

J9423.020.10



中华人民共和国国家标准

GB 12337-1998

钢 制 球 形 储 罐

Steel spherical tanks

1998-12-08发布

1999-12-01实施



国家质量技术监督局发布

目 次

前言 .....	II
1 范围.....	1
2 引用标准.....	1
3 总则.....	2
4 材料 .....	8
5 结 构.....	14
6 计 算.....	17
7 制 造.....	31
8 组焊、检验与验收 .....	35
附录A (标准的附录) 低温球形储罐 .....	44
附录B (标准的附录) 场地土的分类及近震、远震 .....	47
附录C (提示的附录) 球壳对接焊缝的坡口形式及尺寸 .....	48

## 前 言

本标准是根据国家技术监督局1993年《制修订国家标准项目计划》的安排对GB 12337-90进行修订。本标准是一部包括球壳、支柱、拉杆等的设计计算、材料的选用要求、结构要素的规定，以及球形储罐(以下简称球罐)的制造、组焊、检验与验收的综合性国家标准。

本标准是在已实施的GB 12337—90《钢制球形储罐》的基础上，经过调查分析和实验验证，结合成功的使用经验，并吸取国际同类标准的先进内容，加以充实、完善和提高，根据确保球罐安全使用的原则制定的。球罐的设计、制造、组焊、检验与验收除符合本标准规定外，还应符合GB150的有关规定。

本标准与GB 12337—90标准相比，主要有以下内容的修改：

- 根据GB 150的修订，修改相关内容。
- 支柱与球壳的连接增加直接连接结构型式和U形柱结构型式。
- 修改支柱稳定性校核的内容。
- 增加高强度高韧性钢的制造、组焊要求。
- 补充有关自动焊的内容。
- 计算实例从正文中取消，编在标准释义中。

本标准的附录A、附录B都是标准的附录。

本标准的附录C是提示的附录。

本标准从实施之日起，同时代替GB 12337—90。

本标准由全国压力容器标准化技术委员会提出并归口。

本标准由机械工业部兰州石油机械研究所负责起草，参加起草的单位有：化工部化工球罐联营工程公司、劳动部大连锅炉压力容器检验研究所、中石化总公司北京石化工程公司、中石化总公司兰州石化设计院、兰州石油化工机器总厂。

本标准主要起草人：刘福录、姚玉晶、刘溢恩、刘洪波、张杰、虞敏敏、孙洁。

参加本标准编制的工作单位及人员有：

中石化总公司规划院：寿比南、黄秀戎、顾振铭、王为国、叶乾惠。

中国通用石化机械工程总公司：张忠考。

化工部建设协调司：梁之洵。

劳动部职业安全卫生与锅炉压力容器监察局：宋鸿铭、张建荣。

中石化北京石化工程公司：李世玉。

本标准于1990年5月25日首次发布，于1998年3月第一次修订。

本标准由全国压力容器标准化技术委员会负责解释。

钢制球形储罐

代替GB 12337—90

Steel spherical tanks

## 1 范围

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、组焊、检验与验收的要求。

1.1 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 本标准适用的设计温度范围按钢材允许的使用温度确定。

1.3 本标准不适用于下列球罐。

- a) 受核辐射的球罐
- b) 经受相对运动(如车载或船载)的球罐;
- c) 公称容积小于50m<sup>3</sup> 的球罐;
- d) 要求作疲劳分析的球罐;
- e) 双壳结构的球罐

## 2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。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。

GB 150—1998 钢制压力容器

GB/T 228—1987 金属拉伸试验方法

GB/T 229—1994 金属夏比缺口冲击试验方法

GB/T 232-1988 金属弯曲试验方法

GB/T 699—1988 优质碳素结构钢技术条件

GB/T 700—1988 碳素结构钢

GB/T984-1985 堆焊焊条

GB/T 985—1988 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

GB/T986—1988 埋弧焊焊缝坡口的基本形式和尺寸

GB/T 3077—1988 合金结构钢技术条件

GB/T 3274—1988 碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带

GB 3531—1996 低温压力容器用低合金钢板

GB/T 3965—1995 熔敷金属中扩散氢测定方法

GB/T 4842—1995 氩气

GB/T 5117—1995 碳钢焊条

GB/T5118—1995 低合金钢焊条

GB/T5293—1985 碳素钢埋弧焊用焊剂

GB/T 6052—1993 工业液体二氧化碳  
 GB 6479-1986 化肥设备用高压无缝钢管  
 GB 6654—1996 压力容器用钢板  
 GB/T 8110—1995 气体保护焊用碳钢、低合金钢焊丝  
 GB/T 8162—1987 结构用无缝钢管  
 GB/T 8163—1987 输送流体用无缝钢管  
 GB 9948—1988 石油裂化用无缝钢管  
 GB/T10045—1988 碳钢药芯焊丝  
 GB/T 12470—1990 低合金钢埋弧焊用焊剂  
 GB/T 14957—1994 熔化焊用钢丝  
 GB/T 14958—1994 气体保护焊用钢丝  
 GB/T 17261-1998 钢制球形储罐型式与基本参数  
 GBJ9—87 建筑结构荷载规范  
 JB 2536—80 压力容器油漆、包装和运输  
 JB 4707—92 等长双头螺柱  
 JB 4708—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  
 JB 4726—94 压力容器用碳素钢和低合金钢锻件  
 JB 4727—94 低温压力容器用碳素钢和低合金钢锻件  
 JB 4730—94 压力容器无损检测

### 3 总则

球罐的设计、制造、组焊、检验与验收除必须符合本标准的规定外，还应符合GB 150的规定。

#### 3.1 球罐的范围

本标准管辖的球罐，其范围是指球壳及与其连为整体的零部件，且划定在下列范围内：

##### 3.1.1 球罐与外部管道连接

- a) 焊接连接的第一道环向接头坡口端面；
- b) 螺纹连接的第一个螺纹接头端面；
- c) 法兰连接的第一个法兰密封面。

##### 3.1.2 球罐接管、人孔的承压封头、平盖及其紧固件。

3.1.3 非受压元件与球壳内、外表面的焊接接头，接头以外的元件，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。超压泄放装置应符合GB150 附录B“超压泄放装置”的规定。连接在球罐上的仪表等附件，应符合有关标准的规定。

#### 3.2 资格与职责

3.2.1 球罐的设计、制造、组焊单位应具备健全的质量管理体系。设计单位应持有压力容器(含球罐)设计单位批准书，制造和组焊单位应持有压力容器(含球罐)制造许可证。

3.2.2 球罐的设计、制造、组焊必须接受质量技术监督部门锅炉压力容器安全监察机构的监察。

##### 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正确性和完整性负责。

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 设计图样的技术文件中，应写明所盛装介质的名称、成分组成、适用的国家标准(行业标准)、主要工艺参数、特殊要求等。

3.2.3.4 球罐的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、组焊单位的职责

3.2.4.1 制造、组焊单位应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；
- c) 球壳板与人孔、接管、支柱的组焊记录；
- d) 无损检测报告；
- e) 球壳排版图；

必要时，还应提供下列技术文件：

- f) 材料代用审批文件；
- 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试验报告。

3.2.4.3 组焊单位对每台球罐应提供下列技术文件：

- a) 原设计图和竣工图；
- 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；  
焊接接头无损检测报告；  
焊接接头返修记录；  
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

球罐及支柱各部分名称如图1、图2所示。

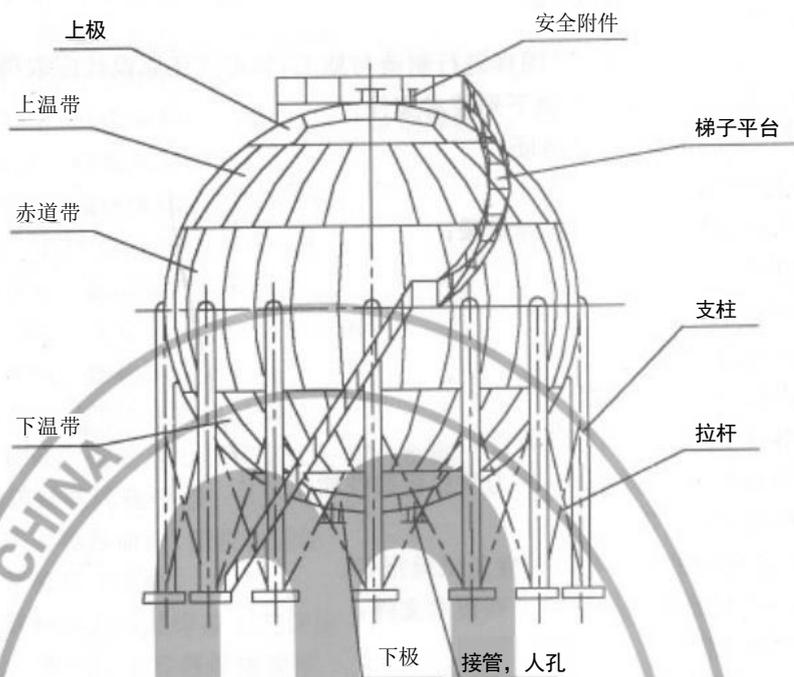


图 1 球罐各部分名称

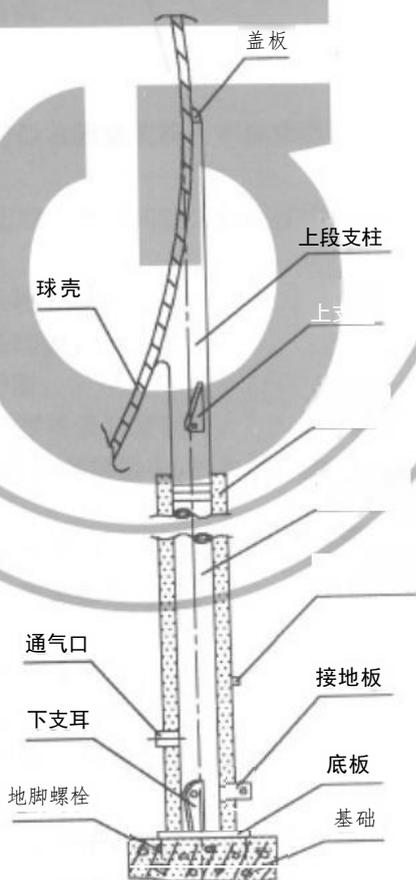


图 2 支柱各部分名称

### 3.4 定义

#### 3.4.1 压力

除注明者外，压力均指表压力。

#### 3.4.2 工作压力

工作压力指在正常工作情况下，球罐顶部可能达到的最高压力。

#### 3.4.3 设计压力

设计压力指设定的球罐顶部的最高压力，与相应的设计温度一起作为设计载荷条件，其值不低于工作压力。

球罐上装有超压泄放装置时，应按GB150 附录B“超压泄放装置”的规定确定设计压力。

对于盛装液化气体的球罐，在规定的充装系数范围内，设计压为应根据工作条件下可能达到的最高金属温度确定。

#### 3.4.4 计算压力

计算压力指在相应设计温度下，用以确定球壳各带厚度或受压元件厚度的压力，其中包括液柱静压力。

#### 3.4.5 试验压力

试验压力指在压力试验时，球罐顶部的压力。

#### 3.4.6 最大允许工作压力

最大允许工作压力系指在设计温度下，球罐顶部所允许承受的最大表压力。该压力是根据球壳的有效厚度计算所得，且取最小值。

#### 3.4.7 设计温度 $t_0$

设计温度指球罐在正常工作情况下，设定的受压元件的金属温度(沿元件金属截面的温度平均值)。设计温度与设计压力一起作为设计载荷条件。

设计温度不得低于元件金属在工作状态下可能达到的最高温度。对于 $0^{\circ}\text{C}$ 以下的金属温度，设计温度不得高于元件金属可能达到的最低温度。

低温球罐的设计温度按附录A(标准的附录)确定。

标志在铭牌上的设计温度应是球壳设计温度的最高值或最低值。

元件的金属温度可用传热计算求得，或在已使用的同类球罐上测定，或接内部介质温度确定。

#### 3.4.8 试验温度

试验温度指压力试验时，球壳的金属温度。

#### 3.4.9 厚度

##### 3.4.9.1 计算厚度

计算厚度指按公式计算得到的厚度。需要时，尚应计入其他载荷所需厚度(见3.5.2)。

##### 3.4.9.2 设计厚度

设计厚度指计算厚度与腐蚀裕量之和。

##### 3.4.9.3 名义厚度

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

注：名义厚度不包括加工裕量。

##### 3.4.9.4 有效厚度

有效厚度指名义厚度减去腐蚀裕量和钢材厚度负偏差。

### 3.5 设计的一般规定

3.5.1 对不同工况的球罐，应按最苛刻的工况设计，并在图样或相应技术文件中注明各工况的压力和温度值。

3.5.2 载荷

设计时应考虑以下载荷：

- a) 压力；
- b) 液体静压力；
- c) 球罐自重(包括内件)以及正常工作条件下或压力试验状态下内装物料的重力载荷；
- 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) 风载荷，地震力，雪载荷；

需要时，还应考虑下列载荷：

- f) 支柱的反作用力；
- g) 连接管道和其他部件的作用力；
- h) 温度梯度或热膨胀量不同引起的作用力；
- i) 包括压力急剧波动的冲击载荷；
- j) 冲击反力，如由流体冲击引起的反力等。

3.5.3 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<sub>1</sub>——钢材厚度负偏差，按3.5.3.1，mm；

C<sub>2</sub>——腐蚀裕量，按3.5.3.2，mm。

3.5.3.1 钢材厚度负偏差

钢板或钢管的厚度负偏差按钢材标准的规定。当钢材的厚度负偏差不大于0.25 mm，且不超过名义厚度的6%时，负偏差可忽略不计。

3.5.3.2 腐蚀裕量

为防止球罐元件由于腐蚀、机械磨损而导致厚度削弱减薄，应考虑腐蚀裕量，具体规定如下：

- a) 对有腐蚀或磨损的元件，应根据预期的球罐寿命和物料对金属材料的腐蚀速率确定腐蚀裕量；
- b) 球罐各元件受到的腐蚀程度不同时，可采用不同的腐蚀裕量；
- c) 腐蚀裕量取不小于1mm。

3.6 许用应力

3.6.1 本标准所用材料的许用应力按第4章选取。确定许用应力的依据为：钢材(除螺栓材料外)按表1，螺栓材料按表2。

表 1

材 料	许用应力 取下列各值中的最小值，MPa
碳素钢、低合金钢	/3.0 σ <sub>0</sub> /1.6 σ <sub>0</sub> /1.6

表中：——钢材标准抗拉强度下限值，MPa；  
 0——钢材标准常温屈服点，MPa；  
 ——钢材在设计温度下的屈服点，MPa。

表 2

材 料	螺栓直径, mm	热处理状态	许用应力, MPa
碳素钢	≤M22	热轧、正火	o:/2.7
	M24~M48		o:/2.5
低合金钢	≤M22	调 质	a:/3.5
	M24~M48		a!/3.0
	≥M52		a}/2.7

3.6.2 设计温度低于20℃时, 取20℃时的许用应力。

### 3.7 焊接接头系数

双面焊全焊透对接接头的焊接接头系数  $\phi$  按下列规定选取:

100%无损检测  $\phi=1.00$

局部无损检测  $\phi=0.85$

### 3.8 压力试验

球罐制成后应经压力试验。压力试验的种类、要求和试验压力值应在图样上注明。

压力试验可采用液压或气压, 一般采用液压, 试验液体按8.10.4的要求, 作气压试验的球罐必须满足8.10.5的要求。

#### 3.8.1 试验压力

试验压力的最低值按下述规定, 试验压力的上限应满足3.8.2应力校核的限制。

液压试验

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

气压试验

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

式中:  $p_T$ ——试验压力, MPa;

$p$ ——设计压力, MPa;

$[\sigma]$ ——球壳材料在试验温度下的许用应力, MPa;

$[\sigma]_T$ ——球壳材料在设计温度下的许用应力, MPa。

注: 球罐铭牌上规定有最大允许工作压力时, 公式中应以最大允许工作压力代替设计压力 $p$ 。

#### 3.8.2 压力试验前的应力校核。

压力试验前, 应按式(4)校核球壳应力:

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

式中:  $\sigma_r$ ——试验压力下球壳的应力, MPa;

$p_T$ ——试验压力, MPa;

$D_i$ ——球壳内直径, mm;

$\delta_e$ ——球壳的有效厚度, mm。

满足下列条件:

液压试验时,  $T \leq 0.9\sigma_s$

气压试验时,  $\sigma_s \leq 0.8\sigma_s$

式中:  $\sigma_s$ ——球壳材料在试验温度下的屈服点, MPa;

$\phi$ ——球壳的焊接接头系数。

3.9 气密性试验

如果图样有要求，球罐还应进行气密性试验。气密性试验应在压力试验合格后进行。

3.9.1 盛装下列物料的球罐应进行气密性试验：

- a) 毒性程度为极度或高度危害的物料；
- b) 易燃的压缩气体或液化气体。

注：毒性程度分级和易燃介质的划分按《压力容器安全技术监察规程》的规定(下同)。

3.9.2 气密性试验压力按式(5)确定。

$$PT=1.0p \dots\dots\dots(5)$$

式中：pr—— 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，也应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”的有关规定。

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的规定。

4.1.4 球罐用钢应附有钢材生产单位的钢材质量证明书，制造单位应按质量证明书对钢材进行验收，必要时应进行复验。如无钢材生产单位的钢材质量证明书(原件)，则应按《压力容器安全技术监察规程》的规定。

4.1.5 选择球罐用钢应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焊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 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、提高无损检测要求、增加力学性能检验率，考堪介质对钢材腐蚀的要求等)，设计单位应在图样或相应技术文件中注明。

4.1.8 当设计温度高于200℃时，其许用应力值按GB 150的规定。

4.2 钢板

4.2.1 钢板的标准、使用状态及许用应力按表3的规定。

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30mm 的 2 0R 和 1 6MnR,
- 厚度大于16 mm 的 1 5MnVR;
- 任意厚度的15MnVNR;

b) 其他受压元件(法兰、平盖等)用厚度大于50 mm 的 2 0R 和 1 6MnR。

4.2.3 符合下列条件的球壳用钢板，应逐张进行拉伸和夏比(V 型缺口)常温或低温冲击试验。

- a) 调质状态供货的钢板；
- b) 厚度大于60 mm 的钢板。

4.2.4 用于球壳的下列钢板，当球罐的设计温度和钢板厚度符合下列情况时，应每批取一张钢板进行夏比(V 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) 设计温度低于0℃时，厚度大于25 mm 的 2 0R, 厚度大于38 mm 的 1 6MnR、15MnVR 和 15MnVNR。

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(°C) 下的许用应力, MPa				注
				MPa	MPa	≤20	100	150	200	
20R	GB 6654	热轧, 正火	6~16	400	245	133	133	132	123	
			>16~36	400	235	133	132	126	116	
			>36~60	400	225	133	126	119	110	
			>60~100	390	205	128	115	110	103	
16MnR	GB 6654	热轧, 正火	6~16	510	345	170	170	170	170	
			>16~36	490	325	163	163	163	159	
			>36~60	470	305	157	157	157	150	
			>60~100	460	285	153	153	150	141	
			>100~120	450	275	150	150	147	138	
15MnVR	GB 6654	热轧, 正火	6~16	530	390	177	177	177	177	
			>16~36	510	370	170	170	170	170	
			>36~60	490	350	163	163	163	163	
15MnVNR	GB6654	正火	6~16	570	440	190	190	190	190	
			>16~36	550	420	183	183	183	183	
			>36~60	530	400	177	177	177	177	
07MnCrMoVR	—	调质	16~50	610	490	203	203	203	203	1)
16MnDR	GB 3531	正火	6~16	490	315	163	163	163	156	
			>16~36	470	295	157	157	156	147	
			>36~60	450	275	150	150	147	138	
			≥60~100	450	255	150	147	138	128	
07MnNiCrMoVDR		调质	16~50	610	490	203	203	203	203	1)
09Mn2VDR	GB3531	正火, 正火加回火	6~16	440	290	147	147	二		
			>16~36	430	270	143	143			

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) 该钢板技术要求见GB150附录A“材料的补充规定”。

b) 设计温度低于-10°C时, 厚度大于12mm的20R, 厚度大于20 mm的16MnR、15MnVR和15MnVNR。

低温冲击功的指标根据钢板标准的抗拉强度干限值按附录A的相应规定。

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, °C
16MnR	热轧	6~25	-20
	正火	6~120	
07MnCrMoVR	调质	16~50	-20

表4(完)

钢 号	使用状态	厚度, mm	最低冲击试验温度, °C
16MnDR	正火	6~36	-40
		>36~100	-30
07MnNiCrMoVDR	调质	16~50	-40
09Mn2VDR	正火, 正火加回火	6~36	-50

4.2.6 凡符合下列条件的球壳用钢板, 应逐张进行超声检测:

- 厚度大于30 mm 的20R 和 16MnR 钢板;
- 厚度大于25 mm 的15MnVR 和15MnVNR 钢板;
- 厚度大于20 mm 的16MnDR 和09Mn2VDR 钢板;
- 调质状态供货的钢板;
- 上下极板和与支柱连接的赤道板。

钢板的超声检测应按JB 4730的规定, 热轧、正火状态供货的钢板质量等级应不低于II级, 调质状态供货的钢板质量等级应不低于I级。

#### 4.3 钢管

4.3.1 钢管的标准及许用应力按表5的规定。

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				注
			MPa	MPa	≤20	100	150	200	
10	GB/T 8163 GB 9948 GB 6479	≤10	335	205	112	112	108	101	
		≤16	335	205	112	112	108	101	
		≤16	335	205	112	112	108	101	
		17~40	335	195	112	110	104	98	
20	GB/T 8163 GB 9948	≤10	390	245	130	130	130	123	
		≤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	
16Mn	GB 6479	≤16	490	320	163	163	163	159	
		17~40	490	310	163	163	163	153	
15MnV	GB6479	≤16	510	350	170	170	170	170	
		17~40	510	340	170	170	170	170	
09MnD		<16	400	240	133	133	128	119	1)

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) 该钢管的技术要求见GB 150附录A“材料的补充规定”。

4.3.2 15MnV、09Mn2VD和09MnD 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	正火	≤16	-30
20G	正火	≤16	-20
16Mn	正火	≤20	-40
09MnD	正火	≤16	-50

因尺寸限制无法制备5mm×10mm×55 mm小尺寸冲击试样的钢管, 免做冲击试验, 各钢号钢管的最低设计温度按附录A 的规定。

#### 4.4 锻件

4.4.1 锻件的标准及许用应力按表7的规定。

表 7

钢 号	锻件标准	公称厚度 mm	常温强度指标		在下列温度(°C)下的许用应力, MPa			
			MPa	MPa	≤20	100	150	200
20	JB 4726	≤100	370	215	123	119	113	104
16Mn	JB 4726	≤300	450	275	150	150	147	135
20MnMo	JB 4726	≤300	530	370	177	177	177	177
		>300~500	510	355	170	170	170	170
		>500~700	490	340	163	163	163	163
16MnD	JB 4727	≤300	450	275	150	150	147	135
20MnMoD	JB 4727	≤300	530	370	177	177	177	177
		>300~500	510	355	170	170	170	170
		>500~700	490	340	163	163	163	163
08MnNiCrMoVD	JB 4727	≤300	600	480	200	200	200	200
09Mn2VD	JB 4727	≤200	420	260	140	140		

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。

4.4.2 锻件级别由设计单位确定, 并在图样中注明(在钢号后附上级别符号, 如16MnII)。人孔锻件的锻件级别不应低于III级。

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

表 8

钢 号	热处理状态	公称厚度, mm	最低冲击试验温度, °C
16MnD	正火加回火, 调质	≤200	-40
		>200~300	-30
09Mn2VD	正火加回火, 调质	≤200	-50
20MnMoD	调质	≤500	-30
		>500~700	-20
08MnNiCrMoVD	调质	≤300	-40

## 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9的规定。

表9

钢号	钢材标准	钢材使用状态	螺柱规格 mm	常温强度指标		在下列温度(°C)下的许用应力, MPa			
				MPa	MPa	≤20	100	150	200
Q235-A	GB/T 700	热轧	M20	375	235	87	78	74	69
35	GB/T699	正火	≤M22	530	315	117	105	98	91
			M24~M27	510	295	118	106	100	92
40MnB	GB/T 3077	铜质	≤M22	805	685	196	176	171	165
			M24~M36	765	635	212	189	183	180
40MnVB	GB/T 3077	调质	≤M22	835	735	210	190	185	179
			M24~M36	805	685	228	206	199	196
40Cr	GB/T 3077	调质	≤M22	805	685	196	176	171	165
			M24~M36	765	635	212	189	183	180
30CrMoA	GB/T977	调质	≤M22	700	550	157	141	137	134
			M24~M48	660	500	167	150	145	142
			M52~M56	660	500	185	167	161	157
35CrMoA	GB/T 3077	调质	≤M22	835	735	210	190	185	179
			M24~M48	805	685	228	206	199	196
			M52~M80	805	685	254	229	221	218
			M85~M105	735	590	219	196	189	185
40CrNiMoA	GB/T 3077	调质	M52~M140	930	825	306	291	281	274

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 低合金钢螺柱用毛坯，经调质热处理后进行力学性能试验

4.5.2.1 同一钢号、同一炉号同断面尺寸、同一热处理制度、同时投产的螺柱毛坯为一批，每批取一件进行试验。

4.5.2.2 试样的取样方向为纵向，直径不大于40mm的毛坯，试样的纵轴应位于毛坯中心；直径大于40mm的毛坯，试样的纵轴应位于毛坯半径的1/2处。试样距毛坯端部的距离不得小于毛坯的直径，但拉伸试样的头部(或夹持部分)不受此限制。

4.5.2.3 每件毛坯上取拉伸试样一个，冲击试样三个。拉伸试验方法按GB/T 228的规定。冲击试验方法按GB/T 229的规定。试验结果应符合表10的规定，表中冲击功的规定值系三个试样试验结果的平均值，允许有一个试样的试验结果小于规定值，但不得小于规定值的70%。对钢号和规格符合JB 4707标准的低合金钢螺柱用钢材，其力学性能可按该标准验收。

4.5.2.4 拉伸试验结果不合格时，应从同一毛坯上再取二个拉伸试样进行复验，测定全部三项性能。试验结果中只要有一个数据不符合表10的规定，则该批毛坯判为不合格。

表 10

钢号	回火温度 ℃	规格 mm	MPa	a. (0a2) MPa	8 <sub>5</sub> %	Akv J
40MnB	≥550	≤M22	≥805	≥685	≥13	≥34
		M24~M36	≥765	≥635		
40MnVB	≥550	≤M22	≥835	≥735	≥12	≥34
		M24~M36	≥805	≥685		
40Cr	≥550	≤M22	≥805	≥685	≥13	≥34
		M24~M36	≥765	≥635		
30CrMoA	≥600	≤M22	≥700	≥550	≥15	≥61
		M24M56	≥660	≥500		
35CrMoA	≥560	M22	≥835	≥735	13	≥54
		M24~M80	≥805	≥685		≥47
		M85~M105	≥735	≥590		≥54
40CrNiMoA	≥520	M52~M140	≥930	≥825	≥12	≥54

4.5.2.5 冲击试验结果不合格时，应从同一毛坯上再取三个冲击试样进行复验，前后两组六个试样的冲击功平均值不得小于规定值，允许有二个试样的冲击功小于规定值，但其中小于规定值70%的只允许有一个。否则该批毛坯判为不合格。

4.5.2.6 被判为不合格的整批毛坯可重新热处理，然后按上述程序重新取样进行拉伸和冲击试验。

4.5.3 低合金钢螺柱，当设计温度低于或等于-20℃时，应进行设计温度下的低温冲击试验。低温用螺柱的钢号及冲击试验的要求按表11的规定。

表 11

钢号	规格, mm	最低冲击试验温度, °C	A, J
30CrMoA	≤M56	-100	≥27
35CrMoA	M56	-100	≥27
	M60~M80	-70	
40CrNiMoA	M52~M30	-70	≥31
	M85~M140	50	

4.5.4 与各螺柱用钢组合使用的螺母用钢可按表12选用，设计者也可选用有使用经验的其他螺母用钢。调质状态使用的螺母用钢，其回火温度应高于组合使用的螺柱用钢的回火温度。

表 12

螺柱钢号	螺 母 用 钢			
	螺母钢号	钢材标准	使用状态	使用温度下限, °C
Q235-A	Q215-A, Q235-A	GB/T 700	热轧	>-20
35	Q235-A	GB/T 700	热轧	>-20
	20, 25	GB/T 699	正火	>-20
40MnB	35, 40Mn, 45	GB/T 699	正火	>-20

表12(完)

螺柱钢号	螺 母 用 钢			
	螺母钢号	钢材标准	使用状态	使用温度下限, °C
40MnVB	35, 40Mn, 45	GB/T 699	正火	>-20
40Cr	35, 40Mn, 45	GB/T 699	正火	>-20
30CrMoA	40Mn, 45	GB/T699	正火	>-20
	30CrMoA	GB/T 3077	调质	-100
35CrMoA	40Mn, 45	GB/T 699	正火	>-20
	30CrMoA, 35CrMoA	GB/T 3077	调质	-100
40CrNiMoA	35CrMoA, 40CrNiMoA	GB/T 3077	调质	-70

#### 4.6 焊接材料

##### 4.6.1 焊条

4.6.1.1 焊条应具有质量证明书。质量证明书应包括熔敷金属的化学成分、力学性能、扩散氢含量等。各项指标应符合GB/T 5117、GB/T 5118、GB/T 984等标准的有关规定。

4.6.1.2 球壳的焊缝以及直接与球壳焊接的焊缝，应选用低氢型药皮焊条，并按批号进行扩散氢复验。扩散氢试验方法应按GB/T 3965的规定进行。烘干后的实际扩散氢含量应符合表13的规定。

表13

焊接材料	扩散氢含量, mL/100g
E4315、E4316	≤8
E5015、E5016	≤6
E5515-X、E5516-X	≤5
E6015-X、E6016-X	≤4
J607RH	≤1.5
药芯焊丝	≤6

##### 4.6.2 焊丝和焊剂

4.6.2.1 焊丝和焊剂应与所施焊的钢种匹配。焊丝和焊剂应分别符合GB/T 8110、GB/T 10045、GB/T 12470、GB/T 14957、GB/T 14958和GB/T5293 的有关规定。

4.6.2.2 保护用二氧化碳和氩气应分别符合GB/T 6052和GB/T 4842的有关规定。气瓶使用前，应按规定洁净后使用。

## 5 结构

球罐的结构参照GB/T 17261确定。

### 5.1 球壳

5.1.1 球壳由各带及上、下极组成，其结构如图3所示。

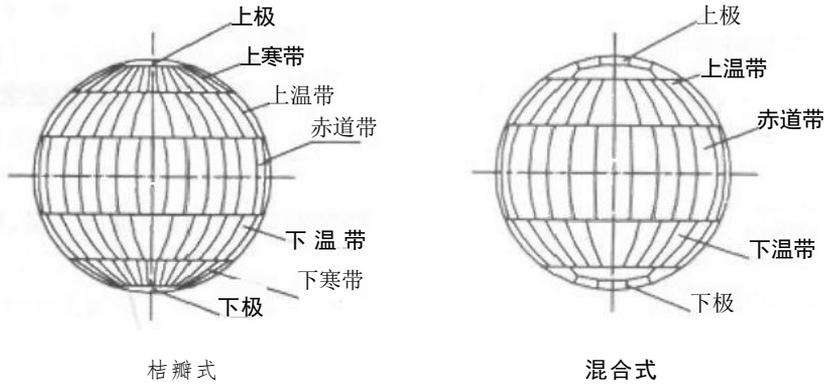


图 3 球壳结构示意图

5.1.2 球壳板最小宽度应不小于500 mm。

5.2 坡口

球壳板坡口形式可按GB/T 985、GB/T986选用，或参照附录C“球壳对接焊缝的坡口形式确定”。

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 支柱与球壳连接处可采用直接连接结构型式[见图4(a)]、加托板的结构型式[见图4(b)]、U形柱结构型式[见图4(c)]或支柱翻边结构型式[见图4(d)]。

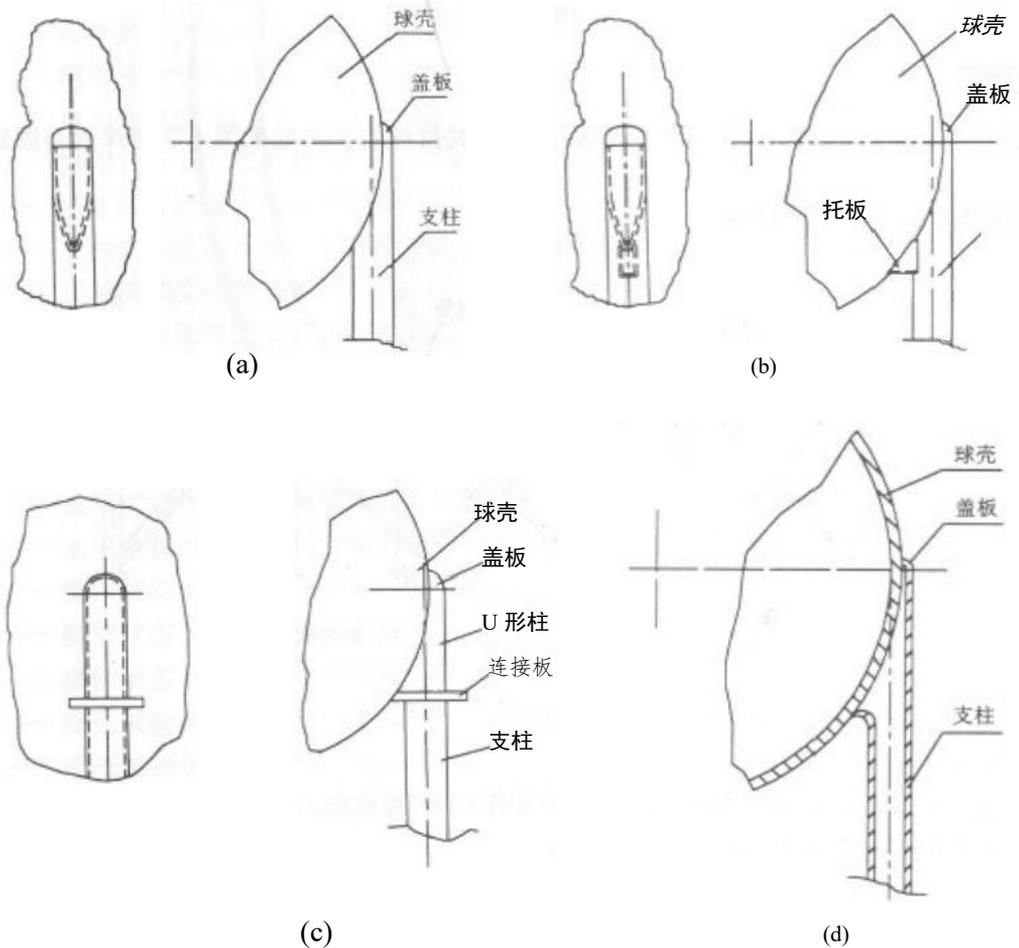


图 4

## 5.4 支柱

5.4.1 支柱应采用钢管制作。

5.4.2 下段支柱可分段，分段的长度不宜小于支柱总长的1/3。段间的环向接头应全焊透。可采用沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板的对接接头。

5.4.3 支柱顶部应设有球形或椭圆形的防雨盖板。

5.4.4 支柱应设置通气口，对储存易燃物料及液化石油气的球罐，还应设置防火层，如图5所示。

5.4.5 支柱底板中心应设置通孔，如图5所示。

5.4.6 支柱底板的地脚螺栓孔应为径向长圆孔。

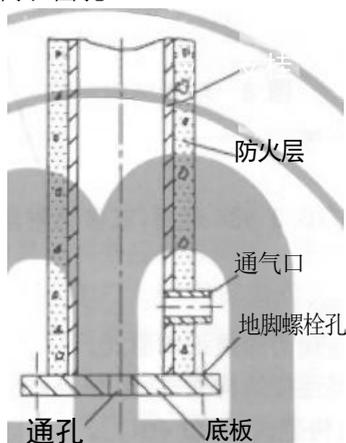


图 5

## 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6(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6(b)。

本标准提供可调式拉杆的计算方法。

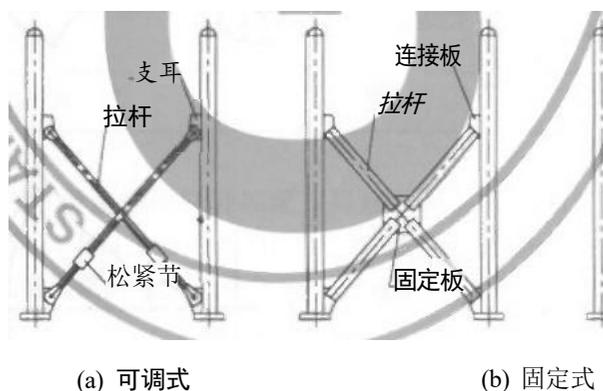


图 6

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8章“开孔和开孔补强”的规定。

5.6.2 球壳与接管的焊缝应采用全焊透接头。

## 5.6.3 人孔

球壳上、下极应各设置一个公称直径不小于500 mm 的人孔。

5.6.4 球罐接管法兰应采用凹凸面法兰。

## 5.7 相邻对接焊缝的最小间距

球壳上任何相邻对接焊缝中心线间外圆弧长应大于 $38 \cdot (8)$ 。(8.为球壳板钢材厚度),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 $-20^{\circ}\text{C}$ 时,其结构还应满足附录A的要求。

## 6 计算

## 6.1 符号

- $A$ ——单个支柱的横截面积,  $\text{mm}^2$ ;
- $d_i$ ——支柱内直径,  $\text{mm}$ ;
- $d_o$ ——支柱外直径,  $\text{mm}$ ;
- $D_{cp}$ ——球壳平均直径,  $\text{mm}$ ;
- $D_i$ ——球壳内直径,  $\text{mm}$ ;
- $D_o$ ——球壳外直径(当有保温层时,为保温层外直径),  $\text{mm}$ ;
- $E$ ——球壳材料的常温弹性模量,  $\text{MPa}$ ;
- $E_s$ ——支柱材料的常温弹性模量,  $\text{MPa}$ ;
- $F_c$ ——拉杆作用在支柱上的水平力(见 6.8.1),  $\text{N}$ ;
- $F_e$ ——球罐的水平地震力(见 6.4.2),  $\text{N}$ ;
- $F_s$ ——支柱底板与基础的摩擦力(见 6.8.2),  $\text{N}$ ;
- $F_{\max}$ ——最大水平力(见 6.6),  $\text{N}$ ;
- $F_T$ ——拉杆的最大拉力(见 6.10.1),  $\text{N}$ ;
- $F_w$ ——球罐的水平风力(见 6.5),  $\text{N}$ ;
- $g$ ——重力加速度,取  $g=9.81 \text{ m/s}^2$ ;
- $G_o$ ——操作状态下的重力载荷(见 6.7.1.1),  $\text{N}$ ;
- $G_T$ ——液压试验状态下的重力载荷(见 6.7.1.1),  $\text{N}$ ;
- $H_o$ ——支柱底板底面至球壳中心的距离(见图 7),  $\text{mm}$ ;
- $I$ ——支柱横截面的惯性矩(见 6.4.1),  $\text{mm}^4$ ;
- $l$ ——支柱底板底面至上支耳销子中心的距离(见图 7),  $\text{mm}$ ;
- $L_w$ ——支柱与球壳连接焊缝单边的弧长(见图 15),  $\text{mm}$ ;
- $m_{\min}$ ——球罐最小质量(见 6.3),  $\text{kg}$ ;
- $m_o$ ——操作状态下的球罐质量(见 6.3),  $\text{kg}$ ;
- $m_T$ ——液压试验状态下的球罐质量(见 6.3),  $\text{kg}$ ;
- $M_{\max}$ ——水平地震力和水平风力引起的最大弯矩(见 6.6),  $\text{N} \cdot \text{mm}$ ;
- $M_o$ ——操作状态下支柱的总弯矩(见 6.7.2.3),  $\text{N} \cdot \text{mm}$ ;
- $M_1$ ——操作状态下支柱的偏心弯矩(见 6.7.2.1),  $\text{N} \cdot \text{mm}$ ;
- $M_o.2$ ——操作状态下支柱的附加弯矩(见 6.7.2.2),  $\text{N} \cdot \text{mm}$ ;
- $MT$ ——液压试验状态下支柱的总弯矩(见 6.7.2.3),  $\text{N} \cdot \text{mm}$ ;
- $M_{ri}$ ——液压试验状态下支柱的偏心弯矩(见 6.7.2.1),  $\text{N} \cdot \text{mm}$ ;
- $MT_2$ ——液压试验状态下支柱的附加弯矩(见 6.7.2.2),  $\text{N} \cdot \text{mm}$ ;
- $n$ ——支柱数目;
- $p$ ——设计压力(见 3.4.3),  $\text{MPa}$ ;
- $p_a$ ——计算压力(见 3.4.4),  $\text{MPa}$ ;
- $P_r$ ——试验压力(见 3.8),  $\text{MPa}$ ;

- R— 支柱中心圆半径, 取 $R=R_1$ , mm;
- R——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6.7.1.4), N;
- $W_T$  ——液压试验状态下支柱的最大垂直载荷(见6.7.1.4), N;
- $W_{max}$  ——最大垂直载荷, 取 $W_0$  和  $W_T$  的较大值, N;
- $\beta$  ——拉杆和支柱间的夹角(见图7), ( $^\circ$ );
- $\delta$  ——球壳计算厚度, mm;
- $\delta_0$  ——球壳有效厚度, mm;
- $\delta_a$  ——球壳a 点处的有效厚度, mm;
- $\delta_n$  ——球壳名义厚度, mm;
- $\mu$  ——球壳材料的泊松比, 取  $\mu=0.3$ ;
- $\rho_2$  ——物料密度,  $kg/m^3$ ;
- $\rho_s$  ——液压试验时液体的密度,  $kg/m^3$ ;
- $\sigma_1$  ——操作状态下a 点的纬向应力(见6.11.2), MPa;
- $\sigma_0$  ——操作状态下a 点的组合应力(见6.11.3.1), MPa;
- $\sigma_s$  ——钢材常温下的屈服点, MPa;
- $\sigma_n$  ——液压试验状态下a 点的纬向应力(见6.11.2), MPa;
- $\sigma_T$  ——液压试验状态下a 点的组合应力(见6.11.3.1), MPa;
- [a] ——设计温度下球壳材料的许用应力(见第4章), MPa;
- $\tau_0$  ——操作状态下a 点的剪切应力(见6.11.1), MPa;
- $\tau_T$  ——液压试验状态下a 点的剪切应力(见6.11.1), MPa;
- 焊接接头系数(见3.7);
- 角焊缝系数, 取中=0.6。

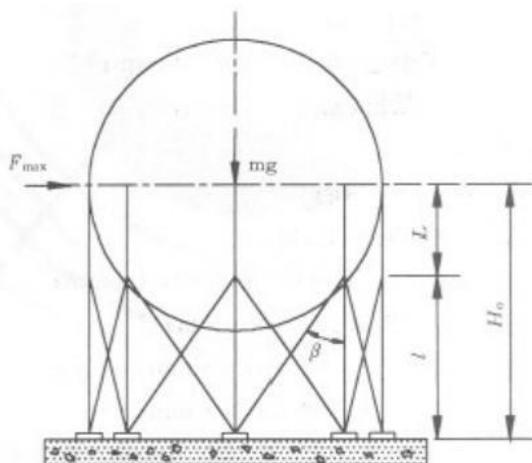


图 7

6.2 球壳计算

6.2.1 设计温度下球壳的计算厚度按式(6)计算。

$$\delta = \frac{\rho_s D_1}{4[\sigma] \phi - \rho_s} \dots\dots\dots (6)$$

6.2.2 设计温度下球壳的计算应力按式(7)校核。

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

式中： $\sigma^t$ ——设计温度下球壳的计算应力，MPa。

6.2.3 设计温度下球壳的最大允许工作压力按式(8)计算。

$$p_w = \frac{4\delta_e[\sigma]^t\phi}{D_i + \delta_e} \dots\dots\dots (8)$$

式中： $p_w$ ——设计温度下球壳的最大允许工作压力，MPa。

6.3 球罐质量计算

a) 操作状态下的球罐质量按式(9)计算。

$$m_o = m_1 + m_2 + m_3 + m_5 + m_g + m \dots\dots\dots (9)$$

b) 液压试验状态下的球罐质量按式(10)计算。

$$m_T = m_1 + m_3 + m_g + m, \dots\dots\dots (10)$$

c) 球罐最小质量按式(11)计算。

$$m_{min} = m_1 + m_6 + m_7 \dots\dots\dots (11)$$

式中： $m_1$ ——球壳质量，kg；按式(12)计算；

$$m_1 = \pi D B \delta_n P_1 \times 10^{-9} \dots\dots\dots (12)$$

$P_1$ ——球壳材料密度，kg/m<sup>3</sup>；

$m_2$ ——物料质量，kg；按式(13)计算；

$$m_2 = \frac{\pi}{6} D_i^3 \rho_2 k \times 10^{-9} \dots\dots\dots (13)$$

$k$ ——充装系数；

$m_3$ ——液压试验时液体的质量，kg；按式(14)计算；

$$m_3 = \frac{\pi}{6} D_i^3 \rho_3 \times 10^{-9} \dots\dots\dots (14)$$

$m$ ——积雪质量，kg；按式(15)计算；

$$m_s = \frac{\pi}{4g} D_o^2 q C_s \times 10^{-6} \dots\dots\dots (15)$$

$q$ ——基本雪压值，N/m<sup>2</sup>；

$C_s$ ——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；

$m$ ——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(16)计算。

$$T = \pi \sqrt{\frac{m_n H_n^3 \xi \times 10^{-3}}{3n E_s I}} \dots\dots\dots (16)$$

式中： $\xi$ ——拉杆影响系数，按式(17)计算；

$$\xi = 1 - \left[ \frac{l}{H_n} \right]^2 \left[ 3 - \frac{2l}{H_n} \right] \dots\dots\dots (17)$$

E也可由表14查取。

表 14

l/H <sub>0</sub>	0.90	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.50
E	0.028	0.104	0.156	0.216	0.282	0.352	0.50

注：中间值用内插法计算。

I——支柱横截面的惯性矩，mm<sup>4</sup>，按式(18)计算。

$$I = \frac{\pi}{64} (d_o^4 - d_i^4) \dots\dots\dots (18)$$

6.4.2 地震力

球罐的水平地震力按式(19)计算。

$$E = C_2 a m g \dots\dots\dots (19)$$

式中：C——综合影响系数，取C年046；

a——对应于自振周期T的地震影响系数，按图8选取。图中的曲线部分按式(20)计算，但不得小于0.2a<sub>max</sub>。

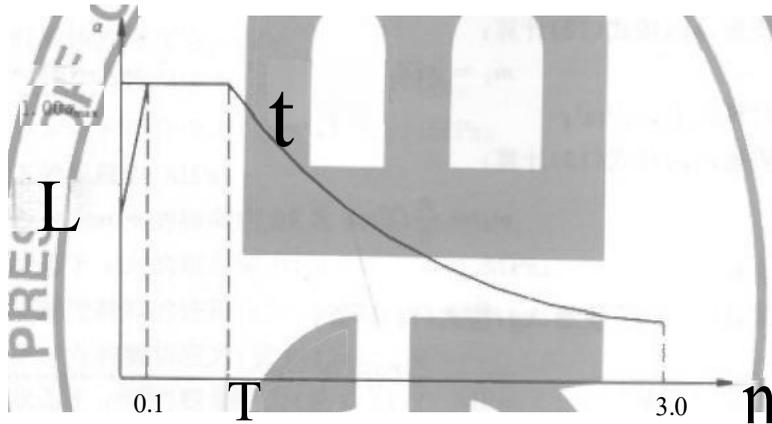


图 8 地震影响系数

$$a = \left( \frac{T}{T} \right)^{0.9} a_{max} \dots\dots\dots (20)$$

a<sub>max</sub>——地震影响系数的最大值，按表15选取。

表 15

设防烈度		8	9
a	0.23	0.45	0.9

T——各类场地土的特征周期，按表16选取。

表16场地土的特征周期T

场 地 土	近 震	远 震
I	0.2	0.25
1	0.3	0.40
I	0.4	0.55
N	0.65	0.85

注：场地土分类及近震、远震见附录B.

6.5 风载荷计算

球罐的水平风力按式(21)计算。

$$F_w = \frac{\pi}{4} D_0^2 k_1 k_2 q_0 f_1 f_2 \times 10^{-6} \dots\dots\dots (21)$$

式中：k<sub>1</sub>——风载体形系数，取k<sub>1</sub>=0.4；

k<sub>2</sub>——风振系数，按式(22)计算；

$$k_2 = 1 + 0.355 \dots\dots\dots (22)$$

6<sub>1</sub>——系数，根据球罐的基本自振周期按表17选取；

表 17

T, s	<0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	≥5.0
6 <sub>1</sub> :	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。

9。—基本风压值，按GB J 9. 全国基本风压分布图的规定或按当地气象部门资料，但均不应小于250N/m<sup>2</sup>；

f<sub>1</sub>——风压高度变化系数，按表18选取；

f<sub>2</sub>——球罐附件增大系数，取f<sub>2</sub>=1.1。

表 18 风压高度变化系数f

地面粗糙度类别 距地面高度H。 m	f:		B		C
	A				
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	0.94
30	1.80			1.42	1.

注  
1中间值用内插法计算；  
2地面粗糙度A类系指近海面、海岛、海岸、湖岸及沙漠地区；B类系指田野、乡村、丛林丘陵风及房屋比较稀疏的中小城镇和大城市郊区；C类系指有密集建筑群的大城市市区；  
3若采用当地气象部门资料时，对A类地区高度变化系数f<sub>1</sub>，应取B类地区系数，B类和C类地区不变。

6.6 弯矩计算

视地震载荷和风载荷为一作用于球光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(23)计算。

$$M_{mx} = F_{mx} L \dots\dots\dots (23)$$

式中：F<sub>mx</sub>——最大水平力，取(F+0.25F<sub>w</sub>) 与F<sub>w</sub> 的较大值，N；

L——力臂，L=H。-1（见图7），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(24)计算。

$$G_o = \frac{m_o g}{n} \dots\dots\dots (24)$$

液压试验状态下的重力载荷按式(25)计算。

$$G_T = \frac{m_T g}{n} \dots\dots\dots (25)$$

6.7.1.2 最大弯矩对支柱产生的垂直载荷按式(26)计算。

$$F_i = - \frac{2M_{max} \cos \theta_i}{nR} \dots\dots\dots (26)$$

式中:  $F_i$ ——最大弯矩对*i* 支柱产生的垂直载荷, N;

$\theta_i$ ——支柱的方位角, (°) (见图9、图11), 按式(27)、式(28)计算。

A 向受力时支柱方位角按式(27)计算。

$$\theta_i = i \frac{360^\circ}{n} \dots\dots\dots (27)$$

B 向受力时支柱方位角按式(28)计算。

$$\theta_i = \left( i - \frac{1}{2} \right) \frac{360^\circ}{n} \dots\dots\dots (28)$$

注:  $i$ 表示支柱在0° 至180° 范围内的顺序号(见图9、图11)。

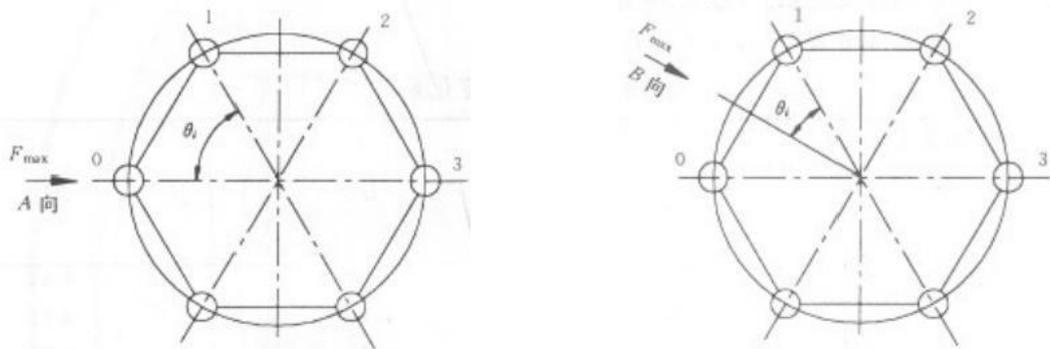


图 9

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(29)计算。

$$P_{i-j} = \frac{lF_{max} \sin \theta_j}{nR \sin \frac{180^\circ}{n}} \dots\dots\dots (29)$$

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(30)计算。

$$P_{i-j} = \frac{lF_{max} \sin \theta_j}{nR \sin \frac{360^\circ}{n}} \dots\dots\dots (30)$$

式中:  $P_{i-j}$ —— $j$  拉杆作用在*i* 支柱上的垂直载荷, N;

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

$\theta_j$ ——拉杆*j* 的方位角, (°) 按式(31)~(33)计算。

当所有相邻两支柱用拉杆连接时(见图10):

A 向受力时拉杆方位角按式(31)计算。

$$\theta_j = \left( j + \frac{1}{2} \right) \frac{360^\circ}{n} \dots\dots\dots (31)$$

B 向受力时拉杆方位角按式(32)计算。

$$\theta_j = j \frac{360^\circ}{n} \dots\dots\dots (32)$$

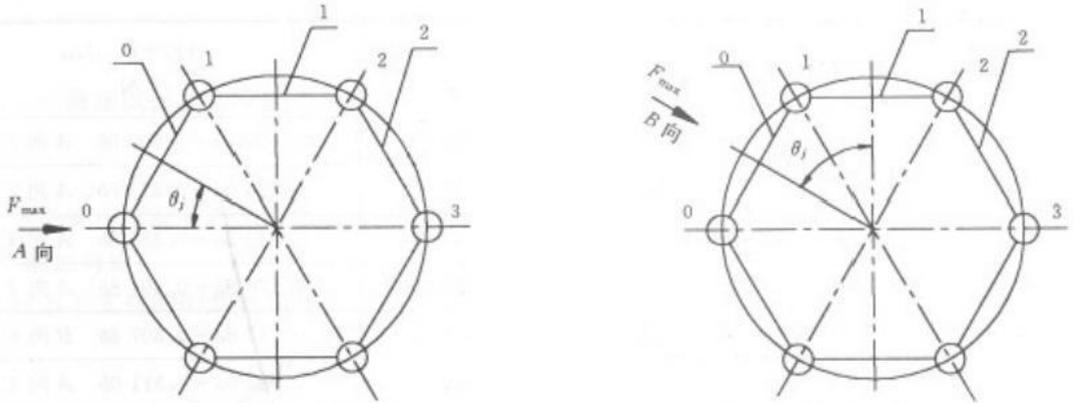


图 10

当每隔一支柱用拉杆连接时(见图11):

A向受力时拉杆方位角按式(32)计算。

B向受力时拉杆方位角按式(33)计算。

$$\theta_j = \left( j - \frac{1}{2} \right) \frac{360^\circ}{n} \dots\dots\dots (33)$$

注: j 表示拉杆在0° 至180° 范围内的顺序号(见图10、图11)。

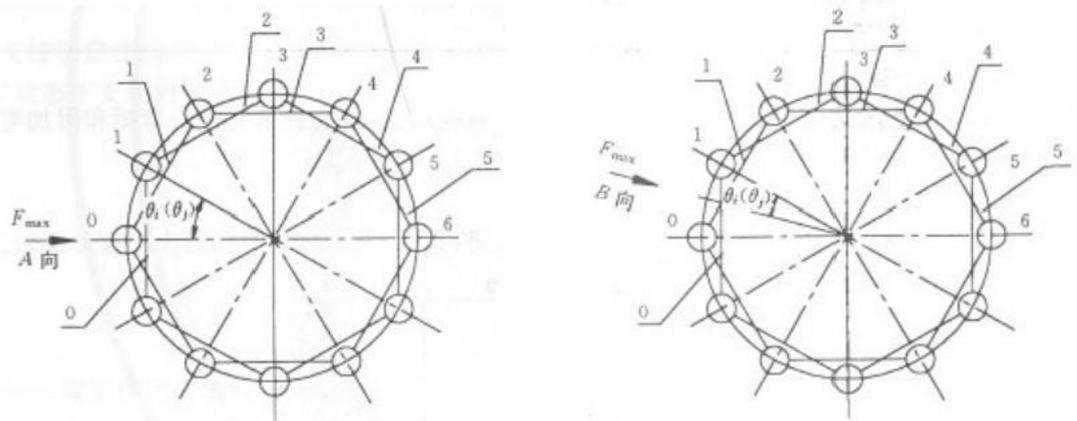


图 11

6.7.1.4 支柱的最大垂直载荷

操作状态下支柱的最大垂直载荷按式(34)计算。

$$W_o = G_o + (F_i + P_{i-;})_{mx} \dots\dots\dots (34)$$

液压试验状态下支柱的最大垂直载荷按式(35)计算。

$$W_T = G_T + 0.3(F_i + P_{i-;})_{mx} \frac{F_w}{F_{max}} \dots\dots\dots (35)$$

式中:  $(F_i + P_{i-;})_{mx}$ —— 各支柱 $(F_i + P_{i-;})$  中的最大值, N。

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 $(F)_{mx}$ 、拉杆作用在支柱上的垂直载荷的最大值 $(P_{i-;})_{mx}$  及两者之和的最大值 $(F_i + P_{i-;})_{mx}$  按表19的公式计算, 最大值 $(F_i + P_{i-;})_{mx}$  的支柱位置见表19。

当设计未采用表19中所列的支柱数目时, 则 $(F)_{mx}$ 、 $(P_{i-;})_{mx}$  和 $(F_i + P_{i-;})_{mx}$  应按6.7.1.2和6.7.1.3的公式计算 $F_i$  和  $P_{i-;}$ , 取  $F$  的最大值,  $P_{i-;}$  的最大值和 $(F_i + P_{i-;})_{mx}$  的最大值。

表 19

拉杆连接方式	支柱数目	$(F) \times N$	$(P_{1-})ms N$	$(F_1+P_-)mx N$
所有相邻两支柱 间用拉杆连接	4	0.5000a	0.5000b	0.5000a+0.5000b A向2号柱
	5	0.3236a	0.3236b	0.3236a+0.3236b A向2号柱
	6	0.3333a	0.3333b	0.3333a+0.3333b A向3号柱
	8	0.2500a	0.3266b	0.1768a+0.3018b A向3号柱
	10	0.2000a	0.3236b	0.1176a+0.3078b B向4号柱
	12	0.1667a	0.322-0b	0.0833a+0.3110b A向4号柱
	14	0.142-9a	0.3210b	0.0620a+0.3129b B向5号柱
每隔一支柱 用拉杆连接	8	0.2500a	0.2500b	0.2500a+0.2500b A向4号柱
	10	0.2000a	0.2000b	0.2000a-0.2000b A向5号柱
	12	0.1667a	0.1667b	0.1667a+0.1667b A向6号柱
	14	0.1429a	0.1646b	0.1429a+0.1429b A向7号柱
	16	0.1250a	0.1633b	0.0694a+0.1602b B向6号柱
注: a=Mm/R; /R。				

6.7.2 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 12。

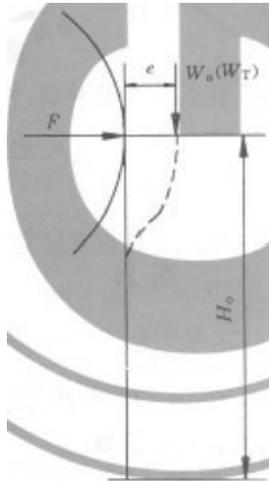


图 12

6.7.2.1 偏心弯矩

操作状态下支柱的偏心弯矩按式(36)计算。

$$M_{o1} = \frac{\sigma_{\alpha} R_i W_o}{E} (1 - \mu) \dots\dots\dots (36)$$

式中:  $\sigma_{\alpha}$  ——操作状态下球壳赤道线的薄膜应力, MPa, 按式(37)计算。

$$\sigma_{\alpha} = \frac{(p + p_o)(D_i + \delta_c)}{4\delta_c} \dots\dots\dots (37)$$

$p_o$  ——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(38)计算。

$$M_{T1} = \frac{\sigma_{Te} R_i W_T}{E} (1 - \mu) \dots\dots\dots (38)$$

式中：dTe——液压试验状态下球壳赤道线的薄膜应力，MPa，按式(39)计算。

$$\sigma_{Te} = \frac{(p_T + p_{Te})(D_i + \delta_e)}{4\delta_e} \dots\dots\dots (39)$$

pe——液压试验状态下液体在赤道线的液柱静压力，MPa。

6.7.2.2 附加弯矩

操作状态下支柱的附加弯矩按式(40)计算。

$$M_{o2} = \frac{6E_s I \sigma_{oc} R_i}{H_o^2 E} (1 - \mu) \dots\dots\dots (40)$$

液压试验状态下支柱的附加弯矩按式(41)计算。

$$M_{T2} = \frac{6E_s I \sigma_T R_i}{H_o^2 E} (1 - \mu) \dots\dots\dots (41)$$

式中：m、T——见6.7.2.

6.7.2.3 总弯矩

操作状态下支柱的总弯矩按式(42)计算。

$$M_o = M + M_2 \dots\dots\dots (42)$$

液压试验状态下支柱的总弯矩按式(43)计算。

$$M_T = M_{T1} + M_{T2} \dots\dots\dots (43)$$

6.7.3 支柱稳定性校核

操作状态下支柱的稳定性按式(44)校核。

$$\frac{W_o}{\phi_o A} + \frac{\beta_m M_o}{\gamma Z (1 - 0.8 \frac{W_o}{W_{EX}})} \leq [\sigma] \dots\dots\dots (44)$$

液压试验状态下支柱的稳定性按式(45)校核。

$$\frac{W_T}{\phi_o A} + \frac{\beta_m M_T}{\gamma Z (1 - 0.8 \frac{W_T}{W_{EX}})} \leq [\sigma] \dots\dots\dots (45)$$

式中：——弯矩作用平面内的轴心受压支柱稳定系数，根据支柱长细比、支柱类型和支柱材料，按表20、表21、表22、表23选取；

λ——支柱长细比，按式(46)计算；

$$\lambda = \frac{k_3 H_o}{r_i} \dots\dots\dots (46)$$

k3——计算长度系数，取ka=1；

n——支柱的惯性半径，mm，按式(47)计算；

$$r_i = \sqrt{\frac{I}{A}} \dots\dots\dots (47)$$

表20、表21、表22、表23未列材料的A按式(48)、(49)、(50)计算。

当X≤0.215 时，按式(48)计算；

$$\phi_o = 1 - a_1 X \dots\dots\dots (48)$$

当X>0.215 时，按式(49)计算；

$$\phi_o = \frac{1}{2\lambda^2} \left[ (a_2 + a_3 \lambda + \lambda^2) - \sqrt{(a_2 + a_3 \lambda + \lambda^2)^2 - 4\lambda^2} \right] \dots\dots\dots (49)$$

X——换算长细比，按式(50)计算；

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_s}{E_s}} \dots\dots\dots (50)$$

a, ——支柱材料常温下的屈服点, MPa;  
 a1、a2、a3——系数, 对轧制钢管截面: a1=0.41, a2=0.986, a3=0.152; 对焊接钢管截面: a1=0.65, a2=0.965, a3=0.300;  
 β ——等效弯矩系数, 取 β =1;  
 y ——截面塑性发展系数, 取 Y=1.15;  
 Z ——单个支柱的截面系数, mm<sup>3</sup>, 按式(51)计算。

$$Z = \frac{\pi(d_o^3 - d_i^3)}{32d_o} \dots\dots\dots (51)$$

Wex——欧拉临界力, N, 按式(52)计算。

$$W_{ex} = \pi^2 E_s A / \lambda^2 \dots\dots\dots (52)$$

[a] ——支柱材料的许用应力, [a]=a/1.5, MPa。

表20 Q235-A 轧制钢管截面轴心受压支柱的稳定系数中

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.998	0.997	0.996
10	0.995	0.994	0.993	0.992	0.991	0.989	0.988	0.986	0.985	0.983
20	0.981	0.979	0.977	0.976	0.974	0.972	0.970	0.968	0.966	0.964
30	0.963	0.961	0.959	0.957	0.955	0.952	0.950	0.948	0.946	0.944
40	0.941	0.939	0.937	0.934	0.932	0.929	0.927	0.924	0.921	0.919
50	0.916	0.913	0.910	0.907	0.904	0.900	0.897	0.894	0.890	0.886
60	0.883	0.879	0.875	0.871	0.867	0.863	0.858	0.854	0.849	0.844
70	0.839	0.834	0.829	0.824	0.818	0.813	0.807	0.801	0.795	0.789
80	0.783	0.776	0.770	0.763	0.757	0.750	0.743	0.736	0.728	0.721
90	0.714	0.706	0.699	0.691	0.684	0.676	0.668	0.661	0.653	0.645
100	0.638	0.630	0.622	0.615	0.607	0.600	0.592	0.585	0.577	0.570

注: 中间值用内插法计算。

表21 Q235-A 焊接钢管截面轴心受压支柱的稳定系数中

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.994
10	0.992	0.991	0.989	0.987	0.985	0.983	0.981	0.978	0.976	0.973
20	0.970	0.967	0.963	0.960	0.957	0.953	0.950	0.946	0.943	0.939
30	0.936	0.932	0.929	0.925	0.922	0.918	0.914	0.910	0.906	0.903
40	0.899	0.895	0.891	0.887	0.882	0.878	0.874	0.870	0.865	0.861
50	0.856	0.852	0.847	0.842	0.838	0.833	0.828	0.823	0.818	0.813
60	0.807	0.802	0.797	0.791	0.786	0.780	0.774	0.769	0.763	0.757
70	0.751	0.745	0.739	0.732	0.726	0.720	0.714	0.707	0.701	0.694
80	0.688	0.681	0.675	0.668	0.661	0.655	0.648	0.641	0.635	0.628
90	0.621	0.614	0.608	0.601	0.594	0.588	0.581	0.575	0.568	0.561
100	0.555	0.549	0.542	0.536	0.529	0.523	0.517	0.511	0.505	0.499

注: 中间值用内插法计算。

表22 16Mn 钢轧制钢管截面轴心受压支柱的稳定系数中

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.997	0.996	0.994
10	0.993	0.992	0.990	0.988	0.986	0.984	0.982	0.980	0.978	0.975
20	0.973	0.971	0.969	0.967	0.964	0.962	0.960	0.957	0.955	0.952
30	0.950	0.947	0.944	0.941	0.939	0.936	0.933	0.930	0.927	0.923
40	0.920	0.917	0.913	0.909	0.906	0.902	0.898	0.894	0.889	0.885
50	0.881	0.876	0.871	0.866	0.861	0.855	0.850	0.844	0.838	0.832
60	0.825	0.819	0.812	0.805	0.798	0.791	0.783	0.775	0.767	0.759
70	0.751	0.742	0.734	0.725	0.716	0.707	0.698	0.689	0.680	0.671
80	0.661	0.652	0.643	0.633	0.624	0.615	0.606	0.596	0.587	0.578
90	0.570	0.561	0.552	0.543	0.535	0.527	0.518	0.510	0.502	0.494
100	0.487	0.479	0.471	0.464	0.457	0.450	0.443	0.436	0.429	0.423

注：中间值用内插法计算。

表23 16Mn 钢焊接钢管截面轴心受压支柱的稳定系数

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.993	0.991
10	0.989	0.987	0.984	0.981	0.978	0.975	0.972	0.968	0.964	0.960
20	0.956	0.952	0.948	0.943	0.939	0.935	0.931	0.926	0.922	0.917
30	0.913	0.908	0.903	0.899	0.894	0.889	0.884	0.879	0.874	0.869
40	0.863	0.858	0.852	0.847	0.841	0.835	0.829	0.823	0.817	0.811
50	0.804	0.798	0.791	0.784	0.778	0.771	0.764	0.756	0.749	0.742
60	0.734	0.727	0.719	0.711	0.704	0.696	0.688	0.680	0.672	0.664
70	0.656	0.648	0.640	0.632	0.623	0.615	0.607	0.599	0.591	0.583
80	0.575	0.567	0.559	0.551	0.544	0.536	0.528	0.521	0.513	0.506
90	0.499	0.491	0.484	0.477	0.470	0.463	0.457	0.450	0.443	0.437
100	0.431	0.424	0.418	0.412	0.406	0.400	0.395	0.389	0.384	0.378

注：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(53)计算。

$$F = (P_{\perp})_{mx} \tan \beta \dots \dots \dots (53)$$

式中：(P<sub>⊥</sub>)<sub>mx</sub>—— 见6.7.1.4, N。

6.8.2 支柱底板与基础的摩擦力按式(54)计算。

$$F_s = f_s \frac{m_{\min} G}{n} \dots \dots \dots (54)$$

式中：f<sub>s</sub>。—— 支柱底板与基础的摩擦系数，

钢-混凝土 f<sub>s</sub>=0.4

钢-钢 f<sub>s</sub>=0.3。

6.8.3 地脚螺栓

当 F ≥ F<sub>s</sub> 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 < F<sub>s</sub> 时，球罐必须设置地脚螺栓，地脚螺栓的螺纹小径按式(55)计算。

$$d_B = 1.13 \sqrt{\frac{F_s - F}{n_d [\tau]_B}} + C_B \dots \dots \dots (55)$$

式中:  $d_s$ ——地脚螺栓的螺纹小径, mm;  
 $nd$ ——每个支柱上的地脚螺栓个数;  
 $[r]_s$ ——地脚螺栓材料的许用剪应力,  $[r]_g = 0.40$ , 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  $D$ 。按式(56)和式(57)计算, 取两式中的较大值。

$$D_1 = 1.13 \sqrt{\frac{W_{max}}{[\sigma]_b}} \dots\dots\dots (56)$$

$$D_2 = (8 \sim 10)d + d \dots\dots\dots (57)$$

式中:  $D_1$ 、 $D_2$ ——支柱底板直径, mm;  
 $[\sigma]$ ——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 8 计算。

$$\delta_b = \sqrt{\frac{3\sigma_{cb} L_b^2}{[\sigma]_b}} + C_b \dots\dots\dots (58)$$

式中:  $\delta$ ——底板厚度, mm;  
 $\sigma_{cb}$ ——底板的压应力, MPa, 按式(59)计算:

$$\sigma_{cb} = \frac{4W_{max}}{\pi D^2} \dots\dots\dots (59)$$

$D$ ——见AJ9.1, mm;  
 $L$ ——底板外边缘至支柱外表面的距离(见图13) mm;  
 $[\sigma]$ ——底板材料的许用弯曲应力,  $[\sigma] = a./1.5$ , MPa;

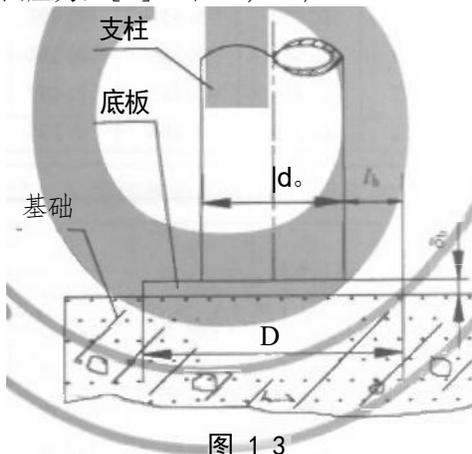


图 1 3

$C_b$ ——底板的腐蚀裕量, 一般取  $C = 3$  mm。

6.10 拉杆计算

6.10.1 拉杆螺纹小径按式(60)计算。

$$d_r = 1.13 \sqrt{\frac{F_T}{[\sigma]_T}} + C_T \dots\dots\dots (60)$$

式中:  $d_r$ ——拉杆螺纹小径, mm;  
 $F_T$ ——拉杆的最大拉力, 按式(61)计算, N;

$$F_T = \frac{(P_{r,l})_{max}}{\cos \beta} \dots\dots\dots (61)$$

$(P_i)_{max}$ —— 见6. 7. 1. 4, N;

[a]—— 拉杆材料的许用应力, [o]r=0. /1. 5, MPa;

Cr—— 拉杆的腐蚀裕量, 一般取Cr=2 mm。

6. 10. 2 拉杆连接部位的计算

当拉杆采用图14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(62)计算。

$$d_p = 0.8 \sqrt{\frac{F_T}{[\tau]_p}} \dots\dots\dots (62)$$

式中:  $d_p$ ——销子直径, mm;

[z], ——销子材料的许用剪切力, [r], =0. 40, MPa。

6. 10. 2. 2 耳板厚度按式(63)计算。

$$\delta_c = \frac{F_T}{d_p [\sigma]_c} \dots\dots\dots (63)$$

式中:  $\delta$  ——耳板厚度, mm

$d_o$ ——销子直径mm;

[o]. —— 耳板材料的许用压应力, [o]=0. /1. 1, MPa。

6. 10. 2. 3 翼板厚度按式(64)计算。

$$\delta_s = \frac{d_s}{2} \cdot \frac{\sigma_s}{\sigma'_s} \dots\dots\dots (64)$$

式中:  $\delta_s$  ——翼板厚度, mm;

$\delta_o$  ——见式(63), mm;

$\sigma_s$  ——耳板材料的屈服点, MPa;

$\sigma'_s$  ——翼板材料的屈服点, MPa。

6. 10. 2. 4 焊缝强度验算

a) 耳板与支座的焊缝A(见图14)所承受的剪切应力按式(65)校核。

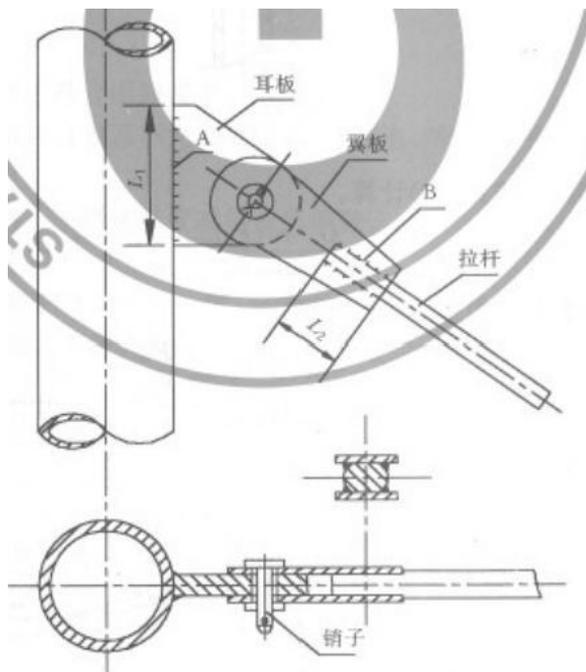


图 14

$$\frac{F_T}{1.41L_1S_1} \leq [\tau]_w \quad \dots\dots\dots (65)$$

式中:  $L_1$ ——A 焊缝单边长度, mm;

$S_1$ ——A 焊缝焊脚尺寸, mm;

$[\tau]_w$ ——焊缝的许用剪切应力, MPa, 按式(66)计算。

$$[\tau]_w = 0.40 \sigma_s \quad \dots\dots\dots (66)$$

$\sigma_s$ ——支柱或耳板材料的屈服点, 取较小值, MPa。

b) 拉杆与翼板的焊缝B(见图14)所承受的剪切应力按式(67)校核。

$$\frac{F_T}{2.82L_2S_2} \leq [\tau]_w \quad \dots\dots\dots (67)$$

式中:  $L_2$ ——B 焊缝单边长度, mm;

$S_2$ ——B 焊缝焊脚尺寸, mm;

$[\tau]_w$ ——焊缝的许用剪切应力, MPa, 按式(68)计算。

$$[\tau]_w = 0.40 \sigma_s \quad \dots\dots\dots (68)$$

$\sigma_s$ ——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15)。

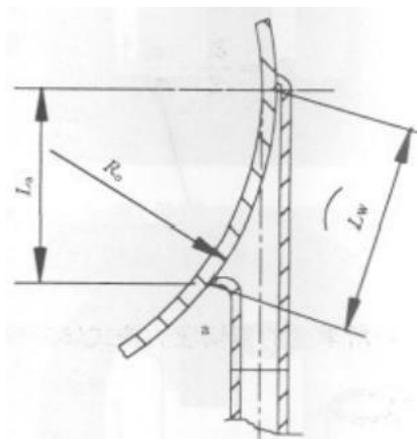


图 15

6.11.1 a点的剪切应力

操作状态下a 点的剪切应力按式(69)计算。

$$\tau_o = \frac{G_o + (F_i)_{\max}}{2L_w \delta_{cx}} \quad \dots\dots\dots (69)$$

液压试验状态下a 点的剪切应力按式(70)计算。

$$\tau_T = \frac{G_T + 0.3(F_i)_{\max} \frac{F_w}{F_{\max}}}{2L_w \delta_{cx}} \quad \dots\dots\dots (70)$$

式中:  $(F_i)_x$ —— 见6.7.1.4, 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(71)计算。

$$\sigma_{ol} = \frac{(p + p_{os})(D_1 + \delta_{cx})}{4\delta_{cx}} \quad \dots\dots\dots (71)$$

液压试验状态下a 点的纬向应力按式(72)计算。

$$\sigma_{Tl} = \frac{(p_T + p_{Ts})(D_1 + \delta_{cx})}{4\delta_{cx}} \quad \dots\dots\dots (72)$$

式中： $p_o$ ——操作状态下物料在a点的液柱静压力，MPa；

$p_n$ ——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(73)计算

$$\sigma = \sigma_0 + T \dots\dots\dots (73)$$

液压试验状态下a点的组合应力按式(74)计算

$$\sigma_T = \sigma_0 + T + T_T \dots\dots\dots (74)$$

6.11.3.2 应力校核

a点的组合应力应满足式(75)和式(76)的要求

$$\sigma \leq [\sigma] \dots\dots\dots (75)$$

$$T \leq 0.90\sigma_s \quad (\text{液压试验}) \text{ 或 } 0.8\sigma_s \quad (\text{气压试验}) \dots\dots\dots (76)$$

式中： $\sigma_s$ ——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(77)校核。

$$\tau_w = \frac{W}{1.41L_wS} \leq [\tau]_w \dots\dots\dots (77)$$

式中： $T_w$ ——支柱与球壳连接焊缝所承受的剪切应力，MPa；

$W$ ——取  $G \cdot (F)_{\max}$  和  $G_T + 0.3(F_i)_{\max} \frac{F_w}{F_{\max}}$  两者中的较大值，N；

$S$ ——支柱与球壳连接焊缝焊脚尺寸，mm；

$[\tau]_w$ ——焊缝许用剪切应力，MPa，按式(78)计算。

$$[\tau]_w = 0.4\sigma_s \dots\dots\dots (78)$$

$\sigma_s$ ——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 每块球壳板均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钢板负偏差。

7.1.4 曲率允许偏差

当球壳板弦长大于或等于2000 mm 时，样板的弦长不得小于2000 mm；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16所示。

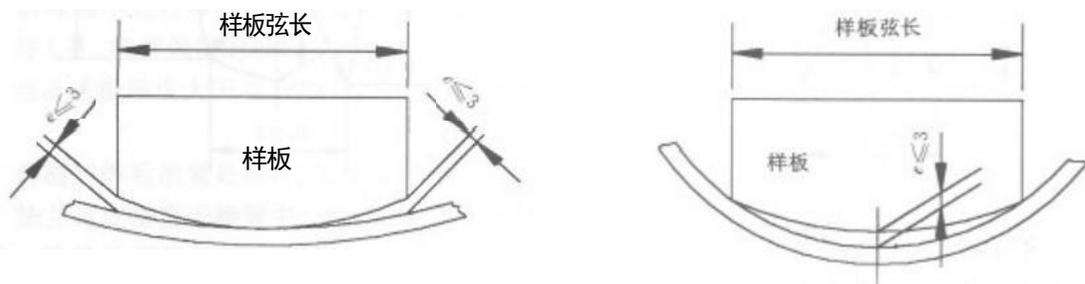


图 16

7.1.5 几何尺寸允许偏差(见图17)

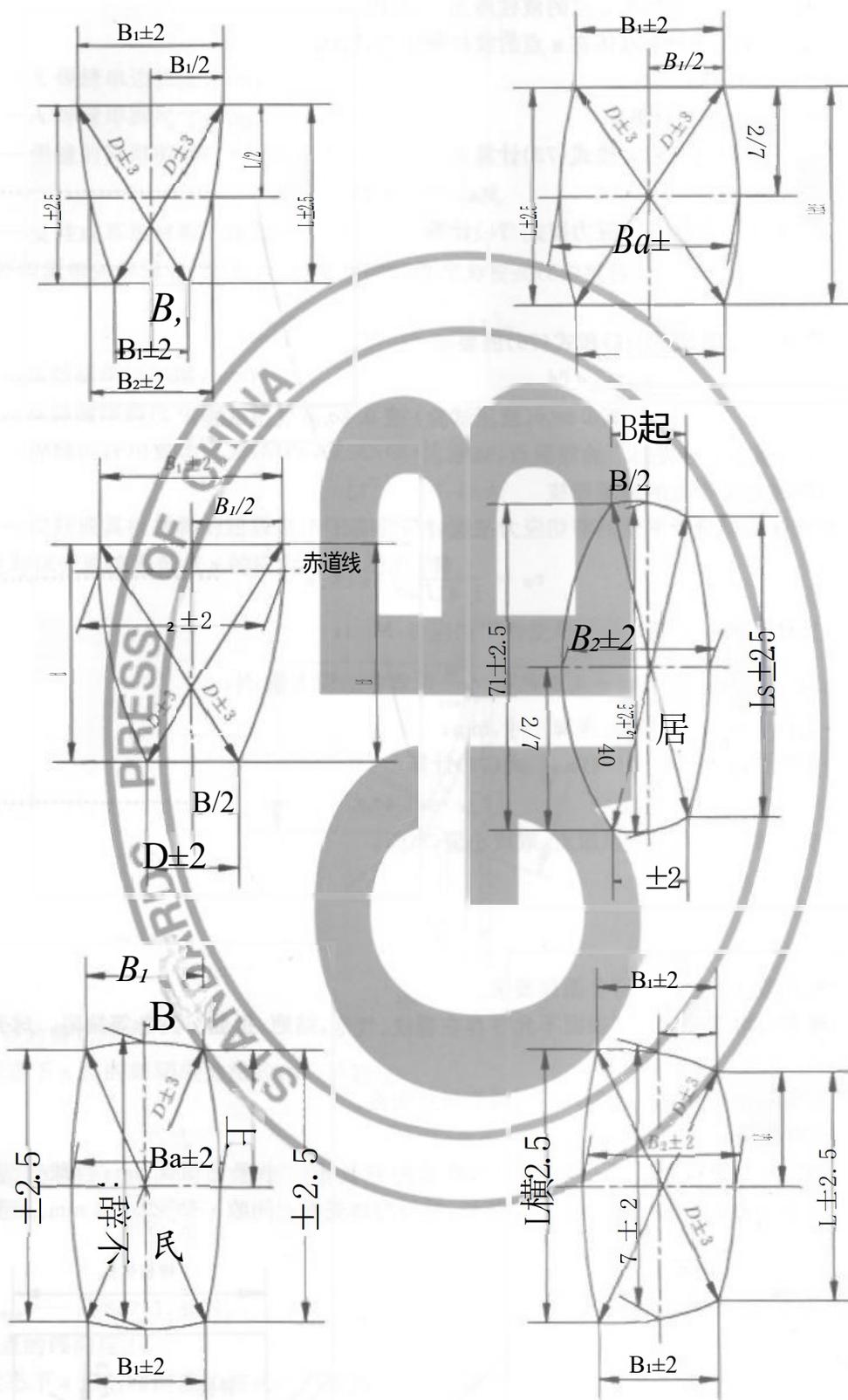


图 17

- a) 长度方向弦长允差不大于  $\pm 2.5\text{mm}$ ;
- b) 宽度方向弦长允差不大于  $\pm 2\text{mm}$ ;
- c) 对角线弦长允差不大于  $\pm 3\text{mm}$ ;

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5mm。

#### 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。应小于或等于25  $\mu\text{m}$ ；

b) 平面度 $B \leq 0.048$ ，且不大于1mm；

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，并经渗透检测确认没有缺陷后方可焊补。焊补应按8.7的规定进行。焊补后应磨平，使其保持原坡口的形状及尺寸；

d) 标准抗拉强度下限值 $\sigma > 540$  MPa钢材的气割坡口表面应进行磁粉或渗透检测。

7.1.7 球壳板周边100mm 的范围内应按JB 4730的规定进行超声检测，质量等级按4.2.6的有关规定。

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18削成斜边，削边后的端部厚度应等于薄板厚度

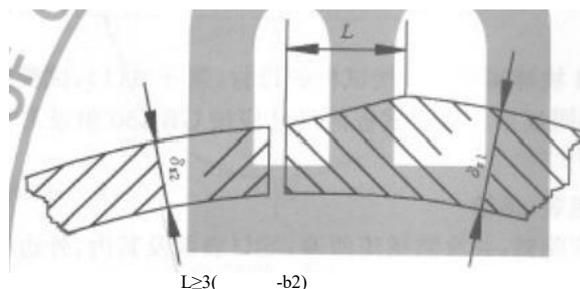


图 18

7.1.9 热压成形的球壳板，成形后球壳板的力学和弯曲性能须由热压工艺保证。

7.1.10 用 07MnCrMoVR、07MnNiCrMoVDR 钢板制造球壳板时应冷压成形。

7.1.11 相同规格的球壳板应具有互换性。

7.1.12 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的规定进行修补。

7.1.13 极板的焊接、焊缝质量无损检测、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1000 mm 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得大于5mm；

b) 开孔球壳板周边100 mm 范围内及开孔中心一倍开孔直径范围外用弦长不小于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20 mm，且支柱与赤道板连接焊缝的焊脚大于12 mm 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 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100 mm 时，按100 mm 计算)，且不大于3mm。

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

测量方法按GB 150中壳体直线度的测量方法要求)。

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19所示。

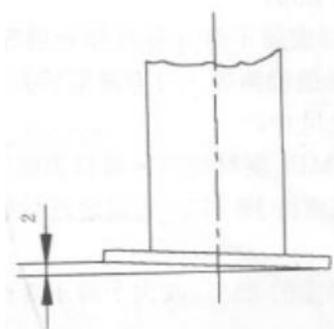


图 19

### 7.3 试板

制造单位应每台提供4块球罐产品焊接试板的母材(须开坡口), 试板的材料必须是合格的, 且与球壳板用材具有相同钢号、相同规格。每块试板的尺寸应按GB150 附录E“产品焊接试板的力学性能检验”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50mm 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30 t。

7.4.3 试板宜装箱运输, 拉杆等杆件宜集束包扎。

7.4.4 所有加工件表面应涂防锈油脂, 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、包装和运输的其他要求按JB 2536的有关规定。

#### 7.5 铭牌

制造单位应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) 组焊单位名称及制造许可证号码;
- 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(或充装系数);
- m) 球壳材料;
- n) 球壳厚度;
- o) 最大允许工作压力;

- p) 球罐重量;
- q) 执行标准;
- r) 监检标记;
- s) 制造日期。

## 8 组焊、检验与验收

### 8.1 一般规定

8.1.1 球罐组焊前应对基础尺寸进行检查(见图20),其允许偏差应符合表24的规定。

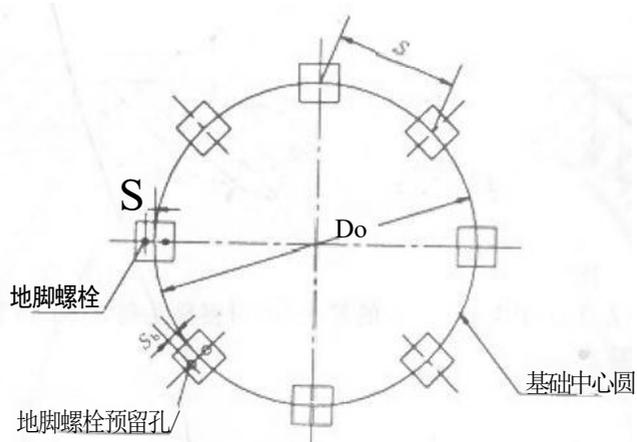


图20

表 24 基础尺寸允许偏差

序号	项 目		允 许 偏 差
1	基础中心圆直径 $D_0$	球罐公称容积 $<1-000\text{m}^3$	$\pm 5 \text{ mm}$
		球罐公称容积 $\geq 1000\text{m}^2$	$\pm D/2000 \text{ mm}$
2	基础方位		$1^\circ$
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 $S$		$\pm 2 \text{ mm}$
5	地脚螺栓预留孔中心与基础中心圆的间距 $S$		$\pm 8 \text{ mm}$
6	基础标高	支柱基础上表面的标高	$-\frac{D_b}{1\ 000}$ , 且不低于 $-15 \text{ mm}$
		相邻支柱基础的标高差	$\leq 4 \text{ mm}$
7	单个支柱基础上表面的平面度	地脚螺栓固定的基础	$5 \text{ mm}$
		预埋地脚板固定的基础	$2 \text{ mm}$

注:  $D_1$ 为球壳设计内直径,  $\text{mm}$ 。

8.1.2 球罐组焊前,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的要求;
- c) 对球壳板应进行超声检测抽查,抽查数量不得少于球壳板总数的20%,且每带不少于两块,上、下极各不少于一块。其结果应符合4.2.6的规定。若发现超标缺陷,应加倍抽查,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,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压力试验合格后进行。

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。采用手工电弧焊时，间隙宜为 $2 \pm 2\text{mm}$ ，采用药芯焊丝气体保护焊时，间隙宜为 $3 \pm 1\text{mm}$ ；采用其他焊接方法时，对口间隙应由焊接工艺确定。

8.2.1.3 对口错边量 $b$ 不大于 $1/48$ ，且不得大于 $3\text{mm}$ （当两板厚度不等时，不应计入两板厚度的差值），见图21、图22。

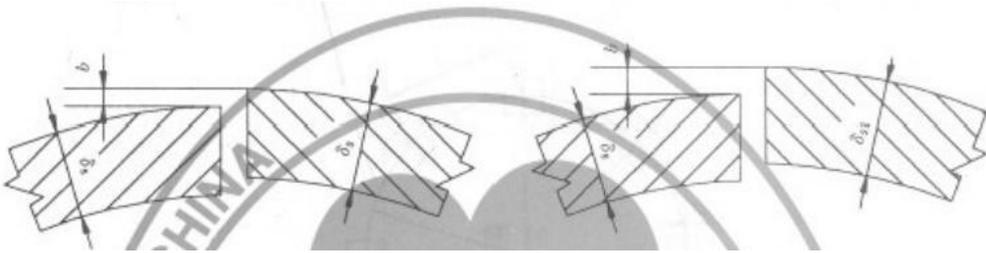


图 2 1

图22

8.2.1.4 组装后用弦长 $L$ 不小于 $1000\text{mm}$ 的样板，沿对接接头每 $500\text{mm}$ 测量一点，棱角 $E$ （包括错边量）不应大于  $G_m$ ，见图23。

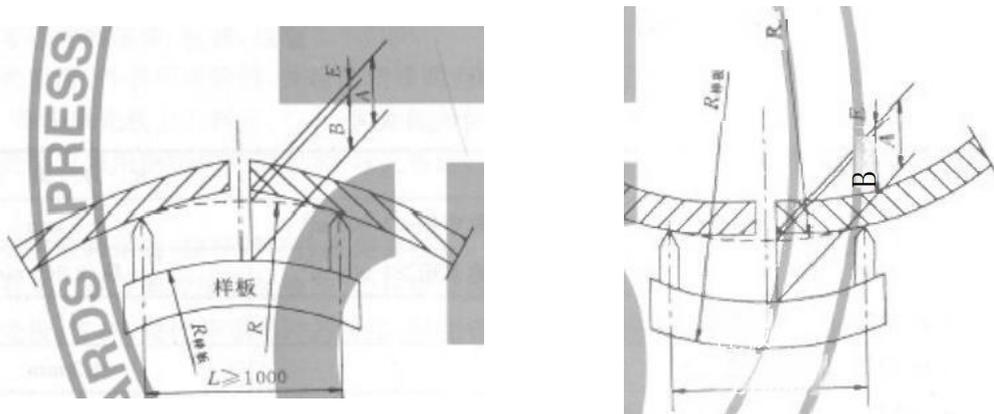


图23

$E$  值按式 (79) 计算

$$E = A - B \quad \dots \quad (79)$$

式中： $E$ ——棱角， $\text{mm}$ ；

$A$ ——球壳与样板的最大径向距离， $\text{mm}$ ；

$B$ ——球壳设计内半径或外半径与样板曲率半径的径向距离， $\text{mm}$ 。

$$B = |R - R_{\text{样板}}| \quad \text{开板} \quad \dots \quad (80)$$

式中： $R$ ——球壳的设计内半径或外半径， $\text{mm}$ ；

$R_{\text{样板}}$ ——样板的曲率半径， $\text{mm}$ 。

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 $\Delta$  ( $\Delta = |a_1 - a_2|$ ) 应符合下列规定，见图24。

a) 当支柱高度 $H$  小于或等于 $8000\text{mm}$  时， $\Delta$ 应小于或等于 $10\text{mm}$ ；

b) 当支柱高度 $H$  大于 $8000\text{mm}$  时， $\Delta$ 应小于或等于 $1.5H/1000$ ，且不大于 $15\text{mm}$ 。

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。

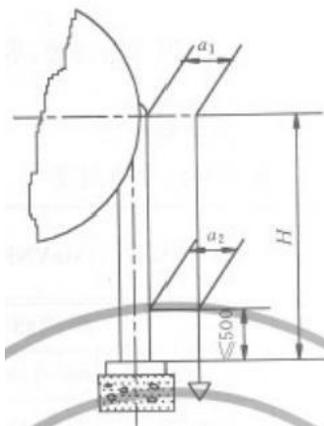


图 2 4

### 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) 雨天及雪天人
- b) 手工焊时风速超过8 m/s，气体保护焊时风速超过2 m/s；
- c) 环境温度在-5℃以下；
- d) 相对湿度在90%以上。

注：焊接环境的度和相对湿度应在距球罐表面500~1.000mm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有效期内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 焊接2评定前，应针对钢板的钢号、厚度、焊接方法及焊接材料，选取适宜的方法进行裂纹试验。

8.3.3.2 球罐焊接工艺评定应按IB 4708的规定进行。焊接规程按图样技术要求和评定合格的焊接工艺制定。

#### 8.3.4 焊接要求

##### 8.3.4.1 焊接材料的干燥

- a) 焊接材料应设专人负责保管、烘干和发放。
- b) 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，应按有关规定进行烘干。
- c) 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。
- d) 焊条在保温筒内不宜超过4h。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 焊丝在使用前应清除铁锈和油渍等污物。

##### 8.3.4.3 定位焊及工卡具焊接

a) 焊接工艺以及对焊工的要求应与球壳焊接相同。对自动焊焊接的球壳，其定位焊和工卡具焊接按评定合格的手工电弧焊焊接工艺进行。

- b) 要求预热后焊接的球壳，在定位焊及工卡具焊接处，至少应在150 mm范围内进行预热。
- c) 定位焊缝的长度应不小于50 mm，引弧点和熄弧点应在坡口内。
- d) 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。

e) 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:

a) 预热温度可参照表25,并经焊接工艺评定验证确定。

表25 常用钢的预热温度

预热温度, °C 板厚, mm	钢种					
	20R	16MnR 16MnDR	15MnVR	15MnVNR	07MnCrMoVR 07MnNiCrMoVDR	09Mn2VDR
20	—	—	—	75~125	50~95	—
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	75~100	—

注:  
 1拘束度高的部位(如接管、人孔)或环境气温低于5°C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对不需预热的焊件,当焊件温度低于0°C时,应在始焊处100 mm范围内预热至15°C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100 mm。预热温度应距焊缝中心线50 mm 处对称测量,每条焊缝测点不少于3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 焊接线能量应不超过经焊接工艺评定合格的线能量上限。

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 双面焊对接焊缝,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。材料标准抗拉强度下限值 $\sigma > 540$  MPa的钢材清根后须进行渗透检测。

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 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,焊后须立即进行后热消氢处理,后热温度宜为200~250°C,后热时间应为0.5~1h。

a) 厚度大于32 mm,且材料标准抗拉强度下限值 $\sigma > 540$  MPa 的球壳;

b) 厚度大于38 mm 的低合金钢球壳;

c) 嵌入式接管与球壳的对接焊缝;

d) 焊接试验确定需消氢处理者。

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80 mm。

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 $e_1$ 、 $e_2$ 应符合表26和图25的规定。



(a) 单面坡口

(b) 双面坡口

图 25

表 26

mm

标准抗拉强度下限值 $\sigma > 540$ MPa的钢材				其他钢材			
单面坡口		双面坡口		单面坡口		双面坡口	
$e_j$	$e_2$	$e$	$e_2$	$e_i$	$e$	$e_i$	$e_2$
0~10% $\delta_1$ , 且 $\leq 3$	$\leq 1.5$	0~10% $\delta_1$ 且 $\leq 3$	0~10% $\delta_2$ 且 $\leq 3$	0~15% $\delta_1$ , 且 $\leq 3$	$\leq 1.5$	0~15% $\delta_1$ 且 $\leq 3$	0~15% $\delta_2$ 且 $\leq 3$

8.5.3 角焊缝的焊脚，在图样无规定时，取焊件中较薄者之厚度。补强圈的焊脚，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8mm。

8.5.4 角焊缝应有圆滑过渡至母材的几何形状。

8.6 无损检测

8.6.1 从事球罐无损检测的人员，必须持有劳动部门颁发的有效期内相应项目的锅炉压力容器无损检测人员技术等级鉴定证书。取得相应项目 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，方可进行无损检测。

8.6.3 用有延迟裂纹倾向的钢材制造的球罐，应在焊接结束至少经36h 后，方可进行焊缝的无损检测。

8.6.4 射线检测与超声检测

8.6.4.1 凡符合下列条件之一的球壳对接接头，应按图样规定的检测方法，进行100%的射线或超声检测：

- a) 厚度 $\delta$ 大于30 mm 的碳素钢和16MnR 钢制球罐；
- b) 厚度 $\delta$ 大于25 mm 的15MnVR 和任意厚度的15MnVNR 钢制球罐；
- c) 材料标准抗拉强度下限值 $> 540$  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危害或高度危害物料的球罐；
- f) 图样规定须100%检测的球罐。

8.6.4.2 对于进行100%射线或超声检测的焊接接头，是否需采用超声或射线检测进行复测，以及复测的长度，由设计者在图样上予以规定。

8.6.4.3 除8.6.4.1规定以外的焊接接头，允许做局部射线或超声检测。检测方法按图样规定。检测长度不得少于各条焊接接头长度的20%。局部无损检测应包括每个焊工所施焊的部分部位。以下部位应全部检测，其检测长度可计入局部检测长度之内。

- a) 焊缝的交叉部位；
- b) 嵌入式接管与球壳连接的对接接头；
- c) 以开孔中心为圆心，1.5倍开孔直径为半径的圆内所包容的焊接接头；
- d) 公称直径不小于250mm 的接管与长颈法兰、接管与接管对接连接的焊接接头；
- e) 凡被补强圈、支柱、垫板、内件等所覆盖的焊接接头。

注：按本条规定检测后，制造或组焊单位对未检查的焊接接头质量仍需负责。但是，若作进一步检测可能会发现气孔等不危及球罐安全的超标缺陷，如果这也不允许时，就应选择100%的射线或超声检测。

8.6.4.4 焊接接头的射线检测按JB 4730 进行，射线照相的质量要求不应低于AB 级，其检测结果对100%检测的对接接头，不低于I 级为合格；对局部检测的对接接头，不低于III级为合格。

8.6.4.5 焊接接头的超声检测按JB 4730进行，其检测结果对100%检测的对接接头，I 级为合格；对局部检测的对接接头，不低于I 级为合格。

#### 8.6.5 磁粉检测与渗透检测

8.6.5.1 符合下列条件的部位应按图样规定的方法，对其表面进行磁粉或渗透检测：

a) 图样注明有应力腐蚀的球罐、材料标准抗拉强度下限值 $\sigma > 540$  MPa的钢制球罐及用有延迟裂纹倾向的钢材制造的球罐的所有焊接接头表面；

b) 嵌入式接管与球壳连接的对接接头表面；

c) 焊补处的表面；

d) 工卡具拆除处的焊迹表面和缺陷修磨处的表面；

e) 支柱与球壳连接处的角焊缝表面；

f) 凡进行10%射线或超声检测的球罐上公称直径小于250mm 的接管与长颈法兰、接管与接管对接连接的焊接接头表面。

8.6.5.2 磁粉或渗透检测前应打磨受检表面至露出金属光泽，并使焊缝与母材平滑过渡。

8.6.5.3 磁粉和渗透检测按JB 4730进行，检测结果均为I 级合格。

#### 8.6.6 重复检测

8.6.6.1 经射线或超声检测的焊接接头，如有不允许的缺陷，应在缺陷清除干净后进行焊补，并对该部位按原检测方法重新检测，直至合格。

经局部检测的焊接接头，射线检测或超声检测复测的焊接接头，如发现有不允许的缺陷时，应在该焊工所焊焊接接头缺陷两端的延伸部分两倍抽测。两倍抽测时如仍发现有不允许的缺陷，则应对该焊工所焊焊接接头进行100%检测。

8.6.6.2 磁粉与渗透检测发现的不允许缺陷，应按8.7的规定进行修磨或焊补，并对该部位按原检测方法重新检查，直至合格。

#### 8.7 修磨和焊补

球罐在制造、运输利施工过程中产生的各种有害缺陷应进行修磨或焊补。

##### 8.7.1 修磨

球壳板局部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设计厚度，同时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5000mm<sup>2</sup> 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，还应进行超声检测。

坡口表面缺陷按7.1.6修磨和焊补。

b) 焊缝表面缺陷进行焊补时，焊补长度应大于50mm。材料标准抗拉强度下限值 $\sigma > 540$  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) 焊缝的内部缺陷焊补时，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的规定。

d) 焊接接头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(组焊)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) 焊补工艺应按评定合格的焊接工艺进行。

## 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：

a) 图样要求进行焊后整体热处理者；

b) 厚度大于32 mm (若焊前预热100℃以上时，厚度大于38 mm) 的碳素钢和07MnCrMoVR 钢制球壳；

c) 厚度大于30mm (若焊前预热100℃以上时，厚度大于34 mm) 的16MnR 钢制球壳；

d) 厚度大于28mm (若焊前预热100℃以上时，厚度大于32mm) 的15MnVR 钢制球壳；

e) 任意厚度的其他低合金钢制球壳；

f) 图样注明有应力腐蚀的球罐，如盛装液化石油气、液氨等的球罐；

g) 图样注明盛装毒性为极度或高度危害物料的球罐。

## 8.8.2 热处理工艺，

8.8.2.1 热处理温度应按图样要求，也可参照表27，但均应经焊接工艺评定进行验证。

		表 27 热 处 理 温 度			
	钢 号			热处理温度, °C	
	20R			600±25	
	16MnR			600±25	
	15MnVR			570±20	
	15MnVNR			565±20	
07MnCMoVR、07MnNiCrMoVDR				565±20	
09Mn2VDR、16MnDR				600±20	

8.8.2.2 热处理恒温时间，按球壳厚度每25mm 恒温1h 计算，且不少于1h

8.8.2.3 升温至400℃ 以上时，升温速度宜控制在50~80℃/h。

8.8.2.4 降温时，降温速度宜控制在30~50℃/h,400℃ 以下自然冷却。

8.8.2.5 400℃ 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1000mm 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4500mm。距人孔与球壳环焊缝边缘200 mm 以内及产品焊接试板上，必须设测温点。

8.8.4.2 温度宜进行连续自动记录。仪表精度应达到1%的要求。

### 8.8.5 支柱位移

8.8.5.1 热处理前应在支柱底板下设置移动设施。

8.8.5.2 热处理过程中，应监测支柱底板位移，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。多个焊工焊接的球壳,做焊接试板的焊工由组焊单位的检验部门指定。

8.9.1.2 每台球罐应按施焊位置做三块产品焊接试板(横焊、立焊和平焊加仰焊)。

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热处理高温区的外侧,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和试样的截取、试样的检验与评定应按GB 150附录E的规定。

8.9.3 采用厚度大于25 mm的20R钢板、厚度大于38 mm的16MnR、15MnVR和15MnVNR钢板制造的球壳,当球罐的设计温度低于0℃时;采用厚度大于12 mm的20R钢板,厚度大于20 mm的16MnR、15MnVR、15MnVNR钢板制造的球壳,当球罐的设计温度低于-10℃时,其产品焊接试板的试样,除按8.9.2进行检验与评定外,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 试样按GB 150附录E进行检验与评定。

8.9.4 当试样评定结果不能满足GB 150附录E的要求时,允许按GB 150附录E的规定取样进行复验。如复验结果仍达不到要求时,则该球罐的产品焊接试板被判为不合格。

8.9.5 当产品焊接试板被判为不合格时,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150 mm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的压缩空气检查焊接接头质量。

### 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3.8.1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、15MnVR和07MnCrMoVR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,则需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,应保持球罐外表面的干燥;

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接接头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15 min,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30 min,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,用压缩空气将球罐内部吹干。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球壳内直径时;

充液高度到2/3球壳内直径时;

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 $D./1000$  ( $D$ 。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, 并需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3.8.1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%且不超过0.05 MPa, 保持 5min, 然后对球罐的所有焊接接头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10 min, 然后以10%的试验压力为级差, 逐级升压至试验压力, 保持至少10 min 后, 将压力降至设计压力进行检查, 以无泄漏为合格;

c) 缓慢卸压。

#### 8.10.6 气密性试验

8.10.6.1 气密性试验应在压力试验合格后进行。试验压力按3.9.2的规定。

8.10.6.2 气密性试验所用气体应为干燥、洁净的空气、氮气或其他惰性气体。

8.10.6.3 气密性试验时气体温度不得低于15℃。

8.10.6.4 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的规定。

##### 8.10.6.5 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10 min, 进行泄漏检查, 以无泄漏为合格;

c) 缓慢卸压。

#### 8.11 竣工验收

球罐竣工后, 组焊单位应将3.2.4.3规定的技术文件交付建设单位。建设单位需会同质量技术监督部门锅炉压力容器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

### (标准的附录)

### 低温球形储罐

#### A1 总则

A1.1 本附录适用于设计温度低于或等于 $-20^{\circ}\text{C}$ 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、组焊、检验与验收。

A1.2 对本附录未作规定者,还应符合本标准各有关章节的要求。

A1.3 由于环境温度的影响,球壳的金属温度低于或等于 $-20^{\circ}\text{C}$ 时,也应遵循本附录的规定。

注:环境温度系指球罐使用地区历年一月平均最低气温”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。

A1.4 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 $50\text{C}$ 后,高于 $-20^{\circ}\text{C}$ 时,不必遵循本附录的规定。

“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 $-20^{\circ}\text{C}$ ,但其环向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 $50\text{ MPa}$ 时的工况。

“低温低应力工况”不适用于钢材标准抗拉强度下限值大于 $540\text{ MPa}$ 的低温球罐。

螺栓材料一般不人低温低应力工况考虑,但应计及螺栓和球壳设计温度间的差异。

#### A2 材料

##### A2.1 钢材

A2.1.1 低温球罐受压元件用钢必须是镇静钢。球壳用钢板应使用正火或调质钢板。钢材的使用温度下限可不同于钢材标准中规定的最低试验温度。

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,应具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 钢材的超声检测、磁材检测,除以下要求外,均按第4章的有关规定。

用于球壳的钢板厚度大于 $20\text{mm}$ 时,应逐张进行超声检测,钢板超声检测以不低于JB 4730规定的II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) 表6所列的低温用钢管,因钢材的尺寸限制,无法制备 $5\text{mm}\times 10\text{mm}\times 55\text{ mm}$ 冲击试样时;
- b) 符合本标准表5所列的碳素钢和碳锰钢钢管,因钢管尺寸限制,无法制备 $5\text{mm}\times 10\text{ mm}\times 55\text{ mm}$ 冲击试样,且设计温度不低于表A1者;

表 A1 免作冲击试验的钢管最低设计温度

钢管名义厚度 mm	最低设计温度, $^{\circ}\text{C}$	
	焊后状态使用	焊后热处理状态使用
8	-20	-35
6	-25	-40
4	-40	-45
2	-45	-45

c) 符合A1.4 要求的低温低应力工况；

d) 螺母用材。

A2.1.5 钢材的冲击试验方法，应符合GB/T 229的规定，冲击试样为10mm×10mm×55mm 标准试样。若无法制备标准试样时，也可采用厚度为7.5 mm 或 5mm 的小尺寸试样。试样的缺口应沿厚度方向(棒材沿径向)制备。并以三个试样为一组。

A2.1.6 根据需要钢材可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。每批钢板重量的限制按厚度分类：6~16 mm 钢板应不大于15t；大于16 mm 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。每批钢管数量的限制按直径分类：外直径大于351mm 的钢管每批不超过50根；外直径小于或等于351 mm 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，试样的缺口应沿厚度方向制备。

c) 锻件：按照JB 4727规定的取样数量和取样部位切取试样。

A2.1.7 低温球罐用钢的冲击试验温度应低于或等于球壳或其受压元件的最低设计温度。当球壳或其受压元件使用在符合A1 要求的低温低应力工况时，钢材的冲击试验温度须低于或等于最低设计温度加50℃(若温度加50℃后，高于-20℃时，按A1.4 有关规定)。钢材试验温度下的冲击功指标，按钢材标准抗拉强度下限值确定，具体要求应满足表A2 的规定。小试样的冲击功指标根据试样宽度按比例缩减。

表A2 低温夏比(V 型缺口)冲击试验最低冲击功规定值

钢材标准抗拉强度下限值a, MPa	三个试样的冲击功平均值Ak <sub>v</sub> , J	
	10 mm×10 mm	55 mm
450	18	
>450/1515	20	
>515~656	27	
注： 1 试验温度下三个试样的冲击功平均值不得低于表中的规定，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 标准抗拉强度下限值大于650MPa的螺栓等钢件的冲击功值按标准抗拉强度下限值等于650 MPa钢材的要求，但40CrNiMo的低温冲击功应不小于31J三个试样平均值)。		

A2.1.8 冲击试验结果不符合A2.1.7 要求时，按下列规定处理：

a) 三个试样的冲击功均低于表A2 的规定值，或两个试样低于规定值的70%，则受检钢材判为不合格；

b) 除 a) 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A2 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，否则受检钢材判为不合格；

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。

逐张(件)试验还不合格的钢材，也可进行热处理后复验。

## 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。

当焊缝两侧母材具有不同冲击试验要求时，焊接材料的选用应符合A4.2.2 要求。

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 焊条应按批号进行药皮含水量熔敷金属扩散氢含量的复验，其检验方法按有关标准或技术要求。

### A3 设计

A3.1 低温球罐用材的许用应力，按第4章中各相应材料在20℃下的许用应力选取，或按3.6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，以减小局部高应力；接管端部应打磨成圆角，呈圆滑过渡。

A3.3 球罐焊接接头应采用全焊透焊接接头型式。

### A4 制造、组焊、检验与验收

#### A4.1 加工与成形

A4.1.1 对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成形或组装。不得在受压元件上刻划或敲打材料标记或焊工钢印等。

A4.1.2 球壳板应冷压成形。

#### A4.2 焊接

A4.2.1 低温球罐施焊前应按JB 4708进行焊接工艺评定试验。检验项目应增加焊缝和热影响区的低温夏比(V型缺口)冲击试验。冲击试件的取样方法和合格指标，按A2.1 钢材的要求确定。

A4.2.2 当焊缝两侧母材具有不同冲击试验要求时，焊缝金属的冲击试验温度应低于或等于两侧母材中的较低者，低温冲击功按两侧母材抗拉强度的较低值符合表A2 的要求；热影响区按相应母材要求确定。接头的拉伸和弯曲性能按两侧母材中的较低要求。

A4.2.3 按照JB 4708进行焊接工艺评定，由不同组别号的母材组成焊接接头时，其焊接接头的低温冲击试验需重新评定。

A4.2.4 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，以多道施焊为宜。

A4.2.5 焊接区域内，包括对接接头和角接接头的表面，不得有裂纹、气孔和咬边等缺陷。焊缝表面不应有急剧的形状变化，应与母材呈圆滑过渡。

#### A4.3 焊后整体热处理

球壳板厚度大于或等于16 mm 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 每台低温球罐都应制备产品焊接试板。试板尺寸、试样截取、检验项目、试验方法以及合格指标等，均按8.9的规定。

A4.4.2 产品焊接试板，应进行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 对母材的要求。

#### A4.5 焊接接头检验

A4.5.1 低温球罐应按图样规定的检测方法，对所有对接接头进行100%射线或超声检测。

A4.5.2 应对球罐的所有焊接接头表面、工卡具焊迹及缺陷修磨、焊补处进行磁粉或渗透检测。非受压件与球壳的连接焊缝亦按本条要求检测。

A4.6 低温球罐液压试验时的液体温度应不低于5℃。

A4.7 低温球罐的铭牌不得直接铆固在球壳上。

## 附 录 B

(标准的附录)

### 场地土的分类及近震、远震

B1 场地土的类型，宜根据土层剪切波速按表B1 划分。

表 B1 场地土的类型划分

场地土的类型	土层剪切波速, m/s
坚硬场地土	$V_m > 500$
中硬场地土	$500 \geq v_m > 250$
中软场地土	$250 \geq v_m > 140$
软弱场地土	$V_m \leq 140$

注: v. 为土层剪切波速;  $v_m$ 为土层平均剪切波速, 取地面下15m且不深于场地覆盖层厚度范围内各土层剪切波速, 按土层厚度加权的平均值。

B2 当无实测剪切波速时, 可按表B2 划分土的类型, 并可按下列原则确定场地土类型: 当为单一土层时, 土的类型即为场地土的类型; 当为多层时, 场地土类型可根据地面下15m 且不深于场地覆盖层厚度范围内各土层类型和厚度综合评定。

表 B2 土的类型划分

土的类型	岩土名称和性状
中硬土	中密、稍密的碎石土, 密实、中密的砾、粗、中砂, $f > 200$ 的粘性土和粉土
中软土	稍密的砾、粗、中砂, 除松散外的细、粉砂, $f \leq 200$ 的粘性土和粉土, $f \geq 130$ 的填土
软弱土	淤泥和淤泥质土, 松散的砂, 新近沉积的粘性土和粉土, $f < 130$ 的填土

注:  $f$ 为地基土静承载力标准值(kPa)。

B3 场地覆盖层厚度, 应按地面至剪切波速大于500m/s 的土层或坚硬土顶面的距离确定。

B4 场地类别, 应根据场地土类型和场地覆盖层厚度转分为四类, 并应符合表B3 的规定。当有充分依据时可适当调整。

表 B3 场地类别划分

场地土类型	场地土覆盖层厚度dov, m				
	0	$0 < dov \leq 3$	$3 < dov \leq 9$	$9 < dov \leq 80$	$dov > 80$
坚硬场地土	I				
中硬场地土		I		I	
中软场地土		I	I		I
软弱场地土		I	I		IV

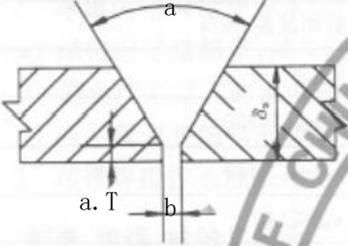
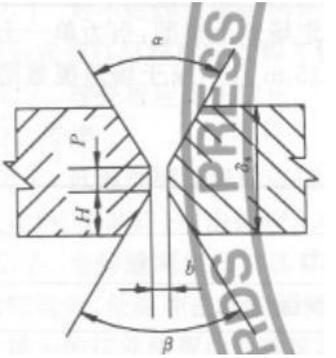
B5 近震、远震的规定

当球罐所在地区遭受的地震影响来自本设防烈度区或比该地区设防烈度大一度地区的地震时, 抗震设计应按本规范有关设计近震的规定执行, 当球罐所在地区遭受的地震影响可能来自设防烈度比该地区设防烈度大二度或二度以上地区的地震, 应按本规范有关设计远震执行。

附录 C

(提示的附录)

球壳对接焊缝的坡口形式及尺寸

坡口形式	坡口尺寸	
	埋弧焊	手工焊
	$\delta = 16 \sim 20 \text{ mm}$ $P = 7 \pm 1 \text{ mm}$ $b = 0 + 1 \text{ mm}$ $a = 60^\circ \pm 5^\circ$	$\delta = 6 \sim 18 \text{ mm}$ $P = 2 \pm 1 \text{ mm}$ $b = 2 \pm 2 \text{ mm}$ $\alpha = 55^\circ \pm 5^\circ$
	$\delta = 20 \sim 28 \text{ mm}$ $H = 6 \pm 1 \text{ mm}$ $\delta = 30 \sim 40 \text{ mm}$ $H = 10 \pm 1 \text{ mm}$ $P = 6 \pm 1 \text{ mm}$ $b = 0 + 2 \text{ mm}$ $a = 60^\circ \pm 5^\circ$ $\beta = 60^\circ \pm 5^\circ$	$\delta = 18 \sim 50 \text{ mm}$ $H = 3 \pm 1.5 \text{ mm}$ $P = 2 \pm 1 \text{ mm}$ $b = 2 \pm 2 \text{ mm}$ $\alpha = 55^\circ \pm 5^\circ$ $\beta = 60^\circ \pm 5^\circ$