形封头的许用压力按式(7—6)确定

$$[p] = \frac{2[\sigma]^t \Phi \delta_{hr}}{MR_i} \quad \dots\dots\dots (7-6)$$

7.2.2.2 受外压(凸面受压)碟形封头

凸面受压碟形封头的厚度计算采用第 6 章所列的方法,但其中 R_o 为碟形封头球面部分的外半径。

7.2.3 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器室的中间封头,其结构型式见图 7—4。

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 7.3 条。

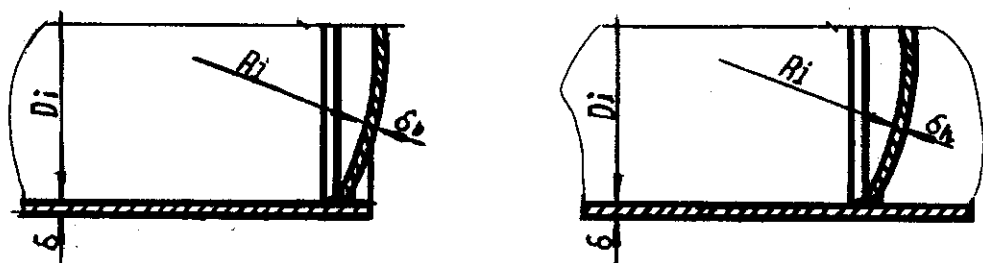


图 7—4 球冠形封头与圆筒连接

7.2.3.1 受内压(凹面受压)球冠形封头
封头的计算厚度按式(7—7)确定:

$$\delta_h = \frac{p_i R_i}{2[\sigma]\phi} \dots\dots\dots (7-7)$$

7.2.3.2 受外压(凸面受压)球冠形封头
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. 按第 6.2.2 条外压球壳确定的厚度;
- c. 按式(7—7)确定的厚度。

7.2.3.3 用作中间封头的球冠形封头

球冠形封头用作两独立器室的中间封头时,按一侧分别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。

7.3 无折边锥形封头

本条适用于锥壳半顶角 $\alpha < 60^\circ$ 的轴对称无折边锥形封头(见图 7—5)。

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设计见 7.4 条。

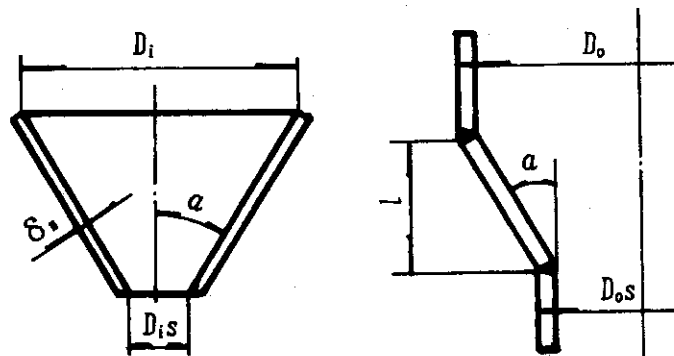


图 7—5 无折边锥形封头

7.3.1 受内压的无折边锥形封头

锥形封头的计算厚度按式(7—8)确定:

$$\delta_s = \frac{p_c D_i}{2[\sigma]'\Phi} \cdot \frac{1}{\cos\alpha} \quad \dots\dots\dots (7-8)$$

7.3.2 受外压的无折边锥形封头

受外压的锥形封头的有效厚度按下述方法确定:

- a. 假设锥形封头的名义厚度 δ_{sn} ;
- b. 计算 $\delta_c = (\delta_{sn} - c)\cos\alpha$;
- c. 按 6.2.1 条规定进行外压校核计算, 其中 δ_s 以本条 δ_c 代入, 以 L_c/D_c 代替 L/D_s ,

$$L_c = \frac{L}{2} \left(1 + \frac{D_w}{D_s}\right).$$

7.4 封头与圆筒连接处的设计

本条适用于球冠形封头、无折边锥形封头与圆筒连接处的设计(见图 7—6), 且封头、圆筒自身的拼接及封头与圆筒的连接焊接头应采用对接焊。

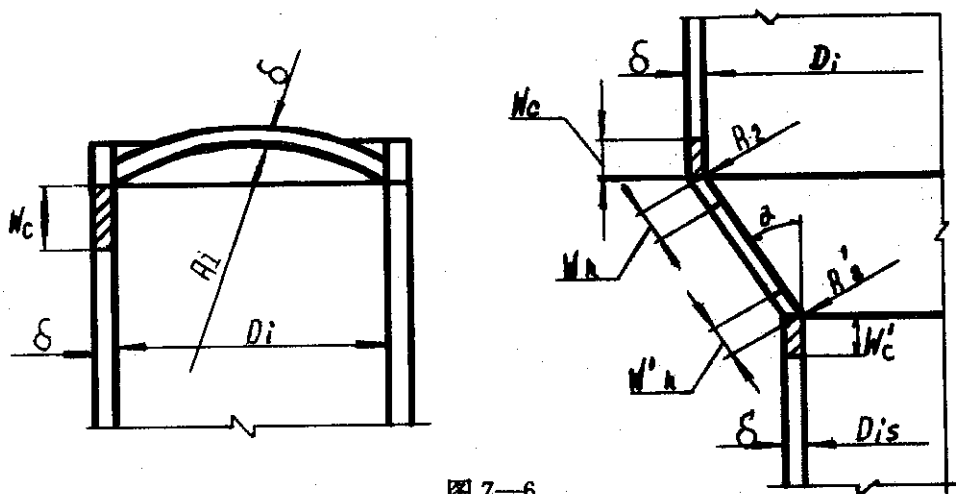


图 7—6

7.4.1 封头与圆筒连接处单位内力的计算

- a. 圆筒上单位长度的环向内力按下列各式确定:
与球冠形封头连接或与无折边锥形封头大端连接的圆筒按式(7—9)计算;

$$T_{2s} = \frac{1}{2} D_i p_c \quad \dots\dots\dots (7-9)$$

与无折边锥形封头小端连接的圆筒按式(7—10)计算:

$$T'_{2s} = \frac{1}{2} D_{is} p_c \quad \dots\dots\dots (7-10)$$

- b. 球冠形封头上单位长度的经向、环向内力按式(7—11)确定:

$$T_1 = T_2 = \frac{1}{2} R_i p_c \quad \dots\dots\dots (7-11)$$

c. 无折边锥形封头上单位长度的经向内力与环向内力按下列各式确定:

无折边锥形封头的大端按式(7—12)与式(7—13)计算:

$$T_1 = \frac{p_c D_1}{4 \cos \alpha} \dots\dots\dots (7-12)$$

$$T_2 = \frac{p_c D_1}{2 \cos \alpha} \dots\dots\dots (7-13)$$

无折边锥形封头的小端按式(7—14)与式(7—15)计算:

$$T'_1 = \frac{P_c D_{is}}{4 \cos \alpha} \dots\dots\dots (7-14)$$

$$T'_2 = \frac{P_c D_{is}}{2 \cos \alpha} \dots\dots\dots (7-15)$$

注: T_1 、 T_2 、 T'_1 、 T'_2 及 T_1 、 T_2 、 T'_1 、 T'_2 为正值表示拉力, 为负值表示压力。

7.4.2 封头与圆筒连接处的有效宽度

a. 圆筒承受环向力的有效宽度按下列各式确定:

与球冠形封头或无折边锥形封头大端连接的圆筒按式(7—16)计算:

$$W_c = 0.6 \sqrt{0.5 D_1 \delta_c} \dots\dots\dots (7-16)$$

与无折边锥形封头小端连接的圆筒按式(7—17)计算:

$$W'_c = 0.6 \sqrt{0.5 D_{is} \delta'_c} \dots\dots\dots (7-17)$$

b. 封头承受环向力的有效宽度按下列各式确定:

球冠形封头按式(7—18)计算:

$$W_k = 0.6 \sqrt{R_1 \delta_k} \dots\dots\dots (7-18)$$

无折边锥形封头:

大端按式(7—19)计算:

$$W_k = 0.6 \sqrt{R_2 \delta_k} \dots\dots\dots (7-19)$$

小端按式(7—20)计算:

$$W'_k = 0.6 \sqrt{R'_2 \delta_k} \dots\dots\dots (7-20)$$

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 7—6), mm;

$$R_2 = \frac{D_1}{2\cos\alpha} \quad \dots\dots\dots (7-21)$$

$$R'_2 = \frac{D_2}{2\cos\alpha} \quad \dots\dots\dots (7-22)$$

7.4.3 封头与圆筒连接处总环向力按下列各式确定:

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(7—23)计算:

$$Q = T_2 W_k + T_2 W_c - \frac{1}{2} T_2 D_1 \sin\alpha \quad \dots\dots\dots (7-23)$$

b. 无折边锥形封头小端与圆筒连接处总环向力按式(7—24)计算:

$$Q' = T'_2 W'_k + T'_2 W'_c - \frac{1}{2} T'_2 D_1 \sin\alpha \quad \dots\dots\dots (7-24)$$

7.4.4 封头与圆筒连接处所需的总承压面积按下列各式确定:

当 $Q < 0$ 时(受压):

$$A = \frac{Q}{[\sigma]_c'} \quad \dots\dots\dots (7-25)$$

当 $Q' < 0$ 时(受压):

$$A' = \frac{Q'}{[\sigma]_c'} \quad \dots\dots\dots (7-26)$$

当 $Q > 0$ 时(受拉):

$$A = \frac{Q}{[\sigma]_t'} \quad \dots\dots\dots (7-27)$$

当 $Q' > 0$ 时(受拉):

$$A' = \frac{Q'}{[\sigma]_t'} \quad \dots\dots\dots (7-28)$$

式中: $[\sigma]_c'$ ——设计温度下材料的许用压缩应力, MPa; 对碳素钢和奥氏体不锈钢可按表 7—4 选取。

表 7—4 $[\sigma]_s'$ 值 MPa

设计温度 $t(^{\circ}\text{C})$	$t \leq 100$	$100 < t \leq 200$	$200 < t \leq 250$	$250 < t \leq 350$
$[\sigma]_s'$	103	100	95	80

7.4.5 封头与圆筒连接处实际需增加的承压面积应满足下列各式。

a. 球冠形封头或无折边锥形封头大端与筒体连接处:

$$Ar \geq A - W_s \delta_s - W_h \delta_h \quad \dots\dots\dots (7-29)$$

b. 无折边锥形封头小端与筒体连接处:

$$Ar \geq A' - W'_s \delta'_s - W'_h \delta'_h \quad \dots\dots\dots (7-30)$$

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(7-31)的要求:

$$Ar \geq A - 2W_s \delta_s - W_h \delta_h \quad \dots\dots\dots (7-31)$$

7.4.6 当 $Q < 0$ (受压) 时,封头与圆筒连接处的计算除应满足式(7-29)或式(7-31)要求外,还应满足式(7-32)要求。

$$W_h \sin \alpha \geq 0.0075 D_i \quad \dots\dots\dots (7-32)$$

7.4.7 封头与圆筒连接处的计算如不能满足式(7-29)、(7-30)及式(7-31)要求时,应增加封头和圆筒的厚度或增设加强圈。加强圈可用扁钢、角钢或槽钢等组成。加强圈伸出圆筒外侧的水平宽度不宜超过 16 倍的加强圈的厚度 δ_s , 且应尽量设置在靠近封头与圆筒的连接处(见图 7—7)。加强圈自身的接头应采用对接,加强圈与圆筒的连接可采用连续角焊接头或断续焊,当采用断续焊时,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。

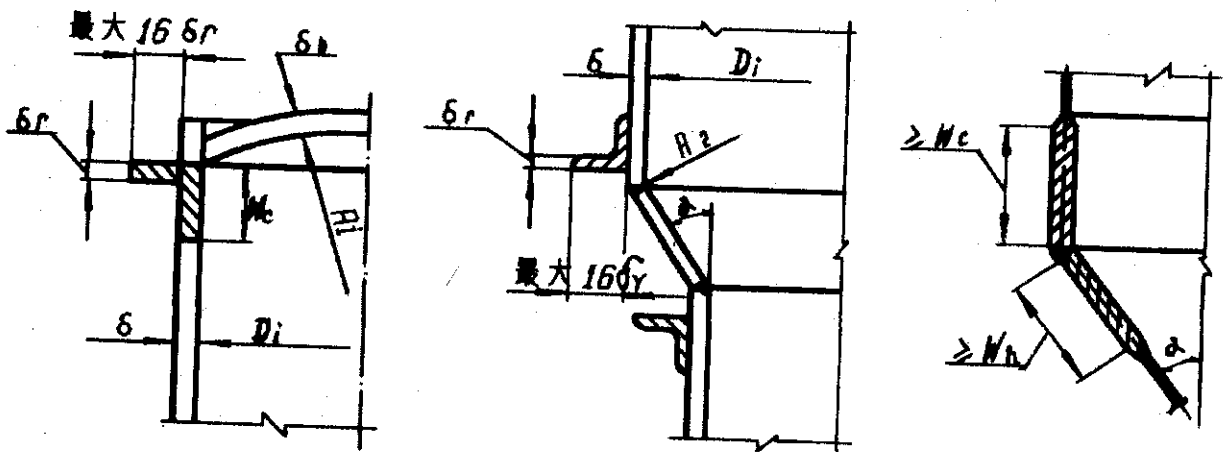


图 7—7

8 平盖

本章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)平盖设计。
本章不适用于放在平基础上(作为罐底用)的平盖。

8.1 符号说明

- a_c ——非圆形平盖的短轴计算长度, mm ;
 b_c ——非圆形平盖的长轴计算长度, mm ;
 D_c ——平盖计算直径(见表 8—1 中简图), mm ;
 K ——结构特征系数(查表 8—1);
 L ——非圆形平盖螺栓中心连线周长, mm ;
 P_c ——计算压力(见第 3 章), MPa ;
 S_a ——螺栓中心至垫片压紧力作用中心线的径向距离(见表 8—1 中简图), mm ;
 W ——予紧状态下螺栓设计载荷(见式(10—7)), N ;
 Z ——非圆形平盖的形状系数, $Z=3.4-2.4\frac{a_c}{b_c}$, 且 $Z\leq 2.5$;
 δ ——筒体计算厚度, mm ;
 δ_e ——筒体有效厚度, mm ;
 δ_p ——平盖计算厚度, mm ;
 $[\sigma]'$ ——设计温度下平盖材料的许用应力(见第 4 章), MPa ;
 ϕ ——焊接接头系数(见 3.7 条);
 Z ——加强筋与平盖组合截面的所需截面系数, mm^3 ;
 Z_s ——加强筋与平盖组合截面系数, mm^3 ;

8.2 平盖厚度计算

8.2.1 圆形平盖厚度,按式(8—1)确定:

$$\delta_p = D_c \sqrt{\frac{K P_c}{[\sigma]'\phi}} \quad \dots\dots\dots (8-1)$$

8.2.2 非圆形平盖厚度,按式(8—2)确定:

$$\delta_p = a_c \sqrt{\frac{K Z P_c}{[\sigma]'\phi}} \quad \dots\dots\dots (8-2)$$

注:表 8—1 中序号 17、18 的 $[\sigma]'$ 取常温时的许用应力

8.3 加强筋设计

8.3.1 加强筋截面校核

- a. 加强筋与平盖组合截面的系数 Z , 应不小于按表 8—1 规定计算出的所需截面系数 Z ;
b. 加强筋与平盖组合截面包括加强筋中心两侧各 10δ , 范围(见图 8—1)。

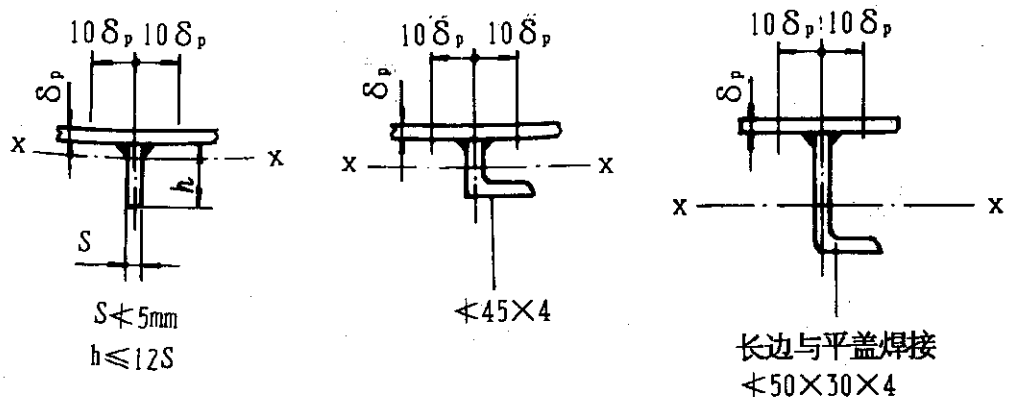
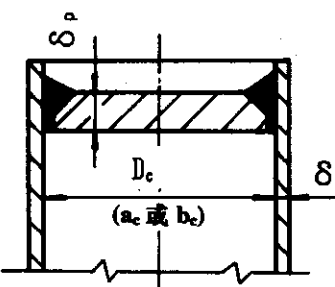
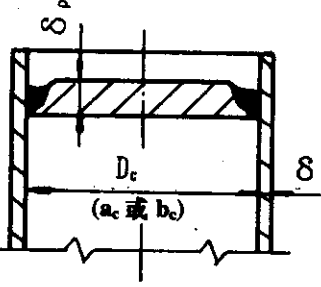
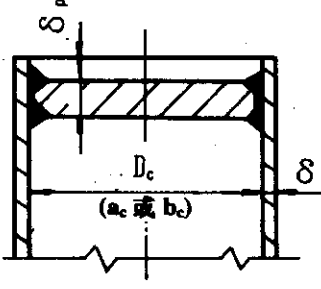
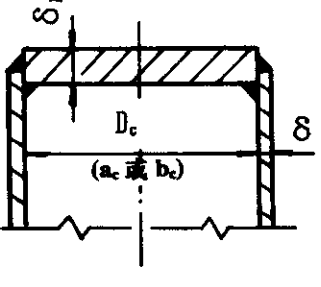


图 8—1

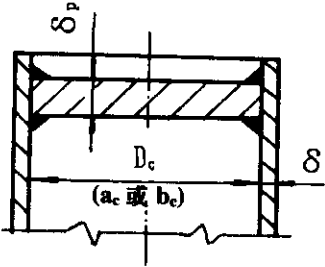
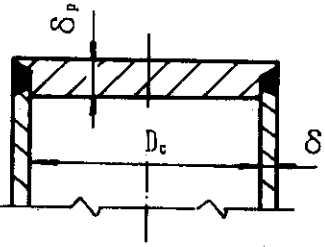
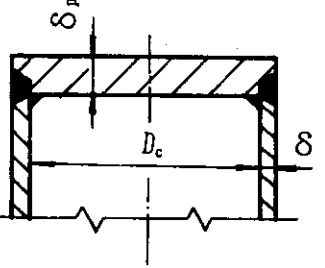
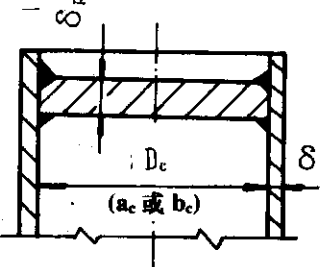
8.3.2 加强筋与平盖的连接

- 加强筋可采用扁钢、等边角钢和不等边角钢制作(见图 8—1);
- 加强筋可设置在容器内部或外部;
- 加强筋与平盖的连接可采用连续的或间断的焊接。当采用间断焊接时,加强筋每侧间断焊接接头总长应不少于加强筋长度的 $1/2$ 。

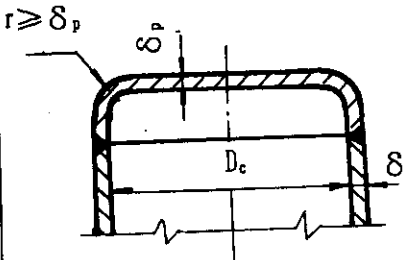
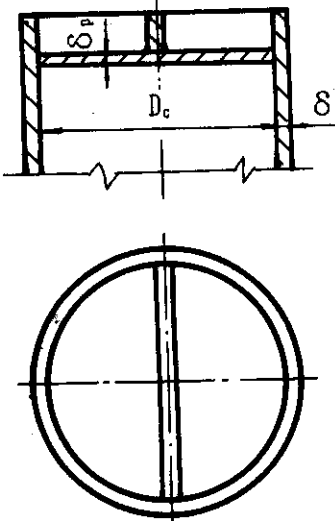
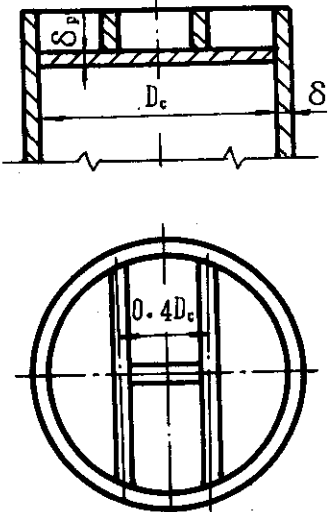
表 8—1

序号	结构 型式	简 图	K		Z
			圆 形	非圆形	
1	与 筒 体 角 焊 连 接		$K = 0.5 \frac{\delta}{\delta_c}$ 且 $K \geq 0.3$	0.5	
2					
3					
4					

续表 8—1

序号	结构型式	简 图	K		Z
			圆 形	非圆形	
5	与筒体角焊连接		$K = 0.5 \frac{\delta}{\delta_0}$ 且 $K \geq 0.3$	0.5	
6			0.5		
7					
8			$K = 0.5 \frac{\delta}{\delta_0}$ 且 $K \geq 0.3$	0.5	

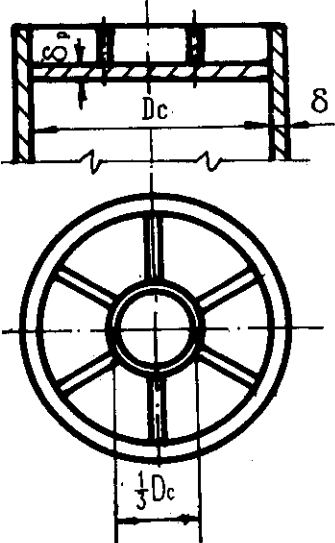
续表 8—1

序号	结构型式	简 图	K		Z
			圆 形	非圆形	
9	与圆筒对焊连接		0.2		
10	与圆筒角焊连接		0.132		$Z = \frac{0.05 D_c^3 p_c}{[\sigma]^t}$
11	与圆筒角焊连接、带加强筋		0.064		$Z = \frac{0.013 D_c^3 p_c}{[\sigma]^t}$

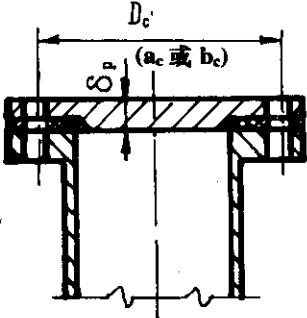
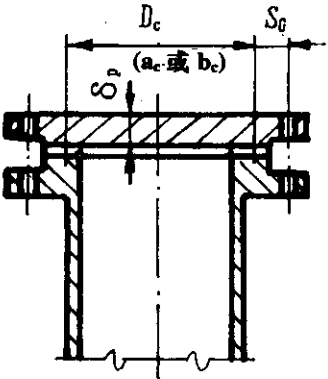
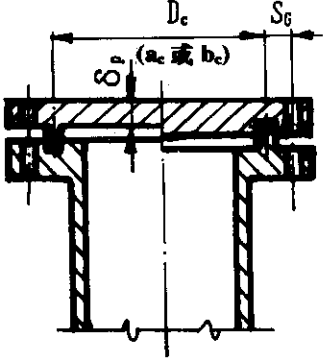
续表 8—1

序号	结构型式	简 图	K		Z
			圆 形	非圆形	
12	与 圆 筒 角 焊 连 接 、 带 加 强 筋		0.032		$Z = \frac{0.019 D_c^3 p_c}{[\sigma]^t}$
13			0.018		$Z = \frac{0.018 D_c^3 p_c}{[\sigma]^t}$
14			0.012		$Z = \frac{0.014 D_c^3 p_c}{[\sigma]^t}$

续表 8—1

序号	结构 型式	简 图	K		Z
			圆 形	非圆形	
15	与 圆 筒 角 焊 连 接 带 加 强 筋		0.03		$Z = \frac{0.018 D_c^3 p_c}{[\sigma]^t}$

续表 8—1

序号	结构 型式	简 图	K		Z
			圆 形	非圆形	
16	螺 栓 连 接		0.25	0.25	
17					
18			$\frac{1.9WS_0}{p_c D_c^3}$	$\frac{6WS_0}{p_c L a_c^2}$	

9 开孔和开孔补强

本章规定了容器壳体的开孔及其补强。

开孔可为圆形、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应不大于 2.0。

开孔方式可以是单个或多个开孔。

立式储罐专用的齐平型清扫孔的开孔及其补强见附录 H。

9.1 符号说明

- A —— 开孔削弱所需的补强截面积, mm^2 ;
B —— 补强有效宽度, mm ;
C —— 壳体厚度附加量, mm ;
 C_1 —— 接管厚度负偏差, mm ;
 C_2 —— 腐蚀裕量, mm ;
 D_i —— 圆筒内直径, mm ;
 D_o —— 平盖外直径, mm ;
d —— 开孔直径, 圆形孔取接管内直径加二倍腐蚀裕量和接管厚度负偏差, 即 $d = d_i + 2(C_2 + C_1)$; 椭圆形或长圆形孔取所考虑平面上的尺寸, mm ;
 d_i —— 接管内直径, mm ;
 f_r —— 强度削弱系数, 等于设计温度下接管材料与壳体材料许用应力之比值, 当该比值大于 1.0 时, 取 $f_r = 1.0$;
 h_1 —— 开孔补强外侧有效高度, mm ;
 h_2 —— 开孔补强内侧有效高度, mm ;
 p_c —— 计算压力(见 3.3.4 条), MPa ;
 R_i —— 碟形封头球面部分内半径, mm ;
 δ —— 壳体开孔处的计算厚度, mm ;
 δ_e —— 壳体开孔处的有效厚度, mm ;
 δ_n —— 壳体开孔处的名义厚度, mm ;
 δ_{nr} —— 接管名义厚度, mm ;
 δ_p —— 平盖的计算厚度(见第 8 章), mm ;
 δ_r —— 接管的计算厚度, mm ;
 $[\sigma]'$ —— 设计温度下材料的许用应力(见第 4 章), MPa ;
 Φ —— 焊接接头系数(见 3.7 条)。

9.2 可不另行补强的最大开孔直径

满足下列条件的开孔可不考虑补强:

- 两相邻开孔中心的间距(曲面间距以弧长计算)不小于两孔直径之和的两倍;
- 壳体开孔直径 $d \leq 100\text{mm}$ 。

9.3 适用的开孔范围

壳体上开孔的最大直径一般不应超过以下数值;超过时按 9.4.2 条规定。

- 圆筒内径 $D_i \leq 1500\text{mm}$ 时, 圆筒开孔的最大直径 $d \leq \frac{1}{2}D_i$, 且 $d \leq 500\text{mm}$;

圆筒内径 $D_i > 1500\text{mm}$ 时, 圆筒开孔的最大直径 $d \leq \frac{1}{3}D_i$, 且 $d \leq 1000\text{mm}$;

- 凸形封头开孔的最大直径 $d \leq \frac{1}{2}D_i$;

- 锥壳(或锥形封头)开孔的最大直径 $d \leq \frac{1}{3}D_i$, D_i 为开孔中心处的锥壳内直径。

9.4 开孔补强的一般规则

9.4.1 补强件的材料一般应与被开孔壳体的材料相同。当采用的补强件材料的许用应力值低于壳体时,必须按补强件与壳体二者材料的许用应力之比值增加相应的补强面积;当采用的补强件材料的许用应力值高于壳体时,所需补强面积不得减少。

9.4.2 直径超出 9.3 条适用范围的开孔,其补强面积的 2/3 应设置在下列范围之内:

a. 宽度为离孔边缘 $d/4$;

b. 高度为 $\sqrt{d\delta_m}$ 。

9.4.3 开孔补强结构

壳体开孔补强可按具体条件采用下列补强结构,其焊接接头可参见附录 G。

9.4.3.1 补强圈补强

以全熔透或非全熔透焊接接头将内部或外部补强板与接管、壳体相焊。

9.4.3.2 整体补强

增加壳体厚度或以全熔透焊接接头将厚壁接管与壳体相焊。

9.5 补强计算

9.5.1 壳体开孔削弱所需要的补强截面积

通过开孔中心,并过壳体轴线的纵截面内所需的补强截面积按下列要求确定。

9.5.1.1 内压圆筒和锥壳

$$A = d\delta + 2\delta[\delta_m - (C_2 + C_1)](1 - f_r) \quad \dots\dots\dots (9-1)$$

式中: δ ——圆筒或锥壳(或锥形封头)的计算厚度,分别按式(5—1)、式(7—8)计算,对锥壳以开孔中心处的锥壳内直径取代式(7—8)中的 D_i 。

9.5.1.2 内压凸形封头

凸形封头开孔所需的补强截面积按式(9—1)计算,式中 δ 按下列情况确定:

a. 开孔位于以椭圆形封头中心为中心 80%封头内直径的范围内时, δ 按式(9—2)计算:

$$\delta = \frac{p_c K D_i}{2[\sigma]'\Phi} \quad \dots\dots\dots (9-2)$$

式中: K ——根据封头的椭圆形长短轴之比值,查表(7—1)。

b. 开孔位于碟形封头的球面部分时, δ 按式(9—3)计算:

$$\delta = \frac{p_c R_i}{2[\sigma]'\Phi} \quad \dots\dots\dots (9-3)$$

c. 开孔位于 a、b、两条所述范围之外时, δ 按第 7 章的有关公式计算。

9.5.1.3 平盖

a. 平盖开孔直径 $d \leq \frac{1}{2}D_o$ (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(9—4)计算:

$$A = 0.5d\delta, \quad \dots\dots\dots (9-4)$$

上式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,则对螺栓连接的平盖,将第 8 章平盖厚度计算式中的 K 增大为 $2K$ 进行计算;对其它型式的平盖,应将相应厚度计算式中的 K 以 $2K$ 或 0.75 两者中的较小值代入进行计算。

b. 平盖中心开孔直径 $d > \frac{1}{2}D$ 的以螺栓连接的平盖,按 GB150 有关法兰的规定进行设计。

9.5.1.4 外压力容器

外压力容器开孔所需的补强截面按式(9—5)计算:

$$A = 0.5d\delta + \delta[\delta_m - (c_2 + c_1)](1 - f_r) \quad \dots\dots\dots (9-5)$$

式中: δ ——按外压计算所得的计算厚度,mm。

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

9.5.2 有效补强范围

壳体进行开孔补强时,补强区的有效范围按图(9—1)所示的矩形 $W X Y Z$ 范围确定。

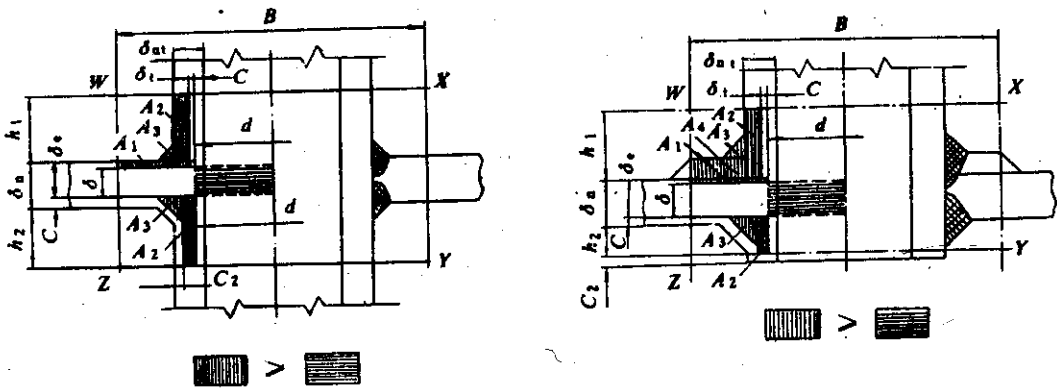


图 9—1 有效补强范围示意图

a. 有效宽度 B

$$B = 2d \quad \dots\dots\dots (9-6)$$

b. 有效高度 h

$$h = \sqrt{d\delta_s} \quad \dots\dots\dots (9-7)$$

外侧有效高度 h_1 , 取式(9—7)的计算值和接管外伸长度二者中之较小值;

内侧有效高度 h_2 , 取式(9—7)的计算值和接管内伸长度二者中之较小值。

9.5.3 有效补强面积

在有效补强范围内,可作为有效补强的金属截面按式(9—8)计算:

$$A_s = A_1 + A_2 + A_3 \quad \dots\dots\dots (9-8)$$

式中: A_s ——补强金属截面,mm²;

A_1 ——壳体名义厚度减去计算厚度及厚度附加量之外的多余金属截面,mm²;

$$A_1 = (B-d)(\delta_n - \delta - c) - 2(\delta_m - c_1 - c_2)(\delta_n - \delta - c)(1-f_r) \quad \dots\dots\dots (9-9)$$

A_2 ——接管名义厚度减去计算厚度及厚度附加量之外的多余金属截面积, mm^2 ;

$$A_2 = 2h_1(\delta_m - \delta_1 - c_1 - c_2)f_r + 2h_2(\delta_m - c_1 - 2c_2) \quad \dots\dots\dots (9-10)$$

A_3 ——焊缝金属截面积, mm^2 。

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, 其另加补强截面积按式(9-11)计算:

$$A_e \geq A - A_e \quad \dots\dots\dots (9-11)$$

式中: A_e ——补强区内另加的补强截面积, mm^2 。

9.5.4 多个开孔补强

9.5.4.1 当任意两个相邻开孔的中心距小于两孔平均直径的两倍, 而使其补强范围重叠时(见图 9-2 (a)), 则此两孔按 9.3 条规定进行补强计算, 且应采用联合补强措施。其总补强截面积应不小于各孔单独补强所需截面积之和, 两孔之间的补强截面积至少等于两孔所需总补强截面积的 50%。在计算联合补强截面积时, 任何截面不得重复计入。

9.5.4.2 当两个以上相邻开孔的中心距小于该两孔平均直径的两倍, 且采用联合补强时(见图 9-2 (b)), 则这些相邻开孔的中心距至少应等于其平均直径的 $4/3$ 倍。任意相邻两孔之间的补强截面积至少应等于该两孔所需总补强截面积的 50%。

若任意两相邻开孔的中心距小于其平均直径的 $4/3$ 倍, 则两孔之间的任何金属均不能作为补强金属, 这些开孔必须按 9.5.4.3 条的方法进行补强。

9.5.4.3 任何数量并以任意方式排列的相邻开孔, 均可作为一个假想孔(其直径包括了所有靠近的开孔)进行补强。假想孔的直径不得超过 9.3 条的规定, 所有接管金属不能作为补强金属。

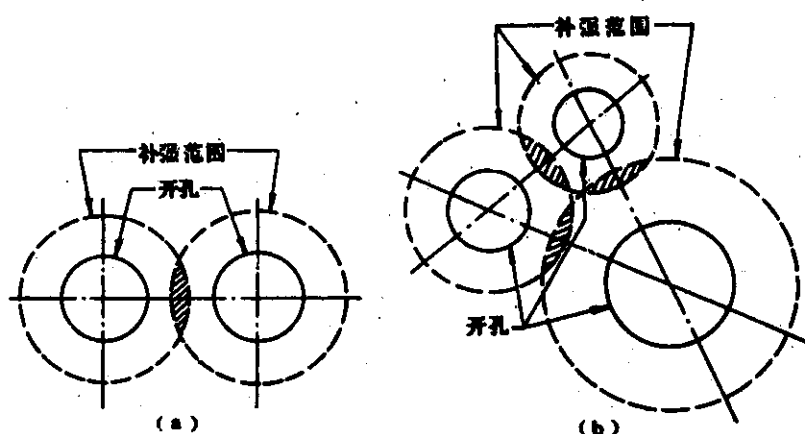


图 9-2 多个开孔图例

10 法兰

10.1 总则

10.1.1 本章适用于以螺栓连接的矩形法兰的设计,且仅考虑了流体静压力及垫片压紧力的作用。

以螺栓连接的圆形法兰设计应按 GB150 有关规定。

10.1.2 螺栓法兰联接设计包括:

- a. 确定垫片材料、型式及尺寸;
- b. 确定螺栓材料、规格及数量;
- c. 确定法兰材料、密封面型式及结构尺寸;
- d. 进行应力校核(计算中所有尺寸均不包括腐蚀裕量)。

10.1.3 螺栓、法兰的选材应符合第 4 章的规定。

10.1.4 法兰截面厚度大于 76mm 的碳素钢或低合金钢制法兰,应进行正火或完全退火的热处理。

10.1.5 法兰矩形环如有对接焊缝应采用全熔透焊缝。并按第 15 章的规定进行焊后热处理。

10.1.6 螺栓的公称直径不宜小于 M12。

10.2 矩形法兰

10.2.1 符号说明

A_s ——预紧状态下,需要的最小单个螺栓截面积,以螺纹小径计算,或以无螺纹部分的最小直径计算,取小者, mm^2 ;

A_b ——实际使用的单个螺栓截面积,以螺纹小径计算,或以无螺纹部分的最小直径计算,取小者, mm^2 ;

A_m ——需要的单个螺栓截面积,取 A_p 与 A_s 之较大值, mm^2 ;

A_p ——操作状态下,需要的最小单个螺栓截面积, mm^2 ;

a_A ——矩形法兰外边短轴长度, mm ;

a_B ——矩形法兰螺栓孔中心短轴长度, mm ;

a_G ——矩形法兰垫片载荷作用位置处短轴长度, mm ;

a_i ——矩形法兰内边短轴长度, mm ;

b ——垫片有效密封宽度, mm ;

b_A ——矩形法兰外边长轴长度, mm ;

b_B ——矩形法兰螺栓孔中心长轴长度, mm ;

b_G ——矩形法兰垫片载荷作用位置处长轴长度, mm ;

b_i ——矩形法兰内边长轴长度, mm ;

b_o ——垫片基本密封宽度(见表 10—1), mm ;

d_B ——螺栓公称直径, mm ;

F_G ——垫片压紧力, N ;

H ——焊接接头距离, mm ;

h ——接管插入法兰长度, mm ;

h_i ——焊接接头直边高度, mm ;

m ——垫片系数(见表 10—2);

N ——垫片接触宽度(见表 10—1), mm ;

n ——螺栓数量, 个;

p_c ——计算压力, MPa ;

S ——螺栓中心至法兰背面焊缝的距离(见图 10—1、表 10—3), mm ;

S_D ——从法兰螺栓孔中心至法兰内边的距离(见图 10—1), mm ;

$$S_D = \frac{a_B(\text{或 } b_B) - a_I(\text{或 } b_I)}{2}$$

S_e ——螺栓孔中心至法兰外边距离(见图 10—1、表 10—3), mm;

S_o ——从法兰螺栓孔中心至垫片载荷作用位置处的距离(见图 10—1), mm;

$$S_o = \frac{a_B(\text{或 } b_B) - a_o(\text{或 } b_o)}{2}$$

S_t ——螺栓间距, mm;

$S_{t\max}$ ——两螺栓中心最大间距, mm;

$S_{t\min}$ ——两螺栓中心最小间距, mm;

W ——螺栓设计载荷, N;

W_s ——预紧状态下, 需要的最小单个螺栓载荷, N;

W_p ——操作状态下, 需要的最小单个螺栓载荷, N;

y ——垫片比压力(见表 10—2), MPa;

δ_f ——法兰有效厚度, mm;

δ_g ——垫片厚度, mm;

δ_n ——筒体(或接管)名义厚度(即图样上标注的厚度), mm;

σ_H ——焊接接头的合成应力, MPa;

σ_{n1} ——法兰部分的弯曲应力, MPa;

σ_{n2} ——焊接接头部分的弯曲应力, MPa;

δ_{n3} ——箱体部分的弯曲应力, MPa;

$[\sigma]_b$ ——常温下螺栓材料的许用应力(见第 4 章), MPa;

$[\sigma]_b^t$ ——设计温度下螺栓材料的许用应力(见第 4 章), MPa;

$[\sigma]_f$ ——常温下法兰材料的许用应力(见第 4 章), MPa;

$[\sigma]_f^t$ ——设计温度下法兰材料的许用应力(见第 4 章), MPa;

$[\sigma]_n$ ——设计温度下筒体(或接管)材料的许用应力(见第 4 章), MPa;

τ ——焊缝剪应力, MPa。

10.2.2 法兰结构型式及垫片性能参数

法兰结构型式见图 10—1。

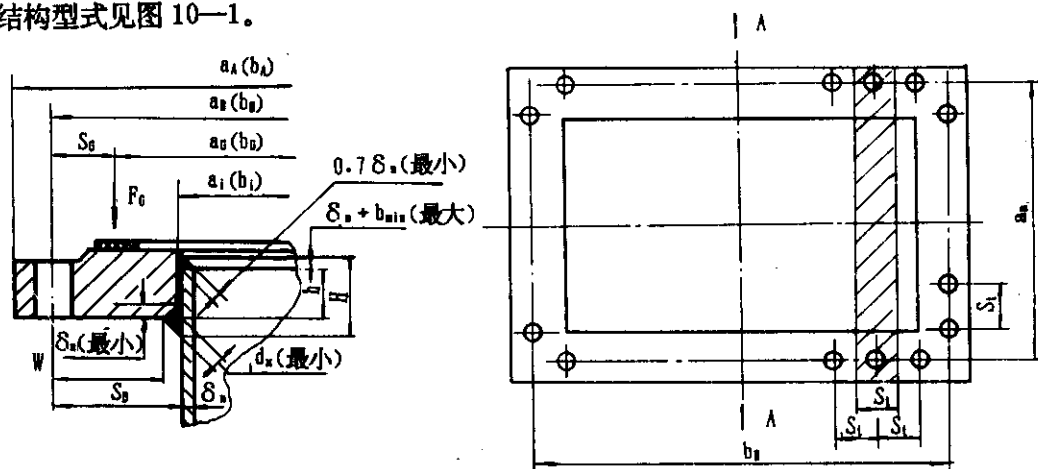
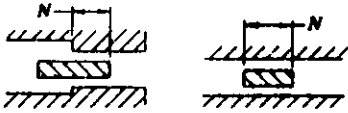
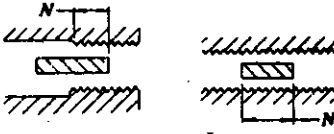
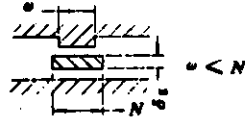
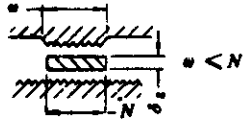
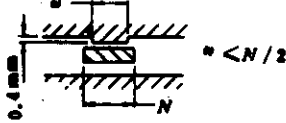


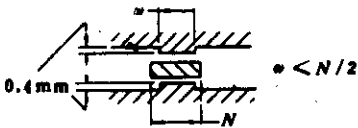
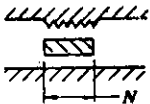
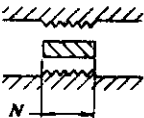
图 10—1 法兰结构型式

垫片基本密封宽度见表 10—1。
 垫片性能参数见表 10—2。

表 10—1 垫片基本密封宽度

压紧面形状(简图)		垫片基本密封宽度 b_0	
		I	II
1a		$\frac{N}{2}$	$\frac{N}{2}$
1b			
1c		$\frac{\omega + \delta_1}{2}$	$\frac{\omega + \delta_1}{2}$
1d		$(\frac{\omega + N}{4} \text{ 最大})$	$(\frac{\omega + N}{4} \text{ 最大})$
2		$\frac{\omega + N}{4}$	$\frac{\omega + 3N}{8}$

续表 10—1 垫片基本密封宽度

压紧面形状(简图)		垫片基本密封宽度 b_0	
		I	II
3		$\frac{N}{4}$	$\frac{3N}{8}$
4 ¹⁾		$\frac{3N}{8}$	$\frac{7N}{16}$
5 ¹⁾		$\frac{N}{4}$	$\frac{3N}{8}$

注:1)当锯齿深度不超过 0.4mm,齿距不超过 0.8mm 时,应采用 1b 或 1d 的压紧面形状。

10.2.3 计算

10.2.3.1 垫片有效密封宽度

选定垫片尺寸后,按表 10—1 确定垫片接触宽度 N 和基本密封宽度 b_0 。

表 10—2 垫片性能参数

尺寸 N (最小) mm	垫片材料		垫片 系数 m	比压力 y MPa	简 图	压紧面形状 (见表 10—1)	列 号
10	聚四氟乙烯包垫片 厚度: 3mm					1(a、b、c、d) 4、5	II
	无织品或无高含量石棉纤维的 合成橡胶, 低于肖氏硬度 75 ≥肖氏硬度 75		0.50 1.00	0 1.4			
	石棉, 具有适当加 固物(石棉橡胶板) 厚度为:		3mm 2.00 1.5mm 2.75 0.75mm 3.50	11 25.5 44.8			
	内有棉纤维的橡胶		1.25	2.8			
	内有石棉纤维的橡 胶, 具有金属加强 丝或不具有金属加 强丝		3层 2.25 2层 2.50 1层 2.75	15.2 20 25.5			
	植物纤维		1.75	7.6			
	缠绕式金 属垫片内 填石棉	碳 钢 不 锈 钢 或蒙乃尔	2.50 3.00	69 69			

注: 列号见表 10—1。

1) 垫片表面的折叠处, 不得放在法兰密封面上。

按以下规定计算垫片有效密封宽度 b:

当 $b_0 \leq 6.4\text{mm}$ 时, $b = b_0$;

当 $b_0 > 6.4\text{mm}$ 时, $b = 2.53 \sqrt{b_0}$ 。

10.2.3.2 垫片压紧力作用位置见图 10—2。

当 $b_0 \leq 6.4\text{mm}$ 时, $a_0(b_0)$ 等于垫片接触面中心线距离;

当 $b_0 > 6.4\text{mm}$ 时, $a_0(b_0)$ 等于垫片接触面外侧间距减 $2b$ 。

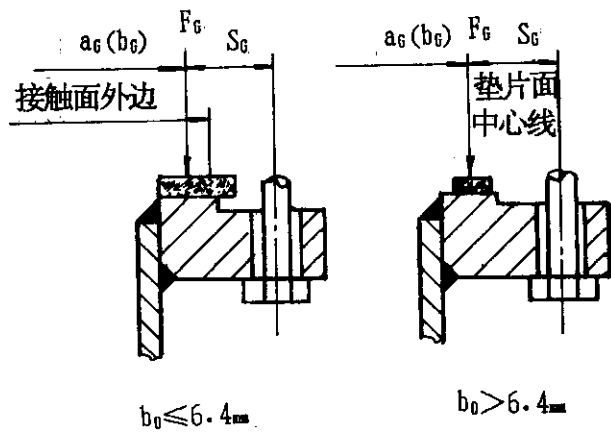


图 10—2 垫片压紧力作用位置

10.2.3.3 两螺栓中心间距的确定

推荐的两螺栓中心的最大间距按式(10—1)计算:

$$S_{\text{max}} = 2d_b + \frac{6\delta_t}{m + 0.5} \dots\dots\dots (10-1)$$

两螺栓中心最小间距 S_{min} , 法兰尺寸 S 、 S_e 见表 10—3。

表 10—3 法兰螺栓最小间距

	mm										
d_b	12	16	20	22	24	27	30	36	42	48	56
S_{min}	32	38	46	52	56	62	70	80	90	102	116
S_e	16	18	20	24	26	28	30	36	42	48	55
S	16	20	24	26	28	31	36	39	45	48	56

注: 法兰转角处之螺栓最短间距应不大于其两侧螺栓间距。

10.2.3.4 螺栓载荷

a. 预紧状态下需要的最小单个螺栓载荷按式(10—2)计算:

$$W_s = bs \cdot y \dots\dots\dots (10-2)$$

b. 操作状态下需要的最小单个螺栓载荷 W , 按式(10—3)和式(10—4)计算:

当 $b_n/a_n \leq 2$ 时:

$$W_p = \frac{p_c b_B}{\pi} s_t + 2bs_t mp_c \quad \dots\dots\dots (10-3)$$

当 $b_B/a_B > 2$ 时:

$$W_p = 0.6a_B s_t p_c + 2bs_t mp_c \quad \dots\dots\dots (10-4)$$

10.2.3.5 螺栓截面积

a. 预紧状态下需要的最小单个螺栓截面积按式(10—5)计算:

$$A_s = W_s / [\sigma]_b \quad \dots\dots\dots (10-5)$$

b. 操作状态下需要的最小单个螺栓截面积按式(10—6)计算:

$$A_p = \frac{W_p}{[\sigma]_b} \quad \dots\dots\dots (10-6)$$

c. 需要的螺栓截面积 A_m 取 A_s 与 A_p 之大值;

d. 实际螺栓截面积 A_b 应不小于需要的螺栓截面积 A_m 。

10.2.3.6 螺栓设计载荷

a. 预紧状态下螺栓设计载荷按式(10—7)计算:

$$W = \frac{A_m + A_b}{2} [\sigma]_b \quad \dots\dots\dots (10-7)$$

b. 操作状态下螺栓设计载荷按式(10—8)计算:

$$W = W_p \quad \dots\dots\dots (10-8)$$

c. 设计载荷 W 取以下大值:

$$W = \begin{cases} \frac{A_m + A_b}{2} [\sigma]_b \frac{[\sigma]_t}{[\sigma]_b} \\ W_p \end{cases}$$

10.2.3.7 应力计算及强度校核

10.2.3.7.1 法兰

法兰部分的弯曲应力按式(10—9)校核:

$$\alpha_{n1} = \frac{6WS_D}{S_i \delta_i^2} < [\sigma]_t \quad \dots\dots\dots (10-9)$$

10.2.3.7.2 焊接接头

a. 焊接接头部分的弯曲应力按式(10—10)计算:

$$\sigma_{n2} = \frac{6HWS_D}{S_i(H^3 - h^3)} \quad \dots\dots\dots (10-10)$$

b. 焊接接头部分的剪应力按式(10—11)计算:

$$\tau = \frac{W}{\sqrt{2} S_i h_1} \quad \dots\dots\dots (10-11)$$

c. 焊接接头的合成应力按式(10—12)校核:

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_{n2}^2 + \tau^2} < 0.8 \begin{cases} [\sigma]_t \\ [\sigma]_n \end{cases} \quad \text{取小值} \quad \dots\dots\dots (10-12)$$

10.2.3.7.3 箱体

箱体部分的弯曲应力按式(10—13)校核:

$$\sigma_{n3} = \frac{6WS_D}{S_i \delta_n^2} \leq [\sigma]_n \quad \dots\dots\dots (10-13)$$

11 立式容器支承

立式容器的支承包括如下几种型式:

耳式支座,分为不带整体加强环(简称耳式支座)和带整体加强环的耳式支座两种型式;

支腿;

支承式支座,分为管式结构和板式结构两种;

裙式支座,(简称为裙座)。

11.1 符号说明

A_i ——支耳或支腿截面积, mm^2 ;

a ——支座底板长度, mm ;

b ——支座底板宽度, mm ;

c ——支座盖板宽度, mm ;

d ——支座中性轴与底板下表面交点至容器外壁的距离, mm ;

D_o ——容器的外直径, mm ;

e ——从容器壳体外壁到支腿型钢重心处的距离, mm ;

F ——每个支耳上的载荷, N ;

F_H ——容器的水平力, N ;

F_K ——地震力, N ;

F_R ——沿中性轴的载荷(见图 11—5), N ;

h ——支耳筋板的高度, mm ;

L ——从支腿的基础板到支腿与壳体焊接处中点的距离, mm ;

M_E ——地震弯矩, $N \cdot \text{mm}$;

M_w ——风弯矩, $N \cdot \text{mm}$;

n ——支腿的个数或带整体加强环耳式支座的支承点数;

P_F ——单个支耳上底板的压力, MPa ;

P_w ——风载荷, N ;

Q ——支腿的水平反力, N ;
 W ——容器的自重力, N ;
 $Z_{\min}$ ——支腿最小截面系数, mm^3 ;
 δ_s ——盖板厚度, mm ;
 δ_b ——支座底板或基础环的厚度, mm ;
 δ_g ——筋板厚度, mm ;
 λ ——支腿的柔度;
 λ_c ——支腿的临界柔度;
 $\sigma_{\max}$ ——筋板的最大压缩应力, MPa ;
 $[\sigma]$ ——筋板或底板材料的许用应力, MPa ;
 $[\sigma]_b$ ——盖板材料的许用弯曲应力, MPa ;
 $[\sigma]_c$ ——筋板材料的压缩许用应力, MPa 。

11.2 一般要求

支承由碳素钢板焊制或型材制成。垫板一般选碳素钢,对于器壁较薄的高合金钢制容器,当用碳素钢作支承时,需在支承与器壁之间加高合金钢垫板。

对操作温度较高,应设置特制的滑动支承板,其结构如图 11—1 所示。

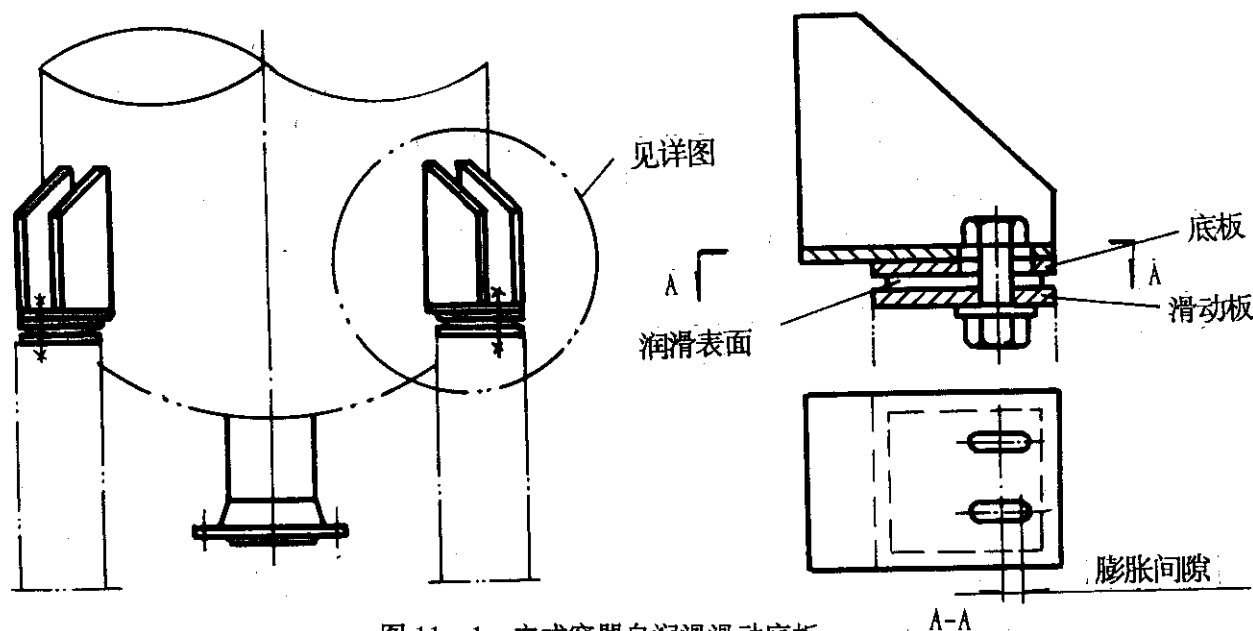


图 11—1 立式容器自润滑滑动底板

载荷的计算。

$$\text{每个支耳上的载荷 } F = \frac{W}{n} \dots\dots\dots (11-1)$$

风载荷和地震载荷不需同时考虑,水平地震力 S 与风载荷 P 比较后,按大值进行计算,此值就为水平力 F_H ,但需进行地震载荷和风载荷等应力校核。由于该 F_H 的方向不定,所以应综合考虑挂耳的安装方向,至少考虑如图 11—2 所示的两个方向。

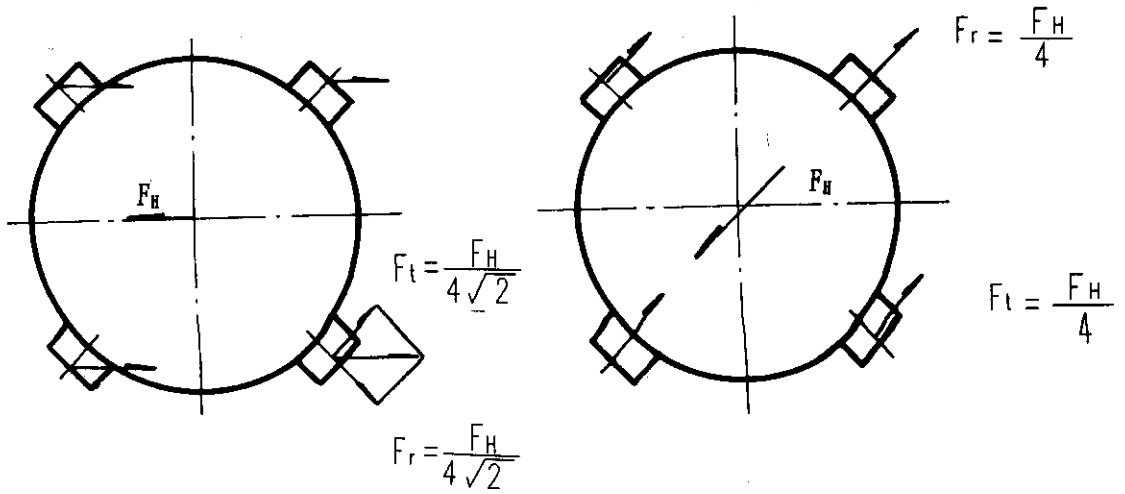


图 11—2 对于水平力的支耳反力

$$F_r = F_t = \pm \frac{F_H}{4} \quad \dots\dots\dots (11-2)$$

式中: F_t —— 径向反力, N 。

11.3 耳式支座

11.3.1 耳式支座的结构如图 11—3, 图 11—4 所示。

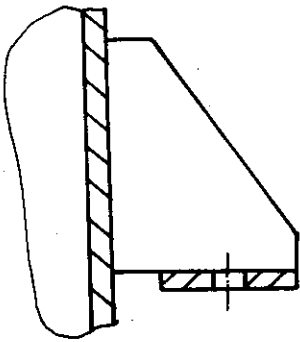


图 11—3 无盖板耳式支座

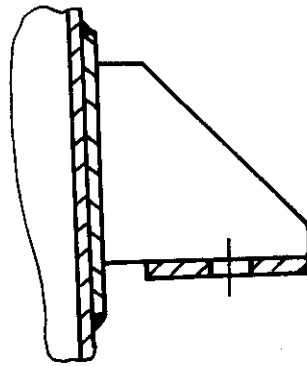


图 11—4 带垫板耳式支座

为降低器壁的局部应力以及考虑壳体的稳定,可加长筋板、增加盖板或设置垫板。

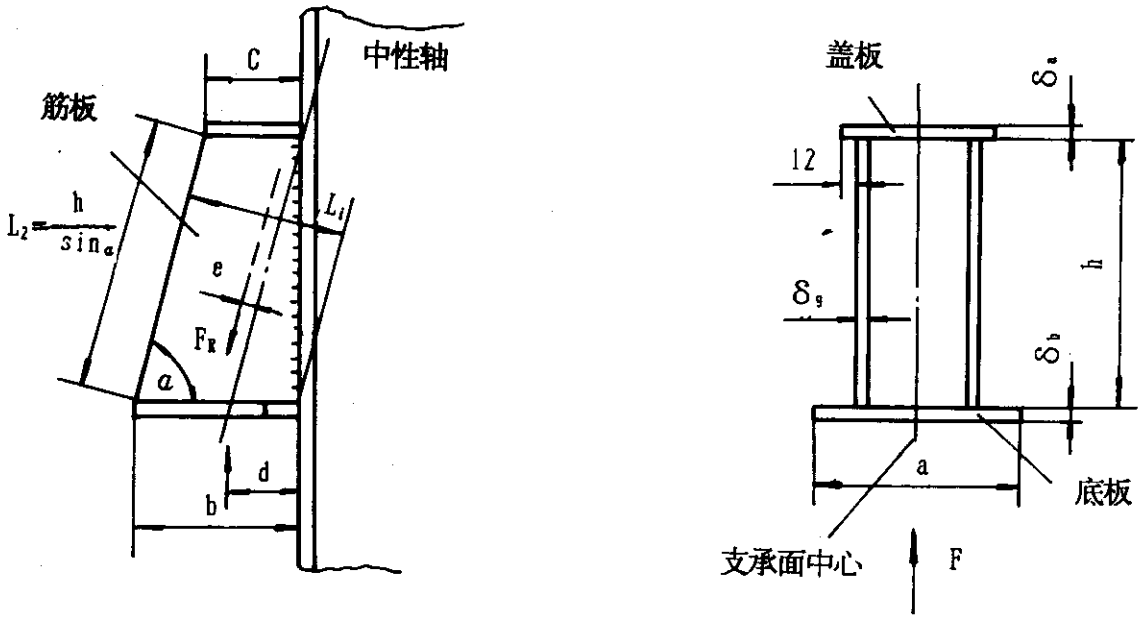


图 11—5 顶部有盖板支耳受力分析

耳式支座一般为 4 个均布, 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 个支座。

对于大直径且重量重的容器, 应适当增加支耳的数目。

先假定支座结构尺寸, 按以下步骤进行校核计算。

11.3.1.1 筋板

筋板的最大压缩应力按式(11—3)计算:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_R}{L_1 \delta_g} + \frac{6F_R \cdot e}{L_1^2 \cdot \delta_g} \quad \dots\dots\dots (11-3)$$

式中:

$$L_1 = b \cdot \sin \alpha \quad \dots\dots\dots (11-4)$$

$$e = (d - \frac{b}{2}) \cdot \sin \alpha \quad \dots\dots\dots (11-5)$$

$$F_R = \frac{F}{2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \quad \dots\dots\dots (11-6)$$

α ——筋板与底板的夹角。

筋板厚度按(10—7)确定:

$$\delta_g = \frac{F \cdot (3d - b)}{[\sigma]_c \cdot b^2 \cdot \sin^2 \alpha} \quad \dots\dots\dots (11-7)$$

式中: $[\sigma]_c$ ——筋板材料压缩许用应力, MPa;

$$[\sigma]_c = \frac{[\sigma]}{1 + \frac{1}{[\sigma]} \cdot \left(\frac{L}{r}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (11-8)$$

式中 r ——筋板惯性半径, mm;

$$r = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = 0.289\delta_s \quad \dots\dots\dots (11-9)$$

L ——筋板长度, mm;

$$L = \frac{h}{\sin\alpha} \quad \dots\dots\dots (11-10)$$

$I_{\min}$ ——最小惯性矩, mm^4 ;

A ——筋板截面积, mm^2 。

11.3.1.2 底板

底板的最大应力按式(11-11)计算, 且应小于或等于底板材料的许用应力。

$$\sigma = \frac{\beta \cdot P_F \cdot b^2}{\delta_b^2} \quad \dots\dots\dots (11-11)$$

式中: $P_F = \frac{F}{a \times b}$

β ——由底板的长度 a 、宽度 b 决定的系数, 见表 11-1。

表 11-1

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

11.3.1.3 盖板

盖板的最大应力按式(11-12)计算:

$$\sigma = \frac{6}{\delta_s \cdot c^2} \cdot \frac{Fda}{8h} \quad \dots\dots\dots (11-12)$$

且应小于或等于盖板材料的许用弯曲应力 $[\sigma]_b$ 。

式中: c ——最小值为 50mm, 最大为 $8\delta_s$ 。

11.3.2 带刚性环的耳式支座

当耳式支座处器壁内存在较高的局部应力或对器壁变形有较严格要求, 而不宜采用垫板时, 则可采

用带刚性环的耳式支座,沿环周向均布,可设置 2、3、4、6、8 个支承点,如图 11—6 所示。

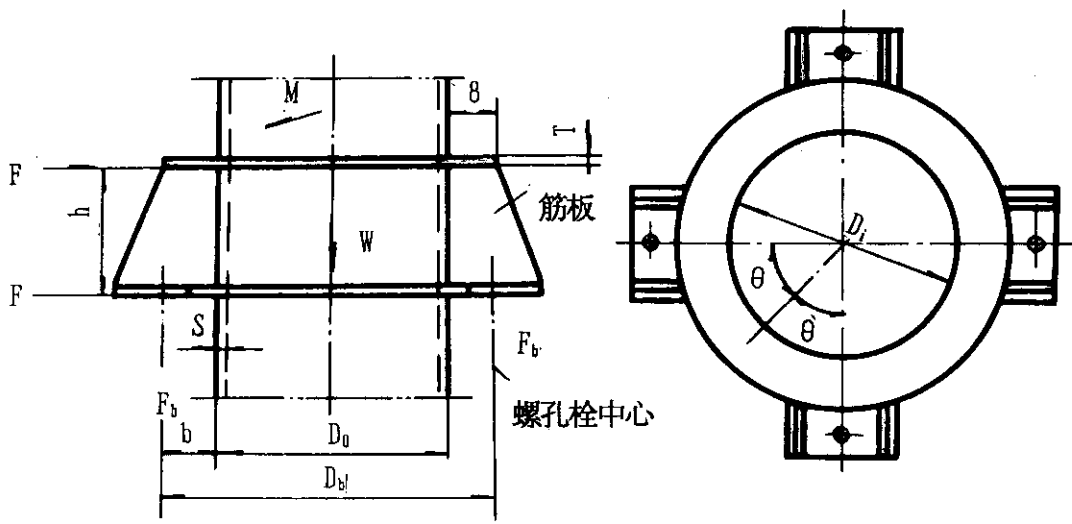


图 11—6 带刚性环耳式支座的容器

11.3.2.1 假设刚性环的尺寸如图 11—7,并计算组合截面的惯性矩。

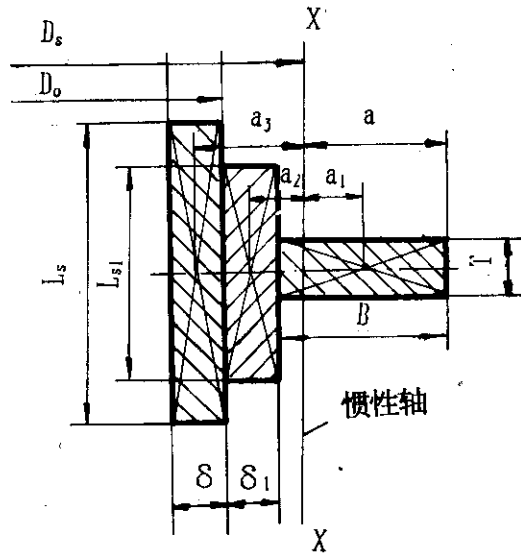


图 11—7 刚性环、垫板与壳体的组合截面

圆筒壳体上有效加强宽度 L_s 按式(11—13)计算:

$$L_s=2\times 0.55\sqrt{D_o\delta_o}=1.1\sqrt{D_o\delta_o} \dots\dots\dots (11-13)$$

式中: L_s ——圆筒壳体有效加强宽度,mm;

δ_o ——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(11—14)计算:

$$L_{s1}=2\times 0.55\sqrt{D_{o1}\cdot \delta_{e1}}=1.1\sqrt{D_{o1}\cdot \delta_{e1}} \dots\dots\dots (11-14)$$

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;

δ_{e1} ——垫板名义厚度扣除壁厚附加量后的厚度, mm;

组合截面的惯性矩 I , mm⁴, 按式(11—15)计算:

$$I = \sum I_i = I_1 + I_2 + I_3 \quad \dots\dots\dots (11-15)$$

式中:

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

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

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

$$a_1 = a - \frac{1}{2} B$$

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

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

惯性轴直径 D_s , mm, 按式(11—16)计算:

$$D_s = D_o + 2(\delta_1 + \beta - a) \quad \dots\dots\dots (11-16)$$

组合截面的惯性轴 $x-x$ 的位置:

$$a = \frac{B \cdot T \cdot \frac{1}{2} B + \delta_1 \cdot L_{s1} \cdot (B + \frac{1}{2} \delta_1) + \delta \cdot L_s \cdot (B + \delta_1 + \frac{1}{2} \delta)}{\beta \cdot T + \delta_1 \cdot L_{s1} + \delta \cdot L_s} \quad \dots\dots\dots (11-17)$$

11.3.2.2 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(11—18)计算:

$$F = \frac{F_b \cdot b}{h} \quad \dots\dots\dots (11-18)$$

式中: F_b ——作用于一个支座上的力, N。

$$F_b = \frac{4M}{nD_b} + \frac{W}{n} = \frac{1}{n} \left(\frac{4M}{D_b} + W \right) \quad \dots\dots\dots (11-19)$$

式中: M ——外载荷作用在容器上的力矩, $N \cdot mm$;

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 。

11.3.2.3 计算刚性环组合断面上的内力、应力。

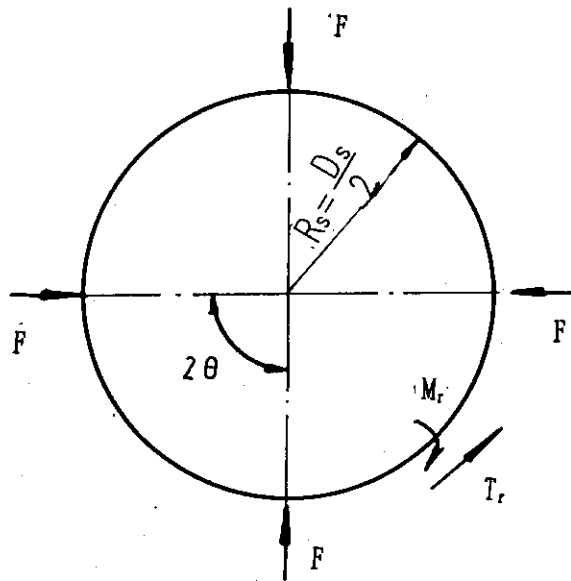


图 11—8 刚性环组合断面上的力和力矩

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(11—20)计算::

$$M_r = -\frac{1}{2}FR_s \left(\frac{1}{\theta} - \text{ctg}\theta \right) \quad \dots\dots\dots (11-20)$$

式中: θ 角, 弧度

$$\theta = \frac{\pi}{n}$$

4 支座时,

$$\theta = \frac{\pi}{4}$$

周向力 T_r , 按式(11—21)计算::

$$T_r = \frac{1}{2}F \cdot \text{ctg}\theta \quad \dots\dots\dots (11-21)$$

应力 σ 按式(11—22)计算::

$$\sigma = \frac{|M_r| \cdot a}{I} + \frac{T_r}{A} \leq [\sigma] \quad \dots\dots\dots (11-22)$$

式中: $[\sigma]$ ——刚性环材料的许用应力, N/mm^2 ;

A ——组合截面的面积, mm^2 ;

$$A = B \times T + \delta_1 \times L_{s1} + \delta \times L_s$$

两支座中间处

内力矩 M_r , 按式(11—23)计算::

$$M_r = \frac{1}{2} F R_s \left(\frac{1}{\sin \theta} - \frac{1}{\theta} \right) \quad \dots\dots\dots (11-23)$$

周向力 T_r , 按式(11—24)计算::

$$T_r = \frac{1}{2} F \cdot \frac{1}{\sin \theta} \quad \dots\dots\dots (11-24)$$

应力 σ 按式(11—25)计算::

$$\sigma = \frac{|M_r| \cdot a}{I} + \frac{T_r}{A} \quad \dots\dots\dots (11-25)$$

$$\sigma \leq [\sigma]$$

11.4 支腿

11.4.1 通则

支腿由底板、支柱、盖板组成。必要时可增设加强板, 见图 11—9 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。

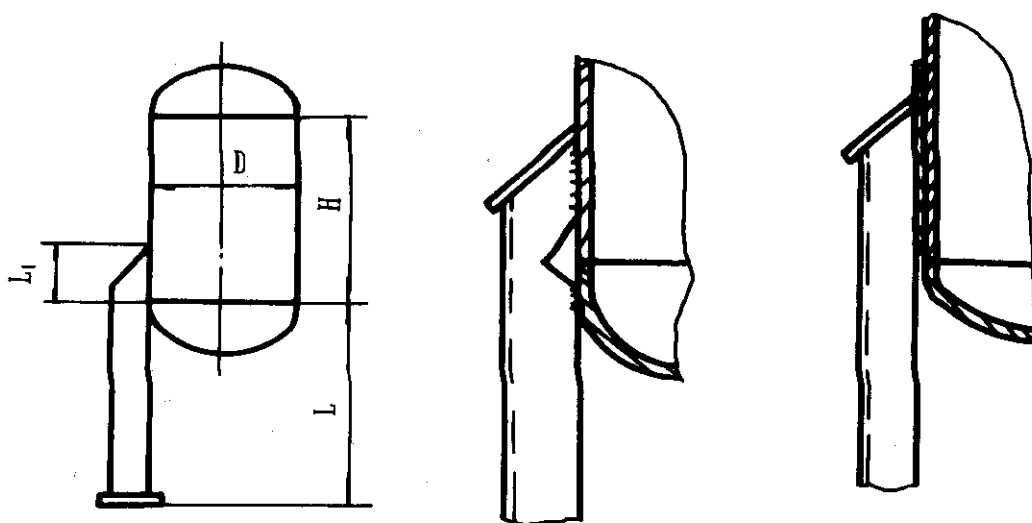


图 11—9

筒体直径小于等于 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, 遇到容器的环焊接接头时, 应在支腿上切割缺口,

避免与焊接接头相碰,并在支腿顶部宜加焊盖板。

支腿一般不适用下列条件的钢制立式容器:

- 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结的容器。

11.4.2 强度计算

11.4.2.1 载荷

支柱的水平反力 Q 按式(11—26)计算:

$$Q=\frac{F_H}{n} \dots\dots\dots (11-26)$$

式中: F_H ——容器的水平力,是由风载荷和地震载荷而定, N 。

支柱的垂直反力 F_L 按式(11—27)计算:

$$F_L=\frac{F_H}{2\tg\theta} - \frac{W}{n} \dots\dots\dots (11-27)$$

当支柱个数 $n=3$ 时,按式(11—28)计算:

$$\tg\theta=\frac{3}{8} \cdot \frac{D_o}{h} \dots\dots\dots (11-28)$$

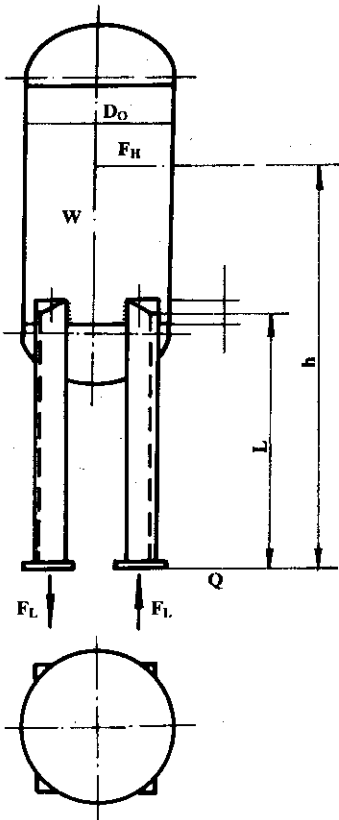


图 11—10 支柱的受力分析图

当支柱个数 $n=4$ 时,按式(11—29)计算:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{D_0}{2h} \dots\dots\dots (11-29)$$

11.4.2.2 支柱

受压侧支柱上的最大应力

弯曲应力 σ_b 按式(11-30)计算:

$$\sigma_b = \frac{Q \cdot L + F_L \cdot e}{Z_{\min}} \dots\dots\dots (11-30)$$

压缩应力 σ_c 按式(11-31)计算:

$$\sigma_c = \frac{F_L}{A_T} \dots\dots\dots (11-31)$$

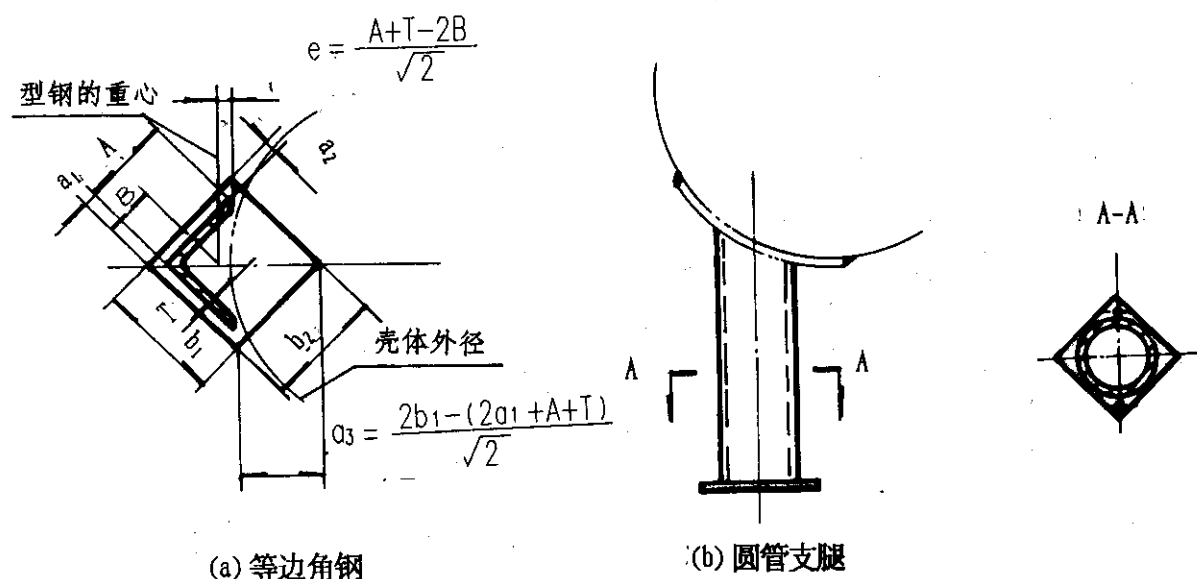


图 11—11 底板和支柱

对于支柱的强度必须满足下式:

$$\frac{\sigma_c}{[\sigma]_c} + \frac{\sigma_b}{[\sigma]_b} \leq 1 \dots\dots\dots (11-32)$$

式中: $[\sigma]_b$ ——许用弯曲应力 MPa, 见表 4—6;

$[\sigma]_c$ ——许用压缩应力, MPa, 由式(11-34)或式(11-35)求取。

柔度 $\lambda = \frac{l_k}{i}$, 必须 $\lambda \leq 250$

式中: i ——支腿截面的最小惯性半径, $i = \sqrt{\frac{I}{A_T}}$, mm;

I ——支腿截面惯性矩, mm⁴;

l_k ——由两端固定条件而定的纵向弯曲长度, mm;

当两端简支时, $l_k = l$

临界柔度

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6 [\sigma]}} \quad \dots\dots\dots (11-33)$$

式中: E ——材料的弹性模量, 对于碳钢, $E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$;

$[\sigma]$ ——支柱材料的许用应力, MPa, 见表 4-2。

当 $\lambda \leq \lambda_c$ 时,

$$[\sigma]_c = \frac{[1 - 0.4(\frac{\lambda}{\lambda_c})^2] \cdot [\sigma]}{\gamma} \quad \dots\dots\dots (11-34)$$

式中:

$$\gamma = \frac{3}{2} + \frac{2}{3}(\frac{\lambda}{\lambda_c})^2$$

当 $\lambda > \lambda_c$ 时,

$$[\sigma]_c = \frac{0.277 [\sigma]}{(\frac{\lambda}{\lambda_c})^2} \quad \dots\dots\dots (11-35)$$

11.4.2.3 地脚螺栓的强度计算:

地脚螺栓反力按式(11-36)计算:

$$F_L = \pm \frac{F_H}{2 \tan \theta} - \frac{W}{n} \quad \dots\dots\dots (11-36)$$

当 $F_L > 0$ 时, 地脚螺栓受拉, 其应力校核如下:

地脚螺栓中产生的拉应力 σ_B , 按式(11-37)计算:

$$\sigma_B = \frac{F_L}{n_b \cdot A_B} \quad \dots\dots\dots (11-37)$$

$$\sigma_B \leq [\sigma]$$

式中: n_b ——地脚螺栓的个数,

A_B ——地脚螺栓截面积, mm²; 以螺栓小径计算;

$[\sigma]$ ——地脚螺栓材料的许用应力, MPa;

地脚螺栓中产生的剪应力 τ , 按式(11-38)计算:

$$\tau = \frac{Q - \mu \cdot \frac{W}{n_b}}{n \cdot A_B} \dots\dots\dots (11-38)$$

$$\tau \leq [\tau]$$

式中: μ ——底板与基础的摩擦系数。

11.4.2.4 底板

支腿作用在混凝土基础上其上面的最大压应力为:

$$B = \frac{F_L}{b_1 \cdot b_2} \dots\dots\dots (11-39)$$

式中: b_1 、 b_2 是底板的长和宽, mm;

F_L ——支腿的垂直反力, N;

底板的厚度 δ_0 按式(11-40)计算:

$$\delta_0 = a_0 \sqrt{\frac{3B}{[\sigma]}} \dots\dots\dots (11-40)$$

式中: a_0 ——见图 11-11 取 a_1 、 a_2 、 a_3 中的最大值;

$[\sigma]$ ——底板的许用应力, MPa; 见表 4-1。

11.4.2.5 支腿与筒体连接处焊接接头的强度计算:

$$\tau = \frac{F_L}{A} \dots\dots\dots (11-41)$$

$$\sigma = \frac{Q \cdot L_1}{Z} \dots\dots\dots (11-42)$$

式中: τ ——焊接接头剪切应力, MPa;

σ ——焊接接头弯曲应力, MPa;

A ——焊接接头在厚度方向的截面面积, mm²;

Z ——焊接接头本体对环向轴的截面系数, mm³。

11.5 支承式支座

支承式支座可分为钢板支座和钢管支座两种。

11.5.1 钢板支座(见图 11-12)

钢板支座材料为 Q235-A·F。支座的尺寸参见表 11-2。

11.5.2 钢管支座(见图 11-13)

钢管支座材料可用碳素钢有缝钢管。

钢管支座尺寸参见表 11-3。

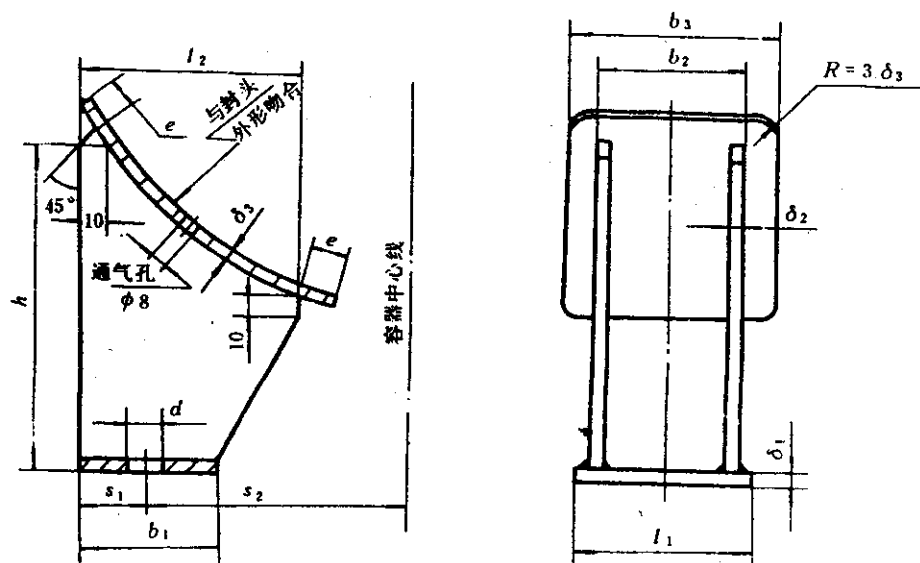


图 11—12 钢板支座

11.5.2 钢管支座

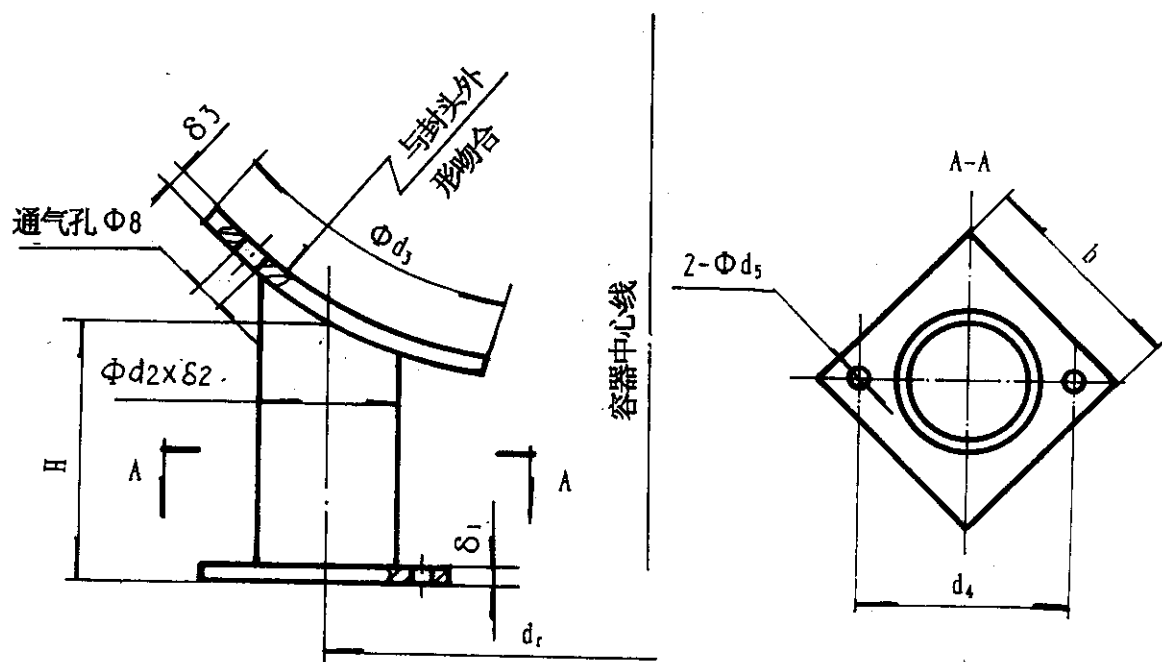


图 11—13 1~8 号钢管支座

表 11—2 钢板支座尺寸

mm

支座本体 允许载荷 □(KN)	适用公称 直径 DN	高 度 H	底 板				筋 板			垫 板			螺 栓 孔			支座 质量 kg
			L ₁	b ₁	δ ₁	S ₁	L ₂	b ₂	δ ₂	b ₃	δ ₃	e	d	螺纹	S2	
20	800	350	130	90	8	45	150	110	8	190	8	40	24	M20	280	8.2
	900														315	
	1000														350	
40	1100	420	170	120	10	60	180	140	10	240	10	50	24	M20	370	15.8
	1200														420	
	1300														475	
	1400														525	
60	1500	460	210	160	14	80	240	180	12	300	12	60	30	M24	550	28.9
	1600														600	
	1700														625	
	1800														675	
100	1900	500	230	180	16	90	270	200	14	320	14	60	30	M24	700	40.3
	2000														750	
	2100														775	
	2200														825	
150	2400	540	260	210	20	95	330	230	14	370	16	70	36	M30	900	67.2
	2600														975	
200	2800	580	290	240	24	110	360	250	16	390	18	70	36	M30	1050	90.1
	3000														1125	

注:钢板支座的材料为 Q235A·F。

11.6 裙式支座

11.6.1 裙式支座的结构、材料和选型

11.6.1.1 裙座与容器连接处,可采用对接或搭接的形式。当对接时,使裙座和容器封头壳壁的平均直径大致相等或两者内径相等,裙座筒体与容器封头壳壁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。

裙式支座的筒体壁厚不得小于 3mm。

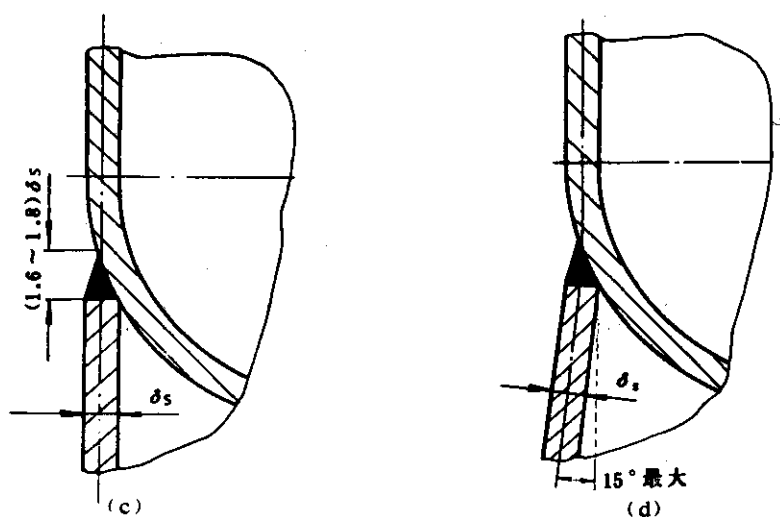


图 11—14 裙座和筒体的对接焊接接头

对接焊接接头形式及尺寸见图 11—15。

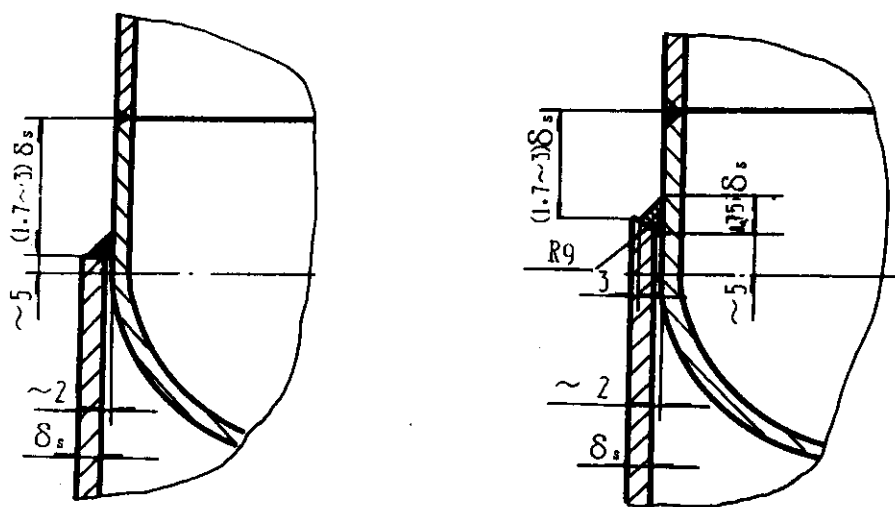


图 11—15 裙座和筒体的搭接焊接接头

搭接接头的角焊接头必须填满。

11.6.1.2 裙座圆筒与拼接封头连接时,在封头拼接焊接接头处的裙座圆筒应开缺口,缺口形式及尺寸见图 11—16 和表 11—4 所示。

表 11—3 钢管支座尺寸

mm

支 座 号	支 座 本 体 允 许 载 荷 [Q](kN)	适 用 容 器 公 称 直 径 DN	高 度 H	底 板		钢 管		垫 板		螺 栓(孔)			支 座 质 量 kg	每 增 加 100mm 高 度 的 质 量 kg	支 座 高 度 变 化 上 限 值 h _{max}
				b	δ1	d2	δ2	d3	δ3	d4	d5	螺 纹			
1	100	800	310	150	10	89	4	120	6	160	20	M16	500	0.8	500
		900											580		
2	150	1000	330	160	12	108	4	150	8	180	20	M16	630	1.0	550
		1100											710		
		1200											790		
3	250	1300	350	210	16	159	4.5	220	8	235	24	M20	810	1.7	750
		1400											900		
		1500											980		
		1600											1050		
4	350	1700	400	250	20	219	6	290	8	295	24	M20	1060	2.9	800
		1800											1150		
		1900											1230		
		2000											1310		
		2100											1390		
		2200											1470		

续表 11—3 钢管支座尺寸

支 座 号	支 座 本 体 允 许 载 荷 [Q](kN)	适 用 容 器 公 称 直 径 DN		高 度 H	底 板		钢 管		垫 板		螺 栓(孔)			支 座 质 量 kg	每 增 加 100mm 高 度 的 质 量 kg	支 座 高 度 变 化 上 限 值 h _{max}
					b	δ1	d2	δ2	d3	δ3	d4	d5	螺 纹			
5	400	2400	420	300	22	273	8	360	12	350	24	M20	1560	47.0	5.2	850
		2600											1720			
6	450	2800	460	350	24	325	8	420	14	405	24	M20	1820	67.3	6.3	950
		3000											1980			
		3200											2140			
7	500	3400	490	410	24	377	9	490	16	470	24	M20	2250	95.5	8.2	1000
		3600											2420			
8	550	3800	510	460	26	426	9	550	18	530	30	M24	2520	124.2	9.3	1050
		4000											2680			

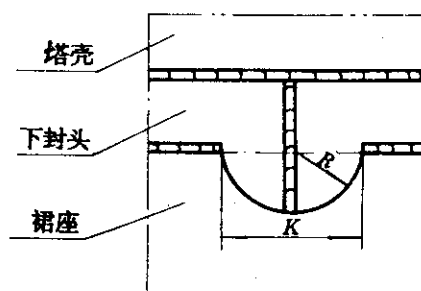


图 11—16 裙座筒体缺口形式

表 11—4 裙座圆筒缺口形式

mm

封头厚度 S_h	6~8	10~18	20~26
宽度 K	70	100	120
R	35	50	60

11.6.1.3 立式容器裙座的材料当设计温度高于 0°C ，低于 250°C 可以采用 Q235—A·F，但其厚度不应大于 16mm。当设计温度为 $-20\sim 0^{\circ}\text{C}$ 、 $250\sim 350^{\circ}\text{C}$ 时，应该采用 Q235—A。

11.6.1.4 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它消除异种钢焊接影响的措施。

11.6.1.5 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 $\Phi 80\text{mm}$ 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，可不开设排气口。

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

11.6.1.6 裙座圆筒底部应设置一个排水孔，其结构尺寸如图 11—17 所示。

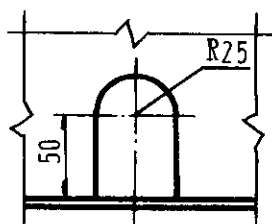


图 11—17 排水孔

11.6.1.7 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 11—18 和表 11—5 选取。

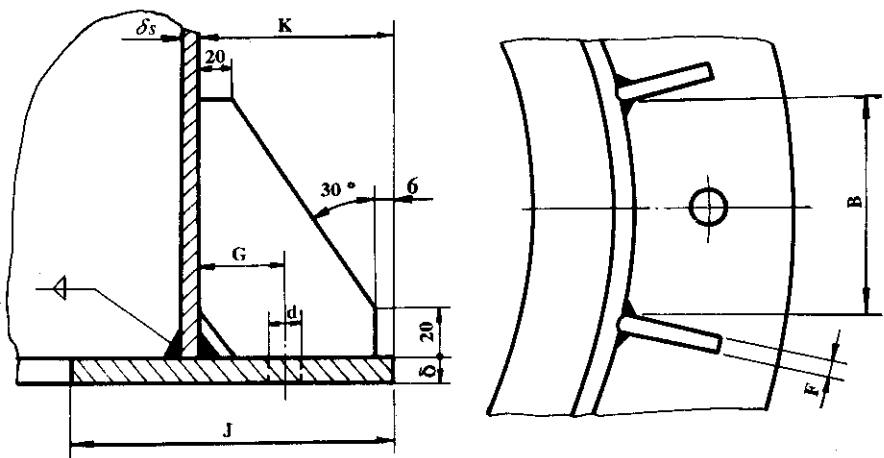


图 11—18 基础环和筋板结构

表 11—5 基础环和筋板尺寸 mm

螺栓直径	d	K	G	J	B	F
M16	20	60	35	120	80	6
M20	24	70	40	140	100	10
M22	26	77	40	150	110	10
M24	28	90	50	180	120	12
M30	36	100	55	200	140	12

- a. 地脚螺栓的数目为 4、8、12、16、20、24 等中的任一数目。
- b. 基础环的厚度 δ_b 由计算决定且不得小于 14mm，(包括附加量)。

基础环无筋板时，其厚度按式(11—43)计算：

$$\delta_b = 1.73b \sqrt{\frac{\sigma_{bmax}}{[\sigma]_b}} \dots\dots\dots (11-43)$$

基础环有筋板时，其厚度按式(11—44)计算：

$$\delta_b = \sqrt{\frac{6M_b}{[\sigma]_b}} \dots\dots\dots (11-44)$$

式中: M_x —— 计算力矩, 取矩形板对 x, y 轴的弯矩 M_x, M_y 中绝对值较大者, M_x, M_y 按 JB4710—92 中表 6—7 查取, $N \cdot mm/mm$;

$[\sigma]_b$ —— 基础环材料的许用应力, 对低碳钢取 $[\sigma]_b = 140 MPa$ 。

12 立式圆筒形储罐

本章适用于直接放置在沙垫层基础上的平底圆筒形自支承式拱顶或锥形顶盖储存非人工致冷液体的储罐(见图 12—1、12—2), 同时储罐还应符合下列条件:

- 设计压力为 $-500 Pa \sim 2000 Pa$;
- 注: 储罐的设计压力取呼吸阀开启排放(或吸入)压力的 1.2 倍。
- 设计温度高于 $-20^\circ C$ 且低于或等于 $250^\circ C$;
- 容积为 $20 m^3 \sim 10000 m^3$ 。

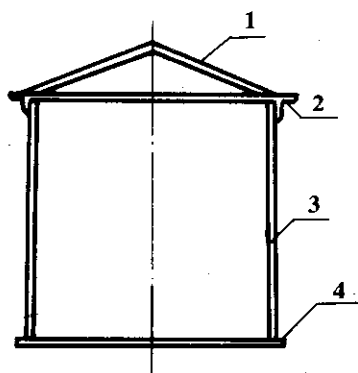


图 12—1 自支承锥顶罐简图

- 1—罐顶 2—包边角钢
3—罐壁 4—罐底

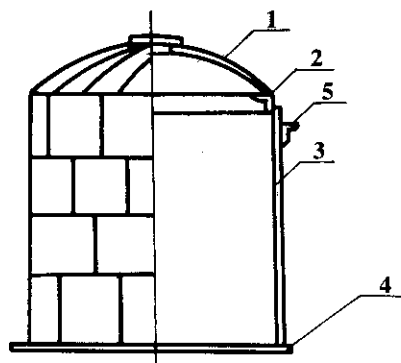


图 12—2 自支承拱顶罐简图

- 1—罐顶 2—包边角钢
3—罐壁 4—罐底 5—加强圈

12.1 符号说明

- A —— 罐顶与罐壁连接处的有效面积, mm^2 ;
 D_i —— 储罐的内直径, mm ;
 E' —— 设计温度下材料的弹性模量, MPa ;
 H_n —— 罐壁的当量高度, mm ;
 H_{ei} —— 第 i 层罐壁板的当量高度, mm ;
 h_i —— 第 i 层罐壁板的实际高度, mm ;
 L_e —— 每段罐壁板的当量高度, mm ;
 n —— 加强圈的数量(取整数);
 $[p]_{cr}$ —— 许用临界压力, MPa ;
 p_o —— 罐顶设计外压力(见 12.3.2 条), MPa ;
 q_o —— 建罐地区的基本风压值, MPa ;
 R_i —— 拱顶球面的内半径, mm ;
 δ —— 罐壁板的计算厚度, mm ;
 δ_1 —— 最薄层罐壁板的厚度, mm ;
 δ_{ei} —— 第 i 层罐壁板的有效厚度, mm ;

δ_t ——罐顶板的计算厚度, mm;

δ_{te} ——罐顶板的有效厚度, mm;

δ_s ——罐底边缘板的名义厚度, mm;

$[\sigma]'$ ——设计温度下材料的许用应力, MPa;

θ ——罐顶起始角(见图 12—3), ($^\circ$);

对拱顶, 罐顶与包边角钢连接处顶板经向切线与其水平投影的夹角;

对锥顶, 圆锥母线与其水平投影线的夹角。

12.2 罐壁板的设计

12.2.1 罐壁板的计算厚度按 5.2 条式(5—1)计算, 但式中焊接接头系数取 $\Phi=0.9$ 。当储液为腐蚀介质时, 尚应考虑腐蚀的影响, 同时罐壁板的名义厚度应不小于表 12—1 规定的最小厚度。

表 12—1

mm

储罐内直径 D_i	罐壁板最小厚度	
	碳素钢	奥氏体不锈钢
$D_i \leq 16000$	5	4
$16000 < D_i \leq 32000$	6	5

12.2.2 罐壁板的纵向焊接接头应采用全熔透的对接型式。

12.3 罐顶的设计

12.3.1 罐顶设计内压力

罐顶设计内压力取 1.2 倍呼吸阀的排放开启压力减去罐顶单位面积的重力。

当内压产生的提离力(内压乘以储罐的横截面积)大于罐顶加罐壁的重力时(包括罐壁上的固定件的重力), 储罐应考虑设置地脚螺栓。

12.3.2 罐顶设计外压应包括以下载荷:

- 罐顶结构的自重(当罐顶有隔热层时尚应计入隔热层的重力)。
- 单位面积上的附加载荷, 取在水平投影面积上不小于 1200N/m^2 。

12.3.3 罐顶设计的一般规定

12.3.3.1 顶板的最小厚度 4.5mm(不包括腐蚀裕量)。

12.3.3.2 顶板连接应符合以下规定:

- 顶板自身的拼接可采用对接或搭接, 搭接宽度不小于 5 倍板厚, 且不小于 25mm。
- 顶板与包边角钢之间的连接应采用薄弱连接, 外侧采用连续焊, 焊脚高度不应大于顶板厚度的 $3/4$, 且不大于 4mm, 内侧不得焊接(见图 12—4)。

12.3.4 自支承式锥顶

自支承式锥顶适用于直径小于 5m 的储罐。且锥顶的坡度不应小于 $1/6$, 但不得大于 $3/4$ 。

锥顶板的计算厚度按式(12—1)计算, 且顶板的有效厚度不小于 4.5mm。

$$\delta_t = \frac{2.24D_i}{\sin\theta} \sqrt{\frac{p_o}{E'}} \dots\dots\dots (12-1)$$

12.3.5 自支承式拱顶

12.3.5.1 拱顶的球面内半径宜取储罐内直径的 0.8~1.2 倍。

12.3.5.2 拱顶板的有效厚度不得小于 4.5mm。

12.3.5.3 光面拱顶的许用临界压力按式(12—2)计算:

$$p_{cr} = 0.1E' \left(\frac{\delta_{ts}}{R_i} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (12-2)$$

12.3.5.4 光面拱顶的稳定验算应符合式(12—3)的要求:

$$p_o \leq p_{cr} \quad \dots\dots\dots (12-3)$$

12.3.5.5 当不能满足式(12—3)要求时,可采用带肋拱顶,带肋拱顶的计算及连接要求见附录 F。

12.4 包边角钢的设计

罐顶与罐壁上端的连接处应设置包边角钢,包边角钢与罐壁的连接可以是对接或搭接,也可采用相当截面积的钢板组焊而成(见图 12—3)。

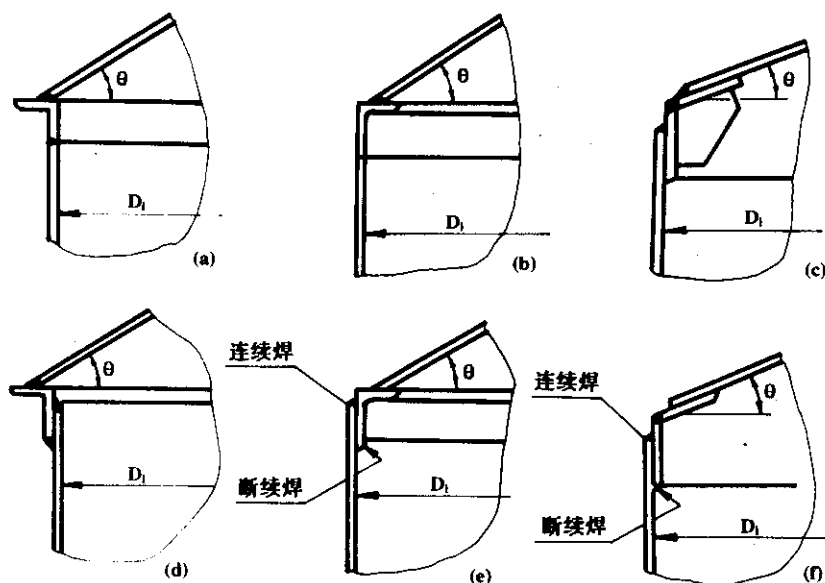


图 12—3

12.4.1 包边角钢截面尺寸的确定

12.4.1.1 罐顶与罐壁连接处的有效面积 A (包边角钢截面积加上与其相连接的罐壁和罐顶板上各 16 倍板厚范围内的截面积之和) 应满足下式要求:

$$A \geq \frac{pD_i^2}{8[\sigma]'\Phi tg\theta} \quad \dots\dots\dots (12-4)$$

式中: p —— 罐顶的设计压力, 取罐顶设计内压及设计外压中较大值 (见 12.3.1 及 12.3.2 条),

MPa;

 Φ ——焊接接头系数, $\Phi=0.9$ 。

12.4.1.2 罐顶与罐壁连接处的有效面积除按式(12—4)确定外,还应满足表 12—2 中包边角钢最小尺寸的要求。

表 12—2

mm

储罐内直径 D_i	包边角钢最小尺寸
$D_i \leq 5000$	$\angle 50 \times 50 \times 5$
$5000 < D_i \leq 10000$	$\angle 63 \times 63 \times 6$
$10000 < D_i \leq 20000$	$\angle 75 \times 75 \times 8$
$20000 < D_i \leq 32000$	$\angle 90 \times 90 \times 9$

12.4.1.3 按式(12—4)计算不能满足要求时,应加大包边角钢截面尺寸,当工艺生产允许时,也可在距包边角钢 16 倍罐壁厚度范围内设置环形加强件(见图 12—4)。

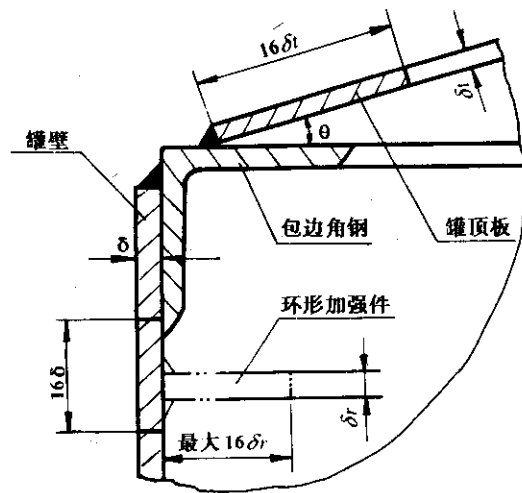


图 12—4

12.4.1.4 包边角钢自身的对接焊接接头应全熔透。

12.5 储罐底板的设计

12.5.1 直径小于 12.5m 的储罐底板宜采用条形排板组焊,直径大于或等于 12.5m 的储罐底板则宜采用弓形边缘板与中幅板组焊(见图 12—5)。

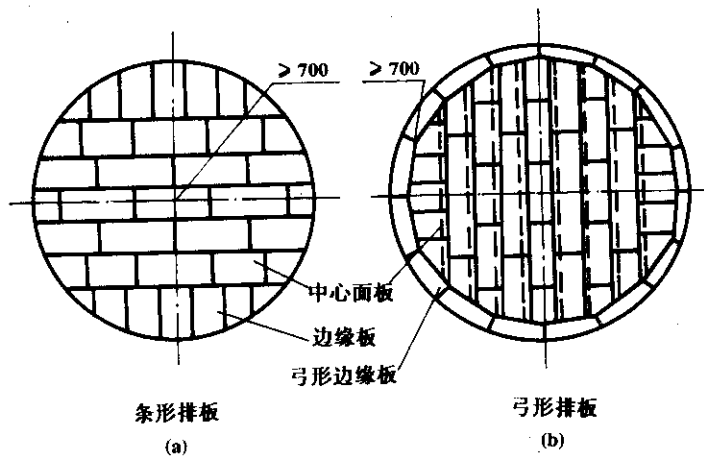


图 12—5

12.5.2 罐底边缘板沿储罐半径方向的最小尺寸应大于 700mm,对放置在软弱地基上的边缘板尺寸应适当加大。

12.5.3 罐底边缘板伸出罐壁外表面的宽度不小于 50mm(见图 12—6)。

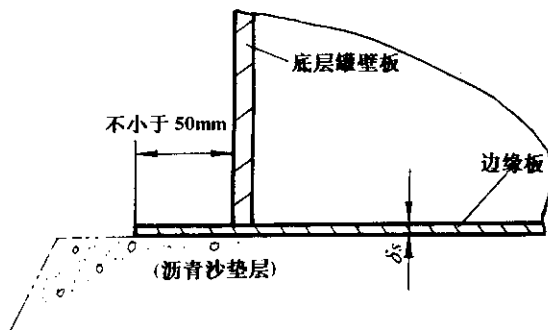


图 12—6

12.5.4 边缘板与底层壁板相焊的部位应做成平滑的支承面(见图 12—7),边缘板对接焊接接头下应加厚度不小于 4mm 的垫板,垫板必须与边缘板贴紧,当边缘板名义厚度小于 6mm 时,可不开坡口,但焊接接头间隙应大于 6mm。厚度大于 6mm 的边缘板应采用 V 型坡口。

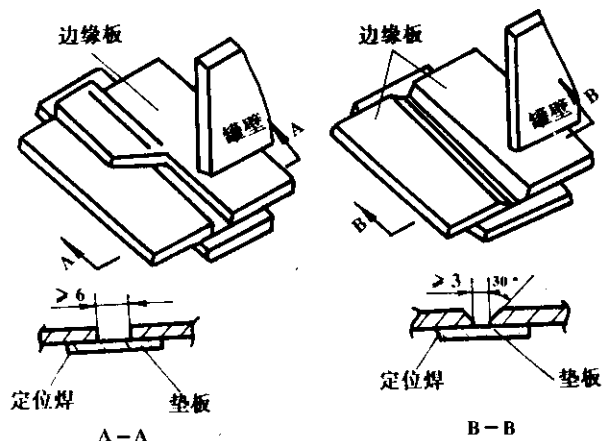


图 12—7

12.5.5 底层壁板与边缘板之间的连接,应采用两侧连续角焊。在地震设防烈度大于7度的地区建罐,底层壁板与边缘板之间的连接应采用图 12—8 的焊接型式,且角焊接头应圆滑过渡。而在地震设防烈度小于7度的地区可取 $K_2=K_1$ (见图 12—18)。

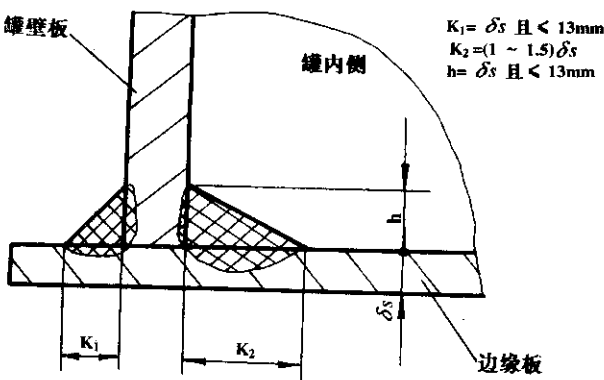


图 12—8

- 12.5.6 罐底边缘板的材质与底层壁板材质相同。
- 12.5.7 罐底边缘板的最小厚度不得小于表 12—3 的规定。

表 12—3 mm

底层壁板名义厚度	边缘板最小厚度	
	碳素钢	奥氏体不锈钢
≤6	6	同底层壁板
7~10	6	6
11~20	8	7
21~25	10	—

- 12.5.8 罐底中幅板和边缘板自身的搭接焊接接头及边缘板与中幅板之间的搭接焊接接头应采用单面连续角焊接头,焊脚高度等于较薄板件的厚度。
- 12.5.9 罐底板相邻两个焊接接头之间的距离及边缘板焊接接头距底层罐壁纵向焊接接头的距离均不应小于 300mm。
- 12.5.10 在三层底板重迭处应将上层底板切角(见图 12—9)。

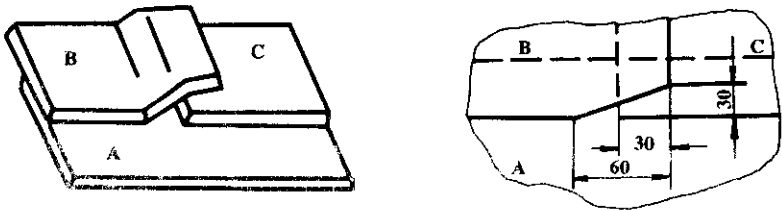


图 12—9

12.5.11 罐底中幅板的最小厚度不得小于表 12—4 的规定。

表 12—4 mm

储罐内直径 D_i	中幅板最小厚度	
	碳素钢	奥氏体不锈钢
$D_i \leq 10000$	5	4
$10000 < D_i \leq 20000$	6	4
$D_i > 20000$	6	4.5

12.5.12 罐底板与基础应全面接触,基础的设计应符合附录 E 的要求。

12.6 风载荷作用下罐壁稳定校核

12.6.1 罐壁的许用临界压力按式(12—5)计算。

$$p_{cr} = 5.06 \cdot 10^5 \left(\frac{D_i}{H_n} \right) \left(\frac{\delta_i}{D_i} \right)^{2.5} \quad \dots\dots\dots (12-5)$$

式中:

$$H_n = \sum H_{ei} \quad \dots\dots\dots (12-6)$$

$$H_{ei} = h_i \left(\frac{\delta_i}{\delta_{ei}} \right)^{2.5} \quad \dots\dots\dots (12-7)$$

12.6.2 罐壁的的稳定校核应满足式(12—8)要求。

$$p_{cr} \geq 2.25K_z q_0 + p_i \quad \dots\dots\dots (12-8)$$

式中: K_z ——风压高度变化系数;
 建罐地区为近海面、海岛、湖岸及沙漠地区时,取 $K_z=1.38$;
 建罐地区为田野、乡村、丛林、丘陵及房屋比较稀疏的中、小城镇和大城市郊区,取 $K_z=1.0$;
 对有密集建筑群的大城市市区, $K_z=0.71$;
 p_i ——储罐顶部呼吸阀负压设定压力的 1.2 倍,MPa.

12.6.3 当罐壁的临界压力不能满足式(12—8)的要求时,罐壁上应设置加强圈,加强圈的数量应按式(12—9)计算:

$$n = \frac{2.25K_z q_0 + p_i}{p_{cr}} \quad \dots\dots\dots (12-9)$$

12.6.4 需设置加强圈的罐壁,沿高度方向被分为(n+1)段,每一段罐壁的当量高度应按式(12—10)确定。

$$L_e = \frac{H_n}{(n+1)} \quad \dots\dots\dots (12-10)$$

- 12.6.5 加强圈在实际罐壁上的位置应符合下列要求；
- 当加强圈位于最薄层壁板上时,加强圈至包边角钢的实际距离等于式(12—10)的计算值。
 - 当加强圈不在最薄层罐壁板上时,加强圈至包边角钢的实际距离需进行换算。
- 12.6.6 加强圈的最小截面尺寸应符合表 12—5 的规定。

表 12—5 mm

储罐内直径 D_i	加强圈最小截面尺寸 (可用同等截面模数的型钢或组合件)
$D_i \leq 20000$	$\angle 100 \times 63 \times 8$
$20000 < D_i \leq 32000$	$\angle 125 \times 80 \times 8$

- 12.6.7 加强圈距罐壁环向焊接接头的距离不得小于 150mm。
- 12.6.8 加强圈与罐壁的连接见图 12—10,加强圈自身的焊接接头应全熔透。

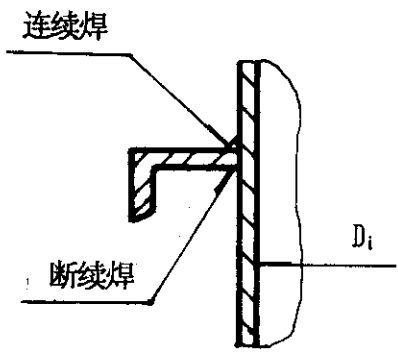


图 12—10

- 12.7 储罐的抗震校核
- 在地震设防地区建罐,需进行抗震校核。立式圆筒形储罐的抗震设计见附录 C。
- 12.8 附件
- 储罐的附件应包括:罐壁人孔、罐顶人孔、清扫孔、呼吸阀、量油孔、排水槽、梯子平台等。其附件应根据工艺生产要求设置并按有关规定选用。

13 矩形容器

13.1 适用范围

本章适用于直接与大气连通(或敞开式)且仅承受液体静压的矩形容器,根据需要矩形容器可分成几个独立的器室。

13.2 符号说明

- a ——拉杆水平间距, mm ;
 B ——容器宽度, mm ;
 b ——扁钢宽度, mm ;
 C ——厚度附加量, $C=C_1+C_2$, mm ;
 C_1 ——钢板(或扁钢)厚度负偏差, mm ;
 C_2 ——腐蚀裕量, mm ;
 d ——拉杆直径, mm ;
 d_i ——第 i 截面拉杆直径, mm ;
 E' ——设计温度下材料的弹性模量, MPa ;
 F_i ——第 i 截面单位长度上的载荷, N/mm ;
 g ——重力加速度, m/s^2 ;
 H ——容器高度, mm ;
 H_i ——第 i 段加固圈或拉杆、联杆段距(见表 13—2), mm ;
 h ——拉杆垂直间距, mm ;
 h_i ——顶边距第 i 截面加固圈、拉杆或联杆距离, mm ;
 I_x ——组合截面惯性矩, mm^4 ;
 I ——顶边加固件所需惯性矩, mm^4 ;
 I_i ——第 i 截面加固圈所需惯性矩, mm^4 ;
 $i=1, 2, 3, \dots$;
 L ——容器长度, mm ;
 L_1 ——底板支承梁间距, mm ;
 L_2 ——拉杆或联杆长度, mm ;
 L_3 ——加固柱间距, mm ;
 M ——加固柱承受的最大弯矩, $N \cdot mm$;
 Z ——加固柱所需截面系数, mm^3 ;
 Z_x ——组合截面所需截面系数, mm^3 ;
 δ ——壁板或底板计算厚度, mm ;
 δ_d —— $\delta_d = \delta + C$, mm ;
 δ_i ——第 i 段壁板计算厚度, mm ;
 δ_n ——壁板、盖板或底板的名义厚度, mm ;
 δ_{nb} ——扁钢名义厚度, mm ;
 σ_{t1} ——拉杆或联杆自身重力引起的拉应力, MPa ;
 σ_{t2} ——液体静压引起的拉应力, MPa ;
 σ_n ——拉杆或联杆自身重力引起的弯曲应力, MPa ;
 σ_{max} ——作用于拉杆或联杆的最大应力, MPa ;
 $[\sigma]^t$ ——设计温度下材料的许用应力(见第 4 章), MPa ;
 $[\sigma]^b$ ——常温下结构件材料的许用应力(见第 4 章), MPa ;
 $[\sigma]_{lt}$ ——常温下拉杆或联杆抵抗液体静压对外推力的许用应力, MPa ;

材料为 Q235-A.F 或 Q235-A 时,

$[\sigma]_w = 55 \text{ MPa}$;

ρ ——储液密度,取不小于水的密度, kg/mm^3 ;

γ ——拉杆或联杆材料密度, kg/mm^3 。

13.3 结构型式

13.3.1 矩形容器可采用顶边加固、垂直加固、横向加固、拉杆加固、垂直和横向组合加固及带双向水平联杆垂直加固等 6 种结构型式。

13.3.2 矩形容器板边连接型式及器壁加固措施如图 13—1 所示。

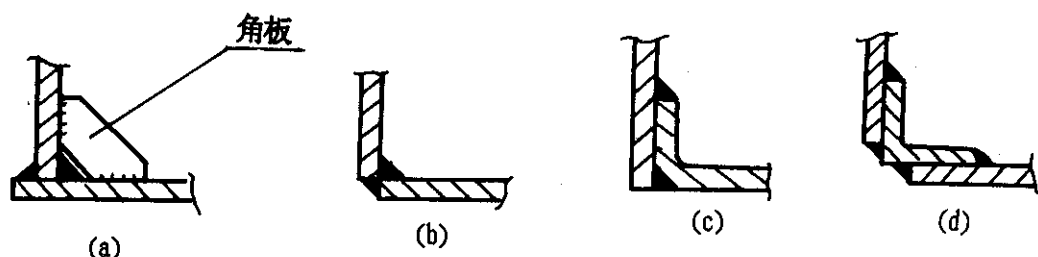


图 13—1 板边连接焊接接头

对垂直加固的矩形容器,如采用角板加固(图 13—1(a))时,此角板位置应与加固柱对中。

13.3.3 容器内部设置有分室隔板时,隔板应按壁板设计。

13.3.4 壁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的 1/2。

13.3.5 矩形容器可置于平面基础上,也可用型钢支承(如图 13—2)。

13.4 顶边加固的壁板计算

顶边加固件应设置于壁板顶边四周。见图 13—2。

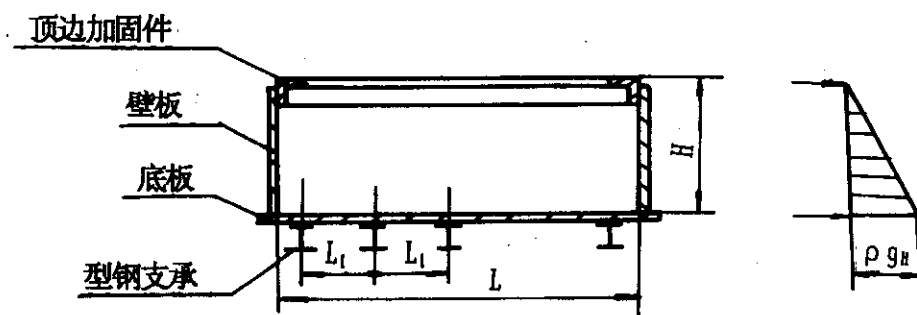


图 13—2 顶边加固的矩形容器

壁板计算厚度按式(13—1)计算:

$$\delta = 2.45L \sqrt{\frac{\alpha \rho g H}{[\sigma]'}} \quad \dots\dots\dots (13-1)$$

式中: α ——系数,查图 13—3。

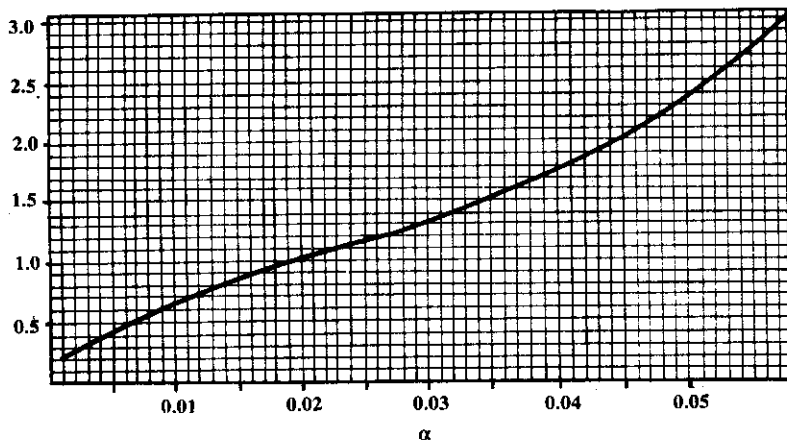


图 13—3

顶边加固件所需的惯性矩按式(13—2)计算:

$$I = 0.217 \frac{\rho g H^2 L^3}{E'} \dots\dots\dots (13-2)$$

加固件一般采用角钢,其规格不应小于 $\angle 50 \times 50 \times 5$ 。

13.5 垂直加固的壁板计算

垂直加固矩形容器见图 13—4。

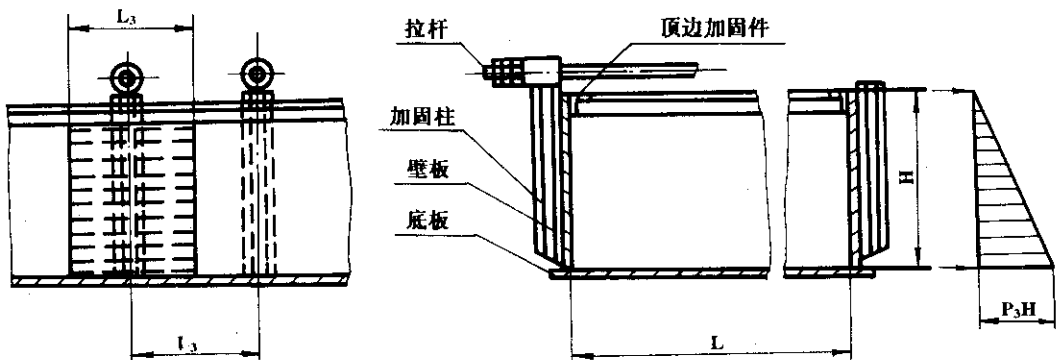


图 13—4 垂直加固的矩形容器

13.5.1 加固柱

加固柱最大间距:

先假设壁板厚度 δ_* 值,加固柱的最大间距按式(13—3)计算:

$$L_3 = 0.408(\delta_* - C) \sqrt{\frac{[\sigma]^t}{\alpha \rho g H}} \dots\dots\dots (13-3)$$

加固柱所需的截面系数按式(13—4)计算:

$$Z = L_3 \left(\frac{0.0642 \rho g H^3}{[\delta]^t} - \frac{(\delta_* - C)^2}{6} \right) \dots\dots\dots (13-4)$$

当有拉杆时,顶边加固件所需的惯性矩按式(13—5)计算:

$$I=0.217 \frac{\rho g H^2 L_3^3}{E'} \dots\dots\dots (13-5)$$

当无拉杆时,顶边加固件所需的惯性矩按式(13—2)计算。

13.5.2 圆钢拉杆

当拉杆长度 $L_2 \geq 363d^{2/3}$, 拉杆直径 $d=16 \sim 24mm$ 时, 则拉杆直径按式(13—6)计算。

$$d=0.553H \sqrt{\frac{\rho g L_3}{[\sigma]_k}} + C_2 \dots\dots\dots (13-6)$$

当拉杆长度 $L_2 < 363d^{2/3}$ 时;

拉杆自身重力引起的拉应力按式(13—7)计算:

$$\sigma_{t1}=0.864E' \frac{d^2}{L_2^2} \dots\dots\dots (13-7)$$

拉杆自身重力引起的弯曲应力按式(13—8)计算:

$$\sigma_s=\gamma g \frac{L_2^2}{d} \dots\dots\dots (13-8)$$

液体静压作用于拉杆上引起的拉应力按式(13—9)计算:

$$\sigma_{t2}=0.306 \frac{\rho g H^2 L_3}{d^2} \dots\dots\dots (13-9)$$

拉杆的最大应力按式(13—10)计算:

$$\sigma_{max}=\sigma_{t1}+\sigma_s+\sigma_{t2} \dots\dots\dots (13-10)$$

σ_{max} 应满足式(13—11)的要求:

$$\sigma_{max} \leq [\sigma]_k \dots\dots\dots (13-11)$$

13.6 横向加固的壁板计算:

横向加固的矩形容器见图 13—5。

13.6.1 顶边加固件所需的惯性矩按式(13—12)计算:

$$I=0.217 \frac{\rho g h_1^2 L^3}{E'} \dots\dots\dots (13-12)$$

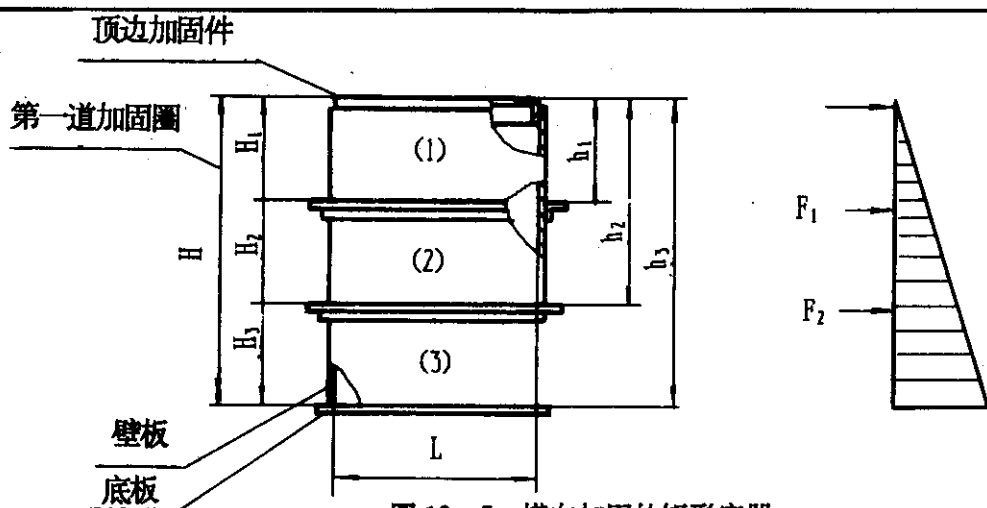


图 13—5 横向加固的矩形容器

13.6.2 推荐的加固圈数量与段距见表 13—1 和 13—2。

表 13—1 加固圈数量

容器高 H (mm)	1500~2100	>2100~3000	>3000~4000	>4000
加固圈数量(个)	1	2	3	4

表 13—2 加固圈段距

段距 H_i (mm) 数量 (个)	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	$0.31H$	$0.21H$	$0.18H$	$0.16H$	$0.14H$

第 1 道横向加固圈单位长度上的载荷按式(13—13)计算:

$$F_1 = \frac{1}{6} \rho g h_2 (h_1 + h_2) \dots\dots\dots (13-13)$$

第 1 道横向加固圈所需的惯性矩按式(13—14)计算:

$$I_1 = 1.3 F_1 \frac{L^3}{E^t} \dots\dots\dots (13-14)$$

第 1 段壁板计算厚度按式(13—15)计算:

$$\delta_1 = L \sqrt{\frac{3\alpha_1 \rho g h_1}{[\sigma]^t}} \dots\dots\dots (13-15)$$

式中 α_1 值由 H_1/L 按图 13—3 查得。

由矩形容器顶端算起,第*i*(*i*=2、3、4…)道横向加固圈单位长度上的载荷按式(13—16)计算。

$$F_i = \frac{1}{6} \rho g (h_{i+1} - h_{i-1}) (h_{i+1} + h_i + h_{i-1}) \dots\dots\dots (13-16)$$

第*i*道横向加固圈所需的惯性矩按式(13—17)计算:

$$I_i = 1.3 F_i \frac{L^3}{E^t} \dots\dots\dots (13-17)$$

第*i*段壁板计算厚度按式(13—18)计算:

$$\delta_i = L \sqrt{\frac{6 \alpha_i \rho g (h_{i-1} + h_i)}{[\sigma]^t}} \dots\dots\dots (13-18)$$

式中 α_i 值由 H_i/L 按图 13—3 查得。

13.7 拉杆加固的壁板计算

对较大矩形容器,可采用内部拉杆结构,见图 13—6。

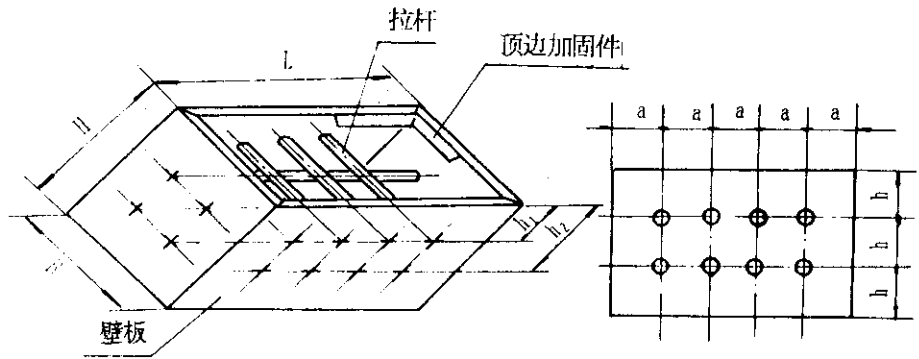


图 13—6 拉杆加固的矩形容器

壁板计算厚度按式(13—19)计算:

拉杆间距 $a \approx h$ 时:

$$\delta = h \sqrt{\frac{\rho g h_i}{2[\sigma]^t}} \dots\dots\dots (13-19)$$

拉杆直径按式(13—20)计算,且不应小于 6mm。

$$d_i = 1.13 \sqrt{\frac{a h \rho g h_i}{[\sigma]^t}} + C_2 \dots\dots\dots (13-20)$$

顶边加固件所需的惯性矩按式(13—12)计算。

13.8 垂直和横向组合加固的壁板计算。

在矩形容器高 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。见图 13—7。

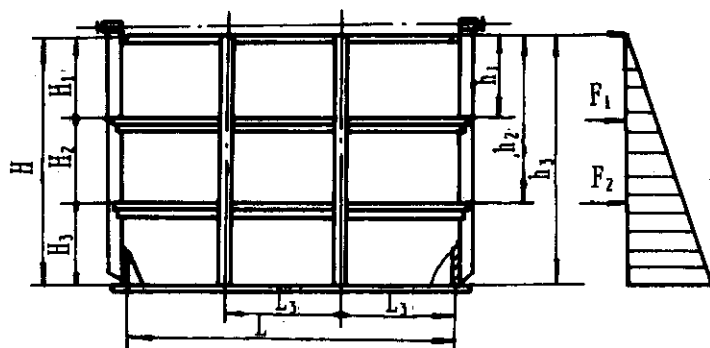


图 13—7 垂直和横向加固的矩形容器

该种型式的容器按 13.6 条计算。公式中的 L 应换成 L_3 以确定加固圈、顶边加固件所需的惯性矩和壁板厚度。并按 13.5 条确定垂直加固柱和拉杆的规格尺寸。

13.9 带双向水平联杆垂直加固的壁板计算。

该型式为内部加固的矩形容器，通常在垂直加固柱中间再设置一排或两排不等距联杆。顶部联杆作为支承盖板的杆件。见图 13—8。

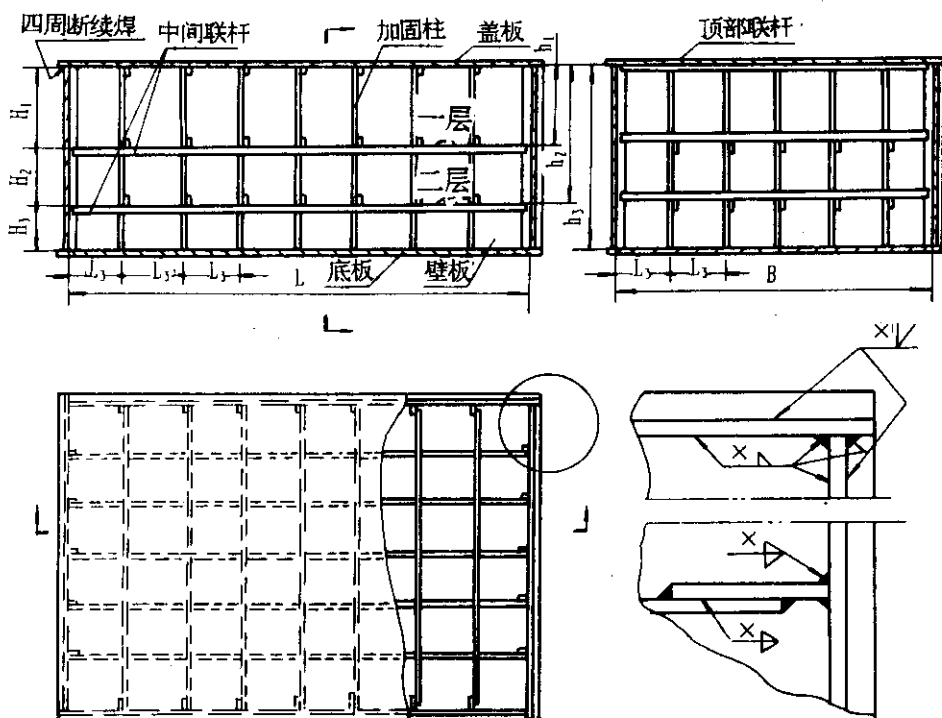


图 13—8 带双向水平联杆的垂直加固矩形容器

13.9.1 设置一层联杆的矩形容器

a. 加固柱

按表 13—2 设置与加固柱连接的一层联杆, $H_1 = 0.6H$ 。

加固柱所需的截面系数按式(13—21)计算:

$$Z = L_3 \left(\frac{0.015 \rho g H^3}{[\sigma]^4} - \frac{(\delta_s - C)^2}{6} \right) \dots\dots\dots (13-21)$$

b. 扁钢联杆

中间联杆:

联杆自身重力引起的拉应力按式(13—22)计算:

$$\sigma_{11} = 0.8 E' \frac{b^2}{L_2^2} \dots\dots\dots (13-22)$$

联杆自身重力引起的弯曲应力按式(13—22)计算:

$$\sigma_n = 0.75 \frac{\gamma g L_2^2}{b} \dots\dots\dots (13-23)$$

液体静压作用于中间联杆上引起的拉应力按式(13—24)计算:

$$\sigma_{12} = 0.27 \frac{\rho g H^2 L_3}{(\delta_{nb} - 2C)(b - 2C)} \dots\dots\dots (13-24)$$

中间联杆的最大应力按式(13—25)计算:

$$\sigma_{max} = \sigma_{11} + \sigma_n + \sigma_{12} \dots\dots\dots (13-25)$$

σ_{max} 应满足(13—26)要求:

$$\sigma_{max} \leq [\sigma] \dots\dots\dots (13-26)$$

顶部联杆:

顶部联杆计算组合截面见图 13—9。

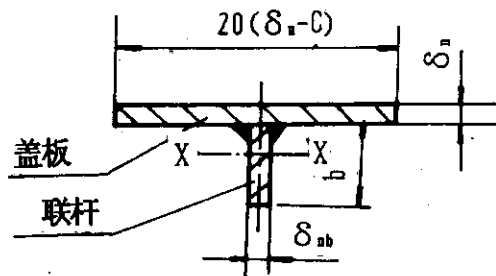


图 13—9 联杆计算组合截面

联杆自身重力引起的拉应力按式(13—27)计算:

$$\sigma_{11} = 9.6 E' \frac{I_s}{L_2^2 (\delta_{nb} b + \delta_n L_3)} \dots\dots\dots (13-27)$$

联杆自身重力引起的弯曲应力按式(13—28)计算:

$$\sigma_s = 9.62 \times 10^{-6} \frac{L_2^2 (\delta_{ab} b + \delta_s L_3)}{Z_s} \dots\dots\dots (13-28)$$

液体静压作用于顶部联杆上的拉应力按式(13—29)计算:

$$\sigma_{t2} = 0.06 \frac{\rho g H^2 L_3}{(b-c)(\delta_{ab} - 2C) + L_3(\delta_s - C)} \dots\dots\dots (13-29)$$

联杆的最大应力按式(13—30)计算:

$$\sigma_{max} = \sigma_{t1} + \sigma_s + \sigma_{t2} \dots\dots\dots (13-30)$$

σ_{max} 应满足式(13—31)要求:

$$\sigma_{max} \leq [\sigma]^t \dots\dots\dots (13-31)$$

以上式中组合截面的惯性矩 I_s 、组合截面系数 Z_s 按截面力学特性公式计算。

13.9.2 设置两层联杆的矩形容器

a. 加固柱

按表 13—2 设置与加固柱连接的两层联杆。 $H_1 = 0.45H$; $H_2 = 0.3H$; $H_3 = 0.25H$ 。

加固柱所需的截面系数按式(13—32)计算:

$$Z = L_3 \left[\frac{0.0054 \rho g H^3}{[\sigma]^t} - \frac{(\delta_s - C)^2}{6} \right] \dots\dots\dots (13-32)$$

b. 扁钢联杆

第一层联杆:

由联杆自身重力引起的拉应力 σ_{t1} 和弯曲应力 σ_s 分别按式(13—22)和式(13—23)计算。

液体静压作用于第一层联杆上引起的拉应力按式(13—33)计算。

$$\sigma_{t2} = 0.15 \frac{\rho g H^2 L_3}{(\delta_{ab} - 2C)(b - 2C)} \dots\dots\dots (13-33)$$

联杆的最大应力按式(13—34)计算:

$$\sigma_{max} = \sigma_{t1} + \sigma_s + \sigma_{t2} \dots\dots\dots (13-34)$$

σ_{max} 应满足式(13—35)要求:

$$\sigma_{max} \leq [\sigma]^t \dots\dots\dots (13-35)$$

第二层联杆

σ_{t1} 和 σ_s 按式(13—22)和式(13—23)计算。

液体静压作用于第二层联杆上引起的拉应力按式(13—36)计算:

$$\sigma_{t2} = 0.202 \frac{\rho g H^2 L_3}{(\delta_{ab} - 2C)(b - 2C)} \dots\dots\dots (13-36)$$

联杆的最大应力按式(13—37)计算:

$$\sigma_{max} = \sigma_{t1} + \sigma_a + \sigma_{t2} \dots\dots\dots (13-37)$$

σ_{max} 应满足式(13—38)要求:

$$\sigma_{max} \leq [\sigma]^t \dots\dots\dots (13-38)$$

顶部联杆:

顶部联杆计算组合截面见图 13—9。

联杆自身重力引起的拉应力 σ_{t1} 和弯曲应力 σ_a 分别按式(13—27)和(13—28)计算。

液体静压作用于顶部联杆上的拉应力按式(13—39)计算:

$$\sigma_{t2} = 0.034 \frac{\rho g H^2 L_3}{(b-c)(\delta_{ab} - 2C) + L_3(\delta_a - C)} \dots\dots\dots (13-39)$$

联杆的最大应力按式(13—40)计算:

$$\sigma_{max} = \sigma_{t1} + \sigma_a + \sigma_{t2} \dots\dots\dots (13-40)$$

σ_{max} 应满足式(13—41)的要求。

$$\sigma_{max} \leq [\sigma]^t \dots\dots\dots (13-41)$$

13.9.3 壁板计算厚度按式(13—15)和式(13—18)校核,式中用 L_3 代替 L 。

13.10 矩形容器底板

底板结构见图 13—2 和图 13—4。

13.10.1 型钢支承的底板计算厚度按式(13—42)计算:

$$\delta = 0.8L_1 \sqrt{\frac{\rho g H}{[\sigma]^t}} \dots\dots\dots (13-42)$$

如果已知底板厚度 δ_a (或先设 δ_a), 则支承梁的最大间距按式(13—43)计算:

$$L_1 = 1.25(\delta_a - C) \sqrt{\frac{[\sigma]^t}{\rho g H}} \dots\dots\dots (13-43)$$

13.10.2 底板在平基础上全平面支承

当底板整个表面被支承时,底板最小厚度常用 4~6mm (或与壁板等厚),必要时另加腐蚀裕量。

14. 料仓

14.1 总则

本章适用于圆筒形的常温、常压固体(松散的粒料或粉料)料仓。设计压力为 -500Pa 至 2000Pa 。仓盖可采用锥顶或拱顶,仓体采用焊接结构;料仓支承方式可采用耳式支座、环形支座、裙座、必要时亦可采用悬吊结构。

料仓主体(包括圆筒、仓盖、锥底及裙座)所用钢材及许用应力的选用,按本标准中第4章有关规定。

几种典型的料仓结构示意图见图14—1。

一般常见的松散物料的物性参数参看表14—1。

14.2 符号说明

C ——壁厚附加量, mm

C_1 ——钢板的厚度负偏差, mm

C_2 ——腐蚀裕量, mm

对于碳钢和低合金钢,取 C_2 不小于 1mm ;

对于不锈钢,当介质的腐蚀性极微时,取 $C_2=0$;

对于裙座壳取 $C_2=2\text{mm}$;

对于地脚螺栓取 $C_2=3\text{mm}$ 。

D_i ——料仓内直径, mm ;

E ——材料弹性模量, MPa ;

e ——自然对数的底;

g ——重力加速度, 9.81m/s^2 ;

H ——料仓直段高度, mm ;

H_c ——料仓锥底高度, mm ;

H_o ——料仓总高度, mm ;

h ——料仓计算截面以上的储料高度, mm ;

k ——侧压系数;

$$k = \frac{P_h}{P_v}$$

M_E ——由地震力引起的弯矩, $\text{N} \cdot \text{mm}$;

M_w ——由风载荷引起的弯矩, $\text{N} \cdot \text{mm}$;

p ——设计压力, MPa ;

P_f ——物料对仓壁产生的摩擦力, MPa ;

P_h ——物料在计算截面上垂直于仓壁的压力, MPa ;

P_v ——物料在计算截面上的垂直轴向压力, MPa ;

T_1 ——料仓基本自振周期, s ;

T_i ——料仓第 i 振型的自振周期, s ;

W_e ——地震载荷, N ;

W_o ——料仓储料重量, N ;

W_0 ——料仓自重, N ;

α ——料仓锥底与仓筒所成之倾角, $(^\circ)$;

$$\alpha = 90^\circ - \theta$$

γ ——物料堆积比重, KN/m^3 ;

- δ ——计算壁厚,mm;
 θ ——料仓锥底的半顶角,°;
 σ_f ——摩擦应力,MPa;
 σ_s ——材料屈服点,MPa;
 σ_z ——轴向应力,MPa;
 σ_θ ——周向应力,MPa;
 σ_Σ ——组合应力,MPa;
 ψ ——物料内摩擦角,°。

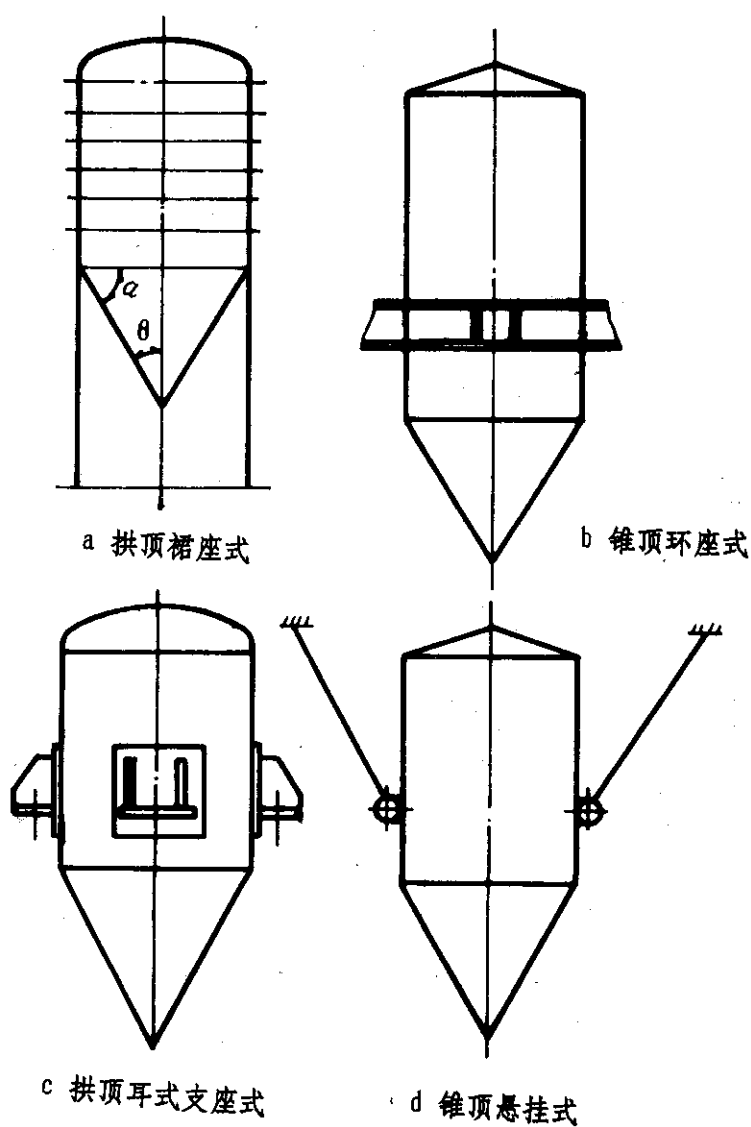


图 14—1

表 14—1 常见物料的物性系数

名称	堆积比重 KN/m^3	真比重 KN/m^3	安息角 (度)	内摩擦角 ψ (内摩擦系数)	物料与仓壁摩擦角 (摩擦系数)
聚乙烯(粒料)	6.0~7.0	9.4~9.7	35°	35° (0.70)	18° (0.3~0.36)
聚乙烯(粉料)	3.0~4.0	9.4~9.7	35°~40°	35°~38° (0.70~0.78)	18°~20° (0.32~0.36)
聚丙烯(粒料)	5.0	9.0~9.5	38°~40°	35.5°~37° (0.74~0.76)	15°~18° (0.27~0.32)
聚丙烯(粉料)	3.7~4.5	9.0~9.5	35°~38°	(35°~36.5°) (0.70~0.74)	15°~18° (0.27~0.32)
ABS(粒料)	5.0	15.8	40°	(38°) (0.78)	18°~22° (0.32~0.40)
ABS(粉料)	4.8	10.1	30°~35°	31°~35° (0.60~0.70)	15°~20° (0.27~0.36)
聚苯乙烯(粒料)	5.0~6.0	10.5	30°	35° (0.70)	20° (0.36)
聚苯乙烯(粉料)	5.0~6.0	10.3	30°~35°	31°~35° (0.60~0.70)	15°~18° (0.27~0.32)
聚酯(粒料)	6.0~7.0	12.8	40°	38° (0.78)	19° (0.34)
聚酯(粉料)	6.0~6.5	10.3	30°~38°	31°~35° (0.60~0.70)	17° (0.30)
砂	14.0~18.0	26.2	35°	32° (0.62)	18° (0.32)
米	8.6	14.3	20°~25°	29° (0.554)	15°~16° (0.27~0.29)
砂糖	9.1	15.9	35°	37° (0.754)	34° (0.67)
大豆	7.6	11.6	28°	39° (0.81)	17°~19° (.30~0.34)
小麦	8.6	13.8	32°~35°	25° (0.466)	25°40' (0.48)
尿素	7.6	13.3	35°~38°	22° (0.405)	11°~14° (0.19~0.25)
离子交换树脂	14.6	23.9	45	26° (0.49)	20°~22° (0.26~0.40)

14.3 计算步骤

a. 根据 14.5 条计算物料对仓体的各种作用力；

b. 根据 14.6 条计算自振周期和 14.7、14.8 条计算料仓的地震载荷与风载荷以及由它们所产生的地震弯矩和风弯矩,并选择其中之较大者,用于强度计算;

c. 根据 14.11 条计算料仓的雪载荷与仓顶附加载荷;

d. 根据以上得出的有关载荷,按 14.12 条的有关规定计算或校核仓筒各计算截面(包括所有危险截面)处的应力或壁厚;根据 14.13 条的各有关规定计算或校核锥体各计算截面(包括所有危险截面)的应力或壁厚;根据 14.14 条的各项有关规定计算或校核仓顶的应力和壁厚;根据 14.15 条的各有关规定,计算或校核角钢圈、加强圈和各种支承或悬吊件的应力或尺寸。

14.4 料仓质量

料仓的操作质量

$$m_0 = m_{01} + m_{02} + m_{03} + m_{04} + m_{05} + m_a + m_r \dots\dots\dots (14-1)$$

式中: m_{01} ——仓壳(如果用裙座则包括裙座)质量, kg;

m_{02} ——内件质量, kg;

m_{03} ——保温或防护材料质量, kg;

m_{04} ——平台扶梯质量, kg;

m_{05} ——操作时料仓内物料质量, kg;

m_a ——人孔、接管、法兰及仓顶安装的各附属件质量, kg;

m_r ——偏心质量, kg。

14.5 物料对料仓的作用力

14.5.1 仓储物料重量

仓筒内储存的松散物料重量,按所储物料的堆积比重 γ 进行计算:

$$W_0 = \frac{\gamma\pi}{4} D_i^2 (H + \frac{H_0}{3}) \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots (14-2)$$

14.5.2 物料在料仓筒任一截面 I—I 处产生的垂直轴向压力

料仓仓筒内所贮物料在任一截面 I—I (图 14-3) 处产生轴向压力 P_v , 其值按式(14-3)计算:

$$P_v = \frac{\gamma D_i}{4k\mu} (1 - e^{-\frac{4k\mu H}{D_i}}) \times 10^{-6} \dots\dots\dots (14-3)$$

式中: k ——物料侧压系数,按式(14-4)计算:

$$k = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} = \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2}) \dots\dots\dots (14-4)$$

μ ——物料与仓筒壁间的摩擦系数,见表 14-1。

14.5.3 物料在料仓筒任一截面 I—I 处产生的垂直于壁的水平压力。

由料仓筒内所储物料在任意计算截面 I—I 处产生的垂直于壁的水平压力按式(14-5)计算:

$$P_h = kP_v \dots\dots\dots (14-5)$$

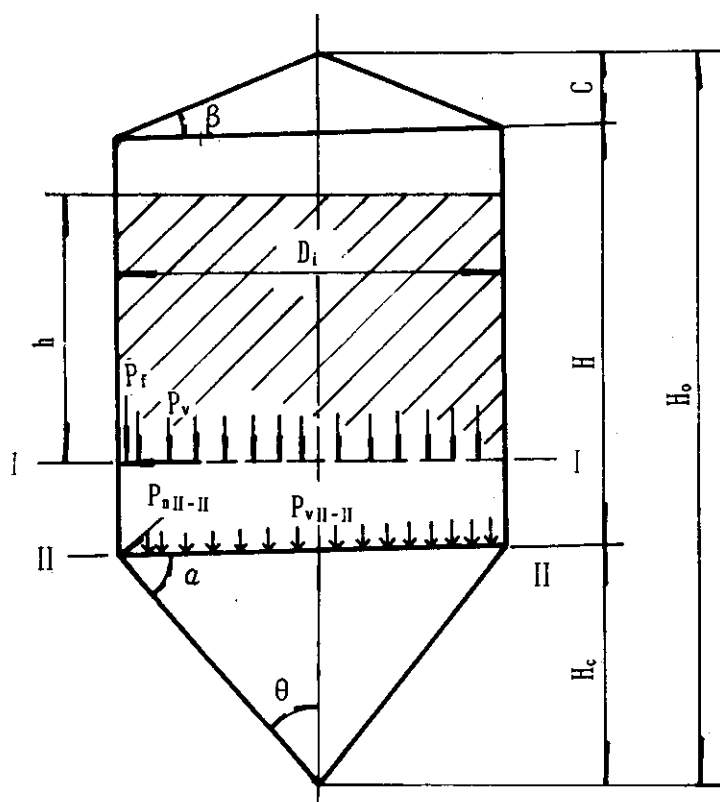


图 14—2

14.5.4 物料与仓壁间的摩擦力

在计算截面 $i-i$ 以上,产生于仓壁表面上的总摩擦力为:

$$P_f^{i-i} = \frac{\pi D_i}{4} (k^{i-i} \gamma 10^{-6} - p_v^{i-i}) \dots \dots \dots (14-6)$$

式中: P_f^{i-i} —— $i-i$ 截面上仓壁表面上的总摩擦力, N 。

14.5.5 物料对锥底大端产生的壁面法向力

物料对料仓锥体大端产生垂直于锥壁的法向力 P_n (图 14—2), 其值按式 (14—7) 计算:

$$P_n^{I-I} = P_h^{I-I} \sin^2 \alpha + P_v^{I-I} \cos^2 \alpha \dots \dots \dots (14-7)$$

式中, P_n^{I-I} ——物料对料仓大端产生的垂直于锥壁的法向力, MPa ;

P_h^{I-I} 为仓筒与锥体连接面 $II-II$ 上的垂直轴向应力, MPa ;

P_v^{I-I} 为仓筒与锥体连接面 $II-II$ 上的水平应力, MPa 。

14.6 自振周期

14.6.1 等厚度(或可视为等厚度)料仓的基本自振周期按式(14—8)计算:

$$T = 90.33H \sqrt{\frac{m_o H}{E \delta D_i^3}} \times 10^{-3} \dots \dots \dots (14-8)$$

式中: T ——料仓自振周期, s 。

14.6.2 不等厚度料仓自振周期

不等厚度料仓可视为一多个质点体系, 如图 14—3 所示。其基本自振周期按式 (14—9) 计算。其中直径和厚度不变的每段料仓质量, 可视为作用在该段高度二分之一处的集中质量。

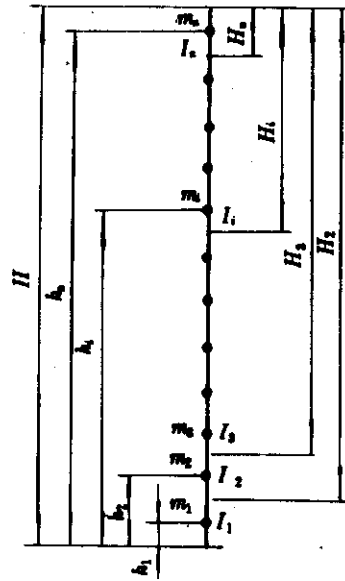


图 14—3

$$T = 114.8 \sqrt{\sum_{i=1}^n m_i \left(\frac{h_i}{H} \right)^3 \left(\sum_{i=1}^n \frac{H_i^3}{E_i I_i} - \sum_{i=2}^n \frac{H_i^3}{E_{i-1} I_{i-1}} \right)} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (14-9)$$

式中: E_i, E_{i-1} ——第 i 段、第 $i-1$ 段仓壁材料的弹性模量, MPa;
 I_i, I_{i-1} ——第 i 段、第 $i-1$ 段仓壁的截面惯性矩, mm^4 ;

圆筒段
$$I_i = \frac{\pi}{8} (D_i + \delta_n)^3 \delta_n \dots\dots\dots (14-10)$$

δ_n ——各计算截面设定(或已有)的有效厚度, mm;
 m_i ——第 i 段仓仓质量, kg。

14.7 地震载荷

14.7.1 水平地震力 任意高度 h_k 处的集中质量 m_k 引起的基本振型水平地震力按式(14—11)计算:

$$F_{k1} = C_z \alpha_1 \eta_{k1} m_k g \dots\dots\dots (14-11)$$

式中: F_{k1} ——集中质量 m_k 引起的基本振型水平地震力, N;
 C_z ——综合影响系数, 取 $C_z = 0.5$;
 m_k ——距地面 h_k 处的集中质量(见图 14—4), kg;
 α_1 ——对应于料仓基本自振周期 T_1 的地震影响系数 α 值;
 α ——地震影响系数, 查图 14—5, 图中曲线部分按公式计算, 但不得小于 $0.2\alpha_{max}$

$$\alpha = \left(\frac{T}{T} \right)^{0.9} \alpha_{max} \dots\dots\dots (14-12)$$

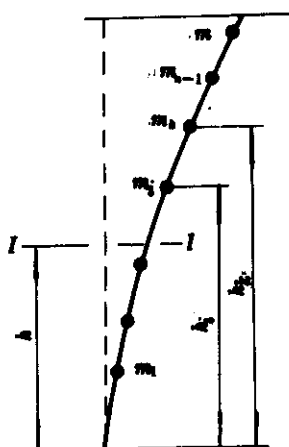


图 14—4

α_{max} ——地震影响系数的最大值,见表 14—2

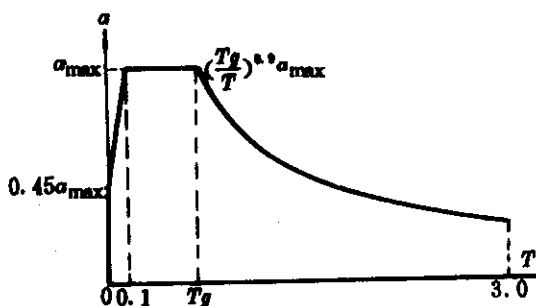


图 14—5

表 14—2 地震影响系数 α 的最大值

设计烈度	7	8	9
α_{max}	0.23	0.45	0.90

η_{k1} ——基本振型参与系数;

$$\eta_{k1} = \frac{h_i^{1.5} \sum_{i=1}^n m_i h_i^{1.5}}{\sum_{i=1}^n m_i h_i^3} \dots\dots\dots (14-13)$$

T_g ——各类场地土的特征周期,见表 14—3。

表 14—3 场地土的特征周期 T_g S

场地土	近 震	远 震
I	0.2	0.25
II	0.3	0.40
III	0.4	0.55
IV	0.65	0.85

14.7.2 垂直地震力

设防烈度为 8 度或 9 度区的料仓应考虑上下两个方向垂直地震力的作用,如图 14—6 所示。
料仓底截面处的垂直地震力按式(14—14)计算:

$$F_v^{0-0} = \alpha_{vmax} \cdot M_{eq} \cdot g \dots\dots\dots (14-14)$$

式中: F_v^{0-0} ——底截面垂直地震力, N ;

α_{vmax} ——垂直地震影响系数最大值, 取 $\alpha_{vmax} = 0.65\alpha_{max}$;

M_{eq} ——料仓的当量质量, 取 $M_{eq} = 0.75m_0, kg$ 。

任意质量 i 处的垂直地震力按式(14—15)计算。

$$F_v^{i-i} = \frac{m_i h_i}{\sum_{k=1}^n m_k h_k} F_v^{0-0} \quad (i=1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots (14-15)$$

式中: F_v^{i-i} ——任意质量 i 处的垂直地震力, N 。

14.7.3 地震弯矩

料仓任意计算截面 $I-I$ 的基本振型地震弯矩按式(14—16)计算(见图 14—4); 图 14—6

$$M_{E1}^{I-I} = \sum_{k=1}^n F_{k1}(h_k - h) \dots\dots\dots (14-16)$$

式中: M_{E1}^{I-I} ——任意计算截面 $I-I$ 的基本振型地震弯矩, $N \cdot mm$

对于等直径、等厚度(或可视为等厚度)料仓的任意截面 $I-I$ 和底截面 $0-0$ 的基本振型地震弯矩分别按式(14—17)和式(14—18)计算:

$$M_{E1}^{I-I} = \frac{8C_z \alpha_1 \cdot m_0 g}{175H^{2.5}} (10H^{3.5} - 14H^{2.5} \cdot h + 4h^{3.5}) \dots\dots\dots (14-17)$$

$$M_{E1}^{0-0} = \frac{16}{35} C_z \alpha_1 m_0 g H \dots\dots\dots (14-18)$$

当料仓高度大于等于 $20m$ 时, 还须考虑高振型的影响, 在进行稳定或其他验算时, 地震弯矩按式(14—19)计算:

$$M_E^{I-I} = 1.25M_{E1}^{I-I} \dots\dots\dots (14-19)$$

14.8 风载荷

14.8.1 水平风力 两相邻计算截面间的水平风力按式(14—20)计算:

$$P_1 = K_1 K_{21} q_0 f_1 l_1 D_{01} \times 10^{-6}$$

$$P_2 = K_1 K_{22} q_0 f_2 l_2 D_{02} \times 10^{-6}$$

$$\dots\dots\dots (14-20)$$

$$P_i = K_1 K_{2i} q_0 f_i l_i D_{0i} \times 10^{-6}$$

式中: $P_1, P_2, \dots, P_i$ ——料仓计算段的水平风力, N ;

$D_{01}, D_{02}, \dots, D_{0i}$ ——料仓计算段的外直径, mm ;

f_i ——风压高度变化系数, 按表 14—4 选取;

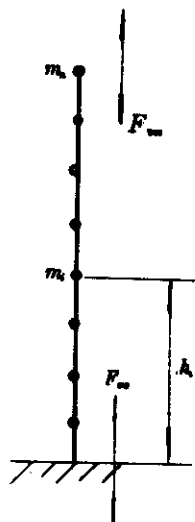


表 14—4 风压高度变化系数 f_i

距地面高度 H_i	A	B	C
5	1.17	0.80	0.54
10	1.38	1.00	0.71
15	1.52	1.14	0.84
20	1.63	1.25	0.91
30	1.80	1.42	1.11
40	1.92	1.56	1.24
50	2.03	1.67	1.36
60	2.12	1.77	1.46
70	2.20	1.86	1.55
80	2.27	1.95	1.64

注: A 类地面粗糙度系指近海面、海岛、湖岸及沙漠地区; B 类系指田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的中小城镇和大城市郊区; C 类系指密集建筑群的大城市市区。

* 若采用当地气象部门资料时, A 类地区高度变化系数 f_i 应取 B 类地区系数; B 类和 C 类地区不变。

H_i ——料仓第 i 段顶截面距地面的高度, m ;

K_1 ——体型系数, 取 $K_1=0.7$;

K_{21} 、 K_{22} …… K_{2n} ——料仓各计算段的风振系数, 当料仓高 $H \leq 20m$ 时, 取 $K_{2i}=1.70$, 当 $H > 20m$ 时, 按式(14—21)计算:

$$K_{2i} = 1 + \frac{\xi v_i \Phi_{2i}}{f_i} \dots\dots\dots (14-21)$$

ξ ——脉动增大系数, 按表 14—5 选取;

表 14—5 脉动增大系数 ξ

$q_1 T_1^2 (NS^2/m^2)$	10	20	40	60	80	100
ξ	1.47	1.57	1.69	1.77	1.83	1.88
$q_1 T_1^2 (NS^2/m^2)$	200	400	600	800	1000	2000
ξ	2.04	2.24	2.36	2.46	2.53	2.80
$q_1 T_1^2 (NS^2/m^2)$	4000	6000	8000	10000	20000	30000
ξ	3.09	3.28	3.42	3.54	3.91	4.14

注: 计算 $q_1 T_1^2$ 时, 对 B 类 $q_1=q_0$, 对 A 类 $q_1=1.38q_0$, 对 C 类 $q_1=0.71q_0$ 。

v_i ——第 i 段脉冲影响系数, 按表 14—6 选取;

表 14—6 脉冲影响系数

粗糙度 高度类别 H_{im}	10	20	40	60	80	100
A	0.78	0.83	0.87	0.89	0.89	0.89
B	0.72	0.79	0.85	0.88	0.89	0.90
C	0.66	0.74	0.82	0.86	0.88	0.89

ϕ_{zi} ——第 i 段振型系数, 根据 H_u/H 与 u , 由表 14—7 选取:

表 14—7 振型系数 ϕ_{zi}

相对高度 H_u/H	1	0.8	0.6
0.1	0.02	0.02	0.01
0.2	0.07	0.06	0.05
0.3	0.15	0.12	0.11
0.4	0.24	0.21	0.19
0.5	0.35	0.32	0.29
0.6	0.48	0.44	0.41
0.7	0.60	0.57	0.55
0.8	0.73	0.71	0.69
0.9	0.87	0.86	0.85
1.0	1.00	1.00	1.00

注: 表中 u 为料仓顶、底(指直段)有效直径之比, 对料仓来说, 一般为 1。

l_i ——第 i 计算段长度(见图 14—7), mm ;

q_0 ——基本风压值, N/m^2 。各地区的基本风压值按当地气象部门资料, 但不应小于 $250N/m^2$ 。

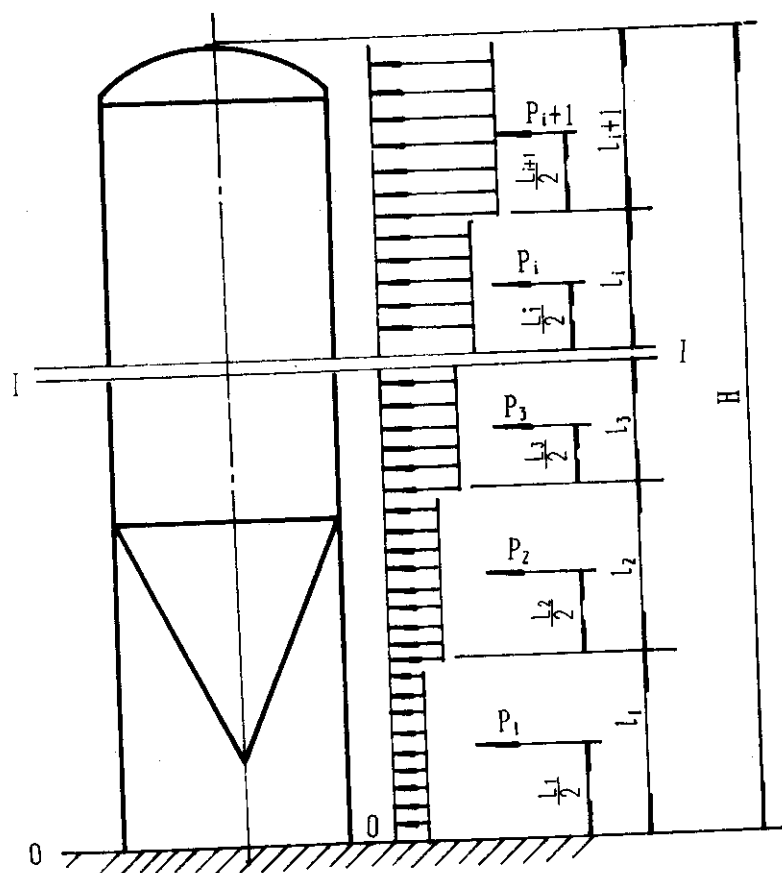


图 14—7

14.8.2 风弯矩 料仓任意计算截面 I—I 处的风弯矩按式(14—22)计算:

$$M_w^{I-I} = P_1 \frac{l_1}{2} + P_{i+1} (l_i + \frac{l_{i+1}}{2}) + P_{i+2} (l_i + l_{i+1} + \frac{l_{i+2}}{2}) + \dots \quad (14-22)$$

式中: M_w^{I-I} ——料仓底面 I—I 处之风弯矩, $N \cdot mm$ 。

料仓底截面 0—0 处的风弯矩按式(14—23)计算:

$$M_w^{0-0} = P_1 + \frac{l_1}{2} + P_2 (l_1 + \frac{l_2}{2}) + P_3 (l_1 + l_2 + \frac{l_3}{2}) + \dots \quad (14-23)$$

式中: M_w^{0-0} ——料仓底截面为 0—0 处之风弯矩, $N \cdot mm$ 。

14.9 偏心弯矩 偏心质量引起的弯矩按式(14—24)计算:

$$M_e = m_e \cdot g \cdot e \dots \quad (14-24)$$

式中: M_e ——偏心弯矩, $N \cdot mm$;

e ——偏心质量重心至料仓中心线的距离, mm 。

14.10 最大弯矩 料仓任意计算截面 $I-I$ 处的最大弯矩按式(14—25)计算:

$$M_{\max}^{I-I} = \begin{cases} M_W^{I-I} + M_{ec} \\ M_B^{I-I} + 0.25M_W^{I-I} + M_{ec} \end{cases} \quad \text{取其中较大值} \quad \dots\dots\dots (14-25)$$

式中: $M_{\max}^{I-I}$ ——计算截面 $I-I$ 处之最大弯矩, $N \cdot mm$ 。

料仓底截面 $0-0$ 处的最大弯矩按式(14—26)计算:

$$M_{\max}^{0-0} = \begin{cases} M_w^{0-0} + m_{ec} \\ M_B^{0-0} + 0.25M_w^{0-0} + M_{ec} \end{cases} \quad \text{取其中最大值} \quad \dots\dots\dots (14-26)$$

式中: $M_{\max}^{0-0}$ ——底部截面 $0-0$ 处之最大弯矩, $N \cdot mm$ 。

14.11 雪载荷

料仓顶上的雪载荷按式(14—27)计算:

$$W_s = \frac{\pi}{4} D_0'^2 q_w \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (14-27)$$

式中: W_s ——雪载荷, N ;

D_0' ——仓顶外径, mm ;

q_w ——当地基本雪压值, N/m^2 。对我国主要地区, q_w 可从表 14—8 中选取。当表中查不到时, 可取 $q_w = 300 N/m^2$ 。当料仓露天建在山区时, 应将上述雪压值乘以系数 1.2。

表 14—8 基本雪压值 q_w N/m^2

地区	q_w	地区	q_w	地区	q_w
北京	300	沈阳	400	南昌	300
上海	200	长春	350	武汉	400
南京	450	抚顺	450	包头	250
徐州	250	大连	400	呼和浩特	300
南通	200	吉林	750	太原	200
杭州	400	四平	300	大同	250
宁波	250	哈尔滨	450	兰州	150
衡水	400	济南	200	长沙	350

续表 14—8

地区	q_w	地区	q_w	地区	q_w
温州	150	青岛	250	西安	200
天津	250	郑州	250	西宁	250
保定	250	洛阳	250	延安	200
石家庄	200	蚌埠	450	乌鲁木齐	600

14.12 仓筒应力计算

14.12.1 轴向应力计算

14.12.1.1 当 I—I 截面在料仓支承圈、支承座、裙座之上时,由 P_v 产生水平压力 P ,并引起摩擦力 $\sum P_f$,该力在仓筒壁内产生压应力,并按式(14—28)计算:

$$\sigma_{z1} = \frac{\sum P_f^{I-I}}{\pi D_i \delta_n} \dots\dots\dots (14-28)$$

式中: σ_{z1} ——由仓壁上的摩擦力在仓筒壁内产生的轴向应力,MPa;

δ_n ——仓筒有效壁厚,mm。

如果物料上还充有保护气体的气相压力 P 时,上述应力按式(14—29)计算:

$$\sigma'_{z1} = \sigma_{z1} + \frac{P D_i}{4 \sigma_n} \dots\dots\dots (14-29)$$

式中: σ'_{z1} ——摩擦力 σ_{z1} 与保护气体压力在仓筒壁内产生的轴向应力,MPa。

当计算截面 I—I 在料仓支承圈、支承座之下时, P_v 在仓筒壁内产生拉应力,并按式(14—30)计算:

$$\sigma''_{z1} = \frac{P_v D_i}{4 \delta_n \Phi} \dots\dots\dots (14-30)$$

式中: σ''_{z1} —— P_v 在仓筒壁内产生的拉应力,MPa。

如果物料上还充有保护气体的气相压力 P 时,上述应力按式(14—31)计算:

$$\sigma'''_{z1} = \frac{(P_v + P) D_i}{4 \delta_n \Phi} \dots\dots\dots (14-31)$$

式中: σ'''_{z1} —— P_v 与 P 在仓筒壁内产生的拉应力,MPa。

14.12.1.2 由料仓顶盖、顶盖上附加重量、活载重、雪载在仓筒中产生的轴向力,这些力仅在位于支承以上的仓筒内产生轴向压应力,并按式(14—32)进行计算:

$$\sigma_{z2} = \frac{(m_1 + m_2 + m_3)g + W_s}{\pi D_i \delta_n} \dots\dots\dots (14-32)$$

式中: σ_{z2} ——顶盖、顶盖上附加重量、活载、雪载产生的压应力, MPa;

m_1 ——料仓顶盖质量, kg;

m_2 ——附加设备(管线、栏杆、平台、旋分器、过滤器等)质量, kg;

m_3 ——活载(检修人员、配件、工具)质量, kg;

W_s ——雪载荷, N。

14.12.1.3 由最大弯矩在仓筒中产生的轴向应力 任意计算截面 $I-I$ 处由该处的最大弯矩产生轴向应力, 该应力按式(14—33)计算:

$$\sigma_{z3} = \frac{32D_o M_{max}^{I-I}}{\pi(D_o^4 - D_i^4)} \dots\dots\dots (14-33)$$

式中: σ_{z3} ——由最大弯矩 M_{max}^{I-I} 在计算截面 $I-I$ 处产生的轴向应力, “+”号为拉应力, “-”号为压应力, MPa。

14.12.1.4 计算截面以上仓筒、内件及垂直地震力引起的轴向应力 当计算截面 $I-I$ 在支承之上时, 按式(14—34)计算:

$$\sigma_{z4} = \frac{W_{\pm}^{I-I} + F_v^{I-I}}{\pi D_i \delta_{ei}} \dots\dots\dots (14-34)$$

式中: σ_{z4} ——由计算截面上的料仓重量及垂直地震力引起的轴向应力, MPa

$W_{\pm}^{I-I}$ ——计算截面 $I-I$ 以上的料仓全重, N;

$$W_{\pm}^{I-I} = (m_{01\pm}^{I-I} + m_{02\pm}^{I-I} + m_{03\pm}^{I-I} + m_{04\pm}^{I-I} + m_{a\pm}^{I-I})g \dots\dots\dots (14-35)$$

$m_{01\pm}^{I-I}$ ——计算截面 $I-I$ 以上的仓壳质量, kg;

$m_{02\pm}^{I-I}$ ——计算截面 $I-I$ 以上的料仓内件质量, kg;

$m_{03\pm}^{I-I}$ ——计算截面 $I-I$ 以上的保温和保护材料质量, kg;

$m_{04\pm}^{I-I}$ ——计算截面 $I-I$ 以上的平台扶梯质量, kg;

$m_{a\pm}^{I-I}$ ——计算截面 $I-I$ 以上的人孔、接管、法兰、外装件等附件质量, kg;

当计算截面 $I-I$ 在支承之下时, 为拉应力按式(14—36)计算:

$$\sigma_{z4} = \frac{W_{\mp}^{I-I} + F_v^{I-I}}{\pi D_i \delta_{ei}} \dots\dots\dots (14-36)$$

式中: $W_{\mp}^{I-I}$ ——计算截面 $I-I$ 以下的料仓全重, N;

$$W_{\mp}^{I-I} = (m_{01\mp}^{I-I} + m_{02\mp}^{I-I} + m_{03\mp}^{I-I} + m_{0\mp}^{I-I} m_{物\mp}^{I-I})g \dots\dots\dots (14-37)$$

$m_{01\mp}^{I-I}$ ——计算截面 $I-I$ 以下的仓壳质量, kg;

$m_{02\mp}^{I-I}$ ——计算截面 $I-I$ 以下的料仓内件质量, kg;

$m_{03\mp}^{I-I}$ ——计算截面 $I-I$ 以下的保温和保护材料质量, kg;

$m_{a\mp}^{I-I}$ ——计算截面 $I-I$ 以下的人孔、接管、法兰等附件质量, kg;

$m_{物\mp}^{I-I}$ ——计算截面 $I-I$ 以下仓内所贮物料的质量, kg。

14.12.2 周向应力

在任意截面 $I-I$ 处,由仓贮物料产生垂直于壁的水平压力 P_h ,该力在仓筒壁中产生周向应力,并按式(14—38)计算:

$$\sigma_\theta = \frac{P_h D_i}{2\delta_s \Phi} \dots\dots\dots (14-38)$$

14.12.3 应力组合

14.12.3.1 轴向应力组合 轴向组合应力按式(14—39)计算:

$$\sigma_{\Sigma z} = \sigma_{z1} + \sigma_{z2} + \sigma_{z3} + \sigma_{z4} + \sigma_{z5} \dots\dots\dots (14-39)$$

式中: $\sigma_{\Sigma z}$ ——轴向组合应力,MPa

14.12.3.2 轴向应力与周向应力组合 轴向组合应力与周向应力的组合应力按式(14—40)计算:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\Sigma z}^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_{\Sigma z} \cdot \sigma_\theta} \dots\dots\dots (14-40)$$

式中: σ ——组合应力,MPa

14.12.4 应力评定

仓筒内的组合应力 σ 应按式(14—41)进行校核:

$$\sigma < [\sigma] \dots\dots\dots (14-41)$$

仓筒内的轴向组合压应力按式(14—42)进行校核:

$$\sigma_{\Sigma z} < [\sigma]_\sigma \dots\dots\dots (14-42)$$

式中: $[\sigma]_\sigma$ ——仓筒材料的许用轴向压应力,MPa,按式(14—43)确定:

$$[\sigma]_\sigma = \begin{cases} B \\ 0.9\sigma_s \end{cases} \text{ 取其中较小值} \dots\dots\dots (14-43)$$

B ——按本标准 3.6.4“许用轴向压缩应力”中有关规定进行计算。

料仓仓筒壁厚应保证同时满足式(14—41)与(14—42)。

14.13 料仓锥体部分应力计算

14.13.1 锥体大端的应力计算

14.13.1.1 周向应力

锥体大端由垂直于其壁面的法向力所产生的周向应力,按式(14—44)计算:

$$\sigma_\theta = \frac{D_i P_{\perp}^{1-\mu}}{2\delta_s \Phi \cos\theta} \dots\dots\dots (14-44)$$

式中: $P_{\perp}^{1-1}$ ——锥底大端垂直于锥底壁面的法向力,按式(14—7)计算,MPa;

θ ——锥底半顶角,°。

当物料上还有气相压力时,周向应力按式(14—45)计算:

$$\sigma_{\theta} = \frac{D_i(P_{\perp}^{1-1} + P)}{2\delta_n \Phi \cos \theta} \dots\dots\dots (14-45)$$

14.13.1.2 经向应力

锥体大端由所贮物料产生的经向应力按式(14—46)计算:

$$\sigma_z = \frac{D_i P_{\perp}^{1-1}}{4\delta_n \Phi \cos \theta} + \frac{W_c}{\pi D_i \delta_n \Phi \cos \theta} \dots\dots\dots (14-46)$$

式中: W_c ——锥体自重与锥体部分所贮物料重量之和, N。

$$W_c = \frac{\pi D_i^2 H_c}{12} \gamma \dots\dots\dots (14-47)$$

式中: H_c ——锥底全高(图 14—2), mm。

14.13.2 锥体任意截面上的应力计算

14.13.2.1 锥体任意截面上的垂直力

由物料在锥体任意计算截面 $a-a$ 上所产生的垂直力 $P_{\perp a-a}$ 按式(14—48)计算(图 14—8):

$$P_{\perp a-a} = \frac{D_i \gamma}{4\mu k \cos \theta} [1 - e^{-\frac{4\mu k \cos \theta}{D_i}}] 10^{-3} \dots\dots\dots (14-48)$$

式中: $P_{\perp a-a}$ ——计算截面 $a-a$ 处的物料垂直压力, MPa;

μ ——物料与仓壁的摩擦系数;

k ——侧压系数,按式(14—4)计算。

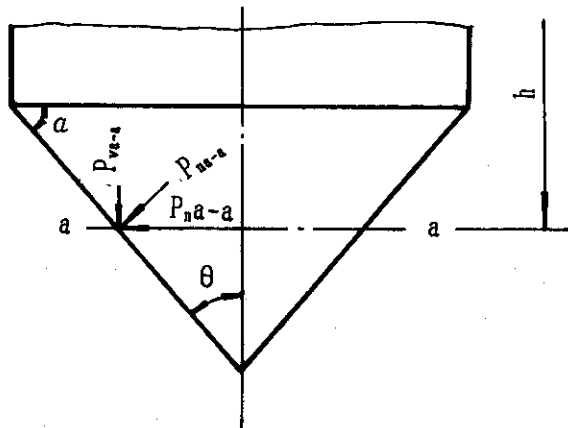


图 14—8

14.13.2.2 锥体任意截面上的水平力

由物料在锥体任意计算截面 $a-a$ 上所产生的水平力按式(14—49)计算:

$$P_h^{a-a} = P_{va-a} \cdot k \quad \text{..... (14—49)}$$

式中: P_h^{a-a} —— $a-a$ 截面上的水平力, MPa。

14.13.2.3 锥体任意截面上的法向力

由物料在锥体任意计算截面 $a-a$ 上产生的法向力按式(14—50)计算, 此力与壁面间产生摩擦力。

$$P_n^{a-a} = P_h^{a-a} \sin^2 \alpha + P_v^{a-a} \cos^2 \alpha \quad \text{..... (14—50)}$$

式中: P_n^{a-a} —— $a-a$ 截面上的法向力, MPa。

截面 $a-a$ 处的周向应力按式(14—51)计算。

14.13.2.4 周向应力

$$\sigma_\theta = \frac{D_i^{a-a} \cdot P_n^{a-a}}{2\delta_a \Phi \cos \theta} \quad \text{..... (14—51)}$$

式中: D_i^{a-a} ——计算截面 $a-a$ 处的锥内径, mm。

当物料上有气相压力 P 时, 按式(14—52)计算:

$$\sigma_\theta = \frac{D_i^{a-a} (P_n^{a-a} + P)}{2\delta_a \Phi \cos \theta} \quad \text{..... (14—52)}$$

14.13.2.5 轴向应力

截面 $a-a$ 处的轴向应力按式(14—53)计算:

$$\sigma_z^{a-a} = \frac{D_i^{a-a} \cdot P_v^{a-a}}{4\delta_a \Phi \cos \theta} + \frac{W_a^{a-a}}{\pi D_{ia-a} \delta_a \Phi \cos \theta} \quad \text{..... (14—53)}$$

式中: W_a^{a-a} ——锥体自计算截面 $a-a$ 以下的自重和物料重量之和, N, 参照式(14—48)进行计算。

14.14 料仓顶盖计算

14.14.1 自支承式锥顶

14.14.1.1 自支承式锥顶的厚度按式(14—54)计算:

$$\delta_t = \frac{2.24 D_i}{\sin \beta} \sqrt{\frac{W}{E^t}} \times 10^{-3} \quad \text{..... (14—54)}$$

式中: δ_t ——锥顶的厚度, mm;

W ——仓顶荷重, N/m²;

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

W_1 ——单位面积的仓顶重力, N/m²;

W_2 ——单位面积的仓顶附加重力, N/m^2 ;

W_3 ——单位面积仓顶上的平均活载荷, N/m^2 ;

W_s ——单位面积的雪载荷, N/m^2 ;

β ——锥顶母线与其水平投影线间之夹角(图 14—9), 一般取 $10^\circ \sim 35^\circ$ 。

14.14.1.2 受外压锥顶的厚度按式(14—55)计算:

$$\delta_t = \frac{2.24D_i}{\sin \beta} \sqrt{\frac{1}{E^t}(W \times 10^{-5} + P_0)} \dots\dots\dots (14-55)$$

式中: P_0 ——外压力, MPa 。

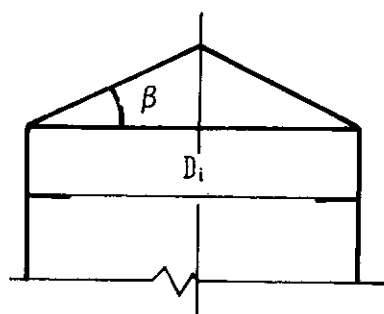


图 14—9

14.14.1.3 受内压锥顶的应力, 按式(14—56)计算:

$$\sigma_\theta = \frac{P_i D_i}{2\delta \sin \beta} \dots\dots\dots (14-56)$$

式中: P_i ——料仓内压力, MPa 。

14.14.1.4 有支架的锥顶

带有支架的锥顶, 产生在支架梁中的最大弯矩按式(14—57)计算:

$$M_{max} = \frac{\pi D_i^3 W}{48N} \times 10^{-9} \dots\dots\dots (14-57)$$

式中: M_{max} ——支架梁中的最大弯矩, $N \cdot m$;

N ——支架梁的数目。

支架梁的截面模数按式(14—58)计算:

$$Z = \frac{1000M_{max}}{[\sigma]^t \Phi} \dots\dots\dots (14-58)$$

式中: Z ——支架梁的截面模数, mm^3 。

14.14.2 自支承式拱顶

14.14.2.1 自支承拱顶的球面内半径取料仓内直径的 0.8 至 1.2 倍。

14.14.2.2 自支承拱顶的最小厚度不得小于 $5mm$ 。

14.14.2.3 自支承拱顶可用于直径 $5m$ 以上的料仓。

14.14.2.4 拱顶球壳的许用外压力按式(14—59)计算:

$$[P] = 0.1E' \left(\frac{\delta}{R_n} \right)^2 \dots\dots\dots (14-59)$$

式中: R_n ——拱顶球面半径(图 14—10), mm 。

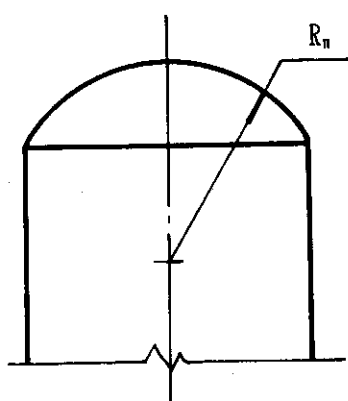


图 14—10

14.14.2.5 拱顶外压应小于 $[P]$ 。

14.14.3 带筋拱顶

14.14.3.1 筋的分布应如图 14—11 所示。

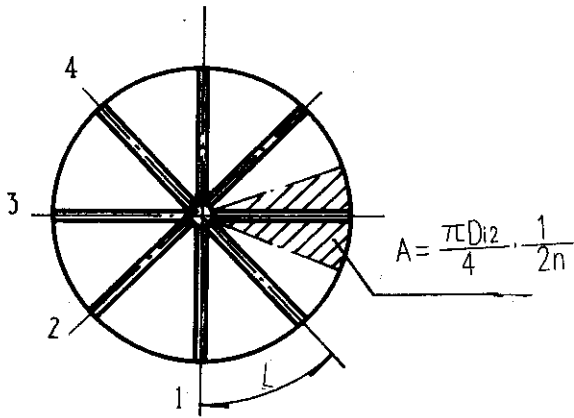
14.14.3.2 筋的最小根数按式(14—60)计算:

$$N = \frac{\pi D_i}{\delta_n l} \dots\dots\dots (14-60)$$

式中: N ——筋的根数(图 14—11);

l ——两筋之间相距的最大弧长(图 14—11), mm ;

$$l = \delta_r \sqrt{\frac{2[\sigma_b]}{W_s}} \dots\dots\dots (14-61)$$



$n=4$

图 14—11

$2n=8$

上式中 δ_r ——筋板厚度,如采用型钢可利用当量关系求出 δ_r :

$$\delta_r = \frac{6Z}{h_c^3} \dots \dots \dots (14-62)$$

h_c ——当量筋板高度,mm(图 14—12);

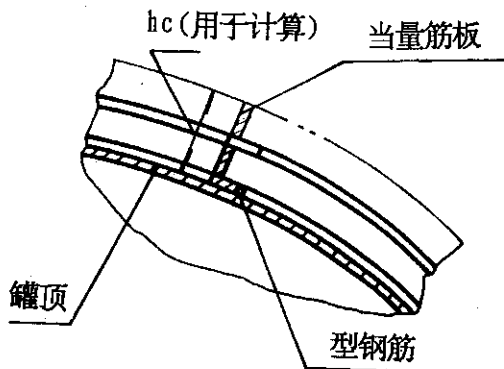


图 14—12

$[\sigma_b]$ ——筋板材料的许用弯曲应力,MPa;

W_i ——仓顶单位载荷,MPa;

$$W_i = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}{A_i} \dots \dots \dots (14-63)$$

式中: $W_1 = m_1 g, N$;

$W_2 = m_2 g, N$;

$W_3 = m_3 g, N$;

$W_4 = m_4 g, N$ 。

A_i ——仓顶投影面积,mm²

$$A_s = \frac{\pi D_i^2}{4} \dots\dots\dots (14-64)$$

14.14.3.3 支承筋上的最大弯矩 支承筋上的最大弯矩按式(14-65)计算:

$$M_{max} = \left[\frac{\pi D_i^3}{48N} W \right] 10^{-6} \dots\dots\dots (14-65)$$

式中: M_{max} ——支承筋上的最大弯矩, $N \cdot m$ 。

14.14.3.4 支承筋的截面模数 支承筋的截面模数按式(14-66)计算:

$$Z = \frac{M_{max}}{[\sigma_b]} \times 10^3 \dots\dots\dots (14-66)$$

式中: Z ——支承筋的截面模数, mm^3 。

14.15 包边角钢

大型料仓仓顶应设置包边角钢予以加强。包边角钢与仓壁的连接可以采用对接或搭接, 对料仓推荐下列形式之包边角钢(图 14-13)。

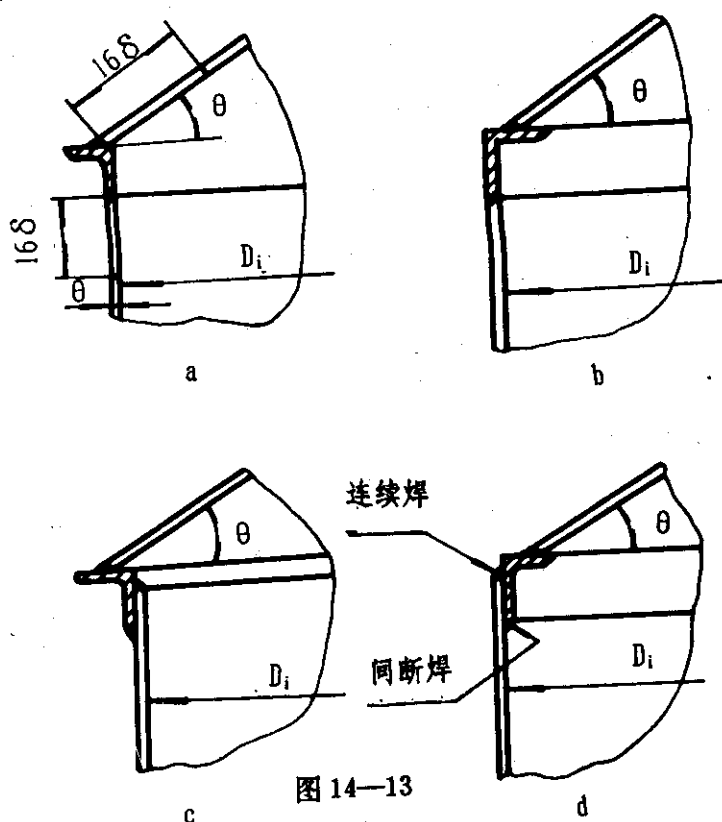


图 14-13

14.15.1 包边角钢截面尺寸计算

14.15.1.1 仓顶与仓壁连接处的有效面积(包边角钢横截面积加上与其相连的仓壁与仓顶各 16 倍板厚范围内的截面之和)应同时满足式(14-67)与表 14-9 之要求:

$$A \geq \frac{PD_i^2}{8[\sigma]^t \Phi \lg \theta} \dots\dots\dots (14-67)$$

式中: A ——仓顶、仓壁与角钢有效截面积之和, mm^2 。

表 14—9 包边角钢最小尺寸

mm

料仓内径 D_i	包边角钢最小尺寸
$D_i \leq 5000$	$< 50 \times 50 \times 5$
$5000 < D_i \leq 10000$	$< 63 \times 63 \times 6$
$10000 < D_i \leq 20000$	$< 75 \times 75 \times 8$

不满足上述要求时,应调整角钢尺寸,使之满足。

14.15.1.2 包边角钢与仓体、仓顶连接焊接接头必须为全熔透。包边角钢自身熔接接口焊接接头,必须为全熔透。

14.16 仓壁加强圈

为了增加大型,特别是建设在山谷、海边、开阔地带的料仓的稳定性,仓壁应增设加强圈。

14.16.1 仓壁设计外压

仓壁设计外压按式(14—68)计算:

$$P_{out} = 2.25f_i q_0 + P_{in} \dots\dots\dots (14-68)$$

式中: P_{out} ——仓壁设计外压, MPa ;

f_i ——风压高度变化系数(见表 14—4);

q_0 ——基本风压值,见附录 B,或按当地气象部门资料,但均不应小于 $250\text{N}/\text{m}^2$;

P_{in} ——料仓内部负压值, MPa 。

14.16.2 料仓许用临界外压力

料仓许用临界外压力值按式(14—69)计算:

$$[P]_{crit} = 16480 \frac{\delta_{min}^{2.5}}{D_i^{1.5} H_E} \times 10^{-1} \dots\dots\dots (14-69)$$

式中: $[P]_{crit}$ ——料仓许用临界外压值, MPa ;

δ_{min} ——最薄料仓壁板厚度, mm ;

H_E ——料仓总当量高度,取包边角钢以下料仓的总当量高度, mm ;

$$H_E = \sum H_{ei} \dots\dots\dots (14-70)$$

H_{ei} ——各圈仓壁的当量高度, mm ;

$$H_{ei} = H_i \left(\frac{\delta_{min}}{\delta_i} \right)^{2.5} \dots\dots\dots (14-71)$$

H_i ——各圈仓壁的实际高度, mm ;

δ_i ——各圈仓壁实际厚度, mm 。

14.16.3 加强圈个数及位置

当 $[P]_{crout} < P_{out}$ 时,需在仓壁外设置加强圈。加强圈的最少数量及其在当量仓壁上的位置,应符合表14—10。

表 14—10 仓壁加强圈最少数量及位置

设计外压 P_{out} 与许用临界外压 $[P]_{crout}$ 的关系	所需加强圈最少个数	加强圈距当量仓体上端的距离(mm)
$[P]_{crout} > P_{out}$	0	—
$\frac{P_{out}}{2} < [P]_{crout} \leq P_{out}$	1	$\frac{1}{2}H_E$
$\frac{P_{out}}{3} < [P]_{crout} \leq \frac{1}{2}P_{out}$	2	$\frac{1}{3}H_E, \frac{2}{3}H_E$
$\frac{P_{out}}{4} < [P]_{crout} \leq \frac{1}{3}P_{out}$	3	$\frac{1}{4}H_E, \frac{1}{2}H_E, \frac{3}{4}H_E$

加强圈在仓壁上的实际位置,应由当量仓体上的距离转换成实际距离尺寸,同时尚应符合以下规定:

a. 当加强圈位于最薄仓壁上时,它到上端包边角钢的实际距离等于加强圈在当量筒体上距离当量仓体上端之距离;

b. 当加强圈不在最薄之仓壁上时,它到包边角钢的实际距离,应按式(14—71)进行逆运算,换算出在仓壁上的实际位置。

14.16.4 加强圈最小截面尺寸

加强圈的最小截面尺寸应符合表14—11的规定。

表 14—11 加强圈最小截面尺寸

料仓内径 (m)	加强圈最小截面尺寸(mm) (可用同等截面模数的型钢或组合件代替)
$D \leq 20$	$\angle 100 \times 63 \times 8$
$20 < D \leq 36$	$\angle 125 \times 80 \times 8$

14.16.5 加强圈与仓壁的连接如图14—14所示,加强圈安装在仓体外部,为加大惯性矩,应使角钢圈长肢保持水平,与仓壁连接处,上面为连续焊,下面为间断焊。

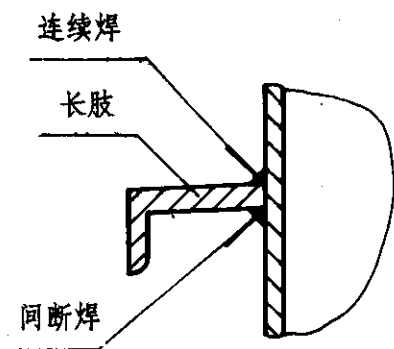


图 14—14

14.17 裙座

14.17.1 裙座壳底截面的组合应力按式(14—72)和式(14—73)校核:

$$\frac{1}{\cos\Phi} \left(\frac{M_{max}^{0-0}}{Z_s} + \frac{m_0 g + F_v^{0-0}}{A_s} \right) \leq \begin{cases} K_0 B \cos^2 \Phi \\ K_0 [\sigma] \end{cases} \quad (14-72)$$

$$\frac{1}{\cos\Phi} \left(\frac{0.3 M_W^{0-0} + M_{ec}}{Z_m} + \frac{m_{max}}{A_s} \right) \leq \begin{cases} K_0 B \cos^2 \Phi \\ 0.9 K_0 \sigma_s \end{cases} \quad (14-73)$$

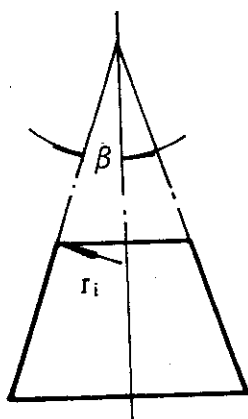


图 14—15

式中: Φ ——裙座半顶角, ($^\circ$), 对圆柱形裙座, $\Phi=0$; Z_s ——裙座圆筒或锥壳底部截面模数, mm^3 ;

$$Z_s = \pi D_s^2 \delta_s / 4 \cos \Phi \quad (14-74)$$

 D_s ——裙座壳底部内径, mm ; δ_s ——裙座壳底部壁厚, mm ;

K_0 ——载荷组合系数,取 $K_0=1.2$ 。

14.17.2 裙座上较大开孔(图 14—16)处截面组合应力按式(14—75)和式(14—76)校核:

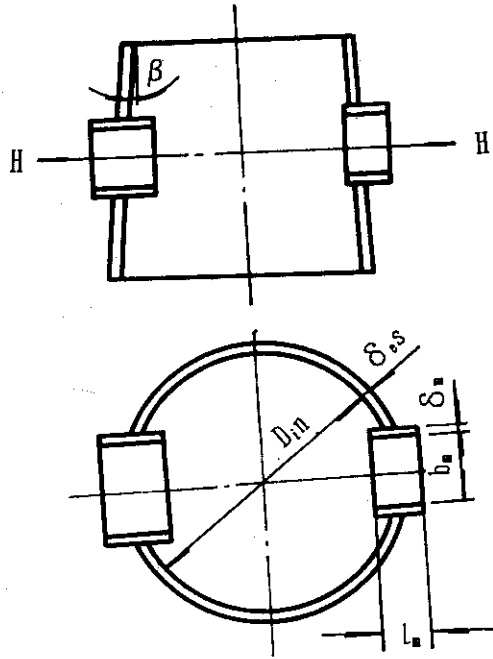


图 14—16

$$\frac{1}{\cos\Phi} \left(\frac{m_{\max}^{h-h}}{Z_m} + \frac{m_0^{h-h}g + F_v^{h-h}}{A_m} \right) \leq \begin{cases} K_0 B \cos^2\Phi \\ K[\sigma] \end{cases} \quad (14-75)$$

$$\frac{1}{\cos\Phi} \left(\frac{0.3m_{\max}^{h-h} + M_{ec}}{Z_m} + \frac{m_{\max}^{h-h}g}{A_m} \right) \leq \begin{cases} K_0 B \cos^2\Phi \\ 0.9K\sigma_s \end{cases} \quad (14-76)$$

式中: A_m —— $h-h$ 截面处裙座壳的截面积, mm^2 ;

$$A_m = \pi D_{im} \delta_{ss} - \sum [(b_m + 2\delta_m) \delta_{ss} - A_m] \quad (14-77)$$

$$A_m = 2l_m \delta_m \quad (14-78)$$

b_m —— $h-h$ 截面处水平方向的最大宽度, mm ;

D_{im} —— $h-h$ 截面处裙座壳的内直径, mm ;

F_v^{h-h} —— $h-h$ 截面处的垂直地震力,但仅在最大弯矩为地震弯矩参与组合时,始计入此项, N ;

l_m ——开孔加强管长度, mm ;

$M_{\max}^{h-h}$ —— $h-h$ 截面处的最大弯矩, $N \cdot \text{mm}$;

M_w^{h-h} —— $h-h$ 截面处的风弯矩, $N \cdot mm$;

m_0^{h-h} —— $h-h$ 截面以上料仓的操作质量, kg ;

m_{max}^{h-h} —— $h-h$ 截面以上料仓的试验质量, 如不进行水压试验, 可取为 m_0^{h-h} , kg ;

Z_m —— $h-h$ 截面处裙座壳的截面模数, mm^3 ;

$$Z_m = \frac{\pi}{4} D_{im}^2 \delta_m - \sum (b_m D_{im} \frac{\delta_m}{2} - Z_m) \dots\dots\dots (14-79)$$

$$Z_m = 2\delta_m J_m \sqrt{(\frac{D_{im}}{2})^2 - (\frac{b_m}{2})^2} \dots\dots\dots (14-80)$$

如不满足上述条件时, 须重新设定裙座壳有效厚度 δ_m , 重复上述计算, 直至满足要求。

14.18 地脚螺栓座

14.18.1 基础环

14.18.1.1 基础环内、外径(见图 14—17、14—18)按式(14—81)、式(14—82)选取;

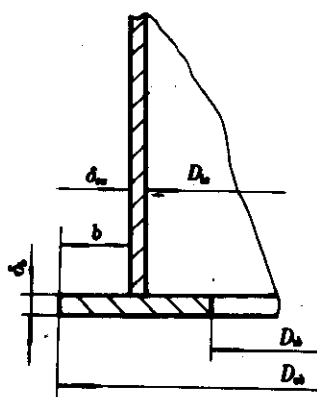


图 14—17

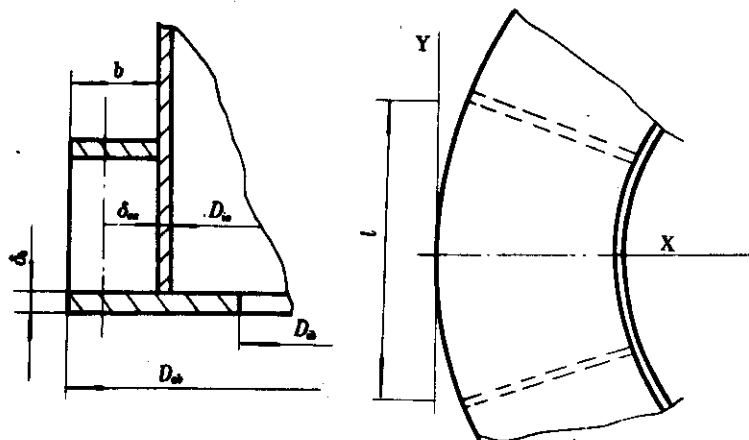


图 14—18

$$D_{06}=D_{16}+(160\sim400) \dots\dots\dots (14-81)$$

$$D_{16}=D_{16}-(160\sim400) \dots\dots\dots (14-82)$$

14.18.1.2 基础环厚度按式(14—83)或式(14—84)计算:

无筋板时(图 14—17)基础环厚度:

$$\delta_b=1.736b\sqrt{\frac{\sigma_{bmax}}{[\sigma]_b}} \dots\dots\dots (14-83)$$

式中: δ_b ——基础环厚度,mm;

$[\sigma]_b$ ——基础环材料许用弯曲应力,MP;

σ_{bmax} ——混凝土基础上的最大压应力,MPa。

$$\sigma_{bmax}\begin{cases} \frac{M_{max}^{0-0}}{Z_b}+\frac{m_0g}{A_b} \\ \frac{0.3M_w^{0-0}+M_{ec}}{Z_b}+\frac{m_{max}g}{A_b} \end{cases} \quad \text{取其中较大值} \dots\dots\dots (14-84)$$

有筋板时(见图 14—18)的基础环厚度:

$$\delta_b=\sqrt{\frac{6M_s}{[\sigma]_b}} \dots\dots\dots (14-85)$$

表 14—12 矩形板力矩计算表

b/l	$M_x\left(\begin{matrix} x=b \\ y=0 \end{matrix}\right)$	$M_y\left(\begin{matrix} x=0 \\ y=0 \end{matrix}\right)$	b/l	$M_x\left(\begin{matrix} x=b \\ y=0 \end{matrix}\right)$	$M_y\left(\begin{matrix} x=b \\ y=0 \end{matrix}\right)$
0	$-0.500\sigma_{bmax}b^2$	0	1.6	$-0.0485\sigma_{bmax}b^2$	$0.126\sigma_{bmax}l^2$
0.1	$-0.500\sigma_{bmax}b^2$	$0.0000\sigma_{bmax}l^2$	1.7	$-0.0430\sigma_{bmax}b^2$	$0.127\sigma_{bmax}l^2$
0.2	$-0.490\sigma_{bmax}b^2$	$0.0006\sigma_{bmax}l^2$	1.8	$-0.0384\sigma_{bmax}b^2$	$0.129\sigma_{bmax}l^2$
0.3	$0.448\sigma_{bmax}b^2$	$0.0051\sigma_{bmax}l^2$	1.9	$-0.0345\sigma_{bmax}b^2$	$0.130\sigma_{bmax}l^2$
0.4	$-0.385\sigma_{bmax}b^2$	$0.0151\sigma_{bmax}l^2$	2.0	$-0.0312\sigma_{bmax}b^2$	$0.130\sigma_{bmax}l^2$
0.5	$-0.319\sigma_{bmax}b^2$	$0.0293\sigma_{bmax}l^2$	2.1	$-0.0283\sigma_{bmax}b^2$	$0.131\sigma_{bmax}l^2$
0.6	$-0.260\sigma_{bmax}b^2$	$0.0453\sigma_{bmax}l^2$	2.2	$-0.0258\sigma_{bmax}b^2$	$0.132\sigma_{bmax}l^2$
0.7	$-0.212\sigma_{bmax}b^2$	$0.0610\sigma_{bmax}l^2$	2.3	$-0.0236\sigma_{bmax}b^2$	$0.132\sigma_{bmax}l^2$
0.8	$-0.173\sigma_{bmax}b^2$	$0.075\sigma_{bmax}l^2$	2.4	$-0.0217\sigma_{bmax}b^2$	$0.132\sigma_{bmax}l^2$

续表 14—12

b/l	$M_x \begin{pmatrix} x=b \\ y=0 \end{pmatrix}$	$M_y \begin{pmatrix} x=0 \\ y=0 \end{pmatrix}$	b/l	$M_x \begin{pmatrix} x=b \\ y=0 \end{pmatrix}$	$M_y \begin{pmatrix} x=0 \\ y=0 \end{pmatrix}$
0.9	$-0.142\sigma_{bmax}b^2$	$0.0872\sigma_{bmax}l^2$	2.5	$-0.0200\sigma_{bmax}b^2$	$0.133\sigma_{bmax}l^2$
1.0	$-0.118\sigma_{bmax}b^2$	$0.0972\sigma_{bmax}l^2$	2.6	$-0.0185\sigma_{bmax}b^2$	$0.133\sigma_{bmax}l^2$
1.1	$-0.0995\sigma_{bmax}b^2$	$0.105\sigma_{bmax}l^2$	2.7	$-0.0171\sigma_{bmax}b^2$	$0.133\sigma_{bmax}l^2$
1.2	$-0.0846\sigma_{bmax}b^2$	$0.112\sigma_{bmax}l^2$	2.8	$-0.0159\sigma_{bmax}b^2$	$0.133\sigma_{bmax}l^2$
1.3	$-0.0726\sigma_{bmax}b^2$	$0.116\sigma_{bmax}l^2$	2.9	$-0.0149\sigma_{bmax}b^2$	$0.133\sigma_{bmax}l^2$
1.4	$-0.0629\sigma_{bmax}b^2$	$0.120\sigma_{bmax}l^2$	3.0	$-0.0139\sigma_{bmax}b^2$	$0.133\sigma_{bmax}l^2$
1.5	$-0.0550\sigma_{bmax}b^2$	$0.123\sigma_{bmax}l^2$			

注: l 为两相邻筋板最大外侧间距。

式中: M_x ——计算力矩,取矩形板 X 、 Y 轴的弯矩 M_x 、 M_y 中绝对值较大者, M_x 、 M_y 按表 14—12 计算, N · mm/mm 。

无论无筋板或有筋板的基础环厚度均不得小于 16 mm 。

14.18.2 地脚螺栓

地脚螺栓承受的最大拉应力按式(14—86)计算:

$$\sigma_B = \begin{cases} \frac{M_W^{0-0} + M_{ec}}{Z_b} - \frac{m_0 g}{A_b} \\ \frac{M_B^{0-0} + 0.25M_W^{0-0} + M_{ec}}{Z_b} - \frac{m_{max} g - F_v^{0-0}}{A_b} \end{cases} \dots\dots\dots (14-86)$$

式中: σ_B ——地脚螺栓承受的最大拉应力, MPa ;

A_b ——基础环面积, mm^2 ;

$$A_b = \frac{\pi}{4} (D_{\phi}^2 - D_{ib}^2) \dots\dots\dots (14-87)$$

Z_b ——基础环的截面模数, mm^3 。

$$Z_b = \frac{\pi(D_{\phi}^4 - D_{ib}^4)}{32D_{\phi}} \dots\dots\dots (14-88)$$

当 $\sigma_B \leq 0$ 时,料仓可自身稳定,但为了固定料仓位置,仍应视具体情况,设置一定的地脚螺栓。

当 $\sigma_B > 0$ 时,料仓必须设置地脚螺栓。地脚螺栓根径按式(14—89)计算:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4\sigma_B A_b}{\pi n[\sigma]_{bt}}} + C_2 \dots\dots\dots (14-89)$$

式中: d_1 ——地脚螺栓螺纹根径, mm ;

C_2 ——地脚螺栓腐蚀裕量, mm ;

n ——地脚螺栓个数, 一般取 4 的倍数, 对小直径料仓, 可取 $n=8$;

$[\sigma]_b$ ——地脚螺栓材料的许用应力, MPa 。

14.18.3 筋板

筋板压应力按式(14—90)计算:

$$\sigma_a = \frac{F}{n_1 \delta_a l_2} \dots\dots\dots (14-90)$$

式中: σ_a ——筋板的压应力, MPa ;

F ——一个地脚螺栓承受的最大拉力, N ;

n_1 ——对应于一个地脚螺栓的筋板个数;

l_2 ——筋板宽度, mm ;

δ_a ——筋板厚度, mm 。

筋板的许用压应力按式(14—91)或(14—92)计算:

当 $\lambda \leq \lambda_c$ 时

$$[\sigma]_c = \frac{[1 - 0.4(\frac{\lambda}{\lambda_c})^2][\sigma]_a}{v} \dots\dots\dots (14-91)$$

当 $\lambda > \lambda_c$ 时

$$[\sigma]_c = \frac{0.277[\sigma]_a}{(\lambda/\lambda_c)^2} \dots\dots\dots (14-92)$$

式中: $[\sigma]_c$ ——筋板的许用压应力, MPa ;

λ ——细长比, 按式(14—93)计算, 且不大于 250;

$$\lambda = \frac{0.5l_k}{i} \dots\dots\dots (14-93)$$

i ——回转半径, 对长方形截面的筋板取 $0.289\delta_a$, mm ;

l_k ——筋板长度, mm ;

v ——系数;

$$v = 1.5 + \frac{2}{3}(\frac{\lambda}{\lambda_c})^2 \dots\dots\dots (14-94)$$

λ_c ——临界细长比, 按式(14—95)计算:

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6[\sigma]_a}} \dots\dots\dots (14-95)$$

E ——钢板材料的弹性模量, MPa ;

$[\sigma]_o$ ——筋板材料的许用应力,MPa;

筋板的压应力等于或小于许用压应力,即 $\sigma_o \leq [\sigma]_o$ 。但 δ_o 一般不小于 2/3 基础环厚度。

14.18.4 盖板

14.18.4.1 分块盖板最大应力按式(14—96)或式(14—97)计算:

无垫板时

$$\sigma_z = \frac{Fl_3}{(l_2 - d_3)\delta_o^2} \dots\dots\dots (14-96)$$

有垫板时

$$\sigma_z = \frac{Fl_3}{(l_2 - d_3)\delta_o^2 + (l_4 - d_2)\delta_z^2} \dots\dots\dots (14-97)$$

式中: σ_z ——盖板的最大应力,MPa;

d_2 ——垫板上地脚螺栓孔直径,mm;

d_3 ——盖板上地脚螺栓孔直径,mm;

l_2 ——筋板宽度,mm;

l_3 ——筋板内侧间距,mm;

l_4 ——垫板宽度,mm;

δ_o ——盖板厚度,mm;

δ_z ——垫板厚度,mm

14.18.4.2 环形盖板的最大应力按式(14—98)或式(14—99)计算:

无垫板时

$$\sigma_z = \frac{3Fl_3}{4(l_2 - d_3)\delta_o^2} \dots\dots\dots (14-98)$$

有垫板时

$$\sigma_z = \frac{3Fl_3}{4(l_2 - l_3)\delta_o^2 + 4(l_4 - d_2)\delta_z^2} \dots\dots\dots (14-99)$$

式中, δ_z ——环形盖板最大应力,MPa。

一般环形盖板厚度不小于基础环厚度。

盖板最大应力应等于或小于盖板材料的许用应力。

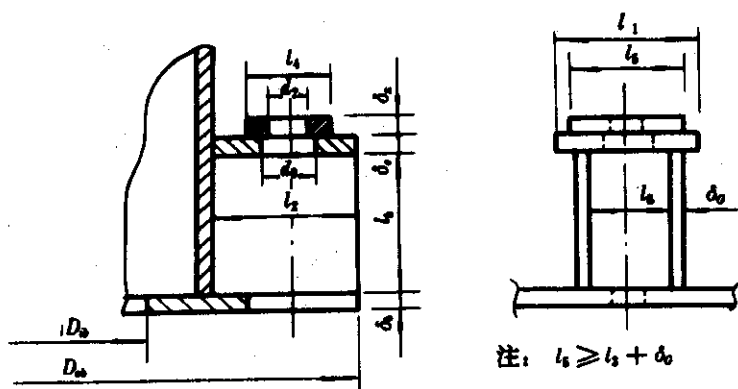


图 14—19 地脚螺栓座尺寸

14.18.5 裙座与仓体塔接焊接接头

J—J 截面处(图 14—20)塔接焊接接头的剪应力按式(14—100)或式(14—101)校核:

$$\frac{M_{\max}^{J-J}}{Z_w} + \frac{m_o^{J-J}g + F_v^{J-J}}{A_w} \leq 0.8K_0[\sigma]_w \quad (14-100)$$

$$\frac{0.3M_w^{J-J} + M_{\max}}{Z_w} + \frac{m_{\max}^{J-J}g}{A_w} \leq 0.8 \times 0.9K_0\sigma_s \quad (14-101)$$

其中 F_v^{J-J} 仅在最大弯矩为地震弯矩参与组合时才计入。

式中: A_w ——焊接接头抗剪断面面积, mm^2 ;

$$A_w = 0.7\pi D_\alpha \delta_\alpha \quad (14-102)$$

D_α ——裙座壳顶部截面外直径, mm ;

F_v^{J-J} ——搭接焊接接头处的垂直地震力, N ;

$M_{\max}^{J-J}$ ——搭接焊接接头处的最大弯矩, $N \cdot mm$;

$m_{\max}^{J-J}$ ——水压试验时(或满载时)料仓最大质量(不计裙座质量), kg ;

m_o^{J-J} ——J—J 截面以上料仓操作质量, kg ;

Z_w ——焊接接头抗剪截面模数, mm^3 ;

$$Z_w = 0.55D_\alpha^2\delta_\alpha \quad (14-103)$$

$[\sigma]_w$ ——设计温度下焊接接头的许用应力,取两侧母材许用应力的较小者, MPa

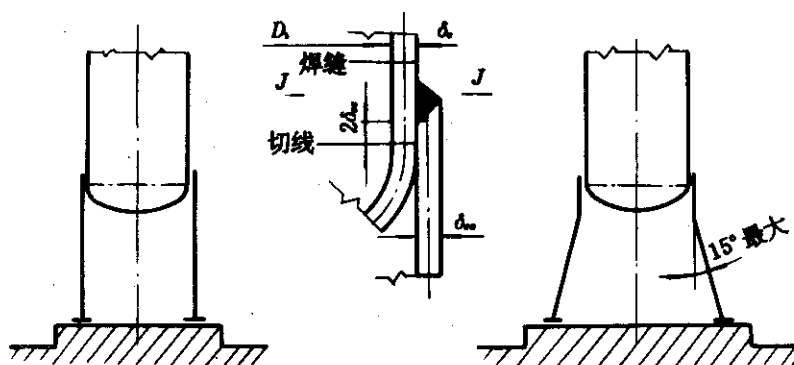


图 14—20

14.18.6 裙座与塔壳的对接焊接接头

对接焊接接头 J—J 截面处(图 14—21)的拉应力按式(14—104)校核:

$$\frac{4M_{\max}^{J-J}}{\pi D_u^2 \delta_{es}} - \frac{m_o^{J-J} g - F_v^{J-J}}{\pi D_u \delta_{es}} \leq 0.6 K_o [\sigma]_w \dots\dots\dots (14-104)$$

其中 F_v^{J-J} 仅在最大弯矩为地震弯矩参与组合时计入此项。

式中: D_u ——裙座顶截面的内直径, mm。

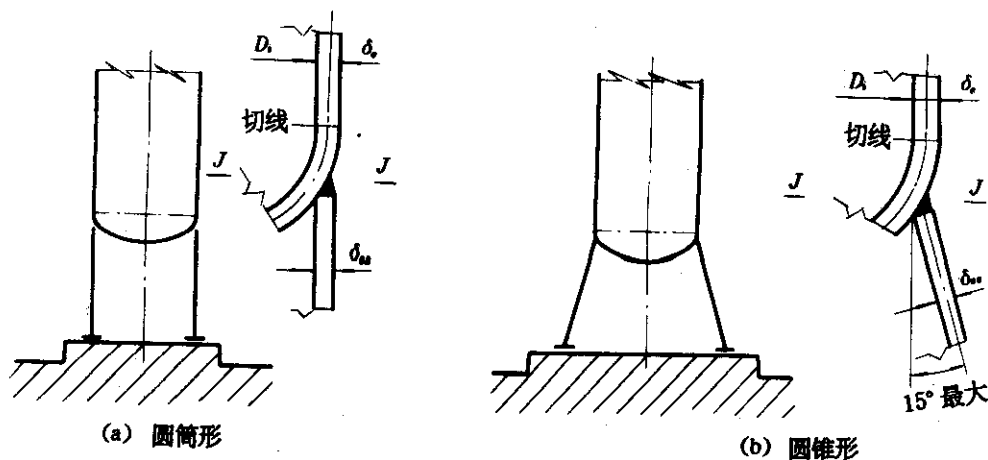


图 14—21

14.19 环形支座

对于直径较大,不能采用裙座或仓体内为负压工作条件时,采用普通耳式支座往往会使仓体局部应力过大,甚至造成失稳,此时可采用环形支座。

环形支座(图 14—22)由上、下加强圆环与支持筋板组成。

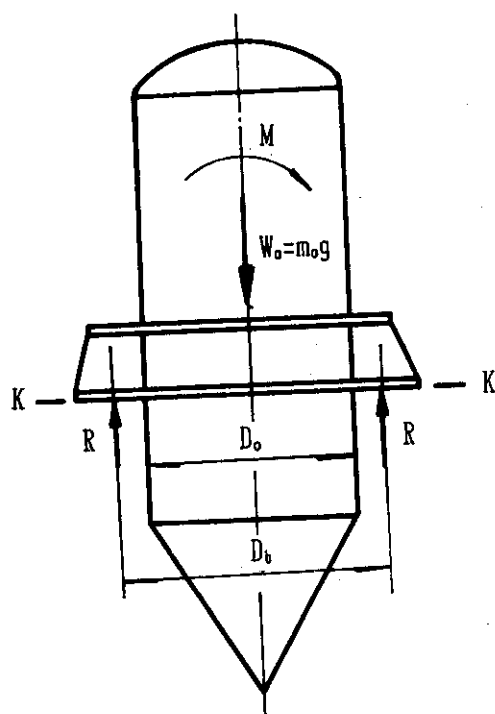


图 14—22

14.19.1 支承受力分析

作用于一个支承上的组合压力(在支承固定螺栓处)取式(14—105)和式(14—106)中的较大值。

$$F_b = \frac{4M_{\max}^{k-k}}{nD_b} + \frac{m_0 g}{n} \dots\dots\dots (14-105)$$

$$F_b = \frac{0.3M_w^{k-k} + M_{ec}}{nD_b} + \frac{m_{\max} g}{n} \dots\dots\dots (14-106)$$

式中: F_b ——一个支承上的组合压力, N ;

$M_{\max}^{k-k}$ —— $k-k$ 截面处的最大弯矩, $N \cdot mm$;

n ——支承数, 一般取 4、6、8;

D_b ——固定螺栓中心直径, mm ;

M_w^{k-k} —— $k-k$ 截面处的风弯矩, $N \cdot mm$ 。

由 F_b 引起的作用于上、下刚性环中心线上的水平力 F (图 14—23) 按式(14—107)计算:

$$F = \frac{F_b \cdot b}{h_1} \dots\dots\dots (14-107)$$

式中: F ——作用于上、下刚性环中心的水平力, N ;
 b ——固定螺栓中心距仓壁之距离, mm ;
 h_1 ——上、下刚性环中心面间距离, mm 。

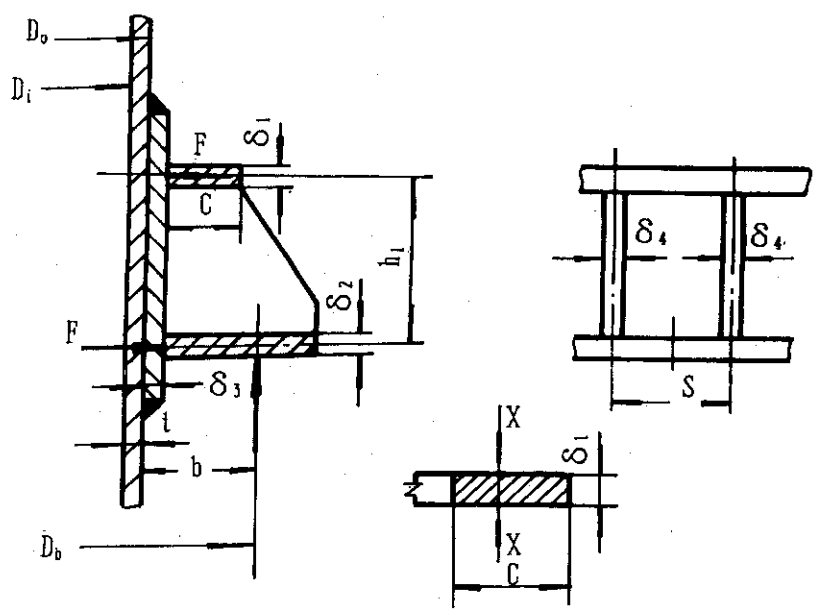


图 14—23

由 F 引起的弯矩按式(14—108)计算:

$$M_k = F_b \cdot b = F h_1 \dots\dots\dots (14-108)$$

式中: M_k ——由 F_b 对仓壁引起的弯矩, $N \cdot mm$ 。

14. 19. 2 筋板计算

在计算中假设 F_b 力完全由两块筋板负担, 则筋板厚度按式(14—109)计算:

$$\delta_4 = \frac{F_b}{2C[\sigma]} \dots\dots\dots (14-109)$$

式中: δ_4 ——筋板厚度, mm ;
 C ——筋板上端宽度, mm ;
 $[\sigma]$ ——筋板材料许用应力, MPa 。

14. 19. 3 刚性环计算

在固定螺栓处刚性环所承受的合成应力按式(14—110)计算:

$$\sigma_r = \frac{K_2 F}{A_r} + \frac{K_1 F D_b}{2Z_{x-x}} \dots\dots\dots (14-110)$$

式中: σ_r ——刚性环所受的合成应力, MPa;

A_r ——刚性环横截面积, mm^2 ;

$$A_r = \delta_1 \cdot C \dots\dots\dots (14-111)$$

K_1 ——系数, 见表 14—13;

K_2 ——系数, 见表 14—13;

Z_{x-x} ——刚性环横截面对 $x-x$ 轴(图 14—23)之截面系数, mm^3 ;

$$Z_{x-x} = \frac{\delta_1 C^2}{6} \dots\dots\dots (14-112)$$

σ_r 应当小于或等于刚性环材料的许用应力, 否则调整刚性环厚度 t_1 , 以满足上述要求。
下刚性环的厚度应选择与上刚性环的厚度相等, 即

$$\delta_2 = \delta_1 \dots\dots\dots (14-113)$$

表 14—13

支承数	K_1	K_2
4	0.137	0.500
6	0.086	0.866
8	0.066	1.907

14.20 悬挂结构

小型料仓必要时可采用悬挂结构(图 14—24), 一般常用的悬挂件数为 3、4、6 个。

采用悬挂结构的料仓, 一般都安装在厂房里面, 故不考虑风载荷的影响。

14.20.1 悬挂结构受力分析

由料仓总重量 W_0 或 W_{max} 在每个悬挂件上所产生的载荷按式(14—114)计算(图 14—24)

$$\left. \begin{aligned} F_s &= \frac{W_0}{n_s \cos \theta} \\ F_s &= \frac{W_{max}}{n_s \cos \theta} \end{aligned} \right\} \text{取其中较大值} \dots\dots\dots (14-114)$$

式中: F_s ——每个悬挂件上的载荷, N;

n_s ——悬挂件个数;

θ ——悬挂件与仓壁垂直母线之夹角, ($^\circ$)。

当有地震力时, 认为该力作用于料仓重心, 各悬挂点中心线交汇处亦在料仓重心, 并且总处于悬挂件受力最不利之位置。这样, 当悬挂件数为 3 时, 受力件数为 1; 为 4 时, 受力件数为 2; 为 6 时, 受力件数为 2(图 14—25):

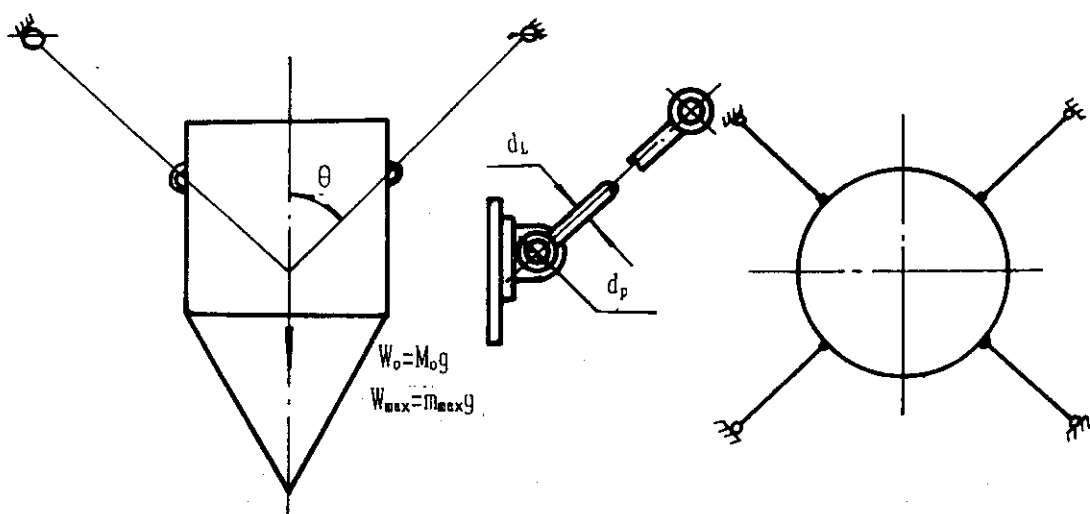


图 14—24

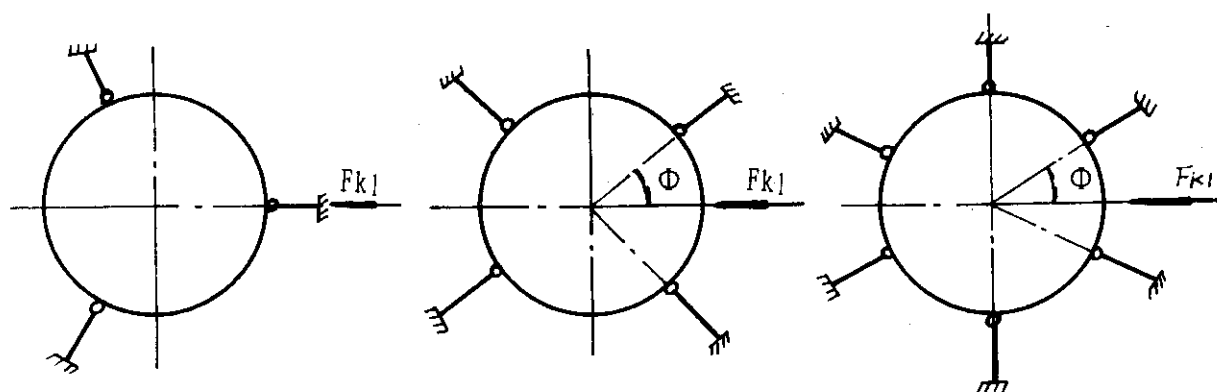


图 14—25

认定悬挂拉杆只能承受拉力。

每根拉杆上所受的地震拉力按式(14—115)计算：

$$F_i = \frac{F_{k1} \cos \Phi}{n_i \sin \theta} \dots\dots\dots (14-115)$$

式中： F_i ——每根拉杆上所受地震力， N ；

F_{k1} ——地震力， N ；

n_i ——承受地震力的悬挂拉杆根数；

对于 3 根者， $n_i=1$ ；

对于 4 根者， $n_i=2$ ；

对于 6 根者， $n_i=2$ ；

Φ ——有效悬挂拉杆与中心线间之夹角， $(^\circ)$ ；

对于 3 根者， $\Phi=0$ ；

对于 4 根者， $\Phi=45^\circ$ ；

对于 6 根者, $\phi=30^\circ$ 。

在重量和地震力同时作用下, 悬挂拉杆上所承受的拉力按式(14—116)计算:

$$F_{\Sigma} = F_s + F_l \dots\dots\dots (14-116)$$

式中: F_{Σ} ——拉杆上的总拉力, N 。

14.20.2 悬挂拉杆计算

悬挂拉杆直径按式(14—117)计算:

$$d_L = \sqrt{\frac{4F_{\Sigma}}{\pi[\sigma]_L}} \dots\dots\dots (14-117)$$

式中: d_L ——悬挂拉杆直径, mm ;

$[\sigma]_L$ ——悬挂拉杆材料许用应力, MPa 。

14.20.3 拉杆销计算

拉杆销直径按式(14—118)计算:

$$d_s = \sqrt{\frac{2F_{\Sigma}}{\pi[\tau]_L}} \dots\dots\dots (14-118)$$

式中: d_s ——拉杆销直径, mm ;

$[\tau]_L$ ——拉杆销材料许用剪切应力, 可选用其许用拉应力的 1/2。

14.20.4 连接件计算

连接件 A、B(图 14—26)的孔径与拉杆销直径相同。其受力面宽度, A 件按式(14—119)计算, B 件按(14—120)计算:

对于 A 件:

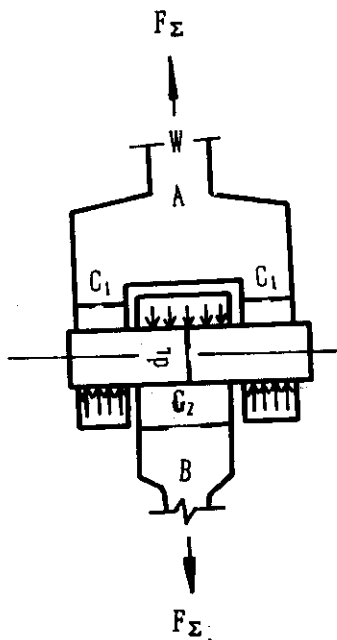


图 14—26

$$C_1 = \frac{F \sum}{2d_1 [\sigma]_A} \dots\dots\dots (14-119)$$

对于 B 件

$$C_2 = \frac{F \sum}{d_1 [\sigma]_B} \dots\dots\dots (14-120)$$

式中: C_1 ——A 件受压面宽度, mm;

C_2 ——B 件受压面宽度, mm;

d_1 ——拉杆销直径, mm;

$[\sigma]_A$ ——A 件材料的许用压应力, MPa;

$[\sigma]_B$ ——B 件材料的许用压应力, MPa。

14.20.5 耳座

料仓耳座的设计方法见 11.3。

15 制(建)造、检验与验收

15.1 总则

15.1.1 本章分别规定了各类容器(包括:圆筒形容器、立式圆筒形储罐、矩形容器、圆筒形料仓)的制(建)造、检验与验收。

15.1.2 容器的制造、检验与验收除符合本章规定外,还应符合图样的要求。

15.1.3 下列容器的焊接必须由持有锅炉压力容器焊工考试合格证或按 15.3.4.2 条规定的焊工担任:

a. 容器设计温度低于等于 -10°C 或高于 250°C 的容器;

b. 盛装毒性为中度危害或易燃易爆介质的容器;

c. 设计压力 p 与公称容积 V 的乘积大于等于 $0.5\text{MPa} \cdot \text{m}^3$ 或 V 大于 10m^3 的容器;

d. 壳体名义厚度大于等于 8mm 的容器。

15.1.4 容器的无损检测,必须由持有锅炉压力容器无损检测人员技术等级证书的人员担任。

15.1.5 按钢号推荐选用与母材相匹配的焊接材料如表 15—1 所示;推荐选用的不同钢号相焊的焊接材料见表 15—2。焊接材料必须具有质量合格证明书,当无质量合格证明书时,应对焊接材料进行复验。

表 15—1 常用钢号推荐选用的焊接材料

钢号	手弧焊		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		焊丝钢号	焊 剂			
	型号	对应牌号 示例		型 号	对应牌 号示例		
Q235—A·F Q235—A 10、20 Q235—B	E4303	J422	H08 H08Mn	HJ401—H08A	HJ431	H08Mn ₂ Si	—
20R、 Q235—C 20HP、20g	E4316	H08A	HJ401—H08A	HJ431	H08Mn ₂ Si	—	
	E4315	H08Mn					
25	E4303	J422	H08 H08Mn	HJ401—H08A	HJ431	—	—
	E5003	J502					
16Mn 16MnR	E5003	J502	H10MnSi H10Mn ₂	HJ401—H08A	HJ431	H08Mn ₂ SiA	H10Mn ₂
	E5016	J506		HJ402—H10Mn ₂	HJ350		
	E5015	J507					
1Cr18Ni9Ti (不推荐使用)	E0—19—10—16	A102	H0Cr20Ni 10Ti	—	HJ260		H0Cr20Ni10Ti
	E0—19—10—15	A107					
	E0—19—10Nb—16	A132					
	E0—19—10Nb—15	A137					
0Cr18Ni9	E 0—19—10 Nb—15	A132	H0Cr20Ni ₁₀	—	HJ260		H0Cr20Ni10
	E 0—19—10 Nb—15	A137					
0Cr18Ni10Ti	E 0—19—10 Nb—15	A132	H0Cr20Ni ₁₀	—	HJ260		—
	E 0—19—10 Nb—15	A137					
00Cr19Ni10	E 00—19—10—16	A002	H00Cr21 Ni10	—	HJ260		H00Cr21Ni10
0Cr17Ni 12Mo ₂	E 0—18—12 Mo 2—16	A202	H00Cr19Ni 12Mo ₂	—	HJ260		H00Cr19Ni 12Mo ₂
	E 0—18—12 Mo 2—15	A207					

续表 15—1

钢号	手弧焊		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		焊丝钢号	焊 剂			
	型号	对应牌号 示例		型 号	对应牌 号示例		
0Cr18Ni12 Mo2Ti	E 00—18—12Mo2 —16	A022	H 0 Cr20Ni 14Mo3	—	HJ260	—	H 0 Cr20Ni 14Mo3
	E 0—18—12Mo2 N b—16	A212					
0Cr19Ni13 Mo 3	E 0—19—13Mo3 —16	A242	—	—	—	—	—
00Cr17Ni11 Mo2	E 00—18—12Mo2 —16	A022	H0 Cr20Ni 14Mo3	—	HJ260	—	H 0 Cr20Ni 14Mo3
0Cr13	E 1—13—16	G202	—	—	—	—	—
	E 1—13—15	G207					

表 15—2 不同钢号相焊推荐选用的焊接材料

接头钢号	手 弧 焊		埋 弧 焊		
	焊 条		焊丝钢号	焊 剂	
	型 号	对应牌 号示例		型 号	对应牌 号示例
Q235—A(A3) +16Mn	E4303	J422	H08 H08Mn	HJ401—H08A	HJ431
20、20R+16MnR	E4315	J427	H08MnA	HJ401—H08A	HJ431
	E5015	J507			
Q235—A(A3)+ 0Cr18Ni10Ti	E 1—23—13—16	A302	—	—	—
	E 1—23—13Mo 2—16	A312			
20R+ 0Cr18Ni10Ti	E 1—23—13—16	A302	—	—	—
	E 1—23—13Mo 2—16	A312			
16MnR+ 0Cr18Ni10Ti	E 1—23—13—16	A302	—	—	—
	E 1—23—13Mo 2—16	A312			

15.2 圆筒形容器

15.2.1 加工与成形

15.2.1.1 焊接的坡口表面不得有裂纹、分层等缺陷。施焊前应将焊接接头表面的氧化物、油污、熔渣及其他有害杂质清除干净。清除的范围(以离坡口或板边缘计)不得小于 20mm。

15.2.1.2 封头各种不相交拼接焊接接头之间的最小距离应不小于封头名义厚度 δ_n 的 3 倍,且不小于 100mm。封头由瓣片和顶圆板拼接制成时,焊接接头方向只允许是径向和环向,径向焊接接头之间最小距离也不得小于上述的规定,如图 15—1 所示。

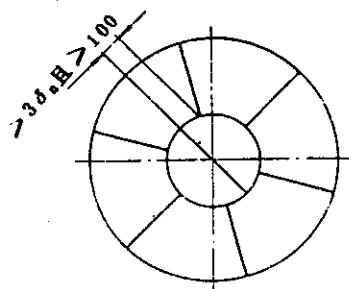


图 15—1

15.2.1.3 冲压成形后的封头,其最小厚度不应小于名义厚度 δ_n 减去钢板负偏差。

15.2.1.4 各种平盖、锥形(壳体)封头的最小厚度也应符合 15.2.1.3 的规定。

15.2.1.5 凸形封头、锥形(壳体)封头和平盖的加工允差(见图 15—2)不应大于表 15—3 的要求。

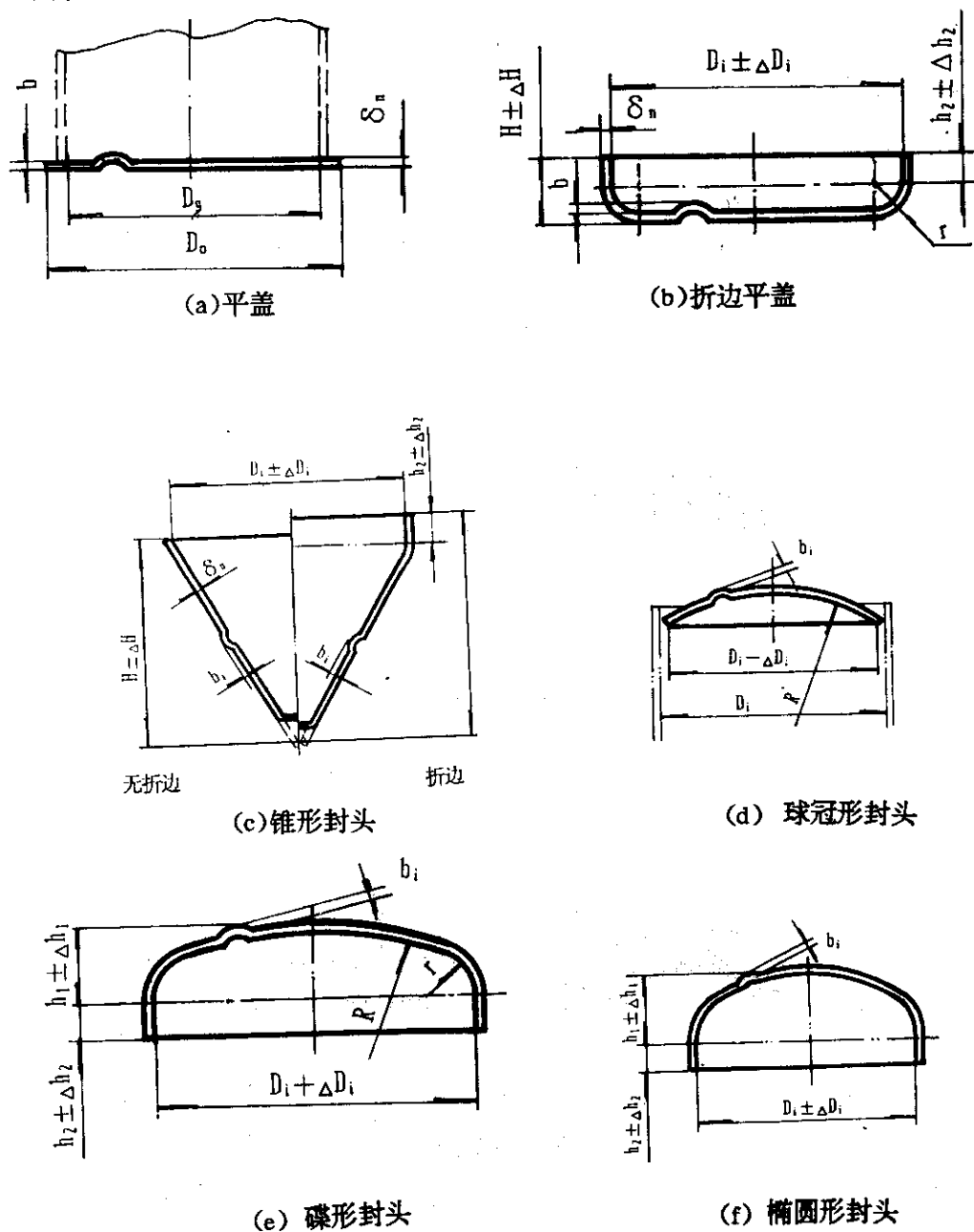


图 15—2

表 15—3

项 目 \ 允 差 内 直 径 D_i	<800	800~1200	1300~1600	1700~2400	2600~3000	3200~4000	4200~6000
ΔD_i 球冠形封头	2	2	2.5	3	3	3	3.5
ΔD_i 其它型式封头	2	3	4	5	6	6	8
最大最小内直径之差 e	2	4	6	8	9	10	11
表面局部凹凸量 b	2	3	4	4	4	4	4
直边高度允差 Δh_2	+5 -3						
曲面高度允差 Δh_1	4	6	8	12	16	20	24
封头全高允差 ΔH	5	5	5	6	7	7	8

15.2.1.6 碟形、折边锥形封头及折边平盖的过渡区转角内半径不应小于图样的规定值。

15.2.1.7 壳体上纵、环形焊接接头的对口错边量 b (见图 15—3(a)) 应不大于表 15—4 的规定。复合钢板对口错边量 b (见图 15—3(b)) 应不大于钢板复层厚度的 50%，且不大于 2mm。

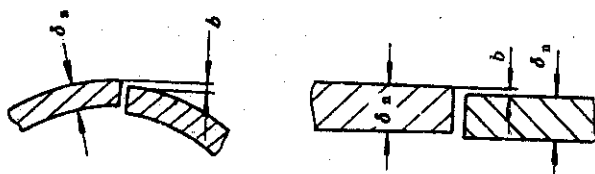


图 15—3(a)

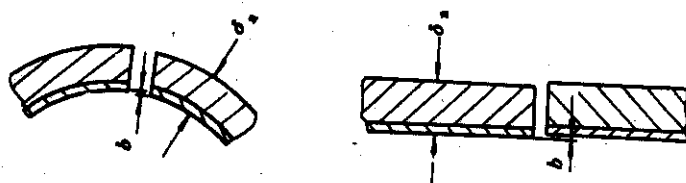


图 15—3(b)

表 15—4

mm

对口处的名义厚度 δ_n	对口错边量 b	
	纵向接头	环向接头
≤ 12	$\leq 1/4\delta_n$	$\leq 1/4\delta_n$
$12 < \delta_n \leq 20$	≤ 3	$\leq 1/4\delta_n$
$20 < \delta_n \leq 40$	≤ 3	≤ 5

15.2.1.8 圆筒对接纵向焊接接头形成的棱角 E ，用弦长等于 $1/6D_i$ 且不小于 300mm 的内或外样板检查(见图 15—4)，其 E 值不得大于 $(0.1\delta_n + 2)\text{mm}$ ，且不大于 5mm；圆筒对接环向焊接接头形成的棱角 E ，用长度不小于 300mm 钢直尺检查，其 E 值亦不得大于上列数值(见图 15—5)。

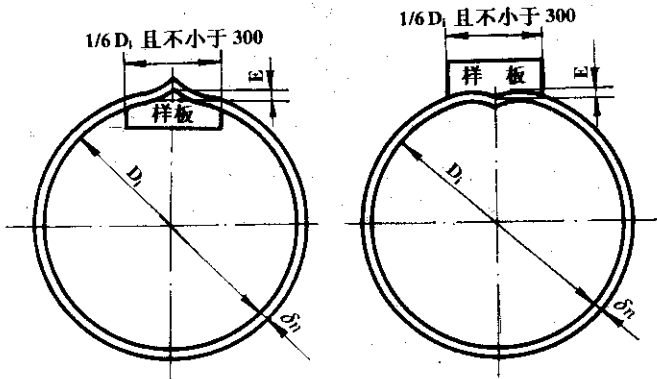


图 15—4

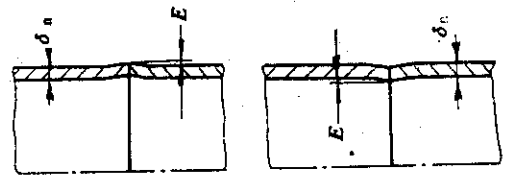


图 15—5

15.2.1.9 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 3mm 时，均应按图 15—6 的要求削薄厚板的边缘。

15.2.1.10 壳体同一断面上最大内直径与最小内直径之差，应不大于该断面设计内直径 D_i 的 1%，且不得大于 30mm(见图 15—7)。

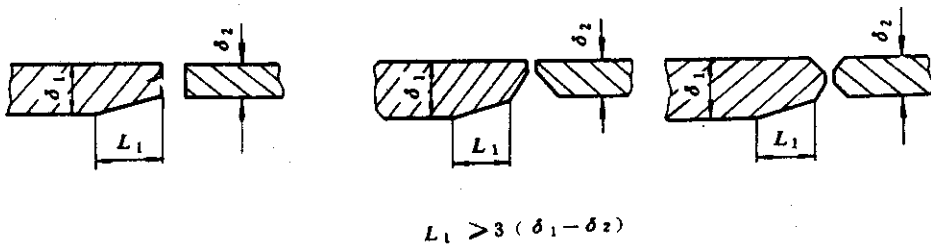


图 15—6

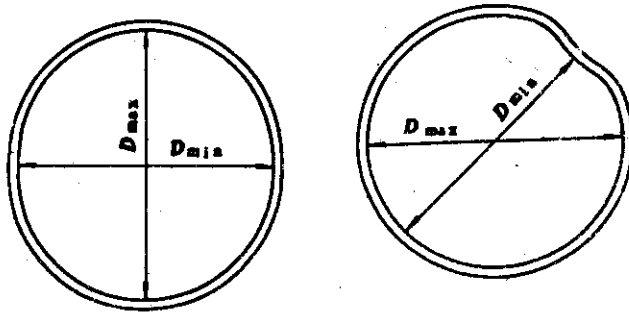


图 15—7

当被检断面位于开孔处或离开孔中心一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,应不大于该断面设计内直径 D_i 的 1% 与开孔内直径的 3% 之和,且不大于 35mm。

15.2.1.11 壳体组装时,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名义厚度 δ_n 的三倍,且不小于 100mm。筒节长度不应小于 300mm。

15.2.1.12 制造中应避免钢板表面的机械损伤,对严重的尖锐伤痕应进行修磨,对壳体用板的修磨深度不得超过名义厚度 δ_n 的 10%,且不大于 2mm,并使修磨范围内均匀过度,不得有突变。

高合金钢制容器的表面,不应有影响耐腐蚀性能的局部伤痕、刻槽等缺陷,遇有缺陷须予修磨,修磨深度不应超过钢板厚度(复合钢板指复层厚度)的负偏差。

超出规定的修磨深度,允许采用焊补,但焊补后还应满足本条的要求。

15.2.1.13 管路法兰应按相应标准要求进行加工;容器法兰应按 JB4700~JB4707 的规定。

角钢或扁钢制法兰的要求如下:

- a. 加工允差(见图 15—8)按表 15—5 的规定;
- b. 非配钻螺栓孔中心圆直径和相邻两孔弦长的允差为 $\pm 1\text{mm}$,任意两弦长允差应不大于 2mm。未注公差尺寸的配钻螺栓孔的公差应符合 GB/T1804 规定的 C 级的要求;
- c. 法兰表面不得有裂纹、毛刺,以及降低强度或连接可靠性的缺陷。

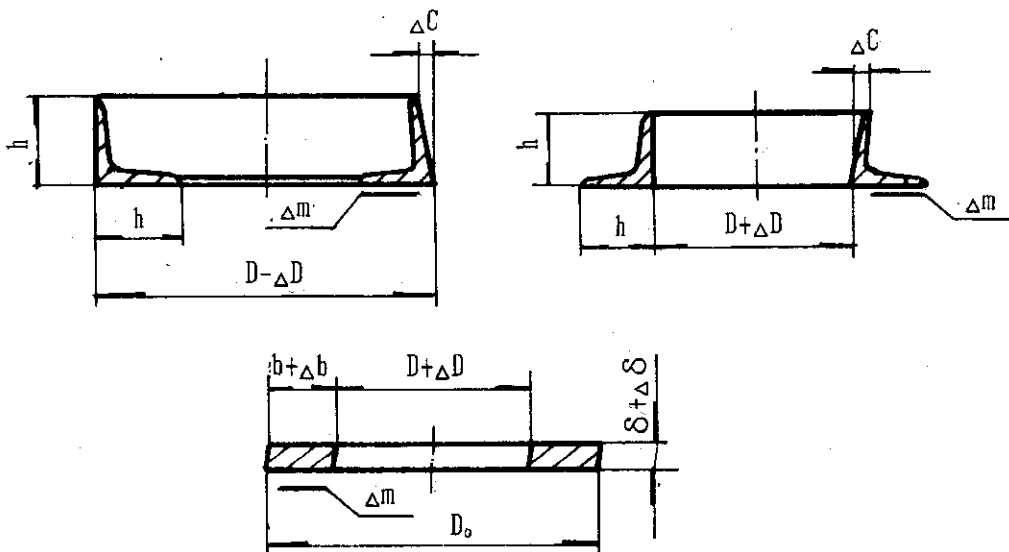


图 15—8

表 15—5

mm

允许直径 项 目		D	<800	800~1200	1300~1600	1700~2400	2600~3000	3200~4200
直径允差 ΔD	$h \leq 100$ $\delta_n \leq 50$		3	4	5	6	7	7
	$h > 100$ $\delta_n > 50$		4	5	6	7	8	8
表面不平度 Δm			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 ΔC	$h \leq 100$		2.5					
	$h > 100$		3.5					
宽度允差 Δb	$b \leq 100$		+3 -2					
	$b > 100$		+4 -2					
厚度允差 $\Delta \delta$			$\leq 0.1\delta_n$ 且不大于 3					

注：角钢、扁钢表面不平度用长度不小于 300mm 的直尺检查， Δm 为直尺与被检平面之间隙。

15.2.1.14 法兰面应垂直于接管或圆筒的主轴中心线。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。

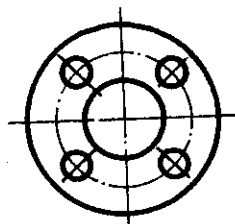


图 15—9

法兰螺栓孔也应与壳体主轴中心线或铅垂线跨中布置(见图 15—9)。有特殊要求时，应在图样中注明。

15.2.1.15 容器底座圈或底板上的地脚螺栓应跨容器主轴中心线均布，螺栓中心圆直径允差及相邻两孔弦长允差和任意两孔弦长允差均应不大于 2mm。

15.2.1.16 螺栓、螺母等紧固件，根据图样要求分别按照 GB3098.1、GB3098.2、GB5779.1、GB5779.2 的规定加工制造。

15.2.1.17 凡未规定公差尺寸的机械加工件和非机械加工件表面的极限偏差均按 GB/T1804 的 C 级和 V 级要求。

15.2.2 焊接

15.2.2.1 容器施焊前，应根据图样要求及施焊单位评定合格的焊接工艺，制定焊接工艺规程。焊工必须严格按焊接工艺施焊。

15.2.2.2 除按 15.1.3 条规定的容器外，其他容器的焊接也须由施焊单位考试合格的焊工承担。

- 15.2.2.3 焊条、焊剂及其他焊接材料应保持干燥,贮存焊材的库(室)需控制相对湿度不大于 60%。
- 15.2.2.4 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:
- 手工焊时风速大于 10m/s;
 - 气体保护焊时风速大于 2m/s;
 - 相对湿度大于 90%;
 - 雨、雪环境。
- 15.2.2.5 当焊件温度低于 0℃时,应在始焊处 100mm 范围内预热到 15℃左右。
- 15.2.2.6 对接焊接接头的余高 $e(e_1)$ 应控制在 0~4mm 之间(见图 15—10)。角焊接接头的焊脚,在图样无规定时,取焊件中较薄者之厚度。补强圈的焊脚不小于补强圈厚度的 70%,且不大于补强圈的名义厚度。角焊接接头与母材应呈平滑过渡。
- 15.2.2.7 焊接接头表面不得有裂纹、气孔、弧坑和夹渣等缺陷,不应保留有熔渣与飞溅;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。
- 15.2.2.8 为消除焊接接头表面缺陷或机械损伤而经打磨的焊接接头厚度应不小于母材的厚度。
- 15.2.2.9 需要返修的焊接接头,其返修工艺应符合 15.2.2.1 条的规定。返修次数、部位和返修应记入容器质量证明书。
- 15.2.2.10 有抗晶间腐蚀要求的高合金钢制容器,焊接接头返修部位仍需保证原有要求。

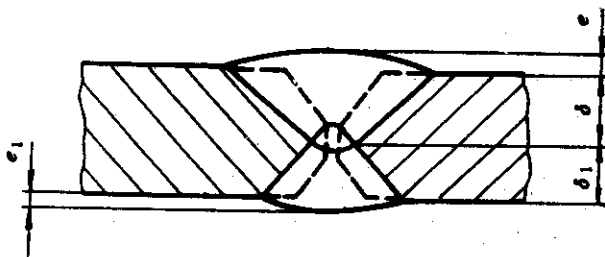


图 15—10

- 15.2.2.11 施焊后、应在焊接接头所规定的部位打上焊工钢印,有特殊要求者,按图样规定。
- 15.2.2.12 容器的焊接工艺评定报告、焊接工艺规程、施焊记录及焊工的识别标记,应保存 3 年。
- 15.2.3 热处理
- 15.2.3.1 冷成形封头应进行热处理。当制造单位确保冷成形后的材料性能符合设计、使用要求时,不受此限。
- 除图样另有规定外,冷成形的奥氏体高合金钢封头不进行热处理。
- 15.2.3.2 图样注明有应力腐蚀的容器,应进行消除应力的热处理。
- 15.2.3.3 有防腐要求的高合金钢及复合钢板制容器的表面,应进行酸洗、钝化处理。
- 15.2.3.4 高合金钢制另、部件按图样要求进行热处理,热处理后,需作酸洗、钝化处理。
- 15.2.4 无损检测
- 15.2.4.1 容器对接焊接接头,凡符合下列条件之一者,需进行局部射线或超声波无损检测,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:
- 15.1.3 条规定的容器;
 - 高合金钢制容器;
 - 材料标准抗拉强度 $\sigma_b > 400\text{MPa}$ 的钢制容器;
 - 进行气密性试验的容器;
 - 图样规定需作无损检测的容器。
- 只能进行气密性试验的容器,其无损检测长度见 15.5.6 条。

15.2.4.2 焊接接头的射线或超声波无损检测按 JB4730 进行,其检查结果,对射线检查Ⅲ级为合格;对超声波检查Ⅱ级为合格。

15.2.4.3 经射线或超声波检查的焊接接头中,如有不允许的缺陷,应在缺陷清除干净后进行焊补,并对其重新检查直至合格。

焊接接头中发现有不允许的缺陷时,应在该缺陷两端的延伸部位增加检查长度,增加的长度不应小于该条焊接接头长度的 10%。若仍有不允许的缺陷,则对该条焊接接头做 100% 的无损检测。

15.2.5 试验与验收

15.2.5.1 容器制造完工后,应按图样要求进行盛水试验、液压试验、气密性试验或煤油试漏等。

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

15.2.5.3 试验液体一般用水,需要时也可使用不会导致发生危险的其他液体;试验用气体需用干燥、洁净的空气、氮气或其他惰性气体。对高合金钢制容器,用水进行试验后,应立即将水渍去除干净。当无法达到这一要求时,就应控制用水的氯离子含量不超过 25ppm。

15.2.5.4 盛水试验

试验前应将焊接接头的外表面清除干净,并使之干燥。试验的持续时间应根据观察所需的时间决定,但不得少于一小时。试验中焊接接头应无渗漏。如有渗漏修补后应重新试验。试验完毕应立即将水排净,并使之干燥。

15.2.5.5 液压试验

- 试验时,必须采用两个经校正的量程相同的压力表。压力表的量程为试验压力的两倍以上;
- 液压试验的试验压力按图样规定;
- 试验液体的温度应不低于 5℃;
- 试验时,容器的顶部应设排气口。进液时,将容器内的空气全部排尽。试验过程中,应保持容器外表面干燥;
- 试验时,压力应缓慢上升,达到规定试验压力后,应保持 30 分钟以上,并检查所有焊接接头和连接部位。如有渗漏,修补后重作试验;
- 试验完毕后,应立即将液体排净,并使之干燥。

15.2.5.6 气密性试验

对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。若只能做气密性试验的容器,其对接焊接接头的无损检测长度不得少于各条焊接接头长度的 25%。试验时,压力应缓慢上升,达到规定试验压力后,保压 10 分钟,然后降至设计压力,在焊接接头和连接部位进行泄漏检查。小型容器亦可浸入水中检查。如有泄漏,修补后重新进行试验。

15.2.5.7 煤油渗漏试验

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,经半小时后以白粉上没有油渍为合格。

在图样允许的情况下,可以用煤油渗漏试验代替盛水试漏。

15.2.5.8 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。对夹套作液压试验时,应注意防止容器承受外压。

15.2.6 质量证明书、标志、油漆、包装、运输

15.2.6.1 容器出厂质量证明文件应包括三部分:

- 产品合格证;
- 容器说明书。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;
 - 容器的热处理状态与禁焊等特殊说明;

- c. 质量证明书。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；
 - 无损检结果；
 - 焊接质量的检查结果；
 - 压力试验结果；
 - 与本标准和图样不符的项目。

15.2.6.2 容器铭牌

容器铭牌应固定于明显的位置。

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. 最大允许工作压力；
- f. 试验压力；
- g. 设计温度；
- h. 容器质量。

15.2.6.3 容器的油漆、包装、运输按 JB2536 的规定。

15.3 立式圆筒形储罐

15.3.1 材料检验

15.3.1.1 建造储罐用钢材必须符合本标准第 4 章有关规定及图样要求。下料前应按钢材证明书核对并逐张(件)进行外观检查,表面不得有裂纹、拉裂、折叠、夹杂、结疤和压入氧化皮及分层等缺陷。

15.3.1.2 钢板表面锈蚀减薄量、划痕深度与钢板实际负偏差之和,应符合表 15—6 所列允许偏差。高合金钢板不应超出相应标准规定的负偏差,且不得有刻痕、划伤等缺陷。

表 15—6 钢板厚度的允许偏差 mm

钢板厚度	允许偏差
4	—0.3
4.5~5.5	—0.5
6~7	—0.6
8~25	—0.8
26~30	—0.9
32~34	—1.0
36~40	—1.1

15.3.1.3 罐壁用钢板,当名义厚度 δ_n 大于等于 22mm 时,应按 JB4730 进行超声检测,质量等级应符合Ⅲ级要求。检查数量按下列规定：

按钢板张数的 20%,且不少于两张进行抽查,发现有不合格时,应逐张检查。

15.3.2 预制

15.3.2.1 一般规定

15.3.2.1.1 储罐在预制、组装及检验过程中所使用的样板,应符合下列规定：

a. 当构件的曲率半径小于或等于 12.5m 时,弧形样板的弦长不得小于 1.5m;曲率半径大于 12.5m 时,弧形样板的弦长不得小于 2m;

b. 直线样板的长度不得小于 1m;

c. 测量焊接接头角变形的弧形样板的弦长不得小于 1m。

15.3.2.1.2 钢板切割及焊接接头坡口加工,应符合下列规定:

a. 钢板的切割和焊接接头的坡口,宜采用机械加工或自动、半自动火焰切割加工。罐顶板和罐底边缘板的圆弧边缘,可采用手工火焰切割加工。奥氏体高合金钢板应采用机械加工或等离子切割。

b. 用于对接接头厚度大于 10mm 的钢板和用于搭接接头厚度大于 16mm 的钢板,板边不宜采用剪切加工;

c. 当工作环境温度低于下列温度时,钢材不得采用剪切加工:

碳素钢: -16°C ;

低合金钢: -12°C 。

15.3.2.1.3 钢板边缘加工面应平滑,不得有夹渣、分层、裂纹及熔渣等缺陷。火焰切割坡口产生的表面硬化层,应磨除。

15.3.2.1.4 焊接接头的坡口型式和尺寸,当图样无规定时,应按 GB985 及 GB986 的规定选用。纵向接头气电焊及环向接头埋弧焊的焊接接头型式,应符合下列要求:

a. 纵向接头气电焊的对接接头的间隙 G 应为 4~6mm,钝边 F 不应大于 1mm,坡口宽度 W 应为 16~18mm(见图 15—11);

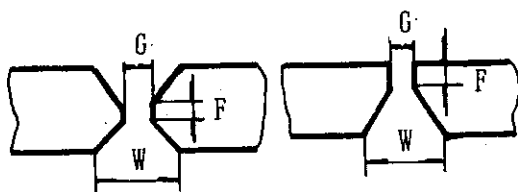


图 15—11

b. 环向接头埋弧焊的对接接头的坡口角度 α 应为 $45^{\circ} \pm 2.5^{\circ}$,钝边 F 不应大于 2mm,间隙 G 应为 0~1mm(见图 15—12)。

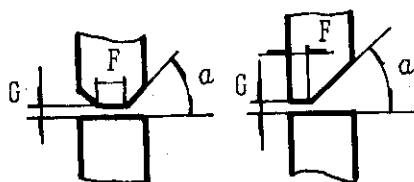


图 15—12

15.3.2.1.5 碳素钢工作环境温度低于 -16°C 或低合金钢工作环境温度低于 -12°C 时,不得进行冷矫正和冷弯曲。

15.3.2.1.6 所有预制构件在保管、运输及现场堆放时,应采取有效措施防止变形、损伤和锈蚀。高合金钢板及其零、部件应与其他钢材分开存放,且应采取措施保护表面的光洁。

15.3.2.2 壁板预制

15.3.2.2.1 壁板预制前应绘制排版图,并应符合下列规定:

- a. 各圈壁板的纵向焊接接头宜向同一方向逐圈错开,其间距宜为板长的 1/3,且不得小于 500mm;
- b. 底圈壁板的纵向焊接接头与罐底边缘板对接焊接接头之间的距离,不得小于 200mm;
- c. 罐壁开孔接管或开孔接管补强板外缘与罐壁纵向焊接接头之间的距离,不得小于 200mm;与环向焊接接头之间的距离,不得小于 100mm;
- d. 包边角钢对接接头与壁板纵向焊接接头之间的距离,不得小于 200mm;
- e. 直径小于 12.5m 的储罐,其壁板宽度不得小于 500mm;长度不得小于 1000mm。直径大于或等于 12.5m 的储罐,其壁板宽度不得小于 1000mm;长度不得小于 2000mm。

15.3.2.2.2 壁板尺寸的允许偏差,应符合表 15—7 之规定(见图 15—13)。

表 15—7 mm

测量部位		环向对接		环向搭接
		板长 AB (CD)≥10000	板长 AB (CD)<10000	
宽度 AC、BD、EF		±1.5	±1	±2
长度 AB、CD		±2	±1.5	±1.5
对角线之差 AD-BC		≤3	≤2	≤3
直线度	AC、BD	≤1	≤1	≤1
	AB、CD	≤2	≤2	≤3

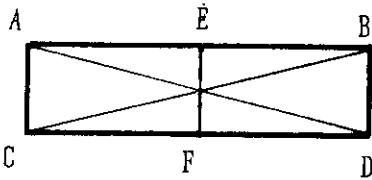


图 15—13

15.3.2.2.3 壁板卷制后,应立置在平台上用样板检查。垂直方向上用直线样板检查,其间隙不得大于 1mm;水平方向上用弧形样板检查,其间隙不得大于 4mm。

15.3.2.2.4 对板厚大于 12mm 且标准抗拉强度大于 450MPa 罐壁板上的人孔、清扫孔等有补强板的开口,在补强板及开口接管与相应罐壁板组装焊接并检验合格后,应进行消除应力热处理。

15.3.2.2.5 高合金钢板在施工过程中产生的刻痕、划伤必须修复,打磨深度不得超过钢板的负偏差。

15.3.2.3 底板预制

15.3.2.3.1 底板应按设计的排版图排板,具体要求按 12.5 条的有关规定。

15.3.2.3.2 用于弓形边缘板的对接接头,宜采用不等间隙(见图 15—14)。

外侧间隙 e_1 宜为 6~7mm;内侧间隙 e_2 宜为 8~12mm。

15.3.2.3.3 中幅板的宽度不得小于 1000mm;长度不得小于 2000mm。

15.3.2.3.4 底板任意相邻焊接接头之间的距离,不得小于 200mm。

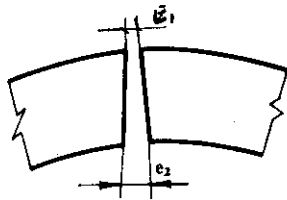


图 15—14 弓形边缘板对接接头间隙

15.3.2.3.5 当中幅板采用对接接头时,中幅板的尺寸允许偏差应符合本章第 15.3.2.2.2 条的规定。

15.3.2.3.6 弓形边缘板的尺寸允许偏差,应符合表 15—8 的规定(见图 15—15)。

表 15—8

mm

测量部位	允许偏差
长度 AB、CD	± 2
宽度 AC、BD、EF	± 2
对角线之差 $ AD-BC $	≤ 3

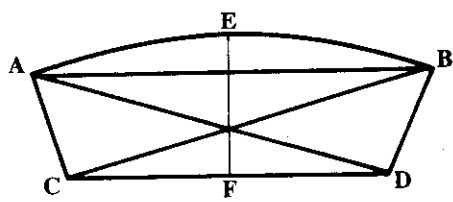


图 15—15

15.3.2.3.7 厚度大于或等于 12mm 的弓形边缘板,应在两侧 100mm 范围内(见图 15—15 中 AC、BD)按 JB4730 进行超声检测,结果应达到 III 级为合格,其坡口表面还应进行磁粉或渗透检测。

15.3.2.4 顶板预制

15.3.2.4.1 顶板预制前应绘制排板图,并应符合下列要求:

- a. 顶板任意相邻焊接接头的间距,不得小于 200mm;
- b. 单块顶板本身的拼接,可采用对接或搭接。

15.3.2.4.2 拱顶顶板的加强肋,用弧形样板检查,其间隙不得大于 2mm;加强肋与顶板组焊时,应采取防变形措施。

加强肋的拼接采用对接接头时,应加垫板,且必须完全焊透;采用搭接接头时,其搭接长度不得小于加强肋宽度的两倍。

15.3.2.4.3 拱顶顶板预制成型后,用弧形样板检查,其间隙不得大于10mm。

15.3.2.5 构件预制

15.3.2.5.1 加强圈、包边角钢等弧形构件加工成型后,用弧形样板检查,其间隙不得大于2mm。放在平台上检查,其翘曲变形不得超过构件长度的0.1%,且不得大于4mm。奥氏体高合金钢制构件不宜采用热煨成型,如果采用热煨成型,则应进行固溶化处理,热处理后,表面须进行酸洗钝化或抛光处理。

15.3.2.5.2 热煨成型的构件,不得有过烧、变质现象。其厚度减薄量不应超过1mm。

15.3.2.5.3 储罐的所有预制构件出厂时,应有编号,并应用油漆作出清晰的标志。

15.3.2.5.4 构件预制完毕出厂时,应提供下列资料:

- a. 构件清单(包括构件名称、编号、材质、规格及数量);
- b. 材料质量合格证明书;
- c. 构件质量合格证明书;
- d. 构件预制检查记录;
- e. 排板图;
- f. 设计修改文件。

15.3.3 组装

15.3.3.1 一般要求

15.3.3.1.1 储罐组装前,应将构件的坡口和搭接部位的泥砂、铁锈、水及油污等清理干净。

15.3.3.1.2 拆除组装用的工卡具时,不得损伤母材。钢板表面的焊疤应打磨平滑。如果母材有损伤,应按15.3.4.22条要求进行修补。

15.3.3.1.3 储罐组装过程中应采取措施,防止大风等自然条件造成储罐的失稳破坏。

15.3.3.1.4 储罐安装前,必须按土建基础设计文件和本标准附录E的规定对基础表面尺寸进行检查,合格后方可进行安装。

15.3.3.2 罐底组装

15.3.3.2.1 底板铺设前,其下表面应涂刷防腐涂料,每块底板边缘50mm范围内不刷。

15.3.3.2.2 储罐底采用带垫板的对接接头时,对接焊接接头应完全焊透,表面应平整。垫板应与对接的两块底板贴紧,其间隙不得大于1mm。罐底对接接头间隙,应符合表15—9的规定。

15.3.3.2.3 中幅板采用搭接接头时,搭接宽度允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ 。

15.3.3.2.4 中幅板与弓形边缘板之间采用搭接接头时,中幅板应搭在弓形边缘板的上面,搭接宽度可适当放大。

15.3.3.2.5 搭接接头三层钢板重叠部分,应将上层底板切角。切角长度应为搭接长度的2倍,其宽度应为搭接长度的 $\frac{2}{3}$,在上层底板铺设前,应先焊接上层底板覆盖部分的角焊接接头(见图15—16)。

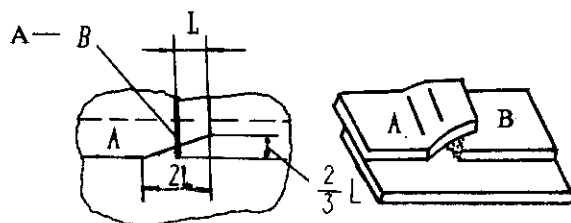


图15—16 底板三层钢板重叠部分的切角
A—上层底板;B—A板覆盖的焊接接头;L—搭接宽度

表 15—9

mm

焊接方法		底板厚度 δ	间 隙
手工电弧焊		$\delta \leq 6$	5 ± 1
		$\delta > 6$	7 ± 1
埋弧自动焊	不开坡口	$\delta \leq 6$	3 ± 1
		$6 < \delta \leq 10$	4 ± 1
	开坡口	$10 < \delta \leq 16$	2 ± 1
		$\delta > 16$	3 ± 1
手工电弧焊打底,埋弧自动焊作填充焊		$10 < \delta \leq 21$	8 ± 2

15.3.3.3 壁板组装

15.3.3.3.1 壁板组装前,应对预制的壁板进行尺寸外型复验,合格后方可组装。需重新校正时,应防止出现锤痕。

15.3.3.3.2 采用对接接头的罐壁组装应符合下列规定:

底圈壁板:

a. 相邻两壁上口的水平允许偏差,不应大于 2mm。在整个圆周上任意两点的水平允许偏差,不应大于 6mm;

b. 壁板的铅垂允许偏差,不应大于 3mm;

c. 组装焊接后,在底圈壁板 1m 高处,内表面任意点半径的允许偏差,应符合表 15—10 的规定。

表 15—10

储罐内直径 D(m)	半径允许偏差 (mm)
$D \leq 12.5$	± 13
$12.5 < D \leq 45$	± 19

其他各圈壁板:

d. 其他各圈壁板的铅垂允许偏差,不应大于该圈壁板高度的 0.3%。

e. 壁板对接接头的组装间隙,当图样无规定时,环向间隙可按表 15—11,纵向间隙可按表 15—12 的规定;

f. 壁板组装时,内表面应齐平,错边量应符合下列规定:

纵向焊接接头错边量不应大于板厚的 1/10,且不应大于 1.5mm。

环向焊接接头错边量,当上圈壁板厚度小于 8mm 时,任何一点的错边量均不得大于 1.5mm;当上圈壁板厚度大于等于 8mm 时,任何一点的错边量均不得大于板厚的 1/5,且不大于 3mm;

- g. 组装焊接后,焊接接头的角变形用 1m 长的弧形样板检查,应符合表 15—13 的规定;
 h. 组装焊接后,罐壁的局部凹凸变形应平缓,不得有突然起伏应符合表 15—14 的规定。

表 15—11 mm

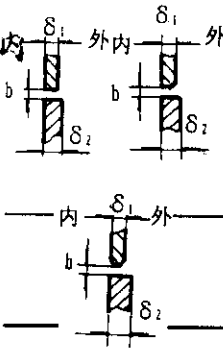
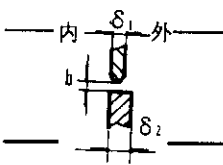
坡口型式	手工焊		埋弧焊	
	板厚	间隙	板厚	间隙
	$\delta_1 < 6$ $6 \leq \delta_1 \leq 15$ $15 < \delta_1 \leq 20$	$b = 2_0^{+1}$ $b = 2_0^{+2}$ $b = 3 \pm 1$	$12 \leq \delta_1 \leq 20$	$b = 0_0^{+1}$
	$12 \leq \delta_1 \leq 38$	$b = 0_0^{+1}$	$20 \leq \delta_1 \leq 38$	$b = 0_0^{+1}$

表 15—12 mm

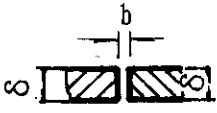
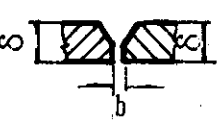
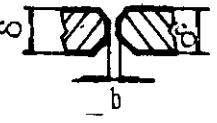
坡口型式	手工焊		气电立焊	
	板厚	间隙	板厚	间隙
	$\delta < 6$	$b = 1_0^{+1}$		
	$6 \leq \delta \leq 9$	$b = 2 \pm 1$	$12 \leq \delta \leq 38$	$b = 5 \pm 1$
	$9 < \delta \leq 15$			
	$12 \leq \delta \leq 38$	$b = 2_0^{+1}$		

表 15—13 mm

板厚 δ	角变形
$\delta \leq 12$	≤ 10
$12 < \delta \leq 25$	≤ 8
$\delta > 25$	≤ 6

表 15—14

mm

板厚 δ	罐壁的局部凹凸变形
$\delta \leq 25$	≤ 13
$\delta > 25$	≤ 10

15.3.3.3.3 罐壁采用搭接接头时,应符合下列规定:

a. 搭接宽度的允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$,搭接间隙不应大于 1mm ,丁字焊接接头的搭接处的局部间隙不得大于 2mm ;

b. 组装焊接后,罐壁的局部凹凸变形应符合第 15.3.3.3.2 条 h 及表 15—14 的规定;

c. 罐壁倒装时,顶圈罐壁上口的水平允许偏差和底圈罐壁的半径允许偏差,应符合第 15.3.3.3.2 条 a、b、c 的有关规定。

15.3.3.4 顶板组装

15.3.3.4.1 罐顶安装前应按表 15—10 的规定检查包边角钢的半径偏差。

15.3.3.4.2 顶板应按画好的等分线对称组装。顶板搭接宽度允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ 。

15.3.3.5 罐体的开孔接管,应符合下列要求:

a. 开孔接管的中心位置偏差,不得大于 10mm ;接管外伸长度的允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$;

b. 开孔补强板的曲率,应与罐体曲率一致;

c. 开孔接管法兰的密封面应平整,不得有焊瘤和划痕,法兰的密封面应与接管的轴线垂直,倾斜度不应大于法兰外径的 1% ,且不得大于 3mm ,法兰的螺栓孔应跨中安装。

15.3.4 焊接

15.3.4.1 储罐施焊前,施焊单位应按 JB4708 进行焊接工艺评定,并应符合下列要求:

a. 焊接工艺的评定,应采用对接焊接接头试件及 T 形角焊接接头试件。对接焊接接头的试件应包括底圈罐壁板的立焊及横焊位置,T 形接头、角焊接接头的试件,应由底圈壁板与罐底边缘板组成的角焊接接头试件切取。T 形接头、角焊接接头试件的制备和检验,应符合本标准附录 F 的规定;

b. 对接焊接接头的试件,应作拉伸和横向弯曲试验。当设计对母材冲击功有要求时,还应作冲击试验。

15.3.4.2 从事手工电弧焊、埋弧焊和气电立焊的焊工应按 GBJ236 焊工考试的有关规定进行考试,且应符合下列规定:

a. 考试试板的接头型式、焊接方法、焊接位置及材质等,均应与施焊的储罐一致;

b. 对于埋弧焊焊工除应进行埋弧焊平焊或横焊位置的考试外,还应进行手工电弧焊平焊位置的考试;

c. 气电立焊焊工应通过立焊板状试板的考试;

d. 试板必须进行外观检查、射线检测和冷弯试验。射线检测应不低于 JB4730 规定的 II 级为合格。

15.3.4.3 按《锅炉压力容器焊工考试规则》考试合格并取得劳动部门颁发的相应钢材类别、组别和试件分类代号合格证的焊工,可以从事储罐相应部位的焊接,不再考试。

15.3.4.4 储罐施工前,应根据焊接工艺评定报告等,制定储罐焊接施工技术方案。

15.3.4.5 焊接设备应满足焊接工艺和材料的要求。

15.3.4.6 $\sigma_b > 400\text{MPa}$ 、板厚大于 13mm 的罐壁对接焊接接头,应采用低氢型焊条进行焊接。

15.3.4.7 焊接材料应设专人负责保管,使用前应按产品说明书或表 15—5 的规定进行烘干后使用。

表 15—15

种 类		烘干温度 (℃)	恒温时间 (h)	允许使用时间 (h)	重复烘干次数
非低氢型焊条 (纤维素型除外)		100~150	0.5~1	8	≤3
低氢型焊条		350~400	1~2	4	≤2
焊剂	熔炼型	150~300	1~2	4	—
	烧结型	200~400			
药芯焊丝		200~350	1~2	—	—

注:药芯密封的焊丝和密封盒装的药芯焊丝原则上不再烘干。药芯焊丝烘干后应冷却至室温才能装机使用,以免堵塞导电嘴。

烘干后的低氢焊条,应保存在 100~150℃ 的恒温箱中,随用随取。低氢型焊条在现场使用时,应备有性能良好的保温筒,超过允许使用时间后须重新烘干。

用于高合金钢焊接的氩气纯度不得低于 99.9%,含水量不得大于 50mg/m³。

15.3.4.8 气电立焊所使用的保护气体,水分含量不应超过 0.005%(质量)。使用前应经预热和干燥。

15.3.4.9 定位焊及工卡具的焊接,应由合格焊工担任、焊接工艺应与正式焊接相同。引弧和熄弧都应在坡口内或焊道上。

每段定位焊接的长度,碳素钢不宜小于 50mm;低合金钢不宜小于 80mm。

15.3.4.10 焊接前应检查组装质量,清除坡口面及坡口两侧 20mm 范围内的泥砂、铁锈、水份和油污,并应干燥。

15.3.4.11 焊接中应保证焊道始端和终端的质量。始端应采用后退起弧法,必要时可采用引弧板。终端应将弧坑填满。多层焊的层间接头应错开。

15.3.4.12 板厚大于或等于 6mm 的搭接角焊接接头,应至少焊两遍。

15.3.4.13 双面焊的对接接头在背面焊接前应清根。当采用碳弧气刨时,清根后应修整刨槽,磨除渗碳层。

15.3.4.14 焊前预热温度,应根据钢板的材质、厚度、接头拘束度、焊接材料及气候条件等因素,经焊接性试验及焊接工艺评定确定。推荐的预热温度,列于表 15—16。

预热时应均匀加热。预热的范围,不得小于焊接接头中心线两侧各三倍板厚,且不小于 100mm。预热温度应采用测温笔或表面温度计在距焊接接头中心线 50mm 处对称测量。

焊前预热的焊接接头,焊接层间温度不应低于预热温度。

15.3.4.15 需后热消氢处理的焊接接头,应在焊接完毕后立即进行消氢处理。消氢处理的加热温度宜为 150~250℃,保温的时间,宜为 0.5~1h。

15.3.4.16 要求焊后,做晶间腐蚀试验的高合金钢储罐,应在图样上注明。

15.3.4.17 强度不同的钢材对焊时,宜选用与强度较低的钢材相匹配的焊材和采用强度较高的钢材的焊接工艺。

15.3.4.18 推荐的罐底焊接顺序:

a. 中幅板的焊接,需先焊短焊道,后焊长焊道。初层焊道应采用分段退焊或跳焊法;

b. 边缘板的焊接,需首先施焊靠外缘 300mm 的部位。在罐底与罐壁连接的角焊接接头焊完后,且在边缘板与中幅板之间的收缩焊接头施焊前,应完成剩余的边缘板对接焊。

表 15—16

钢 种	钢板厚度 (mm)	焊接环境气温 (℃)	预热温度 (℃)
碳素钢	$20 \leq \delta \leq 30$	$-20 \sim 0$	50~100
	$30 < \delta \leq 38$	$-20 \sim 0$	75~125
16Mn, 16MnR	$25 < \delta \leq 32$	$-10 \sim 0$	75~125
	$32 < \delta \leq 38$	$-10 \sim \text{常温}$	100~125

弓形边缘板对接焊的初层焊,宜采用焊工均匀分布,对称施焊方法。收缩接接头的第一层焊接,应采用分段退焊或跳焊法;

c. 罐底与罐壁连接的角焊接头,应在底圈壁板纵焊接接头焊完后施焊,并由数对焊工从罐内、外沿同一方向进行分段焊接。初层的焊道,应采用分段退焊或跳焊法。

15.3.4.19 罐壁的焊接,宜按下列顺序进行:

a. 罐壁的焊接,应先焊纵向接头,后焊环向接头。当焊完相邻两圈壁板的纵向接头后,再焊其间的环向接头;焊工应均匀分布,并沿同一方向施焊;

b. 纵向接头采用气电立焊时,宜自下向上焊接。对接环向接头采用埋弧自动焊时,焊机应均匀分布,并沿同一方向施焊;

c. 罐壁环向的搭接接头,应先焊罐壁内侧向接头,后焊罐壁外侧接头。焊工应均匀分布,并应沿同一方向施焊。

15.3.4.20 固定顶顶板的焊接,宜按下列顺序进行:

a. 先焊内侧接头,后焊外焊道。径向的长焊道,宜采用间隔焊对称施焊方法,并由中心向外分段退焊;

b. 焊接顶板与包边角钢时,焊工应对称均匀分布,并应沿同一方向分段退焊。

15.3.4.21 在制造、运输和施工过程中产生的各种表面缺陷的修补,应符合下列规定:

a. 深度超过 0.5mm 的划伤、电弧擦伤、焊疤等有害缺陷,应打磨平滑。打磨修补后的钢板厚度,应大于或等于钢板名义厚度扣除负偏差值。

b. 缺陷深度或打磨深度超过 1mm 时,应进行补焊,并打磨平滑。

15.3.4.22 焊接接头缺陷的修补,应符合下列规定:

a. 焊接接头表面缺陷超过本规范第 15.3.5.2 条规定时,应进行打磨或补焊;

b. 焊接接头内部的超标缺陷在修补前,应探测缺陷的埋置深度,确定缺陷的清除面。清除的深度不宜大于板厚的 2/3。当采用碳弧气刨时,缺陷清除后应修磨刨槽;

c. 返修后的焊接接头,应按原规定的方法进行探伤,并应达到合格标准。

15.3.4.23 焊接的修补,必须严格按照焊接工艺进行,其修补的长度,不应小于 50mm。

15.3.4.24 同一部位的返修次数,不宜超过二次,当超过二次时,须经施工单位技术总负责人批准。

15.3.4.25 盛装腐蚀介质的高合金钢储罐焊后的内部表面应做酸洗钝化处理。

15.3.5 检验与验收

15.3.5.1 焊接接头应进行外观检查,检查前应将熔渣、飞溅清理干净。

15.3.5.2 焊接接头的表面质量,应符合下列规定:

a. 焊接接头的表面及热影响区,不得有裂纹、气孔、夹渣和弧坑等缺陷;

b. 对接焊接接头的咬边深度,不得大于 0.5mm;咬边的连续长度,不得大于 100mm;焊接接头两侧咬边的总长度,不得超过该焊接接头长度的 10%;

15.3.5.3 焊接接头的缺陷不应超过下列规定:

a. 边缘板的厚度大于或等于 10mm 时底圈壁板与边缘板的 T 形接头和罐内角焊接头靠罐底一侧的边缘,应平滑过渡,咬边应打磨圆滑;

b. 罐壁纵向对接接头不得有低于母材表面的凹陷。罐壁环向对接接头和罐底对接接头低于母材表面的凹陷深度,不得大于 0.5mm。凹陷的连续长度不得大于 10mm。凹陷的总长度,不得大于该焊接接头总长度的 10%;

c. 焊接接头宽度,应按坡口宽度两侧各增加 1~2mm 确定;

d. 对接接头的错边量,应符合本规范第 15.3.3.2 条的规定。

15.3.5.4 从事储罐无损检测的人员,必须具有按 15.1.4 条规定的与其工作相适应的资格证书。

15.3.5.5 罐底的焊接接头,应进行下列检查:

a. 所有焊接接头应采用真空箱法进行严密性试验,试验负压值不得低于 53kPa,无渗漏为合格;

b. 厚度大于或等于 10mm 的罐底边缘板,每条对接焊接接头的外端 300mm 范围内,应进行射线检测;厚度为 6~9mm 的罐底边缘板,每个焊工施焊的焊接接头,应至少抽查一条;

c. 底板三层钢板重叠部分的搭接接头和对接罐底板的 T 型接头的根部焊道焊完后,在沿三个方向各 200mm 范围内,应进行渗透检测,全部焊完后,应进行渗透或磁粉检测。

15.3.5.6 罐壁的焊接接头,应进行下列检查:

a. 纵向焊接接头,每一焊工焊接的每种板厚(板厚差不大于 1mm 时可视为同等厚度),在最初焊接的 3m 焊接接头的任意部位取 300mm 进行射线检测。以后不考虑焊工人数,对每种板厚在每 30m 焊接接头及其尾数内的任意部位取 300mm 进行超声或射线检测,检查部位中的 25%应位于 T 型焊接接头处,且每台罐不少于 2 处;

b. 环向对接接头,每种板厚(以较薄的板厚为准),在最初焊接的 3m 焊接接头的任意部位取 300mm 进行超声或射线检测。以后对于每种板厚,在每 60m 焊接接头及其尾数内的任意部位取 300mm 进行射线检测。上述检查均不考虑焊工人数;

c. 底圈壁板当厚度小于或等于 10mm 时,应从每条纵向焊接接头中任取 300mm 进行射线检测,当板厚大于 10mm 时,应从每条纵向焊接接头中取 2 个 300mm 进行超声或射线检测。其中一个应靠近底板;

d. 厚度大于 25mm 小于或等于 38mm 的各圈壁板,每条纵向焊接接头应全部进行超声或射线检测;厚度大于 10mm 的壁板,全部 T 型焊接接头均应进行超声或射线检测。

e. 射线检测或超声检测不合格时,应在该检测长度的两端延伸 300mm 作补充检测,但缺陷的部位距离底片端部或超声波检查端部 75mm 以上者可不再延伸。如延伸部位的检测结果仍不合格时,应继续延伸进行检查。

15.3.5.7 底圈罐壁与罐底的 T 型接头和罐内角焊接头,应进行下列检查:

a. 当罐底边缘板的厚度大于或等于 8mm,且底圈壁板的厚度大于或等于 16mm,在罐内及罐外角焊接头焊完后,应对罐内角焊接头进行渗透检测或磁粉检测。在储罐充水试验后,应采用同样方法进行复验;

15.3.5.8 厚度大于 25mm 的碳素钢及低合金钢钢板上的接管角焊接头和补强板角焊接头,应在焊完后或消除应力热处理后及充水试验后进行渗透检测或磁粉检测。

15.3.5.9 开孔补强板焊完后,由信号孔通入 100~200kPa 压缩空气,检查焊接接头严密性,无渗漏为合格。

15.3.5.10 焊接接头的无损检测按 JB4730 具体要求如下:

a. 对接焊接接头的射线检测按“焊接接头射线透照检测”规定的 III 级为合格;对 $\delta_n \geq 25\text{mm}$ 的碳素钢和 $\delta_n \geq 16\text{mm}$ 的低合金钢的对接焊接接头,II 级为合格;

b. 超声检测的对接焊接接头 II 级为合格;

c. 磁粉或渗透检测按“表面检测”规定的缺陷等级评定,其中缺陷显示累积长度按 III 级为合格。

15.3.6 罐体形状和尺寸检查

15.3.6.1 罐壁组装焊接后,几何形状和尺寸,应符合下列规定:

- a. 罐壁高度的允许偏差,不应大于设计高度的 0.5%;
- b. 罐壁铅垂的允许偏差,不应大于罐壁高度的 0.4%,且不得大于 50mm;
- c. 罐壁的局部凹凸变形,应符合 15.3.3.3.2 条的规定;
- d. 底圈壁板内表面半径的允许偏差,应符合 15.3.3.3.2 条的规定;

15.3.6.2 罐壁上的工卡具焊迹,应清除干净,焊疤应打磨平滑。

15.3.6.3 罐底焊接后,其局部凹凸变形的深度,不应大于变形长度的 2%,且不大于 50mm。

15.3.7 充水试验

15.3.7.1 储罐建造完毕后,应进行充水试验,并应检查下列内容:

- a. 罐底严密性;
- b. 罐壁强度及严密性;
- c. 固定顶的强度、稳定性及严密性;
- d. 基础的沉降。

15.3.7.2 充水试验应符合下列规定:

- a. 充水试验前,与罐体焊接的所有构件及附件应全部完工;
- b. 充水试验前,所有与严密性试验有关的焊接接头,均不得涂刷油漆;
- c. 充水试验应采用淡水,罐壁采用碳素钢或 16MnR 钢板时,水温不应低于 5℃;
- d. 充水过程中,如基础发生不允许的沉降,应停止充水,待处理后方可继续进行试验;
- e. 充水和放水过程中,应打开透光孔,且不得使基础浸水。

15.3.7.3 罐底的严密性,应以充水试验过程中罐底无渗漏为合格。若发现渗漏,应按 15.3.4 条有关规定焊补。

15.3.7.4 罐壁的强度及严密性试验,应以充水到设计最高液位并保持 48h 后,罐壁无渗漏、无异常变形为合格。发现渗漏时应放水,使液面比渗漏处低 300mm 左右,并按 15.3.4 条有关规定焊补。

15.3.7.5 固定顶的强度及严密性试验,罐内水位应在最高设计液位下 1m 进行缓慢充水升压,当升至试验压力时,应以罐顶无异常变形,焊接接头无渗漏为合格。试验后,应立即使储罐内部与大气相通,恢复到常压。引起温度剧烈变化的天气,不宜作固定顶的强度、严密性试验和稳定性试验。

15.3.7.6 固定顶的稳定性试验应充水到设计最高液位用放水方法进行。试验时应缓慢降压,达到试验负压时,罐顶无异常变形为合格。试验后,应立即使储罐内部与大气相通,恢复到常压。

15.3.7.7 基础的沉降观测,应符合下列规定:

- a. 储罐壁下部每隔 10m 左右,设一个观测点,点数宜为 4 的整倍数,且不得少于 4 点。
- b. 充水试验时,应按设计文件的要求对基础进行沉降观测。如设计文件中无规定时,可参照本标准附录 E 进行。

15.3.8 竣工验收

15.3.8.1 储罐竣工后,建设单位应按设计文件和本标准对工程质量进行全面检查和验收。

15.3.8.2 施工单位提交的竣工资料,应包括下列内容:

- a. 储罐交工验收证明书;
- b. 竣工图或施工图,并附设计修改文件及排板图;
- c. 材料和附件出厂质量合格证书或检验报告;
- d. 储罐基础检查记录;
- e. 储罐罐体几何尺寸检查记录;
- f. 焊接接头无损检测报告;
- g. 焊接接头返修记录(附标注缺陷位置及长度的排板图);
- h. 强度及严密性试验报告;
- i. 基础沉降观测记录。

15.3.8.3 凡按本标准建造的储罐,均应在储罐进出管上方 1m 处装设铭牌。铭牌应使用耐腐蚀金属

板制作,用铆接或粘接的方法固定在铭牌支架上与罐壁焊接,当罐壁有绝热层时,应使支架高度超过绝热层厚度。铭牌可按图 15—17 制备。

250

JB4735-97

结构形式 罐编号

公称容积 储存介质

公称直径/高度 操作温度

罐壁材料 局部应力消除

设计单位

建设单位

180

图 15—17 铭牌

15.4 圆筒形料仓

15.4.1 建造圆筒形料仓除应按本条规定进行制造、安装、检验与验收外,其未作规定的项目,可按本标准 15.2 条“圆筒形容器”和 15.3 条“立式圆筒形储罐”的相关要求以及 JB4710 的有关规定,在图样中注明。

15.4.2 材料检验

15.4.2.1 料仓用钢材须符合 14.1 条及图样要求,下料前应按钢材证明书核对并逐张进行外观检查。

15.4.2.2 料仓主体材料(筒体、锥底、仓盖)材料表面不得有裂纹、拉裂、刻痕、划伤、折叠、麻点、压坑、锈蚀和压入氧化皮及分层等缺陷。发现缺陷应予清除,特别是与料仓主轴线垂直或倾斜 30° 以上的刻痕、划伤必须打磨光滑。清除或修磨后的表面不得有肉眼看出的起伏变化。

15.4.2.3 经清除或修磨后的板厚负偏差不应超出下列规定:

- a. 碳素钢和低合金钢板应符合表 15—17 的要求。
- b. 高合金钢板不应超出相应标准规定的板厚负偏差。

15.4.2.4 要求抛光的钢板表面,必须按抛光级的板面进行检查,不符合要求不得使用。

表 15—17 钢板厚度允许偏差 mm

钢板厚度	允许偏差
4	-0.3
4.5~5.5	-0.5
6~7	-0.6
8~25	-0.8
26~30	-0.9
32~34	-1.0

15.4.2.5 经检验合格的钢板应妥为存放,采取妥善措施保护检定的表面。高合金钢钢材及其零部件应与其他钢材分开存放,并按不同类别和规格尺寸放置在垫木上。

15.4.2.6 需要在抛光的板面上做标记时,宜用易擦洗的颜料作标记,不得使用打钢印标记,用划针划线、洋冲打眼等方法。

15.4.2.7 用于高合金钢焊接的氩气纯度不得低于 99.9%,含水量不得大于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。

15.4.3 预制

15.4.3.1 料仓预制应设专用作业区,并应有防风、防雨设施,在有抛光要求时,还需要可靠的防尘与其

他防护措施,等待抛光、正在抛光和已经抛光的表面都要进行有效的保护。

15.4.3.2 在预制平台和专用施工机具上应有保持板面光洁之垫层;预制加工过程中应有防止板面划伤的有效措施。

15.4.3.3 预制前应根据设计图样及材料规格绘制排板图,且应符合下列要求:

15.4.3.3.1 直径小于和等于 3m 的料仓:

- a. 仓体筒节、锥底的拼板展开长度不得小于 1000mm,宽度不得小于 500mm(锥底最下端的卷板除外),剩余宽度不得小于 300mm;
- b. 相邻筒节的纵向焊接接头之间的距离不得小于 100mm;
- c. 仓盖、锥底的拼接焊接接头与相邻筒节的纵向焊接接头之间的距离不得小于 100mm;
- d. 裙座的纵向焊接接头与相接筒节纵向焊接接头和底座环的拼接焊接接头间的距离不得小于 100mm;
- e. 接管或补强圈、支座或支垫板及吊耳或吊耳垫板、包边角钢对接焊接接头等与仓体焊接接头边缘距离不得小于 50mm。

15.4.3.3.2 直径大于 3m 且小于等于 10m 的料仓:

- a. 仓体筒节与锥底的拼板展开长度不得小于 1500mm,宽度不得小于 1000mm(仓底锥体最下端的卷板除外),剩余宽度不得小于 500mm;
- b. 相邻筒节的纵向焊接接头之间的距离不得小于 200mm;
- c. 仓盖、锥底的拼接焊接接头端点与相邻筒节的纵向焊接接头之间的距离不得小于 200mm;
- d. 裙座的纵向焊接接头与相邻筒节纵向焊接接头和底座环的拼接接头间的距离不得小于 100mm;
- e. 接管或补强圈、支座或支垫板、吊耳或吊耳垫板及包边角钢对接焊接接头等与仓体焊接接头边缘距离不得小于 50mm。

15.4.3.3.3 直径大于 10m 的料仓:

- a. 仓体筒节与锥底的拼板展开长度不得小于 2000mm,宽度不得小于 1500mm(仓底锥体最下端卷板除外),剩余宽度不得小于 1000mm;
- b. 相邻筒节的纵向接头之间,以及仓顶、仓底的拼接焊接接头端点与相邻筒节的纵向焊接接头之间的距离不得小于 300mm;
- c. 裙座纵向焊接接头与相邻筒节纵向焊接接头之间,以及与底座环的拼接焊接接头之间的最小距离不得小于 200mm;
- d. 接管或补强圈、支座或支垫板、吊耳或吊耳垫板、以及包边角钢的对接焊接接头与仓体焊接接头边缘之距离均不得小于 100mm。

15.4.3.4 预制焊接接头坡口的型式应符合图样要求,图样无规定时,按 GB985 的规定。

15.4.3.5 钢板焊接坡口加工表面应平滑,不得有夹渣、分层、裂纹等缺陷,火焰切割坡口产生的表面硬化层,必须磨除。

直径大于 3m 的高合金钢料仓用板的焊接坡口,应进行机械加工。

15.4.3.6 仓盖由瓣片和中心圆板对接组成时,焊接接头必须是经向和环向的,经向焊接接头之间的最小距离不得小于 100mm(见图 15—1)

15.4.3.7 仓体筒节壁板和锥底壁板尺寸的允许偏差应分别符合表 15—18(见图 15—13)和表 15—19 见(图 15—15)的规定。

15.4.3.8 锥底排板投影视图上均应按经向排列,其任意相邻经向焊接接头之间距,对直径小于 10m 的料仓不得小于 200mm;对直径大于 10m 的料仓不得小于 300mm(见图 15—18)。

表 15—18 筒节板尺寸允差 mm

测量部位		板长 AB (CD)≥10000	板长 AB (CD)<10000
宽度 AC、BD、EF		±1.5	±1
长度 AB、CD		±2	±1.5
对角线之差 AD-BC		≤3	≤2
直线度	AC、BD	≤1	≤1
	AB、CD	≤2	≤2

表 15—19 锥底壁板尺寸允差 mm

测量部位	板长 AB≥8000	板长 AB<8000
高度 AC、BD、EF	±1.5	±1.0
弦长 AB、CD	±1.5	±1.0
对角线之差 AD-BC	≤3	≤2

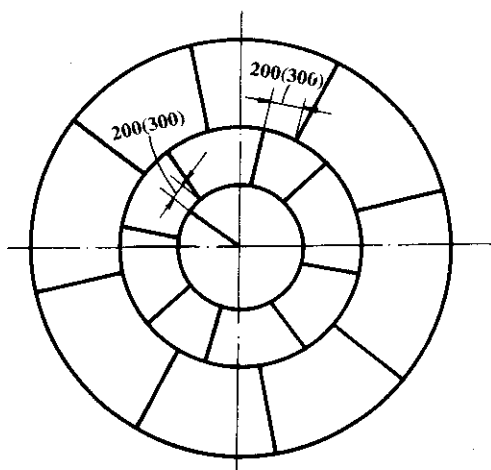


图 15—18

15.4.3.9 料仓主体的各类板片预制成形后,均须在平台上用样板检查合格。

15.4.3.9.1 直径小于等于 10m 的料仓:

- 仓盖瓣片用弦长大于 1.5m 的样板检查,其间隙不得大于 4mm;
- 仓体圆筒与锥底板片用弦长大于 1.5m 的样板检查,其间隙不得大于 3mm。

15.4.3.9.2 直径大于 10m 的料仓:

- 仓盖瓣片用弦长大于 2m 的样板检查,其间隙不得大于 5mm;
- 仓体圆筒与锥底板片用弦长大于 2m 的样板检查,其间隙不得大于 3mm。

15.4.3.10 料仓筒体与锥底因焊接在轴向形成的棱角 E,用弦长等于 1/6 内直径 D_1 ,且不小于 300mm

的内样板或外样板检查(见图 15—4),其 E 值不得大于 $(\frac{\delta_n}{10}+2)$ mm,且不大于 3mm。

因焊接在环向形成的棱角 E(见图 15—5),用长度不小于 300mm 的检查尺检查,其 E 值不得大于 $(\frac{\delta_n}{10}+2)$ mm,且不大于 5mm。应尽量避免内棱角。

15.4.3.11 底座环或底板上基础螺栓孔应跨中均布,中心圆直径允差、相邻两孔弦长见允差和任意两弦长允差均不得大于 2mm。

15.4.3.12 包边角钢及加强圈预制后的圆度用弧形样板检查:

直径小于或等于 3m 的料仓,样板弦长需大于 1.5m,直径大于 3m 时,样板弦长需大于 2m。

用样板检查时,任何部位的间隙均不应大于 3mm。

15.4.3.13 包边角钢及加强圈预制后的平面度应在平台上进行检查,平面度不得超过该预制件直径或弦长的千分之二,且不大于 6mm。

15.4.3.14 包边角钢圈、加强圈预制后的最大直径与最小直径之差不得大于公称直径的 0.3%,且不大于 10mm。

15.4.3.15 型钢拼接的座底环的尺寸允差,可按表 15—20(图 15—19)。

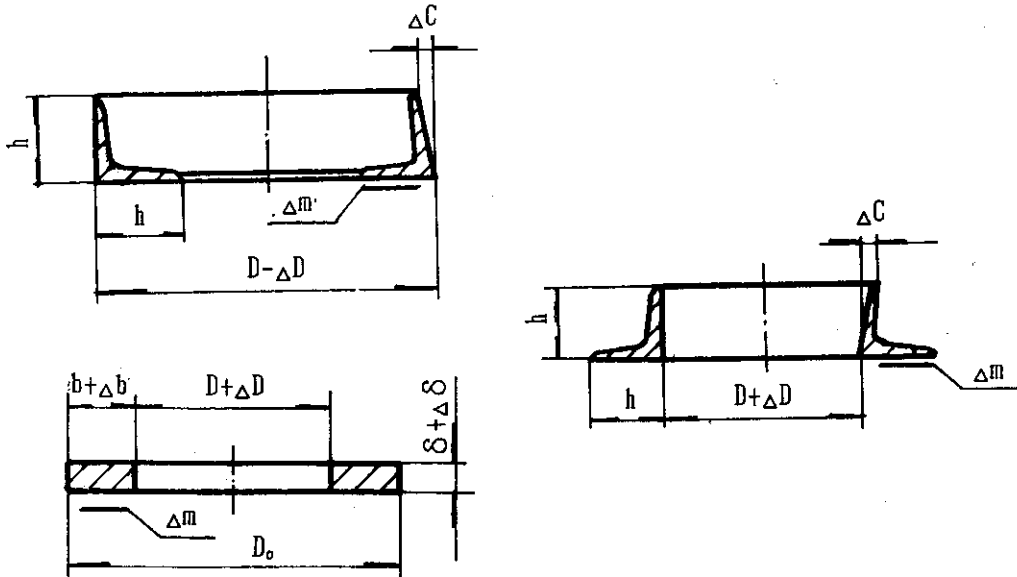


图 15—19

15.4.3.16 高合金钢制构件宜采用冷成型

15.4.3.17 经抛光的表面,须予以保护,必要时涂复油脂或贴膜以确保不受损伤。

15.4.3.18 抛光表面和抛光表面的背面均不允许焊接或点焊图样上没有的构件。起吊时应采取措施保护抛光面不受损伤。

15.4.4 组装

15.4.4.1 料仓组装、施焊可参照 15.3.3.1 条、15.3.3.3 条、15.3.3.4 条和 15.3.3.5 条的相应要求进行。

15.4.4.2 内件与仓体焊接时,其焊接接头边缘与仓体焊接接头边缘的距离应不小于 50mm。

15.4.4.3 仓体分段组装时,应在内外壁(抛光表面除外)划出相隔 90°的四条组装线和基准圆周线,用于整体组装的安装找正和装设内件的依据。此线应保留到料仓验收以后。

15.4.4.4 分瓣的仓顶和锥底与仓体组装前,应在包边角钢及中心支架上划出等分线,瓣片应按等分线对称组装。

15.4.4.5 料仓组装时的对位件、加固件不应焊在内表面或已经抛光的钢板上。

15.4.4.6 各接管的中心线应与设计中心线吻合,其最大偏差不得超过接管长度的 0.5%,且不大于

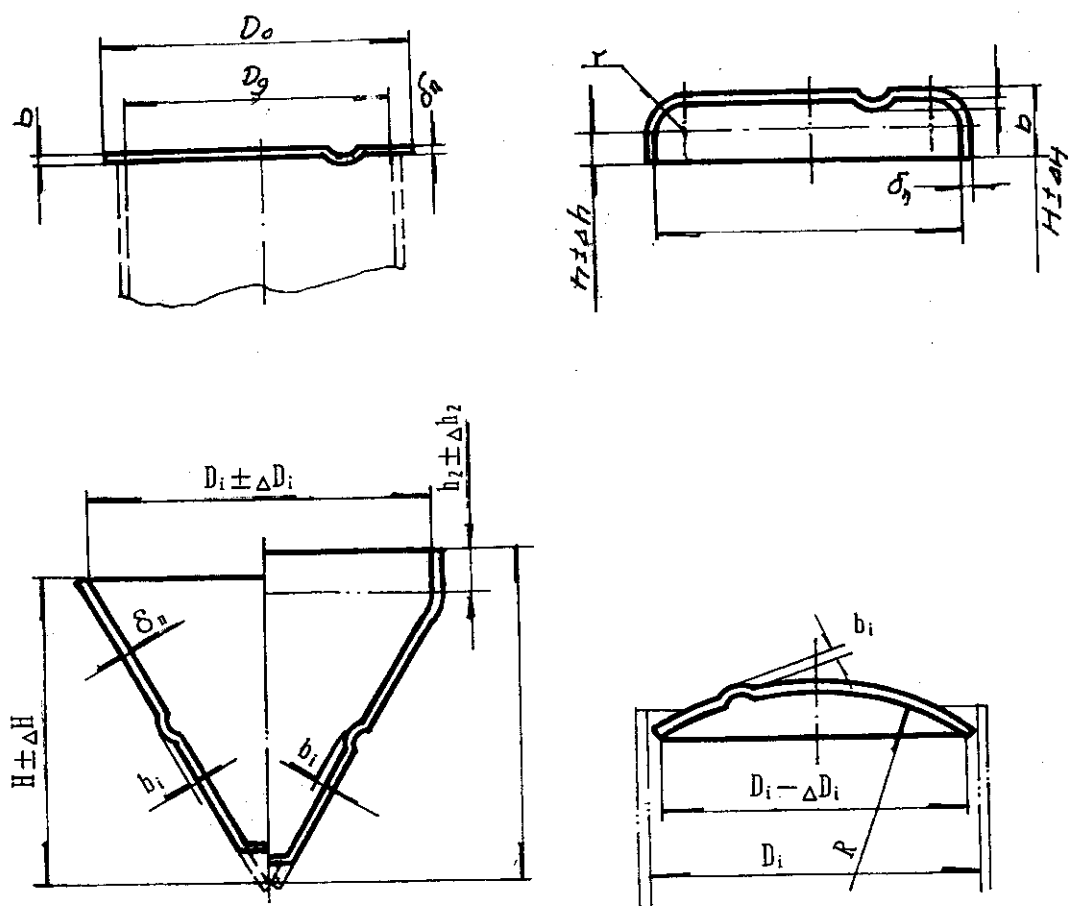


图 15—20

15.4.4.10 每节仓筒的直线度不应大于本节仓筒高度的 0.1%。组装后仓体的总直线度不应大于仓体总高的 0.2%，且不大于 30mm。

15.4.4.11 仓筒组装后，必须保持内壁平齐，最大允许对口错边量不得大于表 15—22 的规定。表中 δ_n 为对接筒节中较薄之板厚。当仓贮物料容易搭桥时，下一筒节的实际内直径应大于上一筒节实际内直径。

表 15—22 仓筒节对口错边量允差 mm

对口错边量允差 b	壁厚 δ_n
$\delta_n \leq 10$	$b \leq 15\% \delta_n$
$\delta_n > 10$	$b \leq 10\% \delta_n$

15.4.4.12 当焊接环境出现下列任一情况时，必须采取有效措施，否则不得施焊。

- 风速：手工焊时大于 10m/s，气体保护焊时大于 2m/s；
- 相对湿度大于 90%；

- c. 下雨;
- d. 下雪;
- e. 焊接环境温度低于 -5°C 。

15.4.4.13 仓体组对时,定位焊件及固定卡具的焊接,所用的焊接材料及工艺措施应与正式焊接要求相同。手工定位焊的尺寸见表 15—23。

表 15—23 定位焊尺寸 mm

焊件厚度	焊脚高度	焊接接头长度	间断焊最小间距
$\delta_n \leq 4$	< 4	5~10	100
$\delta_n > 4$	$< 0.7S$ 且 ≤ 6	10~30	300

15.4.4.14 定位焊不得在焊接坡口外引弧,定位焊引起的缺陷应清除,不得伤害已抛光或需抛光的表面。

15.4.4.15 高合金钢仓体的单面焊接接头应采用氩弧焊打底,然后填充盖面。采用机械方法清根。

15.4.4.16 为使仓体内表面减少变形,在保证质量的前提下,宜选用小工艺规范、短电弧和多层多道焊工艺,层间温度不宜过高。

15.4.4.17 焊接中应注意引弧和收弧质量,收弧时应将弧坑填满,多层焊的层间接头应错开。

15.4.4.18 双面焊时,对内表面焊接接头的坡口两侧各 100mm 范围内应涂上白垩粉或其他防溅剂,以防止飞溅物沾污焊件表面。

15.4.4.19 在高合金钢料仓上使用碳钢吊耳、卡具时,应加与母材相同的垫板。垫板与仓体的焊接工艺要求与主体焊要求相同。拆除时不得损坏基体,焊瘤应磨平。要求抛光部分及易搭桥部分不得设置附件。

15.4.4.20 装有混合器的料仓,分布管应平行于仓体轴线或仓底母线,其偏差不大于分布管长度的 1‰,且不大于 5mm。在仓底轴线上安装的混合器,其同轴度偏差不大于混合器外径的 1‰,且不大于 5mm。裙座与筒体的同轴度偏差最大不超过 5mm。底座环与仓裙的垂直度偏差不大于仓裙直径的 1‰,且不大于 5mm。

15.4.5 焊接接头检验

15.4.5.1 全部焊接接头均应进行外观检验。焊接接头表面质量应符合设计要求。设计无特殊规定时,按下列要求:

a. 必须将焊接接头表面清理干净,不得有熔渣及飞溅物等影响检验的杂物。

b. 要求打磨或抛光的料仓内表面,其对接焊接接头表面质量应符合表 15—24 中 A 级焊接接头标准;内壁焊接接头无打磨或抛光要求者,应符合 B 级标准。

c. 角焊接接头焊脚高取焊件中较薄者之厚度,且与母材呈圆滑过渡。

d. 补强圈的焊脚高度,当厚度 $\delta_n > 8\text{mm}$ 时,为 $0.7\delta_n$,且不小于 8mm。

e. 焊接接头覆盖宽度 $C=2\sim 3\text{mm}$

15.4.5.2 无特殊要求的料仓,仓体焊接接头无损检测长度应不少于 10%。

15.4.6 表面处理

15.4.6.1 所有与物料接触的焊接接头,均应打磨光整并与母材平齐且光滑。打磨应在焊接接头质量检查合格后进行。要求抛光的表面,应在打磨后进行抛光。

15.4.6.2 要求抛光的内壁,在无图样要求时,应达到 $R_a=1.6\mu\text{m}$ 。

15.4.6.3 高合金钢料仓的酸洗钝化应在磨光与抛光后进行。经酸洗钝化的表面不得有黑色流痕及铁锈痕,表面金属光泽应一致。

表 15—24 对接焊接接头表面质量标准 mm

序号	项 目	等 级	
		A	B
1	表面裂缝 表面气孔 表面夹渣 熔合性飞溅	不允许	不允许
2	咬边	(碳钢)深度: $e \leq 0.3$, 长度小于焊接接头全长的 5%, 且小于 100, 高合金钢不允许有咬边	深度: $e \leq 0.5$, 长度小于焊接接头全长 10%, 连续长度小于 100
3	表面余高	$e_1 \leq +0.1$ 倍焊接接头宽 但最大不超过 2	$e_1 \leq 1+0.2$ 倍焊接接头宽 但最大不超过 4
4	表面凹陷	不允许	深度 $e_2 < 0.5$, 长度小于或等于焊接接头全长的 10%, 但小于 100

15.4.6.3 高合金钢料仓的酸洗钝化应在磨光与抛光后进行。经酸洗钝化的表面不得有黑色流痕及铁红锈痕, 表面金属光泽应一致。

15.4.6.4 经酸洗钝化的料仓, 应立即用氯离子含量小于 25PPM 的清水反复清洗, 用试纸检验呈中性为合格。

15.4.6.5 不需酸洗钝化的料仓, 内部用中性肥皂水或其他中性洗涤剂洗刷, 洗刷后用清水冲净, 不能留有洗涤剂痕迹。

15.4.6.6 经清洗的料仓, 应用干燥无油的压缩空气或其它惰性气体将表面吹干。

15.4.7 气密性试验

15.4.7.1 料仓一般不做水压试验, 而进行气密性试验。做气密性试验需按设计要求进行。

15.4.7.2 试验前, 料仓上的安全附件、阀类及全部内件均应安装齐全, 并经检查合格。

15.4.7.3 由于气密性试验压力很低, 故不需设置防护措施。

15.4.7.4 试验使用干燥无油的压缩空气, 空气温度不应低于 10°C 。

15.4.7.5 试验时, 应缓慢升压至试验压力的 10%, 至少保持 15—20 分钟, 对焊接接头进行全面检查, 无问题时继续升压至试验压力的 50%, 停留 15—20 分钟, 无异常现象时, 按每次升压 10%, 停留 5 分钟直到试验压力。停止供气后保持 30 分钟, 压力应保持不变, 同时对焊接接头喷涂中性发泡剂检漏, 如无问题, 再缓慢降压。

15.4.8 安装

15.4.8.1 料仓安装前, 其基础应经中间验收, 在验收时, 基础施工单位除应提交基础施工记录外, 在基础上还应标明标高基准线, 十字中心线。如设计要求对基础作沉降观测时, 还应有沉降观测水准点。

15.4.8.2 料仓基础的检验按 SHJ510—88《石油化工装置设备基础工程施工及验收规范》要求进行。

15.4.8.3 料仓采用垫铁找正。垫铁之位置和数量应符合下列要求:

15.4.8.3.1 每个地脚螺栓近旁至少应有一组垫铁, 直径大于 10 米的料仓, 每个地脚螺栓左右最好各放置一组垫铁。相邻两组垫铁间的距离, 应不大于 500mm。

有加强筋的料仓底座,垫铁应设置在加强筋下方。

15.4.8.3.2 利用垫铁找正,应符合以下要求:

- a. 斜垫铁应成对使用,搭接长度不小于全长的 3/4;
- b. 斜垫铁的倾斜度推荐为 1/20~1/10;
- c. 尽量减少每组垫铁之块数,一般不宜超过 4 块,每组的高度最好为 50~100mm;
- d. 与高合金钢直接接触的垫铁组,其中上面二块应用高合金钢制造;
- e. 每一组垫铁应放置整齐平稳,接触严密,垫铁应露出底座外缘 10~20mm,伸入底座环的长度应超过地脚螺栓。
- f. 设备找正后应将垫铁互相焊牢。

15.4.8.3.3 料仓垫铁面积应按式(15—1)校核:

$$A \geq C \frac{100(Q_1 + Q_2)}{n[\sigma]} \dots\dots\dots (15-1)$$

式中 A——每组垫铁的投影面积,mm²;

C——系数,取 1.5~3,对大型料仓取较大值;

n——垫铁组数;

[σ]——基础混凝土的设计抗压强度,MPa;

Q₁——料仓与附件自重以及物料重量之和,N;

Q₂——全部地脚螺栓紧固后,作用在垫铁上的总压力,N,(按式 15—2)计算。

$$Q_2 = \frac{\pi d_0^2 [\sigma]_{bt}}{4} \dots\dots\dots (15-2)$$

d₀——地脚螺栓根径,mm;

[σ]_{bt}——地脚螺栓材料的许用应力(Q235 取 [σ]_{bt}=147MPa、16Mn 取 [σ]_{bt}=170MPa);

n'——地脚螺栓的数量。

A 值计算出来以后,选用比 A 值略大之垫铁。

15.4.8.4 料仓就位或现场建造时,料仓的找正应按基础上的安装基准线和料仓仓体、裙座上的基准线进行调整与测量。

15.4.8.5 料仓底座环(耳式支座)的底面标高应以基础上的标高基准线为准;

料仓的方位以基础中心线为基准;

料仓的垂直度以仓体和裙座上 0°、90°、180°、270°处的划线为基准。

15.4.8.6 料仓找正时符合以下规定:

- a. 找正应在同一平面内互成直角方向的两个或两个以上的方位进行。
- b. 为避免受气象条件影响,垂直度的调整与测量工作应避免在一侧受阳光照射及风力大于四级的条件下进行。
- c. 应采用调整垫铁的方法找正,不得用旋紧或放松地脚螺栓及局部加压的方法进行。
- d. 螺母与垫圈、垫圈与底座间的接触应良好。
- e. 高度超过 20 米的料仓,地脚螺栓应配置锁紧螺母。

15.4.8.7 螺旋输送机、分配器、给料阀等附属设备的安装应按照设备制造厂提供的安装说明书及现行的有关标准规范执行。

15.4.8.8 设有安全阀、防爆膜等安全附件的料仓,其安装与调试应符合以下规定:

- a. 安全阀在安装前应按该阀之产品说明书进行复试。已经制造厂调试完毕,确保质量的,应有合格

之铅封。复试时,调试压力应稳定。每台安全阀的启用试验不得少于三次,且数据应一致。安全阀复试合格后应加铅封。

b. 安全阀调试用压力表的精度不得低于一级。

c. 防爆膜安装时应进行仔细检查,膜片不得有翘曲和凹陷。

15.4.9 竣工验收

15.4.9.1 料仓建造完工后,应由建设单位和施工单位对料仓质量及项目进行全面检查和验收。

15.4.9.2 需要交验的技术文件应包括:

a. 产品合格证书

b. 料仓说明书,其中应包括:

设计压力、试验压力及试验介质和方法,容积、工作介质、设计温度

c. 竣工图

d. 设计变更通知单

e. 质量证明书,其中应包括:

材料合格证和质量证明书;

焊接工艺评定;

几何尺寸检验记录;

焊接接头质量检查报告(包括返修记录);

无损检测报告;

内表面抛光质量检查结果报告;

酸洗钝化检查结果报告;

气密性试验检查结果报告;

与本技术条件和图样不符之项目。

f. 名牌与标志

凡按本标准建造的料仓,均应在显著位置设置铭牌。铭牌应使用耐腐蚀金属板制作,用铆接或粘接的方法固定在铭牌支架上。铭牌支架与仓壁焊接。铭牌可按图 15—21 制备。

JB4735-97	
结构形式	罐编号
公称容积	储存物料
公称直径/高度	操作温度
罐壁材料	局部应力消除
设计单位	建造年月
建设单位	

图 15—21

15.4.9.3 在制造厂制造的料仓,其油漆、包装、运输按 JB2536 有关规定。

15.4.9.4 在现场建造的料仓,其油漆及表面处理按用户的要求进行。

附录 A

材料的补充规定

(标准的附录)

A1 总则

- A1.1 本附录作为第4章的补充,对使用未列入第4章的钢材和代用第4章的钢材提出了要求。
- A1.2 钢材除应符合本附录的规定外,尚应符合第4章的有关规定。
- A1.3 A1.1条所用的国内钢材,一般应是列入国家标准或专业标准的钢材,使用范围一般不应超出第4章中对相近成分和技术要求的钢材的规定。
- A1.4 选用国外钢材时,应是国外相应最新规范所允许使用的钢材,其使用范围一般不应超出该规范的规定,且不宜超出第4章中对相近成分和技术要求的钢材的规定。
- A1.5 代用第4章的钢材时,须取得原设计单位的同意。代用钢材宜与被代用钢材具有相同或相近的化学成分、交货状态、检验项目、性能指标和检验率以及尺寸公差和外形质量等。对用较高质量的钢材作为代用材料时,需考虑经济合理性和对使用要求的可代性。
- A1.6 钢材的许用应力值应按第3章确定。

A2 碳素钢和低合金钢钢板

- A2.1 Q215—A、F、Q215—A、Q215—B 和 Q215—C 钢板的使用范围分别与 Q235—A、F、Q235—A、Q235—B 和 Q235—C 相同,但许用应力值应按第3章确定。
- A2.2 GB711—88《优质碳素结构钢厚钢板和宽钢带》中的 10、15 和 20 钢板可代用 Q235—B 钢板。
- A2.3 GB712—88《船体结构钢》中的 A 级钢板可代用 Q235—A 钢板, B 级钢板可代用 Q235—B 钢板。
- A2.4 GB713—86《锅炉用碳素钢和低合金钢钢板》中的 20g 可代用 Q235—C 钢板。
- A2.5 日本 JISG3101—87 标准中的 SS400 钢板可代用 Q235—A、F 钢板。
- A2.6 日本 JISG3115—90 标准中的 SPV355 钢板代用 16MnR 钢板时,应符合下列规定。
- a. 使用温度范围为 $-10\sim 350^{\circ}\text{C}$;
 - b. 当壳体厚度大于 30mm 时,应在正火状态下使用。
- A2.7 德国 DIN17100—80 标准中的 RSt37—2 钢板可代用 Q235—A 钢板,但使用温度上限为 300°C 。
- A2.8 德国 DIN17155—83 标准中的 19Mn6 钢板代用 16MnR 钢板时,应符合下列规定。
- a. 使用温度范围为 $-10\sim 350^{\circ}\text{C}$;
 - b. 当壳体厚度大于 30mm 时,应在正火状态下使用。

A3 碳素钢钢管

- A3.1 GB3087—82《低中压锅炉用无缝钢管》中的 10 和 20 钢管可代用 GB8163 中相应钢号的钢管。
- A3.2 当容器的使用温度为 $0\sim 200^{\circ}\text{C}$,且盛装非易燃、无毒介质时,允许使用下列标准中的碳素钢焊接钢管。

- GB3092—82 《低压流体输送用焊接钢管》;
- SY5036—83 《承压流体输送用螺旋接接头埋弧焊钢管》;
- SY5037—83 《一般低压流体输送用螺旋接接头埋弧焊钢管》;
- SY5038—83 《承压流体输送用螺旋接接头高频焊钢管》;
- SY5039—83 《一般低压流体输送用螺旋接接头高频焊钢管》。

A4 高合金钢材

- A4.1 允许使用已列入国家标准、专业标准和国外相应钢材标准的奥氏体和奥氏体—铁素体高合金钢材。
- A4.2 1Cr18Ni9Ti 钢材的许用应力可按第4章的 0Cr18Ni10Ti 钢材的相应数值选取。

附录 B

钢材高温性能 (提示的附录)

表 B1 钢板高温屈服强度

钢号	板厚 mm	在下列温度(℃)下的 $\sigma_{0.2}(\alpha_s)$ MPa						
		20	100	150	200	250	300	350
碳素钢钢板								
20R	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								
16MnR	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
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
0Cr17Ni12Mn.2		205	175	161	149	139	131	126
00Cr19Ni10		177	145	131	122	114	109	104
00Cr17Ni14Mn.2		177	145	130	120	111	105	100
0Cr18Ni13Mn.2Ti		205	175	161	149	139	131	126
0Cr19Ni13Mn.3		205	175	161	149	139	131	126
00G19Ni13Mn.3		177	175	161	149	139	131	126

表 B2 钢管高温屈服强度

钢号	壁厚 mm	在下列温度(℃)下的 $\sigma_{0.2}(\alpha_s)$ 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
高合金钢钢管的高温力学性能可参考表 B1 所列相应钢号的数据。								

表 B3 锻件高温屈服强度

钢号	公称厚度 mm	在下列温度(℃)下的 $\sigma_{0.2}(\sigma_s)$ 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
高合金钢锻件的高温力学性能可参考表 B1 所列相应钢号的数据。								

表 B4 螺柱高温屈服强度

钢号	规格 mm	在下列温度(℃)下的 $\sigma_{0.2}(\alpha_s)$ MPa						
		20	100	150	200	250	300	350
碳素钢螺柱。								
35	≤22	315	285	265	245	220	200	185
	M24~M27	295	265	250	230	210	191	176
高合金钢螺柱的高温力学性能可参考表 B1 所列相应钢号的数据。								

表 B5 钢材弹性模量

材 料	在下列温度(°C)下的弹性模量 10^3MPa							
	-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 B6 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 $10^{-5} \text{mm/mm} \cdot ^\circ\text{C}$								
	-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

附录 C

立式圆筒形储罐的抗震计算

(提示的附录)

本附录适用于罐壁高度与储罐直径之比不大于 1.6, 且容积大于或等于 100m^3 的立式圆筒形、平底、常压或接近常压的固定顶盖储罐的抗震计算。但不适用于储液上表面与储罐顶盖之间的空间小于储罐容积的 4% 的固定顶盖储罐。

C1 符号说明

Λ_1 ——底层罐壁的截面积, mm^2 ;

ctgh ——双曲余切函数符号;

D_i ——储罐内直径, mm ;

D_{is} ——底层罐壁的平均直径, mm ;

E ——操作温度下罐壁材料的弹性模量, MPa ;

e ——自然对数的底;

f_r ——动液系数;

F_r ——罐底周边单位长度上的提离力, N/mm ;

g ——重力加速度, 取 $g=9.81\text{m/s}^2$;

h_v ——罐内储液晃动波高, mm ;

H ——罐壁的高度, mm ;

H_w ——罐内储液的高度, mm ;

M_1 ——水平地震作用对储罐底面的弯矩, $\text{N}\cdot\text{mm}$;

Q ——储罐水平地震作用, N ;

R_i ——储罐内半径, mm ;

tgh ——双曲正切函数符号;

T ——储罐的基本周期, s ;

抗震计算时可取储液晃动基本周期或取储罐与储液耦合振动基本周期;

T_g ——特征周期, 按表 C1 确定, s ;

T_w ——储液晃动基本周期, s ;

T_o ——储罐与储液耦合振动周期, s ;

Z_1 ——底层罐壁的截面抵抗矩, mm^3 ;

取 $Z_1=0.785D_{is}^2\delta_{ie}$

δ_{ie} ——罐壁高度 1/3 处的罐壁有效厚度, mm ;

δ_{ie} ——底层罐壁的有效厚度, mm ;

δ_{be} ——罐底边缘板的有效厚度, mm ;

$\alpha_{\max}$ ——水平地震影响系数的最大值(见表 C2);

α_1 ——相应于储罐与储液耦合振动基本周期的水平地震影响系数, 按图 C1 确定;

α_{2t} ——相应于储液晃动基本周期的水平地震影响系数, 按图 C1 确定;

ρ_s ——储液的密度, kg/m^3 ;

σ_c ——罐壁底部的轴向压应力, MPa ;

σ_{cr} ——底层罐壁的轴向临界应力, MPa ;

$[\sigma_{cr}]$ ——底层罐壁的轴向许用临界应力,MPa;

σ_s ——罐底环形边缘板的材料屈服点,MPa。

C2 基本自振周期的计算

C2.1 储罐与储液耦合振动的基本周期按下式计算:

$$T_o=7.743 \cdot 10^{-8}(e^{H_w/D_i}+0.7147 \frac{H_w}{D_i})D_i \sqrt{\frac{D_i}{\delta_{3e}}} \dots\dots\dots (C-1)$$

C2.2 罐内储液晃动的基本周期按下式计算:

$$T_w=0.2 \sqrt{\frac{D_i}{3.68g}ctgh(\frac{3.68H_w}{D_i})} \dots\dots\dots (C-2)$$

C3 水平地震作用及地震效应计算

C3.1 储罐的特征周期应根据建罐地区的场地类别和近震、远震按表 C1 选取。场地类别和近震、远震按现行的国家标准 GBJ11—89《建筑抗震设计规范》的规定划分。

表 C1 特征周期值 S

场地类别	近 震	远 震
I	0.2	0.25
II	0.3	0.4
III	0.4	0.55
IV	0.65	0.85

C3.2 水平地震影响系数最大值 α_{max} 应根据建罐地区的设防烈度按表 C2 选取。

表 C2 α_{max} 值

设防烈度	6	7	8	9
α_{max}	0.11	0.23	0.45	0.9

C3.3 计算地震作用时,储罐的水平地震影响系数应按图 C1 确定。

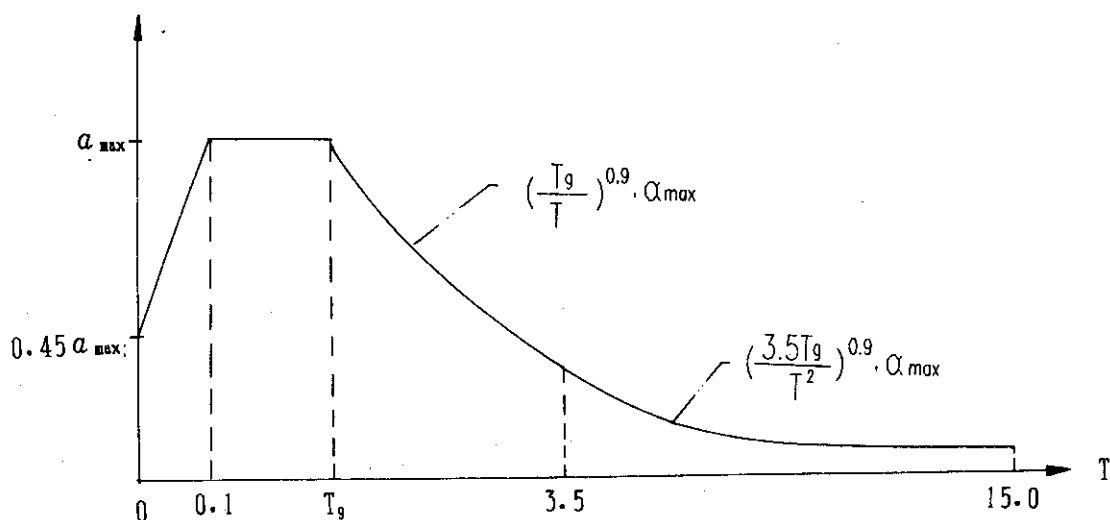


图 C1 水平地震影响系数曲线

C3.4 动液系数 f_r 按下式计算:

当 $H_w/R_i \leq 1.5$ 时,

$$f_r = \frac{\operatorname{tgh}(\sqrt{3} - \frac{R_i}{H_w})}{\frac{\sqrt{3} R_i}{H_w}} \dots\dots\dots (C-3)$$

当 $H_w/R_i > 1.5$ 时,

$$f_r = 1 - 0.4357 \frac{R_i}{H_w} \dots\dots\dots (C-4)$$

C3.5 储罐的水平地震作用应按下式计算:

$$Q = K_z \alpha_1 m_e g \dots\dots\dots (C-5)$$

式中: K_z ——综合影响系数, 取 $K_z = 0.4$;

m_e ——储液的等效质量, kg;

$$m_e = m f_r \dots\dots\dots (C-6)$$

m ——储液的总质量, kg。

C3.6 水平地震作用对储罐底面产生的弯矩按下式计算:

$$M_1 = 0.45 Q H_w \dots\dots\dots (C-7)$$

C4 罐壁轴向许用临界应力计算:

C4.1 底层罐壁的轴向临界应力按下式计算:

$$\sigma_{cr}=K_cE\frac{\delta_{1e}}{D_{1s}} \dots\dots\dots (C-8)$$

式中:K_c——系数,按式(C-9)计算。

$$K_c=0.0915(1+0.0429\sqrt{\frac{H}{\delta_{1e}}})\cdot(1-0.1706\frac{D_{1s}}{H}) \dots\dots\dots (C-9)$$

C4.2 底层罐壁的轴向许用临界应力按下式计算:

$$[\sigma_{cr}]=\frac{\sigma_{cr}}{1.5\eta} \dots\dots\dots (C-10)$$

式中:η——储罐重要度系数,按表 C3 选取。

表 C3

罐容积 V	V<1000m³	1000m³≤V<10000m³	10000m³<V
η	0.9	1.0	1.1

C5 罐壁的抗震验算

C5.1 罐底周边单位长度上的提离力应按下式计算:

$$F_t=\frac{4M_1}{\pi D_{1s}^2} \dots\dots\dots (C-11)$$

C5.2 罐底周边单位长度上的提离抵抗力应按下式计算:

$$F_r=0.99\cdot10^{-4}\delta_{0e}\sqrt{\rho_sH_w\sigma_y}+\frac{N_1}{\pi D_{1s}} \dots\dots\dots (C-12)$$

式中:F_r——罐底周边单位长度上的提离抵抗力,N/mm;
当 F_r>0.25×10⁻⁹ρ_sH_wD_{1s}时
取 F_r=0.25×10⁻⁹ρ_sH_wD_{1s}
N₁——底层罐壁底部所承受的重力,N;
一般取罐体金属总重力的 80%,与储罐保温体重之和。

C5.3 罐壁底部轴向压应力应满足下式要求:

当 F_t≤F_r 时

$$\alpha = \frac{N_1}{A_1} + \frac{M_1}{Z_1} \dots\dots\dots (C-13)$$

当 $F_r < F_t \leq 2F_r$ 时

$$\alpha = \frac{N_1}{A_1} + C_L \frac{M_1}{Z_1} \dots\dots\dots (C-14)$$

式中: C_L ——罐底提高影响系数,按下式计算:

$$C_L = 0.4 \left(\frac{F_t}{F_r} \right)^2 - 0.7 \left(\frac{F_t}{F_r} \right) + 1.3 \dots\dots\dots (C-15)$$

C5.4 当 $F_t > 2F_r$ 或 $\alpha > [\alpha_r]$ 时,储罐必须采取下列中的一个或多个措施,重新进行抗震验算,以满足上述公式要求。

- a. 减少储罐的高径比;
- b. 加大罐底环形边缘板的厚度;
- c. 加大底层罐壁板的有效厚度;
- d. 在储罐底部设置地脚螺栓把储罐锚固在基础上,罐底周边单位长度上的锚固螺栓抗力应大于罐底周边单位长度上的提高力与罐壁重力之差。

C5.5 如果底层罐壁经抗震计算所得的壁板有效厚度大于按第 5、12 章选取的壁板厚度时,其他各层罐壁板的有效厚度也应按底层壁板所增加的厚度比例增加,重新调整储罐各层壁厚。否则,其他各层罐壁也应逐层进行抗震验算。

C6 储液晃动波高的计算

C6.1 储液晃动波高应按下式计算:

$$h_v = \alpha_2 R_1 \dots\dots\dots (C-16)$$

式中: α_2 ——阻尼比修正后相应于储液晃动基本周期的水平地震影响系数,按下式计算:

$$\alpha_2 = (1.85 - 0.08T_w) \alpha_{21} \dots\dots\dots (C-17)$$

C6.2 储液上表面至罐壁顶部(包边角钢处)的距离应大于按式(C-16)计算的储液晃动波高。

附录 D

带肋拱顶的设计

(提示的附录)

D1 带肋拱顶一般可采用经向及纬向肋条与顶板组焊而成见图 D1。宜用于直径不大于 32m 的储罐。

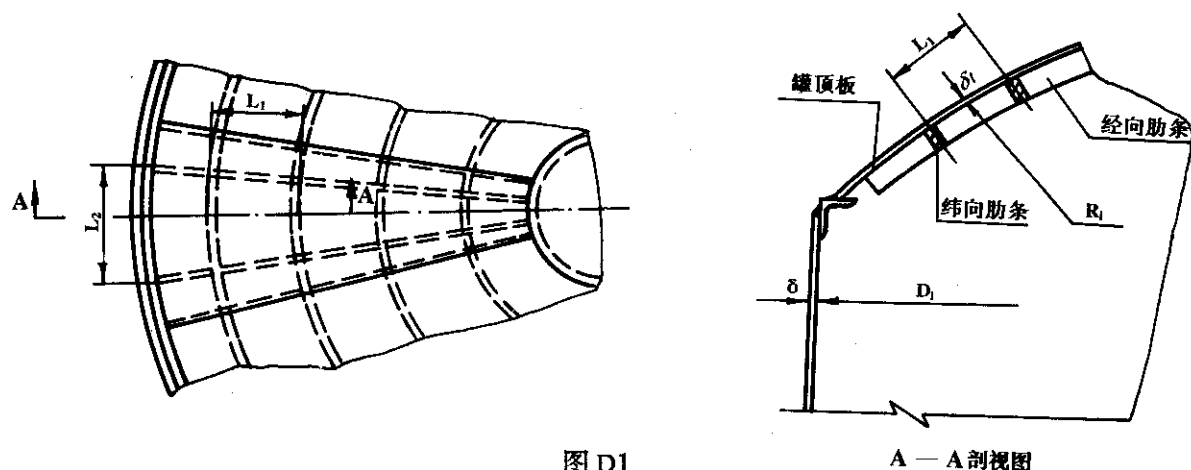


图 D1

A—A 剖视图

D2 带肋拱顶的连接应符合以下要求：

- 经向或纬向肋条的间距均不得大于 1.5m；
- 肋条不允许与包边角钢或罐壁相焊；
- 肋的长度方向允许拼接，对接时焊接接头应全熔透；搭接时搭接长度不应小于肋条宽度的 2 倍，且应双面满角焊；
- 经向肋与纬向肋之间的 T 型接头应采用双面满角焊；
- 顶板与肋条之间应采用双面间断焊，焊脚高度等于顶板厚度。

D3 带肋拱顶的许用外压按下式计算：

$$[P_0] = 0.1E' \left(\frac{\delta_{im}}{R_i} \right)^2 \sqrt{\frac{\delta_{ie}}{\delta_{im}}} \dots\dots\dots (D-1)$$

式中：[p_0]——带肋拱顶的许用外压，MPa；

E' ——设计温度下材料的弹性模量，MPa；

R_i ——拱顶球面内半径，mm；

δ_{ie} ——顶板的有效厚度，mm；

δ_{im} ——带肋顶板的折算厚度，mm。

$$\delta_{im} = \sqrt[3]{\frac{\delta_{im}^3 + 2\delta_{ie}^3 + \delta_{2m}^3}{4}} \dots\dots\dots (D-2)$$

δ_{1m} ——纬向肋与顶板的折算厚度,mm;

$$\delta_{1m}^3 = 12 \left[\frac{h_1 b_1}{L_1} \left(\frac{h_1^2}{3} + \frac{h_1 \delta_{1e}}{2} + \frac{\delta_{1e}^2}{4} \right) + \frac{\delta_{1e}^3}{12} - n_1 \delta_{1e} e_1^2 \right] \quad \text{..... (D-3)}$$

h_1 ——纬向肋宽度,mm;

b_1 ——纬向肋厚度,mm;

L_1 ——纬向肋在经向的间距,mm;

e_1 ——纬向肋与顶板在经向的组合截面形心(0点)到顶板中面的距离(见图D-2),mm;

n_1 ——纬向肋与顶板在经向的面积折算系数,

$$n_1 = 1 + \frac{b_1 h_1}{\delta_{1e} L_1} \quad \text{..... (D-4)}$$

δ_{2m} ——经向肋与顶板的折算厚度,mm;

$$\delta_{2m}^3 = 12 \left[\frac{h_2 b_2}{L_2} \left(\frac{h_2^2}{3} + \frac{h_2 \delta_{2e}}{2} + \frac{\delta_{2e}^2}{4} \right) + \frac{\delta_{2e}^3}{12} - n_2 \delta_{2e} e_2^2 \right] \quad \text{..... (D-5)}$$

h_2 ——经向肋宽度,mm;

b_2 ——经向肋厚度,mm;

L_2 ——经向肋在纬向的间距,mm;

e_2 ——经向肋与顶板在纬向的组合截面形心(0点)到顶板中面的距离(见图D2),mm;

n_2 ——经向肋与顶板在纬向的面积折算系数。

$$n_2 = 1 + \frac{b_2 h_2}{\delta_{2e} L_2} \quad \text{..... (D-6)}$$

D4 带肋拱顶的稳定验算应符合下式要求:

$$p_0 \leq [p_0] \quad \text{..... (D-7)}$$

式中: p_0 ——拱顶设计外压(见12.3.2条),MPa。

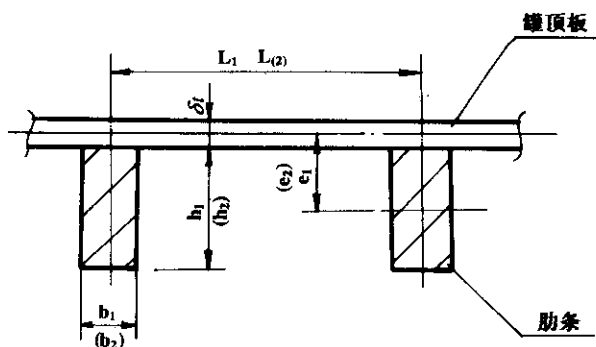


图 D2

附 录 E

立式圆筒形储罐基础设计的基本要求

(提示的附录)

- E1 储罐基础中心座标偏差不应大于 20mm, 标高偏差不得大于 20mm。
- E2 罐壁处基础顶面的水平度要求:
- a. 环墙式基础, 上表面任意 10m 弧长上应不超过 $\pm 3.5\text{mm}$, 在整个圆周上以平均标高计算不超过 $\pm 6.5\text{mm}$;
 - b. 护坡式基础, 上表面任意 3m 弧长上不应超过 $\pm 3\text{mm}$, 在整个圆周上以平均标高计算不超过 $\pm 12\text{mm}$ 。
- E3 基础面层应为绝缘层。基础表面任意方向上不应有突起的棱角, 从中心向周边拉线测量基础表面的凹凸度不应超过 25mm。
- E4 基础锥面的坡度要求:
- a. 一般地基为 15‰;
 - b. 软弱地基不应大于 35‰;
 - c. 基础沉降基本稳定后的锥面坡度不应小于 8‰。
- E5 基础沉降基本稳定后, 基础边缘上表面应高出地坪不小于 300mm。在地坪以上的基础中每台罐最少应设 4 个罐底泄漏信号管, 其周向间距不宜大于 20m, 钢管直径取 DN50~DN70 为宜。
- E6 储罐基础任意直径方向上最终沉降差不应超过储罐内直径的 10‰~15‰, 沿罐壁圆周方向任意 10m 弧长内的沉降差应不大于 25mm。支承罐壁的基础部分与其内侧的基础之间不应发生突变。
- E7 当设有清扫孔时, 储罐基础的设计尚应符合清扫孔的要求。
- E8 当储罐的设计温度大于 95℃时, 基础的设计应满足储罐在该温度下工作的要求。

附录 F

储罐 T 形接头角焊接接头试件制备和检验

(提示的附录)

F1 本附录适用于验证罐壁板与罐底边缘板之间角焊接接头的焊接工艺能否满足使用性能要求,确保储罐长期安全运行。

F2 试板应采用与储罐底圈壁板及罐底边缘板同材质、同厚度的钢板制成,其形状及尺寸见图 F1

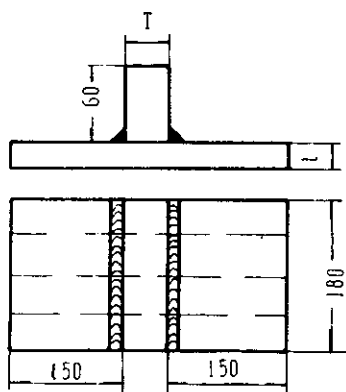


图 F1 T 形接头角焊接接头试板的形状和尺寸

T——底圈罐壁板厚度;t——罐底边缘板厚度

F3 试板的焊接工艺及焊脚应与油罐相同。角焊接接头焊完一侧后,应自然冷却至室温,再焊接另一侧。

F4 应采用机械方法由试板上切取试件。试件宽度应为 32mm,试件数量应为 2 件。

F5 弯曲试验应在万能试验机上进行,弯模尺寸应按图 F2 制备。

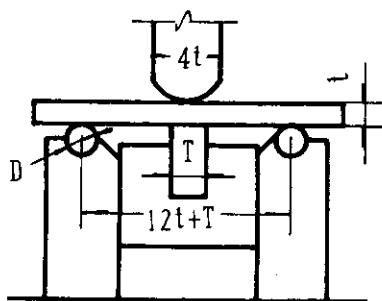


图 F2 弯曲试验的弯模尺寸

当 $t=6\text{mm}$ $D=25\text{mm}$

$t=12\text{mm}$ $D=50\text{mm}$

$t=19\text{mm}$ $D=75\text{mm}$

$t=22\text{mm}$ $D=85\text{mm}$

F6 试件的板厚 T 应夹紧于导向十字头。缓慢加载,当载荷下降时应停止加载,观察有无裂纹产生。当出现裂纹时,应记录开始产生裂纹的变形角度 α 。当无裂纹时应继续加载,直至变形角度 α 达到 60° (图 F3)

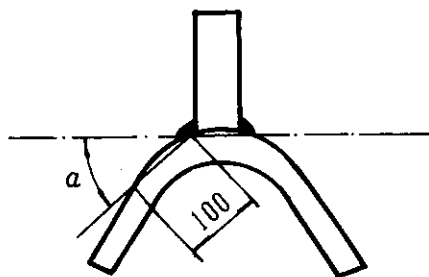


图 F3 试件变形角度 α 的测量

变形角度 α 不应小于 15° 。当不符合要求时,应调整焊接工艺或焊接接头形状重新评定。

新建罐区,每台罐充水前,均应进行一次观测。

坚实地基基础,预计沉降量很小时,第一台罐可快速充水到罐高的 $1/2$,进行沉降观测,并应与充水前观测到的数据进行对照,计算出实际的不均匀沉降量。当未超过允许的不均匀沉降量时,可继续充水到罐高的 $3/4$,进行观测,当仍未超过允许的不均匀沉降量,可继续充水到最高操作液位,分别在充水后和保持 48h 后进行观测,当沉降量无明显变化,即可放水;当沉降量有明显变化,则应保持最高操作液位,进行每天的定期观测,直至沉降稳定为止。

当第一台罐基础沉降量符合要求,且其它储罐基础构造和施工方法和第一台罐完全相同,对其它储罐的充水试验,可取消充水到罐高的 $1/2$ 和 $3/4$ 时的两次观测。

软地基基础,预计沉降量超过 300mm 或可能发生滑移失效时,应以 0.6m/d 的速度向罐内充水,当水位高度达到 3m 时,停止充水,每天定期进行沉降观测并绘制时间/沉降量的曲线图,当日沉降量减少时,可继续充水,但应减少日充水高度,以保证在荷载增加时,日沉降量仍保持下降趋势。当罐内水平位接近最高操作液位时,应在每天清晨作一次观测后再充水,并在当天傍晚再作一次观测,当发现沉降量增加,应立即把当天充入的水放掉,并以较小的日充水量重复上述的沉降观测,直到沉降量无明显变化,沉降稳定为止。

附录 G

结构节点详图

(提示的附录)

本附录适用于钢制焊接常压容器的结构设计。

使用本附录时,应根据常压容器的设计条件及制造工艺需要,结构特点合理选用。

G1 壳体本体的对接接头及筒体与封头对接接头

壳体的等厚钢板,不等厚钢板或圆筒与凸形封头的对接接头的基本型式与尺寸应符合 GB985 的规定。

G2 筒体与开口接管焊接

G2.1 钢制容器内径 $D_i < 600\text{mm}$ 时的焊接结构

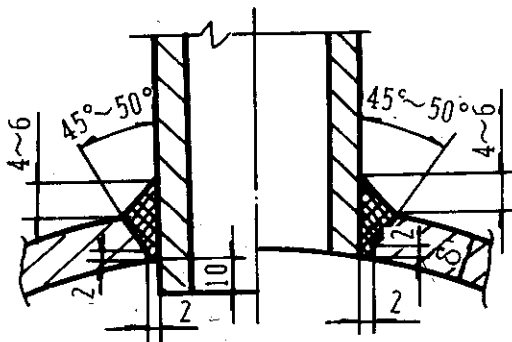
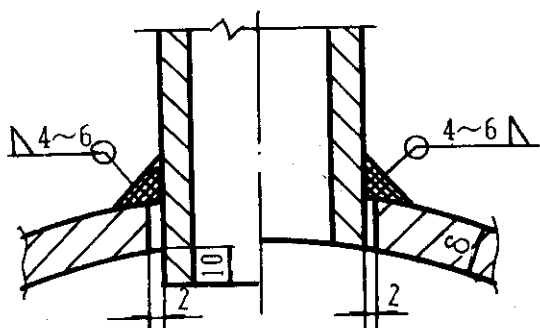


图 G1

适用范围 $\delta < 6\text{mm}$, 盛装无腐蚀性介质的容器

图 G2

适用范围 $\delta \geq 6\text{mm}$

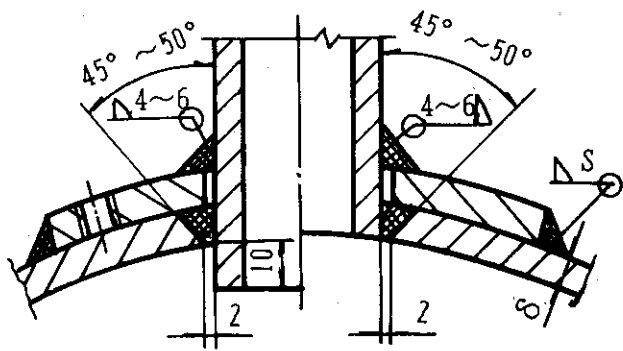


图 G3 适用范围 $\delta < 6\text{mm}$

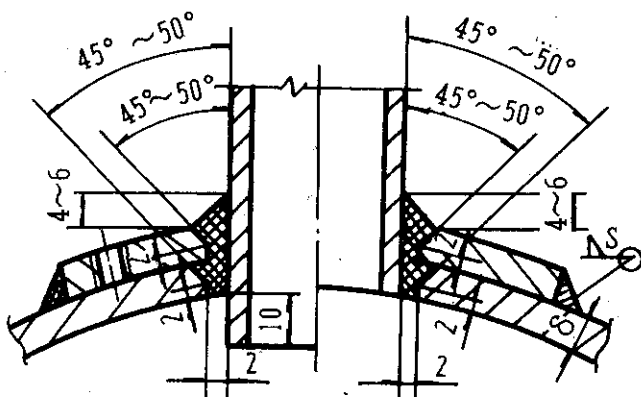
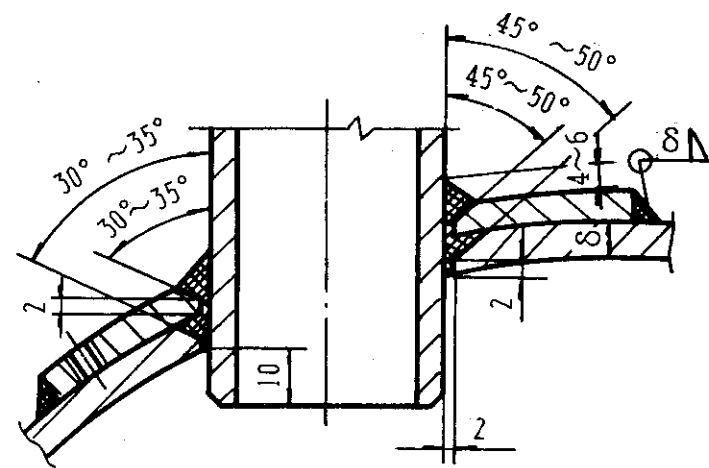
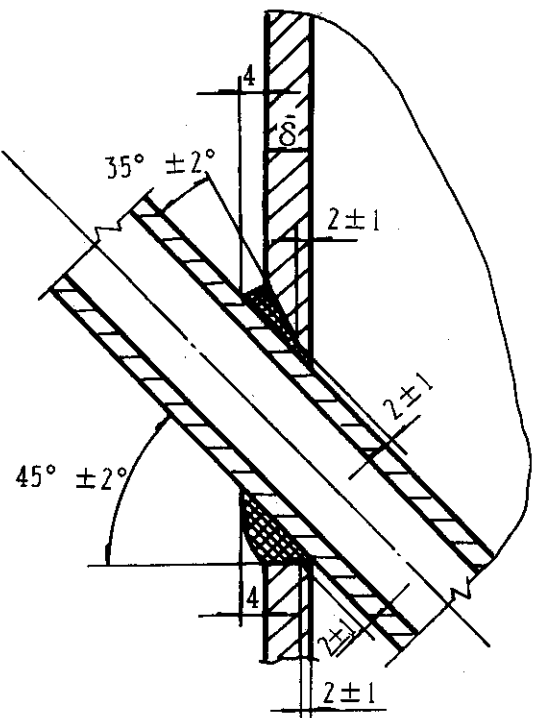
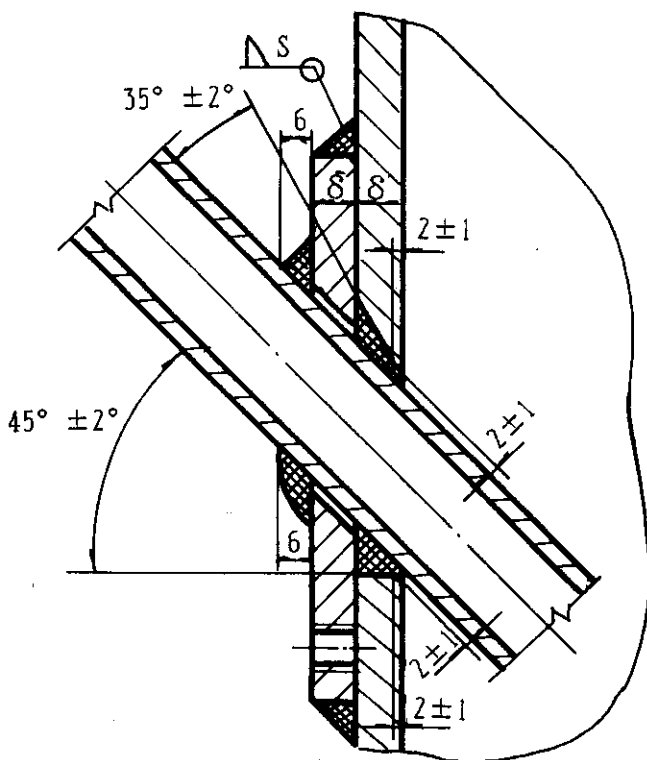
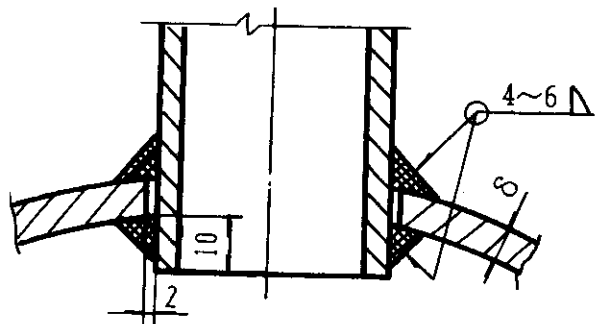
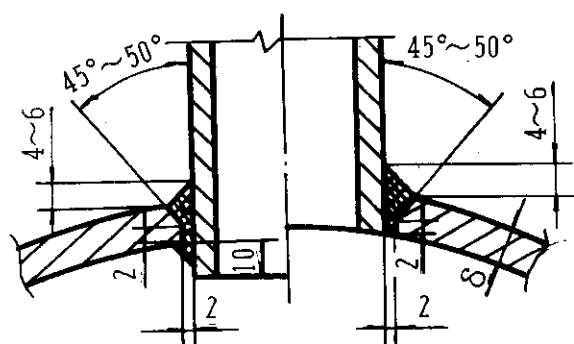
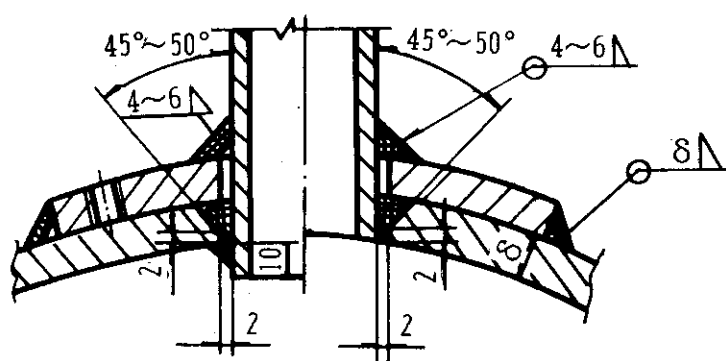
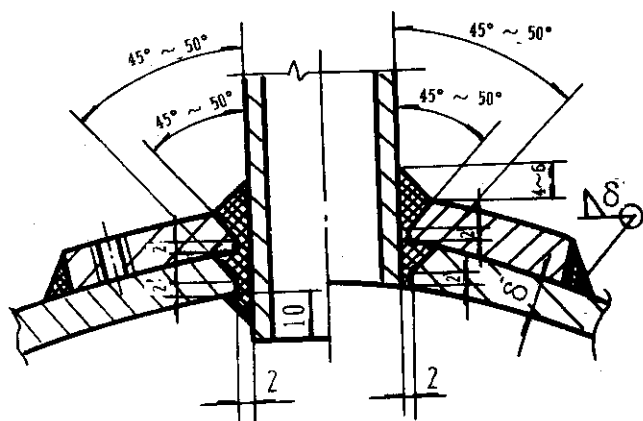
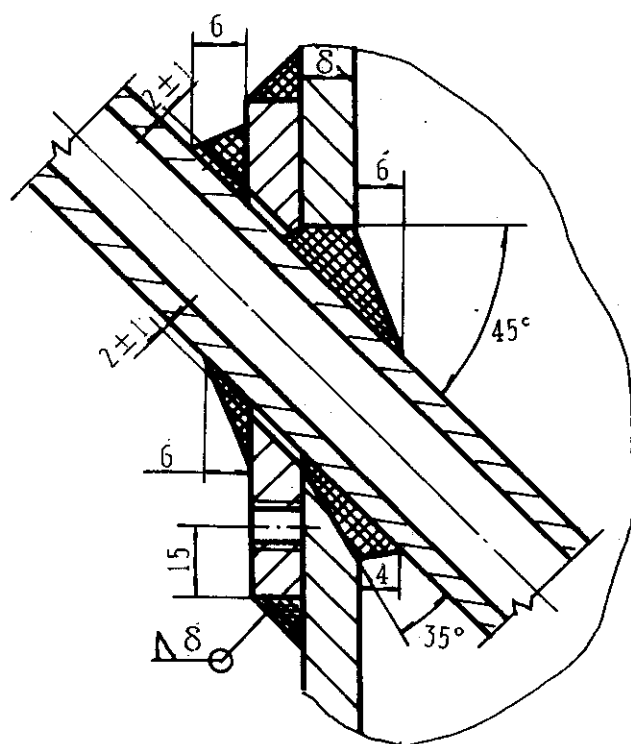
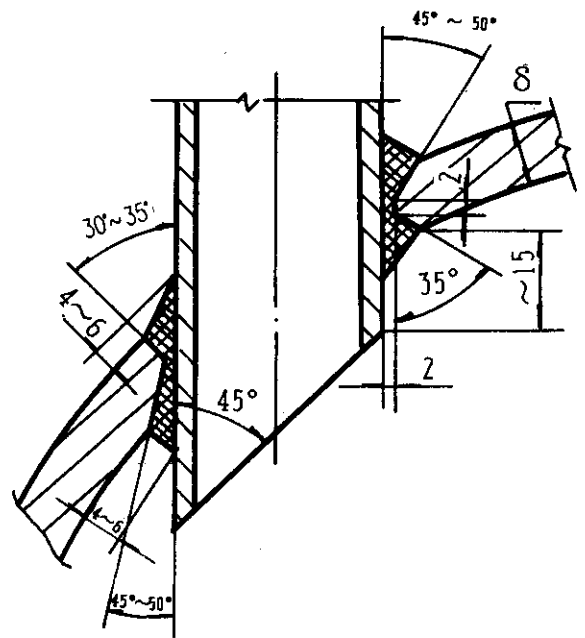


图 G4 适用范围 $\delta \geq 6\text{mm}$

图 G5 适用范围 $\delta \geq 6\text{mm}$ 图 G6 适用范围 $\delta \leq 12\text{mm}$ G2.2 钢制容器内径 $D_i \geq 600\text{mm}$ 时的焊接结构图 G7 适用范围 $\delta \leq 12\text{mm}$ 图 G8 适用范围 $\delta < 6\text{mm}$

图 G9 适用范围 $6 \leq \delta \leq 20\text{mm}$ 图 G10 适用范围 $\delta < 6\text{mm}$ 图 G11 适用范围 $6 \leq \delta \leq 20\text{mm}$ 图 G12 适用范围 $\delta \leq 20\text{mm}$

图 G14 适用范围 $6 \leq \delta \leq 20\text{mm}$

G3.1 顶盖

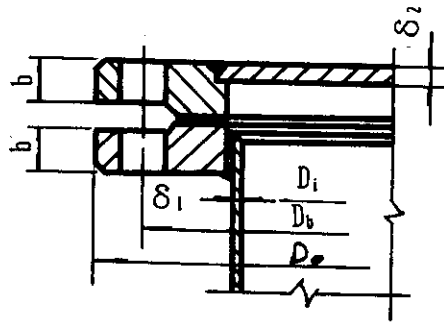


图 G15 适用于要求密封的常压容器

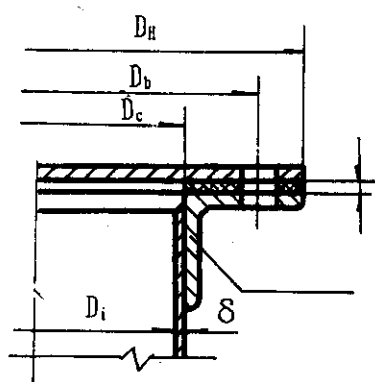


图 G16
适用于无需密封或密封要求不严格的常压容器

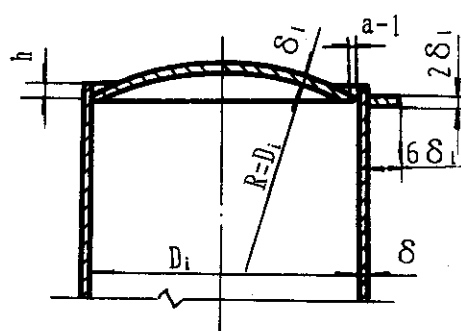


图 G17
适用于 200mm 水柱以下的真空及常压容器

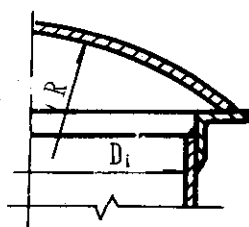


图 G18
适用于真空及常压常压容器

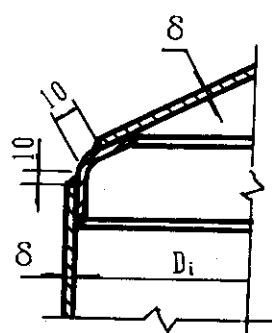


图 G19
适用于 200mm 水柱以下的大直径容器的顶盖

G3.2 器底

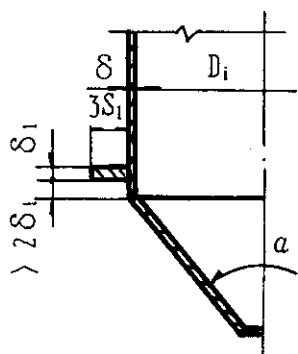


图 G20
适用于需采用加强圈的结构
加强圈点焊于筒体上。

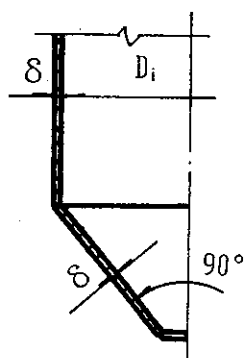


图 G21
推荐结构

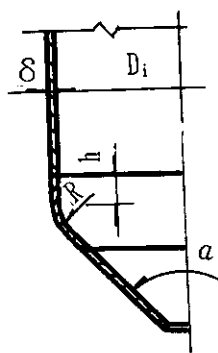


图 G22
适用于可以滚压成型的常压容器

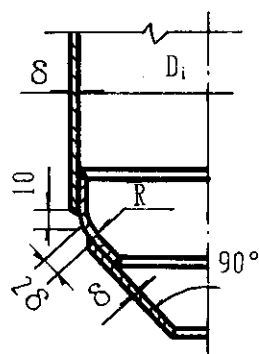


图 G23
适用于可以滚压成型的常压容器锥底

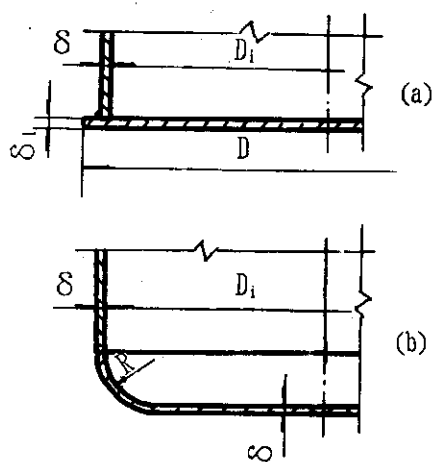
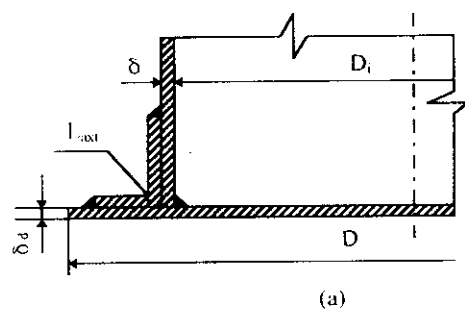


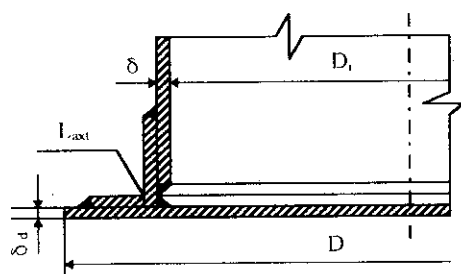
图 G24

适用于小直径的常压容器

$$D \geq D_i + 2\delta + 12\delta_0$$



(a)



(b)

图 G25

适用于大中型直径的常压容器

$$D \geq D_i + 2(\delta + \alpha + 6\delta_0)$$

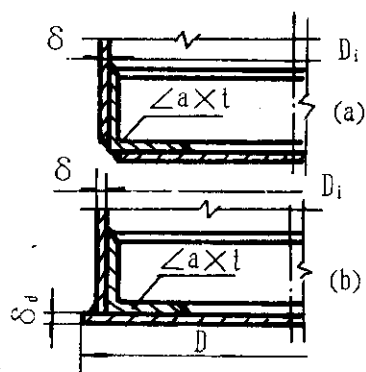


图 G26

适用于大直径的常压容器

$$D \geq D_i + 2(\delta + \delta_0)$$

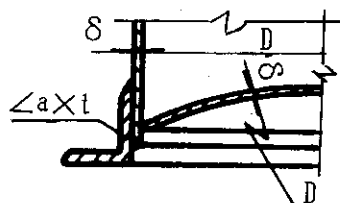
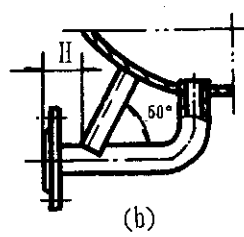
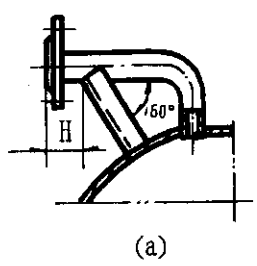


图 G27

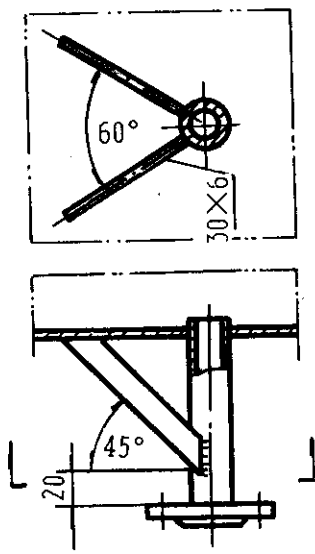
适用于真空容器或要求侧壁下部放料能干净的常压容器

G4 小直径接管的加撑



小直径接管加撑		mm
接管尺寸 (DN)	角钢尺寸	H
20,25	36×36×4	90
32,40	50×50×5	90,110
50	63×63×6	110

图 G28 角钢加撑



G29
扁钢加撑

G5 排出管及出料口

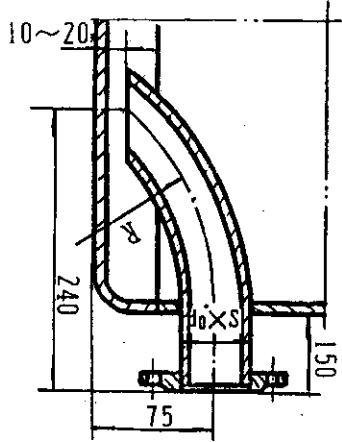


图 G30
适用于钢制平底常压容器排出管，
缺点是物料不能排净。

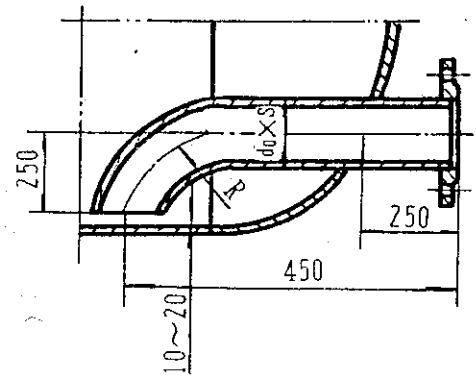


图 G31
适用于卧式常压容器，
缺点是物料不能排净。

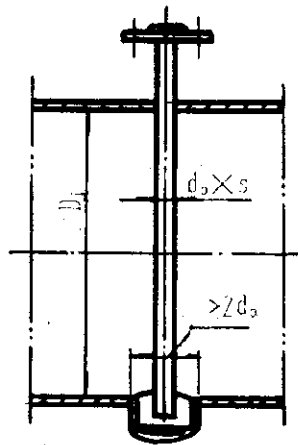


图 G32
适用于卧式常压容器，优点是可将物料排净

G6 角钢法兰

角钢法兰一般多用于无密封要求或密封要求不严格的常压容器。角钢法兰不应用于盛装极度危害、高度危害、中度危害介质、易燃易爆介质的常压容器。

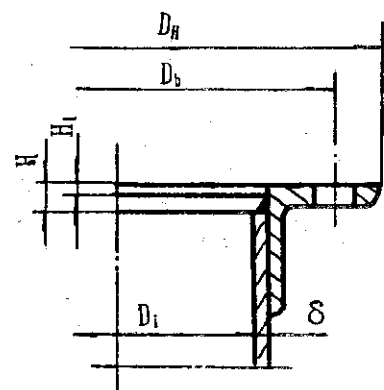


图 G33

表 G2 角钢法兰

容器公称直径 DN (mm)	角钢法兰规格 (mm)	螺栓孔中心圆直径 D_b (mm)	螺栓孔直径 (mm)		螺栓规格		H mm	H_1 mm
					型式	规格		
<800	40×40×5	$D_i + 2\delta + 50$	I 型	Φ18	I	M16	7	5
			II 型	Φ14	II	M12		
$800 \leq DN \leq 1600$	50×50×6	$D_i + 2\delta + 60$	I 型	Φ18	I	M16	7	5
			II 型	Φ14	II	M12		
$1600 < DN < 3000$	63×63×6	$D_i + 2\delta + 74$	I 型	Φ22	I	M20	8	6
			II 型	Φ18	II	M16		
$3000 \leq DN \leq 4000$	75×75×8	$D_i + 2\delta + 86$	I 型	Φ26	I	M24	10	8
			II 型	Φ18	II	M16		

说明：I 型为有密封要求但不严格的常压容器用角钢法兰。

II 型为无密封要求的常压容器用角钢法兰。

角钢法兰螺栓孔中心圆上相邻螺栓孔间距(弧长)推荐按表 G3 选用。

表 G3 角钢法兰相邻螺栓孔距离

容器公称直径 DN mm	相邻螺栓孔距离 mm	
	型式	距离
$D_N < 800$	I	≤ 80
	II	≤ 230
$800 \leq D_N \leq 1600$	I	≤ 100
	II	≤ 400
$1600 < D_N < 3000$	I	≤ 120
	II	≤ 460
$3000 \leq D_N \leq 4000$	I	≤ 140
	II	≤ 480

附录 H

齐平型清扫孔的开孔和开孔补强

(提示的附录)

本附录仅适用于立式储罐清扫用齐平型的开孔和开孔补强的设计计算,不适用于其它带有连接管线的齐平型接管开孔。

齐平型开孔的补强包含两个部分:罐壁补强和罐底补强。

齐平型开孔及开孔补强结构见图(H1)。

H1 符号说明

A_s ——开孔上部必需的补强面积, mm^2 ;

$B_{\min}$ ——开孔中心线处罐底补强板最小宽度, mm ;

b ——开孔宽度, mm ;

$b_{\max}$ ——允许开孔最大宽度, mm ;

D ——储罐内径, mm ;

H ——储罐筒体高度(或储罐内最大设计储液高度), mm ;

h ——开孔高度, mm ;

$h_{\max}$ ——开孔最大高度, mm ;

K_t ——面积系数;

L ——补强高度范围值, mm ;

r ——开孔上部转角过渡圆弧半径, mm ;

δ ——最底层罐壁名义厚度, mm ;

δ_0 ——罐底补强板最小厚度, mm ;

δ_s ——开孔所在壁板厚度 $\delta_s = \delta + 2 \sim 3, \text{mm}$;

δ_{df} ——罐壁外强板厚度 $\delta_{df} = \delta_d, \text{mm}$ 。 H₂ 开孔结构尺寸 δ_{df} ——罐壁补强板厚度, $\delta_{df} = \delta_d, \text{mm}$ 。

H2 开孔结构尺寸

a. 齐平型清扫孔可采用半长圆形或矩形,上部转角过渡圆弧半径 R 为开孔垂直高度 h 的二分之一;

b. 开孔的最大垂直高度 $h_{\max}$ 及最大宽度 $b_{\max}$ 按表 H1 的规定。

表 H1

罐壁材料 常温下屈服点 σ_s/MPa	最大高度 $h_{\max}$ 最大宽度 $b_{\max}$ (mm)
≤ 250	1200
> 250	900

H3 罐壁补强

H3.1 开孔补强结构基本要求

- 开孔所在壁板厚度应比相邻周向壁板厚 2~3mm;
- 罐壁补强板及与壁板相焊的清扫孔管颈部的厚度,应与开孔所在壁板的厚度相同;
- 开孔有关元件及罐壁补强板与所在壁板组焊完毕,经消除应力热处理后,方可与相邻的罐体壁板相焊。

H3.2 开孔补强范围

罐壁补强应设置在开孔底部以上高度为 L 的范围内, L 值不大于 1.5 倍 h, 且 (L-h) 不小于 160mm。

H3.3 补强面积

H3.3.1 开孔顶上部的补强面积 A_s 按式(H-1)计算:

$$A_s = \frac{K_t h \delta_s}{2} \dots\dots\dots (H-1)$$

式中: K_t 值按式(H2)计算的 K_0 值, 查图 H2。

$$K_0 = \left[\frac{\left[\left(\frac{H}{304.8} + 29 \right) \frac{D}{12} \right] + 19558}{385H} \right] \left[\frac{214200\delta}{2.6D \left(\frac{H}{304.8} - 1 \right)} \right]^{0.6} \quad (H-2)$$

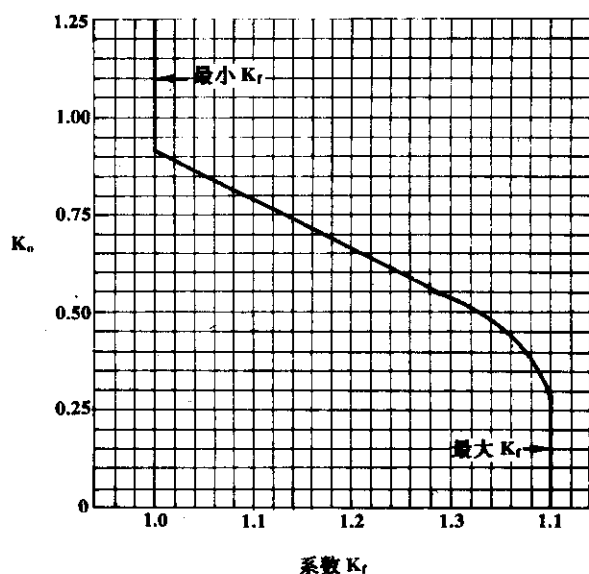


图 H2 确定齐平型清扫孔最小补强面积的系数

H3.3.2 补强面积可由下列三个部分提供:

- 罐壁补强板;

- b. 开孔所在壁板厚度大于周向相邻壁板厚度的部分；
- c. 接管颈部上长度等于补强板厚度的部分。

H3.4 罐壁补强板主要结构尺寸参考值,见表 H2

H4 罐底补强

H4.1 补强范围

- a. 开孔中心线处,罐底补强板的最小宽度 B_{min} 按式(H—3)计算:

$$B_{min}=2\delta_d+260.....(H-3)$$

- b. 罐底补强板其余的结构尺寸规定,参见图 H1。

H4.2 罐底补强板的最小厚度

- δ_o 可按式(H—4)计算(也可参照表 H3 选取)。

$$\delta_o=\frac{h^2}{9032240}+\frac{b}{137468}\sqrt{H}.....(H-4)$$

H5 清扫孔的盖板、法兰的最小厚度可参照表 H3 选取。

表 H2 齐平型清扫孔的有关尺寸

齐平型开孔			罐壁补强板		法兰宽度		螺栓孔	螺 栓		
高度 h	宽度 b	上部转角 圆弧半径 r ₁	宽度 W	上部转角 圆弧半径 r ₂	两侧及 上方 f	底部 f ₂	中心至 边缘距离 e	间距 g	直径	数量
(mm)										
200	400	100	1170	356	102	90	32	84	20	22
600	600	300	1830	736	102	96	38	90	20	36
900	1200	450	2695	1040	114	120	38	108	27	46
1200*	1200	600	3175	1308	114	128	38	115	27	52

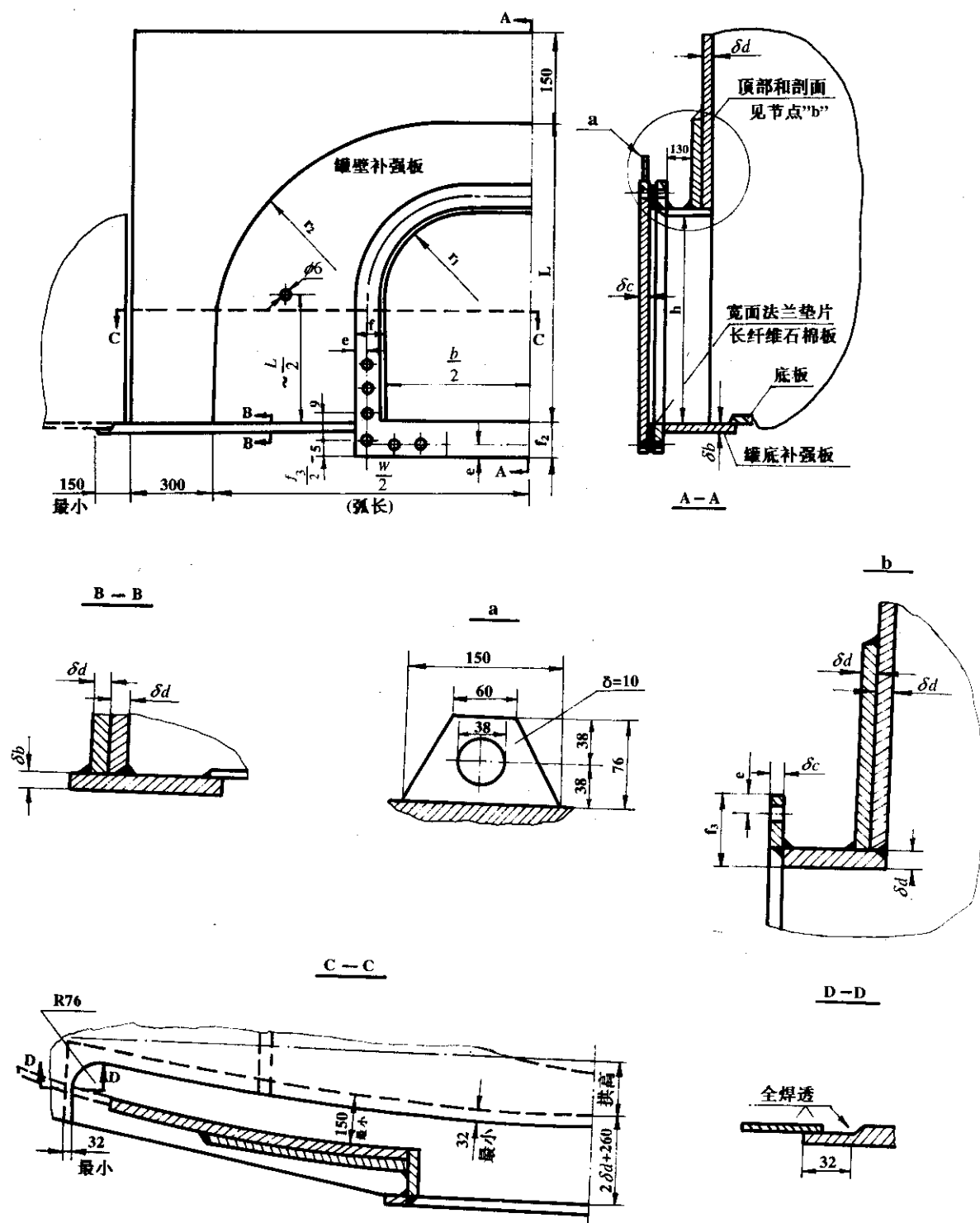
注: *——仅适用于 $\alpha_s \leq 250\text{MPa}$ 的罐壁材料

表 H3 齐平型清扫孔的盖板, 法兰和罐底部补强板的最小厚度

储罐 筒体 高度* ¹ H (mm)	当量 压力* ² p (MPa)	开孔尺寸(b×h) (mm)			
		200×400	600×600	900×1200	1200×1200
		最小厚度(法兰盖板/底部补强板) (mm)			
6100	0.0598	10/14	10/14	16/21	16/22
10370	0.1017	10/14	14/14	19/23	21/29
12500	0.1226	10/14	14/14	22/29	22/30
16160	0.1585	10/14	14/16	24/32	25/33
18290	0.1794	12/14	16/18	26/33	29/35
19510	0.1913	12/14	16/18	27/35	29/37
21950	0.2152	12/14	18/20	29/37	30/38

注: *1—H 为储罐筒体高度或最大设计储液高度;

*2—p 系以水重度为基准, 按储液高度 H 折算的当量压力。



JB/T 4735——1997
《钢制焊接常压容器》
标 准 释 义

全国压力容器标准化技术委员会

一九九七年一月

目 次

一、适用范围	(1)
二、基础术语与定义	(4)
三、安全系数	(4)
四、资格与职责	(6)
五、材料	(7)
六、各设计计算章、节简述	(8)
七、制造、检验与验收	(33)
八、附录 I 外压圆筒、外压凸形封头厚度数据表	(33)
九、附录 II 圆筒形料仓计算例题	(37)

JB/T 4735——96

《钢制焊接常压容器》

编制说明

本标准系根据国家技术监督局[1989]134号文批准的全国压力容器标准化技术委员会(以下简称“容标委”)1988~1995年制修订国家标准项目计划安排的国家标准项目,后按清理整顿现行标准工作的通知的要求,修改为行业标准,进行了编制工作。经历了以下步骤:

- 1、1990年完成编制大纲及初稿,汇稿整编工作;
- 2、1991年完成了征求意见稿,在全行业中征求意见;
- 3、1993年完成了初审稿,在容标委设计分委员会全会讨论通过;
- 4、从1994年开始在容标委秘书处召开多次专家会议,对通过的初审稿在技术内容及文字结构上做了多次修正、汇总整编,形成了报审稿。
- 5、1996年容标委进行了函审,并于7~9月份召开了编制人员会议,按审查意见做了修改,完成了报批稿。

6、1997年1月中石化总公司、机械部、化工部、劳动部批准颁布了该标准,于97年5月实施。

本标准是在已实施了十多年的有关标准及工程实践的基础上,并吸取了国外同类标准的内容。所参考的主要标准及技术文件有:

- a、GB150—89《钢制压力容器》;
- b、SH3048—93《石油化工钢制设备抗震设计规定》;
- c、GBJ128—90《立式圆筒形钢制焊接油罐施工及验收规范》;
- d、SH3046—92《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》;
- e、JB2880—81《钢制焊接常压容器技术条件》;
- f、美国 API 620《大型焊接低压储罐设计和建造推荐规定》;
- g、美国 API 650《大型焊接储油罐》;
- h、日本 JIS B 8270—93《压力容器(基础标准)》第3种容器;
- i、辽阳化纤聚酯装置 3600m³PTA 料仓的施工、检验、试验与验收等工程文件;
- j、SHJ505—87《炼油化工施工安装规程》。

本标准是为确保容器安全使用的原则制订的,是基于设计压力小于 0.1MPa、真空度低于 0.02MPa 和设计温度低于 350℃的容器所能适应的设计原理、选材条件,以及制造实践制订的。在满足标准中所规定要求下,应可保证容器的强度、稳定及刚度。

一、适用范围

本标准系属国家标准 GB150《钢制压力容器》的配套标准,适用于常压至小于 0.1MPa 及真空度低于 0.02MPa(压力大于-0.02MPa),且温度低于 350℃的圆筒形容器、立式圆筒形储罐、矩形容器和圆筒形料仓等的设计、制造(施工)、检验与验收。

本标准中的各类容器的具体适用范围如表 1 所列。

表1 各类容器的具体适用范围

容器类别	设计压力	设计温度	真空度	容积限度	备注
圆筒形容器	$>-0.02\text{MPa} \sim <0.1\text{MPa}$	$\leq 350^\circ\text{C}$	$<0.02\text{MPa}$	$>500\text{L}$	
立式圆筒形储罐	$-500\text{Pa} \sim 2000\text{Pa}$	$-20 \sim 250^\circ\text{C}$	500MPa	$20 \sim 10000\text{m}^3$	
矩形容器	连通大气	~	~	~	
圆筒形料仓	$-500\text{Pa} \sim 2000\text{Pa}$	$\leq 100^\circ\text{C}$	500MPa	不限	

1、设计压力

设计压力的定义与 GB150 相同,也引入了计算压力。本标准与 GB150 衔接形成体系而确定的适用压力范围,其中的圆筒形容器系沿用了 JB2880—81 的适用范围;立式圆筒形储罐是参考 SH3046—92 定在 $-500\text{Pa} \sim 2000\text{Pa}$ ($-50\text{mm} \sim 200\text{mm}$ 水柱),美国的 API620 及 API650 也都与此相当;圆筒形料仓过去一贯是参照储油罐及塔器的标准进行设计、制造,故也相应的按储罐的适用范围;矩形容器多是直通大气,且仅承受液体静压的储水设备或冷却水箱式换热器等。

适用压力限定在小于 0.1MPa 也考虑到以下两个问题:

- a、可与劳动部“压力容器安全监察规程”协调一致。
- b、与大多数国家压力容器所划界限相接,如 GB150、美国 ASME—VIII—1、英国 BS5500、日本 JIS B 8270 等的适用压力下限都划在 0.1MPa 。

2、设计温度

从目前所了解的工程装置中,钢制焊接压力容器使用温度高于 350°C 的情况实属不多,大多数在高于 $-10 \sim 250^\circ\text{C}$ 的范围 (JB2880—81 为 $-20 \sim 200^\circ\text{C}$; SYJ1016—82 为大气温度 $\sim 250^\circ\text{C}$; CD130A—84 为小于 250 ; JISB8501—79 为低于 260°C)。故本标准将适用温度上限定为 350°C ,因而钢材的许用应力值也只相应给到 350°C 。

对于设计温度低于 -20°C 的压力容器。本标准不再另立设计、制造、检验与验收的要求,划规在 GB150 管辖。

但考虑本标准出现“低温低应力工况”的容器较多,故引入了 GB150 对“低温低应力工况”的规定,具体条文如下:

设计温度虽低于或等于 -20°C ,但符合 GB150 标准规定的“低温低应力工况”且经调整(提高)后的设计温度高于 -20°C 的容器,以及奥氏体高合金钢制容器,可按本标准规定进行设计、制造、检验与验收。

3、不适用的各类容器

本标准不适用的容器类别,除压力限制外,基本上同 GB150 标准的规定。具体如下:

- a、直接受火焰加热的容器;
- b、受核辐射作用的容器;
- 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、计算容积小于 500L 的容器。

除上列 a~g 条外,对塔式容器,即高度大于 10 米,且高度与直径之比大于 5 的裙座自支承的塔器,应在设计时估测所受地震与风载荷的影响,若为决定壳体稳定及强度的主要因素时,应按 JB4710 标准进行设计、制造。

盛装毒性为极度或高度危害介质(按劳动部规定划分)的容器,因涉及人身安全,也划规在 GB150 中。

4、容器的最小厚度

标准的第 3.5.2 条规定的最小厚度,主要是考虑焊接工艺及制造需要而定。

常压容器的设计厚度(对中、小型容器而言,不含大型贮罐)在大多数情况下,取决于最小厚度,在 GB150《钢制压力容器》标准所辖容器中部分的低压容器、与上述容器一样,其设计厚度也受控于容器要求的最小厚度。用下列条件算出在最小厚度下所能承受的压力见表 2。

a、在容器的最小厚度下,该容器可承受的设计压力 P_c 。

b、在 0.1MPa 下,强度要求的圆筒计算厚度 δ_c 。

表 2

DN	$\delta_{\min}$	P_c	$\delta_{\min}$	P_c	P_c	δ_c	$\delta_{\min}$	P_c	P_c	δ_c
Q235—B $t=200^\circ\text{C}$ $[\sigma]=105\text{MPa}$ $\Phi=0.8$						0Cr18Ni9 $t=200^\circ\text{C}$ $[\sigma]=130\text{MPa}$ $\Phi=0.8$				
300		1.63				0.18		1.39		0.144
400		1.26				0.24		1.04		0.192
500		1.01				0.30		0.83		0.240
600		0.84				0.36		0.69		0.288
700		0.76				0.42		0.59		0.337
800	3	0.63				0.48		0.52		0.385
900		0.56				0.54		0.46		0.433
1000		0.50				0.60		0.42		0.481
1200		0.42				0.71		0.35		0.577
1400		0.36			0.1	0.83	2.0	2.0	0.1	0.30
1600	3.2			0.315		0.95		0.26		0.769
1800	3.6			0.280		1.07		0.23		0.865
2000	4.0			0.252		1.19		0.21		0.962
2200	4.4	0.336	3.0	0.229		1.31		0.19		1.058
2400	4.8			0.210		1.43		0.17		1.154
2600	5.2			0.194		1.55		0.16		1.250
2800	5.6			0.180		1.67		0.15		1.306
3000	6.0			0.168		1.79		0.14		1.442
3200	6.4			0.158		1.90		0.13		1.538
3400	6.8			0.148		2.03	0.2	0.122	0.1	1.635
3600	7.2	0.336	3.0	0.140	0.1	2.14		0.115		1.731
3800	7.6			0.133		2.62		0.109		1.827
4000	8.0			0.126		2.38		0.104		1.923

符号说明:

DN—筒体公称直径,mm; $\delta_{\min}$ —最小厚度(按 GB 150—89)mm;

P_c —根据 $\delta_{\min}$ 计算允许的压力,或设计压力等于 0.1MPa;

δ —根据计算得出的圆筒厚度,mm Φ —焊缝系数。

由上述计算结果表明,GB150《钢制压力容器》适用范围中相当一部分低压容器的计算厚度也受最小厚度控制。例如:在最小厚度 $\delta_{\min}$ 下公称直径 $DN>1500$,其设计压力可高至 0.336MPa;当公称直径 $DN1500\sim300$,其设计压力可达 0.348~1.63MPa;容器的设计厚度与设计压力无关。仅为最小厚度所控制。

带设备法兰有密封要求、表压不为零的容器，同 GB150 中某些低压容器设计一样，设备法兰设计计算也受控于“预紧工况”同设计厚度一样与设计压力无关，只在制造、检验与验收上有些差别。

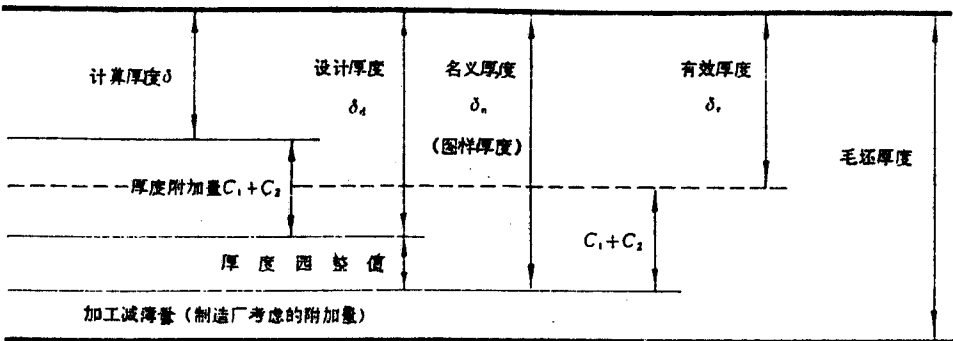
二、基础术语与定义

本标准所用术语及其定义，系参照 GB150 且尽可能与其一致，但在个别定量上作了改动，如外压容器的设计压力、真空容器的设计压力以及静压头计取的确定等；其他的名词定义与 GB150 等同，例如：

关于容器的计算压力及其计算厚度也按 GB150 新版(正在报批中)，其定义如下：

计算压力 系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。

因设计压力较小，故液柱静压力均应计入(GB150 为小于设计压力的 5%可不计入)。本标准中的计算公式都使用计算压力 P 。确定计算厚度，以更为明确设计与计算间的关系。标准中各种厚度之间的关系示意如下：



三、安全系数

1、钢板、锻件等的安全系数

安全系数是在调研了以往的使用情况和参考了国外同类容器的设计、制造等条件对比，使其尽可能与以往使用经验相符。本标准初稿选取的安全系数与 GB150 相同，后在审、汇稿中设计分委借鉴了立式储罐的多年工程经验，用 $n_s \geq 1.5$ 确定许用应力。设计分委报送“容标委”秘书处后，经多次专家会议商讨，认为：使用钢材的抗拉强度 σ_b 连同其安全系数 n_s 作为防止低应力破坏、抗断裂是有效的，且除德国标准外，其他各国均引入抗拉强度为基准的许用应力值。95 年初经容标委主任、秘书长联席工作会议确定，本标准的许用应力按下表(即标准中表 3—1 选取)。

2、螺栓的安全系数

标准中的表 3—2“螺栓安全系数”是为保证法兰等构件密封要求所必须给予的系数。与 GB150 相同。为满足密封的要求，结合螺栓承载的特点，考虑了下列因素：

标准中的表 3—1 钢材安全系数

材 料	强 度 性 能 系 数	
	常 温 下 最低抗拉强度 σ_b	常温或设计温度下 屈 服 点 σ_s 或 σ_d
碳素钢、低合金钢、 铁素体高合金钢	n_s	n_s
	≥ 2.5	≥ 1.5
奥氏体高合金钢	—	$\geq 1.5^{1)}$

注：1)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 $0.9\sigma_d$ 。此规定不适用于法兰或其它当有微量永久变形就产生泄漏或故障的场合。

为控制螺栓初始或操作工况中不产生过分的变形而导致密封渗漏,需给予较大的安全系数,如考虑使用中超负荷的影响和产生应力松弛等情况,其具体考虑的因素是:

- 为保证密封,在旋紧螺栓的操作中所获得的螺栓初始应力必须大于设计值的需要;
- 压力试验增载可能使螺栓伸长,引起垫片松弛,而有再拧紧螺栓的需要;
- 法兰(或平盖)与螺栓间的温度差和两者材料的线膨胀系数的不同所引起的热应力;
- 由于板手过力造成螺栓超载,这对小直径的螺栓将可能引起进一步屈服或损伤。对这种常见的现象,本标准结合成功的使用经验,按直径分级给出不同的超载系数;

标准中的表 3—2 螺栓安全系数

材料	螺栓直径	热处理状态	设计温度下屈服点 σ_s 的 n_s
碳素钢	$\leq M22$	热轧、正火	2.7
	M24~M48		2.5
低合金钢 马氏体高合金钢	$\leq M22$	调质	3.5
	M24~M48		3.0
	$\geq M52$		2.7
奥氏体高合金钢	$\leq M22$	固溶	1.6
	M24~M48		1.5

e. 对经过调质热处理而使强度提高的螺栓,鉴于屈强比很高(在 0.8~0.9 之间),抵抗塑性变形的能力下降,本标准给予了防止脆断的安全因素。

其中综合 a、b、c 所述情况,给予螺栓的安全裕量比其他受压元件约大 1.67 倍。

考虑到上述诸因素,将螺栓材料的屈服点除以表 3—2 所列的安全系数从而得到螺栓的许用应力值,列出于标准中表 4—4。

3、许用轴向压缩应力

圆筒轴向受压的稳定是用典型的小挠度球壳公式,取稳定系数 $m = (4.4)^2 = 19.36$ 计算轴向许用压缩应力。

(1)典型的球壳小挠度理论公式:

$$\alpha_x = \frac{2E}{\sqrt{3(1-\mu^2)}} \left(\frac{\delta}{R} \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中:取钢材的泊松比 $\mu = 0.3$;取稳定安全系数 $m = 19.36$,可得

$$[\sigma]_x = 0.062523505E \frac{\delta}{R} \dots\dots\dots (2)$$

(2)本标准的轴向许用压缩应力用外压容器算图计算。以算图中的 B(图中纵坐标)表示轴向许用压缩应力,但此 B 值系为圆筒周向受压和球壳受外压,以及圆筒轴向受压共用,且按圆筒周向受压应力—应变绘图,所以在求取轴向受压应力,应为周向受压应力的 1/2,其表达式可写成:

$$B = \frac{AE}{2} = 0.062523505E \frac{\delta}{R}$$

$$\text{取 } B = 0.0625E \frac{\delta}{R} \dots\dots\dots (3)$$

故横坐标中所对应的应变 A 为:

$$A \approx \frac{0.125}{\frac{R}{\delta}} \dots\dots\dots (4)$$

因为外压力容器算图是按 $m=15$ (对球壳受外压)绘图,而现在用 $m=19.36 \approx 20$,所以式(4)应改为:

$$A \approx \frac{0.125}{\frac{R}{\delta}} \times \frac{15}{20} = \frac{0.09375}{\frac{R}{\delta}} \dots\dots\dots (5)$$

本标准中用:

$$A = \frac{0.094}{\frac{R}{\delta}} \dots\dots\dots (6)$$

公式(3)和式(6)即是本标准的式(3—3)及式(3—4)轴向许用压缩应力计算公式。此式多用于料仓的稳定计算。

四、资格与职责

按劳动部规定设计压力小于 0.1MPa 的容器不属于安全监察范围管辖,不要求具有资格证书,但常压容器包容了各类大型容器,以及中、轻度毒性和密封要求的设备,故在职责与资格等管理应有一定的要求,以避免“粗制滥造,影响生产及安全。基于上述原因,标准中参考 GB150 的有关规定,结合常压容器的特点,写下了第 3.2 条列下:

3.2 资格与职责

3.2.1 容器的设计、制造单位必须具备健全的全面质量管理体系。

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

3.2.3 制造单位必须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。

3.2.4 制造单位的检验部门在容器制造的过程中和完工后,应按本标准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。

3.2.5 制造单位对其制造的每台产品,应具有按本标准第 15 章规定的技术文件备查。

需要提出的是在标准的第 15 章“制造、检验与验收”中对下列容器必须由持有劳动部门颁发的锅炉压力容器焊工考试合格证书的焊工担任,用以确保产品的焊接与检查质量:

- a、容器设计温度低于等于 -10°C 或高于 250°C 的容器;
- b、盛装毒性为中度危害或易燃易爆介质的容器;
- c、设计压力 p 与公称容积 V 的乘积大于等于 $0.5\text{MPa} \cdot \text{m}^3$ 或 V 大于 10m^3 的容器;
- d、壳体名义厚度大于等于 8mm 的容器。

容器的无损检测,必须由持有劳动部门颁发的锅炉压力容器无损检测人员等级签发证书的人员担任。

在第 15.3.4.2 条中对立式储罐及料仓的焊工资格等也提出了要求,如下:

从事手工电弧焊、埋弧焊和气电立焊的焊工应按 GB1236 焊工考试的有关规定进行考试,并还要求符合下列规定:

- a. 考试试板的接头型式、焊接方法、焊接位置及材质等,均应与施焊的储罐一致;

b. 对于埋弧焊焊工除应进行埋弧焊平焊或横焊位置的考试外,还应进行手工电弧焊平焊位置的考试;

c. 气电立焊焊工应通过立焊板状试板的考试;

d. 试板必须进行外观检查、射线透照检测和冷弯试验。射线透照检测应不低于 JB4730 规定的 II 级为合格。

按《锅炉压力容器焊工考试规则》考试合格并取得劳动部门颁发的相应的钢材类别、组别和试件分类代号合格证的焊工,可以从事储罐相应部位的焊接,不再考试。

五、材料

1、在本标准适用范围内所有容器及锅炉用钢都应允许使用(因系高质钢代低质钢问题),这一规定在标准的第 4 章及附录 A 中均已明确提出。

对于非锅炉与容器用钢,按照钢材本身的性质,如沸腾钢考虑硫、磷偏析,可能存在分层等现象以及检验项目与批量等问题,而控制了使用温度与尺寸;对于镇静钢则参照 GB150 材料部分也做了使用条件的规定(详见标准的第 4.2 条)。

2、考虑到常压容器的基本特点,本章仅要求用符合有关技术标准,而未提出对材料的无损检测等附加要求。但又考虑到常压容器应用范围的广泛性,有盛装毒性介质的场合,这类容器虽然在常压下工作,但仍有一定危及人身安全的问题,因此在标准中列出了 4.1.7 条“对钢材有特殊要求时,应在图样或相应技术文件上注明”。

本标准规定碳素钢和低合金钢容器最小壁厚为 3mm,高合金钢容器最小壁厚为 2mm。为此,结合钢材标准决定了所选用的钢板的最小厚度,决定最大厚度为 60mm 以备法兰、平盖等另部件使用。考虑到常压容器盛装介质是多种多样的,故在高合金钢的选用方面,引用 GB150 中的高合金钢钢号。

3、碳素钢钢管,只列入了 GB8163 标准中的 10 和 20 钢管,而高合金钢钢管则引用了 GB150 的钢号。

4、锻件只引用了 20 钢、16Mn 钢、0Cr13 和 0Cr18Ni9 等八个钢号。

螺栓材料列入了 GB700 中的 Q235A 和 GB699 中 35 钢及 GB1220 中的 2Cr13、0Cr19Ni9、0Cr18Ni9Ti 和 0Cr17Ni12Mo2 六个钢号,许用应力全部引用 GB150 的数据。

5、常压容器用型钢的量较大,所以在材料章中列入了型钢条款,根据设计部门多年应用“钢结构设计规范”(TJ17—74)标准的经验,在本标准列入的碳素钢为 GB700—88 标准中的 Q235—AF、Q235—A、Q235—B、Q235—C 和 GB1591—88 标准中的 16Mn 低合金钢。

TJ17—74“钢结构设计规范”修订成 GBJ17—88 标准的主要修订内容是,以概率理论为基础的极限状态设计法代替容许应力设计法,修改后的设计方法和常压容器的许用应力设计法不一致,同时“钢结构设计规范”强调必须与按“建筑结构设计统一标准”(GBJ68—84)所制订或修订的“建筑结构荷载规范”(GBJ9—87)及国家各种建筑结构设计标准规范配合使用,不得与未按“建筑结构设计统一标准”(GBJ68—84)所制订或修订国家各种建筑结构设计标准规范混合使用,故本标准仍然参考“钢结构设计规范”TJ17—74 标准有关数据制订的型钢许用应力值,Q235—AF、Q235—A 和 Q235—B 的许用应力值已乘以 0.9 的质量系数。

6、附录 A“材料的补充规定”列入了 1Cr18Ni9Ti 和 0Cr18Ni12Mo2Ti 这两个在 GB4237—84 标准中不推荐使用的钢号、以解决目前继续使用的需要。同时由于常压容器盛装腐蚀介质的情况很广泛,故在本标准中作出“允许使用已列入国家标准、行业标准和国外相应钢材标准的奥氏体和奥氏体—铁素体高合金钢钢材”的规定。

六、各设计计算章、节简述

第5章“内压圆筒”

用第一强度理论计算周向应力的公式,考虑其设计压力较低而不进行修正。依据常压容器的特点,计算压力 P_c 均计入静压力。具体公式列下:

$$\delta = \frac{P_c D_i}{2[\sigma] \Phi} \dots\dots\dots (\text{标准中式 5—1})$$

第6章“外压圆筒与外压球壳”

GB150 规定 0.02MPa 为外压容器适用范围的下限,即当容器承受外压低于 0.02MPa 时,该容器划归给本标准管辖。因此,随着容器 L/D 值的增大,在本标准中的相当一部分容器,其要求的壳体最小厚度不能满足外压稳定计算的要求,故设置外压设计一章。

本章所说“外压”,系指由于容器真空所导致的,带夹套的外压容器不在本章之列。下面仅述及本章的一些特点:

1、本章中的外压计算公式及图表均与 GB150 相同,基于米西斯公式(R. V. Mises),其计算图表也从 GB150 中移植过来。

2、由于本标准只用于真空度小于 0.02MPa,一般不会出现 D_o/δ_c 小于 100 的情况,即使有个别的容器出现 D_o/δ_c 小于 100 的情况时,则此容器也不会出现失稳,也无需进行稳定校核,但为保持算图(即标准中图 6—2)的完整性,还是完全抄录过来。

3、为减少设计计算工作量,将常用的 Q235B 及 0Cr18Ni9 两类材料制造的外压容器是否需作稳定校核和设计计算的判据,作出了“受外压的圆筒及凸形封头厚度数据表”,列入本释义附录 I。

第7章 封 头

本章考虑常压容器的特点和使用情况,仅列出了标准椭圆形、碟形和球冠形封头,以及无折边锥形封头或称锥壳。未列出半球形、有折边锥形和带法兰的凸形封头,使用者采用上列封头时,可按 GB150 的有关规定。

标准中的椭圆形和碟形封头的设计计算均抄录于 GB150。计算公式与 ASME—VIII—1 类同。

无折边锥形封头和球冠形封头因考虑常压的特点,而参照了美国石油学会 API620 的计算方法。

API620 规定的计算方法是近似的,没有考虑边缘弯曲应力和剪切应力的影响。但由于概念清楚而计算又简便,且当前国内大部分设计都参考国外有关标准,而 API620 中由于球冠或锥壳与圆筒连接结构及受力状态比较接近实际。现将标准中的计算释义如下:

在内压作用下,球冠或锥壳大端与圆筒连接处,封头部分单位长度上的薄膜力 T_1 将圆筒壁向内推,此推力在连接处产生环向附加压力 $T_1 D_s \sin \alpha$ 。在连接处总环向内力 Q 近似可按壳体在二次应力有效范围内的薄膜力 $T_2 W_s$ 加上 $T_2 W_s$ 和附加压力 $T_1 D_s \sin \alpha$ 的总和确定,即标准中式(7—23)。但当用锥壳作为过渡段时,在锥壳小端与圆筒连接处,锥壳单位长度上的薄膜力 T'_1 将圆筒向外推,此推力在连接处产生环向附加拉力 $T'_1 D_s \sin \alpha$;增加了作用在连接处的总环向拉伸力 Q' ,即标准中式(7—24)。若在外压作用下,封头部分单位长度上的内力 T_1 、 T'_1 和 T_2 、 T'_2 及圆筒部分单位长度上环向力 T_s 、 T'_s ,其方向与受内压时是相反的,代入式(7—23)或式(7—24)计算环向总内力 Q 或 Q' 时就要区别 T_1 、 T_2 、 T_s 和 T'_1 、 T'_2 、 T'_s 是受拉(正号)或受压(负号)。

对圆筒,当连接处假设为完全嵌固时,其二次应力开始衰减到零的距离按式(7)计算

$$L = \frac{\pi \sqrt{R\delta}}{4' \sqrt{3(1-\mu^2)}} \dots\dots\dots (7)$$

取钢的 $\mu=0.3$ 代入式(8)

$$L = 0.6 \sqrt{R\delta} \dots\dots\dots (8)$$

式中: R ——圆筒内半径, mm;

δ ——圆筒厚度, mm。

封头与圆筒在连接处具有二次应力的范围即谓“有效宽度”可近似按式(7)及(8)确定, 见标准中式(7—16)、(7—17)及(7—18)、(7—19)、(7—20)。

环向总内力 Q 或 Q' 原则上由连接处的有效宽度范围内的截面来承受, 但按 API620 规定对封头和圆筒自身的拼接为对接焊时才适用。当封头自身拼接采用搭接焊时, 封头上的有效面积 W_h 、 W' , 就不能视为承受环向内力, 此时标准中式(7—29)及式(7—30)或式(7—31)应改为下式:

$$Ar \geq A - Wc\delta e \dots\dots\dots (9)$$

$$Ar \geq A - 2Wc' \delta e' \dots\dots\dots (9a)$$

$$Ar \geq A - 2w\delta e \dots\dots\dots (10)$$

当采用搭接时, 实际需要增加的承压面积比采用对接时多, 同时标准中式(7—32)也不能用作校核封头的稳定。

本章考虑到一般容器封头自身拼接多采用对接焊, 所以规定封头, 圆筒自身的拼接必须采用对接焊的型式。若工程设计中需采用搭接焊时, 则应考虑受力不利影响, 增加连接处承压面积, 此部分可参见 API620 中例题。

连接处的许用应力值, 按 API620 规定。对屈服强度在 30000~38000 磅/英寸² 钢材(相当我国的 Q235 碳素钢), 当 $Q>0$ 时取纯拉伸时的最大许用应力, 当 $Q<0$ 时, 取许用压缩应力为 15000 磅/英寸² ($\approx 103\text{MPa}$)。但 API620 规定的适用范围是按操作时金属温度不超过 200 F (93°C), 而本标准的温度适用范围比 APT 620 高, 且连接处在承受环向压缩应力时, 对这种局部压缩许用应力值如何选取尚缺乏可靠的数据, 故只好按钢材的常规情况随着温度升高钢材的临界应力也随之下降的原则, 考虑在 API620 规定的 200 F 时取许用压缩应力 15000 磅/英寸² ($\approx 103\text{MPa}$) 的基础上, 在标准中给出表 7—4 供设计参考。

标准中式(7—32)表示连接处封头部分的有效承压宽度的水平投影应不小于圆筒内半径的 0.015 倍, 以保证封头与圆筒连接处在承受环向压缩力时不致发生失稳。但当封头自身拼接采用搭接时, 封头部分的有效承压宽度的水平投影不能用来满足水平宽度的需要, 则在连接处有效宽度范围内需另加构件来承担。

一般情况下标准中式(7—29)、(7—30)、(7—31)及式(7—32)要求不易得到满足, 此时需要在连接处设置加强圈, 加强圈的型式很多, 可为扁钢、角钢或加厚连接处的节点板等。API620 介绍几种允许采用和不允许采用的型式。本章推荐采用以下几种结构, 见图 7—1。

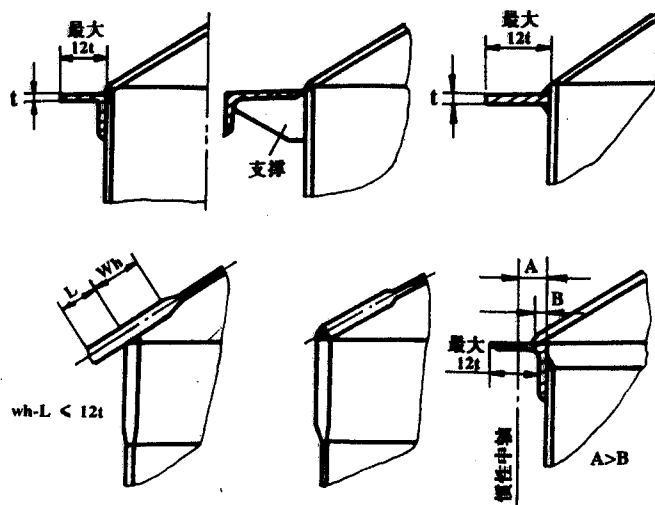


图 7—1

按 API620 规定加强圈应尽量设置在靠近封头与圆筒连接的平面上。且加强圈伸出圆筒外侧的最大宽度不应超过 16 倍的加强圈厚度。若超过此值应考虑在加强圈截面上加支撑,以保证加强圈自身的稳定性。

第 8 章 平 盖

平盖的厚度计算系考虑常压容器的筒体很薄,则假设其为周边简支的圆平板而确定其结构特征系数“K”。

常压容器使用带加强筋的平盖较多,故列入了有各种形式加强筋的平盖。

1、用角焊接头与筒体连接的平盖(表 8—1 中序号 1~8)

结构系数参照国标 GB150—89“钢制压力容器”和 JISB8243—1981(86 年确认)“压力容器的构造”编写。

平盖厚度的计算公式与 GB150 是一致的,但系数 K 值比 GB150 高。GB150 取 $K = 0.44 \frac{\delta}{\delta_e}$,且不小于 0.2,本标准取 $K = 0.5 \frac{\delta}{\delta_e}$ 且不小于 0.3。这里主要考虑是:

a. 由于常压容器筒体厚度大多是按最小厚度决定,筒体很薄,可以认为平盖是周边简支受均布载荷的平板;

b. 若按 GB150 的规定选定取 K 值,通过应力分析法计算,筒体与封头连接处的应力会超过 $3[\sigma]$;参考国外标准,如 JISB8243—1981,法国 CODAP 等,本标准亦相应提高了 K 值。

2. 用折边与筒体对接焊接的平盖(表 8—1 中序号 9)

系引自 JISB8243—1981《压力容器的构造》。

3. 用加强筋加强与筒体角焊接的平盖

表 8—1 序号 10~15 所列结构形式是常见的,亦有成熟的使用经验。厚度计算式中的 K 和加强筋截面模数 Z 的依据如下:

a. 表 8—1 序号 10 的 K,按周边简支 180°扇形板的公式和系数经简化后求得;Z 按承受均布载荷(加强筋两侧区域各一半的载荷由该加强筋承受)简支梁计算简化求得。

b. 表 8—1 序号 11 的 K,按周边简支的矩形板公式和系数经简化后求得;Z 同序号 11 的方法求得

乙。

c. 表 8—1 序号 12~14 的 K, 同序号 11 的方法求得 Z, 按井式梁的公式和系数经简化后求得。

d. 表 8—1 序号 16~18 的 K 值, 均按 GB150, 其螺栓载荷及垫片的 m、y 值均从 Waters 法兰计算引入, 但其中的序号 17 及序号 18 的 K 值系数 1.78 改为 1.9。

第 9 章 开孔和开孔补强

开孔和开孔补强基本上与 GB150—89 第 6 章中等面积补强的方法一致, 但需注意的是:

本标准由强度计算所确定的壳体厚度大多都很薄, 故按等面积补强的原则(即 $A \geq A_e$)则有很多孔径都会满足 $A \geq A_e$ 的条件, 但考虑到较大的开孔因壁薄孔大其周边的刚度不够, 故仍沿用了 GB150 的允许开孔范围而不补强的最大开孔直径 d 放宽到 $d \leq 100\text{mm}$ 具体如下:

1、可不另行补强的最大开孔直径

满足下列条件的开孔可不考虑补强:

a、两相邻开孔中心的间距(曲面间距以弧长计算)不小于两孔直径之和的两倍(同 GB150—89);

b、壳体开孔直径 $d \leq 100\text{mm}$ 。

2、适用的开孔范围(同 GB150—89)

壳体上开孔的最大直径一般不应超过以下数值; 超过时按 9.4.2 条规定。

a、开孔内径 $d_i \leq \frac{1}{2}D_i$, 且 $d_i \leq 500\text{mm}$;

圆筒内径 $D_i > 1500\text{mm}$ 时, 圆筒开孔的最大直径 $d \leq \frac{1}{3}D_i$, 且 $d \leq 1000\text{mm}$;

b、凸形封头开孔的最大直径 $d \leq \frac{1}{2}D_i$;

c、锥壳(或锥形封头)开孔的最大直径 $d \leq \frac{1}{3}D_i$, D_i 为开孔中心处的锥壳内直径。

当直径超出上列规定时, 参考了 ASME—VIII—1 对大开孔的要求, 作了以下规定:

直径超出适用的开孔范围的开孔, 其补强面积的 2/3 应设置在下列范围之内:

a、宽度为离孔边缘 $d/4$;

b、高度为 $\sqrt{d\delta_m}$ 。

3、等面积法开孔补强的理论及实践依据请参见 GB150—89 标准释义的有关说明。

第 10 章 法 兰

法兰计算同 GB150 用 Waters 方法设计法兰尺寸。对本标准而言, 其法兰的设计均以预紧状态确定法兰尺寸。

第 11 章 立式容器支座

本章共分 6 节, 第 1 节和第 2 节参照 GB150—89 中关于直立设备的叙述和 Brownell“化工容器设计”中关于自支承式立式容器支承的介绍, 当考虑风载荷和地震载荷时, 参阅中村康治主编 JIS 压力容器编辑委员会编著的受力分析。

第 3 节参照 Herry H. Bednar. P. E. “压力容器设计手册”关于顶部有横板支耳的受力分析及 HGJ16—89 中带刚性环支耳式支座的设计和计算。

第 4 节支腿参照 HGJ17—89“钢制化工容器结构设计规定”和 Herry. H. Bednar. P. E. “压力容器设计手册”中关于支承于筒体的支腿支座的结构、材料和选型原则。

其强度计算部分参照中村康治主编的 JIS 压力容器编辑委员会编著的关于支承于筒体器壁的支腿支座的强度计算方法。

第 5 节支承式支座的选用材料钢号按修改后的 GB150, 钢板和钢管支座的支座尺寸按 JB/T 4724《支承式支座》, 钢板支座适用于公称直径为 DN800~3000 的容器, 钢管支座适用于公称直径为 DN800~4000 的容器, 钢管支座的安装节圆直径 d_r 是仅使整个垫板位于椭圆形封头过渡区以内, 这样可不使过渡区域内由于内压而引起的周向应力出现负值。

第 6 节裙式支座, 裙式支座的圆筒形壳体, 由于它的全部金属面积是处于离中性轴最大距离处(对于一定的直径)截面模数最大, 在金属中引起的应力最小, 因此, 裙座用于支承高度较大的立式容器是经济的设计。这一节主要参阅 HGJ17—89“钢制化工容器结构设计规定”和 CD 标准“塔器设计规定”的有关内容及 Bowneel“化工容器设计”中关于裙座的结构、材料和选型原则。

第 12 章 立式圆筒形储罐

1、本章主要参照 SH3046—92“石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范”中有关部分编制的, 只在个别部分考虑与本标准相一致, 作了局部修改。储罐容积限定在 10000m³, 主要考虑在此范围内使用较多, 若更大容积的储罐就应作经济对比确定。选择顶盖型式可参照 SH3046—92 考虑。

本章适用于气相空间压力为正 200mmH₂O, 负压值为 50mmH₂O, 这是根据长期操作经验和参考国外标准确定。当内压超过此范围, 储罐设计需另行考虑加固设置地脚螺栓, 因此, 本章明确规定适用罐底板直接放置在沙垫层基础上。对一些由于介质及操作要求需放置在条形或其他型式的基础上时, 底板的设计应另行考虑。

2、罐壁的设计

罐壁计算厚度按标准中式(5—1)确定, 但罐壁的名义厚度应考虑加上钢板负偏差。若盛装有腐蚀介质时还应考虑腐蚀裕量, 且罐壁板的名义厚度应不小于标准中表 12—1 规定的最小厚度。

3、罐顶的设计

标准中第 12.3.2b 条规定单位面积上附加荷载取 1200N/m², 其中包括活荷载 700N/m² 和操作负压 500N/m²。而活荷载包括携带工具的检修人员的重力或罐顶积雪的重力。

规定光面拱顶在均布外压下的小变形理论公式的临界压力为:

$$P_{cr} = \frac{2}{\sqrt{3(1-\mu^2)}} E \left(\frac{\delta}{R_i} \right)^2 \dots\dots\dots (11)$$

取钢 $\mu=0.3$ 代入

$$P_{cr} = 1.2 E \left(\frac{\delta}{R_i} \right)^2 \dots\dots\dots (12)$$

考虑实际拱壳制造误差和安全性, 取拱壳的许用临界压力值如标准中式(12—2)。

4、风载荷作用下罐壁的稳定性校核

标准中式(12—5)是根据薄壁短圆筒在均匀外压下的临界压力公式得到的, 短圆筒的临界压力按下式计算:

$$P_{cr} = 2.59 E \left(\frac{D_i}{L} \right) \left(\frac{\delta}{D_i} \right)^{2.5}$$

根据中国科学院力学研究所作薄壁圆筒风洞试验表明, 风压达到两倍临界压力值时, 筒壁表面的屈曲波形仍是弹性的, 考虑此试验结果, 经整理后得式(12—5)。式(12—8)中 K_2 值是参照 GBJ9—87“建筑

荷载规范”中表 6.2.1 取平均高度 10 米处的值。此式是引入“当量罐体”的概念,即把一个实际不等壁厚的罐体化为一个等壁厚的当量罐体考虑。使计算简化。

标准中式(12—8)中 $2.25K_g + P_1$ 是考虑罐体同时受风压作用及操作负压作用时使罐体屈曲的外压力,其中系数是瞬时风压与基本风压值之间的换算系数。在国内瞬时风速与平均 10 米高处风速之比值约为 1.3~1.7。本标准取 1.5,由于基本风压与风速的平方成正比,故系数为 2.25。

标准的表 12—5 给出的加强圈最小尺寸是根据中国科学院力学研究所的研究结果得出罐壁加强圈的惯性矩如下式:

$$I_y = 100\delta^3(R\delta)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (13)$$

式中: I_y ——罐壁加强圈的惯性矩, mm^4

δ ——罐壁厚度, mm ;

R ——储罐内半径, mm 。

本标准用上式来确定加强圈的尺寸。

5、由于本章适用的储罐容积 $20\text{m}^3 \sim 10000\text{m}^3$,容积都不大,加强圈位置一般在最薄层罐壁上,即加强圈的当量高度,就是其实际高度不必换算,但列入标准的第 12.6.5.6 条的目的,主要考虑若有特殊情况,加强圈不设置在最薄层罐壁上,此时就需进行换算。换算的方法建议参照 SH3046—92 条文说明中例题。

6、标准的附录 C 对立式圆筒形储罐的抗震计算,经过我们反复讨论,本附录决定用 SH3048—93《石油化工钢制设备抗震设计规定》中有关章节进行计算。附录 C 按标准中第 12 章范围仅写入关于固定顶盖的储罐抗震计算,而对浮顶、内浮顶罐的抗震计算未给予考虑。如需计算可见 SH3048—93。

7、立式圆筒形储罐抗震计算原则上只适用于具有自由液面的储罐,即使是浮顶罐也近似地当作自由液面储罐看待,但对固定顶盖的储罐若储罐上表面与顶盖之间的空间小于储罐容积的 4%时,则所有储液几乎全被储罐周边约束,储液不能晃动,与设计原则不一致。故不能适用。

图 C1 适用于阻尼比为 0.05 时的水平地震影响曲线,当储罐的阻尼比不等于 0.05 时,水平地震影响系数由图 C1 查取后还要进行修正。一般储罐与储液耦合振动时的阻尼比为 0.05,故式(C—5)中 α_1 直接由图 C1 确定不必修正,但储液晃动阻尼比为 0.008,则式(C—16)中 α_2 需修正。如下式:

$$\alpha_2 = (\mu + vTw)\alpha_{21} \dots\dots\dots (14)$$

式中 μ 、 v 与阻尼比和晃动周期 T_w 有关的变数,当无实测数据时,储液晃动阻尼比取 0.008,晃动周期 T_w 值一般储罐在 0.11~15 秒范围,故 $\mu = 1.85$, $v = -0.008$ 代入得式(C—17)。

8、标准的附录 D

当光面拱顶的许用临界压力小于罐顶设计外压时,加厚顶板是不经济的,需考虑在拱顶上增焊肋条以加强顶板的刚度。这种带肋拱顶的计算方法是以中国建筑科学研究院论文“带肋薄壳计算方法”提供的理论为基础,但该文给出的是带肋混凝土双曲扁壳的稳定计算公式。我们考虑混凝土与钢材不同的特性进行修正,并经过多年实践经验得出式(D—1),我们认为加肋间距在 1.5 米以内,储罐直径小于 32 米范围内按这种设计方法是安全可靠的。

第 13 章 矩形容器

矩形平壁、平底和平盖容器,由于器壁形状为平面,只适用于液柱静压力较低的场所。矩形容器所需金属材料的耗量,比同容积的圆形容器要多,但在某些工艺操作条件(如需分仓、连续操作等)下,或受到安装位置限制等原因,它能很好地利用空间,并容易制造。

1、顶边加固的矩形容器(所用符号见本标准 13.2 条“符号说明”)。矩形容器平板,以强度条件来控制,由下式(15)导出壁厚计算公式

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{\alpha \rho g H L^2}{\delta^2 / 6} = \frac{6 \alpha \rho g H L^2}{\delta^2} \dots\dots\dots (15)$$

$$\delta = 2.45L \sqrt{\frac{\alpha H \rho g}{[\sigma]}} \quad \text{见式(13—1)} \dots\dots\dots (16)$$

式中的 α 值,是考虑平板的固定方式及载荷分布状况的弯矩系数。因加固件设置于顶边四周,壁板的周边介于简支和固支之间,在承受流体静压力时,载荷分布为三角形。根据支承的实际情况,将四边简支平板承受三角形载荷时的弯矩系数,乘以 0.8[1],即得图 13—3 中之 α 值[2], α 值的大小取决于矩形容器的高长比值,如图 13—3 所示。

加固件

顶边设置有足够尺寸的加固件,则器体边缘可看作被全部支承,受三角形载荷[2],这样可减小壁厚。本章中各种型式的矩形容器,均设置了顶边加固件,且其规格不得小于 $50 \times 50 \times 5$ 的角钢以期有足够的刚度。

把加固件视为固支横梁,取许用挠度为:

$$[f] = \frac{L}{500} [2] \quad \text{则: } f = \frac{F_1 L^4}{384 E I} = \frac{L}{500} \dots\dots\dots (17)$$

由 $F_1 = \frac{1}{3} \times \frac{\rho g H^2}{2} = \frac{\rho g H^2}{6}$ 而导出顶边加固件所需要的惯性矩,见式(13—2)

2、垂直加固的矩形容器

沿器体长度或宽度设置垂直加固柱,则减小了板支承长度或宽度的尺寸,如图 13—4 所示。

公式(13—1)中的 L 换为 L_3 ,而导出式(13—3)

加固柱按简支支承的承受三角形均布载荷的梁来考虑,最大弯矩为:

$$M_{\max} = \frac{q H^2}{9 \sqrt{3}} = 0.0642 \rho g H^3 L_3 = 0.0642 \rho g H^3 L_3, \quad N \cdot mm \dots\dots\dots (18)$$

式中: $q = \rho g H L_3 \quad N/mm$

所需要的截面系数:

$$Z_1 = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{0.0642 \rho g H^3 L_3}{[\sigma]} \quad mm^3 \dots\dots\dots (19)$$

为简化计算,可认为加固柱与壁板的组合截面的截面系数,等于各部分截面系数之和,得出较安全的结果。

壁板的截面系数:

$$Z_2 = \frac{L_3(\delta_n - C)^2}{6} \quad \text{mm}^3 \dots\dots\dots (20)$$

则加固柱所需要的截面系数为两者之差,即:

$$Z = Z_1 - Z_2 \quad \text{见式(13—4)}$$

式(13—2)中之 L 换为 L_3 ,即为式(13—5)

圆钢拉杆:

承受内部静压垂直加固的矩形容器,通常在器顶设置一排拉杆,以抵抗液体静压向外的推力。

拉杆设计分两种情况:

a、当拉杆长度为 $16000\text{mm} > L_2 > 363 \sqrt[3]{d^2}$ 时[1],按柔性杆考虑,其挠度一般不小于 $\frac{L_2}{250}$ 。

圆钢拉杆单位长度上的重力:

$$q = \frac{7.698 \times \pi d^2 \times 10^{-5}}{4} \quad \text{N/mm} \dots\dots\dots (21)$$

由拉杆自身重力引起的拉力:

$$N = \frac{qL_2^2}{8f} \quad \text{N} \dots\dots\dots (22)$$

取 $f = \frac{L_2}{250}$ 代入式(22)式则得:

$$N = \frac{7.698 \times 10^{-5} \pi d^2 L_2^2}{4 \times 8 \left(\frac{L_2}{250}\right)} = 1.889 \times 10^{-3} d^2 L_2 \quad \text{N} \dots\dots\dots (23)$$

由拉杆自身重力引起的应力:

拉应力:

$$\sigma_{t1} = \frac{N}{A} = \frac{1.889 \times 10^{-3} d^2 L_2 \times 4}{\pi \left(\frac{d}{1.2}\right)^2} = 3.46 \times 10^{-3} L_2 \quad \text{MPa} \dots\dots\dots (24)$$

式中: $\frac{d}{1.2} \approx d_0$, d_0 为联杆端部螺纹小直径,mm。

弯曲应力:

$$\sigma_n = \sigma_{t1} \times \frac{4.655d^5}{N^2} = \frac{3.46 \times 10^{-3} L_2 \times 4.655d^5}{(1.889 \times 10^{-3} d^2 L_2)^2} = 4514 \frac{d}{L_2} \quad \text{MPa} \dots\dots\dots (25)$$

最大拉应力:

$$\sigma_{\max} = \sigma_{t1} + \sigma_n = 3.46 \times 10^{-3} L_2 + 4514 \frac{d}{L_2} \quad \text{MPa} \dots\dots\dots (26)$$

若拉杆长度 $L_2 = 16000\text{mm}$, 直径 $d = 24\text{mm}$ (拉杆一般不超过此范围),则:

$$\sigma_{\max} = 3.46 \times 10^{-3} \times 16000 + 4514 \frac{24}{16000} = 62.1 \quad \text{MPa} \quad \dots\dots\dots (27)$$

若拉杆材料为普通碳素钢, 常温时的许用应力 $[\sigma]_b = 117.7 \text{MPa}$, 则由于液体静压力而产生的外推力在拉杆中产生的拉应力, 不会超过 $[\sigma]_b - \sigma_{\max} = 117.7 - 62.1 = 55.6$ 。所以取拉杆抵抗液体静压向外推力的许用应力 $[\sigma]_{bt} = 55 \text{MPa}$ 。

由液体静压作用于拉杆上的力:

$$Q = \frac{1}{3} \times \frac{\rho g H^2 L_3}{2} = \frac{\rho g H^2 L_3}{6} \quad \text{N} \quad \dots\dots\dots (28)$$

拉杆直径 12—24mm 时, $d \approx 1.2d_0$, 则:

$$\frac{\pi}{4} \left(\frac{d}{1.2} \right)^2 = \frac{Q}{[\sigma]_{bt}} = \frac{\rho g H^2 L_3}{6[\sigma]_{bt}}$$

$$d = 0.553H \sqrt{\frac{\rho g L_3}{[\sigma]_{bt}}} + C_2 \quad \text{见式(13—6)} \quad \dots\dots\dots (29)$$

若介质为水, 式(29)可以简化。

b. 当拉杆长度 $L_2 < 363 \sqrt[3]{d^2}$ 时:

先由下式求定拉杆由自身重力产生的挠度:

$$f = \frac{5qL_2^4}{384E'I} \quad \text{mm} \quad \dots\dots\dots (30)$$

将 f 值代入式(22):

$$N = \frac{qL_2^2}{8f} = \frac{qL_2^2}{8 \left(\frac{5qL_2^4}{384E'I} \right)} = 0.471 \frac{E'd^4}{L_2^2} \quad \text{N}$$

式中: $I = \frac{\pi d^4}{64}$, mm^4 。

由拉杆自身重力引起的应力:

拉应力:

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} = \frac{0.471E'd^4/L_2^2}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{d}{1.2} \right)^2} = 0.864 \frac{E'd^2}{L_2^2} \quad \text{MPa} \quad \text{见式(13—7)}$$

弯曲应力(拉杆材料为碳素钢时):

$$\sigma_n = rgL_2^2/d \quad \text{MPa} \quad \text{见式(13—8)}$$

由 $Q = \frac{\rho g H^2 L_3}{6}$, 求出由液体静压力作用于拉杆上引起的拉应力:

$$\alpha_2 = \frac{Q}{A} = \frac{L_3 \rho g H^2 / 6}{\pi (\frac{d}{1.2})^2 / 4} = 0.306 \frac{\rho g H^2 L_3}{d^2} \quad \text{MPa, 见式(13-9)}$$

作用于拉杆上的最大应力:

$$\alpha_{\max} = \alpha_1 + \alpha_n + \alpha_2 < [\sigma], \quad \text{见式(13-10)、(13-11).}$$

3. 横向加固的矩形容器

横向加固圈可增加壁板的强度而减薄壁厚,如图 13-5 所示。

加固圈可视为两端固支承受均布载荷的横梁,其许用挠度取 $[f] = \frac{L}{500}$, 可由

$$F = \frac{F_i L^4}{384 E' I} = \frac{L}{500} \text{ 导出加固圈需要的惯性矩:}$$

$$I = 1.3 \frac{F_i L^3}{E'} \quad \text{mm}^4 \quad \text{见式(13-14).}$$

式中: F_i 为按不等跨截面连续梁计算得出的加固圈单位长度上的载荷 N/mm 见式(13-13)及式(13-16)。

为了简化计算,未考虑壁板的作用。

壁板厚度:

将液体静压力取为平均深度处的压力,得:

$$P_i = \rho g \frac{h_{i-1} + h_i}{2} \quad \text{MPa,}$$

在各段壁厚计算时 α_i 值的确定:

由器顶算起,第(1)段承受三角形载荷,按下式计算:

$$\delta_1 = L \sqrt{\frac{3\alpha_1 \rho g h_1}{[\sigma]'}} \quad \text{mm, 见式(13-15).}$$

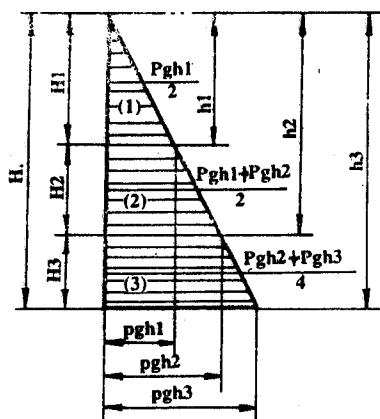
以下各段承受梯形载荷,(见载荷图)。

将梯形载荷简化为平均深度 $\frac{(h_1 + h_{i-1})}{2}$ 处压力的均匀载荷,均布载荷的弯矩系数是三角形载荷的二倍,则弯矩为:

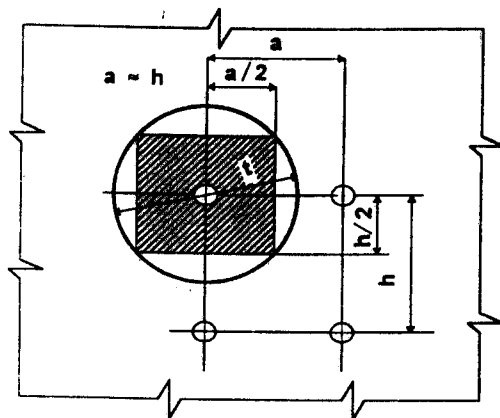
$$M_i = 2\alpha_i L^2 \rho g \left(\frac{h_{i-1} + h_i}{2} \right) = 2\alpha_i L^2 P_i \quad \dots\dots\dots (31)$$

由 $\sigma = \frac{M_i}{Z_i} = \frac{2\alpha_i L^2 P_i}{\delta_i^3 / 6} = \frac{12\alpha_i L^2 P_i}{\delta_i^3}$ 导出下式:

$$\delta_i = L \sqrt{\frac{12\alpha_i P_i}{[\sigma]'}} = L \sqrt{\frac{6\alpha_i \rho g (h_{i-1} + h_i)}{[\sigma]'}} \quad \text{mm, 见式(13-18)}$$



载 荷 图



拉杆布置图

式中: i = 段数, $i = 2, 3, 4, \dots$ 段。

4. 拉杆加固的矩形容器

为了避免使用大型加固梁,对大型矩形容器,在不影响内件安装的情况下,容器侧面采用支撑杆拉筋结构是较经济的,如图 13—5 所示。

拉杆表面的受力状态(见拉杆布置图)可以看成周边固定的平板,结构特征系数取比较中等的数值 $K = 4$ 。

加撑表面的厚度按:

$$\delta_i = t \sqrt{\frac{P_i}{K[\sigma]}} \dots\dots\dots (32)$$

式中: $P_i = \rho g h_i$, MPa;

K = 结构特征系数,取 $K = 4$;

t = 拉杆节距外圆尺寸, $t = \sqrt{2} h$. mm;

$$\delta_i = \sqrt{2} h \sqrt{\frac{\rho g h_i}{4[\sigma]}} + C = h \sqrt{\frac{\rho g h_i}{2[\sigma]}} + C \quad \text{见式(13—19)}$$

拉杆直径计算式中系数 1.13 是由 $\frac{\pi d^2}{4} = \frac{Q_i}{[\sigma]}$ 而导出的。见式(13—20)

5. 具有垂直和横向加固的矩形容器

为安全起见,在高度 $H > 2200\text{mm}$ 的矩形容器,通常在垂直加固柱之间,再加一些横向加固圈,这样可以增加刚度减小壁板厚度。这种形式,实际上是具有垂直和横向加固联合体,如图 13—7 所示。

6. 具有双向水平联杆垂直加固的矩形容器

这种形式为内部加固的矩形容器,适用于不影响内件安装,顶部遮盖的矩形容器。其结构一般除在器顶设置一排联杆以支承盖板并共同抵抗液体静压向外的推力外,还在垂直高度(H)中间最佳位置处,设置与两侧加固柱联接的一排或两排联杆,以增加加固柱的强度,如图 13—8 所示。

将加固柱视为不等跨等截面受均载的连续梁,而导出支座弯矩 M_i ,及最大弯矩 M 。由此可求出加固所需要的截面系数 Z ,见式(13—21)或式(13—32)。

联杆承受液体静压对壁板产生的外推力,以及由于联杆自身重力引起的拉力和弯矩。

中间设置一层联杆的矩形容器:

a. 中间联杆:

扁钢联杆单位长度上的重力:

$$q = 7.698 \times 10^{-5} \delta_{nb} b \quad \text{N/mm}$$

由联杆自身重力引起的:

挠度:

$$f = \frac{5qL_2^4}{384E'I} \quad \text{mm} \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中: $I = \frac{\delta_{nb} b^3}{12}, \quad \text{mm}^4.$

拉力:

$$N = \frac{qL_2^2}{8f} = \frac{qL_2^2}{8\left(\frac{5qL_2^4}{384E'I}\right)} = 0.8E' \frac{\delta_{nb} b^3}{L_2^2} \quad \text{N} \quad \dots\dots\dots (34)$$

拉应力:

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} = \frac{0.8E'\delta_{nb} b^3}{L_2^2 \delta_{nb} b} = 0.8E' \frac{b^2}{L_2^2} \quad \text{MPa} \quad \text{见式(13—22)}$$

弯曲应力(碳素钢时):

$$\sigma_n = 0.75 \frac{gL_2^2}{L_2^2} \quad \text{MPa} \quad \text{见式(13—23)}$$

由液体静压作用联杆上的力 Q_1 , 即为由联杆与加固柱连接处的反力。

拉应力:

$$\sigma_2 = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{0.27\rho g H^2 L_3}{(\delta_{nb} - 2C)(b - 2C)} \quad \text{MPa} \quad \text{见式(13—24)} \quad \text{作用于联杆上的最大应力为 } \sigma_1 + \sigma_n + \sigma_2$$

之和,见式(13—25)及式(13—26)。

b. 顶部联杆:

顶部联杆按联杆与盖板的组合截面计算,组合截面见图 13—9 所示。

单位长度上的重力:

$$q = 7.698 \times 10^{-5} (\delta_{nb} b + \delta_n L_3) \quad \text{N/mm} \quad \dots\dots\dots (35)$$

由联杆和盖板自身重力引起的:

拉力:

$$N = \frac{qL_2^2}{8f} = \frac{qL_2^2}{8\left(\frac{5qL_2^4}{384E'I_x}\right)} = 9.6E' \frac{I_x}{L_2^2} \quad \text{N} \quad \dots\dots\dots (36)$$

拉应力:

$$\sigma_1 = \frac{N}{A_2} = 9.6E' \frac{I_x}{L_2^2(\delta_{nb}b + \delta_n L_3)} \quad \text{MPa} \quad \text{见式(13-27)}$$

式中: A_2 ——组合截面积, mm^2 ;

I_x ——组合截面惯性矩, mm^4 。

弯曲应力:

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \frac{M}{Z_x} = \frac{qL_2^2/8}{Z_x} = \frac{7.698 \times 10^{-5}(\delta_{nb}b + \delta_n L_3)L_2^2}{8Z_x} \\ &= 9.62 \times 10^{-6} \frac{L_2^2(\delta_{nb}b + \delta_n L_3)}{Z} \quad \text{MPa} \end{aligned} \quad \text{见式(13-28)}$$

式中: δ_n ——盖板名义厚度, mm ;

δ_{n1} ——扁钢名义厚度, mm ;

Z_x ——组合截面最小截面系数, mm^3 。

由液体静压作用于联杆和盖板上的力 Q_0 , 即为由连续梁计算得出的顶部反力。
拉应力:

$$\sigma_2 = \frac{Q_0}{A_3} = \frac{0.06\rho g H^2 L_3}{(b-C)(\delta_{nb}-2C)+L_3(\delta_n-C)} \quad \text{MPa} \quad \text{见式(13-29)}$$

式中: A_3 为减去厚度附加量的截面积。

作用于联杆上的最大应力为 $\sigma_1 + \sigma_n + \sigma_2$ 三者之和。

中间设置两层联杆的矩形容器:

c. 第一层联杆:

σ_1 、 σ_n 按式(13-22)、(13-23)计算。

由液体静压作用于联杆上的力 Q_1 , 即为由联杆与加固柱连接处的反力。

拉应力:

$$\sigma_2 = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{0.15\rho g H^2 L_3}{(\delta_{nb}-2C)(b-2C)} \quad \text{MPa} \quad \text{见式(13-33)}$$

最大应力:

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_n + \sigma_2 \quad \text{MPa} \quad \text{见式(13-34)、式(13-35)}$$

d. 第二层联杆:

σ_1 、 σ_n 按式(13-22)、(13-23)计算。

$$\sigma_2 = \frac{Q_2}{A_1} = \frac{0.202\rho g H^2 L_3}{(\delta_{nb}-2C)(b-2C)} \quad \text{MPa} \quad \text{见式(13-36)}.$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_n + \sigma_2 \quad \text{MPa} \quad \text{见式(13-37)、式(13-38)}.$$

e. 顶部联杆:

由液体静压作用于顶部联杆和盖板上的力 Q_0 , 即为顶部反力。

$$\sigma_2 = \frac{Q_0}{A_3} = 0.034 \frac{\rho g H^2 L_3}{(b-C)(\delta_{nb}-2C)+(\delta_n-C)L_3} \quad \text{MPa} \quad \text{见式(13-39)}$$

α_1 和 α_n 见式(13—27)和式(13—28)

$\alpha_{max} = \alpha_1 + \alpha_n + \alpha_2$ MPa 见式(13—40)、式(13—41)

式中: Q_0 、 Q_1 、 Q_2 为按不等跨等截面连续梁计算得出的作用于联杆上的力, N。

7. 矩形容器底板

当底板整个表面安装在平基础上(如砂基础上或平屋顶上等), 则底板厚度常用 4—6mm, 必要时另加腐蚀裕量。

当底板是由型钢梁支承时, 则应进行分析验算, 以确定梁的间距和底板厚度。

底板单位长度上的载荷, 是把底板取出宽度为 1mm 的小条上承受的均布载荷:

$$q = \rho g H \quad \text{N/mm} \quad \dots\dots\dots (37)$$

将该小条看作承受均布载荷等跨连续梁, 最大弯曲力矩:

$$M_n = \frac{1}{9.4} q L_1^2 = \frac{\rho g H L_1^2}{9.4} \quad \text{N-mm} \quad \dots\dots\dots (38)$$

此小条的截面系数:

$$Z = \frac{1(\delta_n - C)^2}{6} \quad \text{mm}^3 \quad \dots\dots\dots (39)$$

假设底板厚度 δ_n 值后, 支承梁间距 L_1 可由下式求定:

$$\alpha_n = \frac{M_n}{Z} = \frac{6\rho g L_1^2 H}{9.4(\delta_n - C)^2} \quad \text{mm}^3 \quad \dots\dots\dots (40)$$

$$L_1 = \sqrt{\frac{9.4(\delta_n - C)^2 [\sigma]'}{6\rho g H}} = 1.252(\delta_n - C) \times \sqrt{\frac{[\sigma]'}{\rho g H}} \quad \text{mm}, \quad \text{见式(13—43)}.$$

本章参考文献

- [1]《石油炼厂设备之计算和设计》[苏]尤·勒·维赫曼 石油工业出版社, 1956(译文)
- [2]《压力容器手册》[美]E. FMEGYESY 石油工业出版社, 1984(译文)
- [3]《矩形贮罐的设计方法》[美]Kantl K. Mahajan《化工设备设计》1980(第二期)
- [4]《建筑结构静力计算手册》中国建筑业出版社, 1975

第14章 料 仓

1. 料仓一般有深仓与浅仓之分, 所谓深仓是指仓筒内所贮松散物料的整个滑坡面都位于仓筒之内(图 1), 即满足以下条件:

$$\frac{D_i}{H} < \frac{1}{\frac{1}{2} \text{ctg}(45^\circ - \frac{\Phi}{2})} \quad \dots\dots\dots (41)$$

式中: D_i ——仓筒内径, mm;
 h ——直筒部分高度, mm;
 ϕ ——仓筒内所贮物料的内摩擦角, $[\circ]$ 。

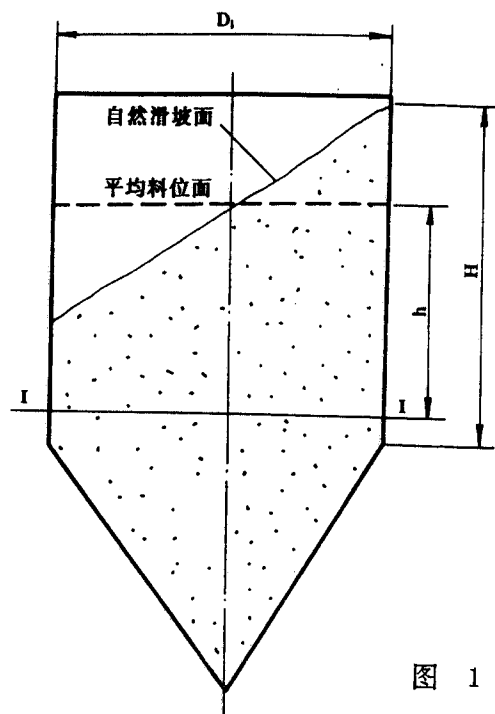


图 1

但是, 第一, 深仓按浅仓设计偏于安全; 第二, 深仓设计时亦不考虑自然滑坡面, 而是按水平表面计算料位高, 而难于考虑斜向料位滑坡面。所以, 本规定不再区别深仓与浅仓。

2. 由于料仓所贮为固体物料, 其与液体物料相比, 物料与仓壁的摩擦大大增加。所以, 在料位高 h 的截面 I—I 处的垂直压力并非

$$P_c = h\gamma \quad \dots\dots\dots (42)$$

式中: h ——料位高度;

γ ——物料比重。

而是小于式(42)的某一值, 此两值之差, 即为物料之间以及物料与仓壁间存在的摩擦力。

实际的各水平截面上的垂直压力 P_v 值一般均按经典的詹森(Janssen)公式进行计算。

根据詹森公式, 如图 2 所示, 从料仓界面深 h 处取两截面, 相距 dh , 设料仓横截面积为 A ,

$$A = \frac{\pi}{4} D_i^2 \quad \dots\dots\dots (43)$$

这样就形成了一微元体积 $dv = Adh$, 其重量为 $d_w = dv \cdot \gamma$ 。

对这一微元体积列出平衡方程。其中, 在截面 I—I 上受到上面物料所产生的压力 P_v , 整个截面上的受力为 $P_v A$ 。

在微元底面 II—II 作用有压力 $P_v + dP_v$, 整个截面上的力为 $A(P_v + dP_v)$ 。

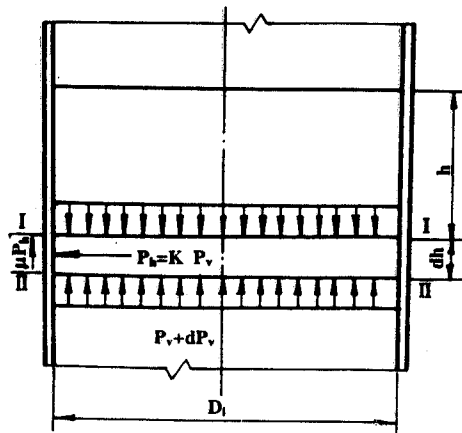


图 2

由物料垂直压力 P_v 产生横向力 P_h , 根据固体力学原理, 知 $P_h = k P_v = \frac{1 - \sin \Phi}{1 + \sin \Phi} P_v = \tan^2(45^\circ - \frac{\Phi}{2}) P_v$ 。
 式中 Φ 是松散物料的内摩擦角。

由于 P_h 是垂直于仓壁的, 所以产生沿壁面的摩擦力 $P_f = \mu P_h$, 沿 dh 宽一周 U 上的全部摩擦力为 $P_f = \pi D_i dh \mu P_h$ 。

对上述诸力导出静力平衡方程

$$A P_v + d v \gamma = A (P_v + d_v) + U P_f \dots\dots\dots (44)$$

于是:

$$\frac{\pi}{4} D_i^2 P_v + \frac{\pi}{4} D_i^2 \gamma dh = \frac{\pi}{4} d_i^2 (P_v + d P_v) + \pi D_i \mu K P_v dh \dots\dots\dots (45)$$

对上式经过整理后得

$$\frac{d P_v}{dh} + \frac{4}{D_i} \mu K P_v = \gamma \dots\dots\dots (46)$$

解上述一阶常系数线性微分方程, 并利用以下边界条件

当 $h=0$,

有 $P_v=0$

代入式(46), 即得其特解为

$$P_v = \frac{D_i \gamma}{4 \mu K} [1 - \exp(-\frac{4 \mu K}{D_i} h)] \dots\dots\dots (47)$$

如果令 $\mu K = f$, 代入上式则得

$$P_v = \frac{D_i \gamma}{4} [1 - \exp(-\frac{4 f h}{D_i})] \dots\dots\dots (48)$$

由此可见,由于固体物料对仓壁存在较大之摩擦力,故与液体物料相比,某一深度的横截面上,其压强小于物料单位面积上的堆积重量。

由于物料与仓壁间存在着摩擦力,所以,仓壁亦将多承受一项由它产生的压应力(指支承以上部分),从而造成料仓容易失稳。此项摩擦力如图3所示,在物料界面以下深 h 处的截面I—I上,垂直压力为 P_v ,摩擦力为 P_f ,实际方向向上。由前面介绍可知:

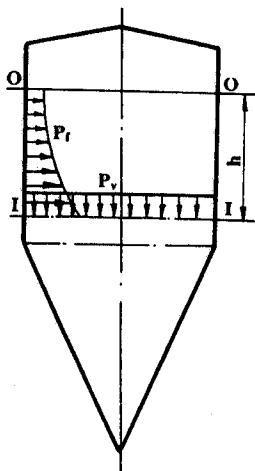


图 3

$$\begin{aligned}
 P_f &= k\mu P_v \\
 &= k\mu \left\{ \frac{D_i \gamma}{4\mu k} [1 - \exp(-\frac{4\mu k}{D_i} h)] \right\} \\
 &= \frac{1}{4} D_i \gamma [1 - \exp(-\frac{4\mu k}{D_i} h)] \dots\dots\dots (49)
 \end{aligned}$$

从O—O面到I—I面单位宽度仓壁表面上的全部摩擦力为:

$$\begin{aligned}
 P_f^{0 \rightarrow 1} &= \int_0^h \frac{1}{4} D_i \gamma [1 - \exp(-\frac{4\mu k}{D_i} h)] dh \\
 &= \frac{\gamma D_i h}{4} + \frac{4\mu k h}{D_i} \exp(-\frac{4\mu k h}{D_i}) \dots\dots\dots (50)
 \end{aligned}$$

由于上述摩擦力在仓壁内引起的压应力为:

$$\sigma_{zs} = \frac{1}{\delta_{st}} \left[\frac{D_i \gamma h}{4} + \frac{4\mu k h}{D_i} \exp(-\frac{4\mu k}{D_i} h) \right] \dots\dots\dots (51)$$

式中: δ_{st} ——仓壁有效厚度。

在料仓支承以下,该摩擦力将引起张力,但仍可用式(50)和式(51)计算,仅符号改变。但是,上式计算较繁,实际上在图3的I—I截面以上仓壁与物料间的摩擦力可按式(52)计算:

$$P_f^{0 \rightarrow 1} = \frac{\pi D_i^2}{4} [h\gamma - P_v^{1 \rightarrow 1}] \dots\dots\dots (52)$$

式中： P_v^{1-1} 按式(48)计算。

由式(52)可近似地计算出由该摩擦力在仓壁内引起的压应力：

$$\sigma_{zs}^{1-1} = \frac{P_f^{0-1}}{\pi D_i \delta e i} \dots\dots\dots (53)$$

或由式(52)可得：

$$\sigma_{zs}^{1-1} = \frac{D_i}{4\delta e i} [h\gamma - P_v^{1-1}] \dots\dots\dots (54)$$

本标准中就是采用了上列公式。

3. 由物料所产生的垂直压力 P_v 和水平力 P_h 对仓壁分别产生轴向力和周向力。此轴向力和周向力可用一般薄膜应力公式进行计算。但由于固体物料堆积所产生的 P_v 和 P_h 都比较小，所以可用以下简化公式计算：

$$\sigma_z = \frac{D_i P_v}{4t_{ei}} \dots\dots\dots (55)$$

$$\sigma_\theta = \frac{D_i P_h}{2t_{ei}} \dots\dots\dots (56)$$

有时料仓内由于采用气流输送，或物料需用氮气保护，则此时仓内存在气相压力。根据本规定限制，此气相压力 P 不应大于 2000Pa。如存在不等于零的 P 时，周向应力和轴向应力按下式计算：

$$\sigma_\theta = \frac{D_i (P_v + P)}{2t_{ei}} \dots\dots\dots (57)$$

$$\sigma_z = \frac{D_i (P_h + P)}{2t_{ei}} \dots\dots\dots (58)$$

规定 $P \leq 2000\text{Pa}$ ，是因为在一般情况下，此范围对料仓已敷应用，另外，这样可以和本标准第 11 章立式储罐统一起来。当 $P > 2000\text{Pa}$ 时，仓壁和锥体部分的全部计算公式全可应用，对顶盖则应另加验算。

4. 仓筒内的轴向应力包括以下几个部分：

- 由存贮物料在计算截面上所产生的压力 P_v 引起的轴向应力 σ_{z1} (包括内压力)；
- 由料仓顶盖重量、顶盖上附加重量、雪载、活载在计算截面上所产生的轴向应力 σ_{z2} ；
- 由地震和风载产生的弯矩在计算截面上所产生的轴向应力 σ_{z3} ，此项一般出现在支承之上；
- 由计算截面以上(下)仓筒、内件及其上的保温、防护材料以及垂直地震力所引起的轴向应力 σ_4 。

注 1：对于此项轴向应力，要区分计算截面在支承之上还是在支承之下，如果在支承之上，则为压应力，并且取计算截面上的全部各项重量之和；如果计算截面在支承之下，则为拉应力，且只取计算截面下各项重量之和。在本标准中，一般不再用符号区分拉、压应力，但在合成时应考虑符号而取代数和。

- 因固体物料与仓壁间存在摩擦力，并因此而产生的轴向应力 σ_5 。

注 2：与注 1 相同，当计算截面在支承之上时， σ_5 为压应力，计算截面在支承之下时， σ_5 为拉应力，其他同注 1。

5. 在料仓计算中，只有 P_h 和气相压力 P 二项在仓筒壁中产生周向应力，并用简化的薄膜应力公式

计算。一般来说,仓筒壁原不受此向应力控制,主要受压力失稳或拉应力控制见图 4。

6. 仓筒中的轴向应力组合,亦应按支承分界,在支承之上:

$$\sigma_{zz} = \sigma_{z1} + \sigma_{z2} + \sigma_{z3} + \sigma_{z4} + \sigma_{z5} \dots\dots\dots (59)$$

体现为压应力。

在支承之下

$$\sigma_{zz} = \sigma_{z1} + \sigma_{z4} + \sigma_{z5} \dots\dots\dots (60)$$

体现为拉应力。

但考虑到对于常见的裙座式支承料仓,大部分仓筒在支承之上,而且一般要遵循愈向下壁厚愈厚的原则,故对大多数料仓都应按式(59)考虑。

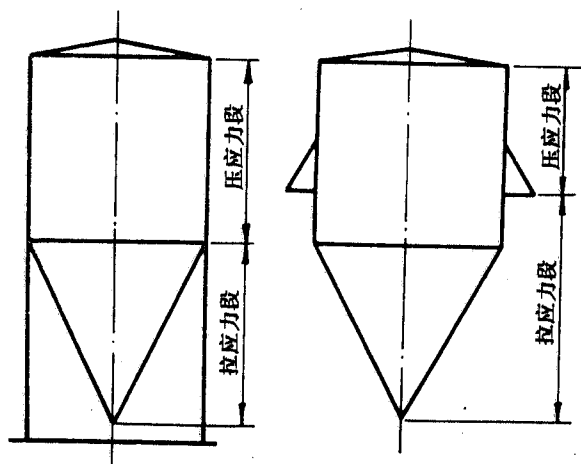


图 4

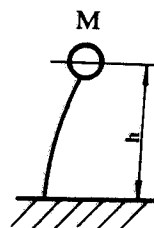


图 5

7. 由于料仓主要受控条件为刚度方面的压力失稳,所以,对仓筒壁进行压力考核是必要的,也就是说,对图 4 中的压应力须进行压曲评定。压曲评定的轴向许用压缩应力,仍沿用 GB150—89 中的规定,即本标准 3.6.4 条所示。

8. 料仓的地震载荷与塔器有所不同,对较低,较小的料仓,一般 H/D 值很低,可按图 5 所示单质点振型考虑:

但是关键的大型料仓不同高度段的仓壁厚度并不相同,最上层与最小层甚至相差十分悬殊,通过实际计算证明,不宜按图 5 的简化模型考虑,所以仍采用 JB4710—92 的计算方法(包括自振周期的计算)。

9. 对于风载计算,JIS B8511—1987《铝制圆筒形料仓结构》中推荐了一个计算公式:

$$F_w = 420A \sqrt{h} \dots\dots\dots (61)$$

式中: F_w ——风载荷;

A——计算截面以上承受风压的投影面积;

h ——从地面到料仓顶部的高度。

并注明：“如果从地面到仓筒顶部的高度超过 25m, 就按仓筒全部垂直投影面积上承受 2.1KN/m^2 的风压来考虑。”

显然, 这是一个简化计算公式。为与有关国内标准衔接, 本标准仍采用 JB4710—90《钢制塔式容器》中规定的计算方法, 并将全国基本风压分布图做为附录 B 列入标准。不过式(59)介绍的方法仍可作为参考, 因为他不需查找气象资料, 便于计算, 且对一些特殊地区仍然是可行的。

10. 对于锥底大端, 见图 6, 主要由 II—II 截面上的垂直压力产生在锥底与仓筒连接处的法向应力 P_n , 此力可以通过下式计算:

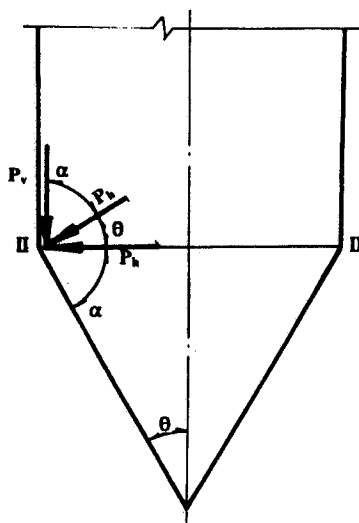


图 6

$$P_n = P_v \sin^2 \alpha + P_h \cos^2 \theta \dots\dots\dots (62)$$

同时式(62)还可写为:

$$P_n = P_v (k \cos^2 \theta + \sin^2 \theta) \dots\dots\dots (63)$$

11. 对于锥底任一计算截面所受各力的分析(图 7):

JIS B 8511—1978 对此进行了以下推导:

在计算截面 I—I 处, 取高为 dh 的一微元体积 $dv = A \cdot dh = \frac{\pi}{4} D^2 dh$ 。然后考虑这一微元体积的静力平衡。

首先, I—I 面上要承受上面物料造成的垂直压力 P_v , II—II 面上则承受压力 $P_v + dP_v$ 。

其次是本微元体积的物料重量: $dw = dv \gamma$ 。

另外, 由于物料与锥体壁之间, 存在摩擦力, 而此力又和 P_v 成比例, 故可将沿壁面的力写为 $C' P_v$ 。这样可对此微元体积列出静力平衡方程式:

$$AP_v + Adh\gamma = A(P_v + dP_v) + UC' P_v / \cos \theta \dots\dots\dots (64)$$

式中: A ——微元面积;

U ——周边长度。

简化后得:

$$A\gamma dh = AdP_v + UC'P_v dh / \cos\theta \dots\dots\dots (65)$$

于是:

$$dP_v + \frac{U}{A}C'P_v db / \cos\theta = r dh \dots\dots\dots (66)$$

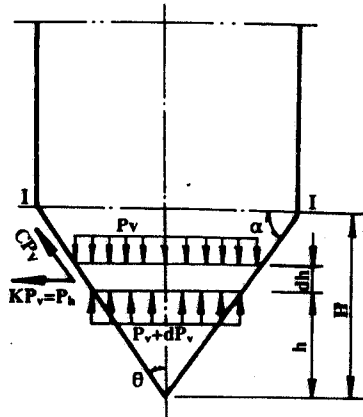


图 7

由于 $U = \pi D_i$, $A = \frac{\pi}{4} D_i^2$, 所以 $\frac{U}{A} = \frac{\pi}{4} D_i^2$, 令 $\frac{U}{A}C' = C''$, 且以 dh 遍除式(64)之各项, 则得:

$$\frac{dP_v}{dh} + C''P_v / \cos\theta = \gamma \dots\dots\dots (67)$$

这也是一个典型的常系数线性微分方程, 解方程后并考虑到如图 7 所示, 当 $h=H$ 时, $P_v=0$, 故其特解为:

$$P_v = \frac{\cos\theta\gamma}{C''} [1 - e^{-\frac{C''}{\cos\theta}h}] \dots\dots\dots (68)$$

最后, 导出:

$$P_h = Ph \cdot \sin^2\alpha + P_v \cos^2\theta \dots\dots\dots (69)$$

在上述推导过程中, 我们认为物理和力学概念不够明确, C' 本身的涵义不清, 由此 C'' 也难以确定其物理力学概念, 因此具体数据也不好确定。另外, 在考虑边界条件时(图 7), 是由料仓锥底尖端向上考虑的, 即在锥底大端 $P_v=0$, 这显然并非正常现象, 因为正常工作的料仓是不会装这样少的料的。德国标准 DIN1055 第 6 部分已经指出: 在物料只装到锥体大端时的应力分布与正常装料是有很不同的, 而且分布规律刚好相反。

为此, 我们采取了另外的分析方法: 首先认为 P_r 是由 P_h 即法向力形成的, 即 $P_r = P_h \mu$ 。

另外, 由图 8, 有 $P_h = P_v \cos\theta$, 而 $P_h = k P_v$, 最后有:

$$P_r = \mu k P_v \cos\alpha \dots\dots\dots (70)$$

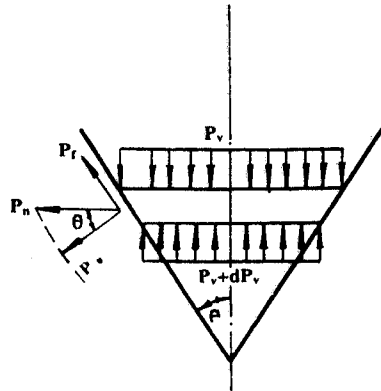


图 8

列出微元体的静力平衡方程:

$AP_v + dh\gamma A = A(P_v + dP_v) + \pi(Di/\cos\theta)k\mu P_v dh$ 整理后得(因 $A = \frac{\pi}{4}Di^2$):

$$dP_v + \frac{4dh}{Di\cos\theta}k\mu P_v = dh\gamma$$

解上述微分方程,最后并以边界条件

当 $h=H$ (全物料高)时

$$P_v = 0$$

代入后得:

$$P_v = \frac{Di\gamma}{4\mu k \cos\theta} [1 - e^{-\frac{4\mu k \cos\theta}{Di}h}] \quad (71)$$

此式力学概念比较明确,没有模糊不清的系数(μ = 物料与锥体表面的摩擦系数; k 为侧压系数,

$$k = \frac{1 - \sin\Phi}{1 + \sin\Phi}).$$

计算出 P_v , 就有:

$$P_h = kP_v \quad (72)$$

然后计算出

$$P_n = P_h \sin^2\alpha + P_v \cos^2\alpha \quad (73)$$

或

$$P_n = P_v \sin^2\theta + P_h \cos^2\theta \quad (74)$$

式中, θ 为锥顶半角, α 为它的余角, 见图 8。

德国标准 DIN1055 第 6 部分, 指出锥底中任一计算截面上的最大法向力可按下式计算(图 9)。

$$P_{no} = (P_v \cdot C_b \cdot \cos^2\alpha + P_h \sin^2\alpha) (1 + \frac{\sin^2\alpha}{4\mu}) \quad (75)$$

最小法向力

$$P_{nu} = P_v C_b \cos\alpha \quad (76)$$

$$P_w = P_h / 2 \quad (77)$$

(以上均参看图 9)

式中: P_{no} ——法向力之最大值;

P_{nu} ——法向力之最小值;

C_b ——系数=1.5~1.8;

P_n ——法向力;

P_w ——沿锥体壁面方向之力(即摩擦力);

μ ——物料与锥体表面之摩擦系数。

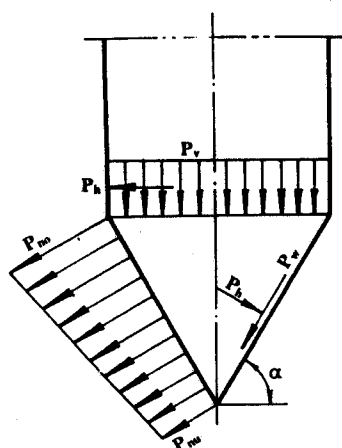


图 9

以上公式可供参考。

12. 环形支座是中、大型料仓常用的支承形式,其计算方法,特别是上、下刚性环的计算有两种方法,即化工设计标准 CD130A1.3—84《钢制化工容器设计技术规定,计算》和美国 HENRY, B. BEDNAR 著的《Pressure Vessel Design Hand Book》。后者介绍的方法具有简洁之特点,并给出了计算系数,所以本标准选用了这种方法。

另外,《pressure Vessel Design Hand Book》一书中,还给出了计算各载荷中点处(即固定螺栓间)弯矩的公式(图 10):

$$T_2 = (RP/2)[1/\sin\alpha - (1/\alpha)] = k_3 PR_0 \dots\dots\dots (78)$$

和轴向推力的公式:

$$T_2 = (P/2)(1/\sin\alpha) = k_4 P \dots\dots\dots (79)$$

K_3 与 K_4 之值见表 1。

最大组合应力为:

$$\sigma_2 = (T_2/A) + (M_2/Z_{x-x}) < [\sigma] \dots\dots\dots (80)$$

这里的式(80)与标准里的相应公式从理论上讲应当同时得到满足,也就是都小于材料的许用应力 $[\sigma]$,才认为支承安全。

表1 K_3, K_4 值

支承数	K_3	K_4
2	0.182	0.500
3	0.100	0.577
4	0.070	0.707
6	0.045	1.000
8	0.034	1.306

以上公式可以作为设计工作的参考。

式(80)中的符号具有下述意义:

A ——刚性环横截面积;

Z_{x-x} ——刚性环横截面和对 $x-x$ 轴的截面模数(图 10)。

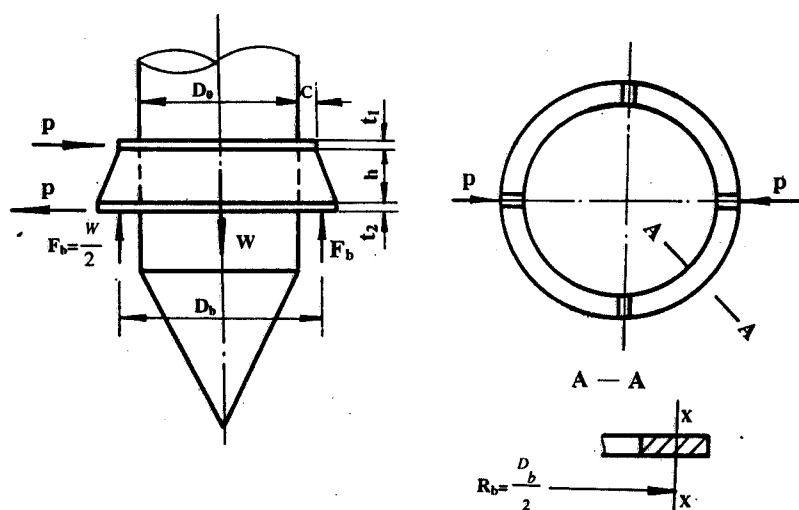


图 10

13. DIN 1055 第 6 部分 还提出了排放时料仓内压力的计算方法,在仓内物料面呈水平面的情况下,认为在卸料时摩擦力、水平压力和垂直压力都会发生相应的变化,其具体计算公式如下:

物料与仓壁间的摩擦力, $P_h = 1.1 P_t$ (81)

水平压力: $P_h = e_h \cdot P_t$ (82)

垂直压力: $P_w < P_v$ (83)

式中: e_h ——系数,其数值在 1.2—1.6 之间,几种典型物料之 e_h 见表 2。

表2 典型物料的 c_h 值

物料	密度 $K \text{ N/m}^3$	压力比 λ	物料与仓壁的摩擦系数			超压系数 c_h
			μ_1	μ_2	μ_3	
小麦	9.0	0.60	0.60	0.40	0.25	1.4
玉米	8.0	0.60	0.60	0.40	0.25	1.6
大麦	8.0	0.65	0.50	0.35	0.25	1.4
面粉	7.0	0.40	0.50	0.35	0.25	1.4
糖	9.5	0.60	0.55	0.50	0.45	1.2
砂	16.0	0.50	0.60	0.50	0.40	1.4
自然堆放的粗粒物料	18.0	0.60	0.60	0.50	0.40	1.3
	13.0	0.65	0.55	0.50	0.40	1.2
水泥渣	18.0	0.50	0.60	0.55	0.45	1.2
水泥	16.0	0.65	0.50	0.45	0.40	1.2
铝粉	12.0	0.65	0.50	0.45	0.40	1.2

注： μ_1 ——物料与粗糙壁面间的摩擦系数；

μ_2 ——物料与中等光洁度的壁面间的摩擦系数；

μ_3 ——物料与光滑壁面（如碳钢，不锈钢、塑料、铝板）间的摩擦系数。

上述各项压力都是动态压力，仅在快速卸料时才短时发生，所以，一般不予考虑。如果要考虑时，由此引起的应力只要不超过 $0.9\sigma_s$ 即视为安全。

14. 料仓顶上一般多装有旋分过滤器、袋式滤尘器等设备，体积较大，重量较重，所以，一般大型仓顶都设有加强筋，加强筋多用型钢制成，为此本标准参照 JIS B 8511《铝制圆筒形料仓的结构》中介绍的方法，并进行了必要的补充和修改。

15. 料仓加强圈结构，特别对于可能产生负压的大型料仓实属必要，故此本标准列入此项计算。

16. 以上讨论的均系料仓的静压计算，实际上，在物料流动时（指装料或排料），物料对料仓壁将产生压力，使部分应力升高。故外国标准近年来已考虑了这种情况，如日本 JIS B 8511—87 等。其方法是在静压计算中，在计算应力值上乘一个动力影响系数，我们考虑到在这方面尚无经验，且以往的各种料仓均按静力设计，而且对大型料仓而言，由于物料流动速度相对缓慢，按现设计方法还是安全的，所以本标准仍按静力设计编制。

参 考 文 献

1. JIS B 8511《铝制圆筒形料仓的结构》(1983、1987)。
2. DIN—1055 第6部分(结构的设计载荷)。
3. HENRY, H. BEDNAR, Pressure, Vessel Desigh Handbook 1981。
4. JB 4710—92《钢制塔式容器》(1992年发布)。
5. CD130A2—84《钢制化工容器设计技术规定》，中国环球化学工程公司出版。
6. GB150—89《钢制压力容器》。

7. 德国 W. 瑞斯涅尔等著(料仓)。

七、制(建)造、检验与验收

标准中第 15 章“制造、检验与验收”系按各类容器(包括:圆筒形容器、圆筒形立式储罐、矩形容器、圆筒形料仓)的特点分节编写的。其中的总则部分计入了四类容器共同要求。

1. 本章中的第 2 节(第 15.2 条)是在原三部(第一机械工业部、石油部、化工部)标准 JB2880—81《钢制焊接常压容器技术条件》的基础上,参照了 GB150—89《钢制压力容器》第 10 章的有关内容进行了调研、协调、讨论订立的条文。也参考了日本 JIS B 8270—93《压力容器基础标准》第 3 种容器的有关规定,只是日本标准对小于 1MPa 的容器在要求上比之我们的标准要低,如无损检测只要求进行目视检查即可。此点我们不敢采用。

2. 本章第 3 节(第 15.3 条)圆筒形立式储罐移植了中石化总公司行业标准 SH3046—92《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》,只是按照容积在 10000 米³ 以下的中、小型储罐的特点作了局部的修改。SH3046—92 是在数十年设计、施工及操作使用的经验基础上制订的,已有成功的使用经验。编制过程中也参考了美国 API 620《大型常(低)压储罐》、API 650《大型储油罐》,以及 GBJ128—90《立式圆筒形钢制焊接油罐施工及验收规范》等标准。

3. 本章第 4 节(第 15.4 条)圆筒形料仓以往都是参照储油罐的标准进行制造的。编制中结合了料仓的特点作了研究进行了修改。

固体料仓在设计计算上与直立塔器的受载状态类同;在结构要求方面一要设计好泄料锥底的尺寸,二是注意表面光洁度,有些重要的不锈钢料仓还需抛光。大型料仓主体的下料与油罐要求类同,而主体部件的尺寸偏差按形状与圆筒形容器一致。本标准依照上述的特点均给出了具体的要求。

4. 本章对矩形容器的技术条件未作规定,因此类容器都是直通大气,且仅承受液柱静压头。过去均在设计图样上按具体使用情况确定一些制造、检验与验收要求,故可参照圆筒形容器在焊接方面、型状尺寸作些规定即可。在检验上只要求目视检测及充水试漏就足够了。

附录 I 外压圆筒、外压凸形封头厚度数据表

1 说明

1.1 本附录给出的封头厚度数据,适用于:

- (1)长轴与短轴的长度比为 2 比 1 的椭圆形封头;
- (2) $R_i=0.9D_i$ $r=0.17D_i$ 的碟形封头。

1.2 符号说明

C_1 —厚度负偏差,按相应钢材标准规定选取,mm;

C —厚度裕量 $C_2=\delta_n-(\delta_c+C_1)$,mm;

D_i —圆筒内直径,mm;

R_i —碟形封头球面部分内半径,mm;

r —碟形封头过渡段转角内半径,mm;

d_c —圆筒或封头的计算厚度,mm;

δ_n —圆筒或封头的公称厚度,mm。

2 数据表

表 1. 外压(设计压力 0.02MPa) $\delta_s > 207\text{MPa}$ 碳素钢圆筒厚度数据表;

表 2. 外压(设计压力 0.02MPa) 0Cr18Ni9 圆筒厚度数据表;

表 3. 外压(设计压力 0.02MPa)封头厚度数据表。

表1 外压(设计压力 0.02MPa) $\alpha_s > 207\text{MPa}$ 碳素钢圆筒厚度数据表 mm

DN	L/D																											
	1			1.5			2			3			4			5												
	δn	δc	C	δn	δc	C	δn	δc	C	δn	δc	C	δn	δc	C	δn	δc	C										
400	3	0.7		3	0.8		3	1.0		3	1.2		3	1.2		3	1.4											
500		0.9			1.0			1.2			1.4			1.5			1.7											
600		1.0			1.2			1.4			1.6			1.8			2.0											
700		1.2			1.4			1.6			1.9			2.1			2.3											
800		1.4			1.6			1.9			2.2			2.4			2.7											
900		1.6			1.8			2.1			2.4			2.7														
1000		1.7			2.0			2.3			2.7																	
1100		1.9			2.2			2.5																				
1200		2.1			2.4			2.8			0.9			4			3.0		0.5	4	3.2	0.5	4	3.3	0.4	4	3.3	0.3
1300		2.2			2.6			3.0			0.7			4			3.0		0.7	4	3.2	0.5	4	3.6	0.1	5	4.0	0.5
1400	2.4	4	2.8	0.9	5	3.2	0.5	5	3.8	0.7	5	4.2	0.3	6	4.6	0.8												
1500	2.6		3.0	0.7		3.4	0.3		4.0	0.5		4.5	0.0		5.0	0.4												
1600	2.7		0.8	3.2		0.5	3.7		0.8	4.3		0.2	4.8		0.6	5.3	0.1											
1700	2.9		0.6	3.4		0.3	3.9		0.6	4.6		0.8	5.1		0.3	5.6	1.6											
1800	3.1		0.4	3.6		0.1	4.1		0.4	4.8		0.6	5.4		0.0	5.9	1.3											
1900	3.2		0.2	3.8		0.7	4.4		0.1	5.1		0.3	5.7		1.5	6.3	0.9											
2000	3.4		0.0	4.0		0.5	4.6		0.8	5.4		0.0	6.0		1.2	6.6	0.6											
2100	5		3.6	0.8		5	4.2		0.3	6		4.8	0.6		6	5.6	1.6	8	6.3	0.9								
2200			3.7	0.6			4.4		0.1			5.0	0.4			5.9	1.3		6.6	0.6	7.2	0.0						
2300			3.9	0.4			4.6		0.9			5.3	0.1			6.2	1.0		6.9	0.3	7.6	1.6						
2400		4.1	0.2	4.8	0.6		5.5	1.9	6.4		0.8	7.2	0.0	7.9		1.3												
2500		4.2	0.0	5.0	0.4		5.7	1.5	6.7		0.5	7.5	1.7	8.2		1.0												
2600		4.4	0.8	5.2	0.2		5.9	1.3	7.0		0.2	7.8	1.4	8.6		0.6												
2700		4.6	0.6	5.4	0.0		6.2	1.0	7.2		0.0	8.1	1.1	8.9		0.3												
2800		4.7	0.4	6	5.6		1.6	8	6.4		0.8	10	7.5	1.7		10	9.2		0.0									
2900		4.9	0.2		5.8		1.4		6.6		0.6		7.8	1.4			8.7		0.5	9.5	1.7							
3000		5.1	0.0		6.0		1.2		6.9		0.1		8.0	1.2			9.0		0.2	9.9	1.3							
3200	6	5.4	0.8		8	6.4	0.8		10	7.3	1.9		12	8.6	0.6		12	10.5	0.7									
3400		5.7	1.2			6.6	0.4			7.8	1.4			9.1	0.1			10.2	10.0	11.2	0.0							
3600		6.1	0.8			7.2	0.0			8.2	1.0			9.7	1.5			10.8	0.4	11.8	1.4							
3800		6.4	0.4			10	7.5			1.7	12			8.7	0.5			14	10.2	1.0	14	12.5	0.7					
4000		6.7	0.0				7.9			1.3				9.1	0.1				10.7	0.5		12.0	1.2	13.1	0.1			

表 2 外压(设计压力 0.02MPa) $\sigma_s > 207\text{MPa}$ 碳素钢圆筒厚度数据表 mm

DN	L/D																	
	1			1.5			2			3			4			5		
	δ_n	δ_c	C	δ_n	δ_c	C	δ_n	δ_c	C	δ_n	δ_c	C	δ_n	δ_c	C	δ_n	δ_c	C
400	2	0.7		2	0.9		2	0.3		2	1.1		2	1.3		2	1.4	
500		0.9			1.1			1.2			1.4			1.6			1.7	
600		1.1			1.3			1.4			1.7			1.9	0.4		2.5	2.1
700		1.3			1.5			1.6			1.9			2.2	0.1		3	2.4
800		1.4		2.5	1.7		2.5	1.9	0.4	2.5	2.2	0.1	3	2.5	0.2	4	2.8	0.9
900		1.6			1.9			2.1	0.2		2.5	0.3		2.8	0.9		3.1	0.6
1000		1.8			2.1	0.2		2.3	0.0		2.7	0.0		3.1	0.6		3.4	0.3
1100		1.9			2.3	0.0		2.6	0.1		3.0	0.7		3.4	0.3		4.5	3.8
1200	2.5	2.1	0.2	3	2.5	1.2	4	2.8	0.9	4	3.3	0.4	5	3.7	0.0	5	4.1	0.4
1300		2.3	0.0		2.7	1.0		3.0	0.7		3.5	0.2		4.1	0.4		4.5	0.0
1400	3	2.5	0.2	4	2.9	0.8		3.2	0.5	4.5	3.8	0.4		4.3	0.2		4.8	0.7
1500		2.6	0.1		3.1	0.6		3.5	0.2		4.1	0.1		4.7	0.7		5.1	0.4
1600	4	2.8	1.1		3.3	0.4		3.7	0.0	5	4.3	0.2	6	5.0	0.4	7	5.5	0.9
1700		3.0	0.7		3.5	0.2		3.9	0.1		4.6	0.8		5.3	0.1		5.8	0.6
1800		3.2	0.5		3.7	0.0	5	4.1	0.4		4.9	0.5		5.6	0.8		6.1	0.3
1900		3.3	0.4		4.5	3.9		4.4	0.1		5.1	0.3		5.9	0.5		6.5	0.7
2000		3.5	0.2	5	4.1	0.4		4.6	0.9		5.4	0.0	7	6.2	0.2	8	6.8	0.4
2100		3.7	0.0		4.3	0.2		4.8	0.7		5.7	0.7		6.5	0.7		7.2	0.0
2200	4.5	3.8	0.2		4.5	0.0	6	5.1	0.4	7	5.9	0.5		6.8	0.4		7.5	0.7
2300		4.0	0.0		4.7	1.7		5.3	0.2		6.2	0.2		7.1	0.1	9	7.8	0.4
2400	5	4.2	0.3	6	4.9	1.5		5.5	0.0	8	6.5	0.9	9	7.4	0.8		8.2	0.0
2500		4.4	0.1		5.1	1.3		5.7	0.7		6.7	0.7		7.8	0.4		8.5	0.7
2600		4.5	0.0		5.3	1.1	7	6.0	0.4		7.0	0.4		8.1	0.1	10	8.8	0.3
2700	6	4.7	0.7		5.5	0.9		6.2	0.2		7.3	0.9	10	8.4	0.8		9.2	0.0
2800		4.9	0.5	7	5.7	0.7		6.4	0.8	9	7.5	0.7		8.7	0.5		9.5	0.7
2900		5.1	0.3		5.9	0.5	8	6.7	0.5		7.8	0.4		9.0	0.2	11	9.9	0.3
3000		5.2	0.2		6.1	0.3		6.9	0.3		8.1	0.1		9.3	0.9		10.2	0.0
3200	7	5.6	0.8	8	6.5	0.7		7.3	0.9	10	8.6	0.6	11	9.9	0.3	12	10.9	0.3
3400		5.9	0.5		6.9	0.3	9	7.8	0.4		9.2	0.0		10.5	0.9		11.6	0.4
3600		6.3	0.1		7.4	0.8		8.2	0.0		9.7	0.5		11.1	0.1		12.2	0.0
3800	8	6.6	0.6		7.8	0.4	10	8.7	0.5	11	10.2	0.0	13	11.8	0.4	14	12.9	0.3
4000		7.0	0.2		8.2	0.0		9.2	0.0		10.8	0.4		12.4	0.8		13.6	0.6

表 3 外压(设计压力 0.02MPa)封头厚度数据表

DN	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
$\delta_{\min}$	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.9

碳钢($\sigma_s > 207\text{MPa}$)封头

δ_n	2								2.5			3				4
δ_c	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
C									0.4	0.2	0.0	0.4	0.3	0.1	0.0	0.8

0Cr18Ni9 钢封头

δ_n	2								2.5			3				4
δ_c	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
C									0.4	0.2	0.0	0.4	0.3	0.1	0.0	0.8
Dg	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3200	3400	3600	3800	4000
$\delta_{\min}$	3.0	3.2	3.3	3.5	3.6	3.8	3.9	4.1	4.2	4.4	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7	6.0

碳钢($\sigma_s > 207\text{MPa}$)封头

δ_n	4					4.5		5				6			8	
δ_c	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
C	0.7	0.5	0.4	0.2	0.1	0.2	0.1	0.4	0.3	0.1	0.0	0.6	0.3	0.0	1.5	1.2

0Cr18Ni9 钢封头

δ_n	4					4.5		5				6			7	
δ_c	2.0	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2
C	0.7	0.5	0.4	0.2	0.1	0.2	0.1	0.4	0.3	0.1	0.0	0.6	0.3	0.0	0.5	0.2

附录 I 圆筒形料仓计算例题

例题:

内径 $\Phi 5500\text{mm}$, 仓体高(包括锥体) 22020mm , 直筒高 17500mm 的聚丙烯切片料仓其校核条件如下:

设计压力: 0.005MPa

设计温度: 60°C

物 料: 聚丙烯切片

全 容 积: 459M^3

气压试验: 0.0065MPa

基本风压: 450N/m^2

地震烈度: 8

材 料: $0\text{Cr}18\text{Ni}9$

直段最大装料高: $90\%(15750\text{mm})$

1~2 间壁厚: 14mm

2~3 间壁厚 12mm

3~4 间壁厚: 10mm

4~5 间壁厚: 8mm

5~6 间壁厚: 7mm

6 以上间壁厚: 6mm

1. 物性参数(查表 14—1)

物料堆积比重 $\gamma = 7\text{KN/m}^3$

物料与仓壁间之摩擦角 $\psi = 20^\circ$

物料与仓壁间之摩擦系数 $\mu = \text{tg}\psi = 0.36$

物料内摩擦系数 $\mu = 0.78$

物料内摩擦角 $\Phi = \text{tg}^{-1}0.78 = 38^\circ$

2. 仓壁许用应力

$$[\sigma]' = 126\text{MPa}$$

3. 仓筒校核

(1) 计算 1—1、2—2 等计算截面上的垂直压力 P .

a. 物料最大堆积高度 H 按:

$$90\% \times 17500 = 15750\text{mm}$$

b. 各计算截面上的物料堆积高度分别为:

$$h_{1-1} = 15750\text{mm}$$

$$h_{2-2} = 14250\text{mm}$$

$$h_{3-3} = 12750\text{mm}$$

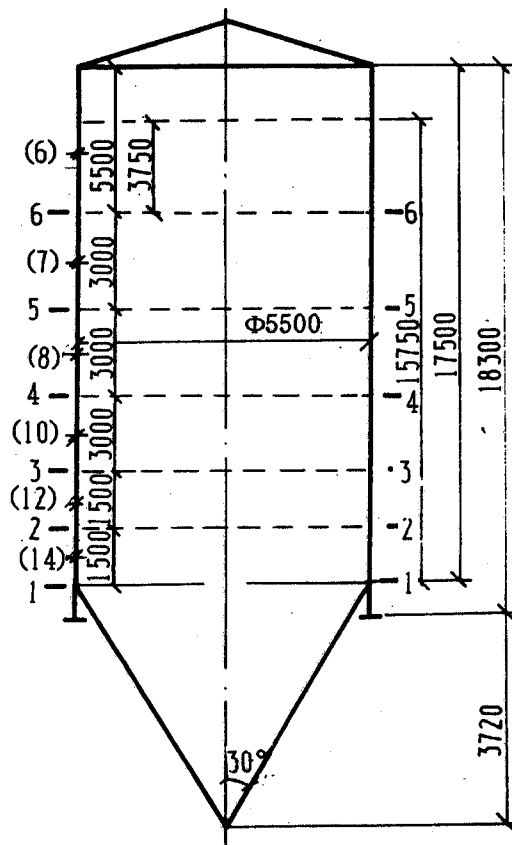


图 I1

$$h_{4-4}=9750\text{mm}$$

$$h_{5-5}=6750\text{mm}$$

$$h_{6-6}=3750\text{mm}$$

c. 计算侧压系数 k

$$k = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - \sin 37^\circ}{1 + \sin 37^\circ} = \frac{0.398}{1.6} = 0.248$$

d. 计算: $\frac{D_i}{4\mu k}$

$$\frac{D_i}{4\mu k} = \frac{7 \times 5500}{4 \times 0.36 \times 0.248} = 107807$$

e. 计算各计算截面上的 $\frac{4\mu k h}{D_i}$

$$\frac{4\mu k h_{1-1}}{D_i} = \frac{4 \times 0.36 \times 0.248 \times 15750}{5500} = 1.02$$

$$\frac{4\mu k h_{2-2}}{D_i} = \frac{4 \times 0.36 \times 0.248 \times 14250}{5500} = 0.925$$

$$\frac{4\mu k h_{3-3}}{D_i} = \frac{4 \times 0.36 \times 0.248 \times 12750}{5500} = 0.828$$

$$\frac{4\mu k h_{4-4}}{D_i} = \frac{4 \times 0.36 \times 0.248 \times 9750}{5500} = 0.633$$

$$\frac{4\mu k h_{5-5}}{D_i} = \frac{4 \times 0.36 \times 0.248 \times 6750}{5500} = 0.438$$

$$\frac{4\mu k h_{6-6}}{D_i} = \frac{4 \times 0.36 \times 0.248 \times 3750}{5500} = 0.243$$

f. 计算各计算截面上由物料产生的垂直压力 P_v

$$P_v^{1-1} = \frac{\gamma D_i}{4\mu k} (1 - \exp \frac{4\mu k h_{1-1}}{D_i}) \times 10^{-3}$$

$$P_v^{1-1} = 107807(1 - e^{-1.02}) \times 10^{-6} = 0.069MPa$$

$$P_v^{2-2} = 107807(1 - e^{-0.925}) \times 10^{-6} = 0.065MPa$$

$$P_v^{3-3} = 107807(1 - e^{-0.828}) \times 10^{-6} = 0.060MPa$$

$$P_v^{4-4} = 107807(1 - e^{-0.633}) \times 10^{-6} = 0.050MPa$$

$$P_v^{5-5} = 107807(1 - e^{-0.438}) \times 10^{-6} = 0.038MPa$$

$$P_v^{6-6} = 107807(1 - e^{-0.243}) \times 10^{-6} = 0.023MPa$$

(2)计算不同计算截面处的水平压力 P_h

$$P_h^{1-1} = P_v^{1-1}k = 0.069 \times 0.248 = 0.017MPa$$

$$P_h^{2-2} = P_v^{2-2}k = 0.065 \times 0.248 = 0.016MPa$$

$$P_h^{3-3} = P_v^{3-3}k = 0.060 \times 0.248 = 0.014MPa$$

$$P_h^{4-4} = P_v^{4-4}k = 0.050 \times 0.248 = 0.012MPa$$

$$P_h^{5-5} = P_v^{5-5}k = 0.038 \times 0.248 = 0.0094MPa$$

$$P_h^{6-6} = P_v^{6-6}k = 0.023 \times 0.248 = 0.0057MPa$$

(3)计算不同计算截面上仓壁表面总摩擦力 ΣP_f^{i-1}

$$\Sigma P_f^{1-1} = \frac{\pi D_i^2}{4} (h_{1-1} \gamma 10^{-6} - P_v^{1-1}) = \frac{\pi \times 5500}{4} (15750 \times 7 \times 10^{-6} - 0.049) = 980032N$$

$$\Sigma P_f^{2-2} = \frac{\pi \times (5500)^2}{4} (14250 \times 7 \times 10^{-6} - 0.065) = 825602N$$

$$\Sigma P_f^{3-3} = \frac{\pi \times (5500)^2}{4} (12750 \times 7 \times 10^{-6} - 0.060) = 694931N$$

$$\Sigma P_f^{4-4} = \frac{\pi \times (5500)^2}{4} (9750 \times 7 \times 10^{-6} - 0.050) = 433589N$$

$$\Sigma P_f^{5-5} = \frac{\pi \times (5500)^2}{4} (6750 \times 7 \times 10^{-6} - 0.038) = 219764N$$

$$\Sigma P_f^{6-6} = \frac{\pi \times (5500)^2}{4} (3750 \times 7 \times 10^{-6} - 0.023) = 77215N$$

(4)计算仓筒不同截面上承受的摩擦压应力:

$$\delta_z^{1-1} = \frac{\Sigma P_f^{1-1}}{\pi D i \delta} = \frac{980032}{\pi \times 5500 \times 14} = 4.05MPa$$

$$\delta_z^{2-2} = \frac{825602}{\pi \times 5500 \times 12} = 3.98MPa$$

$$\delta_z^{3-3} = \frac{694931}{\pi \times 5500 \times 10} = 4.02MPa$$

$$\delta_z^{4-4} = \frac{433589}{\pi \times 5500 \times 8} = 3.14MPa$$

$$\delta_z^{5-5} = \frac{219764}{\pi \times 5500 \times 7} = 1.82MPa$$

$$\delta_z^{6-6} = \frac{77215}{\pi \times 5500 \times 6} = 0.75MPa$$

(5)计算料仓自振周期

采用当量厚度,按等直径、等厚度计算自振周期

a. 当量厚度 δ_e

$$\delta_e = \frac{6 \times 5.482 + 7 \times 3 + 8 \times 3 + 10 \times 3 + 12 \times 1.5 + 14 \times 1.5}{17.5} = 8.4 \text{ mm}$$

b. 质量计算

仓体和裙座质量:

$$\text{仓筒 } m_{o1}' = \pi \times 5.5 \times 0.0084 \times 17.5 \times 8000 = 20319 \text{ kg}$$

$$\text{锥底 } m_{o1}'' = \pi \times 2.75 \times \sqrt{2.75^2 + 3.72^2} \times 0.014 \times 8000 = 4476 \text{ kg}$$

$$\text{顶盖 } m_{o1}''' = 2 \times \pi \times 2.75^2 \times 0.006 \times 8000 = 2280 \text{ kg}$$

$$m_{o1} = m_{o1}' + m_{o1}'' + m_{o1}'''$$

$$= 20319 + 4476 + 2280 = 27075 \text{ kg}$$

内件质量:

$$\text{取 } m_{o2} = 2000 \text{ kg}$$

料仓内物料质量:

$$\text{仓筒内 } m_{o5}' = \pi \times (2.75)^2 \times 17.5 \times 0.9 \times 700 = 261935 \text{ kg}$$

$$\text{锥底内 } m_{o5}'' = \frac{1}{3} \pi \times (2.75)^2 \times 3.72 \times 700 = 20622 \text{ kg}$$

$$m_{o5} = m_{o5}' + m_{o5}''$$

$$= 261935 + 20622 = 282557 \text{ kg}$$

人孔、接管、法兰等附件质量:

$$\text{取 } m_a = 1000 \text{ kg}$$

料仓的操作质量

$$m_o = m_{o1} + m_{o2} + m_{o5} + m_a$$

$$= 27075 + 2000 + 282557 + 1000 = 312632 \text{ kg}$$

c. 计算自振周期

$$T_1 = 90.33H \sqrt{\frac{m_o H}{E \delta_e D_i^3}} \times 10^{-3}$$

$$= 90.33 \times 18300 \sqrt{\frac{312632 \times 18300}{2.1 \times 10^5 \times 8.4 \times (5500)^3}} \times 10^{-3} = 0.23 \text{ s}$$

(6) 计算水平地震力

a. 计算各段集中载荷:

$$m_i = \pi D_i \times \delta \times h_i \times \rho_{\text{壁}} + \pi R^2 \times h_i \times \gamma$$

$$m_1 = \pi \times 5.5 \times 1.5 \times 0.014 \times 8000 + \pi \times 2.75^2 \times 1.5 \times 700 = 27849 \text{ kg}$$

$$m_2 = \pi \times 5.5 \times 1.5 \times 0.012 \times 8000 + \pi \times 2.75^2 \times 1.5 \times 700 = 27434 \text{kg}$$

$$m_3 = \pi \times 5.5 \times 3 \times 0.010 \times 8000 + \pi \times 2.75^2 \times 3 \times 700 = 54039 \text{kg}$$

$$m_4 = \pi \times 5.5 \times 3 \times 0.008 \times 8000 + \pi \times 2.75^2 \times 3 \times 700 = 53210 \text{kg}$$

$$m_5 = \pi \times 5.5 \times 3 \times 0.007 \times 8000 + \pi \times 2.75^2 \times 3 \times 700 = 52795 \text{kg}$$

$$m_6 = \pi \times 5.5 \times 5.48 \times 0.006 \times 8000 + \pi \times 2.75^2 \times 3.75 \times 700 = 67158 \text{kg}$$

b. 计算水平地震力

$$F_{k1} = C_x \alpha_1 \eta_{k1} m_k g$$

$$C_x = 0.5$$

$$\alpha = \left(\frac{Tg}{T} \right)^{0.9} \alpha_{max}$$

$$\alpha_{max} \text{ 对 8 级地震烈度} = 0.45$$

$$Tg = 0.4$$

$$\alpha = \left(\frac{0.4}{0.198} \right)^{0.9} \times 0.45 = 0.85$$

$$\eta_{ki} = \frac{h_k^{1.5} \sum_{i=1}^n m_i h_i^{1.5}}{\sum_{i=1}^n m_i h_i^3}$$

$$\eta_{k1} = \frac{750^{1.5}(20721 \times 750^{1.5} + 20306 \times 2250^{1.5} + 37784 \times 4500^{1.5} + 35969 \times 7500^{1.5} + 38540 \times 10500^{1.5} + 1909 \times 13875^{1.5})}{20721 \times 750^3 + 20306 \times 2250^3 + 37784 \times 4500^3 + 35969 \times 7500^3 + 38540 \times 10500^3 + 49091 \times 13875^3}$$

$$= \frac{750^{1.5} \times 1.5864 \times 10^{11}}{1.9460203 \times 10^{17}}$$

$$= \frac{750^{1.5} \times 1.5864}{1.9460203 \times 10^6} = 0.016$$

$$\eta_{k2} = \frac{2250^{1.5} \times 1.5864}{1.9460203 \times 10^6} = 0.087$$

$$\eta_{k3} = \frac{4500^{1.5} \times 1.5864}{1.9460203 \times 10^6} = 0.246$$

$$\eta_{k4} = \frac{7500^{1.5} \times 1.5864}{1.9460203 \times 10^6} = 0.529$$

$$\eta_{k5} = \frac{10500^{1.5} \times 1.5864}{1.9460203 \times 10^6} = 0.877$$

$$\eta_{k6} = \frac{13875^{1.5} \times 1.5864}{1.9460203 \times 10^6} = 1.33$$

$$F_{k1} = 0.5 \times 0.85 \times 0.016 \times 20721 \times 9.8 = 1380N$$

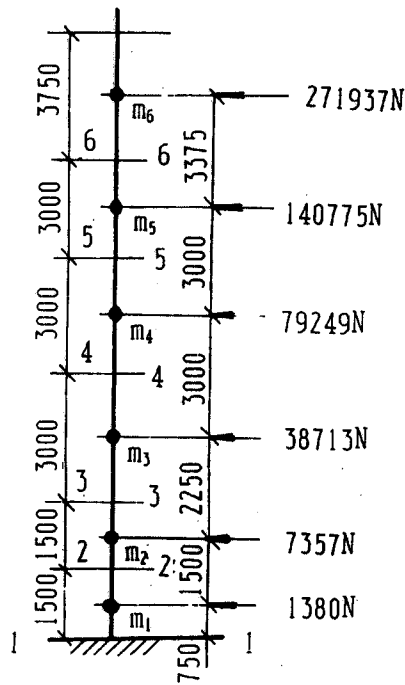
$$F_{k2} = 0.5 \times 0.85 \times 0.087 \times 20306 \times 9.8 = 7357N$$

$$F_{k3} = 0.5 \times 0.85 \times 0.246 \times 37784 \times 9.8 = 38713N$$

$$F_{k4} = 0.5 \times 0.85 \times 0.529 \times 35969 \times 9.8 = 79249N$$

$$F_{k5} = 0.5 \times 0.85 \times 0.877 \times 38540 \times 9.8 = 140775N$$

$$F_{k6} = 0.5 \times 0.85 \times 1.33 \times 49091 \times 9.8 = 271937N$$



(7) 计算地震弯矩

$$M_k^{1-1} = 1380 \times 750 + 7357 \times 2250 + 38713 \times 4500 + 79249 \times 7500 + 140775 \times 10500 + 271937 \times 13875 = 6037427625 N \cdot mm$$

$$M_k^{2-2} = 7357 \times 750 + 38713 \times 2250 + 79249 \times 6000 + 140775 \times 9000 + 271937 \times 10875 = 4792405875 N \cdot mm$$

$$M_k^{3-3} = 79249 \times 1500 + 140775 \times 4500 + 271937 \times 7875 = 2893864875 N \cdot mm$$

$$M_k^{4-4} = 140775 \times 1500 + 271937 \times 4875 = 1536855375 N \cdot mm$$

$$M_k^{5-5} = 271937 \times 1875 = 509881875 N \cdot mm$$

(8) 计算垂直地震力

$$F_v = \alpha_{vmax} \cdot m_{eq} \cdot g$$

$$\alpha_{vmax} = 0.65 \alpha_{max} = 0.65 \times 0.45 = 0.29$$

$$m_{eq} = 0.7 m_o$$

$$F_v^{1-1} = 0.29 \times 0.7 \times 231795 \times 9.8 = 461132 N$$

$$F_v^{i-1} = \frac{m_i h_i}{\sum_{k=1}^n m_k h_k} F_v^{1-1}$$

$$F_v^{2-2} = \frac{20306 \times 750 \times 461132}{20721 \times 750 + 7357 \times 2250 + 38713 \times 4500 + 79249 \times 7500 + 140775 \times 10500 + 271937 \times 13875}$$

$$= \frac{15229500}{6051933375} \times 461132 = 1160N$$

$$F_v^{3-3} = \frac{37784 \times 2250}{6051933375} \times 461132 = 6477N$$

$$F_v^{4-4} = \frac{35969 \times 4500}{6051933375} \times 461132 = 12333N$$

$$F_v^{5-5} = \frac{38540 \times 7500}{6051933375} \times 461132 = 22024N$$

$$F_v^{6-6} = \frac{49091 \times 10875}{6051933375} \times 461132 = 40678N$$

(9)计算风载荷

$$P_1 = k_1 k_{21} q_0 f_1 l_1 D_{e1} \times 10^{-6}$$

$$k_1 = 0.7$$

$$k_{21} = 1 + \frac{\xi \gamma_1 \Phi_{z1}}{f_1} \text{ (设为 B 类地区)}$$

$$q_1 T_1^2 = q_0 T_1^2$$

$$q_0 = 450N/m^2$$

$$T_1 = 0.198s$$

$$q_0 T_1^2 = 450 \times 0.198^2 = 17.64 \text{ (据此查表)}$$

$$\xi = 1.47 + \frac{(1.57 - 1.47)}{10} \times 7.64 = 1.55 \text{ (利用内插法)}$$

$$v_1 = 0.72 \quad v_2 = 0.72 \quad v_3 = 0.72 \quad v_4 = 0.79$$

$$v_5 = 0.79 \quad v_6 = 0.785 \quad \Phi_{z1} = 0.02 \quad \Phi_{z2} = 0.07$$

$$\Phi_{z3} = 0.15 \quad \Phi_{z4} = 0.24 \quad \Phi_{z5} = 0.48 \quad \Phi_{z6} = 0.73$$

$$k_{21} = 1 + \frac{1.73 \times 0.72 \times 0.02}{1.38} = 1.02 \quad \text{(距地 } 10m \text{)}$$

$$k_{22} = 1 + \frac{1.73 \times 0.72 \times 0.07}{1.52} = 1.052 \quad (\text{距地 } 15m)$$

$$k_{23} = 1 + \frac{1.73 \times 0.72 \times 0.15}{1.52} = 1.12 \quad (\text{距地 } 15m)$$

$$k_{24} = 1 + \frac{1.73 \times 0.79 \times 0.24}{1.63} = 1.24 \quad (\text{距地 } 20m)$$

$$k_{25} = 1 + \frac{1.73 \times 0.79 \times 0.48}{1.63} = 1.40 \quad (\text{距地 } 20m)$$

$$k_{26} = 1 + \frac{1.73 \times 0.85 \times 0.73}{1.80} = 1.6 \quad (\text{距地 } 30m)$$

$$f_1 = 1.38$$

$$f_2 = 1.52$$

$$f_3 = 1.52$$

$$f_4 = 1.63$$

$$f_5 = 1.63$$

$$f_6 = 1.80$$

$$l_1 = 1500mm$$

$$l_2 = 1500mm$$

$$l_3 = 3000mm$$

$$l_4 = 3000mm$$

$$l_5 = 3000mm$$

$$l_6 = 5500mm$$

$$P_1 = 0.7 \times 1.02 \times 450 \times 1.38 \times 1500 \times 5500 \times 10^{-6} = 3658N$$

$$P_2 = 0.7 \times 1.052 \times 450 \times 1.52 \times 1500 \times 5500 \times 10^{-6} = 4155N$$

$$P_3 = 0.7 \times 1.12 \times 450 \times 1.52 \times 3000 \times 5500 \times 10^{-6} = 8848N$$

$$P_4 = 0.7 \times 1.24 \times 450 \times 1.63 \times 3000 \times 5500 \times 10^{-6} = 10505N$$

$$P_5 = 0.7 \times 1.40 \times 450 \times 1.63 \times 3000 \times 5500 \times 10^{-6} = 11860N$$

$$P_6 = 0.7 \times 1.6 \times 450 \times 1.80 \times 5480 \times 5500 \times 10^{-6} = 27343N$$

(10) 计算风弯矩

$$M_w^{1-1} = 3658 \times 750 + 4175 \times 2250 + 8848 \times 4500 + 10505 \times 7500 + 11860 \times 10500 + 27343 \times 14471 =$$

$$658296413N \cdot mm$$

$$M_x^{2-2} = 4175 \times 750 + 8848 \times 3000 + 10505 \times 6000 + 11860 \times 9000 + 27343 \times 12375 = 537814875N \cdot mm$$

$$M_x^{3-3} = 8848 \times 1500 + 10505 \times 3000 + 11860 \times 6000 + 27343 \times 8741 = 354952163N \cdot mm$$

$$M_x^{4-4} = 10505 \times 1500 + 11860 \times 3000 + 27343 \times 5741 = 208313663N \cdot mm$$

$$M_x^{5-5} = 11860 \times 1500 + 27343 \times 4241 = 133751663N \cdot mm$$

$$M_x^{6-6} = 27343 \times 2471 = 74947163N \cdot mm$$

(11) 计算最大弯矩

$$M_{max} = M_x + 0.25M_w$$

$$M_{max}^{1-1} = 3639805875 + 0.25 \times 658296413 = 3804379978N \cdot mm$$

$$M_{max}^{2-2} = 2982835125 + 0.25 \times 537814875 = 3117288844N \cdot mm$$

$$M_{max}^{3-3} = 2419156875 + 0.25 \times 354952163 = 2507894916N \cdot mm$$

$$M_{max}^{4-4} = 1488826875 + 0.25 \times 208313663 = 1540905291N \cdot mm$$

$$M_{max}^{5-5} = 672840375 + 0.25 \times 133751663 = 706278290N \cdot mm$$

$$M_{max}^{6-6} = 303301875 + 0.25 \times 74947163 = 322038665N \cdot mm$$

(12) 计算各计算截面的截面系数

$$Z = 0.0982 \frac{(D_o^4 - D_i^4)}{D_o}$$

$$Z_{1-1} = 0.0982 \frac{5528^4 - 5500^4}{5528} = 333552774mm^3$$

$$Z_{2-2} = 0.0982 \frac{5524^4 - 5500^4}{5524} = 285797701mm^3$$

$$Z_{3-3} = 0.0982 \frac{5520^4 - 5500^4}{5520} = 238077647mm^3$$

$$Z_{4-4} = 0.0982 \frac{5516^4 - 5500^4}{5516} = 190392533mm^3$$

$$Z_{5-5} = 0.0982 \frac{5514^4 - 5500^4}{5514} = 166563055mm^3$$

$$Z_{6-6} = 0.0982 \frac{5512^4 - 5500^4}{5512} = 142742287mm^3$$

(13) 计算由垂直地震力引起的压应力

$$\sigma_c = \frac{F_v}{\pi D_o \delta}$$

$$\sigma_c^{1-1} = \frac{461132}{\pi \times 5.5 \times 0.014} \times 10^{-6} = 1.9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^{2-2} = \frac{1160}{\pi \times 5.5 \times 0.012} \times 10^{-6} = 0.0056 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^{3-3} = \frac{6477}{\pi \times 5.5 \times 0.010} \times 10^{-6} = 0.037 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^{4-4} = \frac{12333}{\pi \times 5.5 \times 0.008} \times 10^{-6} = 0.089 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^{5-5} = \frac{22024}{\pi \times 5.5 \times 0.007} \times 10^{-6} = 0.182 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^{6-6} = \frac{40678}{\pi \times 5.5 \times 0.006} \times 10^{-6} = 0.392 \text{ MPa}$$

(14) 计算最大弯曲应力

$$\sigma_b^{i-i} = \frac{M_{max}^{i-i}}{Z_{i-i}}$$

$$\sigma_b^{1-1} = \frac{3804379978}{333552774} = 11.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b^{2-2} = \frac{3117288844}{285797701} = 10.9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b^{3-3} = \frac{2507894916}{238077647} = 10.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b^{4-4} = \frac{1540905291}{190392533} = 8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b^{5-5} = \frac{706278290}{166563055} = 4.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b^{6-6} = \frac{322038665}{142742287} = 2.25 \text{ MPa}$$

(15) 计算最大组合压应力

$$\sigma_{cmax}^{j-i} = \sigma_z^{j-i} + \sigma_b^{j-i} + \sigma_c^{j-i}$$

$$\sigma_{cmax}^{1-1} = 4.05 + 11.4 + 1.9 = 17.35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cmax}^{2-2} = 3.98 + 10.9 + 0.0056 = 14.88 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cmax}^{3-3} = 4.02 + 10.5 + 0.037 = 14.56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cmax}^{4-4} = 3.14 + 8 + 0.089 = 11.22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cmax}^{5-5} = 1.87 + 4.2 + 0.182 = 6.20 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max}^{6-6} = 0.75 + 2.25 + 0.392 = 3.39 \text{ MPa}$$

(16) 计算许用轴向压缩应力

a. 计算 A

$$A = \frac{0.094\delta_i}{R_i}$$

$$A_{1-1} = \frac{0.094 \times 14}{2750} = 4.785 \times 10^{-4}$$

$$A_{2-2} = \frac{0.094 \times 12}{2750} = 4.10 \times 10^{-4}$$

$$A_{3-3} = \frac{0.094 \times 10}{2750} = 3.418 \times 10^{-4}$$

$$A_{4-4} = \frac{0.094 \times 8}{2750} = 2.734 \times 10^{-4}$$

$$A_{5-5} = \frac{0.094 \times 7}{2750} = 2.4 \times 10^{-4}$$

$$A_{6-6} = \frac{0.094 \times 6}{2750} = 2.05 \times 10^{-4}$$

b. 计算 B

查表, 不锈钢 $E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$

$$B_{1-1} = 60 \text{ MPa}$$

$$B_{2-2} = 56 \text{ MPa}$$

$$B_{3-3} = 45 \text{ MPa}$$

$$B_{4-4} = 39 \text{ MPa}$$

$$B_{5-5} = 32.5 \text{ MPa}$$

$$B_{6-6} = 28 \text{ MPa}$$

(17) 轴向应力的安全判定

$$\sigma_c^{1-1} = 17.35 \text{ MPa} < B_{1-1} = 60 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^{2-2} = 14.88 \text{ MPa} < B_{2-2} = 56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^{3-3} = 14.56 \text{ MPa} < B_{3-3} = 45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^{4-4} = 11.22 \text{ MPa} < B_{4-4} = 39 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^{5-5} = 6.2 \text{ MPa} < B_{5-5} = 32.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^{6-6} = 3.39 \text{ MPa} < B_{6-6} = 28 \text{ MPa}$$

安全。

(18) 计算周向应力

$$\sigma_{\theta}^{j-i} = \frac{D_i(P_i^{i-i} + P)}{2\delta^{i-i}\Phi}$$

$$\sigma_{\theta}^{1-1} = \frac{5500(0.017 + 0.005)}{2 \times 14 \times 0.8} = 5.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\theta}^{2-2} = \frac{5500(0.016 + 0.005)}{2 \times 12 \times 0.8} = 6.015 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\theta}^{3-3} = \frac{5500(0.014 + 0.005)}{2 \times 10 \times 0.8} = 6.53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\theta}^{4-4} = \frac{5500(0.012 + 0.005)}{2 \times 8 \times 0.8} = 7.30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\theta}^{5-5} = \frac{5500(0.0094 + 0.005)}{2 \times 7 \times 0.8} = 7.07 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\theta}^{6-6} = \frac{5500(0.0057 + 0.005)}{2 \times 6 \times 0.8} = 6.13 \text{ MPa}$$

(19) 计算组合应力

$$\sigma_{i-i} = \sqrt{(\sigma_{\max}^{j-i})^2 + (\sigma_{\theta}^{j-i})^2 - (\sigma_{\max}^{j-i} \cdot \sigma_{\theta}^{j-i})}$$

$$\sigma_{1-1} = \sqrt{17.35^2 + 5.14^2 - 17.35 \times 5.14} = 15.44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{2-2} = \sqrt{14.88^2 + 6.0^2 - 14.88 \times 6.0} = 12.97 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{3-3} = \sqrt{14.56^2 + 6.5^2 - 14.56 \times 6.5} = 12.63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{4-4} = \sqrt{11.22^2 + 7.30^2 - 11.22 \times 7.30} = 9.86 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{5-5} = \sqrt{6.2^2 + 7.07^2 - 6.2 \times 7.07} = 6.68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{6-6} = \sqrt{3.39^2 + 6.13^2 - 3.39 \times 6.13} = 5.32 \text{ MPa}$$

由于所有组合应力均小于仓筒壁许用应力 $[\sigma]' = 137 \text{ MPa}$, 故安全。

4. 锥体校核

(1) 锥体大端法向压力计算

$$P_{\ast} = P_{\ast}^{1-1} \sin^2 \alpha + P_{\ast}^{1-1} \cos^2 \alpha$$

$$P_{\ast}^{1-1} = 0.017 \text{ MPa}$$

$$P_{\ast}^{1-1} = 0.069 \text{ MPa}$$

$$\text{半锥角 } \theta = \lg^{-1} \frac{2750}{4520} = 35^\circ$$

$$\alpha = 90^\circ - \theta = 90^\circ - 35^\circ = 55^\circ$$

$$\sigma_s = \frac{(P_s + P) D_i}{2 \delta \Phi \cos 55^\circ}$$

$$= \frac{(0.034 + 0.005) \times 5500}{2 \times 14 \times 0.8 \times 0.057} = 16.8 \text{ MPa}$$

(3) 锥体总重计算

$$W_s = W_{\text{锥壳}} + W_{\text{料}}$$

$$W_{\text{锥壳}} = \pi \gamma L \delta \gamma g$$

$$= \pi \times 2.75 \times \sqrt{2.75^2 + 4.52^2} \times 0.014 \times 8000 \times 9.8$$

$$= 50170 \text{ N}$$

$$W_{\text{料}} = \frac{\pi \gamma^2 h}{3} \gamma g$$

$$= \frac{\pi \times 2.75^2 \times 4.52}{3} \times 500 \times 9.8$$

$$= 175399 \text{ N}$$

$$W_s = 50170 + 175399 = 225569 \text{ N}$$

(4) 计算由 W_s 产生的轴向压力

$$P'_s = \frac{4W_s}{\pi \times D_i^2} \times 10^{-6}$$

$$= \frac{4 \times 225569}{\pi \times 5.5^2} \times 10^{-6}$$

$$= 0.0095 \text{ MPa}$$

(5) 计算锥体大端轴向应力

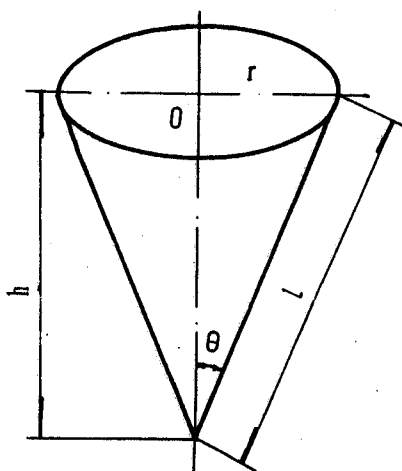
$$\sigma_z = \frac{(P_s + P'_s + P) D_i}{4 \delta \Phi \cos \theta}$$

$$= 12 \text{ MPa}$$

由此判定锥体安全

其他部分计算从略。

(完)



中 华 人 民 共 和 国
行 业 标 准

JB/T 4735—97

钢制焊接常压容器标准释义

全国压力容器标准化技术委员会发行

全国压力容器标准化技术委员会秘书处印刷

版权所有 不得翻印

开本 880×1230 1/16 印张 $3\frac{1}{2}$ 字数 107 千字

1997 年 1 月第一版 1997 年 1 月第一次印刷

定价 60 元(全套 2 本)