

钢 制 球 形 储 罐

GB 12337—90

Steel spherical tanks

1 主题内容与适用范围

1.1 主题内容

本标准规定了碳素钢和低合金钢制球形储罐(以下简称“球罐”)的设计、制造、组装、检验与验收的要求。

1.2 适用范围

1.2.1 本标准适用于设计压力不大于4 Mpa的桔瓣式或混合式以支柱支撑的球罐。

1.2.2 本标准不适用于下列球罐:

- a. 受核辐射作用的球罐;
- b. 经受相对运动(如车载或船载)的球罐;
- c. 公称容积小于50 m³的球罐;
- d. 要求作疲劳分析的球罐;
- e. 双层结构的球罐。

2 引用标准

- GB 150—89 钢制压力容器
- GB 699—88 优质碳素结构钢技术条件
- GB 700—88 碳素结构钢
- GB 984—85 堆焊焊条
- GB 985—80 手工电弧焊焊接接头的基本型式与尺寸
- GB 986—80 埋弧焊焊接接头的基本型式与尺寸
- GB 1300—77 焊接用钢丝
- GB 1591—79 低合金结构钢技术条件
- GB 2106—80 金属夏比(V型缺口)冲击试验方法
- GB 3077—88 合金结构钢技术条件
- GB 3274—88 普通碳素结构钢和低合金结构钢 热轧厚钢板和钢带
- GB 3323—87 钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级
- GB 3531—83 低温压力容器用低合金钢厚钢板技术条件
- GB 3965—83 电焊条熔敷金属中扩散氢测定方法
- GB 4159—84 金属低温夏比冲击试验方法
- GB 4675.1—84 斜Y型坡口焊接裂纹试验方法
- GB 5117—85 碳钢焊条
- GB 5118—85 低合金钢焊条
- GB 5293—85 碳素钢埋弧焊用焊剂

- GB 6479—86 化肥设备用高压无缝钢管
- GB 6654—86 压力容器用碳素钢和低合金钢厚钢板
- GB 8162—87 结构用无缝钢管
- GB 8163—87 输送流体用无缝钢管
- GB 9948—88 石油裂化用无缝钢管
- ZB J74 003—88 压力容器用钢板超声波探伤
- JB 755—85 压力容器锻件技术条件
- JB 1152—81 锅炉和钢制压力容器对接焊缝超声波探伤
- JB 2536—80 压力容器油漆、包装、运输
- JB 2835—79 低温钢焊条
- JB 3965—85 钢制压力容器磁粉探伤

3 总则

球罐的设计、制造、组装、检验与验收除符合本标准规定外，还应符合GB 150的规定。

3.1 球罐的范围

本标准中所指的球罐是指球罐及与其连为整体的受压零部件，且划定在下列范围内：

3.1.1 球罐与外管道连接

- a. 接管与外管道焊接连接的第一道环向焊缝；
- b. 螺纹连接的第一个螺纹接头；
- c. 法兰连接的第一个法兰密封面。

3.1.2 球罐开孔的承压封头、平盖及其紧固件。

3.1.3 与球壳连接的非受压元件，如支柱、拉杆和底板等，亦应符合本标准的有关规定。

3.1.4 直接连在球罐上的超压泄放装置。

3.2 资格与职责

3.2.1 球罐的设计、制造、安装单位必须具备健全的全面质量管理体系。设计单位应持有压力容器设计单位批准书，制造和安装单位应持有压力容器制造、安装许可证。

3.2.2 球罐的制造、安装和使用必须置于安全监察机构或授权的检验机构监督之下。

注：授权的检验机构是指由国家锅炉及压力容器安全监察机构授权进行监督检验的机构。

3.2.3 设计单位的职责

3.2.3.1 设计单位应对设计文件的准确性和完整性负责。

3.2.3.2 球罐的设计文件至少应包括设计计算书和设计图样。

3.2.3.3 球罐设计总图应盖有压力容器设计单位批准书标志。

3.2.4 制造、安装单位的职责

3.2.4.1 制造、安装单位必须按照设计图样进行制造与施工，如需变更原设计应取得原设计单位的认可。

3.2.4.2 制造单位对每台球罐应提供下列技术文件：

- a. 球壳板及其组焊件的出厂合格证；
- b. 材料质量证明书（或复制件）；
- c. 材料代用审批文件；
- d. 球壳板与人孔、接管、支柱的组焊记录；
- e. 无损检测报告；
- f. 球壳排板图；

当标准有规定或图样有要求时,还应提供下列技术文件:

- g. 与球壳板焊接的组焊件热处理报告;
- h. 球壳板热压成型工艺试验试板的力学和弯曲性能报告;
- i. 球壳板材料的复验报告;
- j. 极板试板焊接接头的力学和弯曲性能检验报告。

3.2.4.3 安装单位对每台球罐应提供下列技术文件:

- a. 竣工图;
- b. 球罐竣工验收证明书。证明书至少应包括下列内容:
 - 球壳板及其组焊件的质量证明书;
 - 球罐基础检验记录;
 - 球罐施焊记录(附焊缝布置图);
 - 焊接材料质量证明书或复验报告;
 - 产品焊接试板试验报告;
 - 焊缝无损检测报告;
 - 焊缝返修记录;
 - 球罐焊后整体热处理报告;
 - 球罐几何尺寸检查记录;
 - 球罐支柱检查记录;
 - 球罐压力试验报告;
 - 基础沉降观测记录;
 - 球罐气密性试验报告。

3.3 球罐各部分名称

球罐各部分的名称如图1、图2所示。

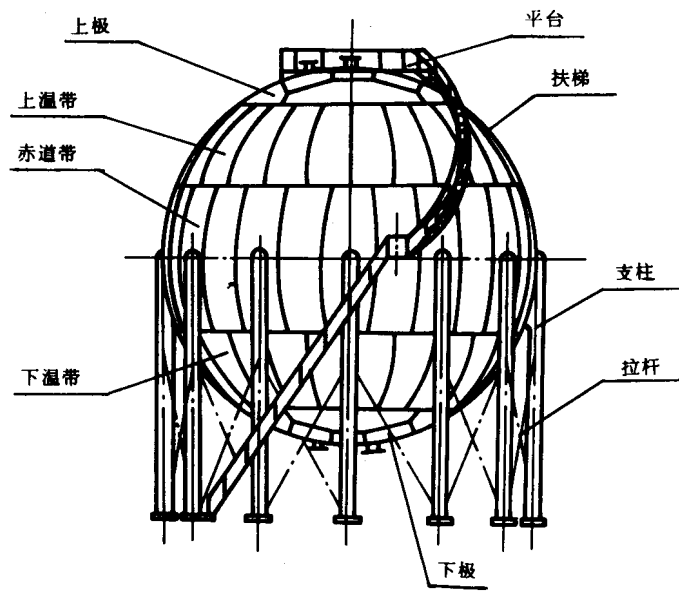


图 1 球罐各部分名称

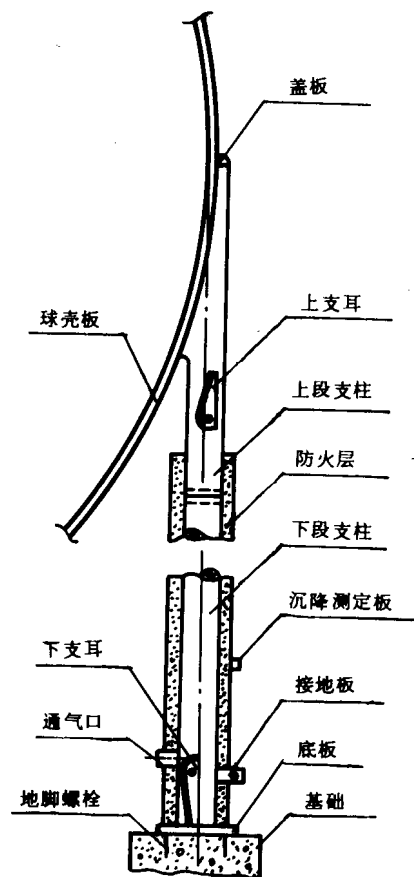


图 2 支柱各部分名称

3.4 定义

3.4.1 压力 除注明者外,压力系指表压力。

3.4.2 最高工作压力 最高工作压力系指在正常操作情况下,球罐顶部可能出现的最高压力。

3.4.3 设计压力 设计压力系指在相应设计温度下用以确定球壳厚度的压力,亦即标注在铭牌上的球罐设计压力,其值不得小于最高工作压力。

若球罐上装有安全泄放装置时,应按 GB 150附录B“超压泄放装置”的相应规定确定球罐的设计压力。

对于盛装液化气体的球罐,在规定的充装系数范围内,设计压力应根据操作条件下球壳允许达到的最高金属温度确定。

3.4.4 计算压力 计算压力系指设计压力与球壳各部位或受压元件上所承受的液柱静压力之和。

3.4.5 金属温度 金属温度系指球罐受压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。

3.4.6 设计温度 设计温度系指球罐在正常操作情况,在相应设计压力下,设定的受压元件的金属温度,其值不得低于元件金属可能达到的最高金属温度。对于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金属温度。

球罐设计温度(即标注在球罐铭牌上的设计温度)是指球壳的设计温度。

注:对具有不同操作工况的球罐,应在图样或相应技术文件中写明各苛刻工况时的相应设计压力和设计温度。

3.4.7 试验温度 试验温度系指压力试验时球壳的金属温度。

3.5 载荷

设计时应考虑以下载荷:

- a. 设计压力;
- b. 液体静压力;
- c. 球罐自重(包括内件)以及正常操作条件下或试验状态下内装介质的重力载荷;
- d. 附属设备及隔热材料、管道、支柱、拉杆、梯子、平台等的重力载荷;
- e. 雪载荷;
- f. 风载荷;
- g. 地震载荷。

3.6 厚度

3.6.1 厚度附加量

厚度附加量,按式(1)确定。

$$C = C_1 + C_2 \dots\dots\dots (1)$$

式中: C ——厚度附加量, mm;

C_1 ——钢板或钢管的厚度负偏差,按相应钢板或钢管标准选取, mm;

当钢材的厚度负偏差不大于0.25 mm时,可取 $C_1 = 0$;

C_2 ——腐蚀裕量,取 C_2 不小于1 mm。

3.6.2 计算厚度 计算厚度系指由公式计算得到的厚度,不包括厚度附加量。

3.6.3 设计厚度 设计厚度系指计算厚度与厚度附加量之和。

3.6.4 名义厚度 名义厚度是将设计厚度向上圆整至钢材标准规格的厚度,即是图样上标注的厚度。

3.6.5 有效厚度 有效厚度系指名义厚度减去厚度附加量。

3.6.6 球罐制造单位应根据制造工艺条件,考虑板材的加工裕量,以确保球罐产品各部位的实际厚度不得小于该部位的名义厚度减去钢板厚度负偏差。

3.7 许用应力

3.7.1 钢材和螺栓材料在不同温度下的许用应力按第4章选取。许用应力系按材料各项强度数据分别除以表1或表2中的安全系数，取其中的最小值。

表1 钢材安全系数

材 料	强度性能	常温下最低抗拉强度 σ_b	常温或设计温度下的屈服点 σ_s 或 σ_s^t
	安全系数	n_b	n_s
碳素钢、低合金钢		>3.0	>1.6

表2 螺栓安全系数

材 料	螺 栓 直 径 mm	热处理状态	设计温度下屈服点 σ_s^t 的 n_s
碳 素 钢	< M22	热轧、正火	2.7
	M24~M48		2.5
低合金钢	< M22	调 质	3.5
	M24~M48		3.0
	> M52		2.7

3.7.2 当温度低于20℃时，取20℃时的许用应力。

3.8 焊缝系数

双面焊全熔透对接焊缝的焊缝系数 ϕ 按下列规定选取：

100% 无损探伤 $\phi = 1.00$

局部无损探伤 $\phi = 0.85$

3.9 压力试验

球罐制成后必须进行压力试验，压力试验的项目和要求应在图样中注明。

压力试验一般采用液压试验。对于不适宜做液压试验的球罐，可采用气压试验。

3.9.1 液压试验

试验压力按式(2)确定：

$$p_T = 1.25p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中： p_T ——试验压力，MPa；

p ——设计压力，MPa；

$[\sigma]$ ——试验温度下材料的许用应力，MPa；

$[\sigma]^t$ ——设计温度下材料的许用应力，MPa。

3.9.2 气压试验

试验压力按式(3)确定：

$$p_T = 1.15p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中： p_T ——试验压力，MPa；

p ——设计压力，MPa；

$[\sigma]$ ——试验温度下材料的许用应力，MPa；

$[\sigma]^t$ ——设计温度下材料的许用应力，MPa。

3.9.3 压力试验时的应力校核

压力试验时,球壳的薄膜应力按式(4)计算。

$$\sigma_T = \frac{p_T (D_i + \delta_e)}{4 \delta_e \phi} \dots\dots\dots (4)$$

式中: σ_T ——球壳的薄膜应力, MPa;

p_T ——试验压力, MPa;

D_i ——球壳内直径, mm;

δ_e ——球壳的有效厚度, mm;

ϕ ——球壳的焊缝系数。

液压试验时,球壳的薄膜应力 σ_T 不得超过试验温度下材料屈服点的90% (校核时,还应计入液柱静压力)。

气压试验时,球壳的薄膜应力 σ_T 不得超过试验温度下材料屈服点的80%。

3.10 气密性试验

如果图样有要求,球罐还应进行气密性试验。气密性试验应在液压试验合格后进行。

3.10.1 盛装下列介质的球罐应进行气密性试验:

- a. 毒性为极度或高度危害的介质;

注:极度或高度危害介质的定义按劳动部门的有关规定。

- b. 易燃的压缩气体或液化气体。

3.10.2 气密性试验压力按式(5)确定。

$$p_T = 1.05 p \dots\dots\dots (5)$$

式中: p_T ——试验压力, MPa;

p ——设计压力, MPa。

4 材料

4.1 基本要求

4.1.1 球罐受压元件用钢应符合本章规定。非受压元件用钢,当与受压元件焊接时,也必须是焊接性能良好的钢材。

4.1.2 采用本章规定以外的其他钢号的钢材,还应符合GB 150附录A《材料的补充规定》。

4.1.3 球罐受压元件用钢应由平炉、电炉或氧气转炉冶炼。钢材的技术要求应符合相应的国家标准、行业标准或有关技术文件。

4.1.4 球罐用钢应附有钢厂的钢材质量证明书(或其复印件),制造单位应按该质量证明书对钢材进行验收。必要时应进行复验。

4.1.5 选择球罐用钢必须考虑球罐的使用条件(如设计温度、设计压力、物料特性等)、材料的焊接性能、球罐的制造工艺和组装要求以及经济合理性。

4.1.6 球罐的设计温度低于或等于-20℃时,钢材还应符合附录A“低温球形储罐”(补充件)的规定。

4.1.7 当对钢材有特殊要求时(如要求特殊冶炼方法、较高的冲击功指标、提高无损检验要求、增加力学性能检验率等),设计单位应在图样或相应技术文件中注明。

4.2 钢板

4.2.1 钢板的使用状态及许用应力见表3。

表 3

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MPa			
				σ_b MPa	σ_s MPa	<20	100	150	200
20R	GB 6654	热轧或正火	6~16	400	245	133	133	132	123
			17~25	400	235	133	132	126	116
			26~36	400	225	133	126	119	110
			38~60	400	215	133	119	113	104
			>60~100	390	195	122	110	104	98
16MnR	GB 6654	热轧或正火	6~16	510	345	170	170	170	170
			17~25	490	325	163	163	163	159
			26~36	490	305	163	163	163	150
			38~60	470	285	157	157	153	141
			>60~100	450	265	150	147	141	132
15MnVR	GB 6654	热轧或正火	6~16	530	390	177	177	177	177
			17~25	510	375	170	170	170	170
			26~36	510	355	170	170	170	170
			38~60	490	335	163	163	163	163
15MnVNR	GB 6654	正 火	17~25	570	420	190	190	190	190
			26~38	550	410	183	183	183	183
			40~60	530	390	177	177	177	177
16MnDR	GB 3531	正 火	6~20	490	315	163	163	—	—
			21~38	470	295	157	157	—	—
			40~50	450	275	150	150	—	—
09MnZ VDR	GB 3531	正 火	6~20	460	325	153	153	—	—
			21~32	440	305	147	147	—	—

注：中间温度的许用应力，可按本表的应力值用内插法求得。

4.2.2 凡符合下列条件的钢板，应在正火状态下使用：

a. 球壳用钢板

厚度大于38mm的20R钢板；

厚度大于30mm的16MnR钢板；

厚度大于25mm的15MnVR钢板；

任意厚度的15MnVNR钢板。

b. 其他受压元件（法兰、平盖等）用厚度大于50mm的20R和16MnR。

4.2.3 调质状态下使用的钢板，应逐张进行拉力试验和夏比（V型缺口）常温或低温冲击试验。

4.2.4 用于球壳的下列钢板，当球罐的设计温度低于0℃时，应每批取两张钢板进行夏比（V型缺口）低温冲击试验。试验温度为球罐的设计温度或按图样的规定，试样取样方向为横向。

a. 厚度大于25mm的20R；

b. 厚度大于38mm的16MnR、15MnVR和15MnVNR。

三个试样冲击功的平均值指标为:

20R $A_{kv} > 18J$;

16MnR、15MnVR $A_{kv} > 20J$;

15MnVNR $A_{kv} > 27J$ 。

4.2.5 球罐的设计温度低于或等于 -20°C 时,钢板的使用状态及最低冲击试验温度应符合表4的规定。

表 4

钢 号	使 用 状 态	厚度,mm	最低冲击试验温度, $^{\circ}\text{C}$
20R	热 轧	6~16	-20
	正 火	6~32	
16MnR	热 轧	6~25	-20
	正 火	6~50	
16MnDR	正 火	6~32	-40
		34~50	-30
09Mn2VDR	正 火	6~32	-70

4.2.6 凡符合下列条件的球壳用钢板,应逐张进行超声波探伤检查:

- 厚度大于38mm的20R钢板;
- 厚度大于30mm的16MnR钢板;
- 厚度大于25mm的其他低合金钢板;
- 上下极板和与支柱连接的赤道板。

钢板的超声波探伤应按ZBJ74 003的规定,碳素钢钢板的质量等级应以Ⅳ级为合格,低合金钢板应以Ⅲ级为合格。

4.3 钢管

4.3.1 钢管的许用应力见表5。

表 5

钢 号	钢管标准	壁 厚 mm	常温强度指标		在下列温度($^{\circ}\text{C}$)下的许用应力, MPa			
			σ_b MPa	σ_s MPa	<20	100	150	200
10	GB 8163	<15	335	205	112	112	108	101
	GB 9948	<16	335	205	112	112	108	101
	GB 6479	<16	335	205	112	112	108	101
		17~40	335	195	112	110	104	98
20	GB 8163	<15	390	245	130	130	130	123
	GB 9948	<16	410	245	137	137	132	123
20G	GB 6479	<16	410	245	137	137	132	123
		17~40	410	235	137	132	126	116

续表 5

钢 号	钢管标准	壁 厚 mm	常温强度指标		在下列温度 (°C) 下的许用应力, MPa			
			σ_b MPa	σ_s MPa	<20	100	150	200
16Mn	GB 6479	<16	490	320	163	163	163	159
		17~40	490	310	163	163	163	153
15MnV	GB 6479	<16	510	350	170	170	170	170
		17~40	510	340	170	170	170	170
09Mn2V	1)	<16	450	315	150	150	—	—

注：中间温度的许用应力值可按本表的应力值用内插法求得。

1) 09Mn2V钢管的技术要求见GB 150附录A “材料的补充规定”。

4.3.2 15MnV和09Mn2V钢管应在正火状态下使用。

4.3.3 当球罐的设计温度低于或等于-20°C时，钢管的使用状态及最低冲击试验温度应符合表6的规定。

表 6

钢 号	使 用 状 态	壁 厚, mm	最低冲击试验温度, °C
10	热轧或退火	<20	-20
	正 火	<40	-30
20	热轧或退火	<14	-20
	正 火	<16	-20
20G	正 火	<40	-20
16Mn	正 火	<40	-40
09Mn2V	正 火	<16	-70

4.3.4 钢管超声波探伤和磁粉探伤的检验要求，应按有关技术条件或图样的规定。

4.4 锻件

4.4.1 锻件的许用应力见表7。

4.4.2 锻件级别按JB 755的规定，并在图样或相应技术文件中注明。对于截面尺寸大于300mm的锻件应不低于Ⅲ级。

表 7

钢 号	锻件标准	截面尺寸 mm	常温强度指标		在下列温度 (°C) 下的许用应力, MPa			
			σ_b MPa	σ_s MPa	<20	100	150	200
20	JB 755	<100	370	215	123	119	113	104
		>100~300	370	195	122	110	104	98
25	JB 755	<100	400	235	133	132	126	116

续表 7

钢 号	锻件标准	截面尺寸 mm	常温强度指标		在下列温度 (°C) 下的许用应力, MPa			
			σ_b MPa	σ_s MPa	<20	100	150	200
25	JB 755	>100~300	390	215	130	119	113	104
16Mn 16MnD	JB 755	<300	450	275	150	150	147	135
09Mn2VD	JB 755	<300	440	275	147	14	—	—

注：中间温度的许用应力值，可按本表的应力值用内插法求得。

4.4.3 当球罐的设计温度低于或等于-20℃时，锻件的热处理状态及最低冲击试验温度应符合表8的规定。

表 8

钢 号	热处理状态	截面尺寸, mm	最低冲击试验温度, °C
20	正火加回火或调质	<100	-20
16MnD	正火加回火或调质	<300	-40
09Mn2VD	正火加回火或调质	<300	-70

4.5 螺栓和螺母

4.5.1 螺栓用钢的使用状态及许用应力见表9。

表 9

钢 号	钢材标准	钢 材 使用状态	螺栓规格 mm	常温强度指标		在下列温度下(°C)的许用应力, MPa			
				σ_b MPa	σ_s MPa	<20	100	150	200
A3、AY3	GB 700	热轧	<M24	370	235	87	78	74	69
			M24~M36	370	235	94	84	80	74
35	GB 699	正火	<M24	530	315	117	105	98	91
			M24~M48	510	295	118	106	100	92
40MnB	GB 3077	调质	<M24	805	685	196	176	171	165
			M24~M48	765	635	212	189	183	180
			>M48~M56	765	635	235	210	203	200
40MnVB	GB 3077	调质	<M24	835	735	210	190	185	179

续表 9

钢 号	钢材标准	钢 材 使用状态	螺栓规格 mm	常温强度指标		在下列温度下(℃)的许用应力,MPa			
				σ_b MPa	σ_s MPa	<20	100	150	200
40MnVB	GB 3077	调质	M24~M48	805	685	228	206	199	196
			>M48~M56	805	685	254	229	221	218
40Cr	GB 3077	调质	<M24	805	685	196	176	171	165
			M24~M48	765	635	212	189	183	180
			>M48~M56	765	635	235	210	203	200
30CrMoA	GB 3077	调质	<M24	805	685	196	176	171	167
			M24~M48	765	635	212	191	185	180
			>M48~M56	765	635	235	212	205	200
35CrMoA	GB 3077	调质	<M24	835	735	210	190	185	179
			M24~M48	805	685	228	206	199	196
			>M48~M80	805	685	254	229	221	218

注：中间温度的许用应力值，可按本表的应力值用内插法求得。

4.5.2 螺栓和螺母材料的力学性能检验要求，应根据用途按有关标准确定或在图样上注明。

4.5.3 螺栓和螺母的组合可按表10选取，螺栓的硬度一般应比螺母稍高，可通过选用不同强度级别的钢材或不同的热处理状态实现。

表 10

螺 栓 用 钢	螺 母 用 钢	钢 材 标 准	使用温度范围,℃
A3、AY3	A2、AY2、A3、AY3	GB 700	>-20~200
35	A3、AY3	GB 700	>-20~200
	15	GB 699	>-20~200
40MnB、40MnVB、40Cr	35、40Mn、45	GB 699	>-20~200
30CrMoA	30CrMoA	GB 3077	-100~200
35CrMoA	40Mn、45	GB 699	>-20~200
	30CrMoA、35CrMoA	GB 3077	-100~200

4.5.4 低合金钢螺栓，当设计温度低于或等于 -20°C 时，其使用状态及最低冲击试验温度应符合表11的规定。

表 11

钢 号	使 用 状 态	螺栓规格·mm	最低冲击试验温度, $^{\circ}\text{C}$
30CrMoA	调 质	$< \text{M}56$	-100
35CrMoA	调 质	$< \text{M}56$	-100

4.5.5 螺栓磁粉探伤的检验要求按有关技术条件或图样的规定。

4.6 焊接材料

4.6.1 焊条

4.6.1.1 焊条必须具有质量证明书。质量证明书应包括熔敷金属的化学成分、机械性能、扩散氢含量等。各项指标应符合GB 5117、GB 5118、JB 2835、GB 984的有关规定。

4.6.1.2 球壳的对接焊缝以及直接与球壳焊接的焊缝，必须选用低氢型焊条，并按批号进行扩散氢复验。扩散氢试验方法应按GB 3965的规定进行。烘干后的实际扩散氢含量应符合表12的规定。

表 12

焊 条 型 号	扩 散 氢 含 量, ml/100g
E4315、E4316	8
E5015- $\times$ 、E5016- $\times$	6
E5515- $\times$ 、E5516- $\times$	5

4.6.2 焊丝和焊剂

焊丝和焊剂应与所施焊的钢种匹配。焊丝应符合GB 1300的有关规定。

5 结构

5.1 球壳

5.1.1 球壳结构型式如图3所示。球壳各带及上、下两极均由多块球壳板组成。

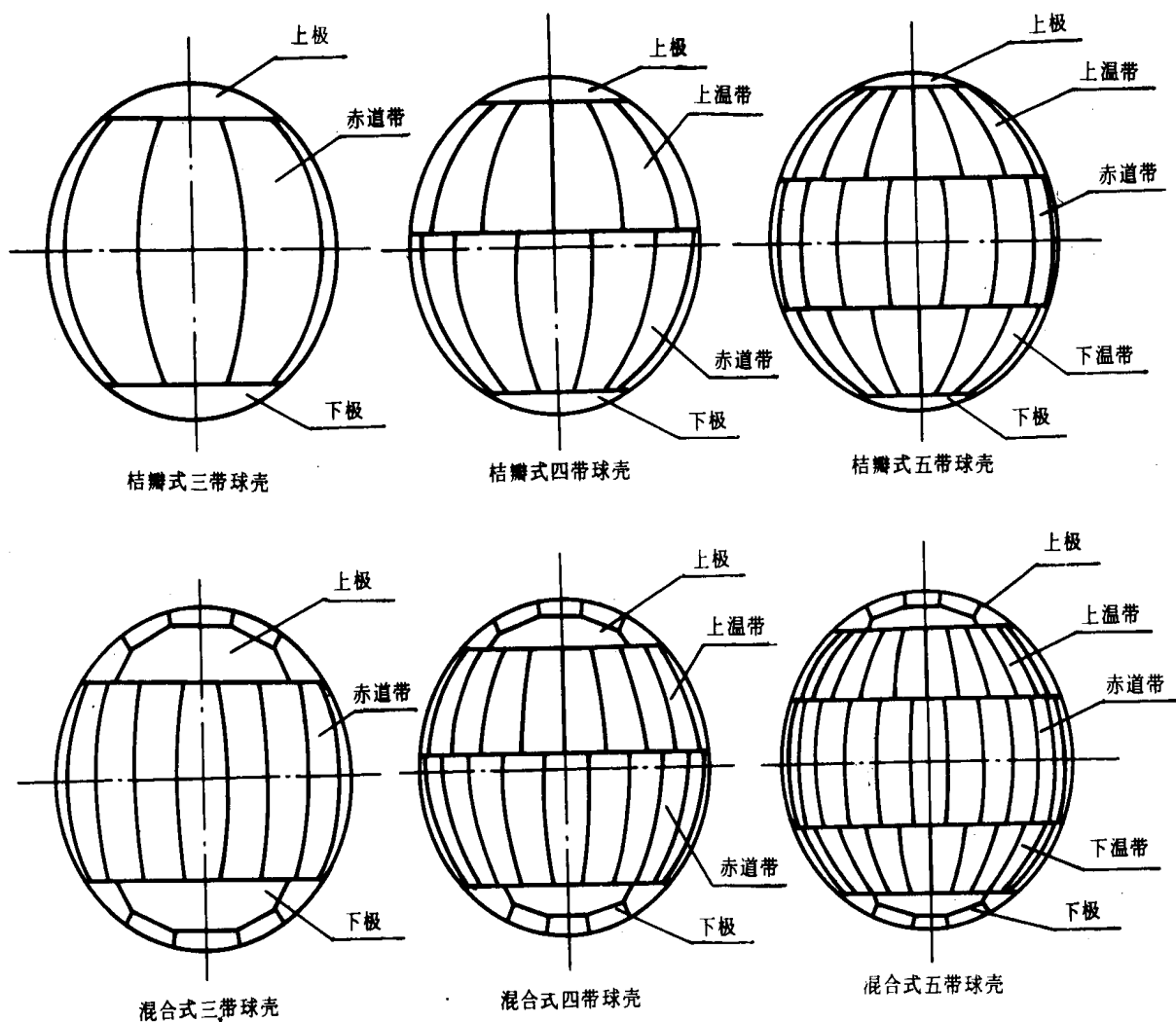


图 3 球壳结构型式

5.1.2 球壳板最小宽度应不小于500mm。

5.2 坡口

球壳板坡口型式可按GB 985、GB 986选用，或参照附录C“球壳对接焊缝坡口型式及尺寸”（参考件）确定。

5.3 支柱与球壳的连接

5.3.1 本标准采用的支柱与球壳的连接为赤道正切型式。

5.3.2 支柱与球壳连接处一般采用支柱翻边结构（见图4）或加托板的结构型式（见图5）。

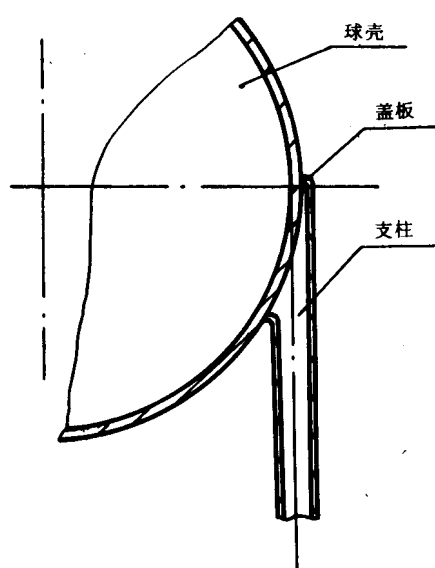


图 4

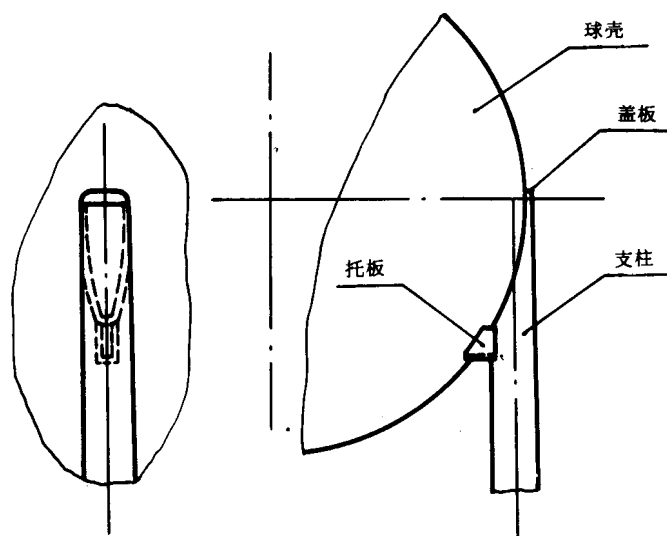


图 5

5.4 支柱

5.4.1 支柱应采用钢管制作。

5.4.2 支柱可分段，但与球壳板连接段的长度应不小于支柱总长的1/3。段间的环向连接焊缝应全熔透。可采用沿焊缝根部全长具有紧贴基本金属的垫板的对接焊缝。

支柱顶部应设有球形或椭圆形的防雨盖板。

5.4.3 支柱应设置通气口。对储存易燃及液化石油气物料的球罐，还应设置防火层，如图6所示。

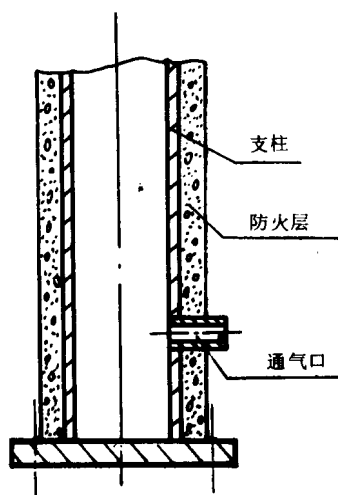


图 6

5.5 拉杆

5.5.1 拉杆结构有可调式和固定式两种。

可调式拉杆的立体交叉处不得相焊，见图7(a)。固定式拉杆的交叉处采用十字相焊或与固定板相焊，见图7(b)。

本标准仅提供了可调式拉杆的计算方法。

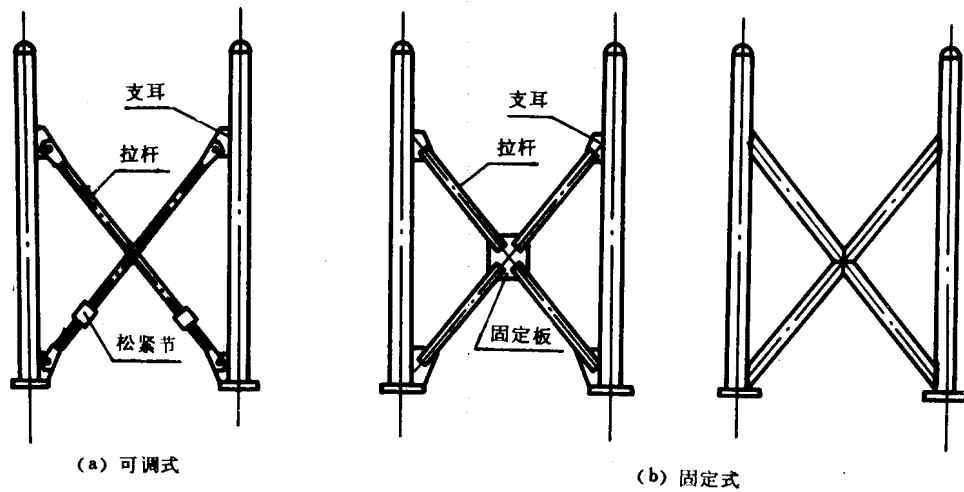


图 7

5.5.2 拉杆与支柱的上下连接点应分别在同一标高上。

5.6 开孔及开孔补强

5.6.1 开孔及开孔补强应按 GB 150 第 6 章“开孔和开孔补强”的规定。

5.6.2 开孔的焊接接头宜采用全熔透焊缝，可参照 GB 150 附录 K “焊接接头设计”的有关规定。

5.6.3 人孔

上、下极板应各设置一个公称直径不小于 500 mm 的人孔。

5.7 相邻焊缝的最小间距

球壳上任何相邻焊缝的间距应大于 $3\delta_n$ (δ_n 为球壳板名义厚度)，且不小于 100 mm。

5.8 低温球罐的结构要求

球罐的设计温度低于或等于 -20°C 时，其结构还应满足附录 A “低温球形储罐”的要求。

6 计算

6.1 符号说明

- A ——单个支柱的横截面积， mm^2 ；
- d_i ——支柱内直径， mm ；
- d_o ——支柱外直径， mm ；
- D_{cp} ——球壳平均直径， mm ；
- D_i ——球壳内直径， mm ；
- D_o ——球壳外直径（当有保温层时，为保温层外直径）， mm ；
- E ——球壳材料的常温弹性模量， MPa ；
- E_s ——支柱材料的常温弹性模量， MPa ；
- F_c ——拉杆作用在支柱上的水平力（见 6.8.1 条）， N ；
- F_e ——球罐的水平地震力（见 6.4.2 条）， N ；
- F_s ——支柱底板与基础的摩擦力（见 6.8.2 条）， N ；
- $F_{\max}$ ——最大水平力（见 6.6 条）， N ；
- F_T ——拉杆的最大拉力（见 6.10.1 条）， N ；

- F_w ——球罐的水平风力 (见6.5条), N;
 g ——重力加速度, 取 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$;
 G_0 ——操作状态下的重力载荷 (见6.7.1.1条), N;
 G_T ——液压试验状态下的重力载荷 (见6.7.1.1条), N;
 H_0 ——支柱底板底面至球壳中心的距离 (见图8), mm (在计算风压高度变化系数 f_1 时, H_0 的单位为m);
 I ——支柱横截面的惯性矩 (见6.4.1条), mm^4 ;
 l ——支柱底板底面至拉杆中心线与支柱中心线交点处的距离 (见图8), mm;
 L_w ——支柱与球壳连接焊缝单边的弧长 (见图16), mm;
 $m_{\min}$ ——球罐最小质量 (见6.3条), kg;
 m_0 ——操作状态下的球罐质量 (见6.3条), kg;
 m_T ——液压试验状态下的球罐质量 (见6.3条), kg;
 $M_{\max}$ ——水平地震力和水平风力引起的最大弯矩 (见6.6条), N·mm;
 M_0 ——操作状态下支柱的总弯矩 (见6.7.3.3条), N·mm;
 M_{01} ——操作状态下支柱的偏心弯矩 (见6.7.3.1条), N·mm;
 M_{02} ——操作状态下支柱的附加弯矩 (见6.7.3.2条), N·mm;
 M_T ——液压试验状态下支柱的总弯矩 (见6.7.3.3条), N·mm;
 M_{T1} ——液压试验状态下支柱的偏心弯矩 (见6.7.3.1条), N·mm;
 M_{T2} ——液压试验状态下支柱的附加弯矩 (见6.7.3.2条), N·mm;
 n ——支柱数目;
 p ——设计压力 (见3.4.3条), MPa;
 p_{ci} ——计算压力 (见3.4.4条), MPa;
 p_T ——试验压力 (见3.9条), MPa;
 R ——支柱中心圆半径, 取 $R = R_i$, mm;
 R_i ——球壳内半径, mm;
 T ——基本自振周期, s;
 W_0 ——操作状态下支柱的最大垂直载荷 (见6.7.2条), N;
 W_T ——液压试验状态下支柱的最大垂直载荷 (见6.7.2条), N;
 $W_{\max}$ ——最大垂直载荷, 取 W_0 和 W_T 的较大值, N;
 β ——拉杆和支柱间的夹角 (见图8), ($^\circ$);
 δ ——球壳计算厚度, mm;
 δ_e ——球壳有效厚度, mm;
 δ_{ea} ——球壳a点处的有效厚度, mm;
 δ_n ——球壳名义厚度, mm;
 ε_0 ——操作状态下支柱的偏心率 (见6.7.4.1条);
 ε_T ——液压试验状态下支柱的偏心率 (见6.7.4.1条);
 μ ——球壳材料的泊松比, 取 $\mu = 0.3$;
 ρ_2 ——物料密度, kg/m^3 ;
 ρ_3 ——液压试验时液体的密度, kg/m^3 ;
 σ_{01} ——操作状态下a点的纬向应力 (见6.11.2条), MPa;
 σ_{0a} ——操作状态下a点的组合应力 (见6.11.3条), MPa;
 σ_s ——钢材常温下的屈服点, MPa;

- σ_n ——液压试验状态下 a 点的纬向应力(见6.11.2条), MPa;
 σ_{Ta} ——液压试验状态下 a 点的组合应力(见6.11.3条), MPa;
 $[\sigma]^t$ ——设计温度下球壳材料的许用应力(见第4章), MPa;
 τ_0 ——操作状态下 a 点的剪切应力(见6.11.1条), MPa;
 τ_T ——液压试验状态下 a 点的剪切应力(见6.11.1条), MPa;
 ϕ ——焊缝系数(见3.8条);
 ϕ_s ——角焊缝系数, 取 $\phi_s = 0.6$ 。

6.2 球壳计算

6.2.1 球壳计算厚度按式(6)计算。

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

6.2.2 球壳设计温度下壳壁的计算应力按式(7)校核。

$$\sigma^t = \frac{p_{ci} (D_i + \delta_e)}{4 \delta_e \phi} < [\sigma]^t \dots \dots \dots (7)$$

式中: σ^t ——设计温度下壳壁的计算应力, MPa。

6.3 球罐质量计算

a. 操作状态下的球罐质量按式(8)计算。

$$m_0 = m_1 + m_2 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7 \dots \dots \dots (8)$$

b. 液压试验状态下的球罐质量按式(9)计算。

$$m_T = m_1 + m_3 + m_6 + m_7 \dots \dots \dots (9)$$

c. 球罐最小质量按式(10)计算。

$$m_{\min} = m_1 + m_6 + m_7 \dots \dots \dots (10)$$

式中: m_1 ——球壳质量, kg; 按式(11)计算。

$$m_1 = \pi D_{cp}^2 \delta_n \rho_1 \times 10^{-9} \dots \dots \dots (11)$$

ρ_1 ——球壳材料密度, kg/m³。

m_2 ——物料质量, kg; 按式(12)计算。

$$m_2 = \frac{\pi}{6} D^3 \rho_2 k \times 10^{-9} \dots \dots \dots (12)$$

k ——充装系数。

m_3 ——液压试验时液体的质量, kg; 按式(13)计算。

$$m_3 = \frac{\pi}{6} D^3 \rho_3 \times 10^{-9} \dots \dots \dots (13)$$

m_4 ——积雪质量, kg; 按式(14)计算。

$$m_4 = \frac{\pi}{4g} D_0^2 q C_s \times 10^{-6} \dots \dots \dots (14)$$

q ——基本雪压值, N/m²;

C_s ——球面的积雪系数, 取 $C_s = 0.4$ 。

m_5 ——保温层质量, kg;

m_6 ——支柱和拉杆的质量, kg;

m_7 ——附件质量, 包括人孔、接管、液面计、内件、喷淋装置、安全阀、梯子平台等, kg。

6.4 地震载荷计算

6.4.1 自振周期

球罐可视为一个单质点体系, 其基本自振周期按式 (15) 计算。

$$T = \pi \sqrt{\frac{m_0 H_0 \xi \times 10^{-3}}{3nE_s I}} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中: ξ ——拉杆影响系数, 按式 (16) 计算;

$$\xi = 1 - \left(\frac{l}{H_0}\right)^2 \left(3 - \frac{2l}{H_0}\right) \quad \dots\dots\dots (16)$$

ξ 也可由表13查取。

表 13

$\frac{l}{H_0}$	0.90	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.50
ξ	0.028	0.104	0.156	0.216	0.282	0.352	0.50

注: 中间值用内插法计算。

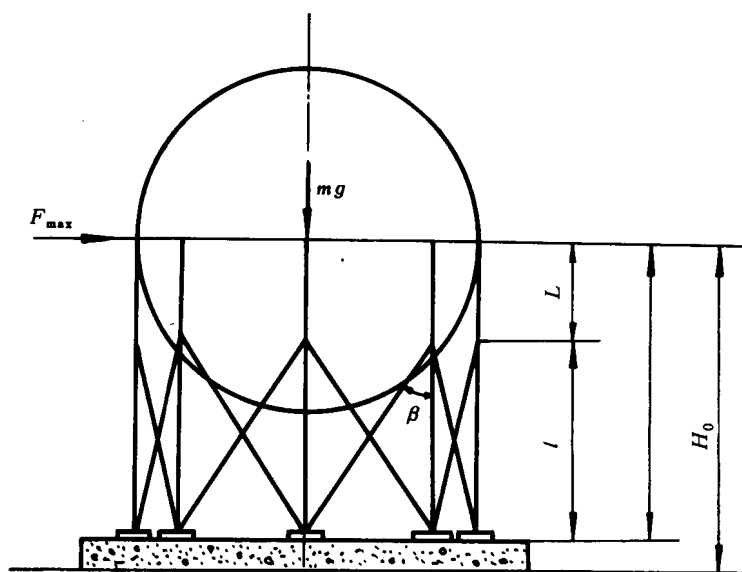


图 8

I ——支柱横截面的惯性矩, mm^4 , 按式 (17) 计算。

$$I = \frac{\pi}{64} (d_o^4 - d_i^4) \quad \dots\dots\dots (17)$$

6.4.2 地震力

球罐的水平地震力按式 (18) 计算。

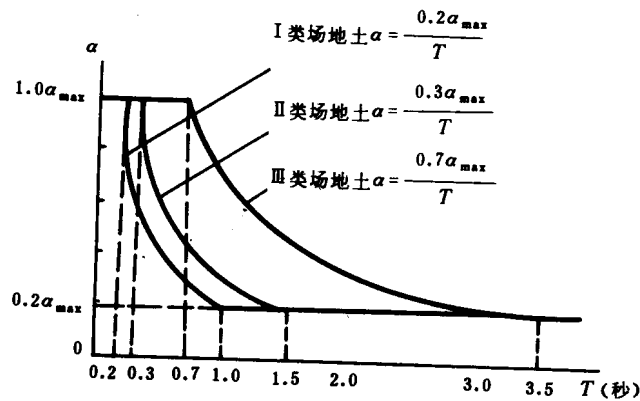
$$F_e = C_z a m_0 g \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中: C_z ——综合影响系数, 取 $C_z = 0.45$;

α ——对应于自振周期 T 的地震影响系数, 按图 9 选取。图中地震影响系数的最大值 $\alpha_{\max}$ 按表 14 选取。

表 14

设 防 烈 度	7	8	9
$\alpha_{\max}$	0.23	0.45	0.9



注: I 类场地土: 微风化和中等风化基岩;

II 类场地土: 除 I、III 类场地土质外的一级稳定土;

III 类场地土: 饱和松砂、淤泥和淤泥质土、冲填土、杂填土等。

图 9 地震影响系数 α

6.5 风载荷计算

球罐的水平风力按式 (19) 计算。

$$F_w = \frac{\pi}{4} D_0^2 k_1 k_2 q_0 f_1 f_2 \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中: k_1 ——风载体形系数, 取 $k_1 = 0.4$;

k_2 ——风振系数, 按式 (20) 计算。

$$k_2 = 1 + 0.35 \xi_1 \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中: ξ_1 ——系数, 根据球罐的基本自振周期按表 15 选取。

表 15

T, s	<0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	≥ 5.0
ξ_1	1.0	1.4	1.7	2.0	2.3	2.5	2.7	3.0	3.2

注: 中间值用内插法计算。

q_0 ——10m 高度处的基本风压值, N/m^2 ;

f_1 ——风压高度变化系数, 按式 (21) 计算。

$$f_1 = \left[\frac{l_n H_0 - l_n 0.03}{l_n 10 - l_n 0.03} \right]^2 \dots\dots\dots (21)$$

f_1 也可按表16选取。

表 16

H_0, m	< 5	10	12	14	16	18	20
f_1	0.78	1.00	1.06	1.12	1.17	1.21	1.25

注：中间值用内插法计算。

f_2 ——球罐附件增大系数，取 $f_2 = 1.1$ 。

6.6 弯矩计算

视地震载荷和风载荷为一作用于球壳中心的集中水平载荷，则由水平地震力和水平风力引起的最大弯矩按式(22)计算。

$$M_{\max} = F_{\max} L \dots\dots\dots (22)$$

式中： $F_{\max}$ ——取 $(F_e + 0.25 F_w)$ 与 F_w 的较大值，N；

L ——力臂， $L = H_0 - l$ （见图8），mm。

6.7 支柱计算

下列计算适用于可调式拉杆的支柱计算。

6.7.1 单个支柱的垂直载荷

6.7.1.1 重力载荷

操作状态下的重力载荷按式(23)计算。

$$G_0 = \frac{m_0 g}{n} \dots\dots\dots (23)$$

液压试验状态下的重力载荷按式(24)计算。

$$G_T = \frac{m_T g}{n} \dots\dots\dots (24)$$

6.7.1.2 最大弯矩对支柱产生的垂直载荷按式(25)计算。

$$F_i = - \frac{2 M_{\max} \cos \theta_i}{n R} \dots\dots\dots (25)$$

式中： F_i ——最大弯矩对*i*支柱产生的垂直载荷，N；

θ_i ——支柱的方位角，(°)（见图10、图12），按式(26)、式(27)计算。

A 向受力时支柱方位角按式(26)计算。

$$\theta_i = i \frac{360^\circ}{n} \dots\dots\dots (26)$$

B 向受力时支柱方位角按式(27)计算。

$$\theta_i = \left(i - \frac{1}{2} \right) \frac{360^\circ}{n} \dots\dots\dots (27)$$

注：*i* 表示支柱在 0° 至 180° 范围内的序号（见图10、图12）。

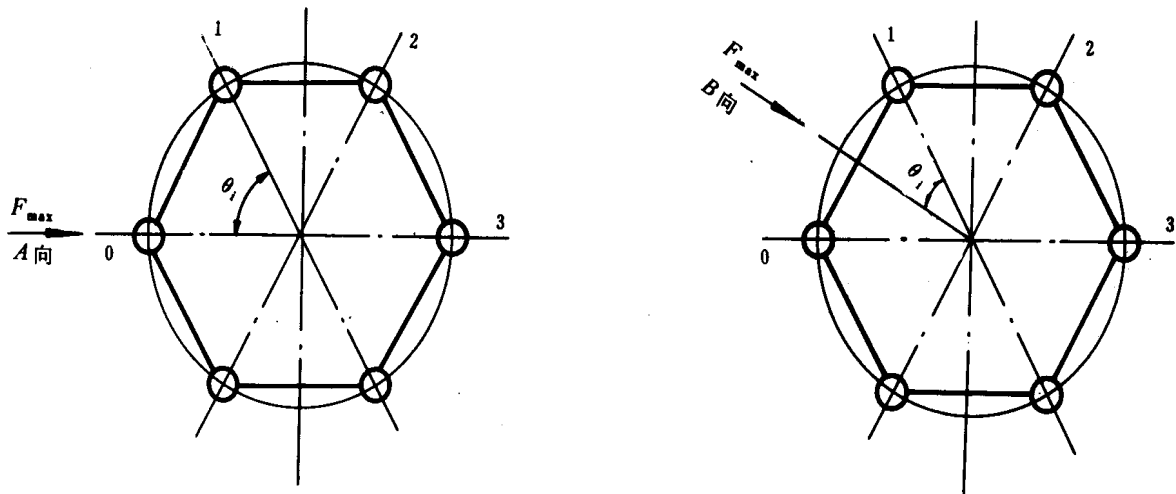


图 10

6.7.1.3 拉杆作用在支柱上的垂直载荷

a. 所有相邻两支柱间用拉杆连接时, 拉杆作用在支柱上的垂直载荷按式 (28) 计算。

$$P_{i-j} = \frac{l F_{\max} \sin \theta_j}{n R \sin \frac{180^\circ}{n}} \quad \dots\dots\dots (28)$$

b. 每隔一支柱用拉杆连接时, 拉杆作用在支柱上的垂直载荷按式 (29) 计算。

$$P_{i-j} = \frac{l F_{\max} \sin \theta_j}{n R \sin \frac{360^\circ}{n}} \quad \dots\dots\dots (29)$$

式中: p_{i-j} —— j 拉杆作用在 i 支柱上的垂直载荷, N;

$$i = j + 1, j = 0, 1, 2, 3 \dots\dots\dots;$$

θ_j ——拉杆 j 的方位角, ($^\circ$), 按式 (30) ~ (32) 计算。

当所有相邻两支柱用拉杆连接时 (见图 11):

A 向受力时拉杆方位角按式 (30) 计算。

$$\theta_j = \left(j + \frac{1}{2} \right) \frac{360^\circ}{n} \quad \dots\dots\dots (30)$$

B 向受力时拉杆方位角按式 (31) 计算。

$$\theta_j = j \frac{360^\circ}{n} \quad \dots\dots\dots (31)$$

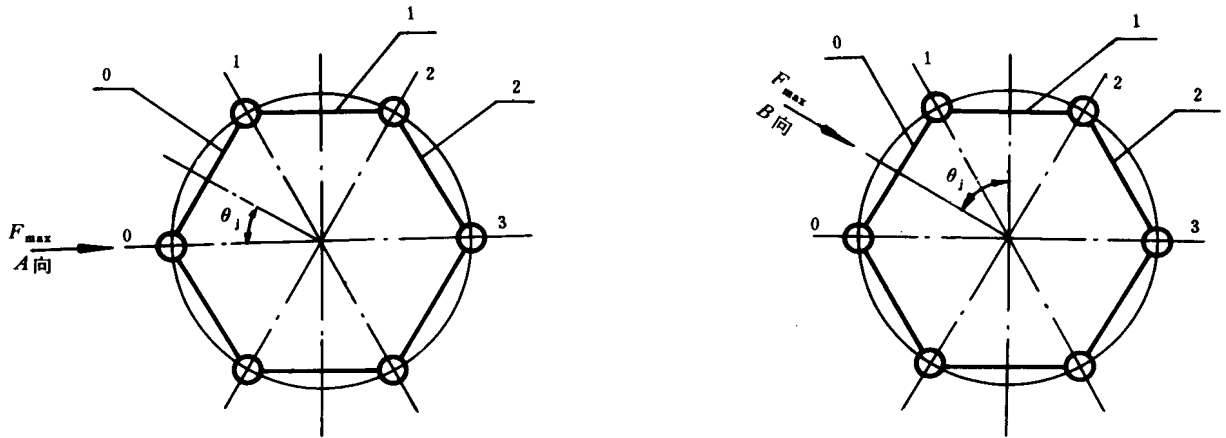


图 11

当每隔一支柱用拉杆连接时 (见图12) :
A 向受力时拉杆方位角按式 (31) 计算。
B 向受力时拉杆方位角按式 (32) 计算。

$$\theta_j = \left(j - \frac{1}{2} \right) \frac{360^\circ}{n} \dots\dots\dots (32)$$

注: j 表示拉杆在 0° 至 180° 范围内的顺序号 (见图11、图12)。

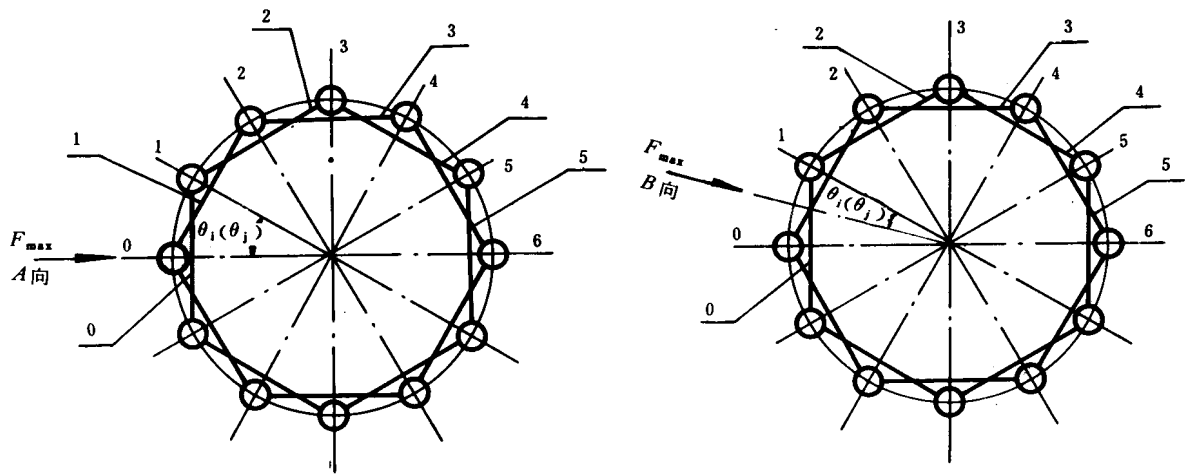


图 12

6.7.1.4 支柱的最大垂直载荷

在 **A** 向或 **B** 向受力状态下, 最大弯矩对支柱产生的垂直载荷的最大值 $(F_i)_{\max}$ 、拉杆作用在支柱上的垂直载荷的最大值 $(P_{i-j})_{\max}$ 及两者之和的最大值 $(F_i + P_{i-j})_{\max}$ 按表17的公式计算。

当设计未采用表17中所列的支柱数目时, 则 $(F_i)_{\max}$ 、 $(P_{i-j})_{\max}$ 和 $(F_i + P_{i-j})_{\max}$ 应按6.7.1.2条和6.7.1.3条的公式计算 F_i 和 P_{i-j} , 取 F_i 的最大值、 P_{i-j} 的最大值和 $(F_i + P_{i-j})$ 的最大值。

表 17

	支柱数目	$(F_i)_{\max}$ N	$(P_{i-j})_{\max}$ N	$(F_i + P_{i-j})_{\max}$ N	
所有相邻 两支柱间 用拉杆连 接	4	0.500 0 a	0.500 0 b	0.500 0 a + 0.500 0 b	A 向 2 号柱
	6	0.333 3 a	0.333 3 b	0.333 3 a + 0.333 3 b	A 向 3 号柱
	8	0.250 0 a	0.326 6 b	0.176 8 a + 0.301 8 b	A 向 3 号柱
	10	0.200 0 a	0.323 6 b	0.117 6 a + 0.307 8 b	B 向 4 号柱
	12	0.166 7 a	0.322 0 b	0.083 3 a + 0.311 0 b	A 向 4 号柱
	14	0.142 9 a	0.321 0 b	0.062 0 a + 0.312 9 b	B 向 5 号柱
	15	0.133 3 a	0.318 9 b	0.041 2 a + 0.318 9 b	B 向 5 号柱
	16	0.125 0 a	0.320 4 b	0.047 8 a + 0.314 2 b	A 向 5 号柱
每隔一支 柱用拉杆 连接	8	0.250 0 a	0.250 0 b	0.250 0 a + 0.250 0 b	A 向 4 号柱
	10	0.200 0 a	0.200 0 b	0.200 0 a + 0.200 0 b	A 向 5 号柱
	12	0.166 7 a	0.166 7 b	0.166 7 a + 0.166 7 b	A 向 6 号柱
	14	0.142 9 a	0.164 6 b	0.142 9 a + 0.142 9 b	A 向 7 号柱
	15	0.133 3 a	0.163 0 b	0.089 2 a + 0.155 9 b	B 向 6 号柱
	16	0.125 0 a	0.163 3 b	0.069 4 a + 0.160 2 b	B 向 6 号柱

注: $a = \frac{M_{\max}}{R}$ $b = \frac{IF_{\max}}{R}$

6.7.2 组合载荷

操作状态下支柱的最大垂直载荷按式 (33) 计算。

$$W_0 = G_0 + (F_i + P_{i-j})_{\max} \quad \dots\dots\dots (33)$$

液压试验状态下支柱的最大垂直载荷按式 (34) 计算。

$$W_T = G_T + 0.3 (F_i + P_{i-j})_{\max} \frac{F_w}{F_{\max}} \quad \dots\dots\dots (34)$$

式中: $(F_i + P_{i-j})_{\max}$ ——见 6.7.1.4 条。

6.7.3 单个支柱弯矩

支柱在操作或液压试验时, 在内压力作用下, 球壳直径增大, 使支柱承受偏心弯矩和附加弯矩,

见图13。

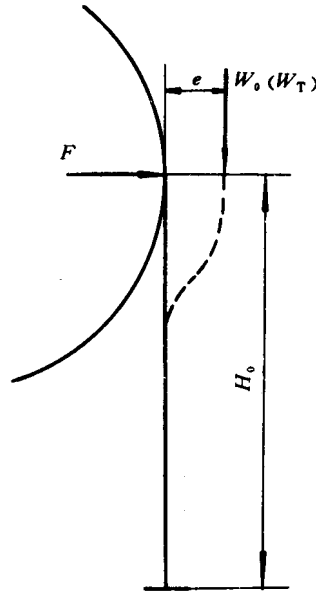


图 13

6.7.3.1 偏心弯矩

操作状态下支柱的偏心弯矩按式 (35) 计算。

$$M_{01} = \frac{\sigma_{0e} R_i W_0}{E} (1 - \mu) \quad (35)$$

式中: σ_{0e} ——操作状态下物料在球壳赤道线的薄膜应力, MPa, 按式 (36) 计算。

$$\sigma_{0e} = \frac{(p + p_{0e})(D_i + \delta_e)}{4 \delta_e \phi} \quad (36)$$

式中: p_{0e} ——操作状态下物料在赤道线的液柱静压力, MPa。

液压试验状态下支柱的偏心弯矩按式 (37) 计算。

$$M_{T1} = \frac{\sigma_{Te} R_i W_T}{E} (1 - \mu) \quad (37)$$

式中: σ_{Te} ——液压试验状态下液体在球壳赤道线的薄膜应力, MPa, 按式 (38) 计算。

$$\sigma_{Te} = \frac{(p_T + p_{Te})(D_i + \delta_e)}{4 \delta_e \phi} \quad (38)$$

式中: p_{Te} ——液压试验状态下液体在赤道线的液柱静压力, MPa。

6.7.3.2 附加弯矩

操作状态下支柱的附加弯矩按式 (39) 计算。

$$M_{02} = \frac{6 E_s I \sigma_{0e} R_i}{H_0^2 E} (1 - \mu) \quad (39)$$

液压试验状态下支柱的附加弯矩按式 (40) 计算。

$$M_{T2} = \frac{6 E_s I \sigma_{Te} R_i}{H_0^2 E} (1 - \mu) \quad (40)$$

式中: σ_{0e} 、 σ_{Te} ——见6.7.3.1条。

6.7.3.3 总弯矩

操作状态下支柱的总弯矩按式(41)计算。

$$M_0 = M_{01} + M_{02} \quad \dots\dots\dots (41)$$

液压试验状态下支柱的总弯矩按式(42)计算。

$$M_T = M_{T1} + M_{T2} \quad \dots\dots\dots (42)$$

6.7.4 支柱稳定性校核

6.7.4.1 支柱的偏心率计算

操作状态下支柱的偏心率按式(43)计算。

$$\varepsilon_0 = \frac{M_0 A}{W_0 Z} \quad \dots\dots\dots (43)$$

液压试验状态下支柱的偏心率按式(44)计算。

$$\varepsilon_T = \frac{M_T A}{W_T Z} \quad \dots\dots\dots (44)$$

式中: Z ——单个支柱的截面系数, mm^3 , 按式(45)计算。

$$Z = \frac{\pi (d_0^4 - d_i^4)}{32 d_0} \quad \dots\dots\dots (45)$$

6.7.4.2 稳定性校核

操作状态下支柱的稳定性按式(46)校核。

$$\frac{W_0}{A \phi_{0p}} < [\sigma]_c \quad \dots\dots\dots (46)$$

液压试验状态下支柱的稳定性按式(47)校核

$$\frac{W_T}{A \phi_{Tp}} < [\sigma]_c \quad \dots\dots\dots (47)$$

式中: ϕ_{0p} ——操作状态下偏心受压支柱的稳定系数, 由 ε_0 和 λ 值按表18查取;

λ ——支柱长细比, 按式(48)计算;

$$\lambda = \frac{K_3 H_0}{r_i} \quad \dots\dots\dots (48)$$

K_3 ——计算长度系数, 取 $K_3 = 1$;

r_i ——支柱的惯性半径, mm , 按式(49)计算;

$$r_i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \dots\dots\dots (49)$$

ϕ_{Tp} ——液压试验状态下偏心受压支柱的稳定系数, 由 ε_T 和 λ 值按表18查取;

$[\sigma]_c$ ——支柱材料的许用应力, $[\sigma]_c = \sigma_s / 1.5$, MPa 。

表 18 稳定系数 ϕ_{0p} 或 ϕ_{Tp} 值

ε_0 或 ε_T λ	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
0	1.000	0.865	0.763	0.682	0.610	0.563	0.517	0.479	0.446
10	0.995	0.848	0.743	0.666	0.601	0.548	0.503	0.467	0.434
20	0.981	0.831	0.725	0.645	0.582	0.529	0.488	0.452	0.419
30	0.958	0.812	0.705	0.623	0.560	0.509	0.469	0.433	0.402

续表 18

$\begin{matrix} \varepsilon_0 \text{ 或 } \varepsilon_T \\ \lambda \end{matrix}$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
40	0.927	0.788	0.679	0.598	0.537	0.487	0.448	0.414	0.385
50	0.888	0.760	0.650	0.571	0.512	0.465	0.426	0.395	0.367
60	0.842	0.730	0.619	0.543	0.486	0.442	0.406	0.375	0.349
70	0.789	0.693	0.586	0.513	0.461	0.419	0.385	0.356	0.332
80	0.731	0.651	0.553	0.485	0.434	0.396	0.363	0.338	0.316
90	0.669	0.602	0.515	0.455	0.409	0.373	0.344	0.320	0.299
100	0.604	0.549	0.474	0.423	0.383	0.350	0.325	0.302	0.283

注：① 表中数值为实腹式偏心受压构件在弯矩作用平面内的稳定系数。

② $\sigma_s = 245 \text{ MPa}$ 的钢材取实际长细比 λ ；其他钢材则取假定长细比 $\lambda \times \sqrt{\frac{\sigma_s}{245}}$ 代替实际长细比 λ 。

③ 中间值用内插法计算。

6.8 地脚螺栓计算

6.8.1 拉杆作用在支柱上的水平力按式 (50) 计算。

$$F_c = (P_{i-j})_{\max} \tan \beta \quad (50)$$

式中：(P_{i-j})_{max}——见6.7.1.4条，MPa。

6.8.2 支柱底板与基础的摩擦力按式 (51) 计算。

$$F_s = f_s \frac{m_{\min} g}{n} \quad (51)$$

式中：f_s——支柱底板与基础的摩擦系数。

钢—混凝土 $f_s = 0.4$

钢—钢 $f_s = 0.3$

6.8.3 地脚螺栓

当 $F_s > F_c$ 时，则球罐不需设置地脚螺栓，但为了固定球罐位置应设置一定数量的定位地脚螺栓。

当 $F_s < F_c$ 时，球罐必须设置地脚螺栓，地脚螺栓的螺纹小径按式 (52) 计算。

$$d_B = 1.13 \sqrt{\frac{F_c - F_s}{n_d [\tau]_B}} + C_B \quad (52)$$

式中：d_B——地脚螺栓的螺纹小径，mm；

n_d——每个支柱上的地脚螺栓个数；

[τ]_B——地脚螺栓材料的许用剪应力，[τ]_B = 0.4 σ_s，MPa；

C_B——地脚螺栓的腐蚀裕量，一般取 C_B = 3 mm。

6.9 支柱底板

6.9.1 支柱底板直径 D_b 按式 (53) 和式 (54) 计算，取两式中的较大值。

$$D_{b1} = 1.13 \sqrt{\frac{W_{\max}}{[\sigma]_{bc}}} \quad (53)$$

$$D_{b2} = (8 \sim 10) d + d_0 \quad (54)$$

式中：D_{b1}、D_{b2}——支柱底板直径，mm；

$[\sigma]_{bc}$ ——基础材料的许用应力, MPa;

d ——地脚螺栓直径, mm。

6.9.2 底板厚度按式(55)计算。

$$\delta_b = \sqrt{\frac{3\sigma_{bc}l_b^2}{[\sigma]_b}} + C_b \dots\dots\dots (55)$$

式中: δ_b ——底板厚度, mm;

σ_{bc} ——底板的压应力, MPa, 按式(56)计算;

$$\sigma_{bc} = \frac{4W_{\max}}{\pi D_b^2} \dots\dots\dots (56)$$

D_b ——见6.9.1条, mm;

l_b ——底板外边缘至支柱外表面的距离(见图14) mm;

$[\sigma]_b$ ——底板材料的许用弯曲应力, $[\sigma]_b = \sigma_s/1.5$, MPa。

C_b ——底板的腐蚀裕量, 一般取 $C_b = 3$ mm。

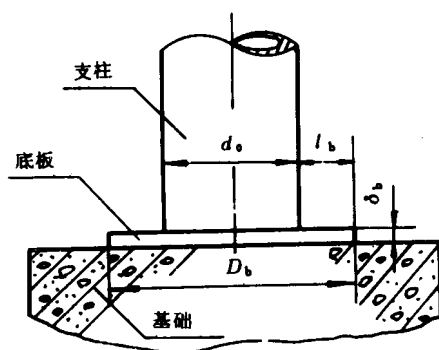


图 14

6.10 拉杆计算

6.10.1 拉杆螺纹小径按式(57)计算。

$$d_T = 1.13\sqrt{\frac{F_T}{[\sigma]_T}} + C_T \dots\dots\dots (57)$$

式中: d_T ——拉杆螺纹小径, mm;

F_T ——拉杆的最大拉力, 按式(58)计算, N;

$$F_T = \frac{(P_{i-j})_{\max}}{\cos \beta} \dots\dots\dots (58)$$

$(P_{i-j})_{\max}$ ——见6.7.1.4条, MPa;

$[\sigma]_T$ ——拉杆材料的许用应力, $[\sigma]_T = \sigma_s/1.5$, MPa;

C_T ——拉杆的腐蚀裕量, 一般取 $C_T = 2$ mm。

6.10.2 拉杆连接部位的计算

当拉杆采用图15所示结构时, 连接部位按下述方法计算:

6.10.2.1 销子直径按式(59)计算。

$$d_P = 0.8\sqrt{\frac{F_T}{[\tau]_P}} \dots\dots\dots (59)$$

式中: d_P ——销子直径, mm;

$[\tau]_P$ ——销子材料的许用剪应力, $[\tau]_P = 0.4\sigma_s$, MPa。

6.10.2.2 耳板厚度按式(60)计算。

$$\delta_c = \frac{F_T}{d_p [\sigma]_c} \dots\dots\dots (60)$$

式中: δ_c ——耳板厚度, mm;

d_p ——销子直径, mm;

$[\sigma]_c$ ——耳板材料的许用压应力, $[\sigma]_c = \sigma_s / 1.1$, MPa。

6.10.2.3 翼板厚度按式(61)计算。

$$\delta_a = \frac{\delta_c}{2} \cdot \frac{\sigma_s}{\sigma'_s} \dots\dots\dots (61)$$

式中: δ_a ——翼板厚度, mm;

δ_c ——见式(60), mm;

σ_s ——耳板材料的屈服点, MPa;

σ'_s ——翼板材料的屈服点, MPa。

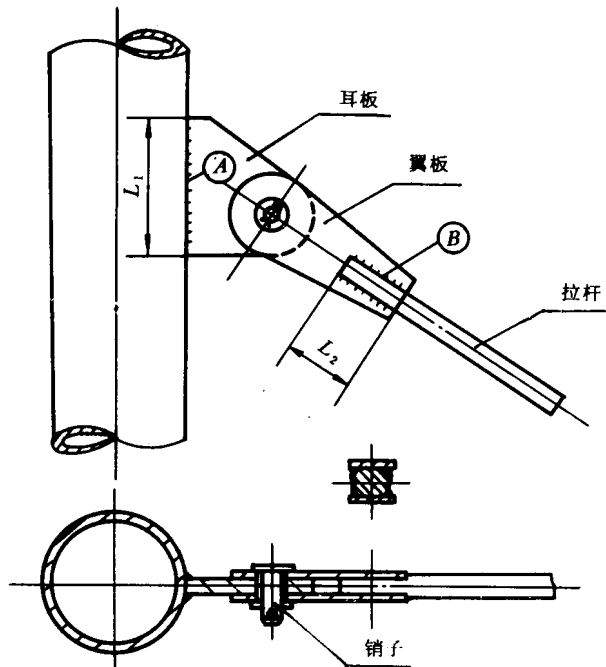


图 15

6.10.2.4 焊缝强度验算

a. 耳板与支柱连接的焊缝④(见图15)所承受的剪切应力按式(62)校核。

$$\frac{F_T}{1.41 L_1 S_1} < [\tau]_w \text{ MPa} \dots\dots\dots (62)$$

式中: L_1 ——④焊缝单边长度, mm;

S_1 ——④焊缝焊角尺寸, mm;

$[\tau]_w$ ——焊缝的许用剪切应力, MPa, 按式(63)计算。

$$[\tau]_w = 0.4 \sigma_s \phi_a \dots\dots\dots (63)$$

式中: σ_s ——支柱或耳板材料的屈服点, 取较小值, MPa。

b. 拉杆与翼板连接的焊缝② (见图15) 所承受的剪切应力按式 (64) 校核。

$$\frac{F_T}{2.82 L_2 S_2} < [\tau]_w \quad \text{..... (64)}$$

式中: L_2 ——②焊缝单边长度, mm;

S_2 ——②焊缝焊脚尺寸, mm;

$[\tau]_w$ ——焊缝的许用剪应力, MPa, 按式 (65) 计算。

$$[\tau]_w = 0.4 \sigma_s \phi_s \quad \text{..... (65)}$$

式中: σ_s ——拉杆或翼板材料的屈服点, MPa, 取较小值。

6.11 支柱与球壳连接最低点a的应力校核 (见图16)

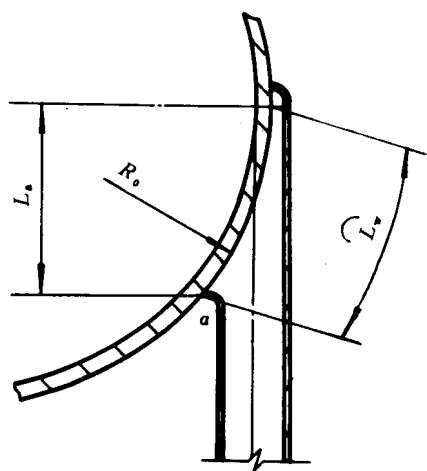


图 16

6.11.1 a点的剪切应力

操作状态下a点的剪切应力按式 (66) 计算。

$$\tau_0 = \frac{G_0 + (F_i)_{\max}}{2 L_w \delta_{ea}} \quad \text{..... (66)}$$

液压试验状态下a点的剪切应力按式 (67) 计算。

$$\tau_T = \frac{G_T + 0.3 (F_i)_{\max} \frac{F_w}{F_{\max}}}{2 L_w \delta_{ea}} \quad \text{..... (67)}$$

式中: $(F_i)_{\max}$ ——见6.7.1.4条, N。

6.11.2 a点的纬向应力

操作状态下a点的纬向应力按式 (68) 计算。

$$\sigma_{0l} = \frac{(p + p_{0a})(D_i + \delta_{ea})}{4 \delta_{ea} \phi} \quad \text{..... (68)}$$

液压试验状态下a点的纬向应力按式 (69) 计算。

$$\sigma_{Tl} = \frac{(p_T + p_{Ta})(D_i + \delta_{ea})}{4 \delta_{ea} \phi} \quad \text{..... (69)}$$

式中: p_{0a} ——操作状态下物料在a点的液柱静压力, MPa;

p_{Ta} ——液压试验状态下液体在a点的液柱静压力, MPa。

6.11.3 a点的应力校核

6.11.3.1 a 点的组合应力计算

操作状态下 a 点的组合应力按式(70)计算

$$\sigma_{0a} = \sigma_{01} + \tau_0 \quad \dots\dots\dots (70)$$

液压试验状态下 a 点的组合应力按式(71)计算

$$\sigma_{Ta} = \sigma_{T1} + \tau_T \quad \dots\dots\dots (71)$$

6.11.3.2 应力校核

a 点的组合应力应满足式(72)和式(73)的要求

$$\sigma_{0a} < [\sigma]^t \quad \dots\dots\dots (72)$$

$$\sigma_{Ta} < 0.9\sigma_s \quad \dots\dots\dots (73)$$

式中: σ_s ——试验温度下球壳材料的屈服点, MPa。

6.12 支柱与球壳连接焊缝的强度校核

支柱与球壳连接焊缝所承受的剪切应力按式(74)校核。

$$\tau_w = \frac{W}{1.41L_wS} < [\tau]_w \quad \text{MPa} \quad \dots\dots\dots (74)$$

式中: τ_w ——支柱与球壳连接焊缝所承受的剪切应力, MPa;

W ——取 $G_0 + (F_i)_{\max}$ 和 $G_T + 0.3(F_i)_{\max} - \frac{F_w}{F_{\max}}$ 两者中较大值, N;

S ——支柱与球壳连接焊缝焊角尺寸, mm;

$[\tau]_w$ ——焊缝许用剪切应力, MPa, 按式(75)计算。

$$[\tau]_w = 0.4\sigma_s\phi_a \quad \dots\dots\dots (75)$$

式中: σ_s ——支柱或球壳材料的屈服点, 取较小值, MPa。

7 制造

7.1 球壳板

7.1.1 球壳板的型式与尺寸应符合图样要求。

7.1.2 球壳板不得拼接且表面不允许存在裂纹、气泡、结疤、折叠和夹杂等缺陷。球壳板不得有分层。

7.1.3 球壳板实际厚度不得小于名义厚度减去钢板厚度负偏差。

7.1.4 曲率允许偏差

当球壳板弦长大于或等于2000mm时, 样板的弦长不得小于2000mm; 当球壳板弦长小于2000mm时, 样板的弦长不得小于球壳板的弦长。

样板与球壳板的间隙 e 不得大于3mm。如图17所示。

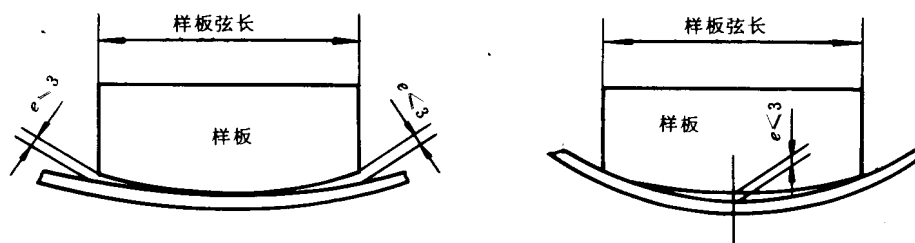


图 17

7.1.5 几何尺寸允许偏差 (见图18)

- a. 长度方向弦长允差不大于 ± 2.5 mm;
- b. 宽度方向弦长允差不大于 ± 2 mm;

- c. 对角线弦长允差不大于 ± 3 mm;
 d. 两条对角线应在同一平面上。用两直线对角测量时,两直线的垂直距离偏差不得大于5 mm。

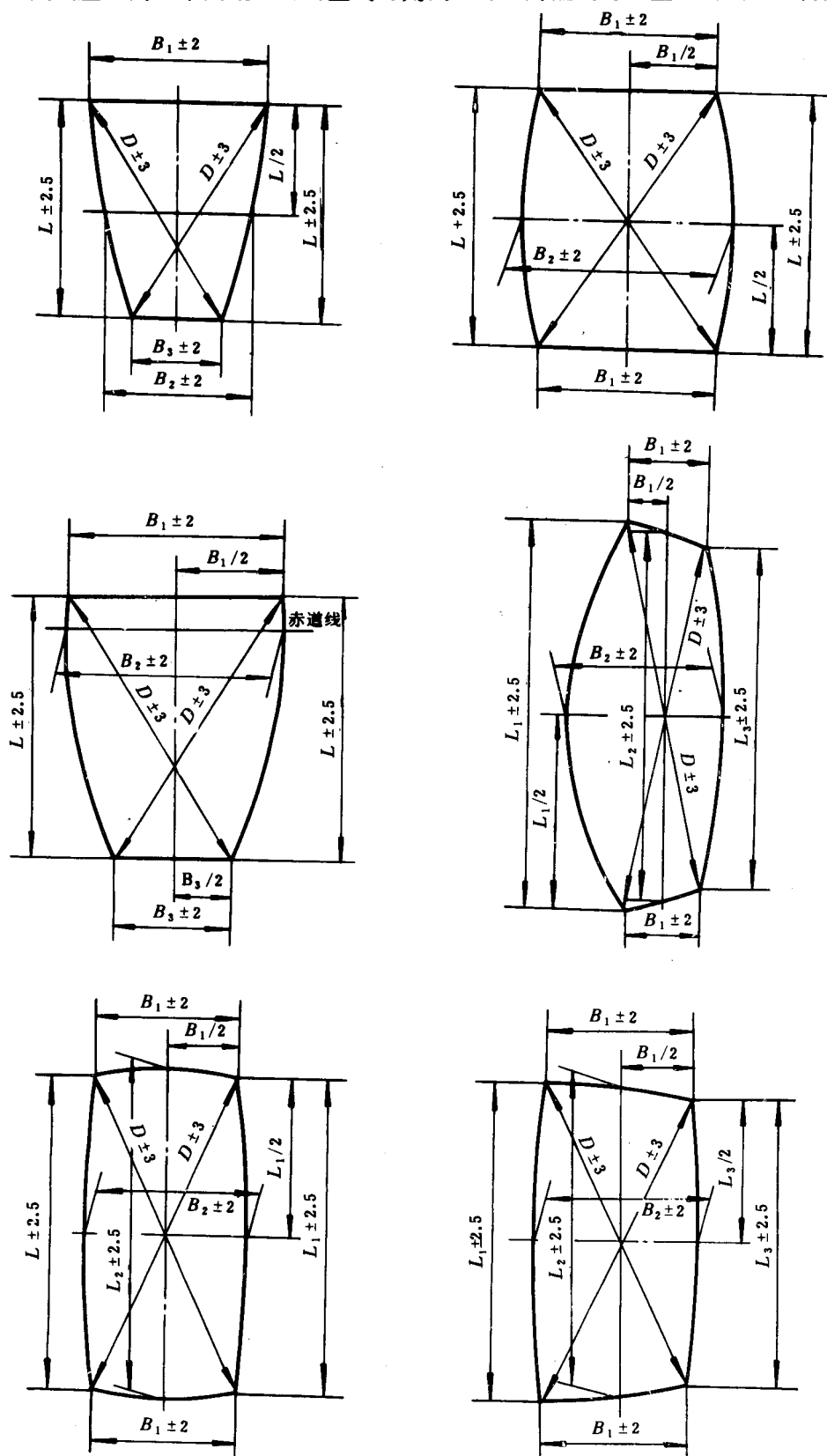


图 18

7.1.6 坡口

气割坡口表面应符合下列要求:

a. 坡口表面应平滑, 表面粗糙度 R_a 应小于或等于 $25\mu\text{m}$;

b. 平面度 B

当球壳板厚度 $\delta_n < 20\text{mm}$ 时, $B < 0.04\delta_n$;

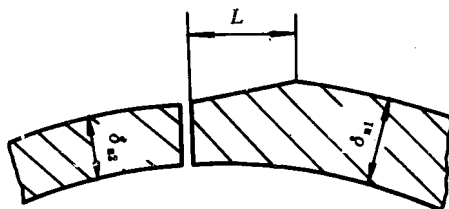
当球壳板厚度 $\delta_n > 20\text{mm}$ 时, $B < 0.025\delta_n$;

c. 熔渣与氧化皮应清除干净, 坡口表面不得有裂纹和分层等缺陷存在。若有缺陷时, 应修磨或焊补。焊补时, 应将缺陷彻底清除, 并经渗透探伤确认没有缺陷后方可焊补。焊补后应磨平, 使其保持原坡口的形状及尺寸;

d. 标准抗拉强度 $\sigma_b > 540\text{MPa}$ 钢材的气割坡口表面应进行磁粉或渗透探伤。

7.1.7 球壳板周边 100mm 的范围内应按 ZB J 74 003 的规定进行超声波探伤检查, 碳素钢球壳板的质量等级应以 IV 级为合格, 低合金钢球壳板应以 III 级为合格。

7.1.8 相邻两板的厚度差大于薄板厚度的 25%, 或大于等于 3mm 时, 厚板边缘应按图 19 削成斜边, 削边后的端部厚度应等于薄板厚度。



$$L > 3(\delta_{n1} - \delta_{n2})$$

图 19

7.1.9 热压成形的球壳板, 热压前应做热压工艺试验, 成型后球壳板的力学和弯曲性能须由热压工艺保证。

7.1.10 相同规格的球壳板应具有互换性。

7.1.11 球壳板应避免表面的机械损伤, 对严重的尖锐伤痕应按 8.7 条的规定进行修磨或焊补。

7.1.12 极板的焊接、焊缝质量、无损探伤、极板试板以及焊接工艺评定等应符合第 8 章的有关规定。

7.2 零部件组焊

7.2.1 分段支柱上段与赤道板的组焊应在制造单位进行。组焊后, 用弦长不小于 1000mm 的样板检查赤道板的曲率, 最大间隙不得大于 3mm 。

7.2.2 人孔、接管与极板的组焊应在制造单位进行, 焊后应符合下列要求:

a. 人孔、接管开孔位置及外伸高度的允许偏差不大于 5mm ;

b. 开孔球壳板周边 100mm 范围内及距开孔中心一倍开孔直径处, 用弦长不小于 1000mm 的样板检查极板曲率, 最大间隙不得大于 3mm 。

7.2.3 若球罐不进行焊后整体热处理, 制造单位应对下列组焊件进行消除应力热处理:

a. 与人孔、接管焊接的极板;

b. 当赤道板厚度大于 20mm , 且支柱与赤道板连接焊缝的焊脚尺寸大于 12mm 时, 与支柱焊接的赤道板。

7.2.4 焊缝的焊后消氢处理, 按 8.3.5.7 条的规定进行。

7.2.5 法兰面应垂直于接管中心线。安装接管法兰应保证法兰面的水平或垂直 (有特殊要求时, 应按图样要求), 其偏差不得超过法兰外径的 1% (法兰外径小于 100mm 时, 按 100mm 计算), 且不大于

3 mm。

7.2.6 支柱的直线度允许偏差不大于 $L/1000$ (L ——支柱长度, mm), 且不大于 10 mm。

7.2.7 分段支柱上段与赤道板组焊后的直线度允许偏差不大于 $L_1/1000$ (L_1 ——支柱上段长度, mm)。

7.2.8 支柱与底板的组焊应垂直, 其垂直度允许偏差不大于 2 mm, 如图 20 所示。

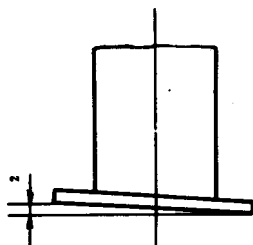


图 20

7.3 试板

7.3.1 制造单位提供的球壳焊接工艺评定试板不应少于 8 块, 试板的尺寸及要求应按国家标准《钢制压力容器焊接工艺评定》的有关规定。

7.3.2 制造单位提供的球罐产品焊接试板不应少于 4 块, 试板的材料必须是合格的, 且与球壳用材具有相同钢号、相同规格。试板的尺寸应按 GB 150 附录 G “产品焊接试板焊接接头的力学性能检验”的规定。

7.4 产品零部件的油漆、包装、运输

7.4.1 球壳板内、外表面应除锈, 并涂防锈漆两遍, 坡口表面及其内、外边缘 50 mm 的范围内涂可焊性防锈涂料。每块球壳板上的钢号、炉批号、球罐号标记, 应醒目地框出。

7.4.2 球壳板应采用钢结构托架包装, 球壳板的凸面朝上, 各板间垫以柔性材料。每个包装架的总重不宜超过 15 t。

7.4.3 试板宜装箱运输, 拉杆等杆件宜集束包扎。

7.4.4 所有加工体表面应涂防锈油脂, 拉杆螺纹应妥善保护。

7.4.5 球壳板、支柱、拉杆等零部件的油漆、包装、运输的其他要求按 JB 2536 的有关规定。

7.5 铭牌

制造单位必须提供一块标明下列内容的铭牌:

- a. 制造单位名称及制造许可证号码;
- b. 安装单位名称及安装许可证号码;
- c. 球罐名称;
- d. 球罐产品编号;
- e. 球罐图号或位号;
- f. 储存物料名称;
- g. 设计压力;
- h. 试验压力;
- i. 设计温度;
- j. 容器类别;
- k. 公称容积;
- l. 最大允许充装量;
- m. 球壳材料;

- n. 珠壳厚度;
- o. 制造日期。

8 组装、检验与验收

8.1 一般规定

8.1.1 球罐安装前应对基础尺寸进行检查(见图21), 其允许偏差应符合表19的规定。

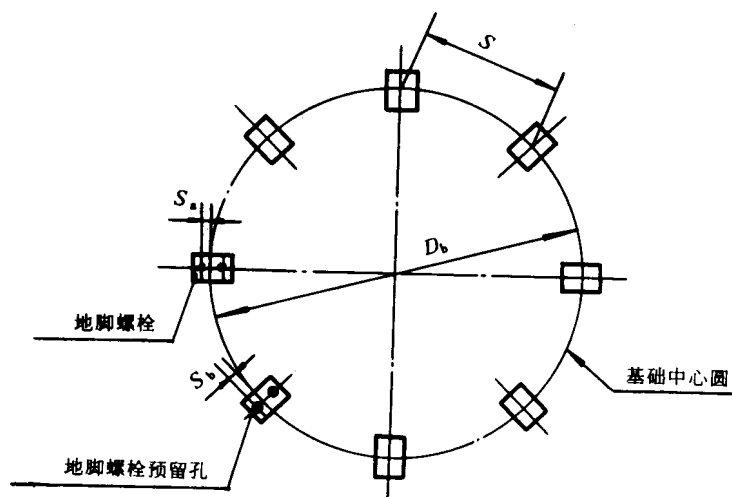


图 21

表 19 基础尺寸允许偏差

序 号	项 目		允 许 偏 差
1	基础中心圆直径 D_b	球罐公称容积 $< 1000 \text{ m}^3$	$\pm 5 \text{ mm}$
		球罐公称容积 $\geq 1000 \text{ m}^3$	$\pm D_b/2000 \text{ mm}$
2	基础方位		1°
3	相邻支柱基础中心距 S		$\pm 2 \text{ mm}$
4	地脚螺栓中心与基础中心圆的间距 S_0		$\pm 2 \text{ mm}$
5	地脚螺栓预留孔中心与基础中心圆的间距 S_0		$\pm 8 \text{ mm}$
6	基础标高	支柱基础上表面的标高	$-\frac{D_b}{1000}$, 且不低于 -15 mm
		相邻支柱基础的标高差	$< 4 \text{ mm}$
7	单个支柱基础上表面的平面度	地脚螺栓固定的基础	5 mm
		预埋地脚板固定的基础	2 mm

注: D_b 为球壳设计内直径, mm 。

8.1.2 球罐安装前, 应对球罐零部件进行下列复验:

- a. 零部件的数量;
- b. 球壳板的曲率、几何尺寸、球壳板和坡口表面质量应符合7.1条的要求;

c. 对球壳板应进行超声波探伤抽检, 抽检数量不得少于球壳板总数的20%, 且每带不少于两块, 上、下极不少于一块。其结果应符合4.2.6条的规定。若发现超标缺陷, 应加倍抽检, 若仍有超标缺陷, 则应100%检验;

d. 如对球壳板材质和厚度有怀疑时, 应进行复验。

8.1.3 底板与基础、拉杆与支柱的固定连接应在液压试验合格后进行。

8.2 组装

8.2.1 球壳组装要求

8.2.1.1 球壳不得采用机械方法强力组装。

8.2.1.2 对口间隙应按图样要求。

8.2.1.3 对口错边量 b 不得大于3mm, 且不大于 $1/4\delta_n$ (当两板厚度不等时, 不应计入两板厚度的差值), 见图22、图23。

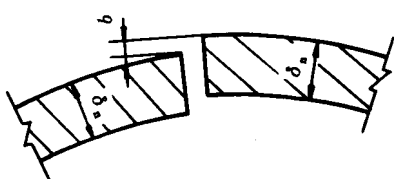


图 22

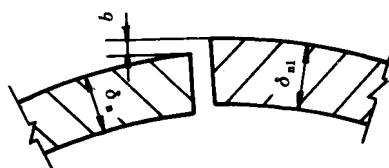


图 23

8.2.1.4 组装后, 用弦长 L 不小于1000mm的样板, 沿对接接头每500mm测量一点, 棱角 E (包括错边量) 不应大于7mm, 见图24。

E 值按下式计算:

$$E = A - B \quad \text{mm}$$

式中: A ——球壳与样板的最大径向距离, mm;

B ——球壳设计内半径或外半径与样板曲率半径的径向距离, mm。

$$B = |R - R_{\text{样板}}|$$

式中: R ——球壳的设计内半径或外半径, mm;

$R_{\text{样板}}$ ——样板的曲率半径, mm。

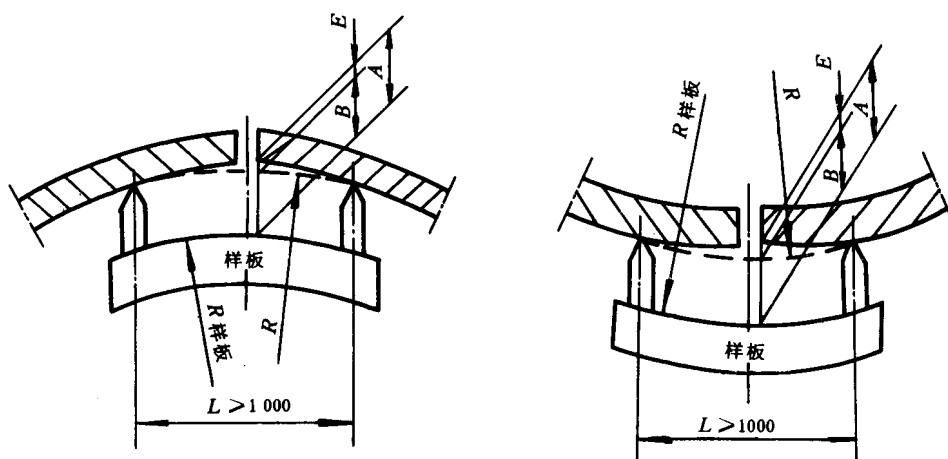


图 24

8.2.2 支柱安装找正后,在球罐径向和周向两个方向的垂直度允许偏差 Δ ($\Delta = |a_1 - a_2|$)应符合下列规定,见图25。

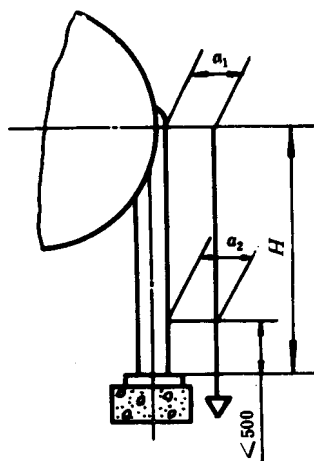


图 25

- a. 当支柱高度 H 小于或等于8 000 mm时, Δ 应小于或等于10 mm;
- b. 当支柱高度 H 大于8 000 mm时, Δ 应小于或等于 $\frac{1.5H}{1000}$, 且不大于15 mm。

8.2.3 可调式拉杆应对称均匀拉紧。

8.2.4 连接板(预焊件)应与球壳紧密贴合,并在热处理前与球壳相焊。若连接板与球壳的角焊缝是连续焊时,应在连接板最低部位留出通气缝隙。

8.3 焊接

8.3.1 施焊环境

当施焊环境出现下列任一情况,且无有效防护措施时,禁止施焊:

- a. 雨天及雪天;
- b. 风速超过8 m/s;
- c. 环境温度在 -5°C 以下;
- d. 相对湿度在90%以上。

注:焊接环境的温度和相对湿度应在距球罐表面500~1 000 mm处测得。

8.3.2 焊工资格

从事球罐焊接的焊工必须持有劳动部门颁发的锅炉压力容器焊工考试合格证书。焊工施焊的钢材种类、焊接方法和焊接位置等均应与焊工本人考试合格的项目相符。

8.3.3 焊接工艺评定

8.3.3.1 球罐焊接工艺评定应按国家标准《钢制压力容器焊接工艺评定》的规定进行,且应按立焊和横焊两种焊接位置分别评定。

8.3.3.2 焊接工艺评定前,应针对钢板的钢号、厚度、焊接方法及焊接材料,对试样进行裂纹试验,以确定预热温度。

8.3.3.3 裂纹试验应包括下列内容:

- a. 斜Y型坡口焊接裂纹试验按GB 4675.1进行,裂纹率应为零。
- b. Y型坡口焊接裂纹试验可参照GB 4675.1进行,裂纹率应为零。试验坡口应采用图26所示的型式。

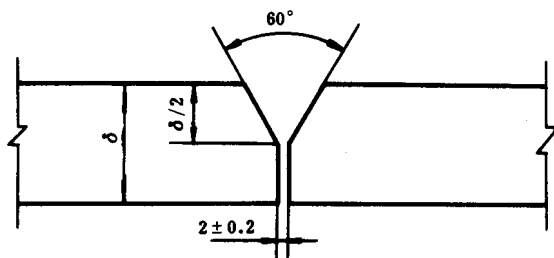


图 26

c. 当球壳板厚度大于25mm时, 还应做窗形拘束裂纹试验, 可参照附录B (参考件) 进行。

8.3.4 焊接要求

8.3.4.1 焊接材料的干燥

- 焊接材料的贮存库应保持干燥, 相对湿度不得大于60%。焊接材料使用前, 应进行烘干。
- 烘干后的焊条应保存在100~150℃的恒温箱中, 药皮应无脱落和明显裂纹。
- 焊条在保温筒内不宜超过4小时。超过后, 应按原烘干制度重新干燥。重复烘干次数不宜超过二次。

8.3.4.2 定位焊及工卡具焊接

- 焊接工艺以及对焊工的要求应与球壳焊接相同。
- 焊接要求预热的球壳, 在定位焊及工卡具焊接处, 至少应在150mm范围内进行预热。
- 定位焊缝的长度应不小于50mm, 引弧点和熄弧点应在坡口内。
- 工卡具的焊接, 引弧点和熄弧点应在工卡具焊道上。严禁在非焊接位置任意引弧和熄弧。
- 工卡具拆除时, 不得损伤球壳板。切除后应打磨平滑。

8.3.5 施焊

8.3.5.1 施焊前应将坡口表面和两侧至少20mm范围内的油污、水分及其他有害杂质清除干净。

8.3.5.2 焊件的预热应符合下列规定:

- 预热温度应遵循焊接工艺评定所确定的温度, 也可参照表20。

表 20 常用钢的预热温度

℃

钢 种 板厚 (mm)	20R	16MnR	15MnVR	15MnVNR
20	—	—	—	75~125
25	—	—	75~125	100~150
32	—	75~125	100~150	125~175
38	75~125	100~150	125~175	150~200
50	100~150	125~175	150~200	150~200

注: ① 拘束度高的部位 (如接管、人孔) 或环境气温低于5℃时, 应采用较高的预热温度, 扩大预热范围。

② 不同强度的钢相互焊接时, 应采用强度较高的钢所适用的预热温度。

③ 对不需预热的焊缝, 当焊件温度低于0℃时, 应在始焊处100mm范围内预热至15℃左右, 方可进行焊接。

④ 表中“—”表示不需预热。

b. 预热必须均匀, 预热宽度应为焊缝中心线两侧各取3倍板厚, 且不少于100mm。预热温度应

距焊缝中心线50mm处对称测量，每条焊缝测点不少于三对。

c. 预热的焊道，层间温度不应低于预热温度的下限。

8.3.5.3 焊接线能量

a. 焊接线能量按焊接工艺评定确定。

b. 对于材料标准抗拉强度 $\sigma_b > 540 \text{ MPa}$ 的钢材、厚度大于38mm的碳素钢，厚度大于25mm的低合金钢的焊接线能量，必须进行测定和严格控制。

8.3.5.4 焊道始端应采用后退起弧法，终端应将弧坑填满。多层焊的层间接头应错开。

8.3.5.5 双面对接焊缝，单侧焊接后应进行背面清根。用碳弧气刨清根后，应用砂轮修整刨槽，磨除渗碳层。材料标准抗拉强度 $\sigma_b > 540 \text{ MPa}$ 的钢材清根后须进行渗透探伤。

焊缝清根时应将定位焊的熔敷金属清除掉，清根后的坡口形状、宽窄应一致。

8.3.5.6 焊道因故中断焊接时，应根据工艺要求采取措施，以防产生裂纹。再行施焊前，确认无裂纹后，方可按原工艺要求继续焊接。

8.3.5.7 符合下列条件之一的焊缝，焊后须立即进行消氢处理：

- 厚度大于32mm，且材料标准抗拉强度 $\sigma_b > 540 \text{ MPa}$ 的球壳；
- 厚度大于38mm的低合金钢球壳；
- 嵌入式接管与球壳的对接焊缝；
- 焊接工艺评定确定需消氢处理者。

8.4 焊后尺寸检查

8.4.1 对接焊缝形成的棱角 E 应按8.2.1.4条的方法进行检查。 E 值不得大于10mm。

8.4.2 焊后球壳两极间的净距与球壳设计内直径之差和赤道截面的最大内直径与最小内直径之差均应小于球壳设计内直径的0.7%，且不大于80mm。

8.5 焊缝表面的形状尺寸及外观要求

8.5.1 焊缝表面不得有裂纹、咬边、气孔、弧坑和夹渣等缺陷，并不得保留有熔渣与飞溅物。

8.5.2 对接焊缝的余高（见图27）应符合表21的规定。

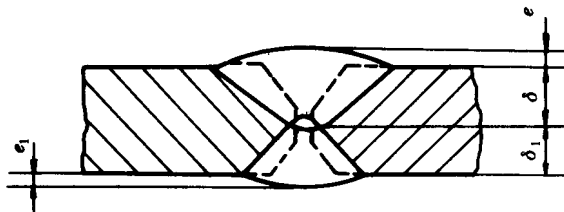


图 27

表 21

mm

焊 缝 深 度 $\delta (\delta_1)$	焊缝余高 $e (e_1)$	
	手 工 焊	自 动 焊
< 12	0 ~ 1.5	0 ~ 4
$12 < \delta < 25$	0 ~ 2.5	0 ~ 4
$25 < \delta < 50$	0 ~ 3	0 ~ 4
> 50	0 ~ 4	0 ~ 4

注：焊缝深度：对单面焊为母材厚度；对双面焊为坡口直边部分中点至母材表面的深度，两侧分别计算。

8.5.3 角焊缝的焊脚尺寸，在图样无规定时，取焊件中较薄者之厚度。补强圈的焊脚，当补强圈的厚

度大于等于 8 mm 时,其焊脚等于补强圈厚度的 70%,且不小于 8 mm。

8.5.4 角焊缝应有圆滑过渡至母材的几何形状。

8.6 无损探伤

8.6.1 从事球罐无损探伤人员,必须持有劳动部门颁发的锅炉,压力容器无损检测人员技术等级签定证书。取得 II 级以上证书的人员方可填写和签发检验报告。

8.6.2 焊缝表面的形状尺寸及外观检查合格后,方可进行无损探伤。

8.6.3 射线探伤与超声波探伤

8.6.3.1 球壳的对接焊缝(包括公称直径大于或等于 250 mm 的接管对接焊缝),凡符合下列条件之一者,应按图样规定的探伤方法,进行 100% 的射线或超声波探伤检查:

- a. 名义厚度 δ_n 大于 38 mm 的碳素钢和大于 30 mm 的 16MnR 钢制球罐;
- b. 名义厚度 δ_n 大于 25 mm 的 15MnVR 钢制球罐;
- c. 材料标准抗拉强度 $\sigma_b > 540 \text{ MPa}$ 的钢制球罐;
- d. 进行气压试验的球罐;
- e. 图样注明盛装易燃和毒性为极度或高度危害介质的球罐;
- f. 嵌入式接管与球壳连接的对接焊缝;
- g. 如必须在焊缝上开孔,则被开孔中心两侧各不少于 1.5 倍开孔直径范围内的焊缝;
- h. 凡被补强圈所覆盖的焊缝。

8.6.3.2 对于进行 100% 射线或超声波探伤检查的焊缝,是否需采用超声波或射线探伤进行复查,以及复查的长度,由设计者在图样上予以规定。

8.6.3.3 除 8.6.3.1 规定以外的对接焊缝,允许做局部探伤检查。探伤方法按图样规定。检查长度不得少于各条焊缝长度的 20%。局部探伤部位应包括全部 T 形接头及每个焊工所施焊的部分部位。

8.6.3.4 焊缝的射线探伤按 GB 3323 进行,其检查结果对 100% 探伤的对接焊缝,II 级为合格;对局部探伤的对接焊缝,III 级为合格。

8.6.3.5 焊缝的超声波探伤按 JB 1152 进行,其检查结果对 100% 探伤的对接焊缝,I 级为合格;对局部探伤的对接焊缝,II 级为合格。

8.6.3.6 有延迟裂纹倾向的钢材制造的球罐应在焊接结束至少经 24 h 后进行焊缝的射线探伤和超声波探伤。

8.6.4 磁粉探伤与渗透探伤

8.6.4.1 符合下列条件的部位应进行磁粉或渗透探伤检查:

- a. 图样注明有应力腐蚀的球罐及材料标准抗拉强度 $\sigma_b > 540 \text{ MPa}$ 的钢制球罐的所有焊缝表面、工卡具焊迹及缺陷修磨处;
- b. 嵌入式接管与球壳连接的对接焊缝表面;
- c. 焊补处的表面。

8.6.4.2 有延迟裂纹倾向的钢材制造的球罐应在焊接结束至少经 48 h 后进行磁粉探伤。

8.6.4.3 磁粉探伤前应打磨受检表面至露出金属光泽,并应使焊缝与母材平滑过渡。

8.6.4.4 磁粉探伤按 JB 3965 进行。

8.6.4.5 渗透探伤按 GB 150 附录 H “钢制压力容器渗透探伤”进行。

8.6.5 重复检查

8.6.5.1 经射线或超声波探伤的焊缝,如有不允许的缺陷,应在缺陷清除后焊补,并对该部位按原探伤方法重新检查,直至合格。

经局部探伤的焊缝,射线探伤或超声波探伤复查的焊缝,如发现有不允许的缺陷时,应在该焊工所焊焊缝缺陷的延伸部位加倍抽查。加倍抽查时如仍发现有不允许的缺陷,则应对该焊工所焊焊缝进行 100% 探伤检查。

8.6.5.2 磁粉探伤与渗透探伤发现的缺陷,应按8.7条的规定进行修磨或焊补,并对该部位按原探伤方法重新检查,直至合格。

8.7 修补

球罐在制造、运输和施工过程中产生的各种有害缺陷应进行修补。

8.7.1 修磨

球壳板表面和焊缝表面的缺陷及工卡具焊迹必须用砂轮修磨。修磨范围内的斜度至少为3:1。修磨后的球壳实际厚度不得小于计算厚度加腐蚀裕量。磨除深度应小于球壳名义厚度的5%,且不大于2mm。超过时,应进行焊补。

8.7.2 焊补

a. 对球壳表面缺陷进行焊补时,每处的焊补面积应在5000mm²以内。如有两处以上焊补时,任何两处的净距应大于50mm。每块球壳板上焊补面积总和必须小于该块球壳板面积的5%。补焊后的表面应修磨平滑、修磨范围内的斜度至少为3:1,且高度不大于1.5mm。

当球壳板表面焊补深度超过3mm时,还应进行超声波探伤。

坡口表面缺陷按7.1.6条修补。

b. 对焊缝表面缺陷进行焊补时,焊补长度应大于50mm。材料标准抗拉强度 $\sigma_b > 540 \text{ MPa}$ 的钢材焊缝焊补后,应在焊补焊道上加焊一道凸起的回火焊道。回火焊道焊完后,应磨去回火焊道多余的焊缝金属,使其与主体焊缝平缓过渡。

c. 对焊缝内部缺陷焊补时,清除的缺陷深度不得超过球壳板厚度的2/3。若清除到球壳板厚度的2/3处还残留缺陷时,应在该状态下焊补,然后在其背面再次清除缺陷,进行焊补。焊补长度应大于50mm。

当采用碳弧气刨清除缺陷时,应符合8.3.5.5条的规定。

d. 焊缝同一部位的焊补次数不宜超过两次。如超过两次,焊补前应经制造(安装)单位技术总负责人批准。焊补次数、部位和焊补情况应记入球罐质量证明书。

e. 焊补工艺应与球壳焊接工艺相同。

8.8 焊后整体热处理

8.8.1 符合下列情况之一的球罐应在压力试验之前进行焊后整体热处理:

- 图样要求进行焊后整体热处理者;
- 名义厚度大于34mm(若焊前预热100℃以上时,名义厚度大于38mm)的碳素钢制球壳;
- 名义厚度大于30mm(若焊前预热100℃以上时,名义厚度大于34mm)的16MnR钢制球壳;
- 名义厚度大于28mm(若焊前预热100℃以上时,名义厚度大于32mm)的15MnVR钢制球壳;
- 任意厚度的其他低合金钢;
- 图样注明有应力腐蚀的球罐;
- 图样注明盛装毒性为极度或高度危害介质的球罐。

8.8.2 热处理工艺

8.8.2.1 热处理温度应按图样要求或按焊接工艺评定报告确定,也可参照表22。

表 22 热处理温度

钢 号	热处理温度, °C
20 R	625 ± 25
16 MnR	625 ± 25
15MnVR	570 $\begin{smallmatrix} +25 \\ -20 \end{smallmatrix}$
15MnVNR	565 ± 15

8.8.2.2 热处理保温时间,按球壳厚度每25mm保温1h计算,且不少于1h。

8.8.2.3 升温至300℃以上时,升温速度宜控制在60~80℃/h。

8.8.2.4 降温时,降温速度宜控制在30~50℃/h,300℃以下自然冷却。

8.8.2.5 300℃以上升温 and 降温时,球壳表面上相邻两测温点的温差不得大于130℃。

8.8.3 保温要求

8.8.3.1 球罐的人孔、接管、连接板及从支柱与球壳连接焊缝的下端算起向下至少1m长度的支柱应进行保温。

8.8.3.2 热处理时,保温层外表温度应不高于60℃。

8.8.4 测温系统

8.8.4.1 测温点应均匀布置在球壳表面,相邻测温点的间距宜为4.5m。距人孔与球壳板环焊缝边缘200mm以内及产品焊接试板上,必须设测温点。

8.8.4.2 温度记录宜采用连续自动记录仪表。仪表精度应达到1%的要求。

8.8.5 柱脚移动

8.8.5.1 热处理前应在支柱底板下部设置移动装置。

8.8.5.2 热处理过程中,应监测柱脚位移,并按计算位移值及时调整柱脚位移。一般温度每变化100℃应调整一次。

8.8.5.3 热处理后,应测量并调整支柱垂直度,其允许偏差应符合8.2.2条的要求。

8.9 产品焊接试板

8.9.1 产品焊接试板的制备要求

8.9.1.1 试板应由施焊球壳的焊工,采用施焊球壳时相同的条件和相同的焊接工艺焊接。多焊工焊接的球壳,做焊接试板的焊工由安装单位的检验部门指定。

8.9.1.2 每台球罐应按施焊位置各做一块产品焊接试板。

8.9.1.3 若球罐进行焊后整体热处理,应将产品焊接试板对称布置在球壳赤道的外侧,并与球壳紧贴,与球罐一起进行热处理。

8.9.2 产品焊接试板的尺寸、试样、截取、试验方法、合格指标应按GB 150附录G的规定。

8.9.3 采用厚度大于25mm的20R钢板、厚度大于38mm的16MnR、15MnVR和15MnVNR钢板制造的球壳,当球罐的设计温度低于0℃时,其产品焊接试板的试样,除按8.9.2条的规定进行外,尚需按下列要求进行夏比(V型缺口)低温冲击试验。

8.9.3.1 试验温度为球罐的设计温度或按图样规定。

8.9.3.2 当冲击试验不合格时,允许按GB 150附录G的规定加倍取样进行复验。如果复验结果仍不合格时,则该球罐的产品焊接试板被判为不合格。

8.9.3.3 当产品焊接试板判为不合格时,允许将试板及其所代表的球罐重新进行热处理,然后按上述要求重新进行试验。

8.10 压力试验和气密性试验

8.10.1 球罐安装完工后,应按图样规定进行压力试验和气密性试验。

8.10.2 压力试验时必须在球罐的顶部和底部各设置一个量程相同并经过校正的压力表。选用压力表的量程为试验压力的2倍左右为宜,但不应低于1.5倍或高于4倍的试验压力。压力表的直径以不小于150mm为宜。试验压力以球罐顶部压力表读数为准。

8.10.3 球罐的开孔补强圈应在压力试验前通入0.4~0.5MPa的压缩空气检查焊缝质量。

8.10.4 液压试验

8.10.4.1 液压试验一般采用水,需要时也可采用不会导致发生危险的其他液体。

8.10.4.2 试验压力按3.9.1的规定。

8.10.4.3 试验温度

a. 试验时液体的温度应低于其闪点或沸点。

b. 碳素钢、16MnR和正火15MnVR钢制球罐液压试验时,液体温度不得低于5℃;其他低合金钢制球罐(不包括低温球罐),液压试验时液体温度不得低于15℃。如果由于钢材及板厚等因素造成材料无延性转变温度升高,则须相应提高试验液体温度。

8.10.4.4 试验要求

a. 试验时球罐顶部应设排气口。充液时应将球罐内的空气排尽。试验过程中,应保持球罐外表面干燥;

b. 试验时,压力应缓慢上升,升至试验压力的50%时,保持15min,然后对球罐的所有焊缝和连接部位进行渗漏检查,确认无渗漏后继续升压;

c. 压力升至试验压力的90%时,保持15min,再次进行渗漏检查,确认无渗漏后再升压;

d. 压力升至试验压力时,保持30min,然后将压力降至设计压力,进行检查,以无渗漏为合格;

e. 液压试验完毕后,应将液体排尽,用压缩空气将罐内吹干。排液时,严禁就地排放。

8.10.4.5 基础沉降要求

a. 球罐在充、放液过程中,应在下列过程对基础的沉降进行观察:

充液前;

充液高度到1/3球壳直径时;

充液高度到2/3球壳直径时;

充满液24h后;

放液后。

b. 每个支柱基础都应测定沉降量,各支柱基础应均匀沉降。放液后,基础沉降差不得大于 $D_b/1000$ (D_b 为基础中心圆直径, mm),相邻支柱基础沉降差不大于2mm。超过时,应采取措施处理。

8.10.5 气压试验

8.10.5.1 气压试验应有安全措施,并须经试验单位技术总负责人批准。试验时应由本单位安全部门监督检查。

8.10.5.2 气压试验所用气体应为干燥、洁净的空气、氮气或其他惰性气体。

8.10.5.3 试验压力按3.9.2条的规定。

8.10.5.4 气压试验时气体温度不得低于15℃。

8.10.5.5 试验要求

a. 试验时,压力应缓慢上升,升至试验压力的10%时,保持5min,然后对球罐的所有焊缝和连接部位进行泄漏检查,确认无泄漏后继续升压;

b. 压力升至试验压力的50%时,保持10min,以10%的试验压力为级差,逐级升压至试验压力,保持至少10min后,将压力降至设计压力进行检查,以无泄漏为合格。

8.10.6 气密性试验

8.10.6.1 气密性试验应在液压试验合格后进行。试验压力按3.10条的规定。

8.10.6.2 气密性试验所用气体应按设计图样的要求,对盛装易燃介质的球罐必须以氮气进行气密性试验。

8.10.6.3 试验用压力表和安全阀均应经过校验,对压力表的要求应符合8.10.2条的规定。

8.10.6.4 试验要求

a. 试验时,压力应缓慢上升,升至试验压力的50%时,保持10min,然后对球罐的所有焊缝和连接部位进行泄漏检查,确认无泄漏后继续升压;

b. 压力升至试验压力时,保持10min,进行泄漏检查,以无泄漏为合格。

8.10.6.5 已经做过气压试验,并经检查合格的球罐,可免做气密性试验。

8.11 竣工验收

球罐竣工后,安装单位应将3.2.4.3条规定的技术文件交建设单位。建设单位需会同安全监察机构或授权的检验机构按本标准及图样进行验收。

附录 A

低温球形储罐

(补充件)

A1 总则

A1.1 本附录适用于设计温度低于或等于 -20°C 的碳素钢和低合金钢制低温球形储罐(以下简称“低温球罐”)的设计、制造、组装、检验与验收。

A1.2 由于环境温度的影响,导致球壳的金属温度低于或等于 -20°C 时,也应遵循本附录。

注:环境温度系指球罐使用地区历年来“月平均最低气温”的最低值。“月平均最低气温”系按当月各天的最低气温相加后除以当月的天数。

A1.3 当球壳或其受压元件使用在“低温低应力工况”下,若其设计温度加 50°C 后,高于 -20°C 时,可不必遵循本附录。

注:“低温低应力工况”系指球壳或其受压元件的设计温度虽然低于或等于 -20°C ,但其薄膜应力小于或等于钢材标准常温屈服点的六分之一,且不大于 50MPa 的工况。

A1.4 对本附录未作规定者,还应符合本标准各有关章节的要求。

A2 材料

A2.1 钢材

A2.1.1 “低温球罐”受压元件用钢的使用温度下限与所要求的最低冲击功有关,其值不应低于第 4 章表 4、表 6、表 8 及表 11 中规定的最低冲击试验温度。

A2.1.2 直接与受压元件焊接的非受压元件用钢应符合下列要求:

- a. 承受较大载荷需做强度计算的非受压元件用钢,应有与受压元件相当的冲击韧性;
- b. 应是焊接性良好的钢材。

A2.1.3 钢材的超声波探伤、磁粉探伤,除下列要求者外,均按第 4 章的有关规定。

用于球壳的钢板厚度大于 20mm 时,应逐张进行超声波探伤,钢板超声波探伤按 ZB J74 003 规定的 III 级为合格。

A2.1.4 凡受压元件用钢均须按本附录有关规定,进行低温夏比(V 型缺口)冲击试验,但符合下列条件之一者可免做:

- a. 因钢材的尺寸限制,无法制备 $5\text{mm} \times 10\text{mm} \times 55\text{mm}$ 冲击试样者;
- b. 对无法制备 $5\text{mm} \times 10\text{mm} \times 55\text{mm}$ 冲击试验的碳素钢、碳锰钢,当其标准规定的最低含锰量与最高含碳量之比值符合表 A 1 之规定时,允许使用至表 A 1 中所列的最低使用温度。

表 A 1

钢材的锰碳比	允许使用温度, $^{\circ}\text{C}$	
	焊后状态使用	焊后热处理状态使用
锰碳比大于或等于 2.5 的碳素钢或碳锰钢	- 30	- 50
锰碳比大于或等于 4.5 的细晶粒碳锰钢	- 50	- 50

注:符合 A 1.3 条“低温低应力工况”时,可将表列允许使用温度降低 20°C 。

A2.1.5 钢材的冲击试验方法,应符合GB 4159的规定。冲击试样按GB 2106规定的10mm×10mm×55mm标准试样,若无法制备标准试样时,也可采用5mm×10mm×55mm小尺寸试样。试样的缺口应沿厚度方向(棒材沿径向)切取,并以3个试样为一组。

A2.1.6 钢材应按批进行冲击试验复验,其分批要求及试样截取按以下规定:

a. 钢板:每批钢板由同一牌号、同一炉罐号、同一厚度和同一热处理制度组成。每批钢板重量按厚度分类:6~16mm钢板应不大于15t;大于16mm钢板应不大于25t。每批取一组试样,试样方向为横向。

b. 钢管:每批钢管由同一牌号、同一炉罐号、同一规格和同一热处理制度组成。每批钢管按直径分类:外直径大于351mm的钢管每批不超过50根;外直径小于或等于351mm的钢管每批不超过200根。在每批中的任意两根钢管上各取一组试样。

取样位置应靠近钢管内壁,一般为纵向;对大直径厚壁管可沿切向取样,缺口应沿厚度方向切取。

c. 锻件:按照JB 755规定的取样数量和取样部位切取试样。

d. 钢棒:每批钢棒由同一牌号、同一炉罐号、同一尺寸、同炉热处理组成。在经最终热处理的每批钢棒中任选两根,各取一组试样。试样方向为纵向,试样的纵轴应尽量位于钢棒半径的 $\frac{1}{2}$ 处。

A2.1.7 “低温球罐”用钢的冲击试验温度须低于或等于球壳或其他受压元件的最低设计温度。当使用在“低温低应力工况”时,钢材的冲击试验温度须低于或等于最低设计温度加50℃(若加50℃后,高于-20℃时,按A1.3条有关规定)。钢材试验温度下的冲击功指标,按钢材的抗拉强度确定,具体要求须满足表A 2的规定。

表 A 2 低温夏比(V型缺口)冲击试验最低冲击功规定值

钢材标准的最低抗拉强度 σ_b , MPa	三个试样的冲击功平均值 A_{kv} , J	
	10mm×10mm×55mm	5mm×10mm×55mm
<450	18	9
>450~<515	20	10
>515~<655	27	14

注:① 试验温度下三个试样的冲击功平均值不得低于表A 2的规定,其中单个试样的冲击功可小于平均值,但不得小于平均值的70%。

② 抗拉强度大于或等于655 MPa的螺栓用钢的冲击功值按抗拉强度小于655 MPa钢材的要求。

A2.1.8 冲击试验结果不符合A2.1.7条要求时,允许按下列规定处理:

a. 三个试样的冲击功均低于表A 2的规定值,或其中的两个试样低于规定值的70%,则受验钢材判为不合格;

b. 除a条所述情况外,可在同批中再取一组试样进行复验,其六个试样的冲击功平均值不得低于表A 2的规定;六个试样的冲击功低于规定值的不得多于二个,其中低于规定值70%的只能有一个,否则受验钢材判为不合格;

c. 对按批试验判为不合格的钢材,可改做逐张(件)试验,或将该批钢材进行热处理,重新组批试验。

做逐张(件)试验还不合格的钢材,也可进行热处理后再验。

A2.2 焊接材料

A2.2.1 碳素钢、碳锰钢制球罐用焊材,应选用与母材成分和性能相同或相似的高韧性材料,也可选用低镍合金焊材。

A2.2.2 焊接材料的型号、牌号、技术要求、试验方法、检验规则、以及质量管理等，应符合相应标准的规定。

A2.2.3 焊条应按批进行药皮含水量或熔敷金属扩散氢含量的检验，其检验方法按相应的焊条标准或技术要求。

A2.2.4 如焊接材料冲击试验不合格时，可通过改变焊后热处理制度或调整焊接线能量后重复试验。

A3 设计

A3.1 低温球壳或其受压元件用材料的许用应力，按第4章中各相应材料在20℃时的许用应力选取，或按第3章3.7.1条和3.7.2条确定。

A3.2 球罐的结构设计要求均应有足够的柔性，需充分考虑以下问题：

- a. 结构应尽量简单，减少约束；
- b. 避免产生过大的温度梯度；
- c. 应尽量避免结构形状的突然变化，以减小局部应力过高；接管端部应圆滑过渡；
- d. 不应使用不连续的或点焊连接焊缝。

A3.3 球罐焊缝应采用全熔透焊缝型式。

A4 制造、组装、检验与验收

A4.1 加工与成形

A4.1.1 不做焊后整体热处理的球罐，不得采用锤击等强制手段进行整形或组装。不得在受压元件上刻划或敲打材料标记或焊工钢印等导致产生缺口效应的划痕。

A4.1.2 采用经过正火、正火加回火，或调质处理后的钢材制造的球壳板，宜采用冷成形或回火温度以下的温成形。采用温成形时，须避开钢材的回火脆性区。若在回火温度以上热成形时，须在施焊前或施焊后进行与母材相同或相类同的热处理。

A4.2 焊接

A4.2.1 “低温球罐”施焊前应按国家标准《压力容器焊接工艺评定》进行焊接工艺评定。焊缝和热影响区的低温夏比（V型缺口）冲击试验的取样方法和合格指标，按A2.1条中母材的要求确定，不得低于母材性能。

A4.2.2 “低温球罐”的焊接工艺规程，应按图样要求和评定合格的焊接工艺，并结合球罐结构特点，以及实践经验制订。施焊时，焊工和监检人员须严格执行焊接工艺规程。

A4.2.3 应严格控制焊接线能量。在焊接工艺评定所确认的范围内，选用较小的焊接线能量，多道施焊为宜。

A4.2.4 对接焊缝的焊缝余高，不得大于焊件厚度的10%，且不大于3mm，超高部分应予磨平。

A4.2.5 球壳对接焊缝应按焊接工艺评定要求立即进行消氢处理。

A4.3 焊后整体热处理

球壳板厚度大于或等于16mm的低温球罐应进行焊后整体热处理。

A4.4 产品焊接试板

A4.4.1 试板的尺寸、试样的截取、检验项目、试验方法，以及合格指标等，均按8.9条的规定。

A4.4.2 产品焊接试板，须做焊缝金属及热影响区的低温夏比（V型缺口）冲击试验，其冲击试验温度和合格指标按A2.1.7条对母材的要求。

A4.5 焊缝检验

A4.5.1 焊缝表面应符合A4.2.4和8.5.1、8.5.3、8.5.4条的要求，如不能确切判断无缺陷时，需对暴露于低温的焊接区全部进行磁粉或渗透探伤。

A4.5.2 低温球罐的对接焊缝凡符合下列条件之一者，须做100%射线或超声波探伤：

- a. 球罐设计温度低于 -40°C ；
- b. 球罐设计温度虽高于或等于 -40°C ，但焊件厚度大于25mm；
- c. 符合8.6.3.1条者。

A4.5.3 除 A4.5.2条规定者外，允许进行局部探伤检查。检查长度不得少于各条焊缝长度的50%。

A4.5.4 凡符合 A4.5.2 条规定做100%射线或超声波探伤的球罐，应对球罐的所有焊缝表面、工卡具焊迹及缺陷修磨、焊补处进行磁粉或渗透探伤。

A4.6 “低温球罐”的铭牌不能直接铆固在球壳上。

附录 B

窗形拘束裂纹试验

(参考件)

B1 窗形拘束裂纹试验试板(见图B1)，应与球壳板同材质、同厚度、同一坡口型式。

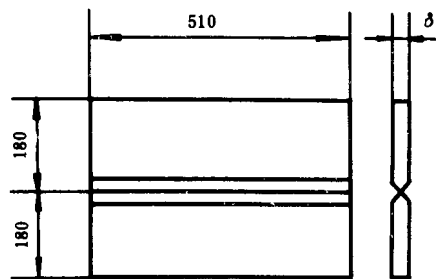


图 B1 试板

B2 试板用角焊缝固定在拘束板上(见图B2)。

B3 试板按球壳焊接工艺，以横焊位置双面施焊。

B4 试板焊后至少经72h拘束时间后，取下试板按图B3加工，并进行射线探伤和磁粉探伤，以无裂纹为合格。

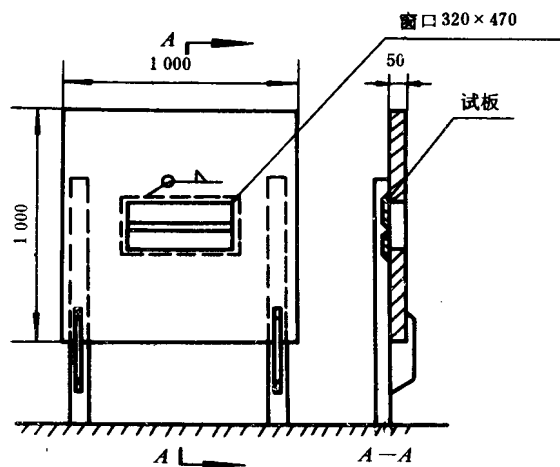


图 B2 窗形拘束板

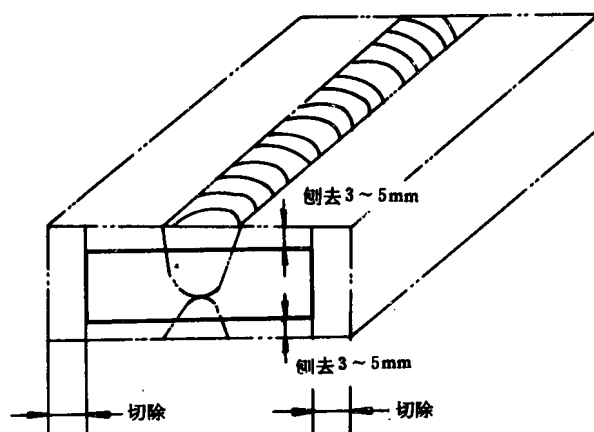


图 B3 试板机械切削

附录 C

球壳对接焊缝坡口型式及尺寸
(参考件)

坡 口 型 式	坡 口 尺 寸	
	自 动 焊	手 工 焊
	$\delta_n = 16 \sim 20 \text{ mm}$ $P = 7 \pm 1 \text{ mm}$ $b = 0^{+1} \text{ mm}$ $a = 60^\circ \pm 5^\circ$	$\delta_n = 6 \sim 18 \text{ mm}$ $P = 2 \pm 1 \text{ mm}$ $b = 2 \pm 2 \text{ mm}$ $a = 55^\circ \pm 5^\circ$
	$\delta_n = 20 \sim 28 \text{ mm}$ $H = 6 \pm 1 \text{ mm}$ $\delta_n = 30 \sim 40 \text{ mm}$ $H = 10 \pm 1 \text{ mm}$ $P = 6 \pm 1 \text{ mm}$ $b = 0^{+2} \text{ mm}$ $a = 60^\circ \pm 5^\circ$ $\beta = 60^\circ \pm 5^\circ$	$\delta_n = 20 \sim 50 \text{ mm}$ $H = \frac{1}{3} \delta_n \pm 1.5 \text{ mm}$ $P = 5 \pm 1 \text{ mm}$ $b = 2 \pm 2 \text{ mm}$ $a = 55^\circ \pm 5^\circ$ $\beta = 60^\circ \pm 5^\circ$

附录 D

球罐设计计算实例

(参考件)

D1 设计条件

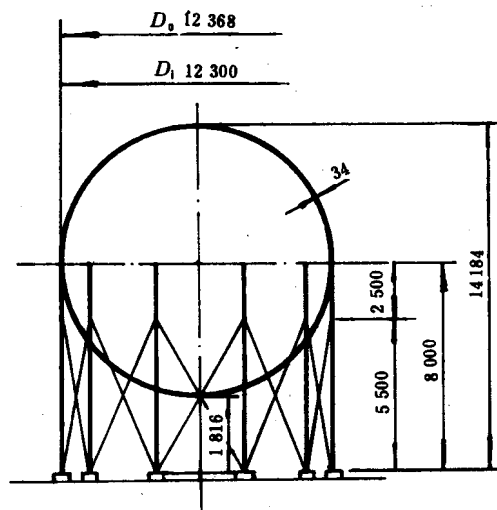


图 D1

设计压力: $p = 1.6 \text{ MPa}$

设计温度: 常温

水压试验压力: $p_T = 1.25p = 2.0 \text{ MPa}$

球壳内直径: $D_i = 12\,300 \text{ mm}$ ($1\,000 \text{ m}^3$)

储存物料: 液化石油气

充装系数: $K = 0.85$

地震设防烈度: 8 度

10m 高度处的基本风压值: $q_0 = 600 \text{ N/m}^2$

支柱数目: $n = 10$

支柱选用 $\phi 426 \times 9$ 钢管

拉杆选用 $\phi 50$ 圆钢

球罐建造场地: II 类场地土

D2 球壳计算

D2.1 计算压力 (见图 D 2)

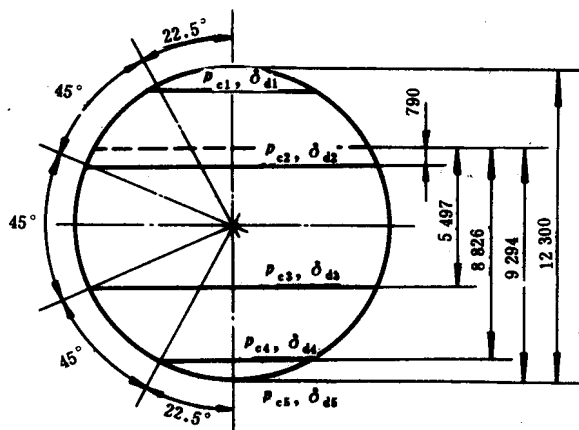


图 D 2

设计压力: $p = 1.6 \text{ MPa}$

球壳各带的物料液柱高度:

$$h_1 = 0$$

$$h_2 = 790 \text{ mm}$$

$$h_3 = 5497 \text{ mm}$$

$$h_4 = 8826 \text{ mm}$$

$$h_5 = 9294 \text{ mm}$$

物料密度: $\rho_2 = 480 \text{ kg/m}^3$

重力加速度: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

球壳各带的计算压力:

$$p_{ci} = p + h_i \rho_2 g \times 10^{-9}$$

$$p_{c1} = 1.6 + 0 = 1.6 \text{ MPa}$$

$$p_{c2} = 1.6 + 790 \times 480 \times 9.81 \times 10^{-9} = 1.604 \text{ MPa}$$

$$p_{c3} = 1.6 + 5497 \times 480 \times 9.81 \times 10^{-9} = 1.626 \text{ MPa}$$

$$p_{c4} = 1.6 + 8826 \times 480 \times 9.81 \times 10^{-9} = 1.642 \text{ MPa}$$

$$p_{c5} = 1.6 + 9294 \times 480 \times 9.81 \times 10^{-9} = 1.644 \text{ MPa}$$

D2.2 球壳各带的厚度计算

球壳内直径: $D_i = 12300 \text{ mm}$

设计温度下球壳材料16MnR的许用应力: $[\sigma]^t = 163 \text{ MPa}$

焊缝系数: $\phi = 1$

厚度附加量: $c = c_1 + c_2 = 1 + 1 = 2 \text{ mm}$

$$\delta_{d1} = \frac{p_{c1} D_i}{4 [\sigma]^t \phi - p_{c1}} + c = \frac{1.6 \times 12300}{4 \times 163 \times 1 - 1.6} + 2 = 32.26 \text{ mm}$$

$$\delta_{d2} = \frac{p_{c2} D_i}{4 [\sigma]^t \phi - p_{c2}} + c = \frac{1.604 \times 12300}{4 \times 163 \times 1 - 1.604} + 2 = 32.33 \text{ mm}$$

$$\delta_{d3} = \frac{p_{c3} D_i}{4 [\sigma]^t \phi - p_{c3}} + c = \frac{1.626 \times 12300}{4 \times 163 \times 1 - 1.626} + 2 = 32.75 \text{ mm}$$

$$\delta_{d4} = \frac{p_{c4} D_i}{4[\sigma]'\phi - p_{c4}} + c = \frac{1.642 \times 12300}{4 \times 163 \times 1 - 1.642} + 2 = 33.05 \text{ mm}$$

$$\delta_{d5} = \frac{p_{c5} D_i}{4[\sigma]'\phi - p_{c5}} + c = \frac{1.644 \times 12300}{4 \times 163 \times 1 - 1.644} + 2 = 33.09 \text{ mm}$$

取球壳名义厚度 $\delta_n = 34 \text{ mm}$ 。

D3 球罐质量计算

球壳平均直径: $D_{cp} = 12334 \text{ mm}$

球壳材料密度: $\rho_1 = 7850 \text{ kg/m}^3$

充装系数: $K = 0.85$;

水的密度: $\rho_3 = 1000 \text{ kg/m}^3$;

球壳外直径: $D_o = 12368 \text{ mm}$;

基本雪压值: $q = 600 \text{ N/m}^2$;

球面的积雪系数: $C_s = 0.4$;

球壳质量:

$$m_1 = \pi D_{cp}^2 \delta_r \rho_1 \times 10^{-9} = \pi \times 12334^2 \times 34 \times 7850 \times 10^{-9} \\ = 127560 \text{ kg}$$

物料质量:

$$m_2 = \frac{\pi}{6} D_i^3 \rho_2 K \times 10^{-9} = \frac{\pi}{6} \times 12300^3 \times 480 \times 0.85 \times 10^{-9} \\ = 397530 \text{ kg}$$

液压试验时液体的质量:

$$m_3 = \frac{\pi}{6} D_i^3 \rho_3 \times 10^{-9} = \frac{\pi}{6} \times 12300^3 \times 1000 \times 10^{-9} \\ = 974350 \text{ kg}$$

积雪质量:

$$m_4 = \frac{\pi}{4g} D_o^2 q C_s \times 10^{-6} = \frac{\pi}{4 \times 9.81} \times 12368^2 \times 600 \times 0.4 \times 10^{-6} \\ = 2940 \text{ kg}$$

保温层质量:

$$m_5 = 0 \text{ (无保温)}$$

支柱和拉杆的质量:

$$m_6 = 8500 \text{ kg}$$

附件质量:

$$m_7 = 6500 \text{ kg}$$

操作状态下的球罐质量:

$$m_0 = m_1 + m_2 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7 \\ = 127560 + 397530 + 2940 + 0 + 8500 + 6500 = 543030 \text{ kg}$$

液压试验状态下的球罐质量:

$$m_T = m_1 + m_3 + m_6 + m_7 \\ = 127560 + 974350 + 8500 + 6500 = 1116910 \text{ kg}$$

球罐最小质量:

$$m_{\min} = m_1 + m_6 + m_7 = 127560 + 8500 + 6500 = 142560 \text{ kg}$$

D4 地震载荷计算**D4.1 自振周期**

支柱底板底面至球壳中心的距离: $H_0 = 8\,000\text{ mm}$

支柱数目: $n = 10$

支柱材料10号钢的常温弹性模量: $E_s = 192 \times 10^3 \text{ MPa}$

支柱外直径: $d_o = 426\text{ mm}$

支柱内直径: $d_i = 408\text{ mm}$

支柱横截面的惯性矩:

$$I = \frac{\pi}{64} (d_o^4 - d_i^4) = \frac{\pi}{64} (426^4 - 408^4) = 2.564 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

支柱底板底面至拉杆中心线与支柱中心线交点处的距离: $l = 5\,500\text{ mm}$

拉杆影响系数:

$$\xi = 1 - \left(\frac{l}{H_0} \right)^2 \left(3 - \frac{2l}{H_0} \right) = 1 - \left(\frac{5\,500}{8\,000} \right)^2 \left(3 - \frac{2 \times 5\,500}{8\,000} \right) = 0.232$$

球罐的基本自振周期:

$$T = \pi \sqrt{\frac{m_0 H_0^3 \xi \times 10^{-3}}{3 n E_s I}} = \pi \sqrt{\frac{543\,030 \times 8\,000^3 \times 0.232 \times 10^{-3}}{3 \times 10 \times 192 \times 10^3 \times 2.564 \times 10^8}} \\ = 0.656\,6\text{ s}$$

D4.2 地震力

综合影响系数: $C_z = 0.45$

地震影响系数的最大值: $a_{\max} = 0.45$ (查表14)

对应于自振周期 T 的地震影响系数:

$$\alpha = \frac{0.3 a_{\max}}{T} = \frac{0.3 \times 0.45}{0.656\,6} = 0.205\,6;$$

球罐的水平地震力:

$$F_e = C_z a m_0 g = 0.45 \times 0.205\,6 \times 543\,030 \times 9.81 = 4.929 \times 10^5 \text{ N}.$$

D5 风载荷计算

风载体形系数: $K_1 = 0.4$

系数 ξ_1 : $\xi_1 = 1.494$ (按表15选取)

风振系数: $K_2 = 1 + 0.35 \xi_1 = 1 + 0.35 \times 1.494 = 1.523$

10m高度处的基本风压值: $q_0 = 600 \text{ N/m}^2$

支柱底板底面至球壳中心的距离: $H_0 = 8\text{ m}$

风压高度变化系数:

$$f_1 = \left[\frac{\ln H_0 - \ln 0.03}{\ln 10 - \ln 0.03} \right]^2 = \left[\frac{\ln 8 - \ln 0.03}{\ln 10 - \ln 0.03} \right]^2 = 0.925$$

球罐附件增大系数: $f_2 = 1.1$

球罐的水平风力:

$$F_w = \frac{\pi}{4} D_0^2 K_1 K_2 q_0 f_1 f_2 \times 10^{-6}$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 12\,368^2 \times 0.4 \times 1.523 \times 600 \times 0.925 \times 1.1 \times 10^{-5}$$

$$= 4.468 \times 10^4 \text{ N}$$

D6 弯矩计算

$(F_e + 0.25F_w)$ 与 F_w 的较大值 $F_{\max}$:

$$F_e + 0.25F_w = 4.929 \times 10^5 + 0.25 \times 4.468 \times 10^4 = 5.041 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_w = 4.468 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_{\max} = 5.041 \times 10^5 \text{ N}$$

力臂: $L = H_0 - l = 8\,000 - 5\,500 = 2\,500 \text{ mm}$

由水平地震力和水平风力引起的最大弯矩:

$$M_{\max} = F_{\max} L = 5.041 \times 10^5 \times 2\,500 = 1.26 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

D7 支柱计算

D7.1 单个支柱的垂直载荷

D7.1.1 重力载荷

操作状态下的重力载荷

$$G_0 = \frac{m_0 g}{n} = \frac{543\,030 \times 9.81}{10} = 5.327 \times 10^5 \text{ N}$$

液压试验状态下的重力载荷

$$G_T = \frac{m_T g}{n} = \frac{1\,116\,910 \times 9.81}{10} = 1.096 \times 10^6 \text{ N}$$

D7.1.2 支柱的最大垂直载荷

支柱中心圆半径: $R = R_i = 6\,150 \text{ mm}$;

最大弯矩对支柱产生的垂直载荷的最大值 (按表17计算):

$$(F_i)_{\max} = 0.200 \frac{M_{\max}}{R} = 0.200 \times \frac{1.26 \times 10^9}{6\,150} = 4.098 \times 10^4 \text{ N}$$

拉杆作用在支柱上的垂直载荷的最大值 (按表17计算):

$$(P_{i-j})_{\max} = 0.323 \frac{l F_{\max}}{R} = 0.323 \times \frac{5\,500 \times 5.041 \times 10^5}{6\,150}$$

$$= 1.459 \times 10^5 \text{ N}$$

以上两力之和的最大值 (按表17计算):

$$(F_i + P_{i-j})_{\max} = 0.117 \frac{M_{\max}}{R} + 0.307 \frac{l F_{\max}}{R}$$

$$= 0.117 \times \frac{1.26 \times 10^9}{6\,150} + 0.307 \times \frac{5\,500 \times 5.041 \times 10^5}{6\,150}$$

$$= 1.629 \times 10^5 \text{ N}$$

D7.2 组合载荷

操作状态下支柱的最大垂直载荷:

$$W_0 = G_0 + (F_i + P_{i-j})_{\max} = 5.327 \times 10^5 + 1.629 \times 10^5 = 6.956 \times 10^5 \text{ N}$$

液压试验状态下支柱的最大垂直载荷:

$$W_T = G_T + 0.3 (F_i + P_{i-j})_{\max} \frac{F_w}{F_{\max}} = 1.096 \times 10^6 + 0.3 \times 1.629 \times 10^5 \times \frac{4.468 \times 10^4}{5.041 \times 10^5}$$

$$= 1.100 \times 10^6 \text{ N}。$$

D7.3 单个支柱弯矩**D7.3.1 偏心弯矩**

操作状态下赤道线的液柱高度: $h_{0e} = 3\,144\text{ mm}$;

液压试验状态下赤道线的液柱高度: $h_{Te} = 6\,150\text{ mm}$;

操作状态下物料在赤道线的液柱静压力:

$$p_{0e} = h_{0e} \rho_2 g \times 10^{-9} = 3\,144 \times 480 \times 9.81 \times 10^{-9} = 0.015\text{ MPa};$$

液压试验状态下液体在赤道线的液柱静压力:

$$p_{Te} = h_{Te} \rho_3 g \times 10^{-9} = 6\,150 \times 1000 \times 9.81 \times 10^{-9} = 0.06\text{ MPa};$$

球壳的有效厚度: $\delta_e = \delta_n \quad c = 34 - 2 = 32\text{ mm}$;

操作状态下物料在球壳赤道线的薄膜应力:

$$\sigma_{0e} = \frac{(p + p_{0e})(D_i + \delta_e)}{4\delta_e\phi} = \frac{(1.6 + 0.015) \times (12\,300 + 32)}{4 \times 32 \times 1} = 155.6\text{ MPa};$$

液压试验状态下液体在球壳赤道线的薄膜应力:

$$\sigma_{Te} = \frac{(p_T + p_{Te})(D_i + \delta_e)}{4\delta_e\phi} = \frac{(2.0 + 0.06) \times (12\,300 + 32)}{4 \times 32 \times 1} = 198.5\text{ MPa};$$

球壳内半径: $R_i = 6\,150\text{ mm}$

球壳材料的泊松比: $\mu = 0.3$

球壳材料16MnR的弹性模量: $E = 206 \times 10^3\text{ MPa}$;

操作状态下支柱的偏心弯矩:

$$M_{01} = \frac{\sigma_{0e} R_i W_0}{E} (1 - \mu) = \frac{155.6 \times 6\,150 \times 6.956 \times 10^5}{206 \times 10^3} \times (1 - 0.3) \\ = 2.262 \times 10^6\text{ N}\cdot\text{mm};$$

液压试验状态下支柱的偏心弯矩:

$$M_{T1} = \frac{\sigma_{Te} R_i W_T}{E} (1 - \mu) = \frac{198.5 \times 6\,150 \times 1.100 \times 10^6}{206 \times 10^3} \times (1 - 0.3) \\ = 4.563 \times 10^6\text{ N}\cdot\text{mm}$$

D7.3.2 附加弯矩

操作状态下支柱的附加弯矩:

$$M_{02} = \frac{6 E_s I \sigma_{0e} R_i}{H_0^2 E} (1 - \mu) = \frac{6 \times 192 \times 10^3 \times 2.564 \times 10^8 \times 155.6 \times 6\,150}{8\,000^2 \times 206 \times 10^3} \times (1 - 0.3) \\ = 1.501 \times 10^7\text{ N}\cdot\text{mm}$$

液压试验状态下支柱的附加弯矩:

$$M_{T2} = \frac{6 E_s I \sigma_{Te} R_i}{H_0^2 E} (1 - \mu) = \frac{6 \times 192 \times 10^3 \times 2.564 \times 10^8 \times 198.5 \times 6\,150}{8\,000^2 \times 206 \times 10^3} \times (1 - 0.3) \\ = 1.915 \times 10^7\text{ N}\cdot\text{mm}$$

D7.3.3 总弯矩

操作状态下支柱的总弯矩:

$$M_0 = M_{01} + M_{02} = 2.262 \times 10^6 + 1.501 \times 10^7 = 1.727 \times 10^7\text{ N}\cdot\text{mm}$$

液压试验状态下支柱的总弯矩:

$$M_T = M_{T1} + M_{T2} = 4.563 \times 10^6 + 1.915 \times 10^7 = 2.371 \times 10^7\text{ N}\cdot\text{mm}$$

D7.4 支柱稳定性校核**D7.4.1 支柱的偏心率计算**

单个支柱的横截面积:

$$A = \frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2) = \frac{\pi}{4} (426^2 - 408^2) = 11\,790 \text{ mm}^2$$

单个支柱的截面系数:

$$Z = \frac{\pi (d_o^4 - d_i^4)}{32 d_o} = \frac{\pi (426^4 - 408^4)}{32 \times 426} = 1.204 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

操作状态下支柱的偏心率:

$$\varepsilon_o = \frac{M_o A}{W_o Z} = \frac{1.727 \times 10^7 \times 11\,790}{6.956 \times 10^5 \times 1.204 \times 10^6} = 0.243$$

液压试验状态下支柱的偏心率

$$\varepsilon_T = \frac{M_T A}{W_T Z} = \frac{2.371 \times 10^7 \times 11\,790}{1.100 \times 10^6 \times 1.204 \times 10^6} = 0.211$$

D7.4.2 稳定性校核

计算长度系数: $K_3 = 1$;

支柱的惯性半径:

$$r_i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{2.564 \times 10^8}{11\,790}} = 147.5 \text{ mm}$$

支柱长细比:

$$\lambda = \frac{K_3 H_o}{r_i} = \frac{1 \times 8\,000}{147.5} = 54.24$$

操作状态下偏心受压支柱的稳定系数, 查表18:

$$\phi_{op} = 0.723\,6$$

液压试验状态下偏心受压支柱的稳定系数, 查表18:

$$\phi_{TP} = 0.741\,2$$

支柱材料: 10, $\sigma_s = 205 \text{ MPa}$

支柱材料的许用应力:

$$[\sigma]_c = \frac{\sigma_s}{1.5} = \frac{205}{1.5} = 137 \text{ MPa}$$

操作状态下支柱的稳定性校核:

$$\frac{W_o}{A \phi_{op}} = \frac{6.956 \times 10^5}{11\,790 \times 0.723\,6} = 81.5 \text{ MPa} < [\sigma]_c;$$

液压试验状态下支柱的稳定性校核:

$$\frac{W_T}{A \phi_{TP}} = \frac{1.100 \times 10^6}{11\,790 \times 0.741\,2} = 126 \text{ MPa} < [\sigma]_c;$$

则通过。

D8 地脚螺栓计算

D8.1 拉杆作用在支柱上的水平力

拉杆和支柱间的夹角:

$$\beta = \arctg \frac{3\,801}{5\,500} = 34.6^\circ$$

拉杆作用在支柱上的水平力:

$$F_c = (P_{i-j})_{\max} \lg \beta = 1.459 \times 10^5 \times \lg 34.6^\circ = 1.006 \times 10^5 \text{ N}$$

D8.2 支柱底板与基础的摩擦力

支柱底板与基础的摩擦系数: $f_s = 0.4$

支柱底板与基础的摩擦力:

$$F_s = f_s \frac{m \sin g}{n} = 0.4 \times \frac{142\,560 \times 9.81}{10} = 5.594 \times 10^4 \text{ N}$$

D8.3 地脚螺栓

因 $F_s < F_c$, 球罐必须设置地脚螺栓。

每个支柱上的地脚螺栓个数: $n_d = 2$

地脚螺栓材料: A3 $\sigma_s = 235 \text{ MPa}$

地脚螺栓材料的许用剪切应力:

$$[\tau]_B = 0.4 \sigma_s = 0.4 \times 235 = 94 \text{ MPa}$$

地脚螺栓的腐蚀裕量: $C_B = 3 \text{ mm}$

地脚螺栓的螺纹小径:

$$d_B = 1.13 \sqrt{\frac{F_c - F_s}{n_d [\tau]_B}} + C_B = 1.13 \sqrt{\frac{1.006 \times 10^5 - 5.594 \times 10^4}{2 \times 94}} + 3$$

$$= 21 \text{ mm}$$

选取 M30 的地脚螺栓。

D9 支柱底板

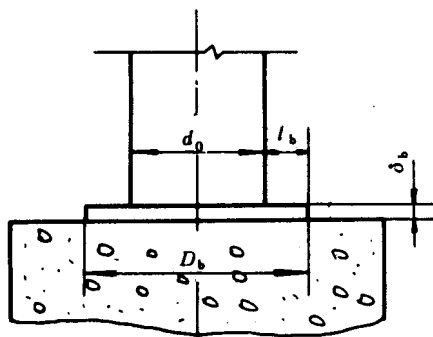


图 D3

D9.1 支柱底板直径

基础采用钢筋混凝土, 其许用压应力:

$$[\sigma]_{bc} = 3.0 \text{ MPa},$$

地脚螺栓直径: $d = 30 \text{ mm}$,

支柱底板直径:

$$D_{b1} = 1.13 \sqrt{\frac{W_{max}}{[\sigma]_{bc}}} = 1.13 \sqrt{\frac{1.100 \times 10^6}{3.0}} = 684 \text{ mm}$$

$$D_{b2} = (8 \sim 10) d + d_o = (8 \sim 10) \times 30 + 426 = 666 \sim 726 \text{ mm}$$

选取底板直径 $D_b = 700 \text{ mm}$

D9.2 底板厚度

底板的压应力:

$$\sigma_{bc} = \frac{4 W_{\max}}{\pi D_b^2} = \frac{4 \times 1.100 \times 10^6}{\pi \times 700^2} = 2.86 \text{ MPa}$$

底板外边缘至支柱外表面的距离: $l_b = \frac{700 - 426}{2} = 137 \text{ mm}$

底板材料: A3, $\sigma_s = 225 \text{ MPa}$

底板材料的许用弯曲应力: $[\sigma]_b = \frac{\sigma_s}{1.5} = \frac{225}{1.5} = 150 \text{ MPa}$

底板的腐蚀裕量: $C_b = 3 \text{ mm}$

底板厚度:

$$\delta_b = \sqrt{\frac{3 \sigma_{bc} l_b^2}{[\sigma]_b}} + C_b = \sqrt{\frac{3 \times 2.86 \times 137^2}{150}} + 3 = 36 \text{ mm}$$

选取底板厚度 $\delta_b = 40 \text{ mm}$

D10 拉杆计算

D10.1 拉杆螺纹小径的计算

拉杆的最大拉力:

$$F_T = \frac{(P_{i-j})_{\max}}{\cos \beta} = \frac{1.459 \times 10^5}{\cos 34.6^\circ} = 1.772 \times 10^5 \text{ N}$$

拉杆材料: A3, $\sigma_s = 225 \text{ MPa}$

拉杆材料的许用应力: $[\sigma]_T = \frac{\sigma_s}{1.5} = \frac{225}{1.5} = 150 \text{ MPa}$

拉杆的腐蚀裕量: $C_T = 2 \text{ mm}$

拉杆螺纹小径:

$$d_T = 1.13 \sqrt{\frac{F_T}{[\sigma]_T}} + C_T = 1.13 \sqrt{\frac{1.772 \times 10^5}{150}} + 2 = 41 \text{ mm}$$

选取拉杆的螺纹公称直径为 M48

D10.2 拉杆连接部位的计算

D10.2.1 销子直径

销子材料: 35, $\sigma_s = 295 \text{ MPa}$

销子材料的许用剪切应力:

$$[\tau]_P = 0.4 \sigma_s = 0.4 \times 295 = 118 \text{ MPa}$$

销子直径:

$$d_P = 0.8 \sqrt{\frac{F_T}{[\tau]_P}} = 0.8 \sqrt{\frac{1.772 \times 10^5}{118}} = 31 \text{ mm}$$

选取销子直径 $d_P = 36 \text{ mm}$

D10.2.2 耳板厚度

耳板材料: A3, $\sigma_s = 225 \text{ MPa}$

耳板材料的许用压应力:

$$[\sigma]_c = \frac{\sigma_s}{1.1} = \frac{225}{1.1} = 205 \text{ MPa}$$

耳板厚度:

$$\delta_c = \frac{F_T}{d_P [\sigma]_c} = \frac{1.772 \times 10^5}{36 \times 205} = 24 \text{ mm}$$

选取耳板厚度为 28 mm。

D10.2.3 翼板厚度

翼板材料: A3 $\sigma_s' = 235 \text{ MPa}$

翼板厚度:

$$\delta_a = \frac{\delta_c \sigma_s}{2 \sigma_s'} = \frac{24 \times 225}{2 \times 235} = 11.5 \text{ mm}$$

选取翼板厚度为 14 mm。

D10.2.4 焊缝强度验算

④ 焊缝单边长度: $L_1 = 350 \text{ mm}$

④ 焊缝焊角尺寸: $S_1 = 9 \text{ mm}$

支柱或耳板材料屈服点的较小值: $\sigma_s = 205 \text{ MPa}$

角焊缝系数: $\phi_a = 0.6$;

焊缝许用剪切应力:

$$[\tau]_w = 0.4 \sigma_s \phi_a = 0.4 \times 205 \times 0.6 = 49 \text{ MPa}$$

耳板与支柱连接焊缝④的剪切应力校核:

$$\frac{F_T}{1.41 L_1 S_1} = \frac{1.772 \times 10^5}{1.41 \times 350 \times 9} = 40 \text{ MPa} < [\tau]_w$$

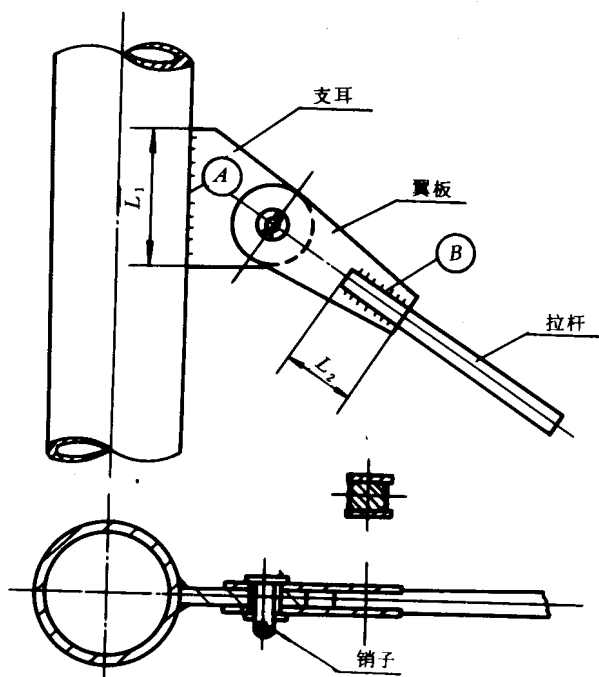


图 D4

⑧焊缝单边长度: $L_2 = 200\text{mm}$

⑧焊缝焊角尺寸: $S_2 = 10\text{mm}$

拉杆或翼板材料屈服点的较小值: $\sigma_s = 225\text{MPa}$

焊缝许用剪切应力:

$$[\tau]_w = 0.4\sigma_s \phi_s = 0.4 \times 225 \times 0.6 = 54\text{MPa}$$

拉杆与翼板连接焊缝⑧的剪切应力校核:

$$\frac{F_T}{2.82 L_2 S_2} = \frac{1.772 \times 10^5}{2.82 \times 200 \times 10} = 31.4\text{MPa} < [\tau]_w$$

D11 支柱与球壳连接最低点a的应力校核

D11.1 a点的剪切应力

支柱与球壳连接焊缝单边的弧长: $L_w = 2037\text{mm}$

球壳a点处的有效厚度: $\delta_{ea} = 32\text{mm}$

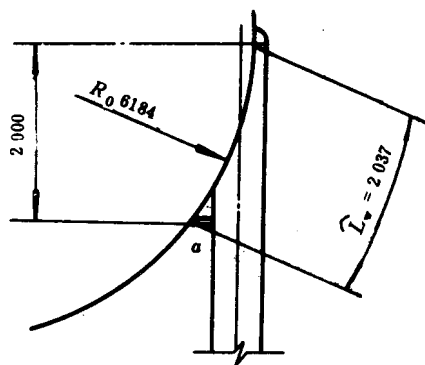


图 D5

操作状态下a点的剪切应力:

$$\tau_0 = \frac{G_0 + (F_i)_{\max}}{2 L_w \delta_{ea}} = \frac{5.327 \times 10^5 + 4.098 \times 10^4}{2 \times 2037 \times 32} = 4.4\text{MPa}$$

液压试验状态下a点的剪切应力:

$$\tau_T = \frac{G_T + 0.3 (F_i)_{\max} \frac{F_w}{F_{\max}}}{2 L_w \delta_{ea}} = \frac{1.096 \times 10^6 + 0.3 \times 4.098 \times 10^4 \times \frac{4.468 \times 10^4}{5.041 \times 10^5}}{2 \times 2037 \times 32} = 8.4\text{MPa}$$

D11.2 a点的纬向应力

操作状态下a点的液柱高度: $h_{0a} = 5144\text{mm}$

液压试验状态下a点的液柱高度: $h_{Ta} = 8150\text{mm}$

操作状态下物料在a点的液柱静压力:

$$p_{0a} = h_{0a} \rho_2 g \times 10^{-9} = 5144 \times 480 \times 9.81 \times 10^{-9} = 0.024\text{MPa}$$

液压试验状态下液体在a点的液柱静压力:

$$p_{Ta} = h_{Ta} \rho_3 g \times 10^{-9} = 8150 \times 1000 \times 9.81 \times 10^{-9} = 0.08\text{MPa}$$

操作状态下a点的纬向应力:

$$\sigma_{01} = \frac{(p + p_{0a})(D_i + \delta_{ea})}{4\delta_{ea}\phi} = \frac{(1.6 + 0.024) \times (12\,300 + 32)}{4 \times 32 \times 1} \\ = 156.5 \text{ MPa};$$

液压试验状态下 a 点的纬向应力:

$$\sigma_{T1} = \frac{(p_T + p_{Ta})(D_i + \delta_{ea})}{4\delta_{ea}\phi} = \frac{(2.0 + 0.08)(12\,300 + 32)}{4 \times 32 \times 1} \\ = 200.4 \text{ MPa}$$

D11.3 a 点的应力校核

操作状态下 a 点的组合应力:

$$\sigma_{0a} = \sigma_{01} + \tau_0 = 156.5 + 4.4 = 160.9 \text{ MPa}$$

液压试验状态下 a 点的组合应力:

$$\sigma_{Ta} = \sigma_{T1} + \tau_T = 200.4 + 8.4 = 208.8 \text{ MPa}$$

应力校核:

$$\sigma_{0a} = 160.9 \text{ MPa} < [\sigma]' = 163 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Ta} = 208.8 \text{ MPa} < 0.9\sigma_s = 0.9 \times 305 = 274.5 \text{ MPa}$$

则通过

D12 支柱与球壳连接焊缝的强度校核

$$G_0 + (F_i)_{\max} \text{ 和 } G_T + 0.3(F_i)_{\max} \frac{F_w}{F_{\max}} \text{ 两者中的较大值:}$$

$$G_0 + (F_i)_{\max} = 5.327 \times 10^5 + 4.098 \times 10^4 = 5.737 \times 10^5 \text{ N}$$

$$G_T + 0.3(F_i)_{\max} \frac{F_w}{F_{\max}} = 1.096 \times 10^6 + 0.3 \times 4.098 \times 10^4 \times \frac{4.468 \times 10^4}{5.041 \times 10^5} = 1.097 \times 10^6 \text{ N}$$

$$W = G_T + 0.3(F_i)_{\max} \frac{F_w}{F_{\max}} = 1.097 \times 10^6 \text{ N}$$

支柱与球壳连接焊缝焊角尺寸: $S = 9 \text{ mm}$

支柱与球壳连接焊缝的剪切应力:

$$\tau_w = \frac{W}{1.41L_wS} = \frac{1.097 \times 10^6}{1.41 \times 2\,037 \times 9} = 42.4 \text{ MPa}$$

支柱或球壳材料屈服点的较小值: $\sigma_s = 205 \text{ MPa}$

焊缝的许用剪切应力:

$$[\tau]_w = 0.4\sigma_s\phi_a = 0.4 \times 205 \times 0.6 = 49 \text{ MPa}$$

应力校核:

$$\tau_w = 42.4 \text{ MPa} < [\tau]_w \text{ 则通过。}$$

附加说明:

本标准由全国压力容器标准化技术委员会提出并归口。

本标准由机械电子工业部兰州石油机械研究所负责起草。

本标准主要起草人丁厚壁、黄秀戎、朱巨贤、刘福录、姚玉晶、张世同。

本标准自实施之日起,原机械工业部、石油工业部、化学工业部标准《球形储罐设计规定》、JB 1127—82《钢制焊接球形储罐技术条件》作废。