



中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3512—2011

代替 SH/T 3512—2002

石油化工球形储罐施工技术规范

Technical specification for construction of spherical tanks in
petrochemical industry



2011-05-18 发布

2011-06-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 总则	1
4 施工准备	2
4.1 技术准备	2
4.2 施工现场准备	2
4.3 工装设施准备	2
5 球壳板及零部件的開箱檢驗	3
5.1 质量证明文件的核查	3
5.2 球壳板和产品试板的检验	3
5.3 球罐支柱及零部件的检验	6
6 现场组装	7
6.1 基础检查验收	7
6.2 垫铁安装及水泥砂浆垫墩施工	8
6.3 球罐分片法组装工艺	9
6.3.1 一般规定	9
6.3.2 球壳板组对间隙、错边量和棱角度	10
6.3.3 赤道带组装	11
6.3.4 支柱安装	12
6.3.5 温(寒)带、极带组装	14
6.4 球罐环带法组装工艺	15
6.4.1 一般规定	15
6.4.2 赤道带组焊	15
6.4.3 温带组焊	15
6.4.4 极带组焊	15
6.4.5 赤道带/温带/极带组焊质量检查	15
6.4.6 先安装下温带(包括极板)的施工程序	16
6.4.7 支柱安装	17
6.4.8 先安装赤道带的施工程序	17
6.5 附件安装	17
6.6 临时设施的设置	18
6.7 球罐质量检验	18
7 焊接	20
7.1 一般规定	20
7.2 焊接材料	20
7.3 焊接施工工艺	21
7.4 焊缝检查	23

7.5 修补	25
7.5.1 一般规定	25
7.5.2 球壳板表面缺陷修补	25
7.5.3 焊缝表面缺陷修补	25
7.5.4 焊缝内部缺陷返修	25
8 焊后整体热处理	26
8.1 一般规定	26
8.2 热处理方法	28
8.3 温度测量	30
8.4 热处理后的质量检验	31
9 产品焊接试板	31
9.1 产品焊接试板的制备	31
9.2 试样的制备和试验	32
9.3 复验	32
10 耐压试验和气密性试验	32
10.1 一般规定	32
10.2 液压试验	32
10.3 气压试验	33
10.4 气密性试验	34
11 施工过程技术文件	34
附录 A (规范性附录) 球罐型式及各部分名称	36
附录 B (资料性附录) 分片组焊法施工工艺流程	39
附录 C (资料性附录) 环带组焊法施工工艺流程	41
附录 D (资料性附录) 热工计算	43
附录 E (规范性附录) 球罐热处理测温点布置规则	46
附录 F (规范性附录) 球罐施工质量检验项目	48
用词说明	50
附: 条文说明	51

前 言

根据国家发展和改革委员会办公厅《2007 年行业标准修订、制定计划》(发改办工业[2007]1415 号)的要求,规程编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,修订本规程。

本规程共分 11 章和 6 个附录。

本规程的主要技术内容是:适用范围、施工准备、球壳板及零部件的開箱检验、现场组装、焊接、焊后整体热处理、产品焊接试板、耐压试验和气密性试验、施工过程技术文件。

本规程是在 SH/T 3512—2002《球形储罐工程施工工艺标准》的基础上修订而成,修订的主要技术内容是:

- 修改了球形储罐热处理的测温点数量,统一了球形储罐热处理测温布点;
- 对球形储罐采用中心柱组装工艺和施工工艺流程图进行了修改;
- 将环带组焊法施工的球罐容积扩大到 1500m^3 ;
- 增加了施工过程技术文件要求;
- 修改了附录 E 的内容,删除了原“球罐交工技术文件表格格式”,增补了“球罐热处理测温点布置规则”。
- 增加附录 F“球罐施工质量检验项目”。

本规程由中国石油化工集团公司负责管理,由中国石油化工集团公司施工技术中心站负责日常管理,由中国石化集团第十建设公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议,请寄送日常管理单位和主编单位。

本规程日常管理单位:中国石油化工集团公司施工技术中心站

通讯地址:天津市滨海新区大港世纪大道 180 号

邮政编码:300270

电 话:022-63863843

传 真:022-63862301

本规程主编单位:中国石化集团第十建设公司

通讯地址:山东省淄博市临淄区建设路 6 号

邮政编码:255438

本规程参编单位:惠生工程(中国)有限公司

本规程主要起草人员:扈 拔 陈西洲 申大伟

本规程主要审查人员:郭 建 葛春玉 邸长友 胡金旺 李宏斌 汪庆华 夏 莉 胡联伟
胡 明 张永红 张桂红

本规程 1990 年首次发布,2002 年第 1 次修订,本次为第 2 次修订。

石油化工球形储罐施工技术规程

1 范围

本规程确立了球形储罐（以下简称球罐）施工工艺过程和施工方法，规定了现场组焊过程的质量控制、检验试验和质量要求及施工过程技术文件要求。

本规程适用于石油化工设计压力不大于 4MPa、公称容积不小于 50m³ 的桔瓣式或混合式以支柱支撑的碳素钢、低温钢和低合金钢制焊接球罐的施工，不适用于要求做疲劳分析球罐的施工。

2 规范性引用文件

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

- GB/T 3965 熔敷金属中扩散氢测定方法
- GB/T 4842 氩
- GB/T 5117 碳钢焊条
- GB/T 5118 低合金钢焊条
- GB/T 8110 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝
- GB/T 10045 碳钢药芯焊
- GB/T 14957 熔化焊用钢丝
- GB 50094 球形储罐施工规范
- GB 50484—2008 石油化工建设工程项目施工安全技术规范
- JB 4708 钢制压力容器焊接工艺评定
- JB/T 4730.2 承压设备无损检测 第2部分：射线检测
- JB/T 4730.3 承压设备无损检测 第3部分：超声检测
- JB/T 4730.4 承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测
- JB/T 4730.5 承压设备无损检测 第5部分：渗透检测
- JB 4744 钢制压力容器产品焊接试板的力学性能检验
- JB 4747 压力容器用焊条订货技术条件
- SH 3022 石油化工设备和管道涂料防腐蚀技术规范
- SH/T 3503 石油化工建设工程项目交工技术文件规定
- SH/T 3522 石油化工隔热工程施工工艺标准
- SH/T 3543 石油化工建设工程项目施工过程技术文件规定
- TSGZF 001—2006 安全阀安全技术监察规程
- 国家质量监督检验检疫总局令 第22号 锅炉压力容器制造监督管理办法
- TSG R0004—2009 固定式压力容器安全技术监察规程
- 国质检锅[2003]248号 特种设备无损检测人员考核与监督管理规则
- TSG Z6002—2010 特种设备焊接操作人员考核细则
- 质检特函[2007]52号 关于加强CF系列钢板用于压力容器制造管理的意见

3 总则

- 3.1 球罐施工应符合设计文件和本规程的规定，本规程的质量要求符合 TSG R0004—2009 和 GB 50094 的规定。球罐的型式和各部分名称见附录 A。
- 3.2 国外供货的球罐，除合同另有规定外，应执行本规程的要求。
- 3.3 球罐施工单位应取得《锅炉压力容器制造监督管理办法》规定的“A3 级压力容器制造许可证”。
- 3.4 球罐开工前，施工单位应书面告知直辖市或设区的市的特种设备安全监督管理部门，并接受工程所在地的特种设备监督检验机构的监督检验。
- 3.5 从事球罐无损检测人员应按《特种设备无损检测人员考核与监督管理规则》进行考核取得资格，并在有效期内，方可从事相应方法的特种设备无损检测工作。
- 3.6 从事球罐焊接的焊工应按 TSG Z6002—2010 进行考试取得资格，并在有效期内，方可承担合格项目的焊接工作。
- 3.7 球罐应在设计文件指定位置装设产品铭牌和注册铭牌。
- 3.8 球罐的涂料防腐工程施工应执行 SH 3022 的规定。
- 3.9 球罐的隔热工程施工应执行 SH/T 3522 的规定。
- 3.10 球罐施工的安全技术及劳动保护应执行 GB 50484 的规定。

4 施工准备

4.1 技术准备

4.1.1 球罐现场组焊施工应具备下列技术资料：

- 设计文件；
- 焊接工艺评定报告（PQR）和焊接工艺文件；
- 施工技术文件；
- 原材料、球壳板及零部件的质量证明文件；
- 标准规范。

4.1.2 球罐施工技术人员应熟悉设计文件和标准规范，明确与球罐施工有关专业工程互相配合的要求，并根据本单位资源情况和具体工程及施工合同要求选择施工方法、编制施工技术文件。

4.1.3 凡涉及设计文件内容的修改，应经原设计单位同意，并取得证明文件。

4.1.4 球罐焊接应有焊接工艺评定并应符合 JB 4708 的规定。焊接技术人员应根据焊接工艺评定报告（PQR），编制焊接工艺文件，焊接施工应执行焊接工艺文件的规定。

4.1.5 球罐施工技术文件宜包括下列内容：

- 施工组织与技术方案；
- 球壳板排版图和焊缝编号；
- 组装、检验工艺；
- 焊接工艺；
- 质量保证措施；
- 健康、安全与环境（HSE）计划；
- 现场平面布置图。

4.2 施工现场准备

4.2.1 施工场地布置应按施工现场平面布置图的要求进行。

4.2.2 球罐施工场地应平整，并设有排水措施。道路应满足运输车辆行走与起重机械吊装作业要求，基础周围不得有积水。

4.2.3 供电线路的电压应稳定，系统运行的总电压降不得大于 10%。

4.3 工装设施准备

4.3.1 球罐施工用工装设施应符合施工工艺要求，宜包括：

- a) 脚手架;
- b) 吊具、工卡具及胎具;
- c) 焊接防护设施。

4.3.2 直接与球壳板焊接的吊具、工卡具宜使用与球壳板相同材质的材料,也可使用与球壳板同类别的材料;焊接工艺宜采用与球罐正式焊接相同的焊接工艺,也可采用经评定合格的焊接工艺。

4.3.3 重复使用的工装设施应在使用前,对其材质、结构和尺寸的适用性及安全性予以核查确认。

4.3.4 球罐施工使用的计量器具应有产品质量证明文件,并经检定合格,在有效期内使用。

4.3.5 测量球壳板曲率、球壳板组焊棱角度的样板应经过校准,并在使用过程中保持其精度。

5 球壳板及零部件的開箱检验

5.1 质量证明文件的核查

5.1.1 球壳板及零部件(包括人孔、接管、法兰、补强件、支柱、拉杆、平盖及紧固件等)应有产品质量证明文件,并应根据设计文件和相关标准规范要求对其内容进行核查。

5.1.2 产品质量证明文件宜包括:

- a) 锅炉压力容器产品安全性能监督检验证书;
- b) 质量计划或检验计划、产品铭牌的拓印件或者复印件;
- c) 零部件出厂合格证;
- d) 材料代用审批证明;
- e) 材料质量证明文件及要求项目的复验报告;
- f) 钢板、锻件及零部件无损检测报告;
- g) 球壳板周边及坡口无损检测报告;
- h) 焊接接头无损检测报告(包括检测部位图);
- i) 热压成型试板检验报告;
- j) 产品焊接试板试验报告;
- k) 焊接记录;
- l) 球壳板几何尺寸检查记录;
- m) 排板图;
- n) 与球壳板焊接件热处理报告;
- o) 产品竣工图。

5.1.3 所核查球壳板及零部件的产品质量证明文件内容与设计文件、相关标准规范的要求不符或对文件的内容有异议时,在问题未澄清前,球壳板或零部件不得使用。

5.1.4 国外供货的球壳板及零部件除符合合同和相应标准外,尚应有商检证书。

5.1.5 采用CF系列钢板制造的球壳板及零部件除符合合同和相应标准规范外,尚应符合《关于加强CF系列钢板用于压力容器制造管理的意见》的规定。

5.2 球壳板和产品试板的检验

5.2.1 同时具有A3级压力容器制造资质和现场组焊资质的单位进行球罐施工时,球壳板和产品试板的检验应按工程所在地监检单位的要求进行;只有A3级压力容器现场组焊资质的单位进行球罐施工时,球壳板和产品试板的检验应按本规程5.2.2条~5.2.9条的要求进行。

5.2.2 球壳板和产品试板到货后,应按设计文件、标准规范和合同要求及产品质量证明文件进行球壳的结构形式核查和球壳板与试板的外观检查,并符合下列要求。

- a) 核查球壳的结构形式,应与设计文件相符;
- b) 核对材料标记,应清晰并与产品质量证明文件相符;
- c) 核对各带球壳板的编号,应清晰并与排板图相符;

- d) 核对球壳板组对标识, 应清晰并与排板图相符;
- e) 球壳板本身不得拼接, 不得有裂纹、气泡、结疤、折叠、夹杂和压入的氧化铁皮等缺陷;
- f) 坡口表面平滑, 不得有裂纹、分层、挂渣和氧化皮等缺陷;
- g) 焊缝尺寸符合要求, 表面无熔渣、两侧无飞溅物, 且无咬边、裂纹、弧坑、气孔和夹渣等缺陷。

5.2.3 球壳板应逐张进行尺寸及成形检查, 并符合下列要求:

- a) 坡口加工尺寸 (见图 1) 用焊缝检验尺检查, 坡口角度 α 、 β 的允许偏差为 $\pm 2^{\circ}30'$; 坡口钝边 p 及坡口深度 h 、 h_1 的允许偏差为 $\pm 1.5\text{mm}$;

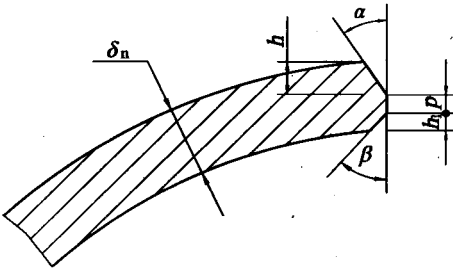
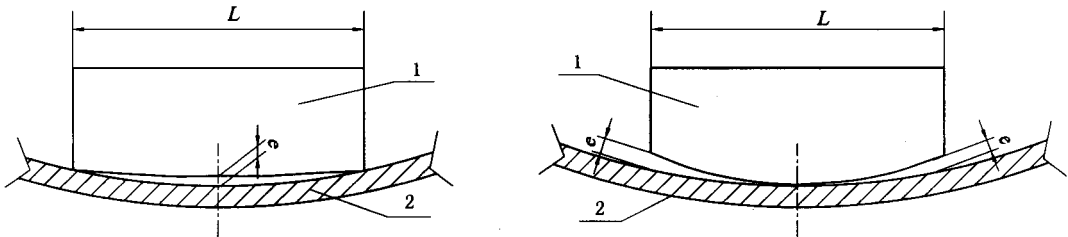


图 1 球壳板坡口几何尺寸检查示意

- b) 球壳板曲率 (见图 2) 用塞尺和样板检查, 其间隙 e 的允许偏差应符合表 1 的规定;



1—样板; 2—球壳板

图 2 球壳板曲率检查示意

表 1 球壳板与样板允许间隙

单位: mm

球壳板弦长	样板弦长 L	间隙值 e
$< 2\,000$	与球壳板弦长相同	≤ 3
$\geq 2\,000$	2 000	≤ 3

- c) 球壳板几何尺寸 (见图 3) 用钢尺检查, 测量应在坡口处放置定位样规, 其允许偏差应符合表 2 的规定;
- d) 焊于极板上的人孔和接管质量用钢尺检查, 检查项目和质量标准应符合本规程表 8 的规定, 相邻焊缝边缘距离应符合本规程 6.3.1.3 条的规定;
- e) 有开孔接管的球壳板曲率用弦长不小于 1m 的样板和塞尺检查, 在以开孔直径为半径的范围内间隙 e 不应大于 3 mm。

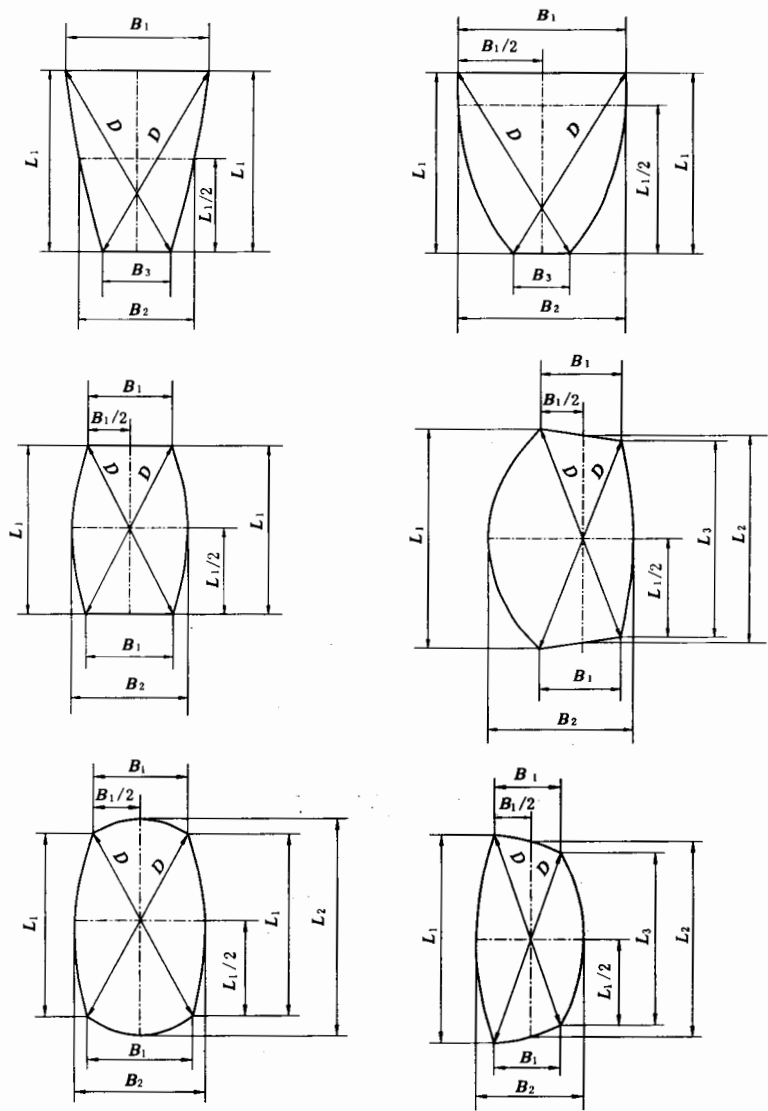


图 3 球壳板几何尺寸检查示意

表 2 球壳板几何尺寸质量标准

单位: mm

项 目	允许偏差值
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 ^a	5
^a 对刚性小的球壳板不检查两条对角线间的距离。	

5.2.4 球壳板沿周边 100 mm 范围内应进行全面积超声检测。抽查数量不得少于球壳板总数的 20%，除上、下极带不应少于 1 张外，其他各带不应少于 2 张；对于厚度大于 20 mm 的低温球壳板抽查数量不应少于球壳板总数的 40%，除应包括全部上、下极板和带支柱的赤道带板外，每带抽查数量不应少于 2 张。检测方法和结果应符合 JB/T 4730.3 II 级的规定。有不允许的缺陷应加倍检测，仍有不允许的缺陷应逐件检测。

5.2.5 球壳板坡口平面度不应大于球壳板名义厚度的 4% 且不应大于 1 mm。标准抗拉强度下限值大于或等于 540 MPa 钢的球壳板和低温钢球壳板坡口面应经 20% 表面无损检测, 检测方法和结果应符合 JB/T 4730.4 或 JB/T 4730.5 I 级的规定。有不允许的缺陷应加倍检测, 仍有不允许的缺陷应逐件检测。

5.2.6 标准抗拉强度下限值大于或等于 540 MPa 钢球壳板和低温钢球壳板上焊接的人孔、接管全焊透焊缝应进行 20% 超声检测和 100% 表面无损检测; 支柱与球壳板连接的角焊缝应进行 100% 表面无损检测。检测方法和结果应分别符合 JB/T 4730.3、JB/T 4730.4 或 JB/T 4730.5 I 级的规定。有不允许的缺陷应加倍检测, 仍有不允许的缺陷应逐件检测。

5.2.7 设计文件对球壳板有全面积超声检测要求时, 抽查数量与检测结果应执行本规程 5.2.4 条的规定。

5.2.8 用超声测厚仪检测球壳板实际板厚, 实测厚度不得小于名义厚度减钢板的负偏差。抽查数量应为球壳板数量的 20%, 除上、下极不应少 1 张外, 其他各带不应少于 2 张, 每张球壳板的检测不应少于 9 点 (见图 4)。有不合合格时, 应加倍检测, 仍有不合格时, 应逐张检测。

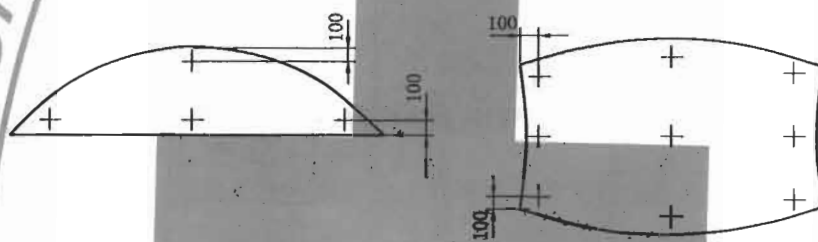


图 4 球壳板厚度测点示意

5.2.9 核对制造单位提供的产品试板的材料标记、规格及数量, 并符合下列规定:

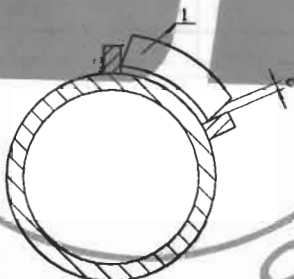
- 产品试板用料的牌号、炉号、热处理状态、厚度和坡口形式应与球壳板一致;
- 每块产品试板尺寸应为 180 mm × 650 mm;
- 每台球罐产品试板不应少于 8 块;
- 钢板厚度大于 40 mm 时, 试板取样的长度方向应沿钢板的轧制方向。

5.2.10 现场组焊所需要的焊接工艺评定试板数量应在合同中规定。

5.3 球罐支柱及零部件的检验

5.3.1 球罐支柱直径和形式应符合设计文件和合同的要求, 其他项目的检查应符合下列规定:

- 支柱长度用钢尺测量, 其偏差不大于 3 mm, 分段支柱上、下段接头处圆度不大于 2 mm;
- 支柱上斜拉撑的支耳方位用样板检查 (见图 5), 其间隙 e 不大于 4 mm;



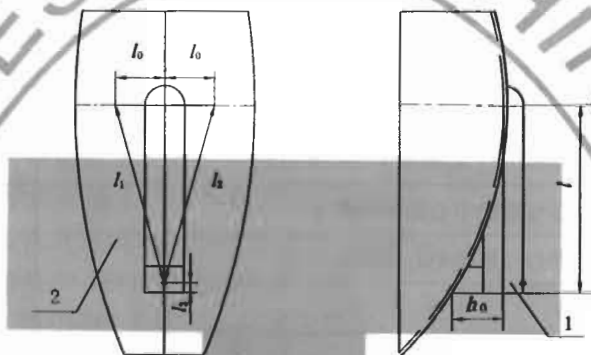
1—样板

图 5 支柱上支耳方位检查示意

c) 支柱底板与支柱的垂直偏差不大于 2mm;

d) 支柱全长直线偏差不大于 1/1 000, 且不大于 10mm。

5.3.2 焊于赤道带板上的支柱用钢尺检查 (见图 6), 其允许偏差应符合表 3 的规定, 支柱与球壳板的角焊缝和球壳板对接焊缝的距离应符合本规程 6.3.1.3 条的规定。检查时, 应先确定 l_0 与 l_3 的定位点, 且 l_0 不应小于 500mm, l_3 不宜大于 200mm。



1—上段支腿; 2—赤道带板

图 6 赤道带板上支柱测量示意

表 3 赤道带板上的支柱质量标准

单位: mm

项 目	允许偏差值
支柱长度 l	± 2
支柱轴向中心线与球壳板的距离 h_0	± 3
支柱中心线与球壳中心偏移 $ l_1 - l_2 $	≤ 2

5.3.3 支柱间可调式斜拉杆的螺纹应进行外观检查, 螺纹配合应良好, 且不得有锈蚀。

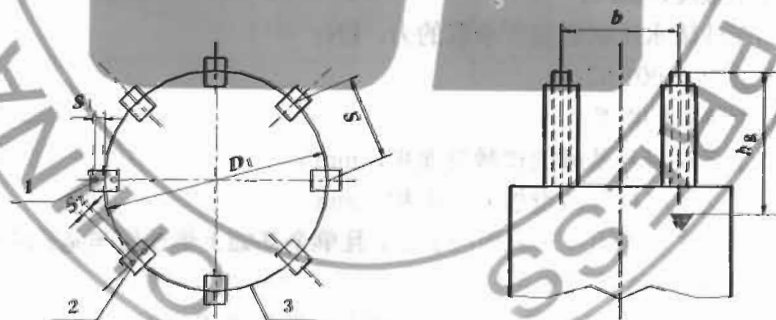
5.3.4 球罐的平台、梯子、喷淋装置等附属结构应按设计文件核对其规格和尺寸。

5.3.5 安全阀应有质量证明文件, 其内容应符合 TSGZF 001—2006 的规定。

6 现场组装

6.1 基础检查验收

6.1.1 基础交付安装时, 基础施工单位应提交测量记录与技术资料, 并在交付的基础上标出基础中心圆和支柱基础的径向中心线、标高测量标识和基础沉降观测点 (见图 7)。



1—地脚螺栓; 2—地脚螺栓预留孔; 3—基础中心圆

图 7 基础尺寸检查示意

6.1.2 球罐施工单位应对基础各部位尺寸进行复测，其允许偏差应符合表 4 的规定。合格后办理交接手续。

表 4 球罐基础各部位质量标准

序号	项 目			允许偏差值	单位
1	基础中心圆直径 D_1		球罐公称容积小于1 000 m ³	±5	mm
			球罐公称容积大于或等于1 000 m ³	± $D_1/2\ 000$	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			±8	mm
6	预埋地脚螺栓之间的间距 b			±2	mm
7	预埋地脚螺栓顶标高 h_g			+5 0	mm
8	基础 标高	采用预埋地脚板固定的基础	相邻支柱基础的标高差	≤3	mm
			支柱基础地脚板上表面的标高	0 -3	mm
9	单个支柱基础上表面的平面度		采用地脚螺栓固定的基础	5	mm
			采用预埋地脚板固定的预埋钢板	2	mm
注: D_1 为球罐设计内直径。					

6.1.3 基础混凝土表面应无蜂窝、裂纹、露筋等缺陷。

6.2 垫铁安装及水泥砂浆垫墩施工

6.2.1 球罐支柱找正可采用垫铁组，也可采用水泥砂浆垫墩进行。采用垫铁组时，垫铁组与基础的接触面积应按公式（1）、公式（2）计算。

$S \geq kG/nP$ (1)

$S \leq 0.18 A$ (2)

上列式中：

- P —— 基础的抗压强度，MPa；
- G —— 单个基础在球罐水压试验前所承载的力，kN；
- k —— 系数，取值为 0.001 02；
- n —— 单个基础上垫铁的组数；
- S —— 单个基础上垫铁组与基础的接触总面积，mm²；
- A —— 单个基础上支柱底板（或滑板）的面积，mm²。

6.2.2 铺设垫铁组时，放置垫铁的基础表面应铲平，且单个基础上垫铁组与基础的接触总面积 S 应满足公式（2）的要求，并符合下列规定：

- a) 每个支柱的垫铁不得少于四组，在地脚螺栓两侧各放置一组，相邻垫铁组距离不宜大于 500 mm；
- b) 每组垫铁的块数不得多于四块，厚的垫铁宜放在下面，斜垫铁应成对使用，其搭接长度不小

于全长的 3/4;

- c) 二次灌浆层厚度不应低于 25mm;
- d) 无基础滑板时, 垫铁露出支柱底板边沿的长度应为 10mm~20mm; 有基础滑板时, 垫铁应伸入支柱底板 2/3, 露出部分可与滑板齐平;
- e) 每组垫铁的上表面水平度不大于 2mm/m。

6.2.3 采用水泥砂浆垫墩时, 应按下列要求施工:

- a) 将基础表面铲成麻面, 并用水冲洗干净;
- b) 用不低于基础混凝土强度的水泥砂浆在预定位置上堆砌水泥砂浆墩, 其高度为 50mm~80mm;
- c) 在水泥砂浆墩顶部埋设平垫板;
- d) 用钢尺和水平仪检查垫板上表面, 其顶部标高与球罐支柱底板下表面的设计标高相同, 允许偏差为 ± 2 mm, 平垫板的水平度不得大于 2mm/m;
- e) 将砂浆墩上部垫板四周抹成 45° 的坡度并进行养护;
- f) 砂浆墩达到强度等级的 70% 以上方可安装支柱。

6.2.4 进行焊后整体热处理的球罐支柱按下列规定施工:

- a) 基础应设置滑动底板;
- b) 滑板表面应光滑平整;
- c) 当支柱底板与基础间以螺栓连接固定时, 支柱底板上的螺栓孔和螺栓之间应有位移空间, 并应满足支柱位移量;
- d) 柱脚移动装置所有相对移动表面均应加注润滑脂。

6.3 球罐分片法组装工艺

6.3.1 一般规定

6.3.1.1 球罐施工宜采用分片法组装, 其工艺流程参见附录 B。球罐组装时, 球壳板的编号宜沿球罐 0° 向 90° 至 270° 方向进行编排, 编号为 1 的球壳板宜排在 0° 或与紧靠 0° 向 90° 方向偏转的位置上。

6.3.1.2 球罐组装可采用工卡具 (见图 14) 调整球壳板组对间隙和错边量, 但不得进行强力组装。球壳板在吊装之前应按下列要求设置吊具、工卡具:

- a) 组对工卡具方帽的间距应符合表 5 的规定, 方帽与球壳板边缘的距离按键板中心距确定;
- b) 球壳板与吊具、工卡具焊接处应清除防锈涂料或铁锈。

表 5 方帽间距

单位: mm

项 目	球壳板厚度	
	<46	≥46
	方帽间距	
纵向间距	1100~1300	800~1000
环向间距	500~800	500~800

6.3.1.3 球罐组装时, 下列相邻焊缝的边缘距离应大于球壳板厚度的 3 倍, 且不小于 100mm:

- a) 相邻两带的纵焊缝;
- b) 支柱与球壳的角焊缝至球壳板的对接焊缝;
- c) 球罐人孔、接管、补强圈和连接板等与球壳板的连接焊缝至球壳板的对接焊缝及其相互之间的焊缝。

6.3.1.4 球罐组装时, 应对球壳板对口间隙、错边量、棱角度和球罐的最大直径与最小直径之差、赤道线水平度、支柱的标高、支柱的垂直度进行控制。

6.3.1.5 在全部球壳板组对完毕并检查合格后,可将下极带中的一张极中板暂时取下,作为球罐内通风和施工人员通行的通道,待球壳板其他焊缝焊接完后再组对焊接。

6.3.1.6 球罐组装用的工卡具可随焊接完成进度同步拆除,焊在球壳板上的工卡具拆除时,可用砂轮磨削、碳弧气刨或气割切除并做出标记。切除后,球壳板上的卡具焊接痕迹应用砂轮打磨平滑并进行表面无损检测,切割和打磨均不应伤及球壳板母材。

6.3.2 球壳板组对间隙、错边量和棱角度

6.3.2.1 采用焊条电弧焊时,组对间隙 e 宜为 $2\text{mm}\pm 2\text{mm}$;采用气体保护焊时,组对间隙 e 宜为 $3\text{mm}\pm 1\text{mm}$;采用其他焊接方法时,组对间隙应由焊接工艺确定,球壳板对口间隙测量见图8。

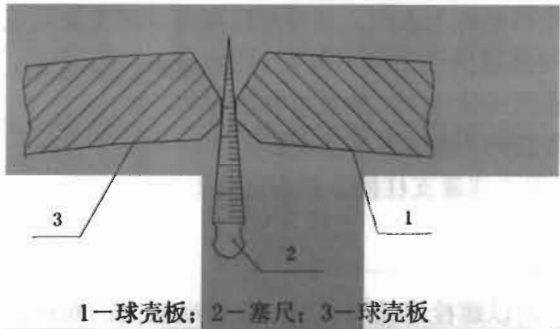


图8 球壳板对口间隙测量示意

6.3.2.2 球壳板组对错边量 b 不应大于球壳板名义厚度的 $1/4$,且不得大于 3mm (见图9),当两板厚度不等时,错边量 b 应按公式(3)进行计算,并应扣除两板厚度的差值(见图10)。

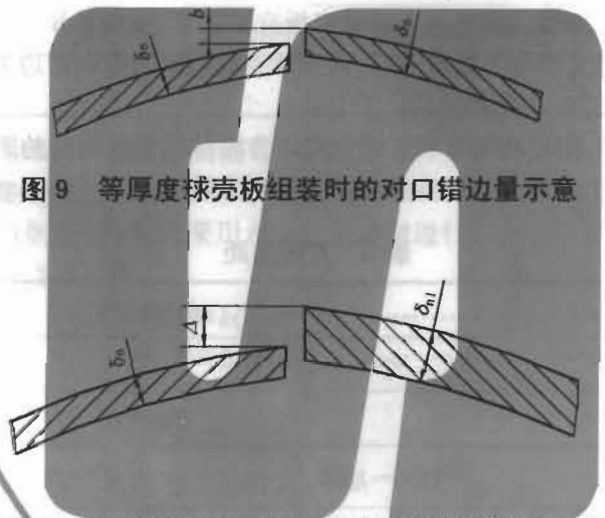


图9 等厚度球壳板组装时的对口错边量示意

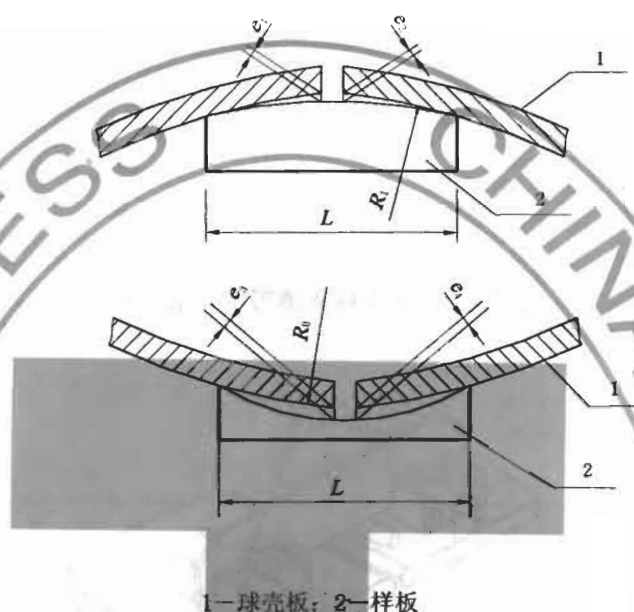
图10 不等厚度球壳板组装时的对口错边量示意

$$b = A - (\delta_{n1} - \delta_n) \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- A —— 实测数值, mm;
- δ_{n1} —— 厚球壳板厚度, mm;
- δ_n —— 薄球壳板厚度, mm。

6.3.2.3 按图11所示方法用弦长 L 不小于 1m 的样板检查球壳板组装后的棱角度,取 e_1 和 e_2 中的大值或 e_3 和 e_4 中的大值,且不大于 5mm 。



1—球壳板；2—样板
图 11 球壳板组装时的棱角度检查示意

6.3.2.4 检查组对间隙值、错边量和棱角度时，宜沿对接接头每 500mm 测量一点。

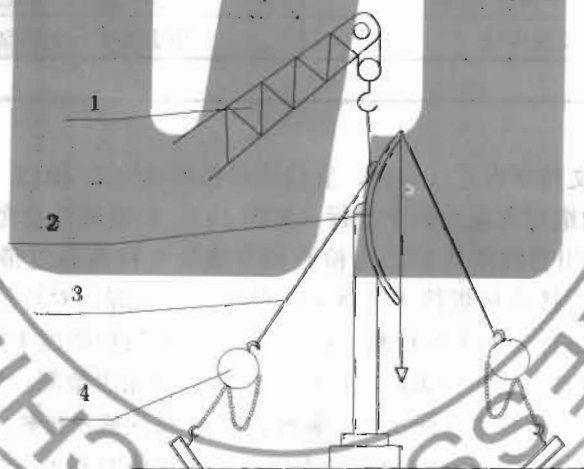
6.3.3 赤道带组装

6.3.3.1 赤道带板的支柱分段或整体供货时，应按本规程 6.3.4.1 条、6.3.4.2 条的规定进行分段支柱组焊或支柱与球壳板组焊。

6.3.3.2 吊装第一张带支柱的赤道带板，就位后用拖拉绳或其他方法将赤道带板固定（见图 12），测量支柱垂直度或赤道带板垂直度；当支柱和赤道带板偏心布置时，应在偏心一侧加临时支撑。

6.3.3.3 吊装第二张带支柱的赤道带板，就位并采用本规程 6.3.3.2 条的方法将赤道带板固定，然后测量支柱垂直度或赤道带板垂直度及支柱间的相对位置。

6.3.3.4 将不带支柱的赤道带板吊起插入两块带支柱赤道带板之间（见图 13），并用卡具（见图 14）固定。依次吊装赤道带板就位，使之组成环带。



1—吊车；2—赤道带板；3—拖拉绳；4—倒链

图 12 第一张赤道带板吊装示意

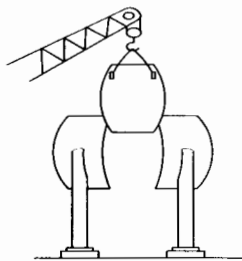
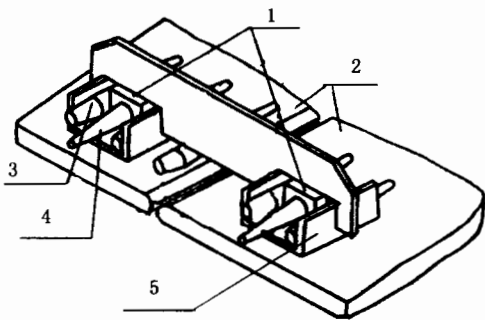


图 13 不带支柱赤道带板吊装示意



1—方帽；2—球壳板；3—方销；4—锥销；5—键板

图 14 球壳板组对工卡具示意

6.3.3.5 赤道带板组装时，每张球壳板的赤道线水平偏差 $\leq 2\text{mm}$ ；相邻两张球壳板的赤道线差值 $\leq 3\text{mm}$ ；任意两张球壳板的赤道线差值 $\leq 6\text{mm}$ 。

6.3.3.6 赤道带板组对成环后，应立即进行找正，使装配尺寸达到要求：

- a) 对口间隙、错边量和棱角度应符合本规程 6.3.2 条的要求；
- b) 赤道带圆度及内径和赤道带水平偏差应符合表 6 的规定。

表 6 赤道带组装质量标准 单位：mm

序号	检查项目	允许偏差值
1	赤道线水平偏差	± 3
2	赤道带圆度及内径	小于或等于 $0.3\%D_i$ 且小于或等于 50

注： D_i 为球罐设计内直径。

6.3.4 支柱安装

6.3.4.1 分段支柱应按设计文件要求进行组焊，支柱的对接焊缝应按 JB/T 4730.2 进行射线检测，II 级合格。支柱和赤道带板的组对宜在胎具上进行（见图 15），检查项目及允许偏差见表 7。

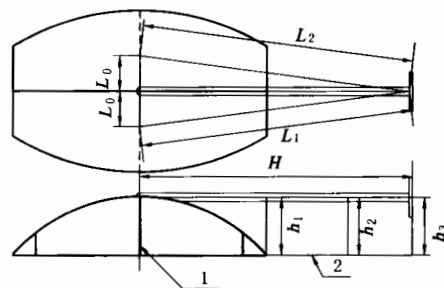
6.3.4.2 支柱和赤道带板的相贯线组对后，应检查相贯线处支柱与赤道带板之间的间隙，其允许偏差 $\leq 2\text{mm}$ 。相贯线焊接应按焊接工艺规定的程序进行，焊后对焊缝表面进行打磨，并按 JB/T 4730.4 或 JB/T 4730.5 进行表面无损检测，I 级合格。标准抗拉强度下限值 $\geq 540\text{MPa}$ 钢、低温钢球罐采用偏心支柱时，还应按 JB/T 4730.3 进行 100% 超声检测，II 级合格。

6.3.4.3 支柱用垫铁找正时，应符合本规程 6.2.2 条的要求，垫铁应紧密接触，找正完毕后焊接固定，并紧固地脚螺栓；支柱用水泥沙浆垫墩找正时，应符合本规程 6.2.3 条的要求，找正完毕后紧固地脚螺栓。

6.3.4.4 支柱找正完毕并紧固地脚螺栓后，应检查标高，并按本规程 6.7.2 条的规定检查垂直度：

- a) 支柱底板下表面标高偏差 $\leq 3\text{mm}$ ；
- b) 当支柱高度 $\leq 8\text{m}$ 时，垂直偏差 $\leq 10\text{mm}$ ；

c) 当支柱高度大于 8m 时, 垂直偏差为支柱高度 1.5/1 000, 且不应大于 15 mm。



1—支架; 2—粉线或细钢丝

图 15 支柱组对示意

表 7 支柱组对质量标准

单位: mm

序号	检 查 项 目	允许偏差值
1	支柱底板下表面到赤道线距离 H	± 3
2	支柱直线度	3
3	支柱中心线与赤道带板轴线的平行度 $ l_1-l_2 $	2
4	支柱中心线与赤道带板四角所在平面的距离 h_1 、 h_2 、 h_3 之间的偏差	2

注: 取 L_0 大于或等于 500mm。

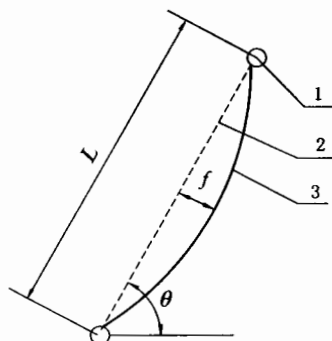
6.3.4.5 赤道带板组装支柱找正符合要求后, 安装支柱间支撑, 并按本规程 6.3.4.6 条要求控制拉杆挠度。当设计文件采用刚性柱间支撑时, 支柱找正后应将支撑构件进行预组装, 使各焊接接缝的间隙均符合要求后, 方可进行焊接, 焊接时应对称施焊。

6.3.4.6 支柱间拉杆安装时, 应对称均匀拧紧, 对拉杆中部的挠度 f (见图 16) 宜按公式 (4) 进行计算。

$$f=5.42\times10^{-4}(L^4\cos\theta)^{1/3}\dots\dots\dots(4)$$

式中:

- f —— 拉杆中部的挠度, cm;
- L —— 拉杆两端销轴间距, cm;
- θ —— 拉杆仰角, ($^{\circ}$)。



1—销轴; 2—拉线; 3—拉杆

图 16 拉杆中部挠度的测定示意

6.3.5 温（寒）带、极带组装

6.3.5.1 温带板组装应先组装下温带板，后组装上温带板；组装时，宜采用对称吊装。

6.3.5.2 下温带板按排板图先吊装第一张下温带板，就位后大边用组对工卡具与赤道带板连接，小边用钢丝绳和赤道带上口方帽固定（见图 17a），并应控制温带板与赤道带板的相对位置，调整好温带板与赤道带板的曲率。

6.3.5.3 吊装第二张下温带板，就位并采用本规程 6.3.5.2 条的方法固定，并用工卡具和相邻温带板连接；依次组装全部下温带板，并组装成型。

6.3.5.4 上温带板的组装程序除小边的固定方法外，应按本规程 6.3.5.2 条、6.3.5.3 条的规定进行，并组对成型（见图 17b）。上温带小边可采用拖拉绳固定的方法，也可采用中心柱和工卡具固定的方法。

6.3.5.5 上、下温带板全部组装完毕，应进行对口间隙、错边量、棱角度及小环口圆度的调整，合格后，有寒带的球罐按本规程 6.3.5.1 条～6.3.5.4 条的程序组装寒带；无寒带的球罐组装上、下极边板和侧板，然后组装上、下极中心板（见图 18）。

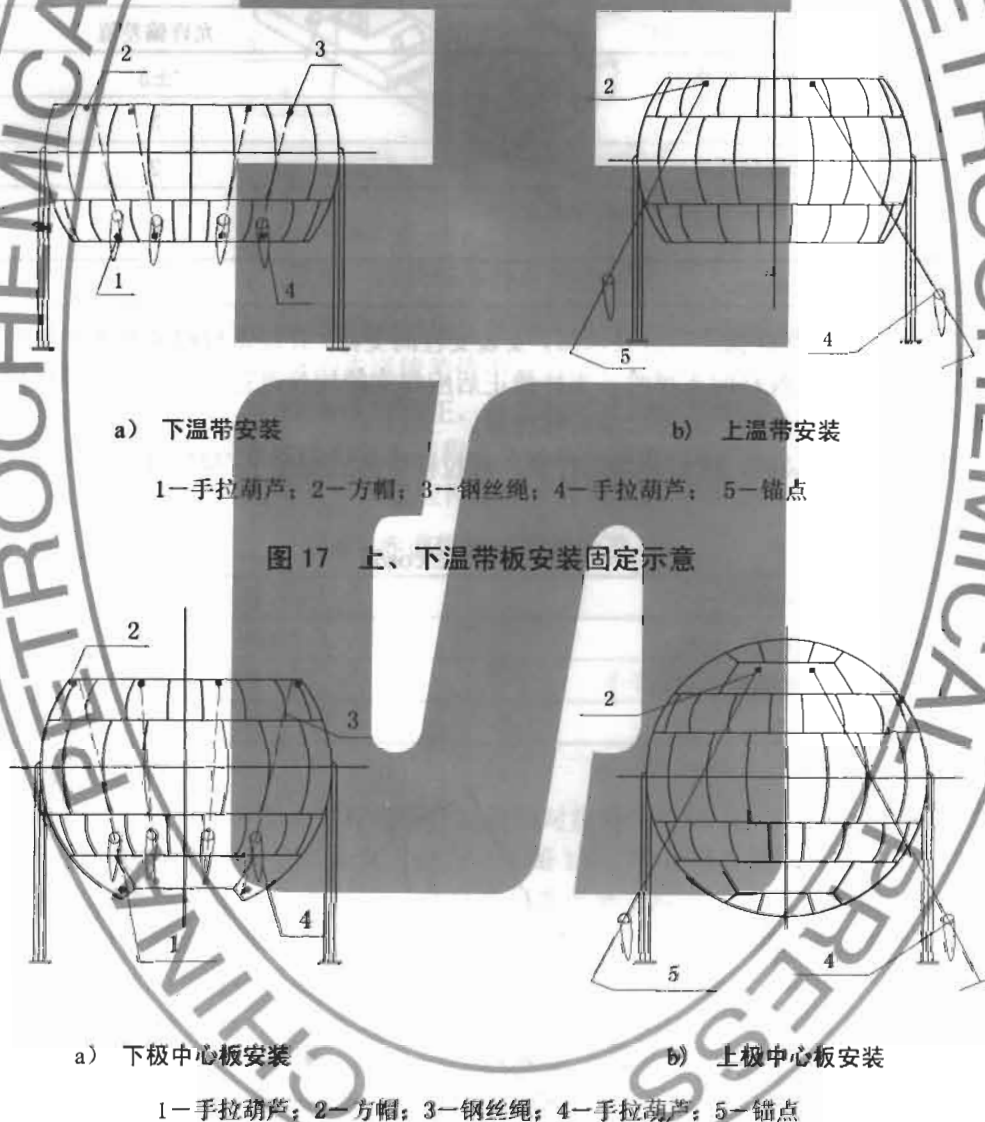


图 18 上、下极中心板安装固定示意

6.3.5.6 极板组装时,应先组装下极板,后组装上极板,极板吊装就位后,应用卡具与温(寒)带板固定,并应控制极板与温(或寒)带板的相对位置以及管口方位与设计文件相符。

6.3.5.7 赤道带、温(或寒)带和极带组装完成后,用工卡具调整球壳板对口间隙值、错边量和棱角度,并应符合本规程 6.3.2 条规定,合格后对称进行定位焊接。然后清除坡口的铁锈与污物并交付焊接,焊接工艺执行第 7 章的规定。

6.4 球罐环带法组装工艺

6.4.1 一般规定

6.4.1.1 公称容积不大于 1500m^3 的球罐可采用环带法组装,环带法可按先安装下温带(包括极板)再组装赤道带的施工程序组装,也可按先安装赤道带再组装下温带的施工程序组装,其工艺流程参见附录 C。采用环带法组装时,各环带均应在平台上进行组装。组装平台在施工过程中不得出现变形或偏沉。

6.4.1.2 每个环带组对时,均采用相应的胎具,胎具直径为各环带设计内径加焊接收缩量。

6.4.1.3 各环带组装和球罐整体组装用的工卡具的使用与拆除应符合本规程 6.3.1.2 条和 6.3.1.6 条的规定。

6.4.2 赤道带组焊

6.4.2.1 在平台上按理论计算值画出赤道带下环口基准圆,在下环口基准圆内侧设置胎具,胎具的高度宜为赤道带高度的 $2/3$,胎具直径应通过 $1:1$ 放样验证。组装时,赤道带板应与胎具圆周接触,在基准圆的外侧加一个球壳板壁厚处均布点焊定位板,且每张球壳板不少于 2 张;内侧定位板宜与外侧定位板对应放置,定位板的厚度不宜小于 8mm ,尺寸以 $140\text{mm}\times 110\text{mm}$ 为宜。

6.4.2.2 以定位板和胎具为基准,利用工卡具使所有球壳板都紧贴胎具,使各球壳板对口间隙控制在 $2\text{mm}\sim 3\text{mm}$,并对错边量、棱角度和上、下口环圆度及周长等项目进行检查,其偏差值应符合本规程 6.3.2 条、6.4.2.3 条的规定。合格后在纵缝内坡口进行定位焊,组焊防变形支撑,进行焊缝坡口面除锈和除油等清理工作,并交付焊接,焊接工艺执行第 7 章的规定。

6.4.2.3 赤道带组对后,上、下环口周长偏差不得大于 10mm ,上、下环口的圆度不应大于其直径的 $3/1000$,且不大于 30mm 。赤道带的纵缝焊接时,应根据球壳板的厚度,宜在纵缝两端各预留 $300\text{mm}\sim 500\text{mm}$ 不焊,作为组对环带的调整缝。

6.4.2.4 赤道带焊接完成后,应对上、下环口的直径、圆度、周长及错边量、棱角度等项目进行检查,并做出记录。确认合格后,进行焊接接头无损检测。

6.4.3 温带组焊

6.4.3.1 温带的组焊程序和要求与赤道带相同,其大环口基准圆直径应根据赤道带环上、下环口的实际直径来确定;小环口直径应以相应的极板直径为基准,且不应大于极板实际直径。

6.4.3.2 温带的焊接完成后,应对上、下环口的直径、圆度、周长及棱角等项目进行检查,并做出记录。确认合格后,进行焊接接头无损检测。

6.4.4 极带组焊

6.4.4.1 混合式球罐。先组对边极板,再组对边幅板和中幅板,然后焊接边极板与中幅板、边幅板,再焊接中幅板与边幅板。

6.4.4.2 橘瓣式球罐组焊中极板和边极板。

6.4.4.3 对极带环口的直径、圆度、周长及错边量、棱角度等项目进行检查,符合本规程 6.4.5 条的要求后再与温带组焊。

6.4.4.4 极带焊接完成后,应对环口的直径、圆度、周长及错边量、棱角度、人孔和接管等项目进行检查,并做出记录。确认合格后,进行焊接接头无损检测。

6.4.5 赤道带/温带/极带组焊质量检查

6.4.5.1 各带焊缝的焊接质量应符合本规程 7.4 条的规定,焊后棱角度应符合本规程 6.7.8 条的规定。

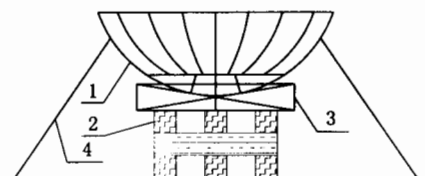
6.4.5.2 按本规程 6.7.5 条的规定检查赤道截面（水平面）的内直径，并应符合本规程 6.7.7 条的规定。

6.4.5.3 赤道带环口与温带大环口外圆周长差不得大于 10mm。

6.4.5.4 温带小环口与极带外圆周长差不得大于 10mm。

6.4.6 先安装下温带（包括极板）的施工程序

6.4.6.1 球罐整体组装应根据设计文件安装方位，在组装平台上，把下温带（包括极板）吊放到安装座圈上（见图 19）。安装座圈的中心与球罐基础中心偏差不应大于 2mm；水平偏差应不大于 1mm；标高应符合支柱安装的要求，其高度允许偏差为 ± 2 mm。放置安装座圈的地面应进行处理，使其承载满足赤道带与下温带（包括极板）组对的要求。



1—下温带；2—道木；3—安装座圈；4—临时支撑件

图 19 下温带吊到安装座圈上的示意

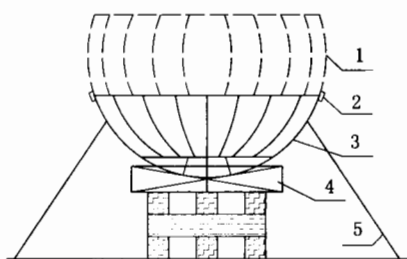
6.4.6.2 在安装座圈上进行下温带找正，使其大环口直径方向的相对高差不应大于 5mm；中心标高偏差不应大于 2.5mm；中心线与球罐安装中心线的同轴度应不大于 5mm。下温带找正完成后，宜用临时支撑件对称支撑固定（见图 19）。

6.4.6.3 分别调整好赤道带下环口与下温带（包括极板）大环口圆度，在下温带大环口外侧焊接均匀分布的导向板（见图 20）。

6.4.6.4 吊装赤道带，在赤道带和下温带的环缝内侧用工卡具调整组装间隙、错边量，并应符合本规程 6.3.2 条的要求。然后对称定位焊接，清除坡口面的铁锈、污物后，交付施焊并焊完全部环焊缝。

6.4.6.5 对下温带与赤道带环焊缝及有关几何尺寸进行检查，确认合格后，按本规程 6.4.7 条要求进行支柱安装。

6.4.6.6 调整上温带（包括极板）大环口圆度，在赤道带环口内侧焊接均匀分布的导向板，吊装上温带，在上温带与赤道带环缝外侧用卡具调整组装间隙、错边量，并应符合本规程 6.3.2 条的要求。然后对称定位焊接，清除坡口面的铁锈、油污及杂物后，交付施焊并焊完全部环焊缝。



1—赤道带；2—导向板；3—下温带；4—座圈；5—临时支撑件

图 20 导向板焊接位置示意

6.4.7 支柱安装

6.4.7.1 支柱采用垫铁或水泥砂浆墩找正时,应符合本规程 6.3.4.3 条的规定。

6.4.7.2 支柱的标高和垂直度应符合本规程 6.3.4.4 条的规定;

6.4.7.3 支柱与赤道带的相贯线组焊应符合本规程 6.3.4.2 条的规定;

6.4.7.4 拉杆安装的挠度应符合本规程 6.3.4.6 条的要求,且不得用强力紧固拉杆螺栓的办法来校正支柱的垂直度。

6.4.8 先安装赤道带的施工程序

6.4.8.1 赤道带吊装前,在赤道带外侧与球罐支柱相对应的位置焊接赤道带吊装就位临时使用的支撑托架,完成本规程 6.4.8.4 条的内容后,拆除临时使用的支撑托架。

6.4.8.2 按设计文件规定的安装方位,把下温带(包括极板)大环口向上预先吊放到球罐基础的中心,并放稳、垫平。

6.4.8.3 安装支柱,其垂直度和底板下表面标高宜初步调整在本规程 6.3.4.2 条要求的范围内,支柱间拉杆螺栓进行预紧固。

6.4.8.4 吊装赤道带,就位后找水平度,并再次调整支柱的垂直度和底板下表面标高,确认合格后,进行支柱与赤道带的组焊。

6.4.8.5 分别吊装下温带(包括极板)和上温带(包括极板)(见图 21 及图 22),并进行与赤道带的组装。

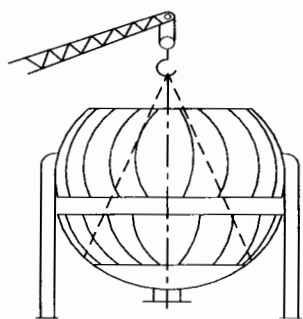


图 21 下温带吊装示意

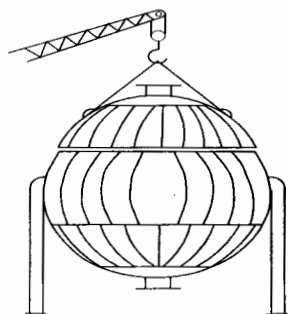


图 22 上温带吊装示意

6.4.8.6 球罐环缝组装应按本规程 6.4.5.3 条、6.4.5.4 条、6.4.5.6 条要求进行,并用组对工卡具调整组装间隙、错边量,并检查对口棱角度,使其偏差应符合本规程 6.3.2 条的规定。确认合格后,进行对称定位焊接,清除坡口面的铁锈、污物后,交付施焊并焊完全部环焊缝。

6.5 附件安装

6.5.1 现场组焊除支柱外的其他零部件应按本规程第 7 章的要求进行焊接。

6.5.2 人孔、接管的位置及尺寸允许偏差见表 8。

表 8 人孔、接管位置及尺寸允许偏差

单位: mm

序号	检查项目	允许偏差值
1	中心标高	± 5
2	法兰平面与接管的垂直偏差	1%法兰外径且不大于 3
3	人孔、接管的开孔位置	≤ 5

- 6.5.3 球罐附件的法兰密封面应平整光洁, 不得有伤痕。
- 6.5.4 按设计文件核对法兰连接用的紧固件、垫片的规格和材质。安装时, 应在螺纹部位涂抹油脂, 螺栓紧固后两端露出螺纹长度一致。
- 6.5.5 阀门、液位计安装前, 应经强度和严密性试验合格。
- 6.5.6 雷达液位计管、物料进出管等球罐内部配管应按设计文件要求进行安装。
- 6.5.7 安全阀安装前, 应进行整定压力、密封性能校验, 校验合格的安全阀应有铅封、标牌和校验报告。
- 6.5.8 球罐本体上附属装置及附属结构的垫板、补强件应使用设计文件规定的材料, 并按照本规程第 7 章的要求进行焊接。
- 6.6 临时设施的设置
- 6.6.1 球罐施工用的脚手架应按施工进度的要求及时搭设。附设于球壳板上的脚手架, 其支撑托架挂耳宜按预定位置在地面焊接, 并执行本规程 4.3.2 条与第 7 章要求。
- 6.6.2 在球罐内搭设脚手架时, 应对球壳板采取保护措施。
- 6.6.3 焊接施工用的防护设施包括防风棚、防雨罩等应与外脚手架统筹安排, 并利用外脚手架来固定防护结构的构件。
- 6.6.4 防护设施宜选用镀锌铁皮, 也可选用其他阻燃材料。
- 6.6.5 脚手架的搭设、防火和施工用电应符合 GB 50484 的规定。
- 6.7 球罐质量检验
- 6.7.1 焊接前, 应按本规程 6.3.2.1 条、6.3.2.2 条规定复验球壳板对口间隙和错边量。
- 6.7.2 支柱的垂直度应沿球罐径向和切线两个方向测量, 测量方法可用线坠和钢尺在支柱上、下两点测量 (见图 23), 线坠的质量不应小于 1 kg。当由于气候条件用线坠无法准确测量时, 应用经纬仪测量, 且应在支柱上做好测点标记。

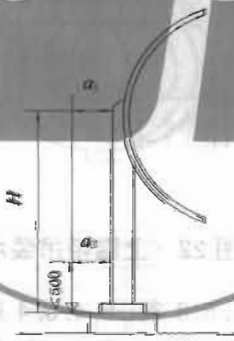


图 23 支柱垂直度测量示意

- 6.7.3 支柱的垂直度应在焊接前、后各测一次, 进行焊后整体热处理的球罐应在热处理后作最后测

定。垂直度应符合本规程 6.3.4.2 条规定。

6.7.4 赤道带的水平度应在赤道线上用 U 型管水平仪和钢尺或水准仪和钢尺测量（见图 24），测点不应少于 6 点。水平度应符合本规程表 6 的规定。

图 24 赤道带水平度测量示意

6.7.5 焊接前、后，均应检查球壳两极间及赤道截面的内直径。球罐的内直径宜用钢板尺和钢盘尺或激光测距仪测量（见图 25），并应分别沿水平面和垂直面测定。水平面不应少于 6 个数据，垂直面不应少于 2 个数据，其中应包括一个上、下极方向的直径（见图 26）。

1—钢板尺；2—钢盘尺；3—样板

图 25 内直径测量方法示意

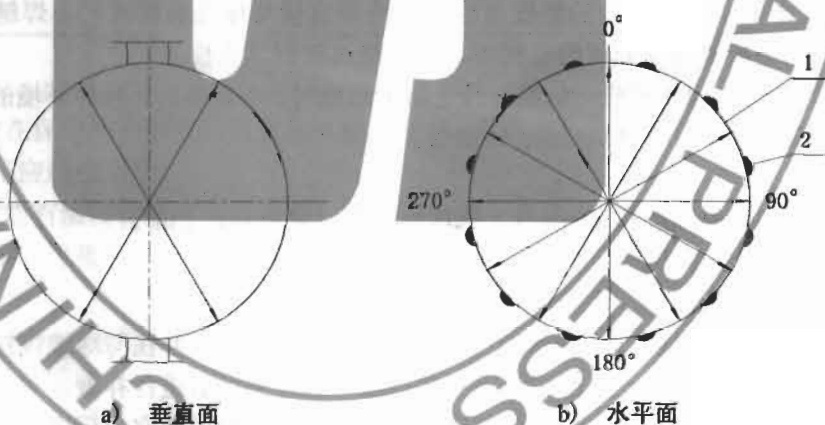


图 26 内直径测量位置示意

6.7.6 焊接前,球壳两极间及赤道截面的内直径应符合下列要求:

- a) 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差均应小于或等于设计内径的 $3/1\,000$ 且不大于 50 mm;
- b) 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径的 $3/1\,000$ 且不大于 50 mm。

6.7.7 焊接后,球壳两极间及赤道截面的内直径应符合下列要求:

- a) 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差均应小于设计内径的 $7/1\,000$ 且不大于 80 mm;
- b) 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径的 $7/1\,000$ 且不大于 80 mm。

6.7.8 焊接前、后棱角应按本规程 6.3.2.3 条、6.3.2.4 条的规定各进行一次检查:

- a) 焊接前棱角值不得大于 7 mm;
- b) 焊接后棱角值不得大于 10 mm。

6.7.9 球罐焊缝质量检查应按本规程 7.4 条的规定执行。

7 焊接

7.1 一般规定

7.1.1 球罐焊接宜采用焊条电弧焊,也可采用熔化极气体保护焊。

7.1.2 焊机宜选用附有遥控装置和防电击装置的焊机,并应配置指示电压、电流的检测仪表。

7.1.3 焊机宜设置在靠近焊接施工场所,并应有防护设施和接地。

7.1.4 焊接前,应确认对口间隙、错边量,并在坡口表面和两侧至少 20 mm 范围内清除铁锈、水分、油污和灰尘及其他有害杂物。

7.1.5 球罐定位焊应由取得相应资格的焊工进行焊接,使用与正式焊接相同或经评定合格的焊接工艺,并符合下列要求:

- a) 施焊过程的管理应与正式焊接相同;
- b) 定位焊宜在清根一侧进行,且应先纵缝,后环缝;
- c) 定位焊焊道长度不应小于 50 mm,焊层高度宜为 5 mm~8 mm,间距宜为 300 mm~400 mm,且交叉部位应采用封底焊。

7.1.6 正式焊接时,应清理、检查定位焊焊道,不得把缺陷残留在主体焊缝的熔敷金属内。

7.1.7 焊接工卡具、附属结构的垫板及临时设施等直接与球壳板相接的角焊缝时,不得在母材上引弧。支柱、连接垫板等与球壳板的角接焊缝应平滑过渡到球壳板上。

7.1.8 当施焊环境出现下列任一情况,且无防护措施时,不得施焊,施焊环境的风速、温度和相对湿度宜在距球罐表面 500 mm~1 000 mm 处测量:

- a) 雨、雪天;
- b) 焊条电弧焊时风速超过 8 m/s,气体保护焊时风速超过 2 m/s;
- c) 温度在 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及以下;
- d) 相对湿度在 90% 及以上。

7.1.9 产品试板应由焊接该球罐的焊工在球罐焊接过程中焊接,并在与球罐焊接相同环境条件下和采用相同的焊接工艺进行焊接。产品试板不得在球罐全部焊完以后进行补做。

7.1.10 球罐内部焊缝的焊接应在通风、照明、脚手架等临时设施完成后进行。

7.2 焊接材料

7.2.1 焊接材料应具有质量证明文件,并应符合 GB/T 5117、GB/T 5118、JB/T 4747 和 GB/T 8110、GB/T 10045、GB/T 14957 等有关规定。

7.2.2 焊接受压元件及与受压元件相连的焊缝采用焊条电弧焊时，应选用低氢型焊条，焊条应按 GB/T 3965 规定方法逐批号进行熔敷金属扩散氢含量复验和药皮含水量测定，并应符合表 9 规定。

表 9 碱性低氢型焊条熔敷金属扩散氢含量和药皮含水量规定

焊接材料	熔敷金属扩散氢含量 (甘油法) ml/100g	熔敷金属扩散氢含量 (气相色谱法或水银法) ml/100g	药皮含水量 (正常状态) %
E4315, E4316	≤4	—	≤0.35
E5015, E5016	≤4	≤10	≤0.35
E5015—X, E5016—X	≤4	—	≤0.25
E5515—X, E5516—X	≤3	≤10	≤0.20
E6015—X, E6016—X	≤2	≤7	≤0.15
E7015—X, E7016—X	≤2	≤4	≤0.15
E8016—C1, J607RH	≤2	≤4	≤0.15

7.2.3 焊接受压元件及与受压元件相连的焊缝采用熔化极气体保护焊时，焊丝应进行除锈和除去油污。

气体保护焊用二氧化碳气体纯度不应低于 99.9%，含水量不得高于 0.005%。气体保护焊用氩气应符合 GB/T 4842 的规定。

7.2.4 焊接材料应设专人负责烘干、保管、发放和回收，焊工每次领用的焊接材料规格、型号/牌号、数量、使用部位及回收数量均应予以记录。

7.2.5 焊条应按产品说明书或表 10 的规定进行烘干和存放。

表 10 焊接材料烘干条件及存放温度

种 类	烘干温度 ℃	恒温时间 h	存放温度 ℃
低氢型焊条	350~400	1	100~150

7.2.6 领出的焊条应在保温筒内携带，且宜在 4 h 内用完，超过 4 h 未用的焊条应按烘干条件重新烘干，重复烘干的次数不应超过两次。

7.2.7 焊接材料库房应有温度和湿度调节设施，库房内温度不得低于 5℃，相对湿度不得大于 60%，并定期进行检查和记录。焊接材料堆放时，离地、离墙距离不宜小于 300 mm。

7.3 焊接施工工艺

7.3.1 焊接程序应符合下列原则：

- a) 先焊纵缝，后焊环缝；
- b) 先焊短缝，后焊长缝；
- c) 先焊坡口深度大的一侧，后焊坡口深度小的一侧。

7.3.2 焊接纵、环对接焊缝交叉部位时，应先将纵缝焊到环缝坡口内，然后将环缝坡口内的终端焊道打磨去除（见图 27）。焊接环缝时，不得在交叉部位引弧或熄弧。

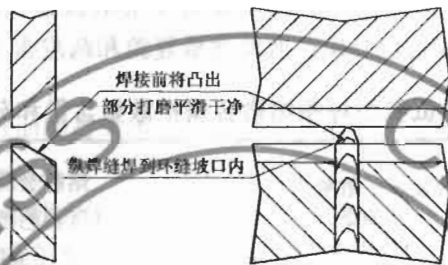


图 27 交叉部位的焊缝处理示意

- 7.3.3 预热时，应将焊接部位均匀加热，使其达到焊接工艺文件规定的温度。预热宽度为焊接接头中心线两侧各取三倍板厚，且不少于 100 mm。预热温度应距焊缝中心线 50 mm 处对称测量，采用人工检测时，每段焊缝测点不少于 3 对，记录平均数；采用仪表记录时，还应辅以人工测量校核。
- 7.3.4 球壳板对接焊缝焊前预热和焊后后热宜采用电加热器加热；也可采用液化石油气、天然气等火焰加热。采用火焰加热时，宜使用弧形多嘴火焰加热器。加热器宜设置在球罐焊接侧背面。
- 7.3.5 采用电加热器加热时，宜用永久磁铁在球壳板上固定电加热板；采用火焰加热器时，宜利用组装工卡具固定加热器。
- 7.3.6 支柱与球壳板的相贯线、人孔、接管及工卡具等部位的局部加热可用单嘴火焰加热器。
- 7.3.7 预热温度和层间温度宜用表面测温仪测定，也可用测温笔测定，并予以记录。用表面测温仪测温时，应采取避免环境条件影响测量精确度的措施。
- 7.3.8 预热温度应经焊接工艺评定验证确定，也可按表 11 选用，并符合下列规定：
- a) 环缝、接管角缝等部位或环境温度低于 5℃ 时，预热温度宜取规定值的上限；
 - b) 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；
 - c) 当焊件温度低于 0℃ 时，应在始焊处 100 mm 范围内预热至 15℃ 以上；
 - d) 板厚大于 50 mm 时，预热温度按设计文件要求执行。

表 11 常用钢板的预热温度

钢板板厚 mm	钢板牌号			
	Q245R	Q345R 16MnDR	Q370R	07MnCrMoVR 07MnNiMoVDR
预热温度 ℃				
20	—	—	75~125	75~100
25	—	—	100~150	
32	—	75~125	125~175	
38	75~125	100~150	150~200	
50	100~150	125~175	150~200	

注：表中“—”表示不需预热。

- 7.3.9 焊条电弧焊焊接的第一层焊道应采取分段退焊法。多层多道焊时，每层焊道引弧点宜依次错开 25 mm~50 mm，焊道始端宜采用后退起弧法，焊道终端应将弧坑填满。
- 7.3.10 采用焊条电弧焊时，焊工应对称均布、同步焊接，在同等时间内超前和滞后的长度不宜大于 500 mm。
- 7.3.11 采用熔化极气体保护自动焊或半自动焊时，焊接纵缝焊机应对称布置、同步焊接；焊接环

缝焊机除对称布置外，还应沿同一旋转方向焊接。

7.3.12 焊接完毕的焊缝应将焊工代号标识在焊缝规定的位置，并记录在焊缝布置图或排板图上。

7.3.13 焊接线能量应由焊接工艺评定确定，焊接线能量的测定可按公式(5)计算，并符合下列要求：

- 低温钢焊接时，在焊接工艺文件规定的范围内，宜选用较小的线能量并采用多层多道焊接；
- 采用焊条电弧焊时，可测定每根焊条的焊接长度，并按长度范围进行线能量的控制；
- 采用熔化极气体保护自动焊时，可采用焊接速度进行线能量控制。

$$Q = \frac{60IU}{V} \quad \dots\dots\dots (5)$$

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。

7.3.14 每条焊缝每侧宜一次连续焊完，也可分段或分层焊接。分段焊接时，每侧每段应连续焊完；分层焊接时，每侧应连续焊满坡口深度的2/3以上。中断焊接时，应采取防止产生裂纹的措施，重新开始焊接前应检查并确认无裂纹后施焊。

7.3.15 焊缝清根宜使用砂轮磨削方法，也可采用碳弧气刨。刨槽的形状应为U形，并圆滑过渡，深度以完全清除根部缺陷为宜。采用碳弧气刨时，应用砂轮磨削将氧化层与渗碳层清除。

标准抗拉强度下限值大于或等于540MPa钢根部焊道清根后，应按JB/T 4730.4或JB/T 4730.5进行表面无损检测，无线性缺陷为合格，合格后方可继续施焊。

7.3.16 焊缝的后热消氢处理应按焊接工艺文件规定的后热温度和后热时间在焊后立即进行，其加热范围、温度测量等要求应符合本规程7.3.3条的要求。

7.3.17 采用陶瓷型非熔化焊接软垫进行单面焊双面成型焊接工艺时，按下列规定进行：

- 坡口组对间隙以2mm~4mm为宜，贴垫前应坡口两侧各50mm范围内用钢丝轮刷除锈，露出金属光泽；
- 软垫使用前，应在35℃~40℃条件下烘干0.5h；
- 软垫应靠紧内坡口粘贴，将铝箔通过粘接层与内坡口两侧贴紧；
- 施焊时宜采用连续焊，坡口边缘两侧应熔合；
- 第二层焊道完成后，可拿掉软垫，并将工件表面残留的粘结层清除。

7.4 焊缝检查

7.4.1 球罐焊接完成后，应将熔渣皮、飞溅物等清理干净，进行焊缝外观检查，并符合下列规定：

- 焊缝及热影响区表面不得有裂纹、气孔、夹渣、凹陷、咬边、熔合性飞溅等缺陷；
- 角焊缝的焊脚尺寸设计文件无规定时，应取焊件中薄者的厚度，焊缝表面应向母材圆滑过渡；
- 对接焊缝的宽度宜比坡口每边宽1mm~2mm；
- 对接焊缝余高应符合表12的要求。

表 12 对接焊缝余高

单位：mm

焊缝深度 δ	焊缝余高	
	焊条电弧焊	气体保护焊
$\delta \leq 12$	0~1.5	0~3
$12 < \delta \leq 25$	0~2.5	0~3
$25 < \delta \leq 50$	0~3	0~3

表 12（续） 对接焊缝余高

单位：mm

焊缝深度 δ	焊缝余高	
	焊条电弧焊	气体保护焊
$\delta > 50$	0~3	0~3
注：单面焊缝深度为母材厚度，双面焊缝深度为坡口钝边中点至母材表面的距离，两侧分别计算。		

- 7.4.2 球壳板对接焊缝和球壳板与支柱、接管及附属结构的垫板的角接焊缝表面，均应打磨去除焊波露出金属光泽，并与母材圆滑过渡。
- 7.4.3 工卡具去除后的表面，不得有裂纹、气孔、咬边、夹渣、凹坑等缺陷。
- 7.4.4 焊缝的射线检测应按 JB/T 4730.2 进行，射线检测的技术等级不应低于 AB 级。焊缝的超声检测应按 JB/T 4730.3 进行，超声检测的技术等级不应低于 B 级。
- 7.4.5 球罐的对接焊缝应按设计文件规定的无损检测方法进行 100%检测。
- 7.4.6 标准抗拉强度下限值大于或等于 540 MPa 钢制造的球罐应在焊接结束 36 h 后；其他钢材制造的球罐应在焊接结束 24h 后，方可进行焊缝的无损检测。
- 7.4.7 对接焊缝射线检测的合格标准应符合 JB/T 4730.2 II 级的规定；超声检测合格标准应符合 JB/T 4730.3 I 级的规定。
- 7.4.8 射线检测或超声检测合格的焊缝，当符合下列条件之一时，应对每条焊缝采用超声或射线进行复检：
- a) 名义厚度大于 20mm，且标准抗拉强度下限值大于或等于 540 MPa；
 - b) 名义厚度大于 38mm；
 - c) 设计文件规定。
- 7.4.9 复检比例不应少于检测焊缝长度的 20%，并应包括每一相交焊缝的交叉部位，两种检测方法的结果均应符合各自的合格标准。
- 7.4.10 经射线或超声检测的焊缝有不合格缺陷时，应进行缺陷清除。在焊接修补后，对焊接修补部位按原检测方法重新检测，直至合格。
- 7.4.11 射线检测应在球罐焊缝排板图上绘制布片示意图，并标注射线底片编号，且符合下列要求：
- a) 射线底片号应与球罐位号、焊缝编号和焊工代号相对应；
 - b) 射线底片有效长度的总和不得少于焊缝总长；
 - c) 射线底片的有效评片区域之间应互相衔接，不得有漏检部位。
- 7.4.12 射线检测的底片应有清晰的识别标记和定位标记，底片的识别标记宜由球罐位号、焊缝编号、底片编号和焊工代号构成，底片编号应符合下列要求：
- a) 纵焊缝的底片编号宜从上至下按 1、2、3……编排；
 - b) 环焊缝的底片编号宜从 0° 向 90° 至 270° 方向按 1、2、3……编排；
 - c) 极带水平位置的焊接宜从方位度数小的一端开始按 1、2、3……编排。
- 7.4.13 球罐下列部位应在球罐耐压试验前或球罐焊后整体热处理前，进行 100%表面无损检测：
- a) 球壳板对接焊缝内、外表面；
 - b) 人孔及公称直径大于或等于 250 mm 接管的对接焊缝的内、外表面；
 - c) 接管与球壳板焊缝内、外表面；
 - d) 垫板、支柱及其他角接焊缝的外表面；
 - e) 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。
- 7.4.14 球罐耐压试验后，应进行表面无损检测复查，且应覆盖每名焊工施焊焊缝。当设计文件无规定时，复查比例应不小于焊缝总长的 20%，复查部位包括：
- a) 对接焊缝的交叉部位；

- b) 接管与球壳板焊缝内、外表面；
- c) 垫板、支柱及其他角接焊缝的外表面；
- d) 工卡具焊迹打磨或壳体缺陷焊接修补和打磨后的部位。

7.4.15 焊缝的表面无损检测应在射线检测和超声检测合格并完成本规程 7.4.2 条要求的施工内容后，按 JB/T 4730.4、JB/T 4730.5 规定进行，I 级合格。

7.4.16 表面无损检测发现的缺陷应进行修磨或焊接修补，并对该部位按原检测方法重新检测，直至合格。

7.5 修补

7.5.1 一般规定

7.5.1.1 球罐施工中所产生的各种不允许缺陷均应进行消除。

7.5.1.2 当表面缺陷修补深度超过 3mm（从球壳板表面算起）时，应进行超声检测或射线检测。

7.5.1.3 焊后整体热处理的球罐，球壳板表面缺陷焊接修补和焊缝内部缺陷返修应在热处理前进行。

7.5.2 球壳板表面缺陷修补

7.5.2.1 球壳板表面缺陷及工卡具焊迹应采用砂轮磨削清除，磨削深度不应大于球壳板名义厚度的 5%，且不应超过 2mm。

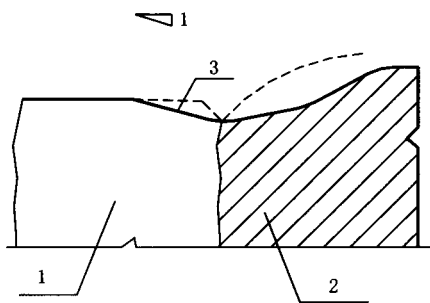
7.5.2.2 球壳板表面缺陷进行焊接修补时，每处修补面积不得超过 5 000 mm²；当有两处或两处以上修补时，任何两处的边缘距离应大于 50 mm，且每张球壳板表面修补面积总和不应大于该球壳板面积的 5%。

7.5.2.3 当划伤及加工过程产生的表面伤痕等缺陷的深度超过 2mm 且形状比较平缓时，可直接进行焊接修补；当缺陷形状不利于直接补焊时，应采用砂轮将缺陷清除后再进行焊接修补。

7.5.2.4 球壳板表面缺陷焊接修补后，焊缝表面应打磨平滑或加工成具有 1:3 及以下坡度的平滑凸面，且高度应小于 1.5mm。

7.5.3 焊缝表面缺陷修补

7.5.3.1 焊缝两侧的咬边和焊趾裂纹应用砂轮磨削清除，磨削清除的深度不得大于 0.5mm，并打磨光滑或加工成具有 1:3 及以下坡度的斜坡（见图 28）。



1—母材；2—焊缝金属；3—修整后的表面

图 28 焊缝咬边部分打磨成形示意

7.5.3.2 咬边和焊趾裂纹等缺陷磨削清除的深度不符合本规程 7.5.3.1 条的规定时，应进行焊接修补。

7.5.4 焊缝内部缺陷返修

7.5.4.1 焊缝内部缺陷返修应有经焊接责任工程师批准的返修工艺。返修工艺宜包括：

- a) 分析缺陷产生的原因；
- b) 确定焊接工艺及焊接工艺参数；
- c) 选用焊材的牌号及规格；

- d) 提出对焊工的要求;
- e) 预防再次产生缺陷的技术措施。

7.5.4.2 焊缝返修前应用砂轮将缺陷磨削清除,并将返修处磨削成与焊缝平滑过渡的 U 形槽,其长度不得小于 50mm。

7.5.4.3 返修处补焊时,应按返修工艺进行焊接,焊接线能量应在规定的范围内,且应取上限值。

7.5.4.4 焊接修补时,预热应以修补处为中心,并在半径为 150mm 的范围内预热,预热温度应取上限值。

7.5.4.5 球壳板标准抗拉强度下限值大于或等于 540 MPa 时,在修补焊道上应加焊一道凸起的回火焊道(见图 29),然后磨去回火焊道多余的熔敷金属,并使其与主体焊缝平滑过渡。

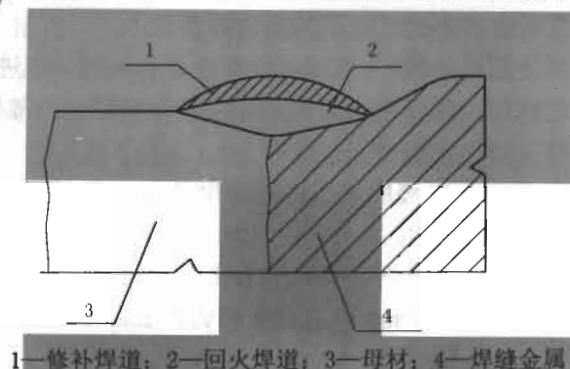


图 29 焊缝修补的回火焊道示意

7.5.4.6 返修应有记录,其内容包括:

- a) 返修部位和刨槽尺寸;
- b) 焊接工艺参数(焊接电流、电弧电压、焊接速度、预热温度、层间温度、后热温度和时间);
- c) 焊材牌号及规格;
- d) 返修次数;
- e) 施焊焊工。

7.5.4.7 同一部位的返修次数不宜超过 3 次。超次返修工艺应经施工单位项目技术总负责人批准。

7.5.4.8 返修部位应按原无损检测方法进行无损检测,并按原合格等级评定合格。

7.5.4.9 焊后进行热处理的球罐,热处理后出现焊接返修时,返修部位应重新做热处理。

7.5.4.10 耐压试验后进行返修的部位,且其返修深度大于 1/2 壁厚时,应重新进行耐压试验。耐压试验过程焊接接头泄漏,应按本规程 10.1.4 条规定泄压后进行返修,返修部位经无损检测合格后重新进行耐压试验。

8 焊后整体热处理

8.1 一般规定

8.1.1 焊后进行整体热处理的球罐,在热处理前应完成全部焊接及返修工作,且焊缝经外观检查 and 无损检测合格。

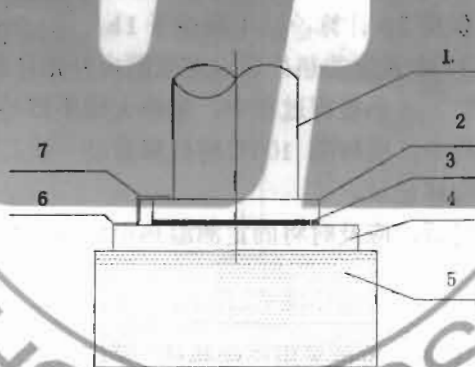
8.1.2 球罐焊后整体热处理应在耐压试验前进行,并参见附录 D 进行热工计算。

8.1.3 承担 CF 系列钢制球罐焊后整体热处理的单位,应符合《关于加强 CF 系列钢板用于压力容器制造管理的意见》的规定。

8.1.4 球罐整体热处理施工技术文件应包括下列内容:

- a) 热处理方法及设备;
- b) 热工计算及工艺曲线;

- c) 施工平面布置图;
 - d) 加热测温系统及保温结构设计图与技术要求;
 - e) 测温点布置图;
 - f) 产品焊接试板安置位置及示意图;
 - g) 柱脚移动装置及支柱移动量表;
 - h) 热处理操作程序及记录格式;
 - i) 安全技术措施;
 - j) 质量保证措施;
 - k) 施工机具、材料用量表。
- 8.1.5 球罐整体热处理前应做好下列准备工作:
- a) 松开支柱地脚螺栓、支柱间拉杆,并检查确认支柱与地脚螺栓的位移间隙或支柱与滑板之间的润滑;
 - b) 将产品焊接试板布置在球罐热处理过程中高温区外侧,并与球壳板贴紧使之接触良好;
 - c) 安装加热装置和测温系统;
 - d) 封闭与热处理无关的接管;
 - e) 脱开与球罐连接的附属结构的所有连接件(如平台、梯子),使其间距不少于柱脚单向移动量;
 - f) 热处理所需的保温层施工完毕,测温系统调试合格;
 - g) 装设柱脚移动装置,柱脚试移结束;
 - h) 根据环境及气象条件设置防风、防雨、雪设施;
 - i) 明确作业界区并设置警示标识;
 - j) 配备备用电源;
 - k) 落实消防器材和防火措施。
- 8.1.6 在热处理前、后宜对焊接接头进行硬度测定,测定部位应在排板图上标明,设计文件无规定时可在下述部位进行测定:
- a) 上、下极带纵缝各选一处,每处3点;
 - b) 上、下温带(有寒带包括寒带)、赤道带按 120° 分布,在纵缝上分别任选三处,每处3点。
- 8.1.7 柱脚移动时,基础板应稳固,并符合下列要求:
- a) 柱脚位移指示器安装正确(见图30);
 - b) 推动柱脚移动的千斤顶的受力支承结构稳固。



1—支柱; 2—支柱底板; 3—润滑脂; 4—滑板; 5—基础; 6—刻度尺; 7—指针

图30 支柱移动指示器示意

8.1.8 热处理用的保温材料宜采用 $2.5\text{m} \times 1.0\text{m}$ 岩棉被或超细玻璃棉被。厚度大于或等于 100mm 时, 宜分多层错缝铺设, 底层应选用中性超细玻璃棉被。

8.1.9 保温钉不得直接与球壳板焊接, 宜采用扁钢与保温钉组成的带状钢带, 保温钉在钢带上布置的间距宜为 $0.5\text{m} \sim 0.8\text{m}$ 。钢带不得直接与球壳板焊接, 钢带在赤道线处最大间距以 $0.5\text{m} \sim 1.0\text{m}$ 为宜。

8.1.10 保温用岩棉被或超细玻璃棉被每层、块之间应搭接固定, 热处理过程中保温层不得松动脱落, 并符合下列要求:

- a) 与球壳板表面局部间隙不宜大于 20mm ;
- b) 保温时间内, 保温层外表面温度不宜大于 60°C 。

8.1.11 接管、烟囱、进风套筒均应保温。球罐支柱上部从支柱与球壳板连接焊缝的下端算起 1m 长度的范围内应进行保温。

8.1.12 当设计文件无要求时, 常用钢材热处理温度可按表 13 的规定选用。

表 13 常用钢材热处理温度

钢 号	热处理温度 $^\circ\text{C}$
Q245R	620 ± 20
Q345R, 16MnDR	620 ± 20
Q370R	565 ± 20
07MnCrMoVR, 07MnNiMoVDR	565 ± 15

8.1.13 热处理过程的升温速度在 300°C 以下时可不控制, 300°C 及以上应控制在 $50^\circ\text{C}/\text{h} \sim 80^\circ\text{C}/\text{h}$ 范围内。

8.1.14 热处理达到恒温温度后, 在保温期间任意两点的温差不得大于设计文件规定的温差; 保温时间达到要求后, 应缓慢降温, 降温速度应控制在 $30^\circ\text{C}/\text{h} \sim 50^\circ\text{C}/\text{h}$ 范围内, 300°C 以下可在空气中自然冷却。

8.1.15 在升温 and 降温过程中, 当温度在 300°C 以上时, 应采取降低升、降温速度或调整保温层厚度等方法保持球壳表面任意两测温点的温度差不得大于 120°C 。

8.1.16 热处理恒温阶段最短保温时间应按最厚球壳板对接焊缝厚度计算, 并符合下列要求:

- a) 按焊缝厚度的每 25mm 保持 1h 计算, 且不应少于 1h ;
- b) 在所有测温点均达到表 13 中规定的热处理温度范围内开始计算。

8.1.17 当热处理采用火焰加热时, 在热处理过程中, 加热火焰不得与球壳板直接接触。

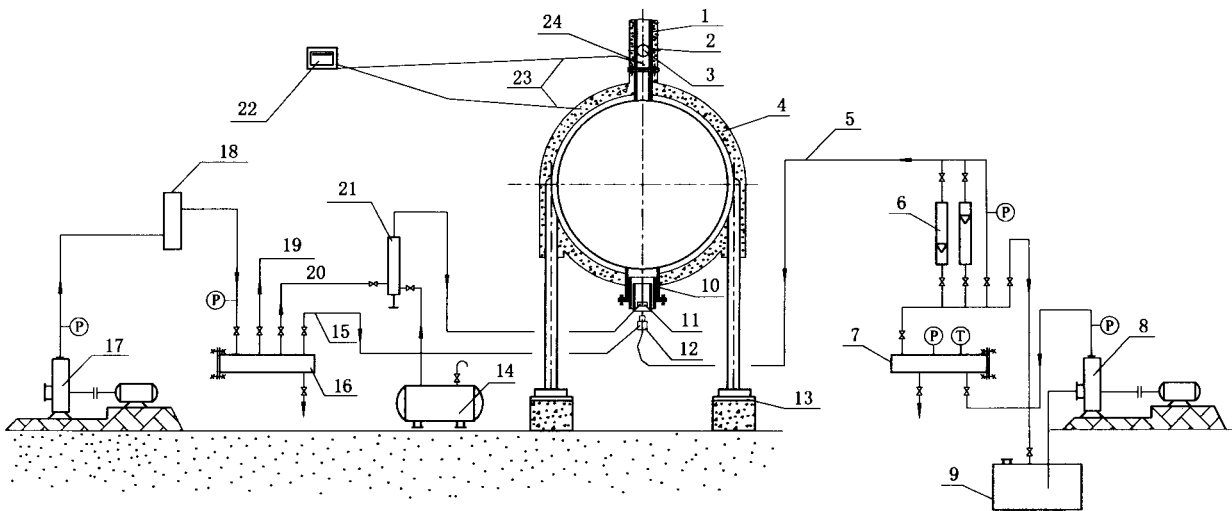
8.1.18 热处理的升温 and 降温过程中, 应每隔 100°C 将柱脚移动一次, 移动量应符合计算位移值, 移动时, 应平稳缓慢, 并有时间和位移记录。

8.1.19 热处理完毕并拆除保温层后, 应及时将固定测温热电偶和产品试板等临时卡具的定位焊缝用砂轮磨去, 并将焊迹打磨平滑。

8.2 热处理方法

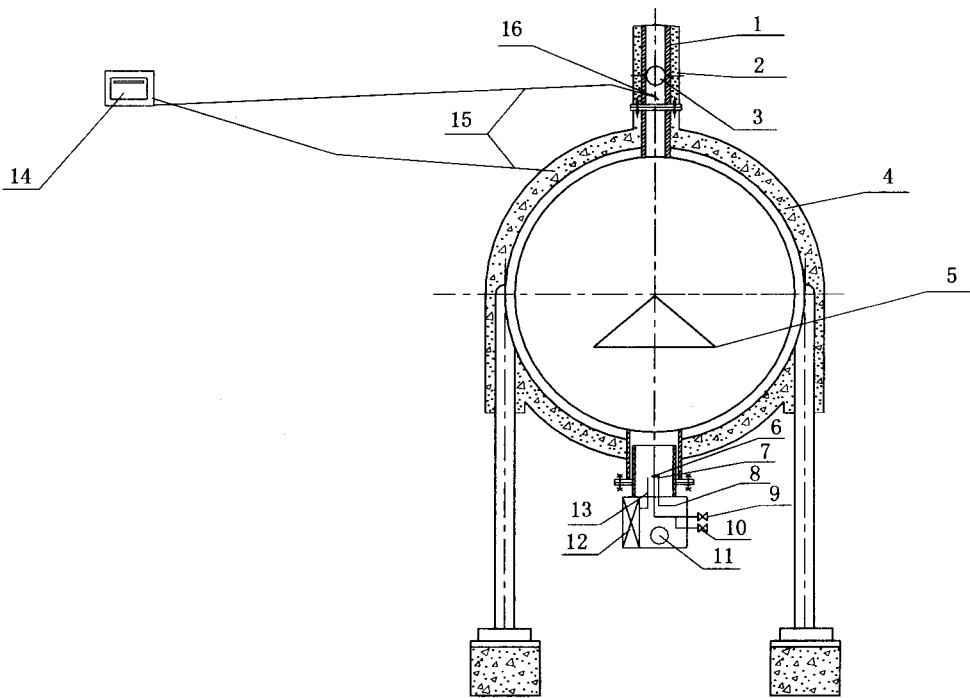
8.2.1 球罐整体热处理宜采用内燃法, 也可采用电加热法。采用内燃法热处理燃料油的用量可按附录 D 进行热工计算确定。

8.2.2 球罐内燃法热处理的装置主要由雾化器、燃料、空气供给系统等组成。燃油法整体热处理的装置见图 31、图 32; 燃气法整体热处理的装置见图 33。 2000m^3 以下的球罐宜采用负压内燃法和仪表自动控制系统; 2000m^3 及以上的球罐宜采用正压内燃法和仪表自动控制系统。



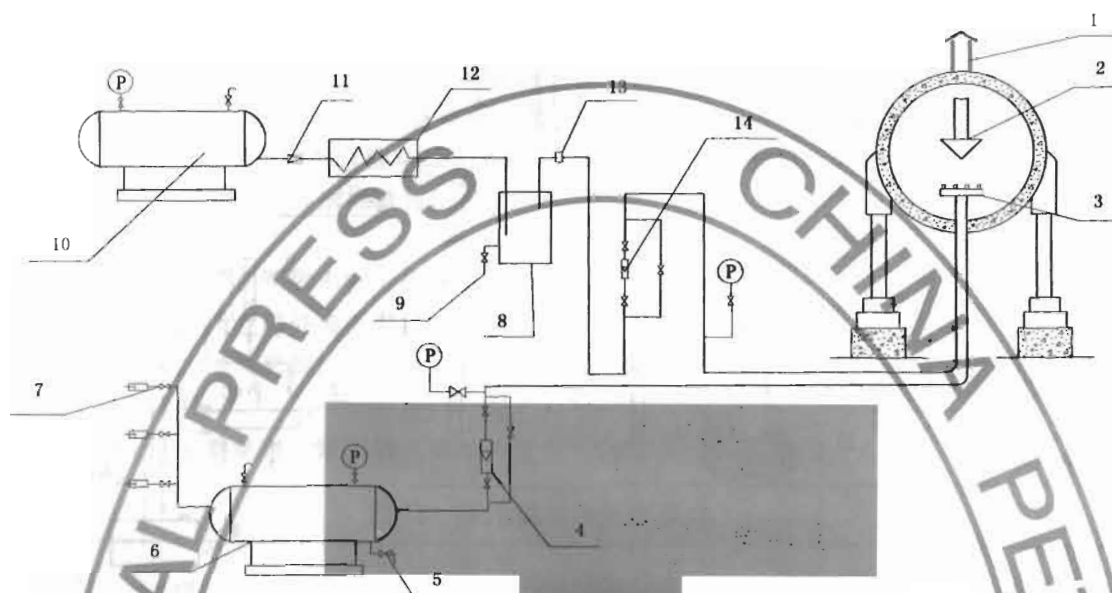
1—烟囱；2—绝热层；3—简易蝶阀；4—绝热层；5—去雾化器；6—转子流量计；7—油缓冲器；8—油泵；9—油箱；10—进风套筒；11—电点火器；12—雾化器；13—底板下钢板；14—液化气罐；15—去雾化器；16—空气分配器；17—风机；18—缓冲器；19—放空；20—去混合器；21—混合器；22—温度自动记录仪；23—铜-康铜补偿导线；24—插入式热电偶；P—压力表；T—温度表

图 31 燃油法负压整体热处理系统示意



1—烟囱；2—绝热层；3—简易蝶阀；4—绝热层；5—伞架；6—喷嘴；7—点火器；8—点火电；9—进油阀；10—回油阀；11—电机；12—风机；13—风管；14—温度自动记录仪；15—铜-康铜补偿导线；16—插入式热电偶

图 32 燃油法正压整体热处理系统示意



1—烟囱；2—伞架；3—烧嘴；4—流量计；5—排液阀；6—缓冲罐；7—空气压缩机；8—分离器；9—排液阀；10—液化石油气；11—减压阀；12—加热器；13—视镜；14—流量计；P—压力表

图 33 燃气法整体热处理系统示意

8.2.3 雾化器的能力及调节性能应满足工艺要求。空气压缩机（鼓风机）、油泵的规格应与雾化器相配套，设备数量应包括备用设备。

8.2.4 燃料供给系统应有流量调节和监测设备。

8.2.5 内燃法加热装置应在投用前进行试压、吹扫和试烧，试烧时间宜为 10min。

8.2.6 燃油法调节火焰时，应防止反喷，风、油增减应按比例逐步调节，并应按下列规定进行：

- 点火时，先给风后给油；
- 升温时，先加风后加油；
- 调小火焰时，先减油后减风。

8.2.7 采用内燃法热处理时，宜采用电火花塞点火，点火后燃料气应稳定燃烧，其管路压力（表压）不应小于 0.05MPa。

8.2.8 升温 and 保温阶段，烟囱的蝶阀应处于全开位置。

8.2.9 电加热法的加热装置由变压器、电源控制箱和远红外电热板及温度自动控制系统等组成。电热板的功率和数量应满足工艺要求，其最高使用温度应高于热处理温度 200℃ 以上。电热板的导线和金属支架应采取绝缘措施。

8.2.10 电加热板的电源控制系统应便于操作，且应有自动和手动两种控制方式。

8.3 温度测量

8.3.1 热处理过程中的温度测量应采用温度自动控制系统，热电偶及记录仪表应符合本规程 4.3.4 条的规定，且其精度应达到 1% 的要求。

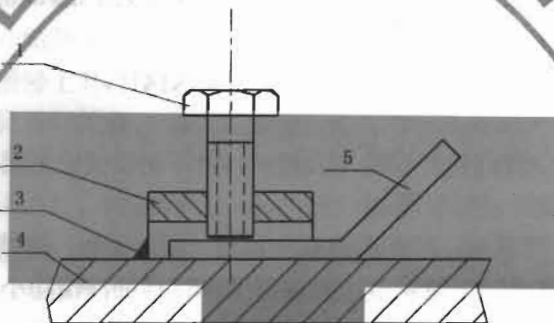
8.3.2 测温点应沿球体外表面均匀布置，相邻测温点的间距宜不大于 4.5m，测点的布置见附录 E，并应符合下列规定：

- 球罐本体测温点总数不应少于表 14 的规定，且在距离上、下人孔焊缝 200mm 范围内应各设测温点 1 个；
- 产品焊接试板上应设测温点 1 个；
- 烟气出口应设测温点 1 个。

表 14 球罐本体测温点数

容 积, m ³	50	120	200	400	650	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	4 000	5 000	6 000	8 000
测温点数, 个	8	10	10	14	22	25	36	47	48	51	64	75	82	100

8.3.3 热电偶宜用储能焊或螺栓固定在球壳板上, 螺栓固定结构如图 34 所示。



1—螺钉; 2—开槽螺母; 3—定位焊; 4—球壳板; 5—热电偶

图 34 热电偶固定螺母示意

8.3.4 热电偶接线座与补偿导线连接部位应用绝缘胶布包裹, 补偿导线不得埋设在保温层内。补偿导线应在保温层外并距保温层 500mm 处预以固定。热电偶、补偿导线和记录仪表应匹配。

8.3.5 热处理过程应设专人定岗操作和监视测温系统, 并每隔 0.5h 记录一次各测温点的温度。温度偏离工艺曲线或局部温差有增大的趋势时, 应立即采取措施。

8.3.6 热处理过程的记录曲线和数据图表应清晰整洁, 发生涂改时, 涂改处应由责任人签字确认。最终提交验收的温度记录图表应注明设备位号与热处理日期, 并应经热处理责任人签字认可。

8.3.7 球罐热处理时, 温度达到 300℃ 及以上中断作业时, 应控制热处理降温速度并满足本规程 8.1.14 条要求, 同时进行支柱移动并满足本规程 8.1.18 条要求。

8.4 热处理后的质量检验

8.4.1 球罐整体热处理后应进行下列项目检验, 验证热处理结果:

- 热处理记录曲线;
- 热处理过程中各测点的温差;
- 产品焊接试板的试验结果。

8.4.2 标准抗拉强度下限值大于或等于 540 MPa 钢和低温钢球罐热处理后, 应对球壳板所有对接焊缝和与球壳板连接的角焊缝进行 100% 表面无损检测, 以无线性缺陷为合格。

9 产品焊接试板

9.1 产品焊接试板的制备

9.1.1 每台球罐应做横焊、立焊和平焊加仰焊位置的产品焊接试板各一块。

9.1.2 试板的钢号、炉号、厚度、尺寸及取样方向应符合本规程 5.2.9 条的规定。

9.1.3 制备产品焊接试板时, 应按本规程 7.1.9 条的规定进行焊接。

9.1.4 产品焊接试板焊缝应经外观检查和 100% 射线检测或超声检测, 取样时应避开焊接缺陷。

9.1.5 焊后热处理的球罐, 其产品焊接试板应与球罐一起进行热处理, 并应符合本规程 8.1.5 条 b) 项、8.3.2 条 b) 项的规定。

9.2 试样的制备和试验

9.2.1 试样的尺寸、试样的分割与加工、试验与评定应符合 JB 4744 的规定。

9.2.2 出现下列情况之一时，其产品焊接试板的试样除应符合本规程 9.2.1 条的规定外，还应按球罐的设计温度或设计文件规定的试验温度进行夏比（V 型缺口）低温冲击试验：

- a) 设计温度低于 0℃ 时，厚度大于 25 mm 的 20R、厚度大于 38 mm 的 16MnR 和 15MnVR 钢板制造的球壳板；
- b) 设计温度低于 -10℃ 时，厚度大于 12 mm 的 20R、厚度大于 20 mm 的 16MnR 和 15MnVR 钢板制造的球壳板；
- c) 其他材料制作的球罐，低温冲击试验按设计文件要求执行。

9.3 复验

9.3.1 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。

9.3.2 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% 的只应有 1 个。

9.3.3 复验结果仍不合格，该球罐的产品焊接试板应判为不合格。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，然后按本规程的要求进行复验。

10 耐压试验和气密性试验

10.1 一般规定

10.1.1 球罐在耐压试验前应具备下列条件：

- a) 球罐焊接和检验工作全部完成并合格；
- b) 进行焊后整体热处理的球罐，热处理工作已完成并合格；
- c) 地脚螺栓紧固，支柱找正和拉杆调整合格；
- d) 产品焊接试板经检验合格；
- e) 基础二次灌浆达到强度要求；
- f) 所有补强圈气密性试验完成并合格。

10.1.2 除设计文件另有规定外，不得采用气体代替液体进行耐压试验。

10.1.3 进行耐压试验时，应在球罐顶部便于观察的位置设置两块、底部设置一块量程相同并符合本规程 4.3.4 条规定的压力表，其精度等级不应低于 1.5 级。压力表量程以试验压力的 2 倍为宜，且不应小于 1.5 倍和不应大于 3 倍的试验压力。压力表的直径不宜小于 150 mm。

10.1.4 耐压试验或气密试验时，不得碰撞和敲击球罐，试漏过程中如有渗漏，应卸压处理，处理后重新试验。

10.1.5 耐压试验区域应做出明显的警示标志。

10.2 液压试验

10.2.1 液压试验的试验压力设计文件无规定时，应为球罐设计压力的 1.25 倍。试验压力应以球罐顶部的压力表读数为准。

10.2.2 液压试验前应完成下列准备工作：

- a) 敷设临时管线，安装试压泵和压力表；
- b) 内部脚手架除后续作业需要保留外，其余的应拆除，保留的脚手架应绑扎牢固；
- c) 封闭球罐人孔和接管开孔，在球罐顶部设置排气口；
- d) 准备测量基础沉降量的仪器和工具，设置沉降测量基准点（可在各支柱上焊接水平测定板或

设置基准点)。

10.2.3 液压试压介质应为工业用水,水温应符合下列规定:

- a) 碳素钢、Q345R 钢球罐试压用水不得低于 5℃;
- b) 除本条 a) 项规定外的钢制球罐试压用水不得低于 15℃;
- c) 设计文件规定的试验温度。

10.2.4 水压试验应按下列步骤和要求进行:

- a) 试验充水时,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,当壁温与液体温度接近时,方可开始升压;
- b) 升压时,压力应缓慢上升,当压力升至试验压力的 50%时,应保持 15 min,对球罐的所有焊接接头和连接部位进行检查,确认无渗漏后继续升压;
- c) 当压力升至试验压力的 90%时,应保持 15 min,再次进行检查,确认无渗漏后再继续升压;
- d) 当压力升至试验压力时,应保持 30 min,然后将压力降至试验压力 80%,并对所有焊接接头和连接部位进行检查,以无渗漏和无异常现象为合格;
- e) 试验确认合格后,可排水降压,降压应缓慢进行,待顶部压力表指示值降至零后,打开放空口及顶部人孔盖,按施工技术文件要求排放试验用水,并将水排尽。

10.2.5 试验压力不得超过规定试验压力 0.05 MPa,不得用连续加压来维持试验压力不变。

10.2.6 在水压试验过程中如发现变形、响声、泄漏等异常现象时,应立即停止升压并进行检查。如需进行修整,应按本规程 10.1.4 条规定进行。

10.2.7 水压试验合格后,应按照本规程 7.4.14 条的规定进行表面无损检测,如发现超标缺陷,应按本规程 7.5 条的要求进行修补,并对修补部位再进行无损检测,直至合格。

10.2.8 球罐在充水、排水过程中应对基础的沉降进行观测,每个支柱基础均应测定沉降量。沉降观测应在下列阶段进行并应记录:

- a) 充水前;
- b) 充水到球罐内直径的 1/3 时;
- c) 充水到球罐内直径的 2/3 时;
- d) 充满水时;
- e) 充满水后 24h;
- f) 排放水后。

10.2.9 支柱基础沉降应均匀。排水后,不均匀沉降量应不大于基础中心圆直径的 1/1000,相邻支柱基础沉降差应不大于 2 mm。

10.3 气压试验

10.3.1 气压试验安全措施应经试验单位技术总负责人批准,气压试验应设置安全阀和紧急放空阀,且不应少于两个。气压试验应按本规程 10.1.5 条的规定设置警示标志,试验单位安全部门应进行现场监督检查。

10.3.2 气压试验用气体应为干燥无油的压缩空气、氮气或其他惰性气体,试验温度应符合下列规定:

- a) 碳素钢和低合金钢不应低于 15℃;
- b) 其他材料按设计文件规定。

10.3.3 气压试验压力应符合设计文件规定,气压试验过程应符合下列规定:

- a) 试验时,压力应缓慢上升,压力升至试验压力的 10%,且不超过 0.05 MPa 时,保压 10 min,对球罐的所有焊接接头和连接部位进行初次检查,确认无泄漏后继续升压;
- b) 压力升至试验压力的 50%时,保压 10 min,进行再次检查,确认无异常后继续升压;
- c) 其后以 10%的试验压力为级差,逐级升压至试验压力,保压 30 min 后,再将压力降至试验压力的 87%进行保压,并进行检查,以无漏气和无异常为合格;

d) 确认合格后缓慢卸压, 降压速度不得超过 1.5 MPa/h。

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

10.3.5 气压试验用安全阀应符合本规程 5.3.5 条、6.5.6 条的规定。安装多个安全阀时, 其中一个安全阀的开启压力应为试验压力加 0.05 MPa, 其余安全阀的开启压力不得超过试验压力的 1.05 倍。

10.4 气密性试验

10.4.1 气密性试验压力应为球罐的设计压力。气密性试验应在液压试验合格后进行; 进行气压试验的球罐, 气密性试验可与气压试验同时进行。

10.4.2 气密性试验用气体和试验温度应符合本规程 10.3.2 条的规定。

10.4.3 气密性试验用压力表应符合本规程 10.1.3 条的规定。气密性试验用安全阀应符合本规程 5.3.5 条、6.5.6 条的规定。

10.4.4 气密性试验前应完成下列工作:

- a) 完成球罐内所有的安装工作, 并清除球罐内的杂物, 保持球罐内壁干净;
- b) 球罐安全附件装配齐全;
- c) 封闭所有人孔和管口, 封闭时, 法兰连接接口均使用正式螺栓和垫片。

10.4.5 气密性试验应按下列步骤进行:

- a) 压力升至试验压力的 50% 时, 应保持 10 min, 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;
- b) 压力升至试验压力时, 应保持 30 min, 对所有焊缝和连接部位进行检查, 以无泄漏为合格;
- c) 气密性试验合格后, 按本规程 10.3.3 条 d) 项规定缓慢卸压。

10.4.6 气密性试验过程应执行本规程 10.2.5 条、10.3.4 条的规定。

11 施工过程技术文件

11.1 球罐施工应按检验试验文件规定进行过程质量控制, 并按 SH/T 3543 的规定记录, 球罐施工质量检验项目见附录 F。

11.2 施工过程中应及时进行检验项目的检查确认, 并审查相关资料。施工单位自检合格后向建设/监理单位报检, 未经检验确认不得进行后序作业。

11.3 球罐按设计文件和合同规定全部完成后, 施工单位应会同监理和建设单位对下列资料进行确认:

- a) 开工报告及球形储罐现场组焊告知书;
- b) 锅炉压力容器产品安全性能监督检验证书;
- c) 产品合格证;
- d) 产品技术特性;
- e) 合格焊工登记表;
- f) 无损检测人员登记表;
- g) 产品主要受压元件使用材料一览表 (含焊接材料);
- h) 球壳板/支柱到货检验报告;
- i) 球形储罐预制件检查记录 赤道带/温带板;
- j) 球形储罐预制件检查记录 极板/极中板;
- k) 球形储罐预制件检查记录 支柱;
- l) 工序交接记录 (球罐基础交接);
- m) 球形储罐组装尺寸检查记录;
- n) 球形储罐支柱检查记录;
- o) 球形储罐焊后几何尺寸检查记录;
- p) 现场组焊设备焊接工作记录;
- q) 材料超声检测/超声测厚报告 (附检测位置图);

- r) 焊缝无损检测检测报告 (RT、UT、MT、PT, 附检测位置图);
- s) 表面无损检测报告 (MT、PT, 附检测位置图);
- t) 设备热处理报告 (附测温点布置图及自动记录曲线);
- u) 产品焊接试板力学和弯曲性能检验报告;
- v) 压力试验检验报告;
- w) 基础沉降观测记录;
- x) 产品制造变更报告;
- y) 排板图、焊缝及焊工布置图;
- z) 竣工图样。

11.4 球罐施工按本规程 11.3 条规定完成资料确认后, 施工单位应及时办理交工验收手续。

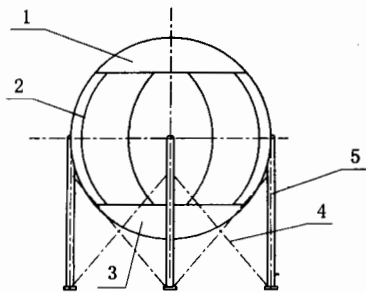
11.5 球罐工程交工技术文件应按合同规定和 SH/T 3503 的规定由责任单位编制审核, 并向建设单位移交。

附录 A
(规范性附录)
球罐型式及各部分名称

A.1 球罐型式

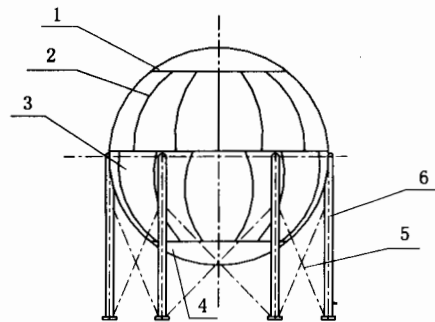
A.1.1 桔瓣式球罐见图 A.1 至图 A.5。

A.1.2 混合式球罐见图 A.6 至图 A.8。



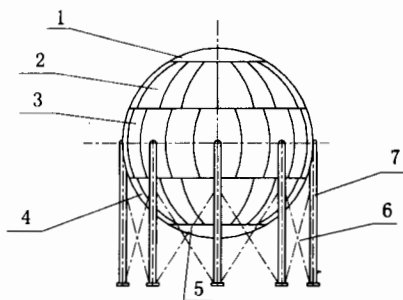
1—上极；2—赤道带；3—下极；4—拉杆；5—支柱

图 A.1 三带球罐



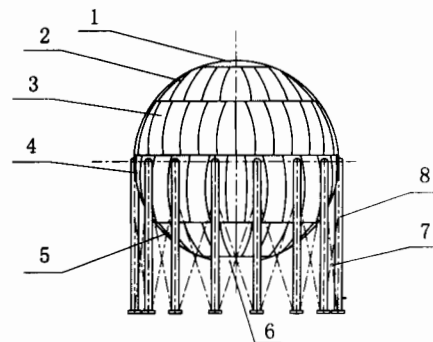
1—上极；2—上温带；3—赤道带；4—下极；5—拉杆；6—支柱

图 A.2 四带球罐



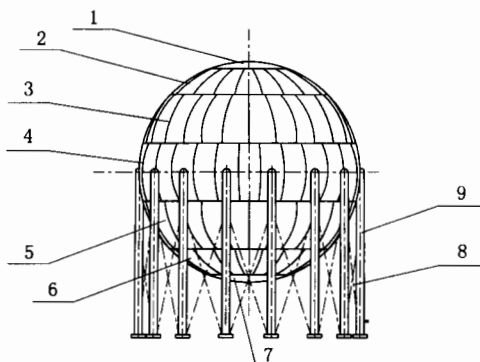
1—上极；2—上温带；3—赤道带；4—下温带；
5—下极；6—拉杆；7—支柱

图 A.3 五带球罐



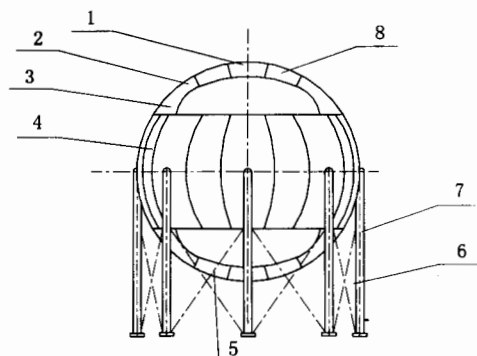
1—上极；2—上寒带；3—上温带；4—赤道带；
5—下温带；6—下极；7—拉杆；8—支柱

图 A.4 六带球罐



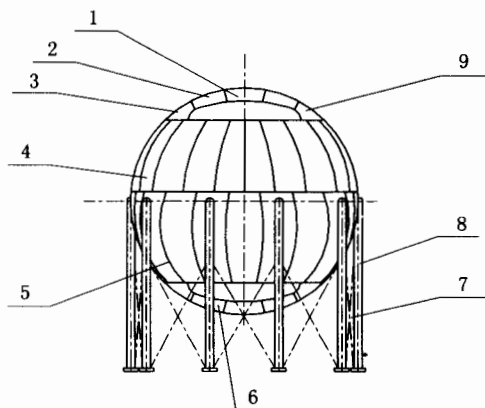
1—上极；2—上寒带；3—上温带；4—赤道带；
5—下温带；6—下寒带；7—下极；8—拉杆；9—支柱

图 A.5 七带球罐



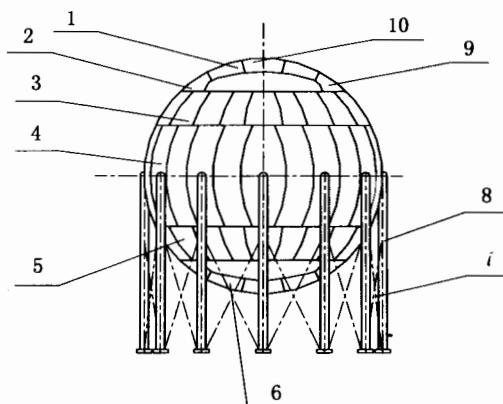
1—极中板；2—极侧板；3—极边板；4—赤道带；
5—下极；6—拉杆；7—支柱；8—上极

图 A.6 三带球罐



1—极中板；2—极侧板；3—极边板；4—上温带；
5—赤道带；6—下极；7—拉杆；8—支柱；9—上极

图 A.7 四带球罐

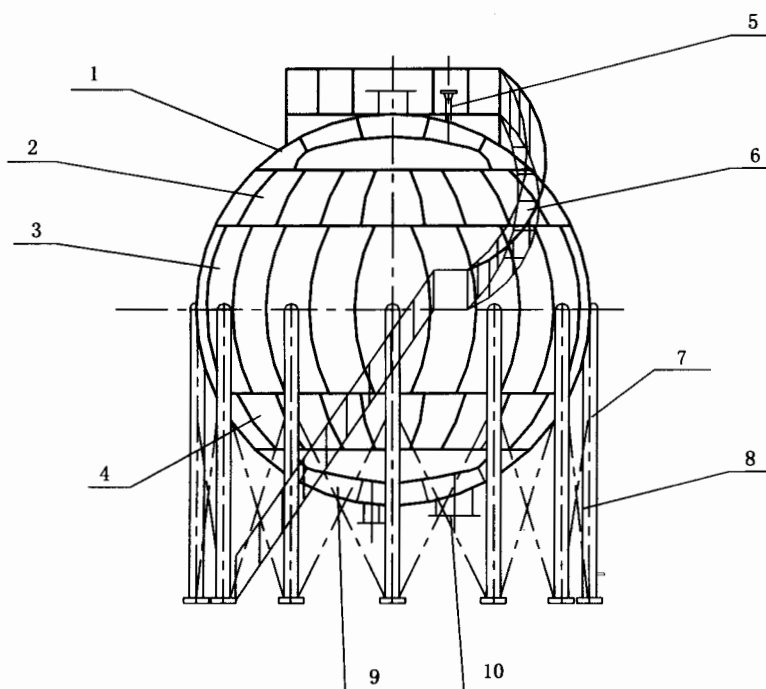


1—极侧板；2—极边板；3—上温带；4—赤道带；5—下温带；
6—下极；7—拉杆；8—支柱；9—上极；10—极中板

图 A.8 五带球罐

A.2 球罐各部分名称

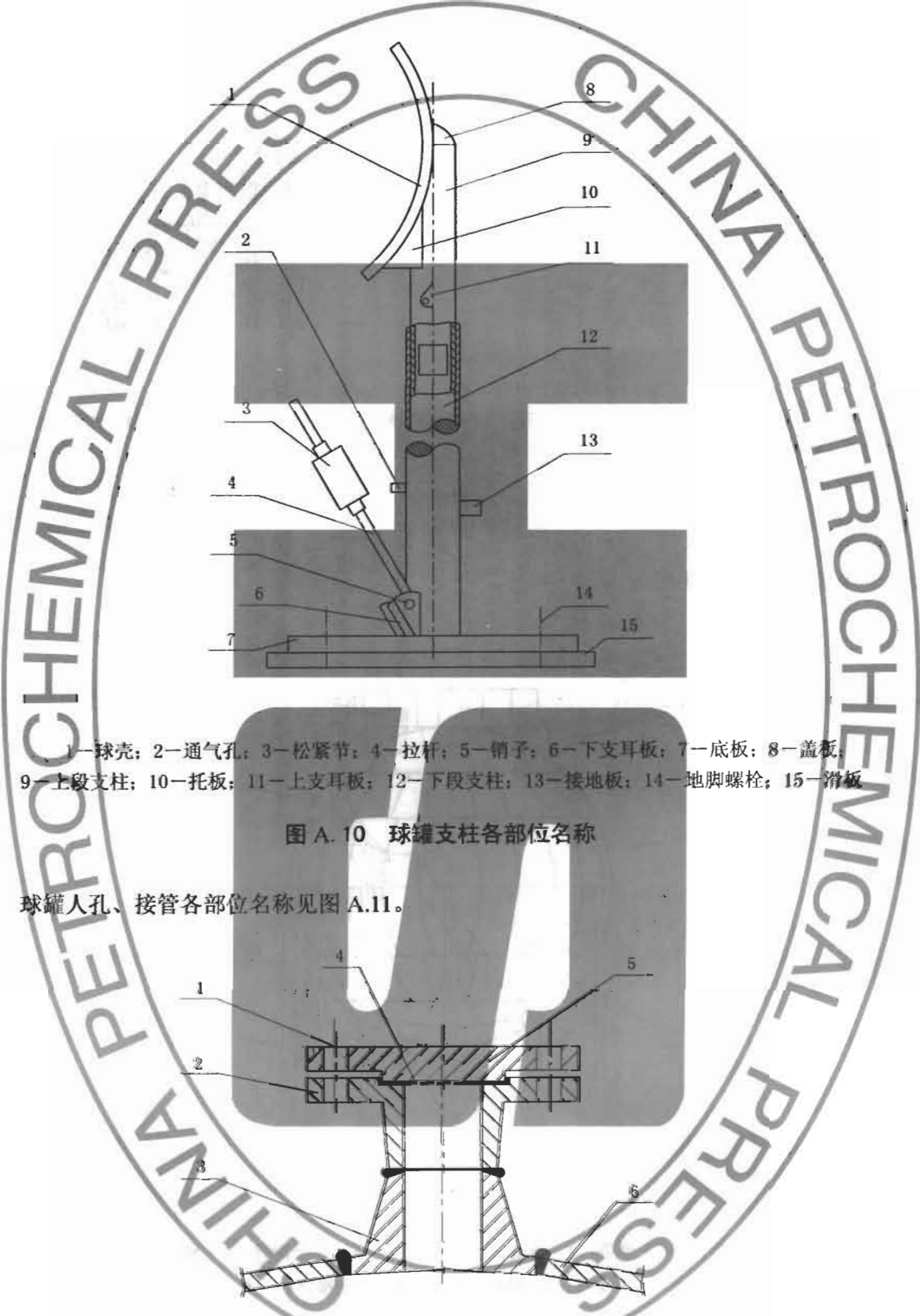
A.2.1 球罐各部分名称见图 A.9。



1—上极；2—上温带；3—赤道带；4—下温带；5—安全附件；6—梯子平台；
7—支柱；8—拉杆；9—下极；10—接管、人孔

图 A.9 球罐各部分名称

A.2.2 球罐支柱各部位名称见图 A.10。



1—球壳；2—通气孔；3—松紧节；4—拉杆；5—销子；6—下支耳板；7—底板；8—盖板；
9—上段支柱；10—托板；11—上支耳板；12—下段支柱；13—接地板；14—地脚螺栓；15—滑板

图 A.10 球罐支柱各部位名称

A.2.3 球罐人孔、接管各部位名称见图 A.11。

1—螺栓、螺母、垫圈；2—对焊法兰；3—整体锻制凸缘；4—垫片；5—法兰盖人孔盖；6—球壳

图 A.11 球罐人孔、接管各部位名称

附录 B
(资料性附录)
分片组焊法施工工艺流程

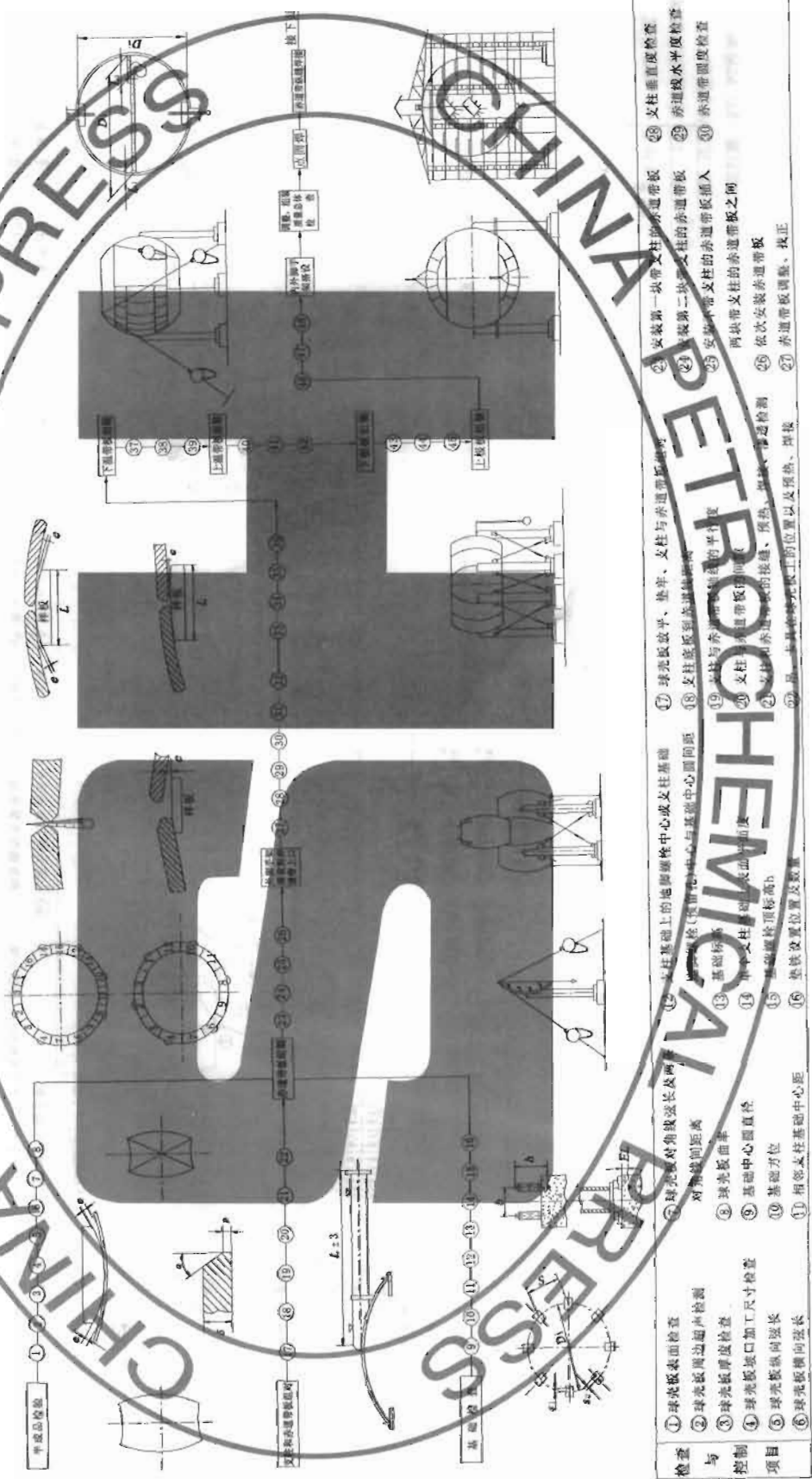


图 B.1 球罐分片组焊法施工工艺流程

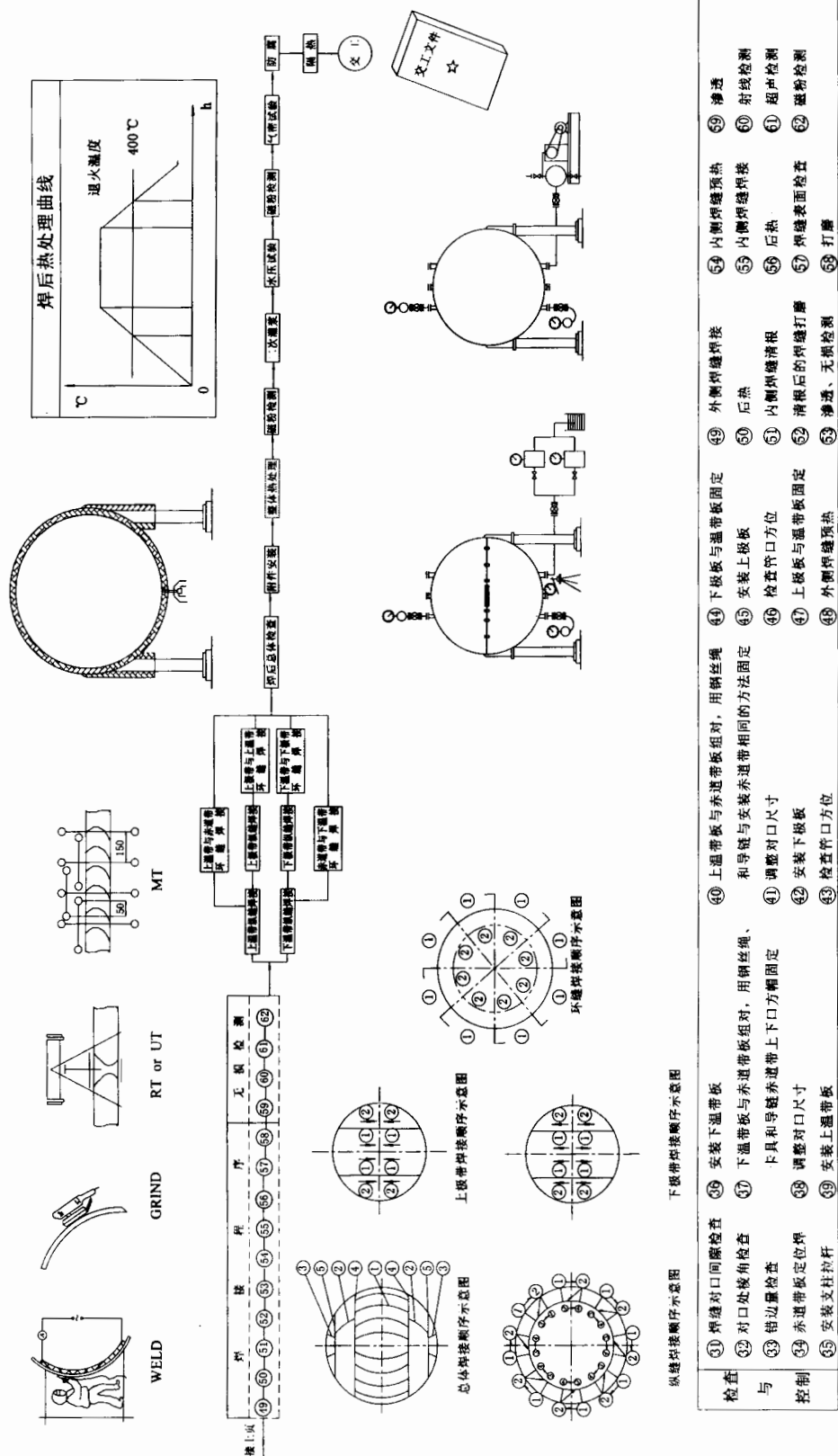
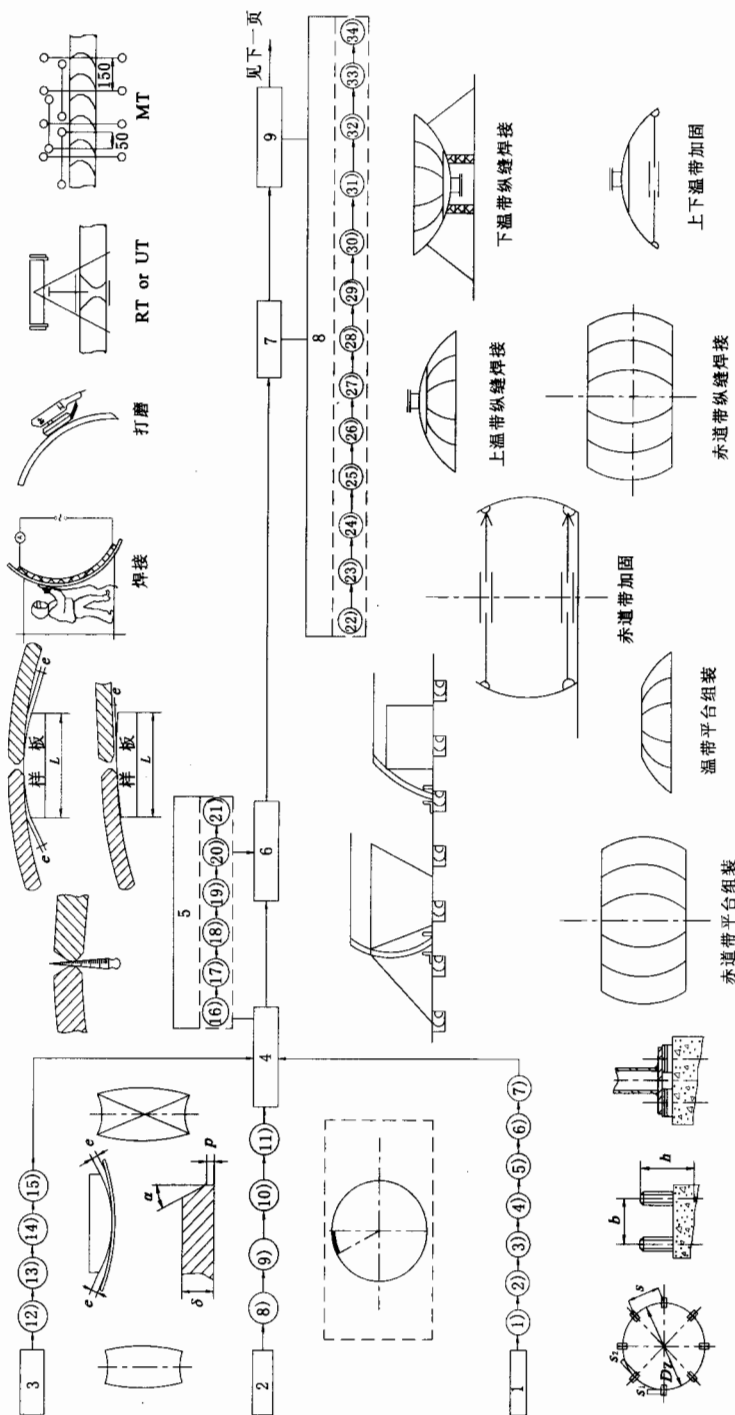
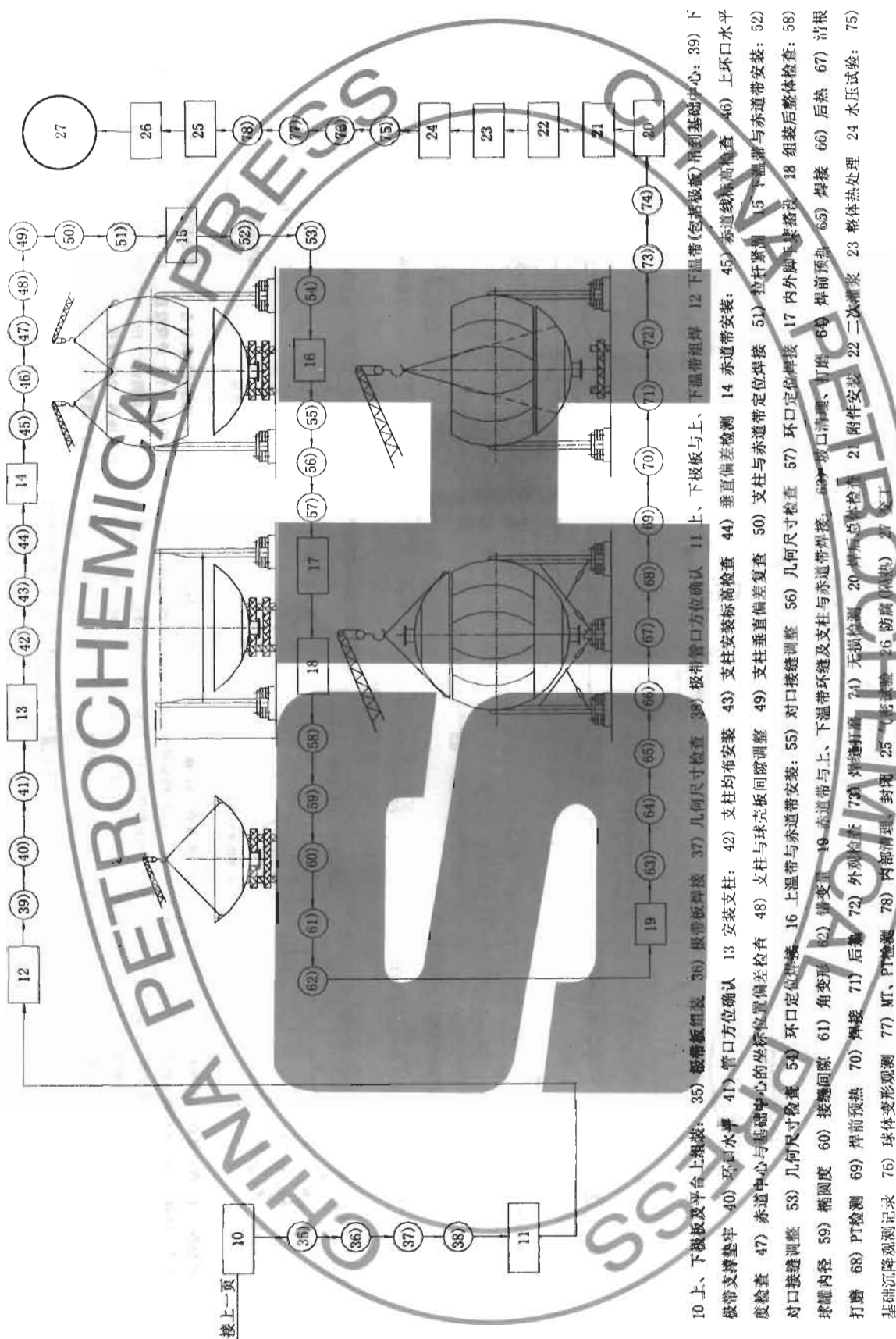


图 B.1 (续) 球罐分片组焊法施工工艺流程

附录 C (资料性附录) 环带组焊法施工工艺流程



图C.1 球罐环带组焊法施工工艺流程



图C.1(续) 球罐环带组焊法施工工艺流程

附录 D
(资料性附录)
热工计算

D.1 加热球壳金属的有效热量与热损失:

D.1.1 球壳金属加热所需的有效热量 Q_1 按公式 (D.1) 计算。

$$Q_1 = \frac{m(c_{sh} t_{sh} - c_i t_i)}{\tau} \quad \text{..... (D.1)}$$

式中:

- m —— 球壳质量, kg;
 Q_1 —— 球壳金属加热所需的有效热量, kJ/h;
 c_i —— 球壳在温度为 t_i 时的平均比热容, kJ/kg·℃;
 t_i —— 球壳在热处理温度区间的下限温度, ℃;
 t_{sh} —— 球壳在热处理温度区间的上限温度, ℃;
 c_{sh} —— 球壳在温度为 t_{sh} 时的平均比热容, kJ/kg·℃;
 τ —— 球壳从热处理温度区间下限温度加热到上限温度所需的时间, h。

D.1.2 隔热层的散热损失 Q_2 按公式 (D.2) 计算。

$$Q_2 = \frac{t_{sh} - t_a}{\frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} (1/D_i - 1/D_{i+1}) + 1/\pi D_{i+2} \alpha_a} \quad \text{..... (D.2)}$$

式中:

- D_i —— 球罐内径, m;
 Q_2 —— 隔热层的散热量, kJ/h;
 t_a —— 环境温度, ℃;
 D_{i+1} —— 球罐外径, m;
 D_{i+2} —— 隔热层外径, m;
 t_{sh} —— 球壳热处理时区间上限温度, ℃;
 λ_i —— 球壳板及隔热材料的导热系数, kJ/m·h·℃;
 α_a —— 隔热层对空气的总传热系数, W/m²·℃。

D.1.3 隔热层的蓄热损失量 Q_3 按公式 (D.3) 计算。

$$Q_3 = \frac{m_2 c_2 (t_2 - t_1)}{\tau} \quad \text{..... (D.3)}$$

式中:

- Q_3 —— 隔热层的蓄热损失热量, kJ/h;
 m_2 —— 隔热层的质量, kg;
 c_2 —— 隔热层的平均比热容, kJ/kg·℃;
 t_1 —— 隔热层在热处理区间初始平均温度, ℃;
 t_2 —— 隔热层在热处理区间终了平均温度, ℃。

D.2 燃料油未完全燃烧的热损失

D.2.1 燃料油化学未完全燃烧的热损失 Q_4 按公式 (D.4) 计算。

$$Q_4=0.0553Q_h\alpha B_a \quad \cdots\cdots\cdots (D.4)$$

式中:

- Q_4 —— 燃料油化学未完全燃烧的热损失, kJ/h;
- B_a —— 单位时间某一特定温度区间和升温速度时的燃料油消耗量, kg/h;
- Q_h —— 燃料油高位热值, 取 44 480, kJ/kg;
- α —— 过剩空气系数, 取 1.1。

注: 燃烧时, 在空气既不过剩也不欠缺的情况下, 不完全燃烧所造成的热损失为实验得出经验数据, 约占燃料油高热值的 5.53%。

D.2.2 燃料油由于机械未完全燃烧而损失的热量 Q_5 按公式 (D.5) 计算。

$$Q_5=K\times B_a\times Q_L \quad \cdots\cdots\cdots (D.5)$$

式中:

- Q_5 —— 燃料油机械不完全燃烧损失的热量, kJ/h;
- K —— 机械不完全燃烧损失率, 液体燃料 0.02~0.03, 取 0.025;
- Q_L —— 燃料油低位热值, kJ/kg, 取 41 860。

D.3 排出烟气所带走的热量

D.3.1 烟气的温度用试算法进行计算, 且应按公式 (D.6)、公式 (D.7) 进行计算:

$$Q_{sm}\geq Q_1+Q_2+Q_3 \quad \cdots\cdots\cdots (D.6)$$

$$Q_{sm}=3.6A_1\alpha_{sm}(t_{sm}-t_{sh}) \quad \cdots\cdots\cdots (D.7)$$

上列式中:

- Q_{sm} —— 烟气产生的总热量, kJ/h;
- A_1 —— 球罐内表面积, m^2 ;
- α_{sm} —— 烟气综合传热系数, $W/m^2\cdot^\circ C$;
- t_{sm} —— 烟气温度, $^\circ C$;
- t_{sh} —— 球壳热处理时区间上限温度, $^\circ C$ 。

D.3.2 根据经验测算出的烟气温度查表 D.1 得出烟气带走热量百分率 β 值, 按公式 (D.8) 计算排出烟气带走的热量。

$$Q_6=\beta\times Q_L\times B_a \quad \cdots\cdots\cdots (D.8)$$

式中:

- Q_6 —— 烟气带走的热量, kJ/h;
- β —— 烟气带走热量的百分率, %。

D.3.3 也可按公式 (D.9)、公式 (D.10) 进行核算:

$$Q_6=(1-K)B_aV_ac_{sm}(t_{sm}-t_a) \quad \cdots\cdots\cdots (D.9)$$

$$V_a=0.27\times 10^{-5}Q_L+(\alpha-1)L_0 \quad \cdots\cdots\cdots (D.10)$$

式中:

- V_a —— 单位燃料生成气量, Nm^3/kg ;
- L_0 —— 燃烧理论空气量, kg/kg;
- c_{sm} —— 烟气平均比热容, $kJ/Nm^3\cdot^\circ C$;
- t_a —— 环境温度, $^\circ C$ 。

表 D.1 烟气带走热量的百分率 β

加热升温速度 ℃/h	球壳板加热温度 ℃							
	$t_a \sim 100$	100~200	200~300	300~400	400~500	500~600	600~650	625
	β %							
0	—	—	—	—	—	—	—	27
20	—	—	—	—	—	26.2	29.2	—
30	—	—	—	—	—	27.8	29.8	—
40	8	12	15	19	23	27.9	30	—
50	9	12.8	16	19.3	23.2	28	30.5	—
60	10	13	16.2	19.8	23.5	—	—	—
70	11	13.5	17	20	23.8	—	—	—
80	12	14	17.5	20.2	24	—	—	—

D.4 热处理燃料油的需要量

D.4.1 热处理过程所需的总热量按公式 (D.11) 计算。

$$\Sigma Q=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5+Q_6 \qquad \cdots \cdots \cdots (D.11)$$

式中:

ΣQ ——热处理过程所需总热量, kJ/h。

D.4.2 热处理过程采用低位热值燃料油时, 单位时间内所需要燃料油量按公式 (D.12) 计算。

$$B_a=\Sigma \frac{Q}{Q_L} \qquad \cdots \cdots \cdots (D.12)$$

D.4.3 根据热处理升温速度和时间的要求, 需要的总油料量按公式 (D.13) 计算。

$$W=\Sigma tB_a \qquad \cdots \cdots \cdots (D.13)$$

式中:

W ——为热处理需要的总油料量, kg;

t ——某一特定温度区间和升温速度时所需要的升温时间, h。

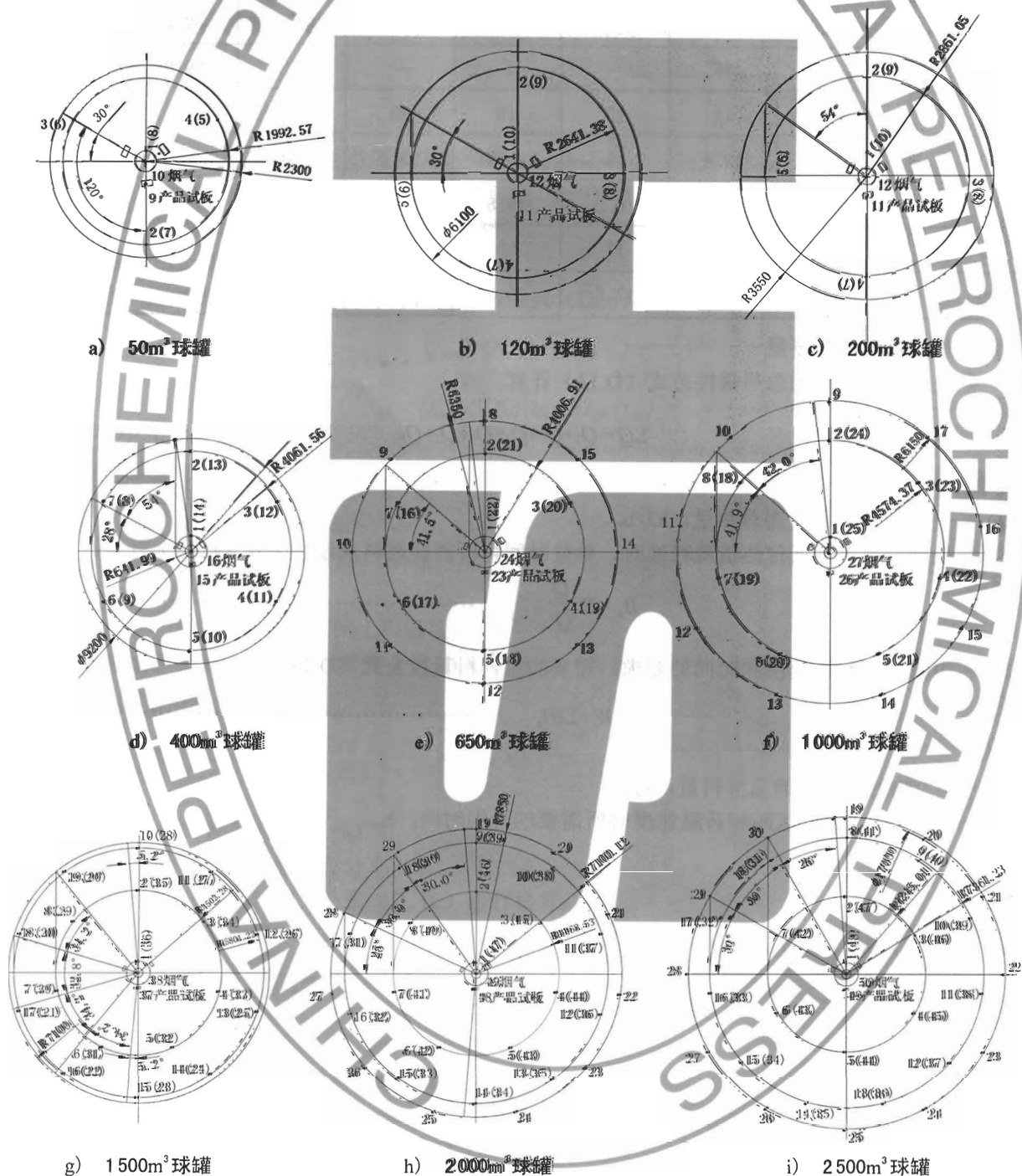
附录 E

(规范性附录)

球罐热处理测温点布置规则

E.1 球罐热处理测温点的布置应按本规程 8.3.2 条的规定。球罐的上半部按顺时针布局，赤道线以下按逆时针布局（见图 E.1）。

E.2 热处理曲线应采用电脑自动记录和 DCS 控制系统，打印机打印。



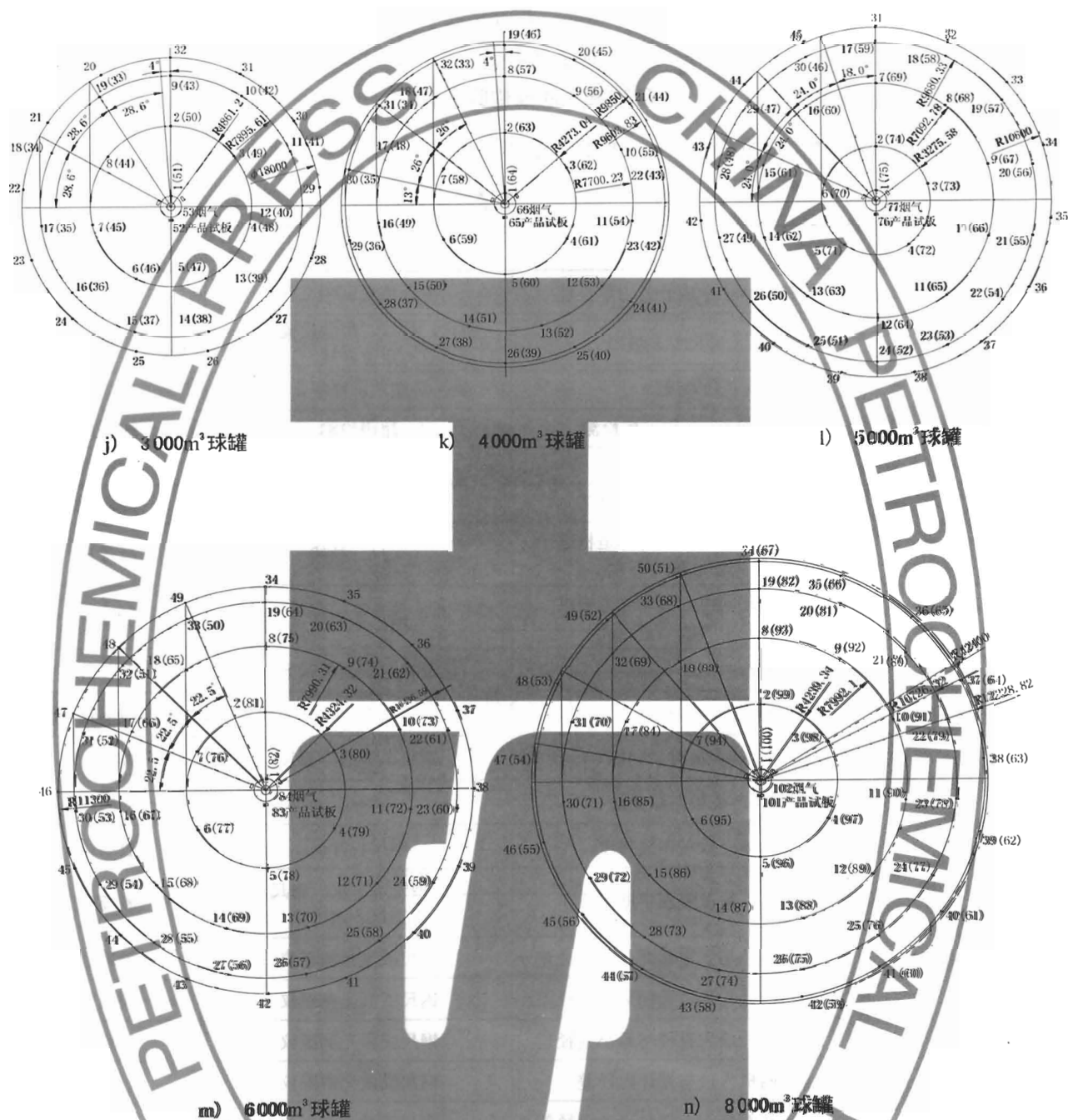


图 E.1 球罐整体热处理测温点布置示意

附 录 F
(规范性附录)
球罐施工质量检验项目

表 F.1 给出了球罐施工质量检验项目、检验方法和项目性质。

表 F.1 球罐施工质量检验项目

序号	检验项目和内容		检验方法	项目性质
1	球壳板	材质、化学成分与力学性能	核查质量证明文件	主控项目
		几何尺寸、坡口	钢尺、拉线、焊缝检验尺、定位样规	一般项目
		曲率	钢尺、样板	一般项目
		周边/全面积无损检测	超声检测	一般项目
		厚度	测厚仪	一般项目
2	支柱	支柱与底板垂直度	钢尺、角尺	一般项目
		支柱轴向中心线与赤道板纵向中心线平行度	钢尺、拉线	一般项目
		支柱轴向中心线与赤道板纵向中心线垂直距离	钢尺、拉线	一般项目
3	安全阀整定压力		核查整定压力调试报告	主控项目
4	产品试板材质、规格		核查标识	一般项目
5	球罐组装	球壳板对口间隙	钢尺、焊缝检验尺	一般项目
		球壳板对口错边	钢尺	一般项目
		球壳板对口棱角度	钢尺、样板	一般项目
		赤道线水平度	U 型管水平仪、钢尺或钢尺、水准仪	一般项目
		两极内径与赤道截面最大直径差	钢尺或激光测距仪	一般项目
		两极内径与赤道截面最小直径差	钢尺或激光测距仪	一般项目
		赤道截面最大直径与最小直径差	钢尺或激光测距仪	一般项目
		两极内径与设计内径差	钢尺或激光测距仪	一般项目
		赤道截面最大直径与设计内径差	钢尺或激光测距仪	一般项目
		赤道截面最小直径与设计内径差	钢尺或激光测距仪	一般项目
6	球罐焊接	焊接工艺评定	核查焊接工艺评定报告	主控项目
		碱性低氢型焊条扩散氢含量	核查试验报告	一般项目
		预热温度、后热温度	测量	一般项目
7	热处理	热处理温度	核查技术文件和热处理曲线	主控项目
		测温点布置	核查技术文件	一般项目
		各测温点温差	核查技术文件和质量记录	一般项目

F.1 (续) 球罐施工质量检验项目

序号	检验项目和内容		检验方法	项目性质
8	焊后质量检验	角接焊缝焊脚尺寸	焊缝检验尺测量	一般项目
		对接焊缝余高	焊缝检验尺测量	一般项目
		焊缝表面	观察、表面无损检测	一般项目
		焊缝内部	射线检测、超声检测	主控项目
		棱角度	钢尺、样板	一般项目
		两极内径与赤道截面最大直径差	钢尺或激光测距仪	一般项目
		两极内径与赤道截面最小直径差	钢尺或激光测距仪	一般项目
		赤道截面最大直径与最小直径差	钢尺或激光测距仪	一般项目
		两极内径与设计内径差	钢尺或激光测距仪	一般项目
		赤道截面最大直径与设计内径差	钢尺或激光测距仪	一般项目
		赤道截面最小直径与设计内径差	钢尺或激光测距仪	一般项目
		支柱垂直度	钢尺、线坠或钢尺、经纬仪	一般项目
		人孔、接管的开孔中心位置	钢尺	一般项目
		人孔、接管高度	钢尺	一般项目
		法兰平面与接管的垂直度	钢尺、角度尺	一般项目
9	产品焊接试板	力学性能	核查试验报告	主控项目
10	耐压试验/ 气密试验	试验压力	观察或核查技术文件、试压记录	主控项目
		压力表	核查检定报告	一般项目
		安全装置	核查铅封、调校记录	主控项目

目 录

用 词 说 明

对本规程条文中要求执行严格程度不同的助动词，说明如下：

(一) 表示要求很严格、非这样做不可并具有法定责任时，用的助动词为“必须”(must)；

(二) 表示要准确地符合规程而应严格遵守时，用的助动词为：

正面词采用“应”(shall)；

反面词采用“不应”或“不得”(shall not)。

(三) 表示在几种可能性中推荐特别合适的一种，不提及也不排除其他可能性，或表示是首选的但未必是所要求的，或表示不赞成但也不禁止某种可能性时，用的助动词为：

正面词采用“宜”(should)；

反面词采用“不宜”(should not)。

(四) 表示在规程的界限内所允许的行动步骤时，用的助动词为：

正面词采用“可”(may)；

反面词采用“不必”(need not)。

中华人民共和国石油化工行业标准

石油化工球形储罐施工技术规范

SH/T 3512—2011

条文说明

2011 北 京

目 次

1 范围55

3 总则55

4 施工准备55

4.3 工装设施准备55

5 球壳板及零部件的开箱检验55

5.1 质量证明文件的核查55

5.2 球壳板和产品试板的检验55

6 现场组装55

6.2 垫铁安装及水泥砂浆垫墩施工55

6.3 球罐分片法组装工艺56

6.3.4 支柱安装56

6.3.5 温（寒）带、极带组装56

6.4 球罐环带法组装工艺56

6.4.1 一般规定56

6.5 附件安装57

7 焊接57

7.1 一般规定57

7.2 焊接材料57

7.4 焊缝检查57

8 焊后整体热处理58

8.1 一般规定58

8.2 热处理方法58

8.3 温度测量58

8.4 热处理后的质量检验59

9 产品焊接试板59

10 耐压试验和气密性试验59

10.1 一般规定59

10.2 液压试验59

10.3 气压试验59

11 施工过程技术文件59

石油化工球形储罐施工技术规范

1 范围

规定了石油化工球形储罐施工技术规范适用范围。由于石油化工建设工程项目不存在移动式球罐和双壳结构球罐，所以只对要求做疲劳分析球罐作出不适用的限定。

3 总则

3.1 按本规程进行球形储罐施工的质量满足 GB 50094《球形储罐施工及验收规范》和《压力容器安全技术监察规程》的要求。施工方法不做强制规定，因各单位的施工习惯不同和施工场地的限制，有不同的施工方法。

3.2 国外供货的球罐，虽因合同要求不同，所要求的检测、检验内容不同；但在国内使用，应满足我国法规和标准规范的要求。

4 施工准备

4.3 工装设施准备

4.3.1 工装设施中不包括“加热设施”。

4.3.4 本条从施工过程质量控制要素——计量器具使用提出的基本要求，即用于工程建设的计量器具包括施工、检测、监理等用于工程实体质量检查、检验用计量器具的质量合格才能保证实现工程质量的检查和检验结果的正确，也是工程开工条件审查和过程控制的重要内容。

5 球壳板及零部件的開箱檢驗

5.1 质量证明文件的核查

5.1.2 球罐是三类压力容器，本条依据质技监局锅发[1999]154号《压力容器安全技术监察规程》的要求编写。

5.1.3 规定了球壳板及零部件质量证明文件的要求和对其内容进行核查的要求。压力容器受压元件和焊接材料质量证明文件是压力容器产品安全性能监督检验项目。球壳板及零部件的质量是保证球罐质量的基础，是实现安全生产的保证，没有球壳板及零部件质量就没有球罐的质量，因此不符合要求的球壳板及零部件不能使用。

5.1.5 明确采用 CF 系列钢板制造球罐时对原材料的要求，本条依据质检特函[2007]52号《关于加强 CF 系列钢板用于压力容器制造管理的意见》的要求编写。

5.2 球壳板和产品试板的检验

5.2.9 每台球罐产品试板用料数量规定为 8 块，其中 6 块作为焊接产品试板，另外 2 块为备用料，也可用于验证施工工艺的正确性。

6 现场组装

6.2 垫铁安装及水泥砂浆垫墩施工

6.2.1、6.2.2 规定了垫铁组与基础接触面积的要求，并给出了计算公式，是根据 BASF-YIPC Company Ltd. IPS Project Nanjing, China Doc.No. 10-010-00-0-0 00-023 的规定，原文如下：

1.4 System description

A. Design Requirements

1. Foundation plates for equipment and structures shall be grouted to provide full uniform load transfer between bottom of foundation plate and concrete foundation.

2. Load transfer to foundation must be through grout, not through shims or other leveling devices. Shims must be removed and grout installed prior to placing load on baseplate.

2.3 Design criteria

Observe the following guidelines for epoxy grout installations in order to minimize creep and edge curling:

A. Total equipment weight plus total bolt torque load divided by surface area of grout does not exceed 3.5 MPa.

基础采用 C30 混凝土时, 受力分析按 3.0 MPa 计算, 灌浆层采用灌浆料, 强度为 3.5 MPa, 超过部分因垫铁的接触面积而减少基础与灌浆层表面的接触面积引起; 在同等条件下, 限制垫铁的使用面积, 故得出垫铁的接触面与基础板的接触面的比率:

$$(3.5-3.0)/3.0=16.67\%$$

考虑到垫铁的水平度, 会出现垫铁的不均匀受力, 通过灌浆弥补不足, 使其充分接触, 而把垫铁的接触面与基础板的接触面的比率扩大至 18%。同时通过现场的实践证明可行。

同时将相邻垫铁组距离由原规程的“不应大于 400mm”修订为“不宜大于 500mm”, 与静设备安装标准规范要求保持一致, 无需提高要求, 并按基础有、无基础滑板分别对垫铁的安装作出了规定。

6.2.4 球罐采用内燃法进行整体热处理时, 受热膨胀, 由于支柱上部与球体相焊随球体膨胀, 而支柱下部因不受热和球罐的重量作用应使用移动装置使其移动, 如果移动装置的滑移面不起作用或地脚螺栓孔距离不够造成支柱不能与球体的膨胀量同步, 将会发生质量事故。

6.3 球罐分片法组装工艺

6.3.4 支柱安装

6.3.4.1 增加支柱间对接焊缝无损检测要求, 并根据现场施工经验在表 7 中增加支柱中心线与球罐中垂线偏差 h_1 、 h_2 及 h_3 的偏差要求。

6.3.4.2 根据南京扬子石油化工公司扬巴工程球罐现场施工经验, 增加标准抗拉强度下限值大于或等于 540MPa 钢、低温钢球罐采用偏心支柱时, 支柱与球壳板之间相贯线焊缝的无损检测要求, 以确保焊接质量。

6.3.5 温(寒)带、极带组装

6.3.5.2 根据现场施工方法和经验, 取消中心柱, 采用无中心柱施工工艺。

6.4 球罐环带法组装工艺

6.4.1 一般规定

6.4.1.1 根据大型催化裂化装置中反应器、再生器球形封头采用环带法施工的经验, 本次修订将采用环带法组装的球罐公称容积增大至 1500 m³。

6.4.1.2 焊接收缩量应根据板厚、材质、对口间隙和焊接工艺采用的线能量等因素具体确定。这里介绍《山东省建筑安装工程施工操作规程(金属结构篇) DBJ14-WB18》的数据(见表 1)供参考。

表 1 焊缝横向收缩近似值

单位: mm



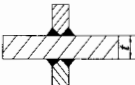
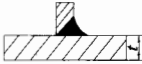
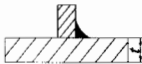



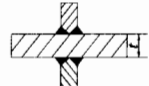

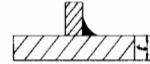
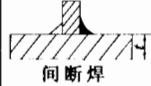
板厚 t	接头形式					
						
3.0~5.0	0.8~1.3	0.6~1.2	1.0~1.6	0.5~0.8	0.5~0.9	0.2~0.4

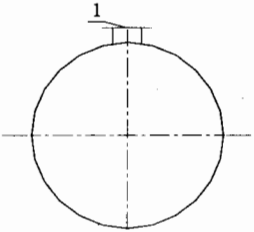
表 1（续） 焊缝横向收缩近似值

单位：mm

板厚 <i>t</i>	接头形式					
						
6.0~9.0	1.3~1.5	1.2~1.3	1.5~1.9	0.8	0.9	0.4~0.3
10~15	1.6~2.0	1.4~1.8	2.0~2.4	0.8~0.7	0.9~0.8	0.25~0.20
16~20	2.1~2.6	1.9~2.4	2.5~3.0	0.7~0.6	0.8~0.7	0.2
21~25	2.7~3.1	2.5~3.0	3.1~3.5	0.6~0.4	0.6~0.4	0.2
26~30	—	3.0~3.5	3.5~3.8	0.4	0.4	—
31~35	—	3.5~3.8	3.8~4.0	—	—	—
36~50	—	3.8~4.0	4.0~4.3	—	—	—

6.5 附件安装

6.5.2 表 8 中的中心标高，指人孔、管孔的顶端面与其中心线的交点标高示意（见图 1）。



1—中心标高点

图 1 中心标高测点

7 焊接

7.1 一般规定

7.1.1 目前球罐焊接通常采用焊条电弧焊、药芯焊丝电弧焊、熔化极气体保护焊，而埋弧焊及其他焊接方法基本不采用，故取消原标准中埋弧焊及其他焊接方法的相关要求。

7.1.5 重新编排了球罐定位焊的要求，使其描述更具合理化。

7.1.8 根据球罐类压力容器焊接要求较高的特点，在本规程修订中，对球罐的焊接环境条件相应地提高对焊条电弧焊对风速的要求，即由原 10m/s 降低为 8m/s。同时将温度要求由原焊件温度-20℃修订为环境温度-5℃。

7.2 焊接材料

7.2.2 根据 JB/T 4747—2002《压力容器用钢焊条订货技术条件》对焊条药皮含水量的规定，焊条复验时应增加焊条药皮含水量的复验内容。按照 JB/T 4747—2002 中的表 3“低氢型焊条药皮含水量或熔敷金属扩散氢含量规定”的内容，对表 9 的相关参数进行了修改，使其符合压力容器用焊条的要求。同时，因国外公司采用色谱法或水银法复验熔敷金属扩散氢，又因色谱法、水银法其准确度高，为了便于对比和使用，故此表增加气相色谱法或水银法复验熔敷金属扩散氢的要求，并根据施工经验，增加了焊材型号 E8016-C1。

7.4 焊缝检查

7.4.4 根据 JB/T 4730.1—2005~4730.6—2005《承压设备无损检测》进行修订，射线检测的技术等级为 AB 级，增加超声检测的技术等级为 B 级的要求。

8 焊后整体热处理

8.1 一般规定

8.1.7 球罐施工中，移动装置多采用滑板结构，现场已不采用滚柱形式的移动装置，故本次修订中取消。

8.1.12~8.1.16 根据石油化工建设第 5 期《热处理对 07MnCrMoVR 钢球罐在热裂纹的影响》一文和质检特函[2007]52 号《关于加强 CF 系列钢板用于压力容器制造管理的意见》要求，热处理升、降温的速度和恒温时间对 07MnCrMoVR 钢球罐热裂纹的产生有影响，通过实践证明，应控制升温速度，温升速度大，不利于温度传递均匀。把原规定的升、降温速度“宜控制”改成“应控制”，这样热处理的球罐在降温过程中，需要强制通风，加快降温速度，自然通风难以达到此要求，并补充热处理保温时间开始计时的具体要求。国家标准 GB 713—2008《锅炉和压力容器用钢板》已发布实施，改变了部分钢号的表示方法，为方便本规程的使用，摘录 GB 713—2008《锅炉和压力容器用钢板》的牌号与 GB 713—1997《锅炉用钢板》、GB 6654—1996《压力容器用钢板》(含第 1 号和第 2 号修改单)的牌号对照列入表 2。

表 2 GB713—2008 的牌号与 GB713—1997、GB6654—1996 的牌号对照

GB 713—2008	GB 713—1997	GB 6654—1996
Q245R	20g	20R
Q345R	15Mng、19Mng	16MnR
Q370R	—	15MnNbR
18MnMoNbR	—	18MnMoNbR
13MnNiMoR	13MnNiCrMoNbR	13MnNiMoNbR
15CrMoR	15CrMog	15CrMoR
12Cr1MoVr	12Cr1MoVg	—
11Cr1MoR	—	—
12Cr2Mo1R	—	—

8.2 热处理方法

8.2.2 根据施工经验，增加采用正、负压内燃法进行球罐热处理的叙述。考虑热处理成本和施工质量，明确了 2000m³ 以下的球罐热处理可以采用活口烧嘴，不需要内置伞架能达到热处理要求，而 2000m³ 及以上的球罐需采用内置伞架。大容积球罐采用正压内燃法和仪表自动控制系统，能减少热处理人员的劳动强度，降低施工费用，同时使温度传递均匀，确保施工质量。

8.3 温度测量

8.3.2 修订了球罐本体测温点的数量，根据实际施工需要增加 4000m³ 以上球罐测温点布置要求。本次测温点的修订，规定相邻两点距离宜为 4.5m 的要求，由于火焰分为内层、中层、外层火焰，因而烟气温度随着烟气高度的变化而变化，高温点在上人孔处，故布点的位置可从赤道线起，往上、下两侧分，且测温点为分层布置，各层之间的弧长控制在 4.5m 以内，每层的测温点之间的弧长也控制在 4.5m 以内。

8.4 热处理后的质量检验

8.4.2 针对标准抗拉强度下限值大于或等于 540 MPa 钢和低温钢制球罐，增加热处理后球壳板所有对接焊缝和与球壳板连接的角焊缝的表面无损检测比例，由原标准的 20% 提高为 100%。

9 产品焊接试板

9.1.1、9.2.1 国家质量技术监督局质技监局锅发[1999]154 号《压力容器安全技术监察规程》规定为检验产品焊接接头的力学性能，现场组焊的球形储罐制作平、立、平加仰三块产品试板，是压力容器安全性能检验项目，产品焊接试板力学性能合格代表该产品合格，产品焊接试板力学性能不合格则代表该产品不合格。

10 耐压试验和气密性试验

10.1 一般规定

10.1.2 压力容器在使用中具有潜在的危險性，储存气体的容器由于气体的可压缩性，其危险性更大，因此本规程规定“除设计文件另有规定外，不得采用气体代替液体进行耐压试验”。

10.1.3 本条规定与国家质量技术监督局质技监局锅发[1999]154 号《压力容器安全技术监察规程》保持一致。《压力容器安全技术监察规程》规定，进行耐压试验时，应在球罐顶部位置至少设置两块量程相同并经校准合格的压力表，且压力表设置在便于观察的位置。

10.2 液压试验

10.2.2 考虑到水压试验后，仍需对球罐内部焊缝等部位进行表面无损检测，可在液压试验前适当保留一部分脚手架，但应绑扎牢固。

10.3 气压试验

10.3.1 由于气压试验具有潜在的危險性，为确保球罐气压试验的安全本条作了四项规定，一是有试验单位技术总负责人批准的安全措施；二是试验系统设置安全装置；三是划定安全区界，设置警示标志；四是为确保安全措施落实到位，在实际操作时，试验单位安全部门应派专人进行现场监督检查。

10.3.2~10.3.5 规定了气压试验用的气体、试验程序和安全要求。气压试验时，在升压过程并考虑气温变化和检查时间的需要，安全的开启压力维持其中一个安全阀的开启压力为试验压力加 0.05 MPa，其余安全阀的开启压力不得超过试验压力的 1.05 倍，以确保达到并不超过试验压力，保证球罐的安全。

11 施工过程技术文件

11.1~11.5 规定了球罐施工过程进行质量控制的要求，并按检验项目进行检查确认、审查相关资料。按 SH/T 3543 的规定进行施工过程记录，按 SH/T 3503 的规定进行交工技术文件的编制。