

球形储罐施工及验收规范

**Code for construction and
Acceptance of spherical tanks**

主编部门：中国石油天然气总公司

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：1998 年 12 月 1 日

中国计划出版社

1998 北京

关于发布国家标准

《球形储罐施工及验收规范》的通知

建标〔1998〕99号

根据国家计委计综合〔1993〕110号文的要求，由中国石油天然气总公司会同有关部门共同修订的《球形储罐施工及验收规范》，已经有关部门会审。现批准《球形储罐施工及验收规范》GB 50094—98为强制性国家标准，自一九九八年十二月一日起施行。原国家标准《球形储罐施工及验收规范》GBJ94—86同时废止。

本规范由中国石油天然气总公司负责管理，具体解释等工作由中国石油天然气总公司工程技术研究院负责，出版发行由建设部标准定额研究所负责组织。

中华人民共和国建设部

一九九八年五月六日

目 次

1	总 则	.....
2	零部件的检查和验收	.....
2.1	零部件质量证明书的检查	.....
2.2	球壳板和试板的检查	.....
2.3	支柱检查	.....
2.4	组焊件的检查	.....
2.5	零部件的油漆、包装和运输检查	.....
3	现场组装	.....
3.1	基础检查验收	.....
3.2	球罐组装	.....
3.3	零部件安装	.....
4	焊 接	.....
4.1	一般规定	.....
4.2	焊接工艺评定	.....
4.3	焊接材料的选用与现场管理	.....
4.4	焊接施工	.....
4.5	修补	.....
4.6	球罐焊后尺寸检查	.....
5	焊缝检查	.....
5.1	焊缝的外观检查	.....
5.2	无损检测人员资格	.....

5.3	射线检测和超声检测	.....
5.4	磁粉检测和渗透检测	.....
6	焊后整体热处理	.....
6.1	一般规定	.....
6.2	热处理工艺	.....
6.3	保温要求	.....
6.4	测温系统	.....
6.5	柱脚处理	.....
7	产品焊接试板	.....
7.1	产品焊接试板的制备要求	.....
7.2	试样的制备和试验	.....
8	压力试验和气密性试验	.....
8.1	压力试验	.....
8.2	气密性试验	.....
9	交工验收	.....
附录A	低温球形储罐	.....
A.1	一般规定	.....
A.2	球壳板检查与验收	.....
A.3	组装	.....
A.4	焊接	.....
A.5	焊后整体热处理	.....
A.6	产品试板	.....

A.7	焊缝检查	.....
A.8	压力试验	.....
附录B	球罐各部位名称及球罐各带、球壳板和 焊缝编号	.....
附录C	交工验收表格	.....
附录D	本规范用词说明	.....
附加说明		.....
附：条文说明		.....

1 总 则

1.0.1 为使球形储罐（以下简称“球罐”）在现场施工中做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于设计压力大于或等于0.1MPa且不大于4 MPa、公称容积大于或等于50m³ 的橘瓣式或混合式以支柱支撑的碳素钢和合金钢制焊接球罐。

本规范不适用于下列球罐：

- （1）受核辐射作用的球罐；
- （2）非固定（如车载或船载）的球罐；
- （3）双层结构的球罐；
- （4）要求做疲劳分析的球罐；
- （5）膨胀成形的球罐。

1.0.3 球罐的施工及验收应包括下列范围：

1.0.3.1 球壳及与其连接的受压零部件应划定在下列范围内：

- （1）球罐接管与外管道焊接连接的第一道环向焊缝；
- （2）球罐接管与外管道螺纹连接的第一个螺纹接头；
- （3）球罐接管与外管道法兰连接的第一个法兰密封面。

1.0.3.2 球罐开孔的承压封头、平盖及其紧固件。

1.0.3.3 与球壳连接的支柱、拉杆、垫板和底板等非受压元件。

1.0.4 对设计温度低于或等于-20℃的球罐应执行本规范附录A的规定。

1.0.5 球罐的施工单位必须具有劳动部门颁发的球形压力容器现场组焊资格证书。

1.0.6 球罐安装前，施工单位必须通知球罐使用单位或安装单位所在地的省级和地市级劳动部门，并向省级劳动部门锅炉压力容器安全监察机构授权的检验单位报检，接受其进行的现场监督检查。

1.0.7 球罐应按设计图样进行施工。当需修改设计时，必须取得原设计单位的同意，并签署设计修改文件。

1.0.8 球罐的施工及验收除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准、规范的规定。

2 零部件的检查和验收

2.1 零部件质量证明书的检查

2.1.1 施工单位应对制造单位提供的产品质量证明书等技术质量文件进行检查。

2.1.2 球罐的球壳板、人孔、接管、法兰、补强件、支柱及拉杆等零部件的出厂证明书应包括下列内容：

- (1) 零部件出厂合格证；**
- (2) 劳动部门监检机构出具的产品监检报告；**
- (3) 材料代用审批证明；**

- (4) 材料质量证明书及有关的复验报告;
- (5) 钢板、锻件及零部件无损检测报告;
- (6) 球壳板周边超声检测报告;
- (7) 坡口和焊缝无损检测报告 (包括检测部位图);
- (8) 热压成形试板检验报告;
- (9) 产品焊接试板试验报告。

2.2 球壳板和试板的检查

2.2.1 球壳的结构型式应符合设计图样要求。每块球壳板本身不得拼接。

2.2.2 制造厂提供的球壳板不得有裂纹、气泡、结疤、折叠和夹杂等缺陷, 当存在上述缺陷应按本规范第4.5节的规定进行修补。

2.2.3 球壳板厚度应进行抽查, 实测厚度不得小于名义厚度减去钢板负偏差。抽查数量应为球壳板数量的20%, 且每带不应少于2块, 上、下极不应少于1块; 每张球壳板的检测不应少于5点。抽查若有不合格, 应加倍抽查; 若仍有不合格, 应对球壳板逐张检查。

2.2.4 球壳板的外形尺寸应符合下列要求:

2.2.4.1 球壳板曲率检查所用的样板及球壳与样板允许间隙应符合表2.2.4-1的规定 (图2.2.4-1)。

样板及球壳板与样板允许间隙

表2.2.4-1

球壳板弦长 (m)	样板弦长 (m)	允许间隙 e(mm)
≥ 2	2	3
< 2	与球壳板弦长相同	3

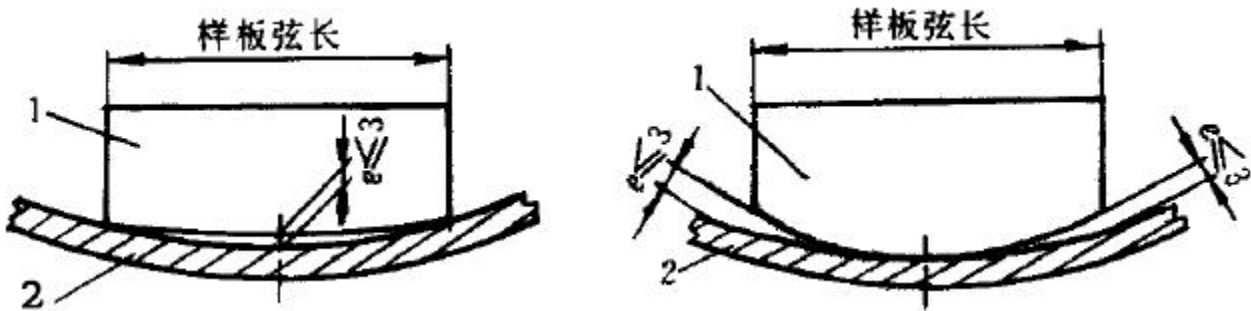


图 2.2.4-1 球壳板曲率检查（单位：mm）

1-样板；2-球壳板

2.2.4.2 球壳板几何尺寸允许偏差应符合表2.2.4-2的规定（图2.2.4-2）

2.2.5 球壳板焊接坡口应符合下列要求：

2.2.5.1 气割坡口表面质量应符合下列要求：

- (1)平面度应小于或等于球壳板名义厚度（ δ_n ）的0.04倍，且不得大于1mm。
- (2)表面应平滑，表面粗糙度（Ra）应小于或等于 25 μ m；
- (3)缺陷间的极限间距（Q）应大于或等于0.5 m；

球壳板几何尺寸允许偏差

表2.2.4-2

项 目	允许偏差 (mm)
长度方向弦长 L_1 、 L_2 、 L_3	± 2.5
任意宽度方向弦长 B_1 、 B_2 、 B_3	± 2
对角线弦长 D	± 3
两条对角线间的距离	5

注：对刚性差的球壳板，可检查弧长。其允许偏差应符合表中前3项的规定。

(4) 熔渣与氧化皮应清除干净，坡口表面不应有裂纹和分层等缺陷。用标准抗拉强度大于540MPa的钢材制造的球壳板，坡口表面应经磁粉或渗透检测抽查，不应有裂纹、分层和夹渣等缺陷。抽查数量为球壳板数量的20%，若发现有不允许的缺陷，应加倍抽查；若仍有不允许的缺陷，应逐件检测。

2.2.5.2 坡口几何尺寸允许偏差应符合下列要求（图2.2.5）：

(1) 坡口角度（ α ）的允许偏差为 $\pm 2^{\circ} 30'$ ；

(2) 坡口钝边（ P ）及坡口深度（ h ）的允许偏差为 $\pm 1.5\text{mm}$ 。

2.2.6 球壳板周边100mm范围内应进行全面积超声检测抽查，抽查数量不得少于球壳板总数的20%，且每带不应少于2块，上、下极不应少于1块；对球壳板有超声检测要求的还应进行超声检测抽查，抽查数量与周边抽查数量相同。检测方法和结果应符合国家现行标准《压力容器无损检测》JB4730的规定，合格等级应符合设计图样的要求。若有不允许的缺陷，应加倍抽查，若仍有不允许的缺陷，应逐件检测。

2.2.7 当相邻板的厚度差大于或等于3mm或大于其中的薄板厚度的 $1/4$ 时，厚板边缘应削成斜边（图 2.2.7），削边后的端部厚度应等

于薄板厚度。

2.2.8 制造单位应提供每台球罐不少于6块的产品焊接试板和焊接工艺评定所需要的试板，其尺寸应为180mm×650mm。试板的材料应合格，且应与球壳板具有相同钢号和相同厚度，产品焊接试板的坡口型式应与球壳板相同。

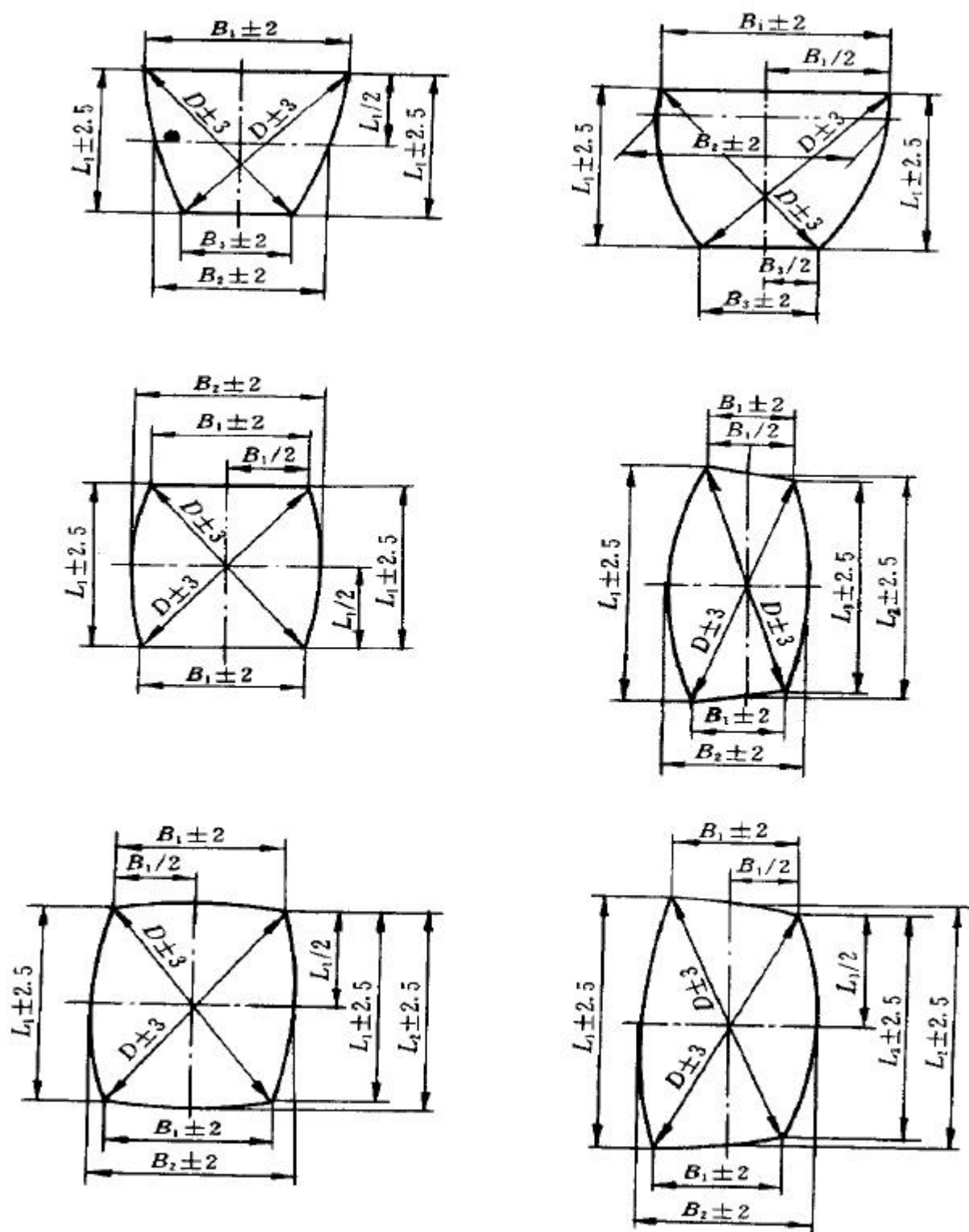


图2.2.4-2 球壳板几何尺寸检查 (单位: mm)

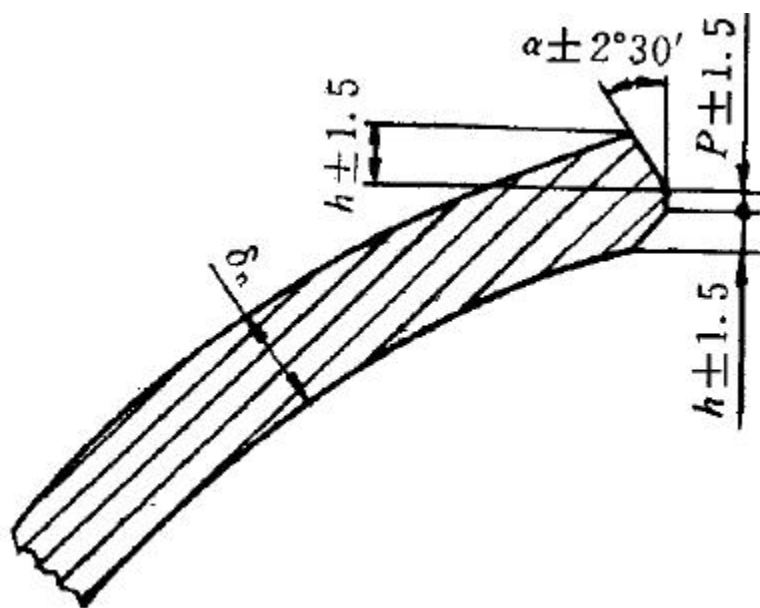


图2.2.5 球壳板坡口几何尺寸检查（单位：mm）

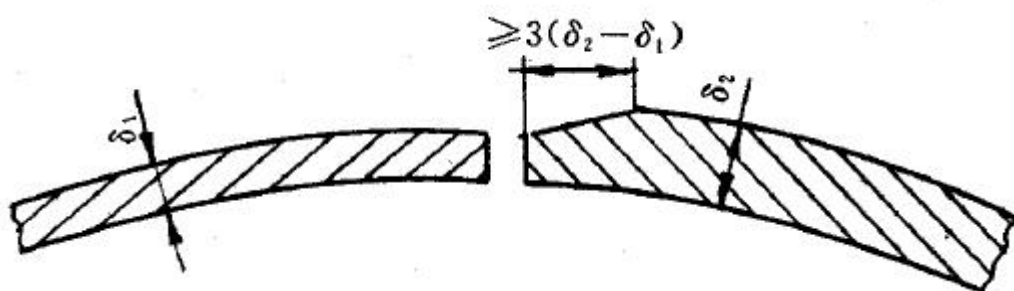


图2.2.7 不同厚度的球壳板焊接时对厚板削薄的要求

2.3 支柱检查

2.3.1 支柱全长长度允许偏差为3mm。

2.3.2 支柱与底板焊接后应保持垂直，其垂直度允许偏差为2mm（图2.3.2）。

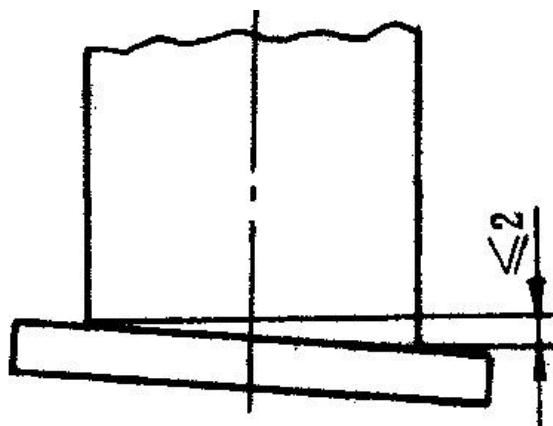


图2.3.2 支柱与底板垂直度偏差检查（单位：mm）

2.3.3 支柱全长的直线度偏差应小于或等于全长的 $1 / 1000$ ，且不应大于10mm。

2.4 组焊件的检查

2.4.1 分段支柱上段与赤道板组焊后，采用弦长不小于1m的样板检查赤道板的曲率，其间隙不得大于3mm。上段支柱直线度的允许偏差为上段支柱长度的 $1 / 1000$ ，轴线位置偏移不应大于2mm。

2.4.2 人孔、接管与球壳板组焊后，人孔、接管开孔位置及外伸长度的允许偏差、球壳板的曲率及接管法兰的安装允许偏差应符合本规范第3.3.1条的要求。

2.5 零部件的油漆、包装和运输检查

2.5.1 球壳板内外表面应除锈，并各涂底漆两道；对坡口表面及其

内外边缘50mm范围内应涂可焊性涂料。每块球壳板上的球壳板编号、钢号及炉批号标记应以白色油漆框出。

2.5.2 运输及存放球壳板时，应采用钢结构托架包装，并应采用拉紧箍将球壳板紧箍在托架上；球壳板的凸面宜向上；各球壳板之间应垫以木块等柔性材料，重迭块数不宜超过6块；每个包装件的总重不宜超过30t。

2.5.3 法兰、人孔和试板等宜装箱运输，拉杆等杆件宜集束包扎。

2.5.4 所有加工件表面应涂防锈油脂。拉杆螺纹应妥善保护，防止损坏。

2.5.5 球壳、支柱、拉杆等零部件的油漆、包装和运输的其它检查要求应符合国家现行标准《压力容器油漆、包装、运输》JB2536的有关规定。

3 现场组装

3.1 基础检查验收

3.1.1 球罐安装前应对基础各部位尺寸进行检查和验收（图3.1.1），其允许偏差应符合表3.1.1 的规定。基础混凝土的强度不低于设计要求的75%方可进行安装。

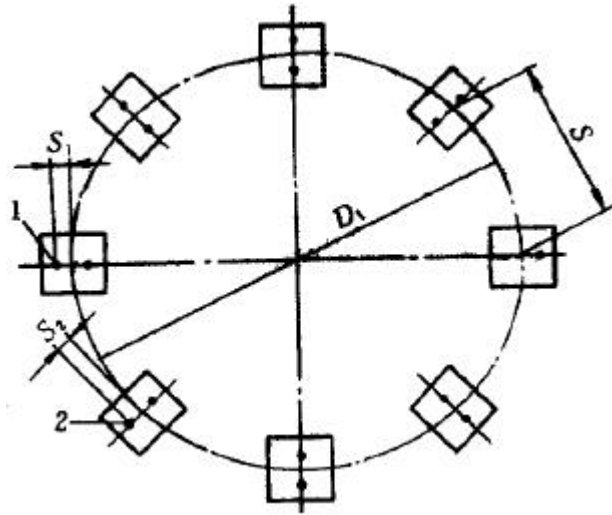


图3.1.1 基础各部位尺寸检查

1-地脚螺栓;2-地脚螺栓预留孔

基础各部位尺寸允许偏差 表3.1.1

序号	项 目		允许偏差	
1	基础中心圆直径 (D _i)	球罐容积<1000m ³	±5mm	
		球罐容积≥1000m ³	±D _i /2000 mm	
2	基础方位		1°	
3	相邻支柱基础中心距 (S)		±2 mm	
4	支柱基础上的地脚螺栓中心与基础中心圆的间距 (S ₁)		±2 mm	
5	支柱基础地脚螺栓预留孔中心与基础中心圆的间距 (S ₂)		±8mm	
6	基础 标 高	采用地脚螺栓固定的基础	各支柱基础上表面的标高	-D _i /1000 mm,且 不低于-15 mm
		采用预埋地脚板固定的基础	相邻支柱的基础标高差	4 mm
			各支柱基础地脚板上表面标高	-6 mm
			相邻支柱基础地脚板标高差	3 mm
7	单个支柱基础上表面的 水平度	采用地脚螺栓固定的基础	5 mm	
		采用预埋地脚板固定的基础地脚板	2 mm	

注: D_i 为球罐设计内径。

3.2 球罐组装

3.2.1 球罐组装前, 应对每块球壳板和焊缝进行编号。球壳板的编号宜沿球罐 $0^\circ \rightarrow 90^\circ \rightarrow 180^\circ \rightarrow 270^\circ \rightarrow 0^\circ$ 进行编排, 编号为1的球壳板应放在 0° 上或与紧靠 0° 向 90° 方向偏转的位置上。当上、下极采用足球瓣式球壳板时, 应画出上、下极的排版图, 标出球壳板编号

和焊缝编号。球罐各部位名称应符合本规范附录B第B.0.1条～第B.0.3条的规定，编号应符合本规范附录B第B.0.4条的规定。

3.2.2 球罐组装时，可采用工卡具调整球壳板组对间隙和错边量，不得进行强力组装。

3.2.3 球壳板组对间隙、错边量和棱角应符合下列要求：

3.2.3.1 采用手工电弧焊时，组对间隙宜为 $2\pm 2\text{mm}$ ；采用药芯焊丝气体保护焊时，组对间隙宜为 $3\pm 1\text{mm}$ ；采用其它焊接方法时，组对间隙应由焊接工艺规程确定。

3.2.3.2 球壳板组对错边量 b 不应大于球壳板的名义厚度的 $1/4$ ，且不得大于 3mm （图 3.2.3-1和图 3.2.3-2），当两板厚度不等时，可不计入两板厚度的差值。

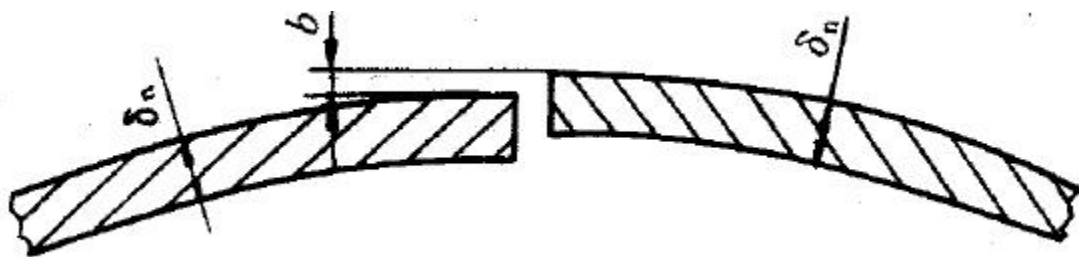


图3.2.3-1 等厚度球壳板组装时的对口错边量

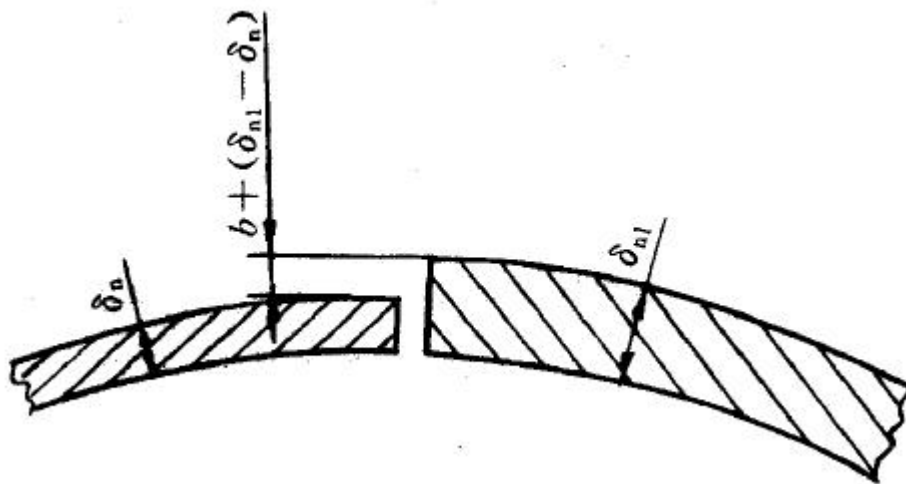


图3.2.3-2 不等厚度球壳板组装时的对口错边量

3.2.3.3 用弦长不小于 l_m 的样板检查球壳板组装后的棱角 (图 3.2.3—3), 棱角应按下式计算, 且不应大于 7mm:

$$E = l_1 - l_2 \quad (3.2.3-1)$$

$$l_2 = |R - R_0| \quad (3.2.3-2)$$

式中 E —棱角值 (mm);

l_1 —最大棱角处球壳与样板的实测径向距离 (mm);

l_2 —标准球壳与样板的径向距离 (mm);

R —球壳的设计内半径或外半径 (mm);

R_0 —样板的曲率半径 (mm)。

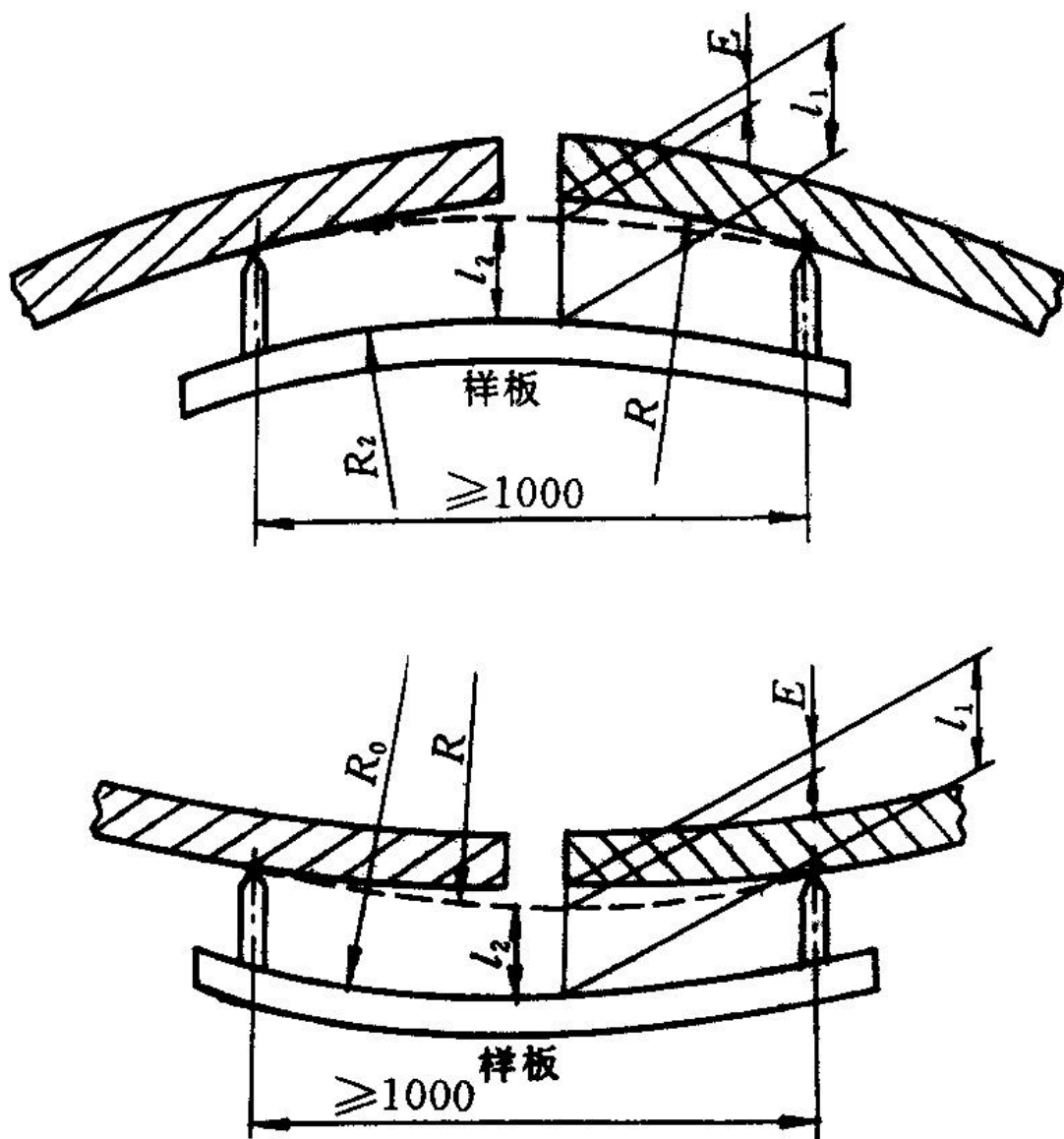


图3.2.3-3 球壳板组装时的棱角检查 (单位: mm)

3.2.3.4 组对间隙、错边量和棱角的检查宜沿对接接头每500mm测量一点。

3.2.4 球罐赤道带组装后, 每块球壳板的赤道线水平误差不宜大于2mm; 相邻两块球壳板的赤道线水平误差不宜大于3mm; 任意两块球壳板的赤道线水平误差不宜大于6mm。

3.2.5 球罐组装时, 下列相邻焊缝的边缘距离不应小于球壳板厚度

的3倍，且不应小于100mm：

3.2.5.1 相邻两带的纵焊缝；

3.2.5.2 支柱与球壳的角焊缝至球壳板的对接焊缝；

3.2.5.3 球罐人孔、接管、补强圈和连接板等与球壳的连接焊缝至球壳板的对接焊缝及其相互之间的焊缝。

3.2.6 球罐组装时应对球罐的最大直径与最小直径之差进行控制，组装完成后其差值宜小于球罐设计内径的3‰，且不应大于50mm。

3.2.7 支柱的安装应符合下列规定：

3.2.7.1 支柱用垫铁找正时，每组垫铁高度不应小于25mm，且不宜多于3块。斜垫铁应成对使用，接触紧密。找正完毕后，点焊应牢固。

3.2.7.2 支柱安装找正后，应在球罐径向和周向两个方向检查支柱的垂直度。当支柱高度小于或等于8m时，垂直度允许偏差为12mm；当支柱高度大于8m时，垂直度允许偏差为支柱高度的1.5‰，且不应大于15mm。

3.2.8 拉杆安装时应对称均匀拧紧。对拉杆中部的挠度宜按下式的计算值进行控制（图3.2.8）：

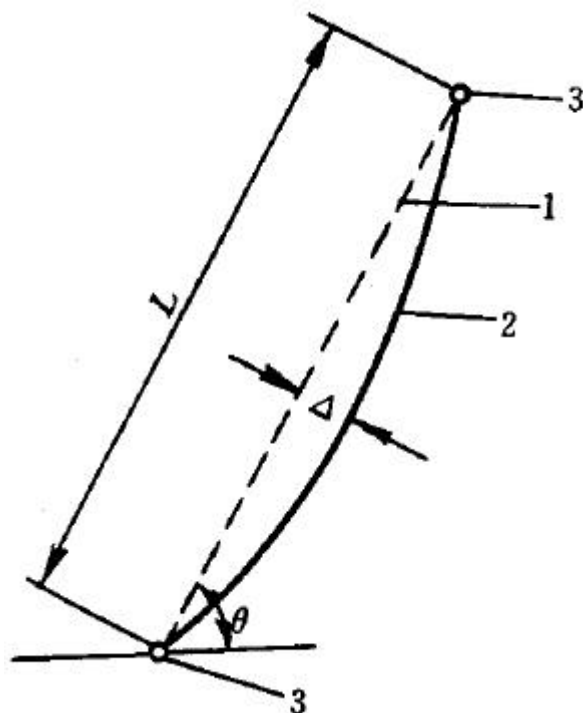


图3.2.8拉杆中部挠度的测定

1 - 拉线; 2 - 拉杆; 3 - 销轴

$$\Delta = 5.42 \times 10^{-4} \cdot (L^4 \cos \theta)^{1/3} \quad (3.2.8)$$

式中 Δ —拉杆中部的挠度 (cm);

L —拉杆两端销轴间距 (cm);

θ —拉杆仰角 ($^{\circ}$)。

3. 3 零部件安装

3.3.1 人孔及接管等受压元件的安装, 应符合下列要求:

3.3.1.1 开孔位置允许偏差为5mm;

3.3.1.2 开孔直径与组装件直径之差宜为2~5mm;

3.3.1.3 接管外伸长度及位置允许偏差为5mm;

3.3.1.4 除设计规定外，接管法兰面应与接管中心轴线垂直，且应使法兰面水平或垂直，其偏差不得超过法兰外径的1%（法兰外径小于100mm时按100mm计），且不应大于3mm；

3.3.1.5 以开孔中心为圆，开孔直径为半径的范围外，采用弦长不小于1m的样板检查球壳板的曲率，其间隙不得大于3mm。

3.3.1.6 补强圈应与球壳板紧密贴合。

3.3.2 球罐上的连接板应与球壳紧密贴合，并在热处理之前与球壳焊接。当连接板与球壳的角焊缝是连续焊缝时，应在不易流进雨水的部位留出10mm的通气孔隙。连接板安装位置的允许偏差为10mm。

3.3.3 影响球罐焊后整体热处理及充水沉降的零部件，应在热处理及沉降试验完成后再与球罐固定。

4 焊接

4.1 一般规定

4.1.1 从事球罐焊接的焊工必须持有劳动部门颁发的有效的合格证书。焊工施焊的钢材种类、焊接方法和焊接位置等均应与本人考试合格的项目相符。

4.1.2 选用的焊机应满足焊接工艺的要求。

4.1.3 当出现下列情况之一时，应采取有效的防护措施，方可进行焊接：

4.1.3.1 雨天及雪天;

4.1.3.2 风速超过8m / s; 采用气体保护焊且风速超过2m / s;

4.1.3.3 焊接环境温度在-5℃及以下;

4.1.3.4 相对湿度在90%及以上。

注: 焊接环境的温度和相对湿度应在距球罐表面0.5~1m处测量。

4.1.4 球罐的焊接方法宜采用手工电弧焊、药芯焊丝自动焊、药芯焊丝半自动焊、埋弧焊。

4.2 焊接工艺评定

4.2.1 球罐焊接前, 应按国家现行标准《钢制压力容器焊接工艺评定》, JB4708进行焊接工艺评定。

4.3 焊接材料的选用与现场管理

4.3.1 焊接材料的选用应符合下列规定:

4.3.1.1 焊接材料应具有质量证明书。手弧焊焊条和药芯焊丝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。

4.3.1.2 手弧焊焊条应符合现行国家标准《碳钢焊条》GB / T5117和现行国家标准《低合金钢焊条》GB / T5118的规定。药芯焊丝应符

合现行国家标准《碳钢药芯焊丝》GB10045的规定。埋弧焊使用的焊丝应符合现行国家标准《熔化焊用钢丝》GB / T14957和现行国家标准《二氧化碳气体保护焊用焊丝》GB / T8110的规定。

4.3.1.3 球壳的对接焊缝以及直接与球壳焊接的焊缝，必须选用低氢型药皮焊条，焊条和药芯焊丝应按批号进行扩散氢复验。扩散氢试验方法应按现行国家标准《电焊条熔敷金属中扩散氢测定方法》GB / T3965的规定进行。烘干后的实际扩散氢含量应符合表4.3.1的要求。

低氢型焊条和药芯焊丝的扩散氢含量 表4.3.1

焊条和药芯焊丝型号	扩散氢含量（ml/100g）
E4315 E4316	≤8
E5015 E5016	≤8
E5515-X E5516-X	≤6
E6015-X E6016-X	≤4
药芯焊丝	≤6

4.3.1.4 焊剂应与所焊的钢种匹配。埋弧焊使用的焊剂应符合现行国家标准《碳素钢埋弧焊用焊剂》GB5293和现行国家标准《低合金钢埋弧用焊剂》GB12470的规定。

4.3.1.5 保护用二氧化碳气体应符合国家现行标准《焊接用二氧化碳》HG / T2537的规定；保护用氩气应符合现行国家标准《氩气》GB4842的规定。二氧化碳气体使用前，宜将气瓶倒置24h，并将水放净。

4.3.2 焊接材料现场管理应符合下列规定:

4.3.2.1 焊接材料应有专人负责保管、烘干和发放。

4.3.2.2 焊接材料使用前应按产品使用说明进行烘干，也可按照表4.3.2规定的烘干温度和时间进行烘干。烘干后的焊条应保存在100~150℃的恒温箱中随用随取，焊条表面药皮应无脱落和明显裂纹。

焊条、焊剂的烘干温度和时间 表4.3.2

种类		烘干温度（℃）	烘干时间（h）
低氢型药皮焊条		350~400	1
焊剂	熔炼型	150~300	1
	烧结型	200~400	1

4.3.2.3 手工电弧焊时，在现场应备有符合产品标准的保温筒，焊条在保温筒内的保存时间不应超过4h。当超过时，应按原烘干温度重新干燥。焊条重复烘干次数不应超过两次。

4.3.2.4 焊剂中不得混入异物。当有异物混入时，应对焊剂进行清理或更换。

4.3.2.5 焊丝在使用前应清除铁锈和油污等。

4.4 焊接施工

4.4.1 焊接前应检查坡口，并应在坡口表面和两侧至少20mm范围内

清除铁锈、水分、油污和灰尘。

4.4.2 预热和后热应符合下列规定：

4.4.2.1 预热温度应按焊接工艺规程执行，常用钢材可按表4.4.2选用。

4.4.2.2 要求焊前预热的焊缝，施焊时层间温度不得低于预热温度的下限值。

常用钢材的预热温度（℃） 表4.4.2

钢种 板厚 (mm)	20R	16MnR	15MnVR	15MnVNR	07MnCr MoVR
20	-	-	-	75~125	75~100
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	

4.4.2.3 符合下列条件之一的焊缝，焊后应立即进行后热处理。

- （1）厚度大于32mm，且材料标准抗拉强度大于540MPa；
- （2）厚度大于38mm的低合金钢；
- （3）嵌入式接管与球壳的对接焊缝；
- （4）焊接工艺规程确定需要后热处理者。

4.4.2.4 后热处理，应按焊接工艺规程执行或按下列要求进行：

- （1）后热温度应为：200~250℃；
- （2）后热时间应为：0.5~1h。

4.4.2.5 预热和后热温度应均匀，在焊缝中心两侧，预热区和后

热区的宽度应各为板厚的3倍，且不应小于100mm。

4.4.2.6 预热和后热及层间温度测量，应在距焊缝中心50mm处对称测量，每条焊缝测量点数不应少于3对。

4.4.2.7 对不需要预热的焊缝，当焊件温度低于0℃时，应在始焊处100mm范围内预热至15℃后进行施焊。

4.4.2.8 接管、人孔等拘束度高的部位及环境气温低于5℃时，应扩大预热范围。

4.4.2.9 预热和后热可根据施工地区能源供应情况，选用电加热法或火焰加热法。预热和后热宜在焊缝焊接侧的背面进行。

4.4.3 定位焊及工卡具的焊接应符合下列要求：

4.4.3.1 应按焊接工艺规程施焊。

4.4.3.2 需要预热时，应在以焊接处为中心，至少在150mm范围内进行预热。

4.4.3.3 定位焊宜在初焊层的背面。定位焊的质量要求应与正式焊缝相同，当出现裂纹时必须清除。

4.4.3.4 定位焊长度应大于50mm，间距宜为250～300mm，定位焊的引弧和熄弧都应在坡口内。

4.4.3.5 工卡具等临时焊缝焊接时，引弧和熄弧点均应在工卡具或焊缝上，严禁在非焊接位置引弧和熄弧。

4.4.4 焊接线能量的确定和控制应符合下列要求：

4.4.4.1 焊接线能量应根据球壳板的材质、厚度、焊接位置和预热温度等，由焊接工艺规程确定。

对于标准抗拉强度大于540MPa的钢材及厚度大于38mm的碳素钢和厚度大于25mm的低合金钢的焊接线能量，必须进行测定和严格控制。

4.4.4.2 焊接线能量的控制应按下式计算结果进行：

$$Q = \frac{60IU}{V} \quad (4.4.4)$$

式中 Q —焊接线能量 (J / cm)；

I —焊接电流 (A)；

U —电弧电压 (V)；

V —焊接速度 (cm / min)。

4.4.4.3 手工电弧焊时，可由允许线能量范围预先确定的每根焊条的焊道长度范围进行线能量的控制。

4.4.4.4 药芯焊丝自动焊和埋弧焊时，可依据焊接工艺规程选用合适的焊接速度进行线能量控制。

4.4.5 手工电弧焊时，球罐焊接顺序和焊工布置应符合下列要求：

4.4.5.1 球罐采用分带组装时，宜在平台上焊接各带的纵缝，然后组装成整体，再进行各带间环缝的焊接。

4.4.5.2 球罐采用分片组装时，应按先纵缝后环缝的原则安排焊接顺序。

4.4.5.3 焊工布置应均匀，并同步焊接。

4.4.6 手工电弧焊双面对接焊缝，单侧焊接后应进行背面清根。当

采用碳弧气刨清根时，清根后应采用砂轮修整刨槽和磨除渗碳层，并应采用目视、磁粉或渗透检测方法进行检查。标准抗拉强度大于540MPa的钢材清根后必须采用磁粉或渗透检测方法进行检测。

焊缝清根时应清除定位焊的焊缝金属，清根后的坡口形状应一致。

4.4.7 药芯焊丝自动焊和半自动焊时，球罐焊接顺序应符合下列要求：

4.4.7.1 球罐组装完毕后，应按先纵缝后环缝的原则安排焊接顺序。

4.4.7.2 纵缝焊接时，焊机布置应对称均匀，并同步焊接。

4.4.7.3 环缝焊接时，焊机布置应对称，并沿同一旋转方向焊接。

4.4.8 焊接时起弧端应采用后退起弧法，收弧端应将弧坑填满，多层焊的层间接头应错开。

4.4.9 每条焊缝中断焊接时，应根据工艺要求采取防止产生裂纹的措施。再焊前应检查确认无裂纹后，方可继续施焊。

4.4.10 在距球罐焊缝50mm处的指定部位，应打上焊工代号钢印，并作出记录。对不允许打钢印的球罐应采用排版图记录。

4.4.11 球壳上的人孔、接管和支柱等零部件的焊接应符合下列要求：

4.4.11.1 锻制凸缘等与球壳的对接焊缝的焊接，除焊接材料应采用与球壳焊接相同的焊接材料外，焊接工艺应与强度较高侧钢材的焊接工艺相同。

4.4.11.2 支柱、连接板等与球壳板的焊接，除焊接材料宜采用与强度较低侧钢材相匹配的焊接材料外，焊接工艺应与强度较高侧钢材的焊接工艺相同。

4.4.11.3 球壳与补强圈、接管、支柱的角焊缝应平缓过渡。

4.5 修补

4.5.1 球罐在制造、运输和施工过程中所产生的各种不合格缺陷都应进行修补。

4.5.2 表面缺陷的修补应符合下列要求：

4.5.2.1 球壳表面缺陷及工卡具焊迹应采用砂轮清除。修磨后的实际厚度不应小于设计厚度，磨除深度应小于球壳板名义厚度的5%，且不应超过2mm。当超过时，应进行焊接修补。

4.5.2.2 球壳板表面缺陷进行焊接修补时，每处修补面积应在50 cm²以内；当有两处或两处以上修补时，任何两处的边缘距离应大于50mm，且每块球壳板表面修补面积总和应小于该球壳板面积的5%。

当划伤及成形加工产生的表面伤痕等缺陷的形状比较平缓时，可直接进行焊接修补。当直接堆焊可能导致裂纹产生时，应采用砂轮将缺陷清除后再进行焊接修补。表面缺陷焊接修补后焊缝表面应打磨平缓或加工成具有1:3及以下坡度的平缓凸面，且高度应小于1.5mm。

4.5.2.3 焊缝表面缺陷应采用砂轮磨除，缺陷磨除后的焊缝表面若低于母材，则应进行焊接修补。焊缝表面缺陷当只需打磨时，应打

磨平滑或加工成具有1: 3及以下坡度的斜坡。

4.5.2.4 焊缝两侧的咬边和焊趾裂纹必须采用砂轮磨除，并打磨平滑或加工成具有1: 3及以下坡度的斜坡（图4.5.2—1），咬边和焊趾裂纹的磨除深度不得大于0.5mm，且磨除后球壳的实际板厚不得小于设计厚度，当不符合要求时应进行焊接修补。

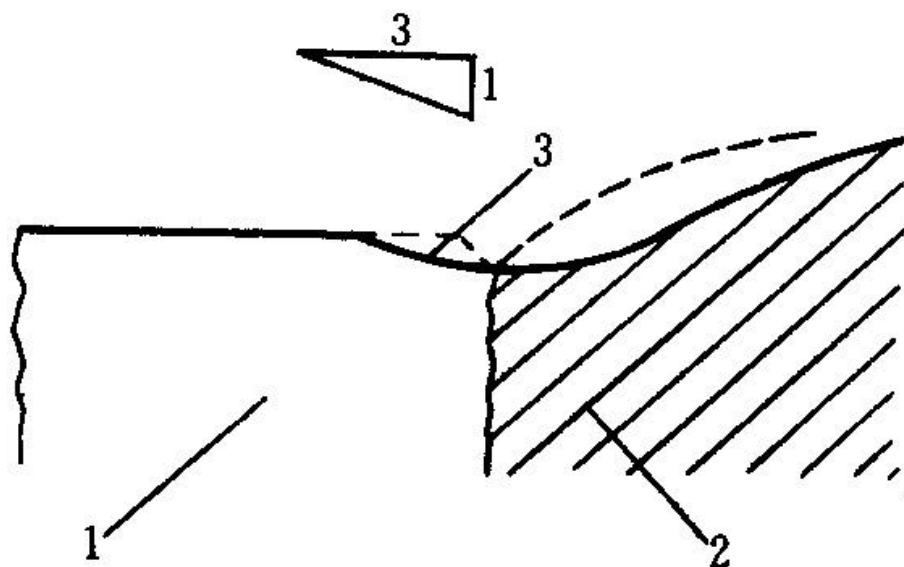


图4.5.2—1 焊缝两侧的焊接缺陷用砂轮修磨

1—母材；2—焊缝金属；3—修整后的表面

4.5.2.5 焊缝咬边和焊趾裂纹等表面缺陷进行焊接修补时，应采用砂轮将缺陷磨除，并修整成便于焊接的凹槽，再进行焊接。补焊长度不得小于50mm。材料标准抗拉强度大于540MPa的球罐在修补焊道上应加焊一道凸起的回火焊道（图4.5.2-2），焊后再磨去多余的焊缝金属。

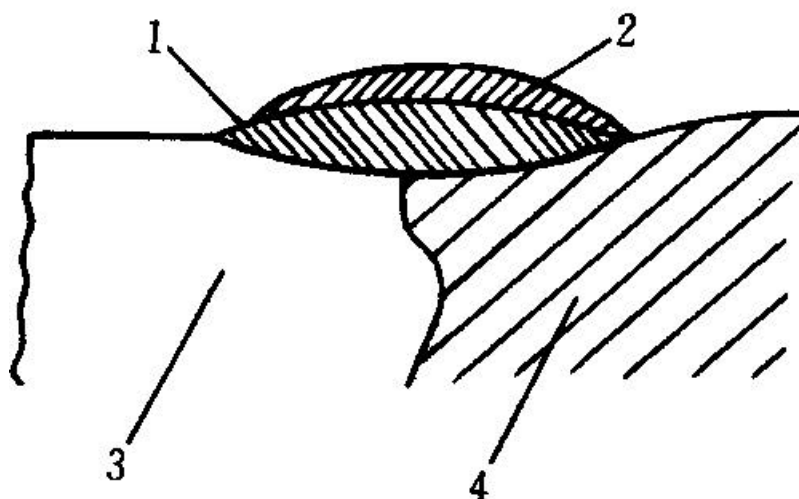


图4.5.2—2 焊接修补的回火焊道

1—修补焊道；2—回火焊道；3—母材；4—焊缝金属

4.5.2.6 焊接修补时如需预热，应以修补处为中心，在半径为150mm的范围内预热，预热温度应取上限。焊接线能量应在规定的范围内；焊接短焊缝时线能量不应取下限值。焊接修补后，有后热处理要求的应立即进行。

4.5.3 焊缝内部缺陷的修补应符合下列要求：

4.5.3.1 应根据产生缺陷的原因，选用适用的焊接方法，并制定修补工艺。

4.5.3.2 修补前宜采用超声检测确定缺陷的位置和深度，确定修补侧。

4.5.3.3 当内部缺陷的清除采用碳弧气刨时，应采用砂轮清除渗碳层，打磨成圆滑过渡，并经渗透检测或磁粉检测合格后方可进行焊接修补。气刨深度不应超过板厚的 $2/3$ ，当缺陷仍未清除时，应焊接

修补后，从另一侧气刨。

4.5.3.4 修补焊缝长度不得小于50mm。

4.5.3.5 焊接修补时如需预热，预热温度应取要求值的上限，有后热处理要求时，焊后应立即进行后热处理；线能量应控制在规定范围内，焊短焊缝时，线能量不应取下限值。

4.5.3.6 同一部位（焊缝内、外侧各作为一个部位）修补不宜超过两次，对经过两次修补仍不合格的焊缝，应采取可靠的技术措施，并经单位技术负责人批准后方可修补。

4.5.3.7 焊接修补的部位、次数和检测结果应作记录。

4.5.4 球罐修补后应按下列规定进行无损检测：

4.5.4.1 各种缺陷清除和焊接修补后均应进行磁粉或渗透检测。

4.5.4.2 当表面缺陷焊接修补深度超过3mm时（从球壳板表面算起）应进行射线检测。

4.5.4.3 焊缝内部缺陷修补后，应进行射线检测或超声检测，选用的方法应与修补前发现缺陷的方法相同。

4.6 球罐焊后尺寸检查

4.6.1 焊接后，棱角应按本规范第3.2.3.3款的方法进行检查，棱角值不得大于10mm。

4.6.2 焊接后，应检查球壳两极间及赤道截面的内直径，并应符合下列要求：

4.6.2.1 两极间的内直径、赤道截面的最大内直径和最小内直径三者之间相互之差均应小于设计内径的 $7/1000$ 且不大于80mm;

4.6.2.2 两极间的内直径、赤道截面的最大内直径和最小内直径与设计内直径之差均应小于设计内直径的 $7/1000$, 且不应大于80mm。

4.6.3 焊后球罐支柱的垂直度应符合本规范第3.2.7.2款的规定。

4.6.4 人孔、接管焊后应符合本规范第3.3.1条的规定。

5 焊缝检查

5.1 焊缝的外观检查

5.1.1 焊接后应对焊缝进行外观检查, 检查前应将熔渣皮、飞溅物等清理干净。

5.1.2 焊缝表面质量应符合下列规定:

5.1.2.1 焊缝和热影响区表面不得有裂纹、气孔、咬边、夹渣、凹坑、未焊满等缺陷。

5.1.2.2 角焊缝的焊脚尺寸应符合设计图样要求。

5.1.2.3 焊缝的宽度应比坡口每边增宽 $1\sim 2$ mm。

5.1.2.4 对接焊缝的余高应符合表5.1.2的要求。

对接焊缝余高（mm） 表5.1.2

焊缝深度（ δ ）	焊 缝 余 高		
	手弧焊	埋弧焊	药芯焊丝气体保护焊
≤ 12	0~1.5	0~3	0~3
$12 < \delta \leq 25$	0~2.5	0~3	0~3
$25 < \delta \leq 50$	0~3	0~3	0~3
> 50	0~4	0~3	0~3

注：焊缝深度是指单面焊为母材厚度；双面焊为坡口钝边中点至母材表面的深度，两侧分别计算。

5.1.3 工卡具去除后的表面，不得有裂纹、气孔、咬边、夹渣、凹坑、未焊满等缺陷。

5. 2 无损检测人员资格

5.2.1 从事球罐无损检测人员，必须持有劳动部门颁发的锅炉压力容器无损检测人员相应的资格证书。

5.2.2 I 级无损检测人员可在 II 级或 III 级人员的指导下，进行相应无损检测操作、记录检测数据、整理检测资料。II 级和 III 级人员方可评定检测结果和签发检验报告。

5.3 射线检测和超声检测

5.3.1 焊缝的射线检测和超声检测应按国家现行标准《压力容器无损检测》JB4730进行，焊缝射线检测可选用X射线检测法或 γ 射线全景曝光检测法。射线照像的质量要求不应低于AB级。

5.3.2 球罐的对接焊缝，凡符合下列条件之一者，应按设计图样规定的检测方法进行100%的射线或超声检测：

5.3.2.1 名义厚度大于38mm的碳素钢球罐的焊缝；

5.3.2.2 名义厚度大于30mm的16MnR球罐的焊缝；

5.3.2.3 名义厚度大于25mm的15MnVR球罐的焊缝；

5.3.2.4 材料标准抗拉强度大于540MPa的球罐的焊缝；

5.3.2.5 进行气压试验的球罐的焊缝；

5.3.2.6 图样注明盛装易燃和毒性为极度或高度危害介质的球罐的焊缝；

5.3.2.7 嵌入式接管与球壳连接的对接焊缝；

5.3.2.8 以开孔中心为圆心，1.5倍开孔直径为半径的圆内包容的焊缝，以及公称直径大于250mm的接管与长颈法兰、接管与接管连接的焊缝；

5.3.2.9 被补强圈所覆盖的焊缝。

5.3.3 球壳板名义厚度小于或等于38mm时，对接焊缝应选用射线检测。

5.3.4 除本规范第5.3.2条规定以外的对接焊缝，允许做局部检测。检测方法按图样规定。检查长度不得少于各条焊缝长度的20%。局部部位应包括每一相交的焊缝接头及每个焊工所施焊的部分部位。

5.3.5 焊缝复检应符合下列规定：

5.3.5.1 对于进行100%射线或超声检测的焊缝，符合下列要求时对每条焊缝应采用超声或射线进行复检。

(1) 材料标准抗拉强度大于或等于540MPa，且名义厚度大于20mm的球罐；

(2) 名义厚度大于38mm的球罐；

(3) 设计图样规定复检。

5.3.5.2 复检比例不应少于检测焊缝长度的20%，复检时应包括每一相交的焊缝接头，两种检测方法的结果均应符合各自的合格标准。

5.3.6 对接焊缝无损检测的合格标准应符合国家现行标准《压力容器无损检测》JB4730的规定，100%射线检测的对接焊缝，Ⅱ级为合格；局部射线检测的对接焊缝，Ⅲ级为合格。100%超声检测的对接焊缝，Ⅰ级为合格；局部超声检测的对接焊缝，Ⅱ级为合格。

5.3.7 经射线或超声检测的焊缝，当有不合格缺陷时，应在缺陷清除并在焊接修补后，对焊接修补部位按原检测方法重新检查，直至合格。经局部检测的焊缝及复检的焊缝如有不合格缺陷时，应在焊缝不合格缺陷的延伸部位加倍抽查。加倍抽查仍有不合格缺陷时，应对该焊工所焊的全部焊缝进行检测。

5.3.8 标准抗拉强度大于540MPa钢材制造的球罐，应在焊接结束36h后，其它钢材制造的球罐应在焊接结束24h后，方可进行焊缝的射线检测或超声检测。

5.3.9 焊缝进行射线检测或超声检测前，应按图样和焊缝排版图对受检部位标位，射线检测应画布片示意图。

焊缝射线检测底片的编号宜由焊缝编号和底片顺序号构成。纵焊

缝的底片顺序号宜从上至下为1、2、3……，环焊缝的底片顺序号宜从 $0^{\circ} \rightarrow 90^{\circ} \rightarrow 180^{\circ} \rightarrow 270^{\circ} \rightarrow 0^{\circ}$ 为1、2、3……。

5.4 磁粉检测和渗透检测

5.4.1 球罐的下列部位应在压力试验前（如球罐需焊后整体热处理时应在热处理前）进行磁粉检测或渗透检测：

5.4.1.1 球壳对接焊缝内外表面；

5.4.1.2 人孔及公称直径大于或等于250mm接管的对接焊缝的内、外表面；

5.4.1.3 接管与球壳板焊缝内外表面；

5.4.1.4 补强圈、垫板、支柱及其它角焊缝的外表面；

5.4.1.5 工卡具焊迹打磨后及球壳体缺陷焊接修补和打磨后的部位。

5.4.2 球罐压力试验后应进行磁粉检测或渗透检测复查，复查比例应为焊缝全长的20%及以上，复查部位包括每一相交的焊缝接头、接管与球壳板焊缝内外表面、补强圈、垫板、支柱及其它角焊缝的外表面、每个焊工所焊焊缝及工卡具焊迹打磨和壳体缺陷焊接修补和打磨后的部位。

5.4.3 磁粉检测和渗透检测应按国家现行标准《压力容器无损检测》JB4730进行，并应符合下列要求：

5.4.3.1 磁粉检测和渗透检测应在射线检测和超声检测发现的

缺陷修补合格后进行。标准抗拉强度大于540MPa钢材制造的球罐焊接结束36h后，其它钢材制造的球罐焊接结束24h后，方可进行磁粉检测或渗透检测。

5.4.3.2 磁粉检测或渗透检测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。

5.4.3.3 磁粉检测应采用圆形沟槽A—30 / 100型标准试片。在同等操作条件下，前后应各做一次灵敏度测试。

5.4.3.4 磁粉检测时，初次显示的磁痕除掉后应再进行试验，当能显示与前次相同的磁痕时，方能确认。

显示的磁痕难以判断为缺陷磁痕时，应将表面修整平滑，再进行试验。

5.4.4 磁粉检测和渗透检测的合格标准应符合下列规定：

5.4.4.1 不得出现下列缺陷：

- (1) 任何裂纹和白点；
- (2) 任何横向缺陷显示；
- (3) 任何长度大于1.5mm的线性缺陷显示；
- (4) 单个尺寸大于或等于2mm的圆形缺陷显示。

5.4.4.2 在35mm × 100mm的焊缝面积上，缺陷显示累计长度不应大于2mm。

5.4.5 磁粉检测和渗透检测发现的缺陷，应按本规范第4.5.2条的规定进行修磨或焊接修补，并对该部位按原检测方法重新检查，直至合格。

6 焊后整体热处理

6.1 一般规定

6.1.1 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:

6.1.1.1 设计图样要求进行焊后整体热处理者;

6.1.1.2 盛装液化石油气、液氨等具有应力腐蚀介质的球罐;

6.1.1.3 名义厚度大于34mm (当焊前预热100℃及以上时, 名义厚度大于38mm) 的碳素钢球罐和07MnCrMoVR钢制球罐;

6.1.1.4 名义厚度大于30mm (当焊前预热100℃及以上时, 名义厚度大于34mm) 的16MnR钢球罐;

6.1.1.5 名义厚度大于28mm (当焊前预热100℃及以上时, 名义厚度大于32mm) 的15MnVR钢球罐。

6.1.1.6 任意厚度的其它低合金钢球罐。

6.1.2 球罐整体热处理前, 应具备下列条件:

6.1.2.1 与球罐受压件连接的焊接工作全部完成;

6.1.2.2 热处理前的各项无损检测工作全部完成;

6.1.2.3 产品焊接试板已放在球罐热处理过程中高温区的外侧;

6.1.2.4 加热系统已调试合格;

6.1.2.5 与热处理无关的接管已采用盲板封堵;

6.1.2.6 球罐与梯子、平台等部件连接的螺栓松开;

6.1.2.7 已采取防雨、防风、防火和防停电等预防措施。

6.2 热处理工艺

6.2.1 热处理温度应符合设计图样要求。当设计图样无要求时，常用钢材热处理温度可按表6.2.1的规定选用。

常用钢材热处理温度 表6.2.1

钢号	热处理温度（℃）
20R	625 ± 25
16MnR	625 ± 25
15MnVR	+ 25 570 — 20
15MnVNR	565 ± 15
07MnCrMoVR	565 ± 20

6.2.2 热处理时，最少恒温时间应按最厚球壳板对接焊缝厚度的每25mm保持1h计算，且不应少于1h。

6.2.3 加热时，在300℃及以下可不控制升温速度；在300℃以上，升温速度宜控制在50～80℃ / h的范围内。

6.2.4 降温时，从热处理温度到300℃的降温速度宜控制在30～50℃ / h范围内，300℃以下可在空气中自然冷却。

6.2.5 在300℃以上阶段，球壳表面上任意两测温点的温差不得大于130℃。

6.3 保温要求

6.3.1 热处理时应选用能耐最高热处理温度、对球罐无腐蚀、容重低、导热系数小和施工方便的保温材料。

6.3.2 保温材料应保持干燥，不得受潮。

6.3.3 保温层应紧贴球壳表面，局部间隙不宜大于20mm。接缝应严密，多层保温时，各层接缝应错开。在热处理过程中保温层不得松动、脱落。

6.3.4 球罐上的人孔、接管、连接板均应进行保温。从支柱与球壳连接焊缝的下端算起，向下不少于1m长度范围内的支柱应进行保温。

6.3.5 在恒温时间内，保温层外表面温度不宜大于60℃。

6.4 测温系统

6.4.1 测温点应均匀地布置在球壳表面，相邻测温点的间距宜小于4.5m。距上下人孔与球壳板环焊缝边缘200mm范围内应设测温点各1个；产品焊接试板应设测温点1个，测温点总数不应少于表6.4.1的规定。

测温点数

表6.4.1

球罐容积(m ³)	50	120	200	400	650	1000	2000	≥4000
测温点数	8	8	12	12	12	16	24	36

6.4.2 测温用的热电偶可采用储能焊或螺栓固定于球壳外表面上

(图6.4.2)，热电偶和补偿导线应固定。

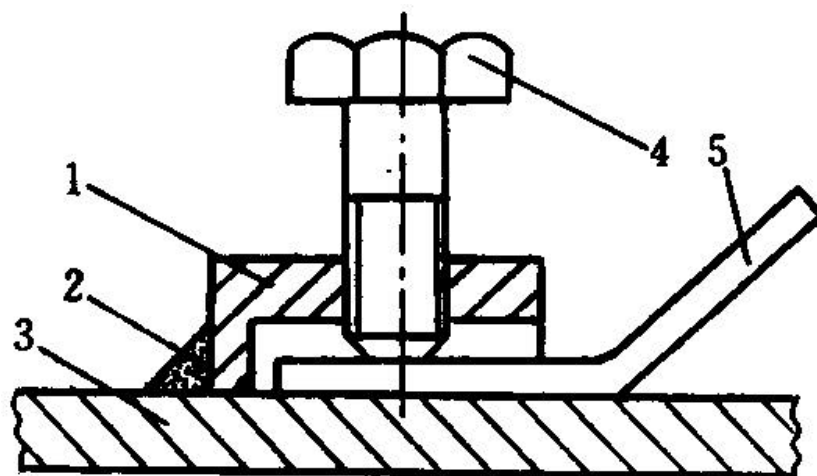


图6.4.2 测温热电偶固定方法

1—开槽螺母；2—点焊焊缝；3—球壳；
4—螺栓；5—热电偶

6.4.3 应对温度进行连续自动记录。热电偶及记录仪表应经过校准并在有效周期内，准确度应达到 $\pm 1\%$ 的要求。

6.5 柱脚处理

6.5.1 热处理时，应松开拉杆及地脚螺栓，并在支柱地脚板底部设置移动装置和位移测量装置。

6.5.2 热处理过程中，应监测实际位移值，并按计算位移值调整柱脚的位移，温度每变化 100°C 应调整一次。移动柱脚时应平稳缓慢。

6.5.3 热处理后，应测量并调整支柱垂直度和拉杆挠度，其允许偏差值应符合本规范第3.2.7条和第3.2.8条的要求。

7 产品焊接试板

7.1 产品焊接试板的制备要求

- 7.1.1 试板的钢号、厚度及热处理工艺均应与球壳板相同。**
- 7.1.2 试板应由施焊球罐的焊工，在与球罐焊接相同的条件和相同的焊接工艺情况下焊接。**
- 7.1.3 根据施焊位置，每台球罐做横焊、立焊和平焊加仰焊位置的产品焊接试板各一块，试板尺寸宜为360mm×650mm。**
- 7.1.4 试板焊缝应经外观检查和100%射线检测或超声检测，取样时可避开焊接缺陷。**
- 7.1.5 焊后需热处理的球罐，其产品焊接试板应与球罐一起进行热处理。**

7.2 试样的制备和试验

- 7.2.1 试样的尺寸、截取、试验方法及合格指标应符合现行国家标准《钢制压力容器》GB150的有关规定。**
- 7.2.2 对于厚度大于25mm的20R钢板，厚度大于38mm的16MnR、15MnVR、15MnVNR、07MnCrMoVR钢板制造的球罐，当设计温度低于0℃时，试样应按球罐的设计温度或图样要求的试验温度进行焊缝金属和焊接热影响区的夏比（V型缺口）低温冲击试验。**

7.2.3 复验应符合下列要求:

7.2.3.1 当产品焊接试板的拉伸、弯曲性能试验不合格时, 允许在原试板上或在与球罐同时焊接的另一块试板上对不合格项目取双倍试样进行复验。

7.2.3.2 当冲击试验结果不满足要求时, 可在原试板上再取一组(3个)试样进行试验。合格指标应为: 前后两组6个试样的冲击功平均值不低于规定值, 允许有两个试样的冲击功小于规定值, 其中小于规定值70%的只允许有1个。

7.2.3.3 复验结果仍不合格, 该球罐的产品焊接试板被判为不合格。当产品试板判为不合格时, 应分析原因, 允许将试板及其所代表的球罐重新进行热处理, 但应重新制定热处理工艺, 然后按本规范的要求重新进行试验。

8 压力试验和气密性试验

8.1 压力试验

8.1.1 球罐在压力试验前应具备下列条件:

- (1) 球罐和零部件焊接工作全部完成并经检验合格;**
- (2) 基础二次灌浆达到强度要求;**
- (3) 需热处理的球罐, 已完成热处理, 产品焊接试板经检验合格;**
- (4) 补强圈焊缝已用0.4~0.5MPa的压缩空气做泄漏检查合格;**

(5) 支柱找正和拉杆调整完毕。

8.1.2 除设计图样有规定外，不得采用气体代替液体进行压力试验。

8.1.3 进行压力试验时，应在球罐顶部和底部各设置一块量程相同并经校准合格的压力表，其准确度等级不应低于1.5级。压力表量程宜为试验压力的2倍，且不应小于1.5倍和不应大于4倍的试验压力。压力表的直径不宜小于150mm。

8.1.4 压力试验时，严禁碰撞和敲击球罐。

8.1.5 液压试验应符合下列规定：

8.1.5.1 液压试验介质应采用清洁水。

8.1.5.2 碳素钢、16MnR和正火15MnVR球罐液压试验时，试验用水温度不得低于5℃；其它低合金钢球罐（不含低温球罐），试验用水温度不得低于15℃。当由于板厚等因素造成材料无延性转变温度升高时，应相应提高试验用水温度。

8.1.5.3 液压试验的试验压力，应按设计图样规定，且不应小于球罐设计压力的1.25倍。试验压力读数应以球罐顶部的压力表为准。

8.1.5.4 液压试验应按下列步骤进行：

(1) 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；

(2) 试验时，压力应缓慢上升，当压力升至试验压力的50%时，保持15min；然后应对球罐的所有焊缝和连接部位进行检查，确认无渗漏后继续升压；

(3) 当压力升至试验压力的90%时，应保持15min，再次进行检

查，确认无渗漏后再升压；

(4) 当压力升至试验压力时，应保持30min，然后将压力降至试验压力的80%进行检查，以无渗漏和无异常现象为合格；

(5) 液压试验完毕后，应将水排尽。排水时，不应就地排放。

8.1.6 气压试验应符合下列规定：

8.1.6.1 气压试验必须采取安全措施，并经单位技术负责人批准。试验时应有本单位安全部门监督检查。气压试验时必须设置两个或两个以上安全阀和紧急放空阀。

8.1.6.2 气压试验的试验压力应符合设计图样规定。

8.1.6.3 气压试验的介质应采用空气或氮气，介质温度不应低于15℃。

8.1.6.4 气压试验应按下列步骤进行：

(1) 压力升至试验压力的10%时，宜保持5~10min，对球罐的所有焊缝和连接部位作初次泄漏检查，确认无泄漏后，继续升压；

(2) 压力升至试验压力的50%时，应保持10min，当无异常现象时，应以10%的试验压力为级差，逐级升至试验压力，并保持10~30min后，降至设计压力进行检查，以无泄漏和无异常现象为合格；

(3) 缓慢卸压。

8.1.6.5 气压试验时，应监测环境温度的变化和监视压力表读数，不得发生超压。

(1) 安全阀必须使用有制造许可证的单位生产符合技术标准的产品；

(2) 安全阀必须经校准合格;

(3) 安全阀的始启压力应定为试验压力加0.05MPa。

8.1.7 球罐在充水、放水过程中, 应对基础的沉降进行观测, 作实测记录, 并应符合下列规定:

8.1.7.1 沉降观测应在下列阶段进行:

(1) 充水前;

(2) 充水到球壳内直径的1 / 3时;

(3) 充水到球壳内直径的2 / 3时;

(4) 充满水时;

(5) 充满水24h后;

(6) 放水后。

8.1.7.2 每个支柱基础均应测定沉降量。各支柱上应按规定焊接永久性的水平测定板。

8.1.7.3 支柱基础沉降应均匀。放水后, 不均匀沉降量不应大于基础中心圆直径的1 / 1000, 相邻支柱基础沉降差不应大于2mm。

8.1.7.4 当不均匀沉降量大于上述要求时, 应采取措施进行处理。

8.2 气密性试验

8.2.1 对设计图样要求进行气密性试验的球罐，应在液压试验合格后进行气密性试验。

8.2.2 气密性试验介质应采用空气或氮气，介质温度不得低于5℃。

8.2.3 试验用压力表和安全阀均应经过校准，对压力表和安全阀的要求应符合本规范第8.1.3条和第8.1.6.6款的规定。

8.2.4 气密性试验的试验压力应符合设计图样规定。

8.2.5 气密性试验应按下列步骤进行：

8.2.5.1 压力升至试验压力的50%时，应保持10min，对球罐所有焊缝和连接部位进行检查，确认无泄漏后，继续升压。

8.2.5.2 压力升至试验压力时，应保持10min，对所有焊缝和连接部位进行检查，以无泄漏为合格。当有泄漏时，应在处理后重新进行气密性试验。

8.2.5.3 缓慢卸压。

8.2.6 气密性试验时，应监测环境温度的变化和监视压力表读数，不得发生超压。

8.2.7 设计图样规定进行气压试验的球罐，气密性试验可与气压试验同时进行。

9 交工验收

9.0.1 球罐竣工后，施工单位应将竣工图及其它技术资料交给建设单位。建设单位应会同有关单位按本规范的规定对球罐进行验收，确认合格后方可交工。

9.0.2 球罐验收时，施工单位应提交下列技术资料，技术资料表格宜符合本规范附录C的规定。

- (1) 球罐交工验收证书；
- (2) 监检证书；
- (3) 竣工图；
- (4) 制造厂的球罐产品质量合格证明书；
- (5) 球壳板、支柱到货检验报告；
- (6) 球罐基础检验记录；
- (7) 产品焊接试板试验报告；
- (8) 焊缝及焊工布置图；
- (9) 焊接材料质量证明书及复验报告；
- (10) 球罐焊后几何尺寸检查报告；
- (11) 球罐支柱检查记录；
- (12) 焊缝射线检测报告（附检测位置图）；
- (13) 焊缝超声检测报告（附检测位置图）；
- (14) 焊缝磁粉检测报告（附检测位置图）；
- (15) 焊缝渗透检测报告（附检测位置图）；

- (16) 焊缝返修记录;
- (17) 焊后整体热处理报告、测温点布置图及自动记录温度曲线;
- (18) 压力试验记录;
- (19) 气密性试验记录;
- (20) 基础沉降观测记录;
- (21) 设计变更通知单。

9.0.3 球罐应在设计图样指定的位置装设产品铭牌和注册铭牌。

附录A 低温球形储罐

A.1 一般规定

A.1.1 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球形储罐（简称“低温球罐”）的组装、焊接、检查与验收。

A.1.2 对本附录未作规定者，尚应符合本规范各有关章节的要求。

A.2 球壳板检查与验收

A.2.1 厚度大于20mm的球壳板，应按本规范第2.2.6条对球壳板进行超声检测抽查。抽查数量不应少于球壳板总数的40%，抽查应包括全部上、下极板和与支柱连接的赤道板，每带的抽查数量不应少于2块。

A.3 组装

A.3.1 不得采用锤击球壳板等强制手段进行整形或组装。

A.3.2 不得在受压元件上刻划和敲打材料标记或焊工钢印等导致产生缺口效应的痕迹。

A.4 焊接

A.4.1 焊接材料应符合下列要求：

A.4.1.1 低温球罐用焊接材料，应选用与母材性能相匹配的材料。

A.4.1.2 焊接材料的技术要求、试验方法及检验规则等，应符合国家现行标准的有关规定。

A.4.1.3 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，其检验方法应按相应的焊条技术标准或技术要求进行。

A.4.2 施焊前应按国家现行标准《钢制压力容器焊接工艺评定》JB4708进行焊接工艺评定。焊缝金属和热影响区的低温夏比（V型缺口）冲击试验的合格标准，应按现行国家标准《钢制压力容器》GB150的要求确定，且不得低于母材性能。

A.4.3 焊接工艺规程应根据图样要求和评定合格的焊接工艺，并结合球罐结构特点和实践经验制订。在施焊时必须执行焊接工艺规程。

A.4.4 低温钢材的预热温度应按焊接工艺规程执行，也可按表A.4.4选用。

低温钢材的预热温度 (°C) 表A.4.4

钢种 板厚 (mm)	16MnDR	07MnNiCrMoVDR	09Mn2VDR
20	—	75 ~ 100	—
25	—	75 ~ 100	—
32	75 ~ 125	75 ~ 100	—
38	100 ~ 150	75 ~ 100	—
50	125 ~ 175	75 ~ 100	—

A.4.5 必须控制焊接线能量。在焊接工艺规程所规定的范围内，宜选用较小的焊接线能量，并多道施焊。

A.4.6 对接焊缝的余高，不得大于焊件厚度的10%，且不得大于3mm，超高部分应打磨掉。

A.4.7 球罐表面的划痕、焊疤、弧坑等损伤、缺陷，均应进行修磨。修磨应符合本规范第4.5.2条的规定。

A.5 焊后整体热处理

A.5.1 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。

A.5.2 低温材料球罐的热处理温度，应符合设计图样要求。当设计图样无要求时，可按表A.5.2的规定选用。

低温材料球罐热处理温度**表A.5.2**

钢号	热处理温度 (°C)
16MnDR	625 ± 25
07MnNiCrMoVDR	565 ± 20
09Mn2VDR	600 ± 20

A.6 产品试板

A.6.1 试板的尺寸、试样的截取、检验项目、试验方法以及合格指标应按本规范第7章的规定执行。

A.6.2 产品焊接试板应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应符合现行国家标准《钢制压力容器》GB150对母材的要求。

A.7 焊缝检查

A.7.1 符合下列条件之一的对接焊缝，必须做100%射线或超声检测：

- (1) 球罐设计温度低于-40℃；**
- (2) 球罐设计温度虽高于或等于-40℃，但球壳厚度大于25mm；**
- (3) 符合本规范第5.3.2条中100%射线或超声检测要求的；**
- (4) 设计图样有规定的。**

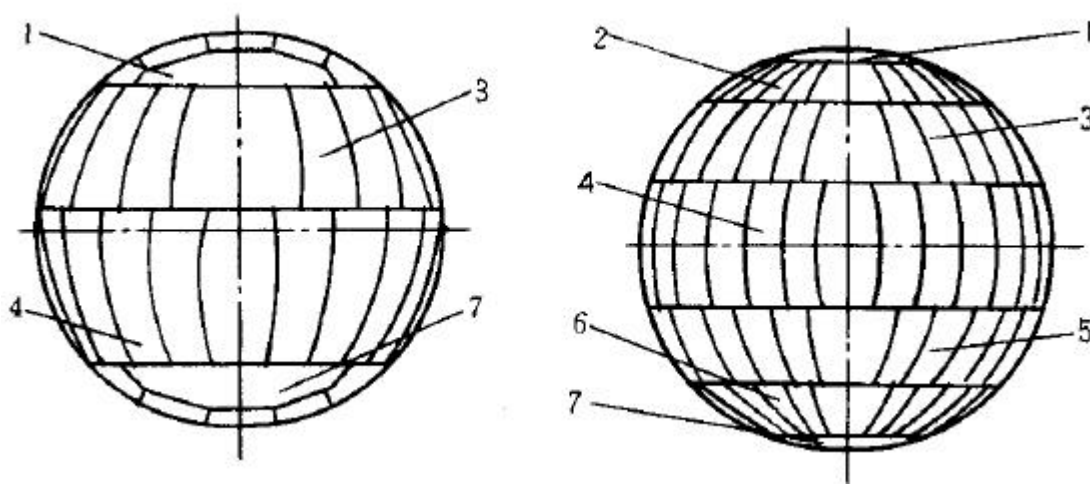
A.7.2 焊缝进行局部无损检测时，每条焊缝的检测长度不得少于焊缝总长度的50%。

A.8 压力试验

A. 8.1 低温球罐液压试验时的液体温度不应低于0℃。

附录B 球罐各部分名称及球罐各带、球壳板和焊缝编号

B.0.1 球体各部分名称宜符合图B.0.1的规定。

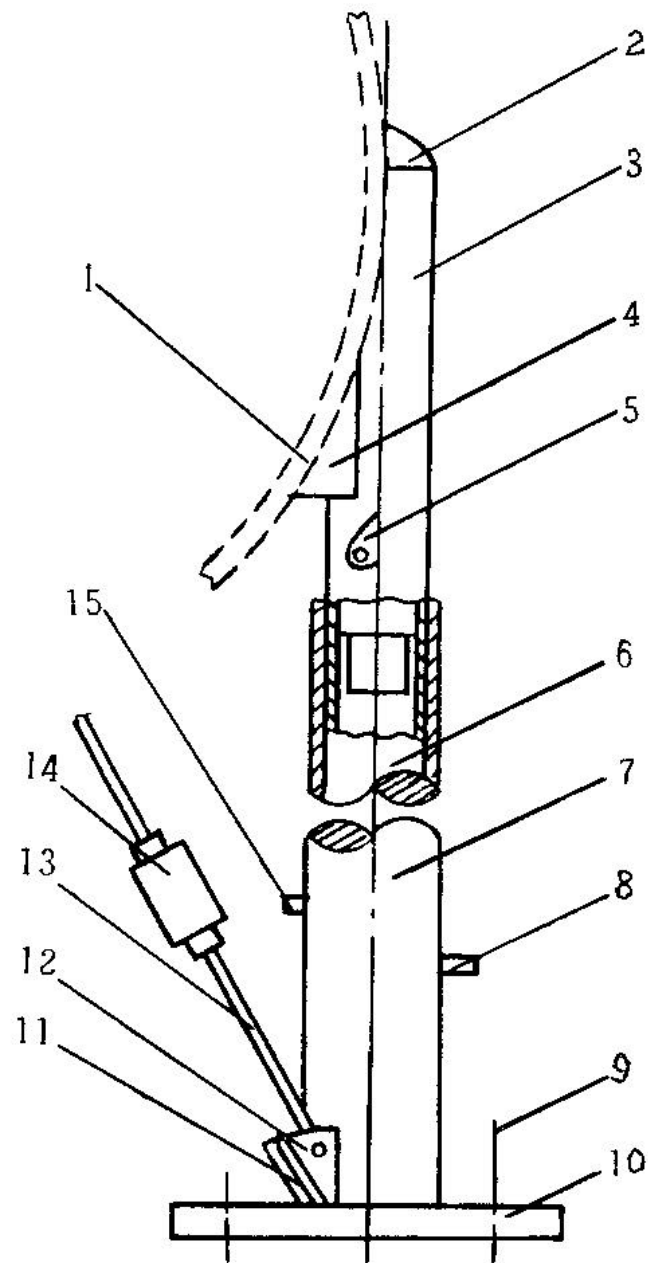


图B.0.1 球体各部分名称

1—上极； 2—上寒带； 3—上温带； 4—赤道带；

5—下温带； 6—下寒带； 7—下极

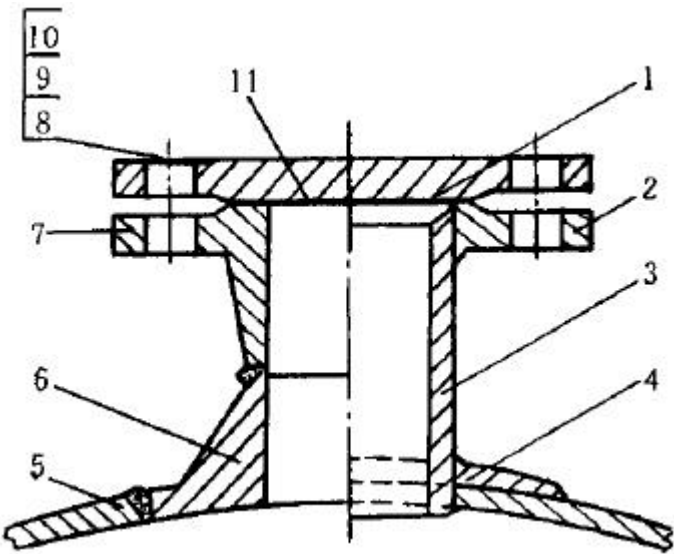
B.0.2 球罐支柱各部分名称宜符合图B.0.2的规定。



图B.0.2 球罐支柱各部分名称

- 1—球壳；2—盖板；3—上段支柱；
 4—托板；5—上耳板；6—下段支柱；
 7—防火层；8—接地板；9—地脚螺栓；
 10—底板；11—下耳板；12—销子；
 13—拉杆；14—松紧节；15—通气口

B.0.3 球罐人孔、接管各部位名称宜符合图B.0.3的规定。

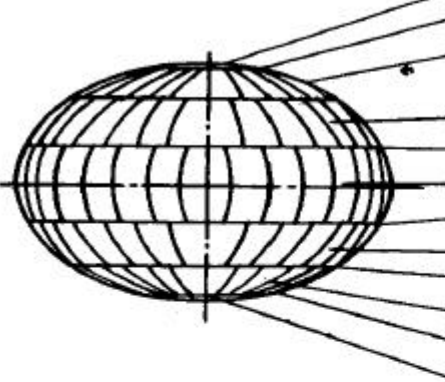
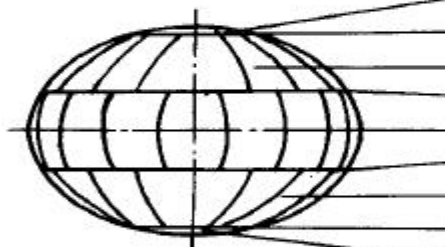
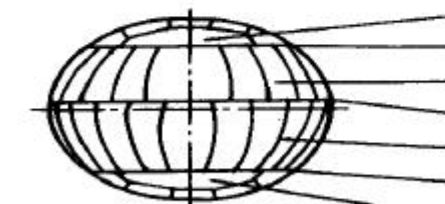


图B.0.3 球罐人孔、接管各部位名称

- 1—法兰盖或人孔盖；2—平焊法兰；3—接管或人孔筒节；
4—补强圈；5—球壳；6—整体锻制凸缘；
7—对焊法兰；8—垫圈；9—螺母；
10—螺栓；11—垫片

B.0.4 球壳各带、球壳板和焊缝编号宜符合表B.0.4的规定。

球壳各带、球壳板、焊缝编号 表B.0.4

球壳结构简图	球壳各带名称	球壳各带编号	球壳板编号	各带纵缝编号	环焊缝编号
	上极	F	F01 F02	F1×2 F2×3	DF
	上寒带	D	D01 D02	D1×2 D2×3	BD
	上温带	B	B01 B02	B1×2 B2×3	AB
	赤道带	A	A01 A02	A1×2 A2×3	AC
	下温带	C	C01 C02	C1×2 C2×3	CE
	下寒带	E	E01 E02	E1×2 E2×3	EG
	下极	G	G01 G02	G1×2 G2×3	
	上极	F	F01 F02	F1×2 F2×3	BF
	上温带	B	B01 B02	B1×2 B2×3	AB
	赤道带	A	A01 A02	A1×2 A2×3	AC
	下温带	C	C01 C02	C1×2 C2×3	CG
	下极	G	G01 G02	G1×2 G2×3	
	上极	F	F01 F02	F1×2 F2×3	BF
	上温带	B	B01 B02	B1×2 B2×3	AB
	赤道带	A	A01 A02	A1×2 A2×3	AG
	下极	G	G01 G02	G1×2 G2×3	
	上极	F	F01 F02	F1×2 F2×3	AF
	赤道带	A	A01 A02	A1×2 A2×3	AG
	下极	G	G01 G02	G1×3 G2×2	

附录C 交工验收表格

C.0.1 球罐交工验收证书应符合表C.0.1的规定。

球罐交工验收证书

表C.0.1

工程名称		球罐名称	
球罐编号		公称容积	
球壳内径		球壳材料	
球壳厚度		盛装物料	
设计压力		设计温度	
设计单位		制造单位	
施工单位		组焊许可证号	
容器类别		开 / 竣工日期	
施工说明:			
经检查该球罐符合图样及 GB50094-98 的要求，同意交工验收			
建设单位：（盖章）		施工单位：（盖章）	
建设单位代表：		施工单位代表：	
年 月 日		年 月 日	

C.0.2 球壳板、支柱到货检验报告宜符合表C.0.2的规定。

球壳板、支柱到货检验报告 表C.0.2

工程名称: 球罐编号:

球罐名称: 日 期:

检 查 项 目		检查数量		合格数量		合格率%		备 注
球壳板几何尺寸		张		张				
支 柱	编 号	1	2	3	4	5	6	7
	直线度偏差 (mm)							
	长 度 (mm)							
	编 号	8	9	10	11	12	13	14
	直线度偏差 (mm)							
	长 度 (mm)							
检测项目		检查数量		检测结果			判定	
球壳板周边超声检测		张						
球壳板全面积超声检测		张						
坡口渗透（磁粉）检测		张						
球壳板厚度测量		张		最小 厚度	mm	最大 厚度	mm	
工艺责任工程师: 年 月 日				检 验 结 果				
质检责任工程师: 年 月 日								
材料责任工程师: 年 月 日								

C.0.3 球壳基础检验记录应符合表 C.0.3 的规定。

球壳基础检验记录 表C.0.3

工程名称: 球罐名称: 球罐编号: 日期:

检 验 项 目 允 许 偏 差 基础编号	基础 方位 偏差 (°)	基础 标高 偏差 (mm)	基础水 平度 偏差 (mm)	地脚螺栓中 心与基础中 心圆的距离 S ₁ (mm)		预留孔中心 与 基础中心圆 的 距离 S ₂ (mm)		相邻支柱 基础中心 间距 S(mm)	相邻支柱 基础标高 差(mm)	基础中 心圆直 径偏差 (mm)	备注
				内	外	内	外				
1								1 ~ 2	1 ~ 2		
2								2 ~ 3	2 ~ 3		
3								3 ~ 4	3 ~ 4		
4								4 ~ 5	4 ~ 5		
5								5 ~ 6	5 ~ 6		
7								7 ~ 8	7 ~ 8		
8								8 ~ 9	8 ~ 9		
9								9 ~ 10	9 ~ 10		
10								10 ~ 11	10 ~ 11		
11								11 ~ 12	11 ~ 12		
12								12 ~ 13	12 ~ 13		
13								13 ~ 14	13 ~ 14		
14								14 ~ 1	14 ~ 1		

质量检查员: 年 月 日 测量人员: 年 月 日

C.0.4 焊缝返工记录宜符合表C.0.4的规定。

焊缝返工记录 表C.0.4

工程名称: 球罐编号:

球罐名称: 日 期:

球壳内直径		mm	球壳厚度		mm	球壳材料	
序号	返工部位	缺陷性质	返工次数	返工长度	返工日期	焊工钢印号	返工结果

焊接责任工程师: 年 月 日 检查员: 年 月 日

记 录 人: 年 月 日

C.0.5 球罐焊后几何尺寸检查报告宜符合表C.0.5的规定。

球罐焊后几何尺寸检查报告 表C.0.5

工程名称: 球罐编号:

球罐名称: 日 期:

检查项目	检查结果			
	总测 点数	合格 点数	合格率	实测最大 偏差值 (mm)
焊缝宽度				
焊缝余高				
焊缝棱角				
赤道截面最大内直径 (mm)				
赤道截面最小内直径 (mm)				
两极间实测内直径 (mm)				
最大内直径与最小 内直径差值 (mm)				
最大内直径与设计 内直径差值 (mm)				
最小内直径与设计 内直径差值 (mm)				
结论:				

检查责任工程师: 年 月 日 工艺责任工程师: 年 月 日

检 查 员: 年 月 日

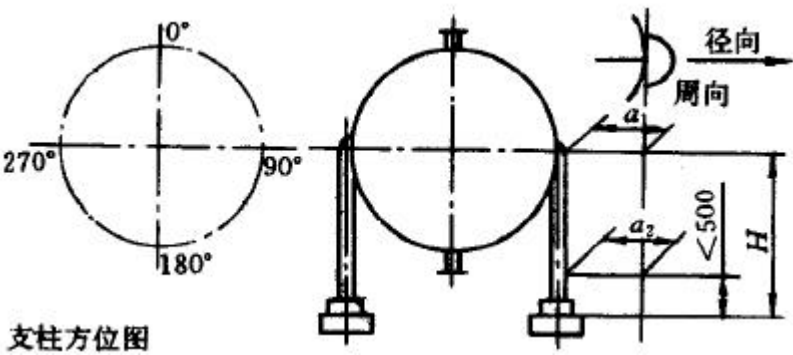
C.0.6 球罐支柱检查记录宜符合表C.0.6的规定。

球罐支柱检查记录表 C.0.6

工程名称: 球罐编号:

球罐名称: 日期:

检查项目 支柱编号	支柱全长 直线度偏差(mm)		支柱垂直度偏差(mm)						备注
			径 向			周 向			
	径 向	周 向	a ₁	a ₂	a ₁ —a ₂	a ₁	a ₂	a ₁ —a ₂	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									



工艺责任工程师: 年 月 日 检查员: 年 月 日

施工班（组）长: 年 月 日

C.0.7 焊缝射线、超声、磁粉及渗透检测报告宜分别符合表C.0.7-1~表C.0.7-4的规定。

焊缝射线检测报告 表C.0.7-1

工程名称: 球罐编号:
球罐名称: 日 期:

公称容积	m ³		球壳材料			球壳厚度	mm
设备型号		焦距	mm	管电压	kV	管电流	mA
射线源种类		射源尺寸		增感方式		活度	TBq
曝光时间	min	象质指数		胶片型号		冲洗方式	
黑度范围		显影温度	°C	执行标准		合格级别	
焊缝全长:		m		检测比例:		% 检测长度: m	
射线拍片共		张, 纵缝		张, 环缝		张, 其它部位 张	
其中:		I 级片 张		占总片数 %			
		II 级片 张		占总片数 %			
		返工片 张		一次返工 张, 二次返工		张	
		一次合格率		% 张			
说明:							
附布片图和评定记录							

无损检测责任工程师: 年 月 日 复评人: 年 月 日
评 片 人: 年 月 日

焊缝超声检测报告

表C.0.7-2

工程名称:

球罐编号:

球罐名称:

日期:

公称容积	m ³	球壳材料		球壳厚度	mm
仪器型号		耦合剂		探测频率	
探头直径	mm	探头 K 值		探头移动 方 式	
焊接方法				坡口型式	
执行标准				合格级别	
焊缝全长： m， 检测比例： %， 检测长度： m					
缺陷记录：（附检测位置图）					
评定结果：					

无损检测责任工程师:

年 月 日

审核人：

年 月 日

检测人员:

年 月 日

焊缝磁粉检测报告

表C.0.7-3

工程名称:

球罐编号:

球罐名称:

日期:

公称容积	m ³	球壳材料		球壳厚度	mm
仪器型号		激磁方法		灵敏度	
磁悬液浓度		载 液		表面状态	
执行标准					
焊缝全长： m，检测比例： %，检测长度： m					
检测部位： 					
评定结果：					
注：附缺陷记录					
备注：					

无损检测责任工程师:

年 月 日 审核人:

年 月 日

检测人员:

年 月 日

焊缝渗透检测报告

表C.0.7-4

工程名称:

球罐编号:

球罐名称:

日期:

公称容积	m ³	球壳材料		球壳厚度	mm
渗透剂		显像剂		渗透时间	min
表面状态		执行标准			
焊缝全长：m，检测比例：%，检测长度：m					
检测部位：					
评定结果：					
注：附缺陷记录					
备注：					

无损检测责任工程师:

年 月 日

审核人:

年 月 日

检测人员:

年 月 日

C.0.8 焊后整体热处理报告宜符合表C.0.8的规定。

焊后整体热处理报告 表C.0.8

工程名称: 球罐编号:

球罐名称: 日 期:

公称容积	m ³	球壳材料	
球罐内直径	mm	球壳厚度	mm
加热方式			
产品试板放置位置		热电偶总数	
平均升温速度	°C / h	保温温度	°C
平均降温速度	°C / h	保温时间	h
说明:			
附: 热处理温度自动记录曲线图、热电偶分布图			
热处理技术负责人:		年 月 日	热处理结果
热处理责任工程师:		年 月 日	
质检责任工程师:		年 月 日	
监检单位代表:		年 月 日	

C.0.9 压力试验报告宜符合表C.0.9的规定。

压力试验报告

表C.0.9

工程名称:

球罐编号:

球罐名称:

日 期:

公称容积	m ³	设计压力	MPa	试验压力	MPa
球壳材料		试验介质		介质温度	℃
试验步骤: 1.压力升至试验压力的 %即 MPa , 保持 min , 对球罐所有焊缝和连接部位进行检查 2.压力升至试验压力的 %即 MPa , 保持 min , 对球罐所有焊缝和连接部位进行检查 3.以试验压力的 10 %为级差逐级升压 (此条只适用气压试验) 4.压力升至试验压力 MPa , 保持 min , 将压力降至试验压力的 80 % MPa 对球罐所有焊缝和连接部位进行检查					
试验结果:					
监检单位:		建设单位:		施工单位:	
代表:		代表:		代表:	
年 月 日		年 月 日		年 月 日	

C.0.10 气密性试验报告应符合表C.0.10的规定。

气密性试验报告表 C.0.10

工程名称:球罐编号:

球罐名称:日期:

公称容积	m ³	设计压力	MPa	试验压力	MPa
球壳材料		试验介质		介质温度	°C
试验步骤: 1.压力升至试验压力的 50 % 即 MPa , 保持 min , 对所有焊缝和连接部位进行检查 2.压力升至试验压力即 MPa , 保持 min , 对所有焊缝和连接部位进行检查					
试验结果:					
监检单位:		建设单位:		施工单位;	
代表:		代表:		代表:	
年 月 日		年 月 日		年 月 日	

C.0.11 球罐基础沉降观测记录宜符合表C.0.11的规定。

球罐基础沉降观测记录

表C.0.11

工程名称:

球罐编号:

球罐名称:

日 期:

观测阶段	观测时间	基础及测点编号													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
充水前															
充水到球壳内直径的 1 / 3 时															
充水到球壳内直径的 2 / 3 时															
充满水时															
充满水 24h 后															
放水后															
基础平面示意图															

工艺责任工程师:

年 月 日

检查员:

年 月 日

测 量 人 员:

年 月 日

附录D 本规范用词说明

D.0.1 执行本规范条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待：

D.0.1.1 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

D.0.1.2 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

D.0.1.3 表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

D.0.2 条文中指定应按其它有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

附加说明

本规范主编单位、参加单位和主要起草人名单

主编单位：中国石油天然气第一建设公司

中国石油天然气总公司工程技术研究院

参加单位：中国石油天然气华北油建二公司

中国石油天然气第六建设公司

中国石油天然气第七建设公司

中国石油天然气四川设计院

中国石油化工总公司第二建设公司

中国石油化工总公司第三建设公司

中国石油化工总公司第四建设公司

中国石油化工总公司第十建设公司

中国石油化工总公司洛阳石化工程公司

化工部第六建设公司

中国纺织工业设计院

机械部合肥通用机械研究所

机械部兰州石油机械研究所

中国市政工程华北设计研究院

冶金部建筑研究总院焊接所

主要起草人：纪伯伟 方高亮 张恩远 上官寻国

邱贤明	毛 骞	张洪元	赵春城
尚海州	杨传章	朱志物	许烨烨
张有渝	王邦滇	陈勇尔	刘文秀
冯振友	吴俊毅	平宝林	钟其英
戈兆文	丁厚陞	林 磊	徐立勋

中华人民共和国国家标准

球形储罐施工及验收规范

GB50094—98

条文说明

修订说明

本标准是根据国家计委计综合〔1993〕110号文的要求，由中国石油天然气总公司负责主编，具体由中国石油天然气第一建设公司和中国石油天然气工程技术研究院等单位共同编制完成，经建设部1998年5月6日以建标〔1998〕99号文批准，并会同国家技术监督局联合发布。

在本规范的修订过程中，编制组进行了广泛调查研究，认真总结了国内外球形储罐施工的经验，同时参考了有关国际标准和国外先进标准，并广泛征集了全国有关单位的意见。最后由中国石油天然气总公司会同有关部门审查定稿。

在标准的执行过程中，希望各单位结合工程实践和科学研究，认真总结经验，注意积累资料，如发现需要修改和补充之处，请将意见和资料寄交中国石油天然气工程技术研究院（天津塘沽津塘公路40号，邮编300451），以便今后修订时参考。

1997年9月

目 次

1	总 则	.....
2	零部件的检查和验收	.....
2.1	零部件质量证明书的检查	.....
2.2	球壳板和试板的检查	.....
2.3	支柱检查	.....
2.4	组焊件的检查	.....
3	现场组装	.....
3.1	基础检查验收	.....
3.2	球罐组装	.....
3.3	零部件安装	.....
4	焊 接	.....
4.1	一般规定	.....
4.2	焊接工艺评定	.....
4.3	焊接材料的选用与现场管理	.....
4.4	焊接施工	.....
4.5	修补	.....
4.6	球罐焊后尺寸检查	.....
5	焊缝检查	.....
5.1	焊缝的外观检查	.....
5.3	射线检测和超声检测	.....

5.4	磁粉检测和渗透检测	.....
6	焊后整体热处理	.....
6.1	一般规定	.....
6.2	热处理工艺	.....
6.3	保温要求	.....
6.4	测温系统	.....
6.5	柱脚处理	.....
7	产品焊接试板	.....
8	压力试验和气密性试验	.....
8.1	压力试验	.....
9	交工验收	.....
附录A	低温球形储罐	.....
A.1	一般规定	.....
A.2	球壳板的检查与验收	.....
A.3	组装	.....
A.4	焊接	.....
A.5	焊后整体热处理	.....
A.7	焊缝检查	.....
附录B	球罐各部位名称及球罐各带、球壳板和焊缝编号	.....

1 总 则

1.0.1 本条是根据《工程建设技术标准编写暂行办法》的要求而新增的，阐明了制定本规范的目的。

1.0.2 本条规定了规范的适用范围为设计压力大于或等于0.1MPa且不大于4MPa、公称容积大于或等于50m³的橘瓣式或混合式以支柱支撑的碳素钢和低合金钢制焊接球罐。这次修定取消了原规范中规定的“设计温度高于-20℃及壁厚小于等于50mm”的要求，增加了“设计压力大于或等于0.1MPa且不大于4MPa、公称容积大于或等于50m³”的要求。理由是：

(1) 低温球罐已列入本规范。

(2) 壁厚是由设计根据计算确定的，不属于本规范的范畴。

(3) 目前国内使用的球罐设计压力大都在4MPa以下，对于设计压力4MPa以上的球罐目前还没有成熟经验，故对此进行了限制。

(4) 本规范不适用范围的规定主要是考虑受核辐射作用的球罐及非固定球罐，在选材、设计、安全措施等方面与常用球罐有较大差异；双层结构的球罐在设计、制造、施工等方面与单层结构差异较大；要求做疲劳分析的球罐和膨胀成形球罐目前应用不多，尚无成熟经验，对此作出规定，条件尚不成熟。

1.0.3 本规范所指球罐的施工及验收所包括的范围是参照现行国家标准《钢制球形储罐》GB12337第3.1条编写的，但未列入“直接连在球罐上的超压、泄放装置”，其理由是这些装置都属安全附件，各自

都有相应的标准。

1.0.5 本条是依据国家现行标准《压力容器安全技术监察规程》和《压力容器制造单位资格认可与管理规则》，明确规定安装单位必须具有劳动部门颁发的球形压力容器现场组焊资格证书（AR3），以杜绝无证单位进行球罐施工。

1.0.6 本条是根据《压力容器制造单位资格认可与管理规则》的要求编写的。

2 零部件的检查和验收

2.1 零部件质量证明书的检查

2.1.1 球壳板及其它零部件的制造与球罐的现场组焊施工往往不是由一个单位完成，球壳板及其它主要受压元件和支柱、拉杆等零部件的质量是保证球罐整体质量的重要环节，因此，施工单位在组装前对球罐零部件技术质量文件进行检查是十分必要的。

2.1.2 规定了对球罐零部件技术质量文件应检查的内容，包括需提供的有关复验报告和无损检测报告，并应符合本规范设计图样及合同的要求。多年来球壳板压制的实践证明，冷压成型对钢板本身的性能无明显影响，故这次修订将原规范中“成型试板检验报告”改为“热压成型试板检验报告”，不要求冷压成型的球罐提供试板检验报告。如制造厂不进行球壳板的对接焊接，则不需提供焊接试板试验报告。

2.2 球壳板和试板的检查

2.2.4 考虑到刚性差的球壳板按弧长测量比按弦长测量合理，故在该条中加“注”，可用弧长检验代替弦长检验，其允许偏差仍应符合本规范表2.2.4—2 中前3项的规定。

2.2.5 规定了标准抗拉强度大于540MPa钢材制造的球壳板的气割坡口表面无损检测抽查的数量。因为坡口表面质量在出厂前已经过检查，现场只进行抽查比较合理。

2.2.6 除对超声检测复查的要求和合格标准进一步明确外，还将原规范对每块球壳板沿周边100mm的超声检测改为抽查和将原规范对球壳板进行超声检测抽查的要求改为“对球壳板有超声检测要求的还应进行超声检测抽查”，这样做更具合理性。

2.3 支柱检查

2.3.1 因需热处理的球罐，支柱与基础的找正不可能使用垫铁（以免影响热处理过程中的柱腿移动），所以为保证球罐组焊质量，对支柱的全长偏差提出明确要求是有必要的。

2.4 组焊件的检查

现行国家标准《钢制球形储罐》GB12337规定分段支柱上段与赤道板的组焊以及人孔、接管与极板的组焊在制造单位进行，为使现场验收有章可循，这次修订增加了本节两个条文。

3 现场组装

3.1 基础检查验收

3.1.1 本条规定了基础各部位尺寸的允许偏差及球罐安装前基础混凝土应达到的强度。

(1) 关于基础中心圆直径 D_i 的允许偏差，如辽化从法国引进的球罐 300m^3 、 400m^3 基础中心圆直径允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ ， 1000m^3 、 1350m^3 为 $\pm 6\sim 6.7\text{mm}$ ，原炼化建403规定为 $\pm 5\text{mm}$ ，若不考虑球罐直径的大小一律规定为 $\pm 5\text{mm}$ 不太合理，故本规范考虑上述的情况，规定了球罐容积小于 1000m^3 时，基础中心圆直径允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ ；大于或等于 1000m^3 时基础中心圆直径允许偏差为 $\pm D_i / 2000$ 。

(2) 本条表3.1.1中规定采用预埋地脚板固定的基础，其上表面（预埋钢板上表面）水平度允许偏差为 2mm 。此种固定形式是为需要焊后热处理的球罐而设，目的是在热处理时，使各支柱受力均匀，移动装置便于移动。因此控制预埋钢板的表面水平度允许偏差为 2mm 是必要

的。

(3) 对基础标高的要求分别按采用地脚螺栓固定的基础和采用预埋地脚板固定的基础提出,主要原因是考虑按原规范对基础标高允许偏差值对预埋地脚板固定的基础进行控制,不能满足球罐组装及焊后热处理的实际需要。

3.2 球罐组装

3.2.1 近十年来随着球罐制造和组焊水平的提高,各制造及组焊单位对球罐各带、球壳板及其焊缝相继制定了不同的编号方法。为了便于球罐在制造、组焊和检查过程中的管理,给球罐各带、球壳板及其焊缝进行统一编号是有必要的。

本规范推荐的编号方法的优点在于各带的名称不随球罐分带结构的不同而变化。

3.2.2 强力组装是造成附加应力过大,导致延迟裂纹的主要因素,因此明确规定不得采用机械方法进行强力组装。所谓强力组装是指在对口错边量、对口间隙、棱角超过标准的情况下用千斤顶、丝杠、倒链等机械方法强行组对。

严格来说,用工卡具组对也是外力组装。目前国内外球罐组装仍普遍采用工卡具,所以本规范在限制采用强力组装的同时,允许利用工卡具调整球壳板的对口偏差。球壳板的曲率、几何尺寸和坡口表面质量符合本规范的要求,是球罐组装质量达到标准的基本条件,即使

使用了工夹具，所造成的内应力也不至于过大。

3.2.3 关于球壳板组对间隙、错边量和棱角的规定。

3.2.3.1 在调研中施工单位反映手工焊组对间隙为零难以避免，且可以通过打磨消除根部缺陷，间隙小还可减少焊接工作量，为此将组对间隙改为 $2 \pm 2\text{mm}$ 。

药芯焊丝气体保护焊是近年来球罐焊接新技术，根据调研结果增加了药芯焊丝气体保护焊组对间隙。

3.2.3.2 错边量的规定值与现行国家标准《钢制球形储罐》GB12337保持一致。

3.2.3.3 球罐在组焊过程中产生的错边和棱角，在工作压力的作用下，由于趋圆效应，使罐壁产生附加应力或局部过载，是球罐的事故隐患，所以本规范对棱角提出了控制指标。

3.2.3.4 本规范对组对间隙、错边量、棱角的测量点数，作了统一规定，使记录数据具有可比性。

3.2.4 关于赤道线水平误差的控制数据，这次修订前对有关单位进行了调研，一般控制在 $2 \sim 6\text{mm}$ ；石化总公司现行标准《球形储罐工程施工工艺标准》SHJ512要求为 3mm ；日本煤气协会《LPG储罐标准》JGA指-106-92的要求为：有支柱的球壳板赤道线的最大错开量不大于 $1/2000$ 球罐设计内径，但相邻的带支柱的球壳板赤道线的错开量不大于 3mm 。根据上述情况，本规范规定“球罐赤道带组装后，每块球壳板的赤道线水平误差不宜大于 2mm ；相邻两块球壳板的赤道线水平误差不宜大于 3mm ；任意两块球壳板的赤道线水平误差不宜大于 6mm ”。

3.2.6 球罐最大直径和最小直径的差值是球罐组焊质量的一个重要指标，因此此次修订增加了组装后的差值要求，其差值的数据是在对有关单位调查的基础上确定的。

3.2.8 拉杆挠度的测定是参考日本煤气协会《LPG储罐标准》 JGA指-106-92而编写的。

3.3 零部件安装

3.3.1 本条是在GBJ94—86原规范第3.3.1条的基础上增加了对开孔切割直径和开孔周围曲率检查的要求。对开孔切割直径提出要求，主要是为了控制开孔质量以保证焊接质量。对球壳板开孔周围的曲率检查提出明确要求，是为了控制开孔和组焊接管时球壳板的变形。

4 焊接

4.1 一般规定

4.1.4 在原规范的基础上增加了药芯焊丝气体保护焊方法，因为近几年球罐药芯焊丝气体保护焊技术发展很快，一些单位已经取得了成熟的经验。

4.2 焊接工艺评定

关于焊接工艺评定，这次作了较大修改，主要是由于压力容器制造时的焊接工艺评定已有国家现行标准《钢制压力容器焊接工艺评定》JB4708，所以本规范对焊接工艺评定没有再规定具体的评定要求。

施工单位在施焊前应按国家现行标准《钢制压力容器焊接工艺评定》JB4708的规定检查和核对过去试验合格的焊接工艺评定报告，经检查合格可不重新进行焊接工艺评定。确定是否要重新进行焊接工艺评定试验时，应注意下列几个问题：

(1) 关于角焊缝焊接工艺评定问题：由于球罐目前常用钢材都属于Ⅰ类别号和Ⅱ-Ⅰ、Ⅱ-2组别号，所以角焊缝焊接工艺评定可以用对接焊缝代替。此时，实际角焊缝的焊接工艺应与球壳板对接焊缝的工艺相同。即使是非受压件的角焊缝，只要是焊于球壳板上的，均无例外。

(2) 关于嵌入式人孔的锻制凸缘与球壳板对接焊缝的焊接工艺评定：一般情况是锻制凸缘和球壳板钢材同属于某一组别号，或同属一个类别号但低一个组号，此时不必重新做焊接工艺评定，否则应另做焊接工艺评定。

焊接工艺评定是以可靠的钢材焊接性能试验为依据的，而钢材焊接性能试验是包括抗裂性试验、强度试验、弯曲性能试验等内容的，在钢材的研制和生产中已完成了该项工作。对于施工单位来说，主要是根据钢材研制和生产单位的试验结果选择合适的焊接工艺参数，做出合格的焊接工艺评定应用于生产。

因此，本次修订取消了对焊接性能试验的要求。

4.3 焊接材料的选用与现场管理

4.3.1 焊缝扩散氢含量对焊接接头冷裂纹的产生有较大影响，目前对一般用途的低碳钢及低合金钢用焊条的扩散氢含量在相应标准中已有规定。

鉴于目前尚无压力容器专用焊条的标准，提出高要求可能造成施工单位订货困难。但焊条扩散氢含量对焊接质量有很大影响，又不容忽视。各焊条厂同样型号焊条的扩散氢含量差别往往很大，因此，本规范规定施工现场对焊条扩散氢含量应进行复验。

4.3.2 为防止焊条在大气中的吸潮，规定施工中的焊条应存放在保温筒内，且时间不超过4h。

烘干的低氢焊条在大气中的存放时间，原则上应严格控制，以免焊条重新吸湿。

4.4 焊接施工

4.4.2 原规范预热温度主要是参照日本JLPA201-81并结合我国钢材的具体情况和施工经验而确定的。本次修订时又根据目前新钢种的使用增加了07MnCrMoVR钢材的预热温度。

碳弧气刨清根一般不需预热，但对于高强钢如 15MnVNR 钢，板

厚大于 30mm，宜采取预热清根。

后热可加速扩散氢的逸出，防止产生冷裂纹，本规范规定的后热温度为 200 ~ 250 °C，后热时间为 0.5 ~ 1h。有些单位的试验表明，当温度低于 200 °C 时，脱氢效果急剧下降，而高于 250 °C 时，氢在钢中的扩散系数有所增加，除氢效果受到影响。而更高的温度易导致某些钢材的蓝脆。因此，200 ~ 250 °C 温度的后热消氢是适宜的。

4.5 修补

4.5.1 取消了原规范对坡口表面缺陷的具体修补办法，至于怎样修补由施工单位根据实际情况自行决定，但必须保证质量。

4.5.2 增加了焊缝咬边和焊趾裂纹打磨后球壳板的实际厚度不得小于设计厚度的规定。取消了原规范对焊缝咬边长度的规定，这是因为球罐焊缝不允许有咬边存在。

球壳板表面缺陷允许打磨修补。除掉缺陷后的钢板厚度不应小于设计厚度，以满足设计对球罐强度的要求。磨除深度小于球壳板名义厚度的 5 % 且不超过 2mm，是在设计采用余量较大时防止过深打磨球壳板。

4.5.3 对内部缺陷的修补，施工单位必须特别注意，为加强这方面的控制，在原规范的基础上增加了下列内容：

(1) 应分析产生缺陷的原因，选用合适的焊接方法，并制定修补工艺。

(2) 焊接修补的部位、次数和检测结果应作记录。

4.6 球罐焊后尺寸检查

4.6.2 原规范对球罐整体圆度及赤道截面内直径与设计内直径之差没有要求，这次修订将原规范中对“球罐两极的净距与设计内径之差以及赤道截面的最大内径与最小内径之差”的控制要求，改为对“两极间的内直径、赤道截面的最大内直径和最小内直径三者之间相互之差”；“两极间的内直径、赤道截面的最大内直径和最小内直径与设计内直径之差”的控制要求，这样对提高球罐组焊质量和保证使用性能更为有利。

4.6.3 原规范只规定了组装时对支柱垂直度的要求，为保证焊后支柱垂直度能满足要求，对焊后的垂直度作出规定是合适的。

5 焊缝检查

5.1 焊缝的外观检查

5.1.2 对原规范作了部分改动，以与相应的产品标准相一致。修改内容有：

(1) 将原规范中对焊缝咬边的长度要求取消，增加了不允许有咬边的规定。

(2) 分别对手弧焊和药芯焊丝气体保护焊的焊缝余高作了规定，并增加焊缝深度大于50mm时的焊缝余高规定。

为提高无损检测质量，防止应力过分集中及高强度钢焊缝表面的裂纹，有的单位对焊缝余高进行修磨是可取的，但必须保证修磨后的焊缝与母材平滑过渡。

5.1.3 在实际施工中，工卡具在焊接和拆除的过程中，很容易伤及球壳板表面造成缺陷，影响球罐的表面质量，因此，对该部位的表面质量提出要求是必要的。

5.3 射线检测和超声检测

5.3.2 按国家现行标准《压力容器安全技术监察规程》和现行国家标准《钢制压力容器》GB150、《钢制球形储罐》GB12337的有关规定，对需进行100%射线或超声检测的球罐焊缝进行了具体规定。

5.3.3 本条是根据国家现行标准《压力容器安全技术监察规程》第86条要求制定的。

5.3.5 本条是根据国家现行标准《压力容器安全技术监察规程》第86条的要求制定的。

5.3.8 参照日本煤气协会《LPG储罐标准》JGA指-106-92的规定，将原规范中“焊接完成24h以后进行检测”，改为“标准抗拉强度大于540MPa钢材制造的球罐，应在焊接结束36h后，其它钢材制造的球罐应在焊接结束24h后，方可进行焊缝的射线检测或超声检测”。

5.3.9 对射线检测的布片和底片的编号提出了具体要求，以便管理。

5.4 磁粉检测和渗透检测

5.4.1 这次修订增加了对“工卡具焊迹打磨后及球壳体缺陷焊接修补和打磨后的部位”进行磁粉检测或渗透检测的要求。

表面裂纹是球罐的重大隐患之一。在焊接工艺不合理或执行不严格时问题更多。有关规范标准都对是否检测作了规定，本规范提出在压力试验前对焊缝进行100%磁粉或渗透检测。

5.4.2 压力试验后表面无损检测复验的百分率问题。在调查中不少单位反映100%没有必要，目前常用的钢种在压力试验后检查中发现裂纹的几率很少，而工作量却很大，得不偿失。因此本规范仍保持原规范复查20%及以上的规定。

5.4.3 依据日本煤气协会《LPG储罐标准》JGA指-106—92，规定了焊接结束后至磁粉检测或渗透检测的时间间隔。

5.4.4 原规范中磁粉检测和渗透检测的合格标准，是参照日本JLPA201—81标准，并结合我国国内当时的标准而确定的，国家现行标准《压力容器无损检测》JB4730标准，除规定了不允许存在的缺陷外，还将磁粉检测和渗透检测缺陷显示累积长度的等级评定分为5级。本次修订结合现场作业一般都以无缺陷显示为合格的实际情况，参照国家现行标准《压力容器无损检测》JB4730对磁粉检测和渗透检测的合格标准作出了具体规定。缺陷显示累积长度允许值符合JB4730标准

所规定的Ⅱ级。

6 焊后整体热处理

6.1 一般规定

6.1.1 焊后热处理是球罐焊接后，为改善焊接接头的性能和消除焊接残余应力而进行的。球罐焊后是否要进行整体热处理，主要应由设计根据介质特性、使用温度、钢材性质、钢板厚度而确定。这次修订除规定按设计图样要求外，也对必须进行整体热处理的几种情况作了明确规定，这些规定与现行国家标准《钢制球形储罐》GB12337基本一致。

6.1 .2 热处理过程的意外事故往往给热处理造成困难和数据不合格，甚至不符合验收要求，使热处理前功尽弃，因此不可忽视防雨、防风、防火和防停电等措施。这次修订新增加了以下几项应具备的条件：

- (1) 热处理前的各项无损检测工作全部完成；**
- (2) 加热系统已调试合格；**
- (3) 球罐与梯子、平台等部件连接的螺栓松开。**

产品焊接试板在热处理过程中的放置位置，由原规定“对称布置在球罐赤道带的外侧”改为“放在球罐热处理过程中高温区的外侧”。

主要是考虑：

(1) 可保证试板的受热过程与球壳本体基本相一致，试板机械性能更能反映球罐热处理后的机械性能状况。

(2) 试板的放置方便。

6.2 热处理工艺

6.2.1 关于热处理温度国外规范如ASME-VIII-1、BS5500、JISZ3700等均规定了不同钢材焊后热处理温度。我国国家现行标准《钢制压力容器焊接规程》JB / T4709的规定与英、美、日本等国的规定在总体上是一致的，本规范参照有关标准和试验数据及球罐热处理经验给出常用钢材热处理温度及其允许范围。

6.2.2 本规范参照国外标准和国家现行标准《钢制压力容器焊接规程》JB / T4709，以 $T / 25$ (h) 来计算最少保温时间，且不低于1h，T为球壳板对接焊缝的厚度，这样更能体现焊后热处理的意图，并与国内现行标准《钢制压力容器焊接规程》JB / T4709和国外标准基本一致。

6.2.3、 6.2.4 考虑到现场安装焊接球罐，球壳厚、自重大，焊接后残余应力较高，为了确保热处理的有效进行，避免由于升降温速度不适当，导致热应力与残余应力叠加，所以热处理时的升降温速度比国外有关炉内热处理规范中规定的范围适当缩小。

本规范吸取国外规范的经验，结合国内实施热处理所能达到的实际水平，针对球罐的特殊性，将原规范升温速度 $60 \sim 80^{\circ}\text{C} / \text{h}$ 修订为

50~80℃ / h，降温速度仍为30~50℃/h，对有回火脆性倾向的钢种，降温速度应尽可能采用上限值。

关于控制升温和降温速度的温度起始线问题，有关资料中介绍在300~400℃以下的加热或冷却速度对材料性能无有害影响。

国外规范有以300℃作为控制的界限，也有以400℃作为控制的界限，我国国家现行标准《钢制压力容器焊接规程》JB / T4709亦规定为400℃，考虑到球罐的特殊性，本规范仍以300℃作为控制的界限，即加热时温度在300℃及其以下不控制，而冷却时300℃以下不控制。

6.2.5 本条是关于升温 and 降温阶段的温差限制。国外规范规定在任意4.5m距离的温差不超过130~150℃，本规范考虑到测温点间距不一定是4.5m，所以规定任意两测温点的温差不得大于130℃。

6.3 保温要求

6.3.1 保温层的铺设质量关系到焊后整体热处理的成败。球罐截面不一，受热状态不同，保温材料厚薄亦应有差别，具体的厚度宜以正确的热工计算结果为依据。目前保温材料品种繁多，大多数均能取得满意的效果，但有的根本不宜采用。若对保温材料过高要求将增加施工费用，而要求过低又可能达不到保温效果而影响热处理质量。因此本规范只做原则性要求，便于施工单位就地取材，择优选用。

6.3.5 保温层外表面的温度不宜大于60℃，是原规范的规定，多年来国内热处理的实际情况也基本与规定相符。

6.4 测温系统

6.4.1 关于测温点布置，国内外规范均无明确规定，但测温点布置应考虑能监测热处理球罐的温度变化，以达到规范的要求。

根据国内热处理的实际经验，本规范规定了热处理的测温点最少数量。按本规范规定执行，基本能满足相邻测温点相距4.5m的要求，但施工单位也可根据自己的实际情况增加测温点数。

6.4.3 将原规范对热电偶及记录仪的校准由“每次使用前”改为“应经过校准并在有效周期内”，这样更具合理性。当然因搬运、防护不好，在有效周期内出现失准或怀疑失准时，也应在使用前进行校准。

6.5 柱脚处理

6.5.2 由于热处理过程中球壳的热胀冷缩，球罐支柱应作径向位移调整。该位移主要是通过支柱地脚板底部装设滑板或滚柱来实现。由于球罐各支柱承受的载荷大，支柱底板处的摩擦力较大，实现自由移动是比较困难的。如不进行必要调整，球壳与支柱连接部位势必产生很大应力。因此必须根据预先计算的位移值来调整柱脚的位移。位移值的近似值是球壳温度每变化100℃，每米球罐半径约变化1~1.5mm。规范规定温度每变化100℃应测量和记录一次。

7 产品焊接试板

焊接工艺评定试板与产品焊接试板的机械性能试验，在内容上相类似，极易混淆，也好像重复，其实两者是有差别的。前者是在球罐焊接前，为确定焊接工艺规程而进行的试验，并以此为基础，编制焊接施工技术措施。后者是用评定合格的焊接工艺进行产品焊接试板的焊接及试验，以验证球罐实际焊接接头的机械性能能否满足设计要求。既属于质量管理的一部分，也是工程验收的重要依据。球罐焊缝经严格的无损检测可确保其完好性和无有害缺陷，但焊接接头的组织变化、残余应力等对机械性能的影响则无法反映出来。要证实球壳焊缝的机械性能最好是从球罐上直接切取焊接试板进行试验，但不现实。只能用球罐的产品焊接试板进行试验。总之，产品焊接试板试验是必要的，也是确保球罐安全使用的基本要求。

产品焊接试板的制备和试验要求与《压力容器安全技术监察规程》和现行国家标准《钢制压力容器》GB150的要求相同。产品焊接试板试验与焊接工艺评定试验是否有矛盾，特别是弯曲试验，有关单位做过验证试验，证明面弯、背弯的弯曲试验合格率是相近的，成熟的焊接工艺焊成的产品焊接试板绝大多数是能符合规定的。原规范第7.1.3条要求每台球罐应作横焊位置和立焊位置的产品焊接试板各一块，这次修订依据《压力容器安全技术监察规程》第71条的要求，新增平加仰焊位置的产品焊接试板一块。

8 压力试验和气密性试验

8.1 压力试验

8.1.6 盛装气态氨、城市煤气和天然气的大型低压 $(4.4\sim 7.8) \times 10^5\text{Pa}$ 的球罐，不宜采用液压试验，设计往往规定进行气压试验。由于气压试验的危险性，本规范对气压试验的安全措施提出了明确的要求，对安全阀本身及安全阀和紧急放空阀的设置提出了具体要求，且强调了安全部门的监督检查。

9 交工验收

9.0.3 依据《压力容器安全技术监察规程》和《压力容器使用登记管理规则》对球罐的产品铭牌和注册铭牌的安装提出要求。

附录A 低温球形储罐

低温下操作的压力容器由于随着使用温度的降低，容器所用钢材及其连接焊缝会由延性状态转变为脆性状态，当容器中有难以避免的缺陷时，在低于材料的脆变温度下受力，就会导致容器脆断发生灾难事故。本附录主要针对上述现象，对低温球罐的现场组焊和检查验收等提出了要求。

A.1 一般规定

A.1.1 低温球罐的低温界限。我国压力容器规范多年来习惯于把小于或等于-20℃作为低温界限。实践表明，大于-20℃的压力容器按一般常温容器进行选材、设计、制造具有足够的安全性.为广大设计、制造、使用及监察部门所认可。因此本规范依据现行国家标准《钢制压力容器》GB150和《钢制球形储罐》GB12337，把低于或等于-20℃作为低温界限。

A.2 球壳板的检查与验收

A.2.1 本节对低温球罐球壳板的无损检测抽查提出了规定，低温球罐使用条件比较苛刻，增加球壳板无损检测抽查比例是必要的。

A.3 组装

A.3.1 采用锤击球壳板等强制手段进行整形和组装会增加残余应力，易导致发生低应力脆性断裂破坏。因此，本规范规定在组装过程中不允许采用锤击球壳板等强制手段进行整形或组装。

A.3.2 因为缺口效应往往是脆断的裂源，所以组装时须避免产生。

A.4 焊接

A.4.1.3 由于氢是导致冷裂纹和低温脆断的一个主要因素，所以对低温球罐所用焊条药皮的含水量或熔敷金属扩散氢含量应进行严格控制。

A.4.2 鉴于钢材及焊缝随着使用温度的降低，会由延性状态转变为脆性状态，降低了冲击韧性。本附录对焊接工艺评定提出了较严格的冲击性能要求。其具体要求是参照现行国家标准《钢制压力容器》GB150附录C第4.3条编写的。

A.4.5 焊接中强调线能量的控制，是因为焊接线能量对焊缝区域的冲击韧性影响极大，尤其是当线能量接近上限时影响最大。

A.5 焊后整体热处理

A.5.2 目前国内用于制造压力容器的低温钢板有：16MnDR、09Mn2VDR、15MnNiDR、09MnNiDR和07MnNiCrMoVDR，而用于球罐的只有16MnDR、09Mn2VDR和07MnNiCrMoVDR，因此本节只列了此三种钢的热处理温度。16MnDR已较广泛地应用于低温球罐，其热处理温度一般均采用 $625 \pm 25^{\circ}\text{C}$ ；09Mn2VDR的热处理温度是参照了现行国家标准《钢制球型储罐》GB12337制定的；07MnNiCrMoVDR已在球罐工程中使用，本规范中规定的热处理温度是根据07MnNiCrMoVDR球罐现场成功热处理的温度确定的。

A.7 焊缝检查

本节规定了低温球罐对接焊缝的无损检测要求，与现行国家标准《钢制压力容器》GB150保持一致。

附录B 球罐各部位名称及球罐各带、球壳板和焊缝编号

关于球罐各带、球壳板及球壳板焊缝的编号，各规范均没有规定。近年来随着球罐制造和组焊水平的提高，各制造组焊单位都有自己的编号方法。为了便于球罐在组焊和检查过程中的管理，给球罐各带、球壳板和球罐壳体的焊缝编号做统一规定是有必要的。

在制订本编号之前，共对14个单位的编号方法进行了调查，共有8种编号方法，其中大多数单位采用的是：从上到下用A、B、C、……对球罐各带进行编号；在各带编号之后用破折号加数字表示球壳板编号，如A—1；在各带编号之后直接写数字表示各带纵缝编号，如A1；环缝直接用相邻两带的字母并写，如AB。这次修订，考虑到球罐有三带、四带、五带、六带和七带等多种结构，在借鉴各家编号优点的基础上，制定了本附录的编号方法。这种编号方法的优点在于它不随球罐分带结构的不同而变化，便于管理。