



中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3537—2002

立式圆筒形低温储罐 施工技术规范

Technical Code for Construction of Vertical
Cylindrical Low Temperature Storage Tank

2003-02-09 发布

2003-05-01 实施

国家经济贸易委员会 发布

目 次

前言.....III

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 一般规定.....2

4 施工准备.....2

5 材料.....2

6 施工工艺.....3

7 预制加工.....4

7.1 一般要求.....4

7.2 底板预制.....4

7.3 壁板预制.....6

7.4 拱顶预制.....7

7.5 内悬挂顶预制.....9

7.6 其他构件预制.....9

7.7 出厂检验.....10

8 基础、钢筋混凝土外罐复查.....10

8.1 基础复查.....10

8.2 钢筋混凝土外罐复查.....11

9 罐底组装.....11

9.1 一般要求.....11

9.2 搭接接头罐底板的组装.....12

9.3 对接接头罐底板的组装.....12

9.4 双层低温储罐内罐底组装.....13

10 罐壁组装.....14

10.1 一般要求.....14

10.2 罐壁组装.....14

11 罐顶组装.....19

11.1 中心架法.....19

11.2 气升法.....19

12 附件安装.....21

12.1 罐体的开孔接管安装.....21

12.2 其他附件安装.....21

13 焊接.....22

13.1 一般规定.....22

13.2	焊材管理	23
13.3	焊接要求	23
13.4	焊接顺序和方法	23
13.5	修补	24
14	保冷	25
14.1	一般要求	25
14.2	罐底保冷	25
14.3	罐壁保冷	25
14.4	罐内管线保冷	26
14.5	内悬挂顶保冷	26
15	检查和试验	26
15.1	焊缝外观检查	26
15.2	焊缝无损检测及严密性试验	27
15.3	罐体几何形状和尺寸检查	28
15.4	罐体试验	28
16	工程验收	30
附录 A (资料性附录) 低温储罐几种典型结构		31
附录 B (资料性附录) 施工工艺流程		34
附: 条文说明		37

前 言

本规程是根据中国石化建标字[2001]088 号文的通知，由中国石化集团第二建设公司主编。

本规程共分 16 章和 2 个附录，2 个附录均为资料性附录，主要包括：

——一般规定、施工准备、材料、施工工艺；

——预制加工；

——基础与混凝土外罐验收；

——罐底、罐壁、罐顶组装及附件安装；

——焊接；

——保冷；

——检验和试验及工程验收。

本规程以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本规程由中国石化集团施工规范管理站管理，由中国石化集团第二建设公司负责解释。

本规程在实施过程中，如发现需要修改补充之处，请将意见和有关资料提供给我们，以便今后修订时参考。

管理单位：中国石化集团施工规范管理站

通讯地址：天津市大港区世纪大道 180 号

邮政编码：300270

主编单位：中国石化集团第二建设公司

通讯地址：江苏省南京市尧化门

邮政编码：210046

主要起草人：郑祥龙 霍瑞民 赵邦军

立式圆筒形低温储罐施工技术规范

1 范围

1.1 本规程给出了立式圆筒形低温储罐施工的工艺过程及施工方法,规定了预制、组装、焊接等过程控制及质量检验、试验要求。

1.2 本规程适用于公称容积大于或等于 $10\,000\text{ m}^3$,设计温度不高于 $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且不低于 $-168\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的立式圆筒形低温储罐(以下简称低温储罐)的预制、组装、焊接、检验、试验和验收。公称容积小于 $10\,000\text{ m}^3$ 的立式圆筒形低温储罐可参照使用。

1.3 本规程适用于储存液化石油气、丙烯、乙烯、天然气等介质的低温储罐。储存其他介质的低温储罐可参照使用。

1.4 本规程适用于低合金钢制低温储罐的施工。不锈钢制低温储罐可参照使用。

1.5 本规程适用于钢制单层低温储罐、钢制双层低温储罐和外罐为钢筋混凝土结构双层低温储罐的钢制部分。低温储罐的典型结构参见附录 A。

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 985 气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形式与尺寸

GB 986 埋弧焊缝坡口的基本形式与尺寸

GB 50205 钢结构工程施工质量验收规范

GB 50236 现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范

GBJ 128 立式圆筒形钢制焊接油罐施工及验收规范

JB 4708 钢制压力容器焊接工艺评定

JB 4730 压力容器无损检测

SH 3503—2001 石油化工工程建设交工技术文件规定

SH 3505 石油化工施工安全技术规程

SH 3530 石油化工立式圆筒形钢制储罐施工工艺标准

劳部发 [1993]441 号 锅炉压力容器无损检测人员资格考核规则

国质检锅 [2002]109 号 锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则

3 一般规定

- 3.1 立式圆筒形低温储罐的施工质量的验收应执行 GBJ 128 的规定，其钢结构部分的施工质量的验收应执行 GB 50205 的规定。
- 3.2 凡涉及设计文件和材料的变更，应取得原设计单位的修改变更单，或取得原设计单位签字认可。
- 3.3 对参加低温储罐施工的焊工，应按 GB 50236 的规定进行考试，取得资格后方可上岗施焊。若已按《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》考试合格的焊工，可以免去按 GB 50236 相应资格的考试，从事低温储罐相应部位的焊接。
- 3.4 对从事“低温储罐焊缝无损检测人员”，应按《锅炉压力容器无损检测人员资格考核规则》取得与其工作相适应的资格证书。
- 3.5 低温储罐施工应按 GB 50236 的规定进行焊接工艺评定，按 JB 4708 已完成的焊接工艺评定也适用于相应的焊接条件和焊接工艺因素。
- 3.6 低温储罐施工安全技术、劳动保护应按 SH 3505 的规定执行。

4 施工准备

- 4.1 低温储罐施工，应具备下列资料：
- a) 施工图及有关设计文件；
 - b) 原材料、配件及半成品质量证明文件；
 - c) 有关的施工及验收规范。
- 4.2 低温储罐施工前，应做好下列工作：
- a) 参与建设单位组织的设计交底，明确低温储罐的质量要求及关键技术；
 - b) 进行图纸会审，明确与低温储罐施工有关的专业工程相互配合的要求；
 - c) 编制施工技术文件，按文件控制程序审核、批准后，并进行技术交底。
- 4.3 施工现场按批准的施工技术文件要求进行水、电、气、道路及施工设施的设置。
- 4.4 施工场地应符合下列要求：
- a) 场地平整，罐基础周围不得有低洼积水处；
 - b) 道路应满足运输、吊装车辆行走要求；
 - c) 保冷材料存放应采取防雨、防潮措施。
- 4.5 工装设施的选用或设计制造应满足施工工艺和安全施工的要求。

5 材料

- 5.1 低温储罐用的钢材、附件、焊材、保冷材料等应有质量证明文件。
- 5.2 低温钢板和低温焊接材料的质量证明文件应标明钢号、规格、化学成分、力学性能、低温冲击韧性值、供货状态及材料的制造标准，其特性数据应符合相关标准，并满足设计文件的要求。当对质量证明文件的特性数据有疑问时，应对材料进行复验。

5.3 低温储罐用的钢板，应逐张进行外观质量检查，并应符合下列规定：

- a) 钢板表面不得有裂纹、拉裂、气泡、折叠、夹杂、结疤和压入的氧化铁皮，钢板不得有分层；
- b) 钢板实际负偏差应符合钢板产品标准的规定；
- c) 低温钢板表面不得存在机械划伤。

5.4 保冷材料质量证明文件中的技术指标应符合设计文件要求，必要时测定保冷性能指标。

5.5 验收合格的钢材应做好标记，并按品种、材质、规格分类存放。存放过程应防止产生变形，不得用带棱角的物件垫底。

5.6 焊材库应干燥通风，库房内不得放置腐蚀性介质，焊材存放应离开地面和墙壁至少 300 mm。

5.7 氩气纯度不应低于 99.95%。

6 施工工艺

6.1 钢制单层低温储罐结构类似于立式圆筒形拱顶储罐，其施工工艺可按 SH3530 的要求执行。

6.2 钢制双层低温储罐正装法施工工艺流程（参见附录 B 图 B.1）：

- a) 外罐底铺设和外罐壁第一、二圈壁板组焊，安装出入门；
- b) 内罐壁下支承部分保冷层施工；
- c) 内罐底边缘板施工和内罐壁第一、二圈壁板组焊，安装出入门；
- d) 搭设中心架，依次交错安装内、外各圈壁板；
- e) 外罐顶安装，内悬挂顶安装；
- f) 拆除中心架；
- g) 内罐底保冷层施工，安装内罐底中幅板；
- h) 拆除出入门，安装正式壁板；
- i) 附件安装，锚固件安装；
- j) 试验；
- k) 罐壁、罐内管线和内悬挂顶保冷。

6.3 钢制双层低温储罐罐壁正装、罐顶气升法施工工艺流程（参见附录 B 图 B.2）：

- a) 外罐底铺设和外罐壁第一、二圈壁板组焊，安装出入门；
- b) 内罐壁下支承部分保冷层施工；
- c) 内罐底边缘板施工和内罐壁第一、二圈壁板组焊，安装出入门；
- d) 在外罐底上组装内悬挂顶和外罐顶；
- e) 安装气升密封系统和气升设施；
- f) 组装内、外罐壁其余壁板和气升用内罐临时壁板；
- g) 气吹顶升、固定，安装后拆除气升用临时组件和气升设施；
- h) 内罐底保冷层施工，安装内罐底中幅板；
- i) 拆除出入门，安装正式壁板；
- j) 安装附件、锚固件；
- k) 试验；

1) 罐壁、罐内管线和内悬挂顶保冷。

6.4 钢筋混凝土外罐的双层结构低温储罐，应先施工钢筋混凝土外罐，并在施工外罐壁时预留出入门，施工钢制内罐和罐顶时可采用钢制双层低温储罐内罐和罐顶的施工工艺。

7 预制加工

7.1 一般要求

7.1.1 低温储罐在预制、组装及检验过程中所使用的样板应符合下列规定：

- a) 弧形样板的弦长不得小于 2m；
- b) 直线样板的长度不得小于 1m；
- c) 测量焊缝角变形的样板，其弦长不得小于 1m；
- d) 样板宜用 0.5mm~0.7mm 厚的铁皮制作，用扁铁或木板加固，周边应光滑整齐。

7.1.2 钢板应平整，局部平面度用直线样板检查时，间隙不应大于 4mm；卷材应展平、矫正，矫正宜在多辊板材矫形机上进行。

7.1.3 号料前，应核对钢板材质、规格，并使钢板处于平放位置。

7.1.4 在钢板上定出基准线，划出剪切线，并用油漆做出标记。在剪切线内侧标出检查线或检查点，同时在钢板上标明设备位号、排板编号、规格、材质与边缘加工等符号。钢板分割前，应进行标记移植，并做好记录。

7.1.5 低温钢板不得用钢印打标记，非剪切线不得用尖锐工具划线、不得打样冲眼。

7.1.6 钢板切割及坡口加工，宜采用机械加工或自动、半自动火焰切割加工的方法，并应符合下列规定：

- a) 钢板坡口加工表面不得有夹渣、分层、裂纹及熔渣等缺陷；
- b) 火焰切割后，坡口表面的硬化层应磨除。当钢板标准抗拉强度下限值大于或等于 540MPa 时，坡口应进行渗透检测或磁粉检测。

7.1.7 采用对接接头、厚度大于 10mm 的钢板和采用搭接接头、厚度大于 16mm 的钢板，非坡口板边不宜采用剪切加工。

7.1.8 坡口形式和尺寸，应根据图样要求或经焊接工艺评定确定，当选用标准坡口时，应符合 GB 985 或 GB 986 的规定。

7.1.9 壁板在卷板机上进行卷制时，板边应垂直于辊的轴线，并随时用样板检查。壁板卷制后应直立于平台上，水平方向用内弧样板检查，其间隙不得大于 4mm，垂直方向上用直线样板检查，其间隙不得大于 1mm。

7.1.10 预制构件的存放、运输，应采取防变形措施。罐壁板等弯曲构件应采用胎架运输、存放。

7.1.11 预制件应经检验合格后出厂，并提供本规程 7.7.2 条规定的文件。

7.2 底板预制

7.2.1 罐底排板形式推荐如图 1 所示。

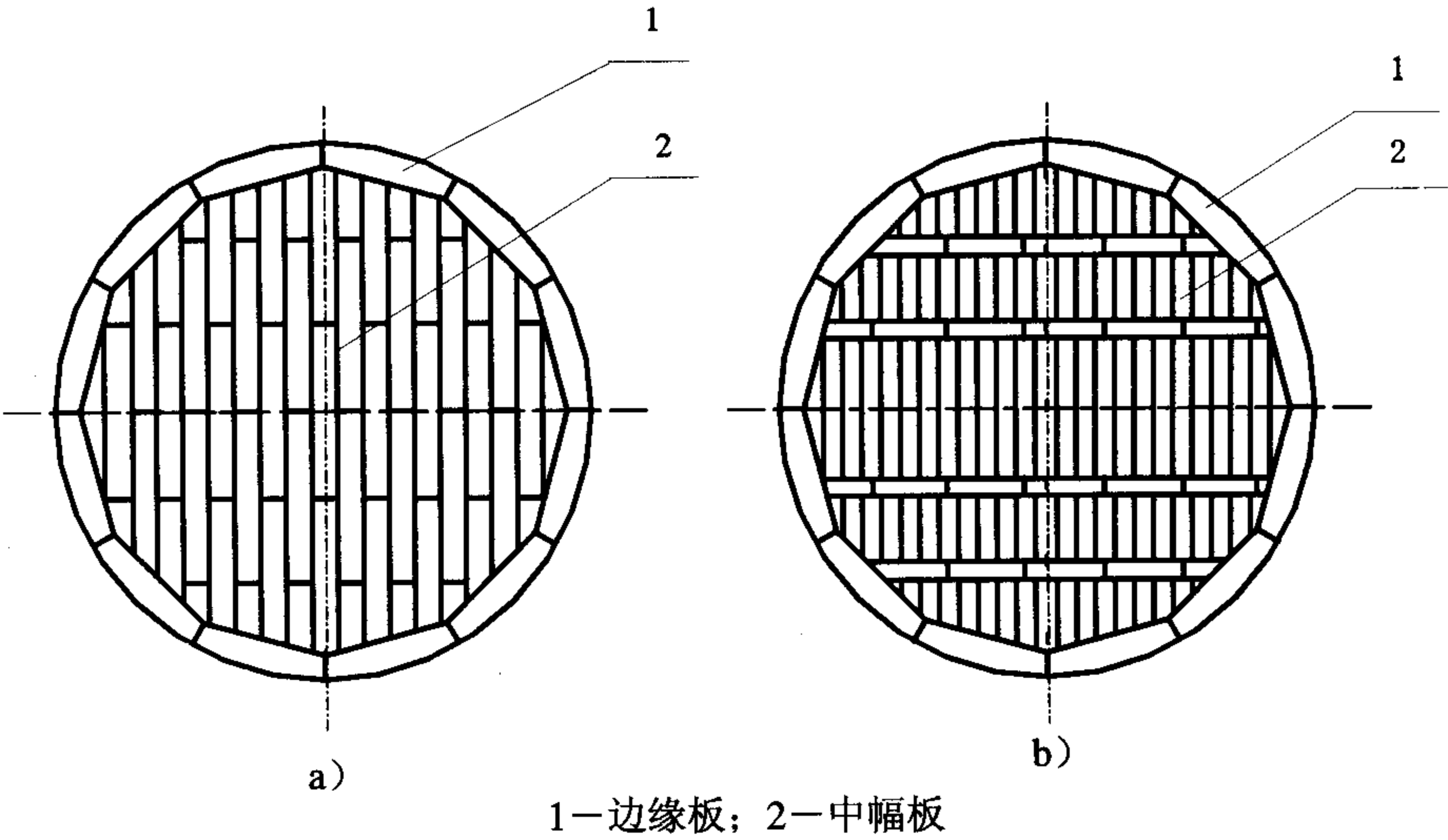


图 1 罐底排板型式

7.2.2 底板预制前应按设计文件要求及钢板来料规格绘制排板图，并符合下列规定：

- a) 罐底的排板直径，应按设计直径放大 0.1%~0.2%；
- b) 中幅板的宽度不得小于 1m，长度不得小于 2 m；
- c) 边缘板沿罐底半径方向的最小尺寸不得小于 700 mm；
- d) 底板任意相邻焊缝之间距离，不得小于 200 mm。

7.2.3 边缘板尺寸测量部位见图 2，其允许偏差应符合表 1 的规定。

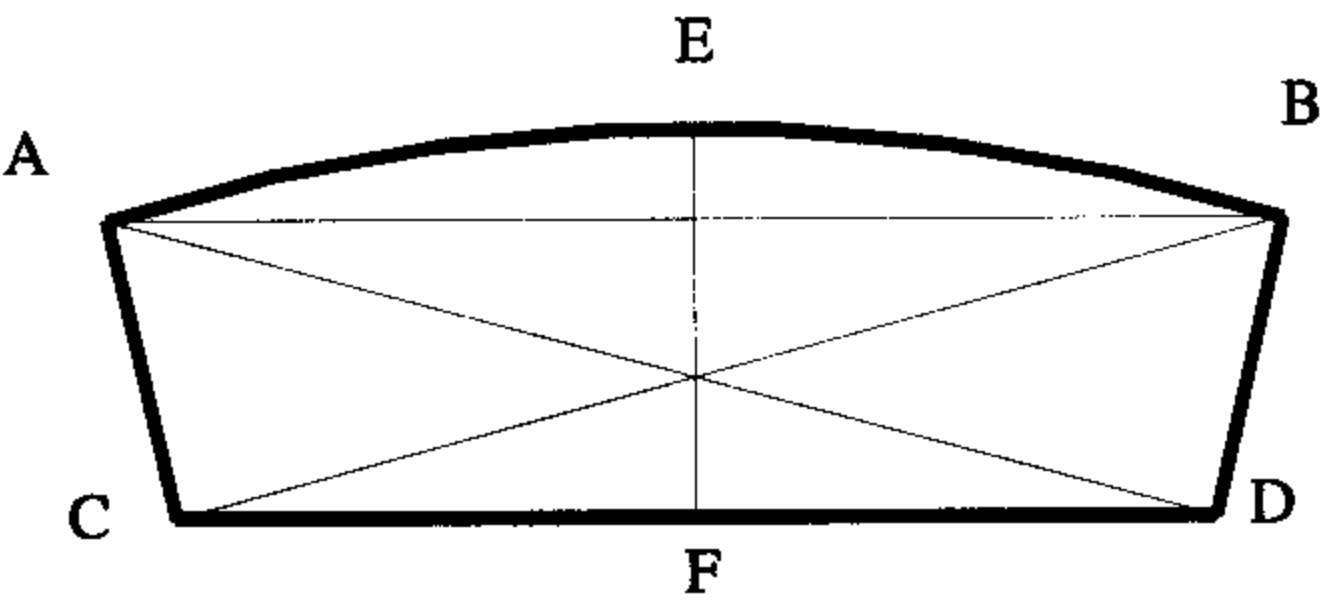


图 2 边缘板尺寸测量部位

表 1 边缘板尺寸允许偏差 单位：mm

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

7.2.4 中幅板尺寸测量部位见图 3，其允许偏差应符合表 2 的规定。

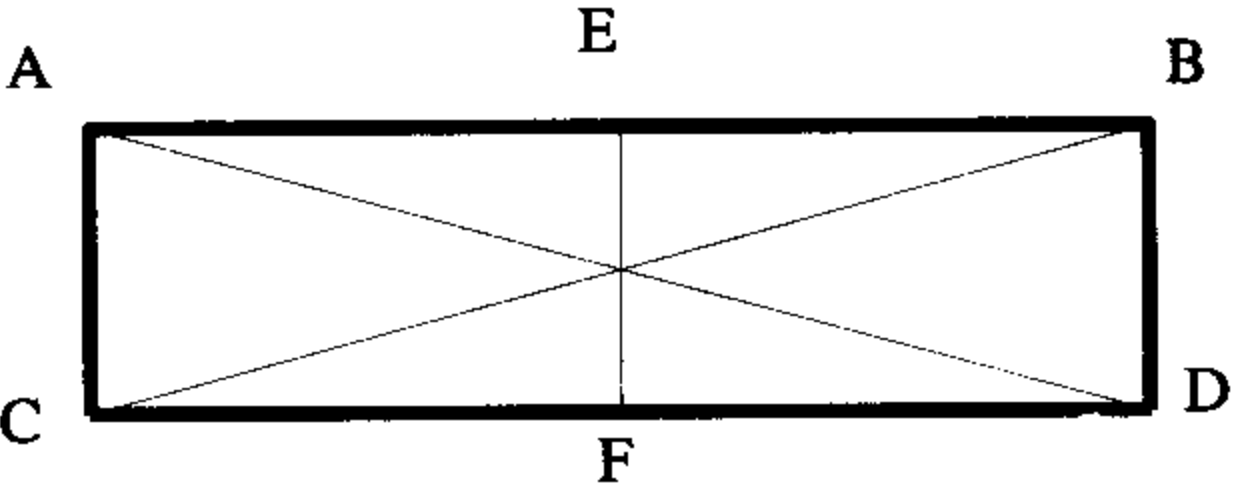


图 3 中幅板尺寸测量部位

表 2 中幅板尺寸允许偏差 单位: mm

测量部位		中幅板搭接	中幅板对接	
			AB (CD) ≥10 000	AB (CD) <10 000
宽度 AC、BD、EF		±1.5	±1.5	±1
长度 AB、CD		±2	±2	±1.5
对角线之差 AD-BC		3	3	2
直线度	AC、BD	≤1	≤1	≤1
	AB、CD	≤3	≤2	≤2

- 7.2.5 搭接接头的中幅板，其搭接宽度设计文件无规定时，可按下述要求进行：
- a) 中幅板与中幅板的搭接宽度不得小于 5 倍的底板厚度，且不得小于 30 mm；
 - b) 中幅板与边缘板的搭接宽度不应小于 50 mm。
- 7.2.6 带垫板的边缘板对接接头的间隙参见图 4。外侧间隙 e_1 宜为 6 mm~7 mm，内侧间隙 e_2 宜为 8 mm~12 mm。垫板应平直，宽度不应小于 50 mm。

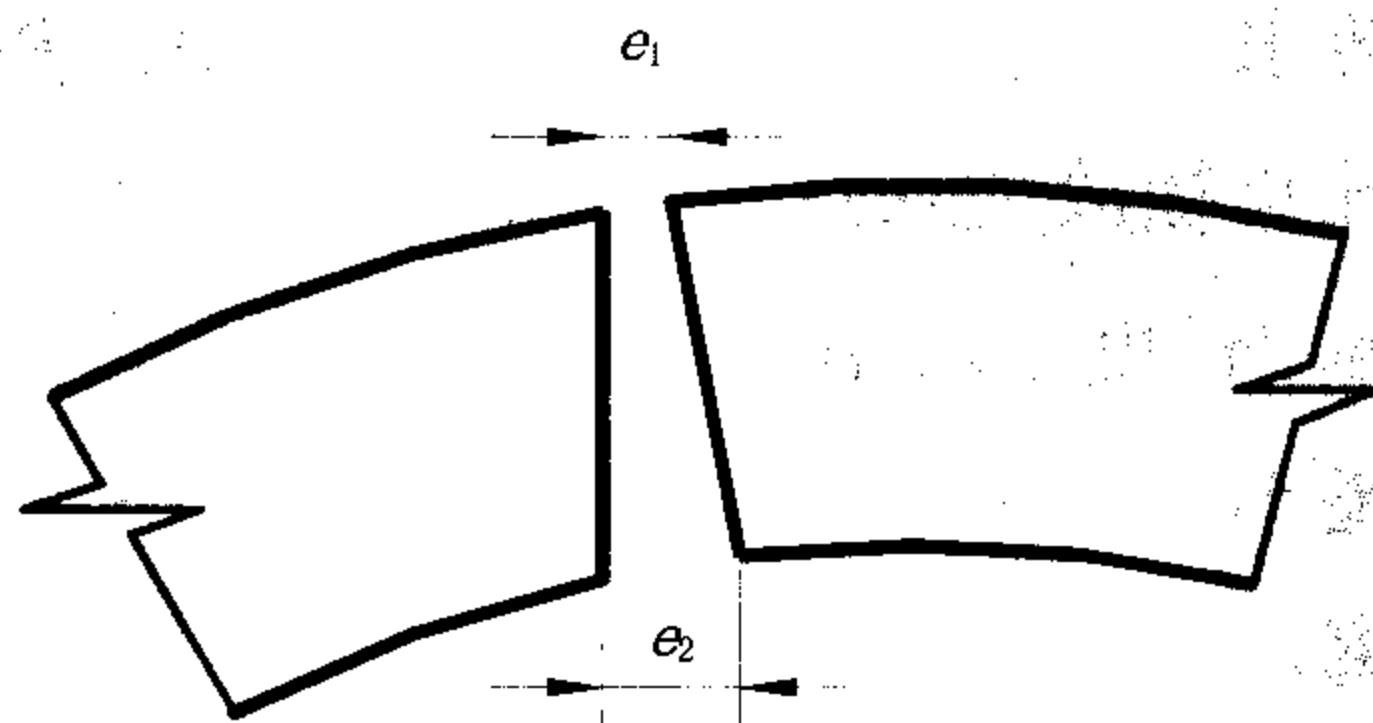


图 4 边缘板对接接头的间隙

- 7.2.7 内罐边缘板若采用双面焊接接头的形式，边缘板外侧组对间隙 e_1 宜为 1 mm~3 mm，内侧间隙 e_2 宜为 3 mm~5 mm。
- 7.2.8 厚度大于或等于 12 mm 的边缘板，应在边缘板两侧（图 2 中的 AC、BD 侧）100 mm 范围内按 JB 4730 进行超声波检测，达到 III 级标准为合格；坡口表面按 JB 4730 进行磁粉检测或渗透检测，无裂纹、无分层为合格。
- 7.3 壁板预制
- 7.3.1 低温储罐壁板排板图应符合下列规定：
- a) 各圈壁板的纵向焊缝应错开，其间距宜为板长的 1/3，且不得小于 500 mm；
 - b) 底圈壁板纵向焊缝与罐底边缘板的对接焊缝之间的距离不得小于 200 mm；
 - c) 罐壁开孔接管或开孔接管补强板边缘与罐壁纵向焊缝之间的距离不得小于 200 mm，与环向焊缝之间的距离不得小于 100 mm；
 - d) 包边角钢或承压环、加固圈、抗风圈的对接接头与罐壁纵向焊缝之间的距离不得小于 200 mm；
 - e) 壁板宽度不宜小于 1 m，长度不宜小于 2 m。
- 7.3.2 壁板预制应按排板图下料，壁板尺寸测量部位见图 5，其允许偏差应符合表 3 的规定。

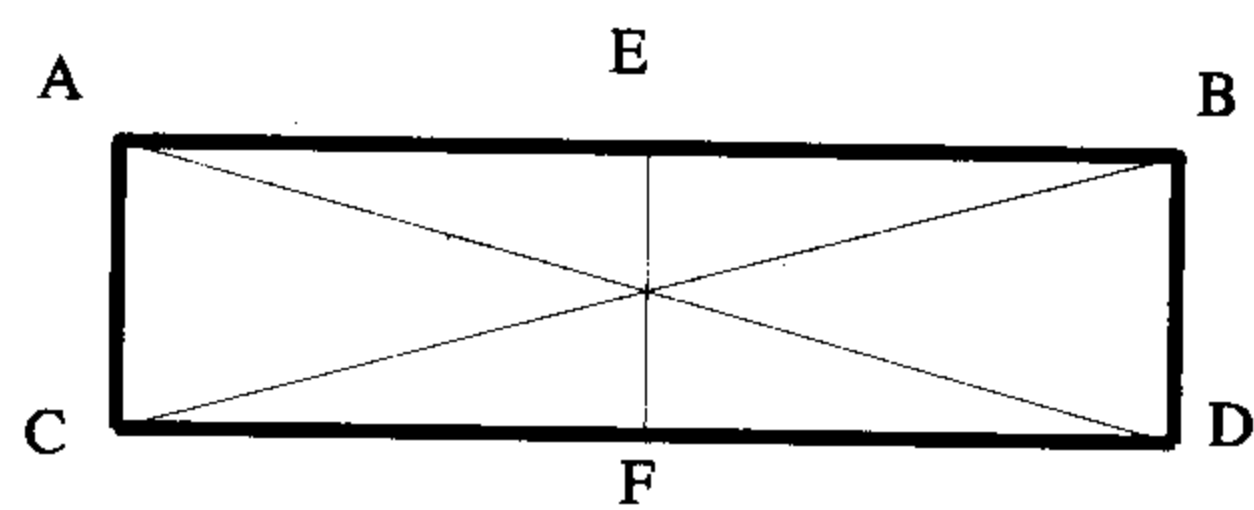


图 5 壁板尺寸测量部位
表 3 壁板尺寸允许偏差

单位: mm

测量部位		环 向 焊 缝 对 接	
		AB (CD) ≥10 000	AB (CD) <10 000
宽度 AC、BD、EF		±1.5	±1
长度 AB、CD		±2	±1.5
对角线之差 AD-BC		3	2
直线度	AC、BD	≤1	≤1
	AB、CD	≤2	≤2

7.3.3 壁板预制宜下净料，壁板的周长应按公式（1）计算：

$$L = \frac{\pi D_m}{2} - nd + na + \sum \Delta \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- a —— 每条纵向焊缝收缩量，mm；
- D_m —— 罐壁中径，mm；
- d —— 对接接头间隙，mm；
- L —— 壁板周长，mm；
- n —— 壁板数量；
- Δ —— 每块壁板切割后长度误差值，mm。

7.4 拱顶预制

7.4.1 拱顶板排板可采用矩形板式或瓜瓣板式两种形式，参见图 6。

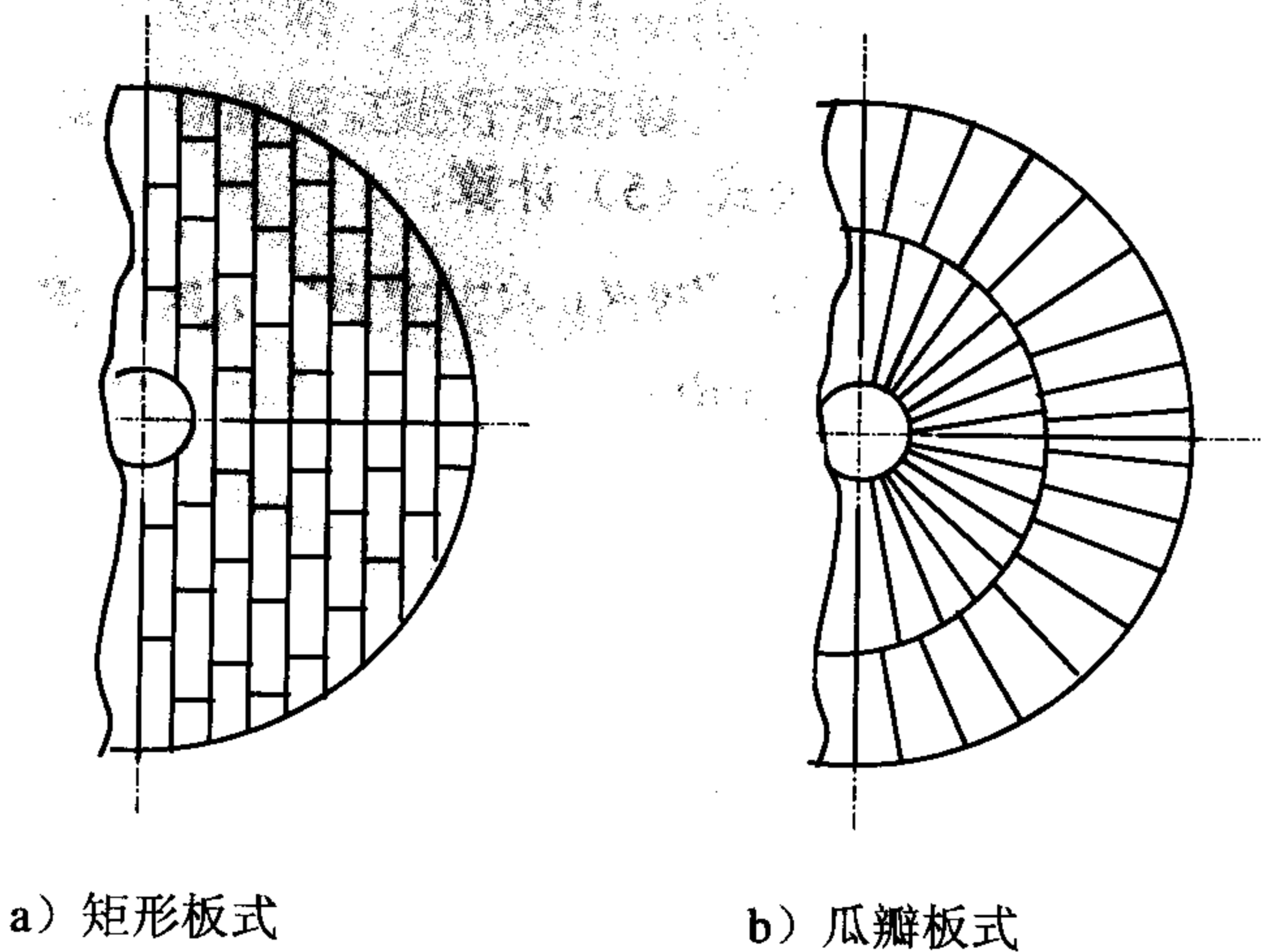


图 6 拱顶板排板形式

7.4.2 拱顶板预制应按材料规格排板下料，并符合下列规定；

- a) 拱顶板任意两条相邻焊缝的间距不得小于 200mm;
 b) 当采用搭接接头时, 最窄处搭接宽度不得小于 5 倍的板厚, 且不得小于 30mm。

7.4.3 拱顶几何尺寸及瓜瓣板几何尺寸参见图 7。瓜瓣板下料的计算方法如下:

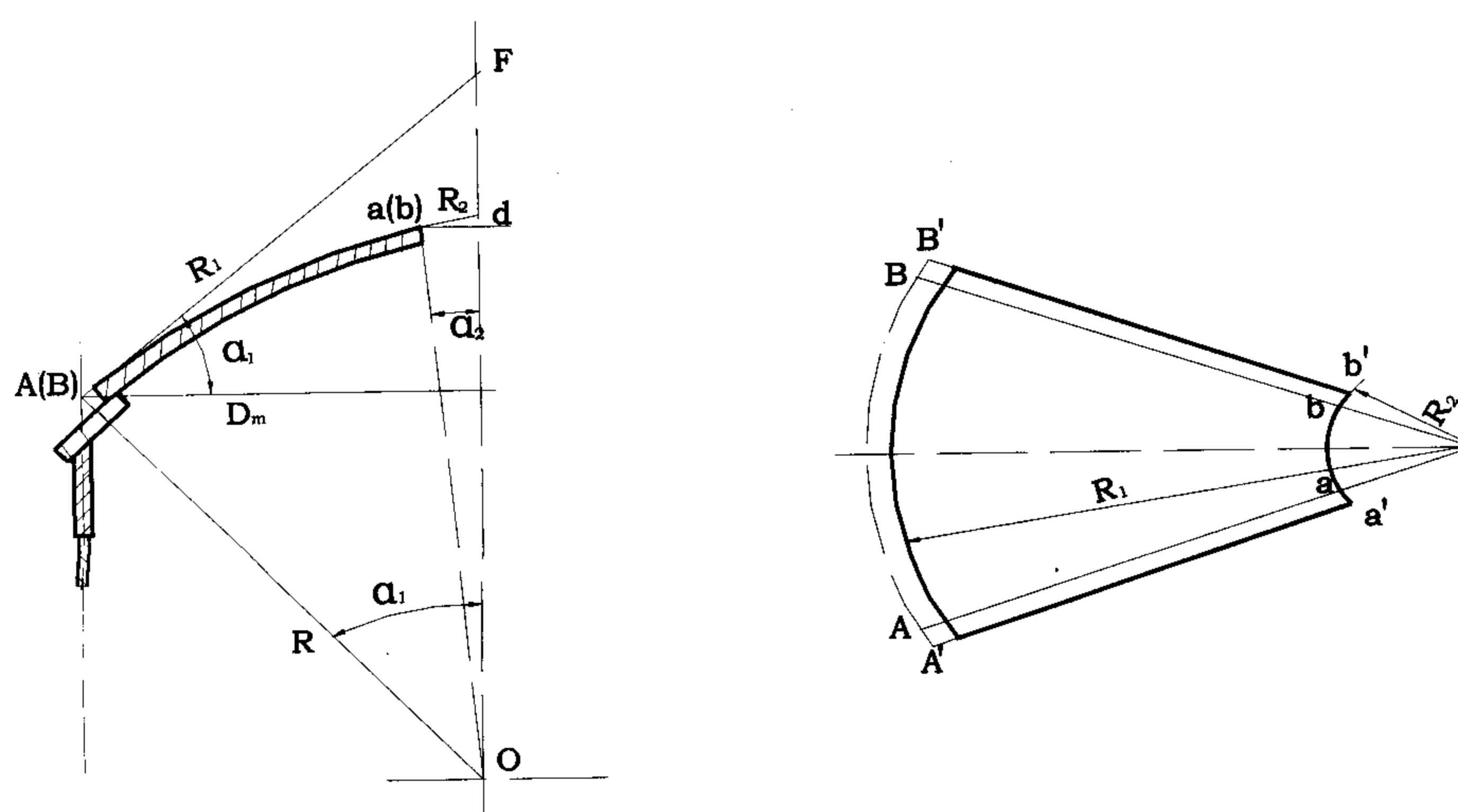


图 7 拱顶的几何尺寸及瓜瓣板尺寸

- a) 拱顶板角度按公式 (2)、公式 (3) 计算;

$$\alpha_1 = \frac{\arcsin D_m}{2R} \dots\dots\dots (2)$$

$$\alpha_2 = \frac{\arcsin d}{2R} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

D_m ——罐壁中径, mm;

d ——顶中心孔直径, mm;

R ——拱顶曲率半径, mm;

α_1 ——拱顶夹角, °;

α_2 ——拱顶中心孔夹角, °。

- b) 拱顶板展开半径按公式 (4)、公式 (5) 计算;

$$R_1 = R \tan \alpha_1 \dots\dots\dots (4)$$

$$R_2 = R \tan \alpha_2 \dots\dots\dots (5)$$

式中:

R_1 ——拱顶板展开外半径, mm;

R_2 ——拱顶板展开内半径, mm。

- c) 瓜瓣板展开尺寸按公式 (6)、公式 (7)、公式 (8)、公式 (9)、公式 (10) 计算:

$$Aa = Bb = \frac{2\pi R}{360} (\alpha_1 - \alpha_2) \dots\dots\dots (6)$$

$$\widehat{AB} = \frac{\pi D_m}{n} \dots\dots\dots (7)$$

$$\widehat{AB} = \widehat{AB} + i \cdots \cdots \cdots (8)$$

$$\widehat{ab} = \frac{\pi d}{n} \cdots \cdots \cdots (9)$$

$$\widehat{a'b'} = \widehat{ab} + i \cdots \cdots \cdots (10)$$

式中:

i ——搭接宽度, mm;

n ——瓜瓣板的块数, 取偶数。

d) 将 $A'ABB'$ 弧内移作为实际瓜瓣板外边缘线, 内移距离为罐壁中心线至拱顶板外边缘的距离。

7.4.4 每块瓜瓣板若由多块板拼接而成, 其排板形式参见图 8, 排板时应考虑到周向肋板位置。拼接时可采用对接焊缝或搭接焊缝的形式, 对接焊缝宜采用双面焊接, 焊后表面应平整。

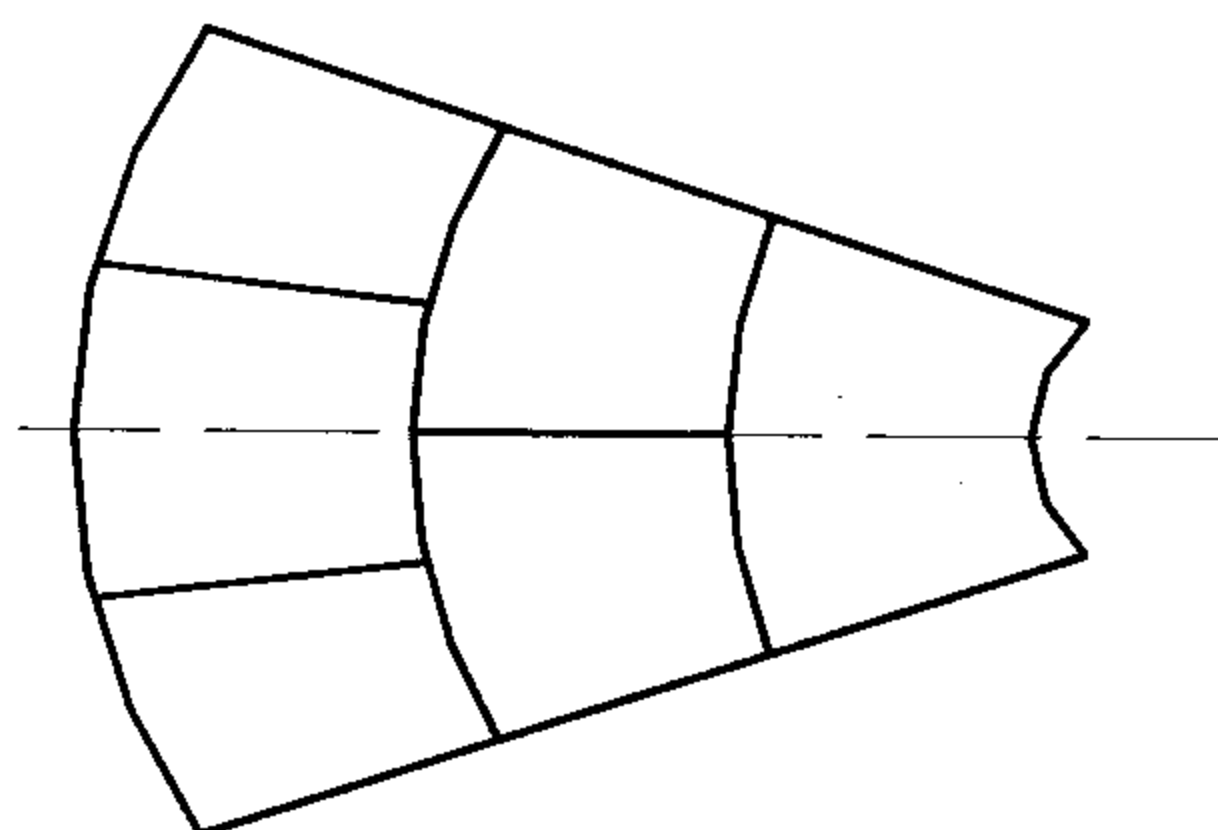


图 8 瓜瓣板排板形式

7.4.5 采用型材制作的拱顶梁, 宜用高频热煨成型, 成型后用弧形样板检查, 其间隙不得大于 2mm。

7.4.6 拱顶梁的联接形式和检验要求应执行设计文件的规定。

7.5 内悬挂顶预制

7.5.1 内悬挂顶铺板采用平板结构时, 可按条形或人字形结构排板; 采用波纹板结构时, 可按中心辐射形式排板。

7.5.2 铝合金板材或型材可采用切割锯切割, 开孔采用钻孔。

7.5.3 正装法施工的内悬挂顶骨架梁预制后宜进行预组装。

7.6 其他构件预制

7.6.1 抗风圈、加强圈等弧形构件的成型, 宜采用冷加工。若采用热煨成型的构件, 不得有过烧现象, 其厚度减薄量不应大于 1mm。

7.6.2 弧形构件成形后, 应用弧形样板检查, 其间隙不得大于 2mm; 放在平台上检查翘曲变形不得超过构件长度的 0.1%, 且不得大于 4mm。

7.6.3 抗风圈、加强圈等预制, 宜留有组装调整余量。

7.6.4 盘梯整体预制或分段预制时, 可按下列方法进行下料:

a) 计算法按公式 (11) 计算;

$$\rho = r_1(1 + \tan^2 \phi) \cdots \cdots \cdots (11)$$

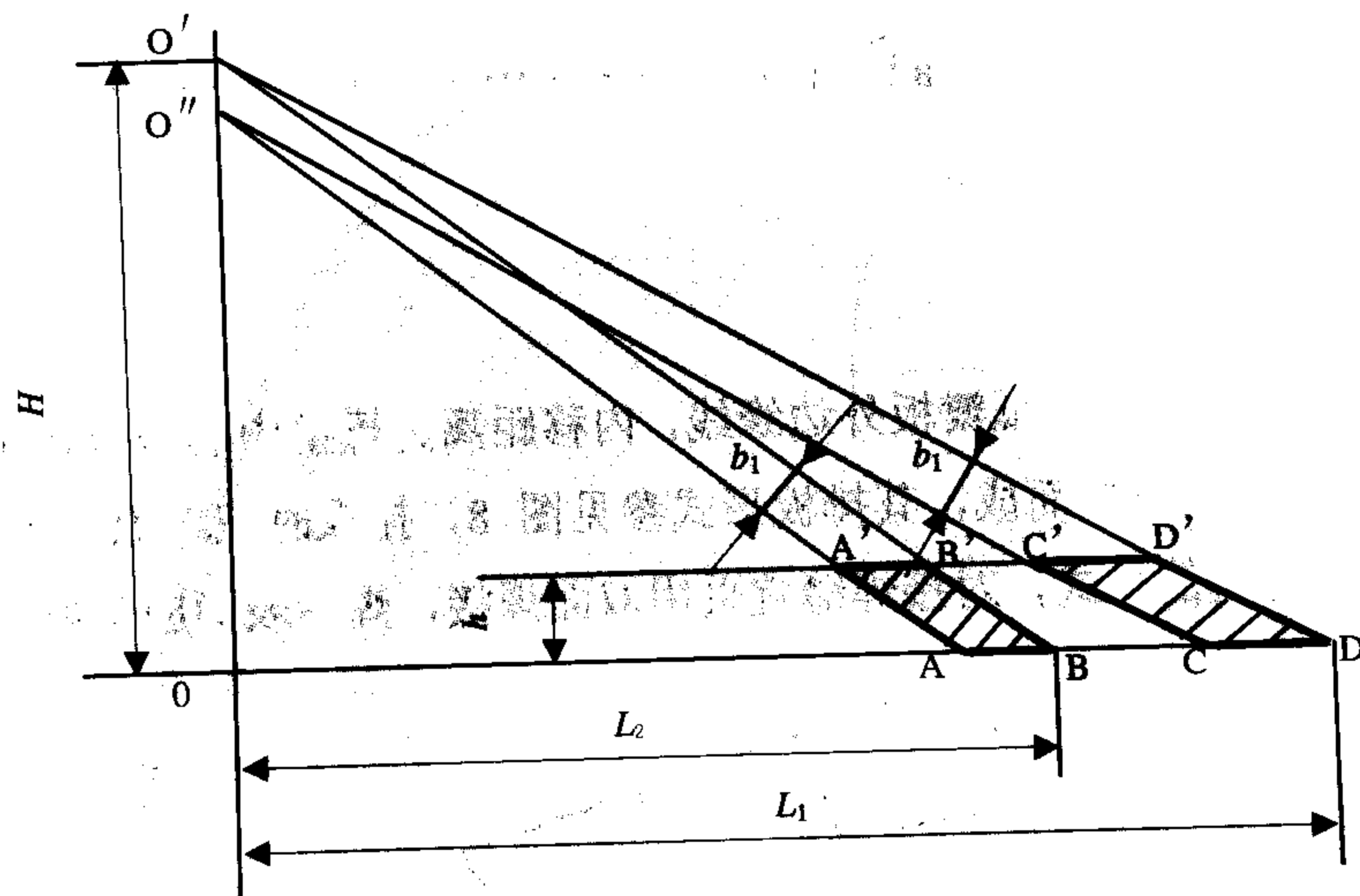
式中:

r_1 ——盘梯中心线到罐中心平面投影的距离, mm;

ρ ——盘梯曲率半径, mm;

ϕ ——盘梯螺旋上升角, $^{\circ}$ 。

b) 图解法, 参见图 9。



H —罐壁高度; L_1 —梯外侧展开弧长; L_2 —盘梯内侧展开弧长;

h —盘梯踏步高度; b_1 —盘梯侧板宽度

图 9 盘梯展开

7.7 出厂检验

7.7.1 低温储罐预制件出厂前, 应按设备位号、排板图进行编号, 并用油漆作出明显的标记。

7.7.2 构件出厂时, 应提供下列文件:

- 预制件清单 (包括预制件名称、编号、材质、规格及数量);
- 材料质量证明文件;
- 预制件质量证明文件;
- 排板图;
- 设计修改文件。

8 基础、钢筋混凝土外罐复查

8.1 基础复查

8.1.1 低温储罐安装前, 应对基础工程按设计文件的规定进行验收, 合格后方可交付安装。

8.1.2 低温储罐基础沥青砂层表面应平整密实, 无突出的隆起、凹陷及贯穿裂纹。安装前, 应对基础中心标高和表面平面度进行复查, 并应符合下列规定:

- 基础中心标高允许偏差为 ± 20 mm;
- 基础环梁平面度, 每 10 m 弧长内任意两点的高差不得大于 6 mm, 整个圆周长度内任意两点的高差不得大于 12 mm;
- 沥青砂层表面平面度, 按表 4 的规定划出同心圆并确定测量点数, 其同一圆周上测点的实际标

高与计算标高之差不得大于 12 mm。

表 4 检查沥青砂层表面平面度的同心圆直径及测量点数

油罐直径 D m	同心圆直径 m					测量点数 个				
	I 圈	II 圈	III 圈	IV 圈	V 圈	I 圈	II 圈	III 圈	IV 圈	V 圈
$D \geq 76$	$D/6$	$D/3$	$D/2$	$2D/3$	$5D/6$	8	16	24	32	40
$45 \leq D < 76$	$D/5$	$2D/5$	$3D/5$	$4D/5$	—	8	16	24	32	—
$25 \leq D < 45$	$D/4$	$D/2$	$3D/4$	—	—	8	16	24	—	—

8.1.3 预埋锚固件或地脚螺栓间距的允许偏差为±15mm，圆周半径的允许偏差为±15mm，外露高度的允许偏差 $\begin{smallmatrix} +20 \\ 0 \end{smallmatrix}$ mm。

8.2 钢筋混凝土外罐复查

8.2.1 采用钢筋混凝土结构的外罐，应经验收合格后方可交付安装。

8.2.2 内罐安装前，应对钢筋混凝土外罐底和外罐壁的几何尺寸进行复查，并应符合下列规定：

- a) 钢筋混凝土外罐底中心标高允许偏差为±20 mm，外罐底应平整，无突出的隆起、凹陷；
- b) 钢筋混凝土外罐壁直径允许偏差、高度允许偏差、垂直度允许偏差等应符合设计文件要求；
- c) 装承压环的外罐壁上表面水平度，每 10 m 弧长内任意两点的高差不得大于 6 mm，整个圆周长度内任意两点的高差不得大于 12 mm；
- d) 预留孔中心位置允许偏差为 10 mm，预埋件中心位置允许偏差为 15 mm。

9 罐底组装

9.1 一般要求

9.1.1 低温储罐安装过程中不得损坏基础，如有损坏，应及时修复。

9.1.2 外罐底或单层罐底铺设前，下表面应按设计要求涂刷防腐涂料，底板边缘 50mm 范围内不应涂刷影响焊接的防腐涂料。

9.1.3 按公式 (12) 和图 10 计算边缘板铺设外半径。

$$R_c = \frac{R_0 + na / 2\pi}{\cos \theta} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

- a ——每条焊缝收缩量，mm；
- n ——边缘板数量；
- R_c ——边缘板铺设外半径，mm；
- R_0 ——边缘板设计外半径，mm；
- θ ——基础坡度角，°。

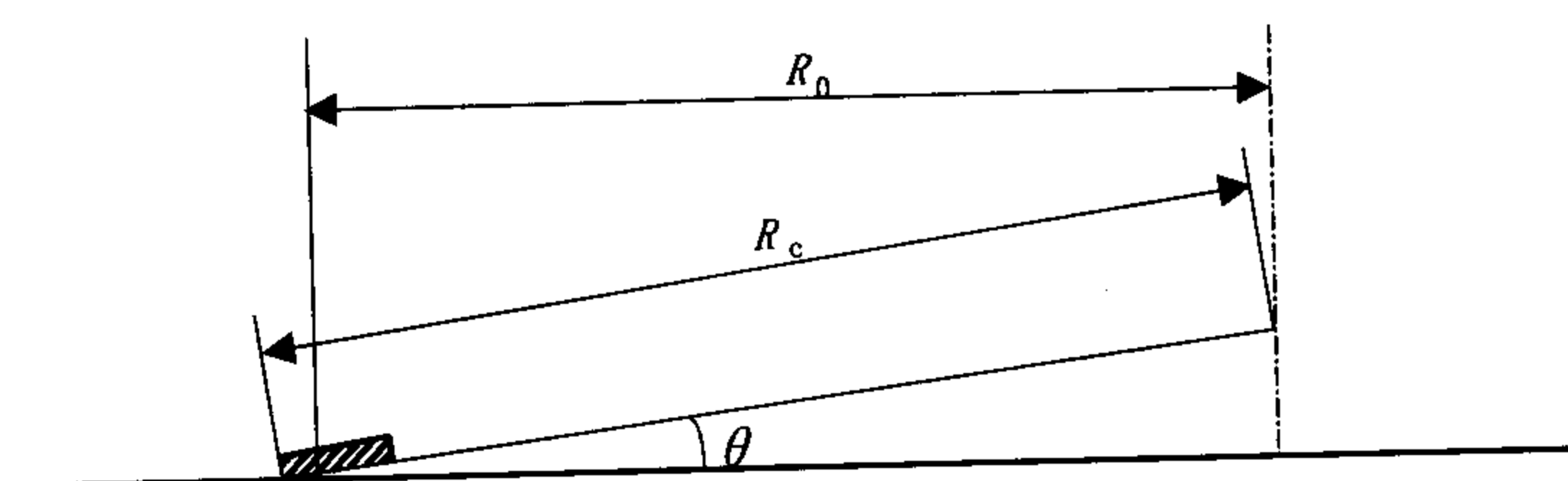
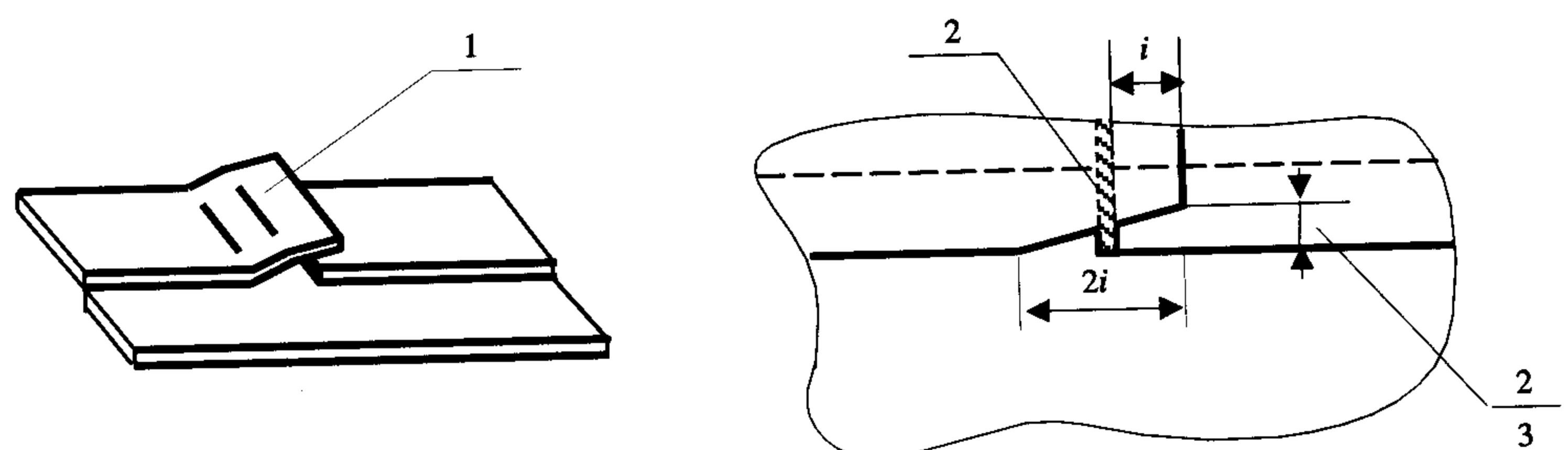


图 10 边缘板铺设外半径

- 9.1.4 按平面图标明的方位，在储罐基础上划出两条互相垂直的方位线，确定罐底中心位置。
- 9.1.5 在罐底中心板上按排板图画出十字线，将中心作出明显标记，铺设中心板，使中心板上的十字线与罐基础方位线重合。
- 9.1.6 在罐基础上以边缘板铺设外半径 R_c 为半径，画出边缘板铺设外圆周，铺设边缘板。
- 9.1.7 按排板图由罐底中心板向两端逐块铺设中间一行中幅板，从中间一行中幅板开始，向两侧逐行铺设中幅板，每行中幅板应由中间向两端依次铺设。

9.2 搭接接头罐底板的组装

- 9.2.1 罐底中幅板应搭在边缘板上。
- 9.2.2 底板搭接宽度允许偏差为 $\pm 5 \text{ mm}$ 。
- 9.2.3 搭接接头三层板重叠部分，应将上层底板切角（见图 11）。切角长度宜为搭接宽度 i 的 2 倍，切角宽度宜为搭接宽度 i 的 $2/3$ 。在上层底板铺设前，应先焊接被上层底板覆盖部分的角焊缝。



1—上层底板；2—上层底板覆盖的焊缝

图 11 底板三层钢板重叠部分的切角示意

- 9.2.4 单层低温储罐罐底和双层低温储罐内罐底，其搭接接头三层板重叠后的悬空部分，宜用与底板材质相同的三角形垫铁垫实并焊接。
- 9.2.5 底板定位焊后，所有搭接缝间隙不应大于 1 mm 。
- 9.2.6 罐底边缘板间采用对接接头形式时，其组装应执行本规程 9.3.5、9.3.6、9.3.7 条的规定。
- 9.2.7 罐底边缘板对接接头垫板若与基础环梁接触，应预先在混凝土基础表面凿出沟槽，而后放置垫板，以使边缘板与基础环梁接触良好。
- ## 9.3 对接接头罐底板的组装
- 9.3.1 在罐基础上按排板图准确画出垫板位置，铺上垫板。垫板对接焊缝下方宜加小垫板，垫板接头采用对接焊，完全焊透后磨平上表面。

- 9.3.2 罐底边缘板的对接接头垫板与基础环梁接触部位处理见本规程 9.2.7 条。
- 9.3.3 垫板铺设后，按排版图铺设底板，底板对接接头间隙宜按表 5 选用。

表 5 罐底对接接头间隙 单位: mm

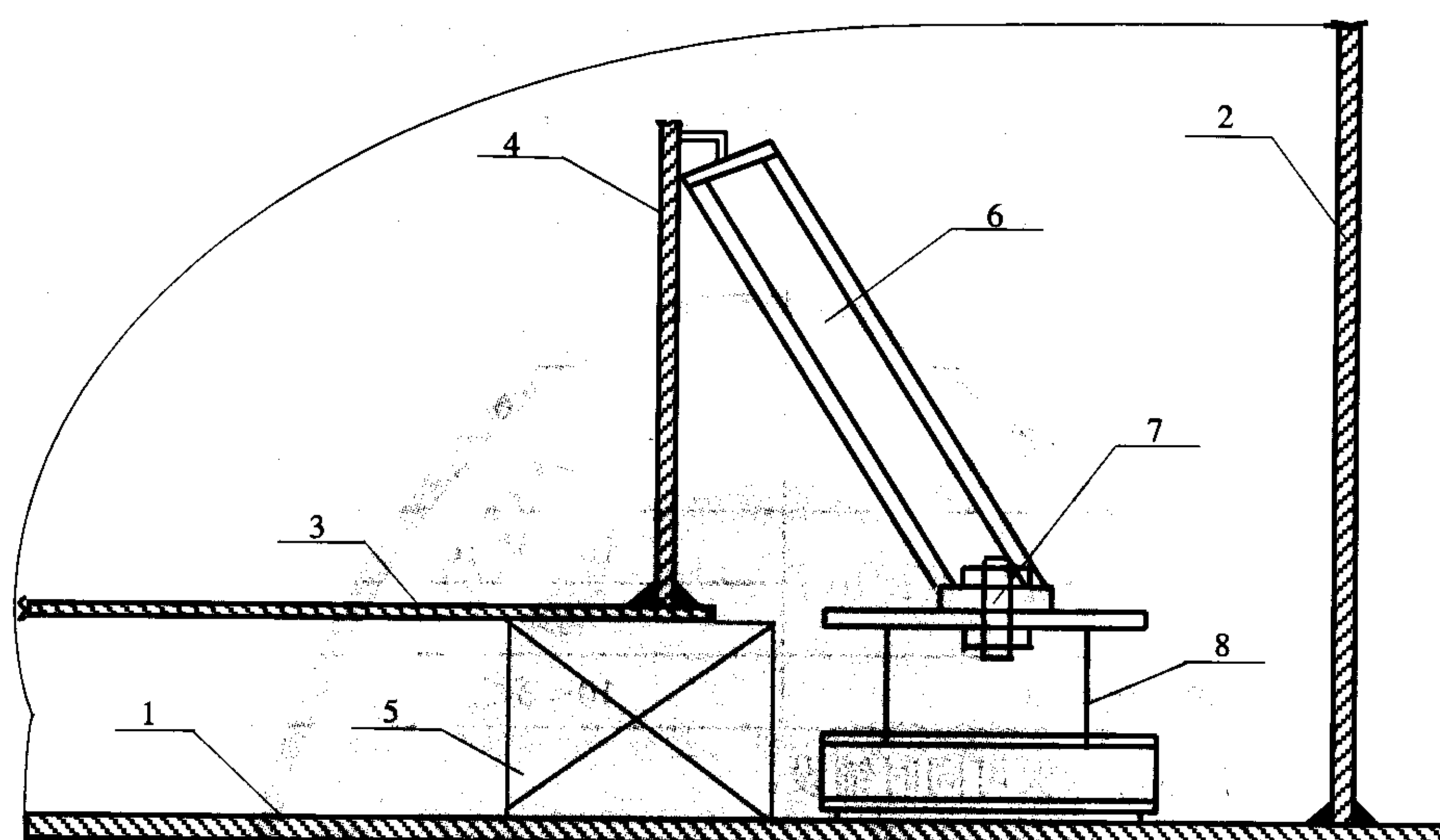
焊接方法		钢板厚度 δ	间 隙
手工焊		$\delta\leq 6$	5 ± 1
		$\delta> 6$	7 ± 1
埋弧焊	不开坡口	$\delta\leq 6$	3 ± 1
		$6<\delta\leq 10$	4 ± 1
	开坡口	$10<\delta\leq 16$	2 ± 1
		$\delta> 16$	3 ± 1
手工焊封底、埋弧焊填充盖面		$10<\delta\leq 21$	8 ± 2

- 9.3.4 底板铺设时，中幅板与边缘板可同时铺设。
- 9.3.5 底板与垫板应贴紧，其间隙不应大于 1mm，底板对接焊缝应与垫板完全焊透。
- 9.3.6 带垫板的边缘板对接焊缝应一次组对完成，对接接头组对间隙见本规程 7.2.6 条，焊接顺序和方法见本规程 13.4.2 条规定，焊后焊缝表面打磨平整，并经真空箱试漏和无损检测合格后方可进行底圈壁板与边缘板的组对。
- 9.3.7 双面焊接头形式的内罐边缘板组对间隙见本规程 7.2.7 条，焊接顺序和方法见本规程 13.4.3 条规定，焊后焊缝表面应打磨平整，焊完后将边缘板就位。焊缝经真空箱试漏和无损检测合格后方可进行底圈壁板与边缘板的组对。
- 9.3.8 在底圈壁板与边缘板的角缝焊接之后，进行边缘板与中幅板的组对和焊接。若边缘板与中幅板为对接连接时，应在切除多余的中幅板后立即进行边缘板与中幅板的组对焊接。

9.4 双层低温储罐内罐底组装

- 9.4.1 双层低温储罐内罐底一般组装程序如下：
- a) 边缘板下保冷层或临时台架施工；
 - b) 边缘板组装；
 - c) 内罐壁组装、外拱顶安装后进行中幅板下保冷层敷设；
 - d) 中幅板组装；
 - e) 中幅板与边缘板组装。
- 9.4.2 边缘板下承重保冷层为现场浇注时，应在承重保冷层浇注完并达到一定强度后，在其上铺设组装边缘板。
- 9.4.3 边缘板下承重保冷层为填装块且要求在罐底施工完毕之后安装时，可在填装块处搭设临时台架，在其上铺设组装边缘板后组装内罐壁。
- 9.4.4 临时台架的抽取和承重保冷层填装块的填装顺序和要求如下：
- a) 根据施工技术文件制作多组提升架；
 - b) 在内罐壁安装后安装多组提升架（见图 12）；
 - c) 检查提升架安装焊接的牢固程度，提升架螺母的松紧灵活程度和自锁性；
 - d) 均匀提升组装在一起的内罐壁和内罐底边缘板；
 - e) 抽取临时台架，安装承重保冷层填装块；

f) 均匀回落内罐壁和内罐底边缘板。



1—外罐底；2—外罐壁；3—内罐底；4—内罐壁；5—临时台架；6—支撑；7—螺栓；8—支架

图 12 提升架安装

9.4.5 内罐底中幅板下的保冷层施工和中幅板的组装，应在外拱顶安装完毕并做好防雨措施后进行。

9.4.6 内罐底施工进料从罐壁施工预留的出门进入，出门要做好防雨水措施。

10 罐壁组装

10.1 一般要求

10.1.1 壁板组装前，应逐张检查壁板预制质量，合格后方可组装。

10.1.2 罐壁组装可采用搭脚手架或利用移动挂架进行。

10.1.3 罐壁组装过程中，应采取防止风力等可能造成罐壁失稳破坏的措施。

10.1.4 拆除组装用的工卡具时，不得损伤母材，如有损伤应按本规程 13.5 条要求进行修补。

10.1.5 钢板表面的焊疤应打磨平滑。

10.2 罐壁组装

10.2.1 底圈壁板的组装圆半径按公式 (13) 计算。

$$R_b = \frac{R_i + na/2\pi}{\cos\theta} \quad (13)$$

式中：

a ——每条纵向焊缝焊接收缩量，mm；

n ——底圈壁板纵向焊缝数；

R_b ——底圈壁板组装圆半径，mm；

R_i ——储罐内半径，mm；

θ ——基础坡度角，°。

10.2.2 以底圈壁板组装圆半径 R_b 为半径，在罐底板上画出圆周线，按排板图画出底圈每张壁板的安装位置线，在组装圆内侧 100 mm 处画出检查圆线，并做出标记。

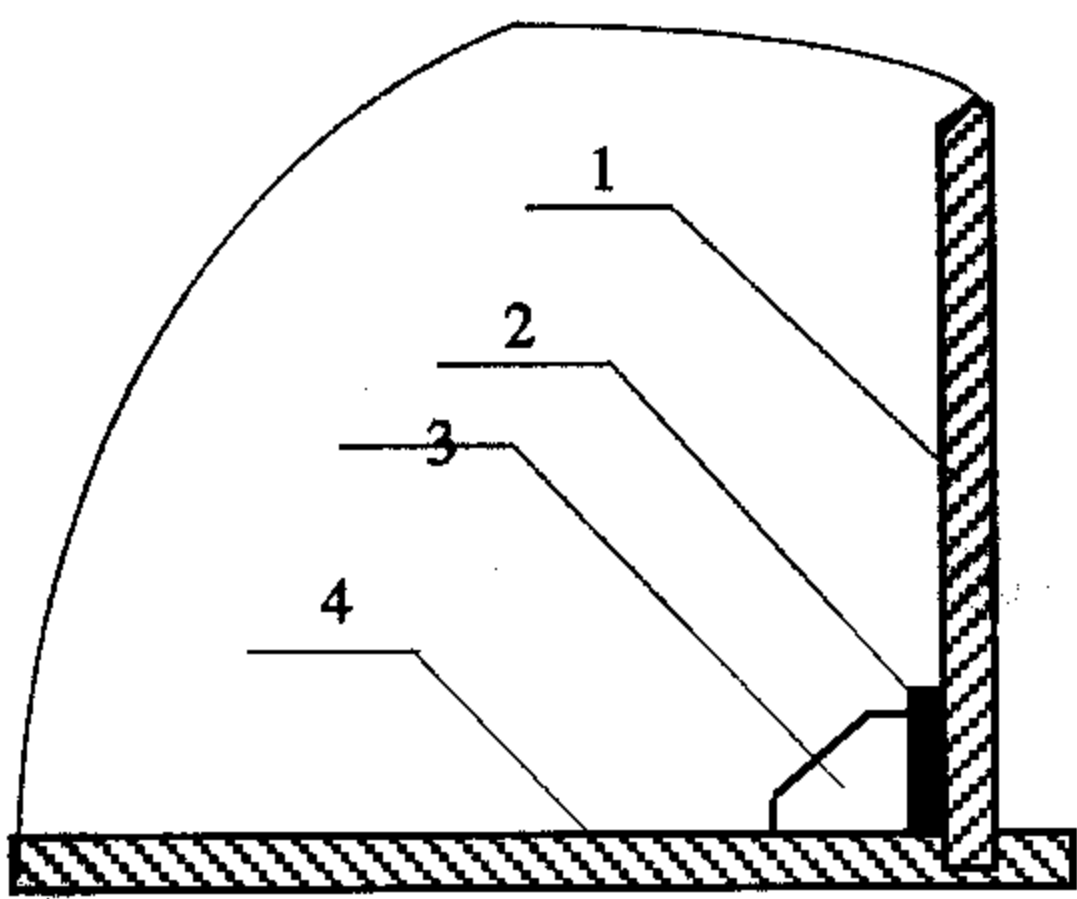
10.2.3 在壁板上按组装夹具位置划线，并定位焊接夹具。

10.2.4 底圈壁板组装前，在组装圆的内侧焊上挡板，档板与组装圆间应留出组装垫板厚度。组装底圈壁板时，在壁板与挡板之间加组装垫板，参见图 13。组装垫板厚度按公式（14）计算：

$$\delta = \frac{na}{2\pi} \dots\dots\dots(14)$$

式中：

- a*——每条纵向焊缝焊接收缩量，mm；
- n*——底圈壁板数量；
- δ*——组装垫板厚度，mm。



1—底圈壁板；2—组装垫板；3—挡板；4—底板

图 13 底圈壁板组装

10.2.5 底圈壁板组装，应符合下列规定：

- a) 相邻两壁板上口水平度允许偏差不大于 2 mm，在整个圆周上任意两点水平允许偏差不大于 6 mm；
- b) 壁板的铅垂度允许偏差宜不大于 3 mm；
- c) 壁板错边量允许偏差应符合本规程 10.2.17 条的规定；
- d) 底圈壁板内表面任意点半径允许偏差应符合表 6 规定。

表 6 底圈壁板内表面任意点半径的允许偏差

储罐直径 m	半径允许偏差 mm
$D \leq 45$	±19
$45 < D \leq 76$	±25
$D > 76$	±32

10.2.6 底圈壁板调整合格后抽取组装垫板，进行纵向焊缝焊接。

10.2.7 在底圈壁板纵向焊缝焊接后，顺序组装底圈壁板以上各圈壁板。

10.2.8 按排板图画上圈壁板纵向焊缝在下圈壁板上的安装位置线，安装龙门板，利用逼杠固定和调整上圈壁板（见图 14），逼杠间距宜小于 2 m。

10.2.9 在逼杠与壁板间加垫板，保证壁板纵向焊缝焊接后罐的直径。若在壁板内侧设置逼杠时，垫板厚度应按公式（14）计算；若在壁板外侧设置逼杠时，垫板厚度还应考虑两圈壁板的厚度差。

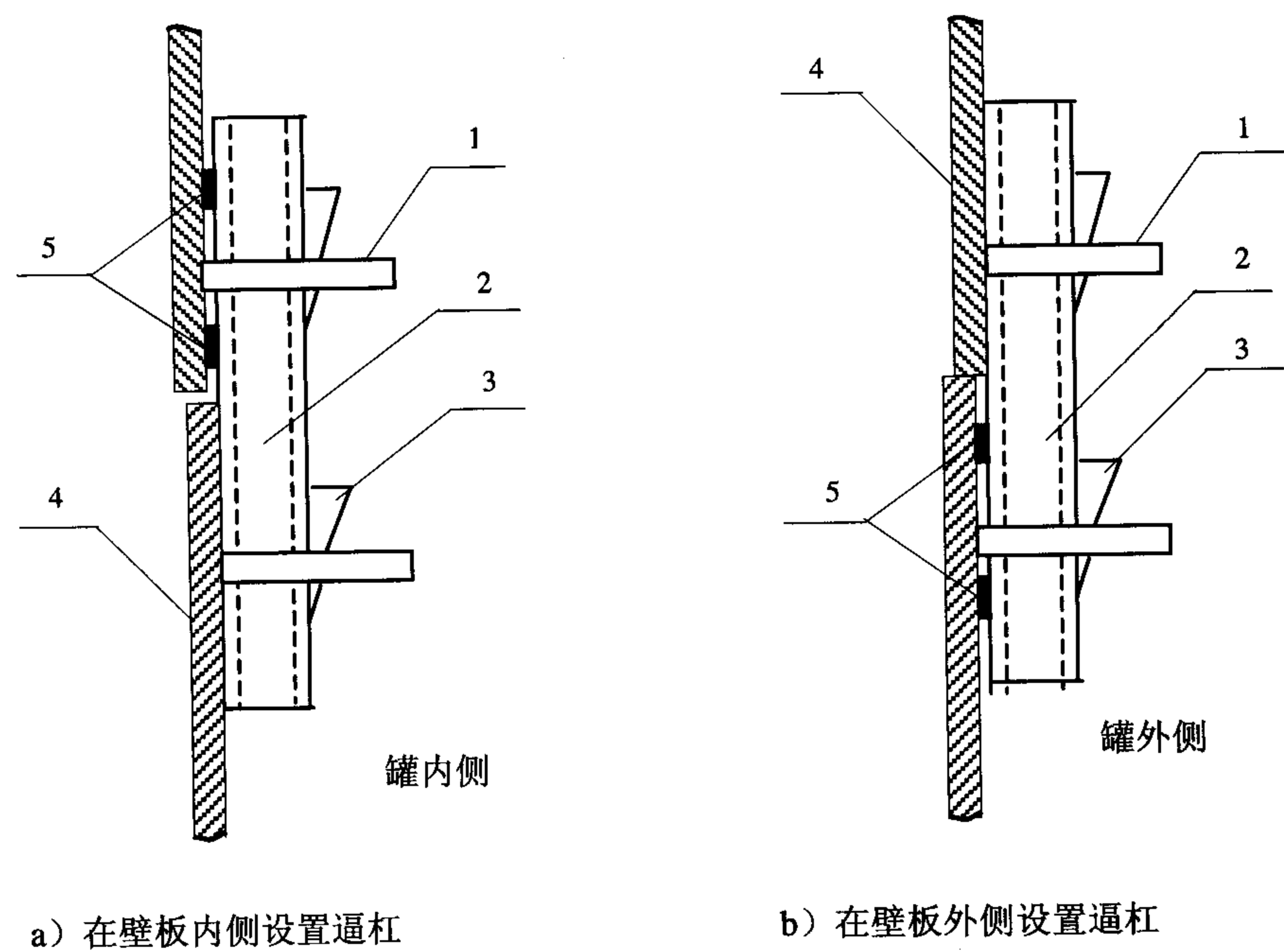


图 14 壁板组装示意

- 10.2.10 壁板组对时，纵向焊缝若采用手工焊，可用定位焊定位；若采用自动焊，应采用夹具定位，并应加设定位板。
- 10.2.11 整圈壁板调整合格后，抽取组装垫板进行纵向焊缝焊接。
- 10.2.12 纵向焊缝焊接后，拆除纵向焊缝组对的弧形板，进行环向焊缝组对。环向焊缝组对时，宜按圆周等分进行。
- 10.2.13 组对环向焊缝的定位焊间距宜为 300mm，其长度宜为 50mm。T 形焊缝应定位焊，其长度宜为 100 mm，组对完后进行焊接。
- 10.2.14 壁板上的加强圈和抗风圈，宜在本圈壁板纵向焊缝和本圈壁板与下圈壁板的环向焊缝焊接完并经无损检测合格后组对，在上圈与本圈壁板间的环向焊缝焊接后再进行焊接。
- 10.2.15 内罐壁板纵向焊缝和环向焊缝组对时可采用图 15 的组对卡具。

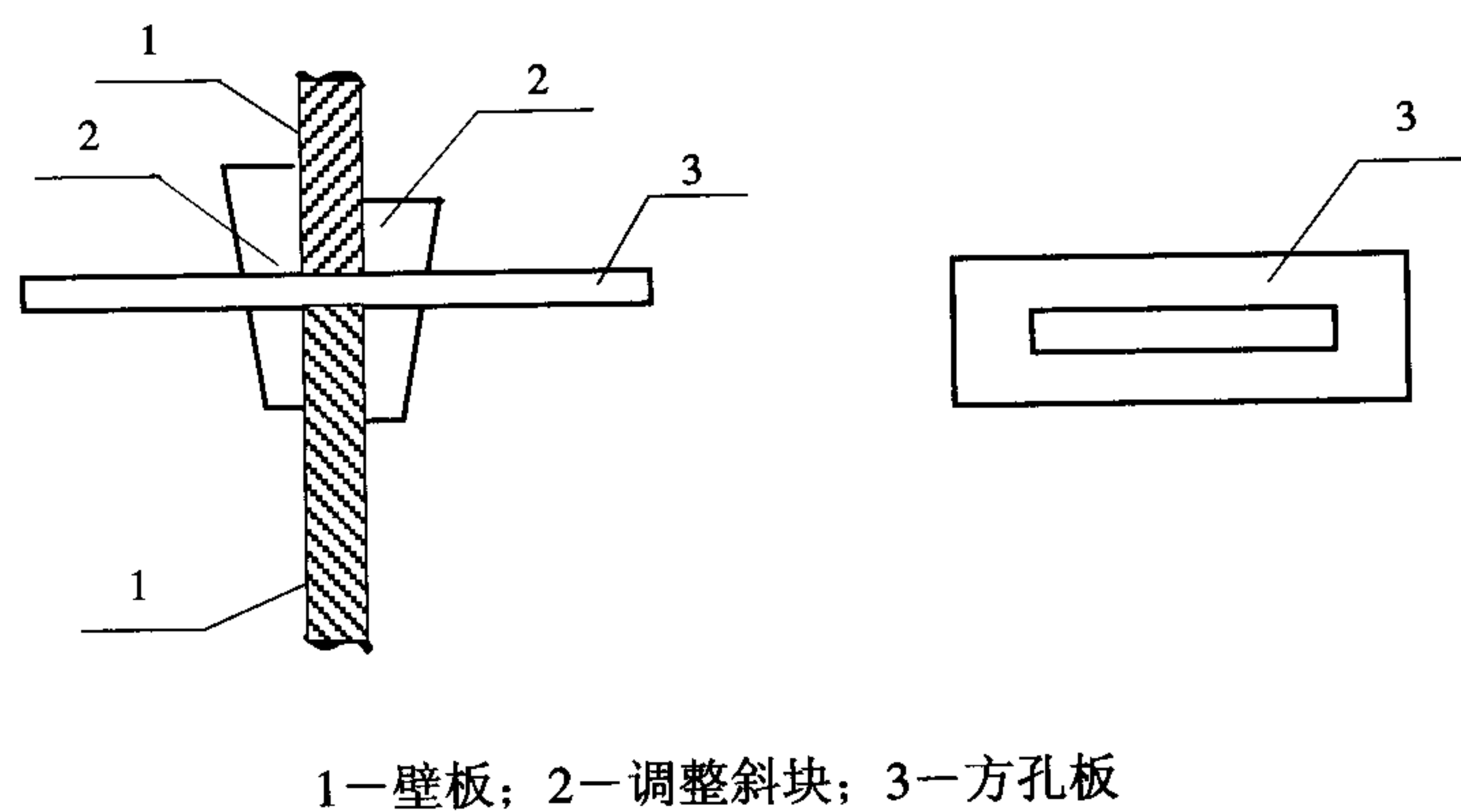
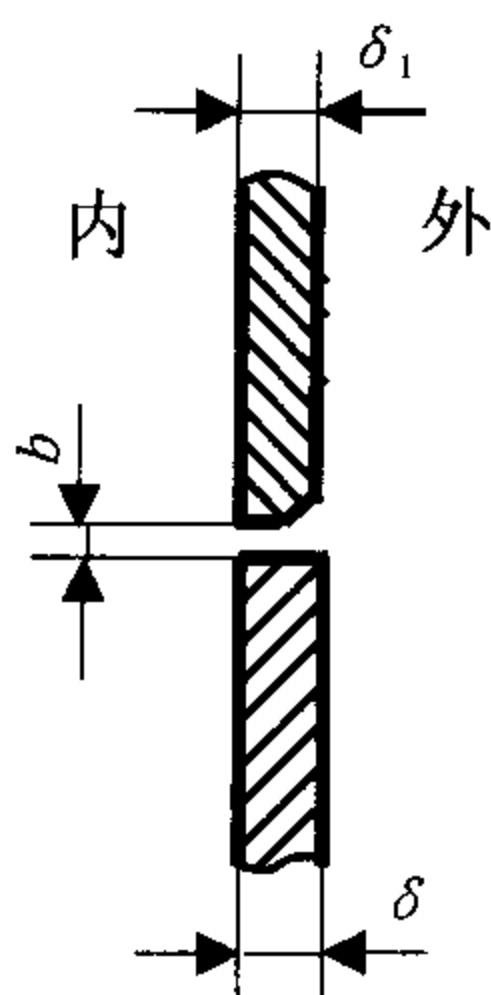
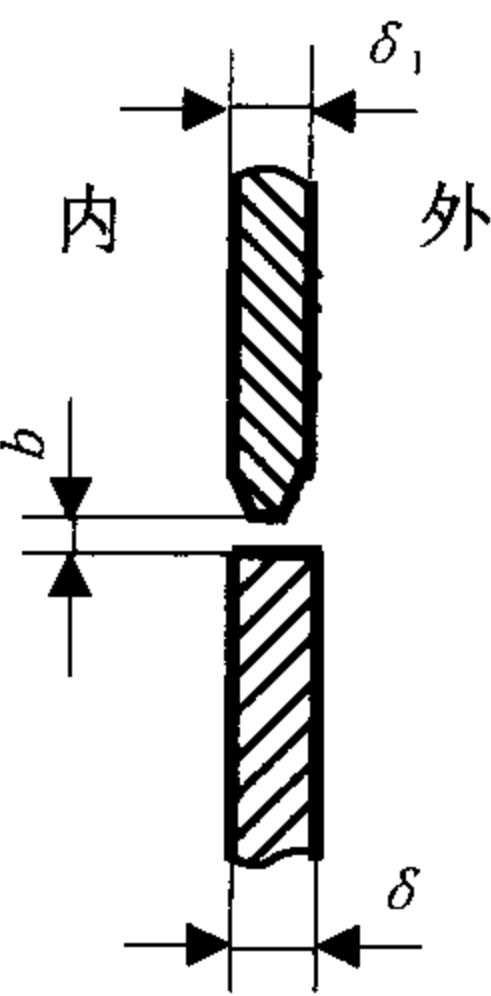
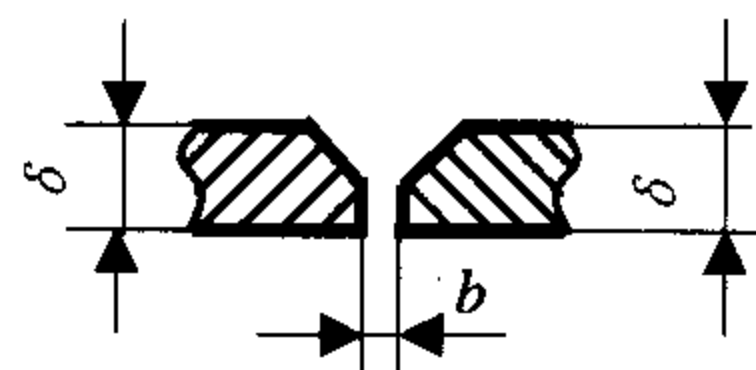
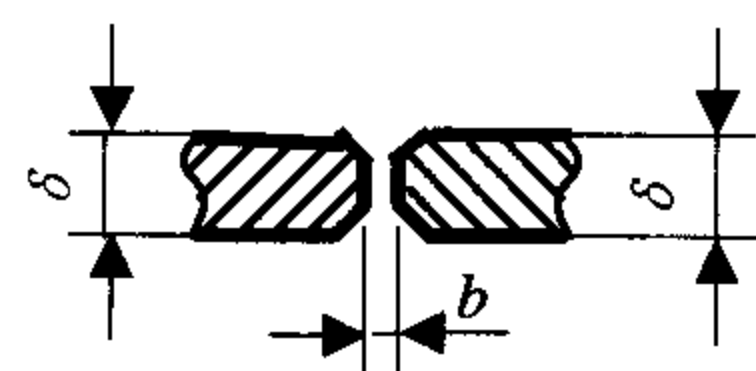


图 15 壁板焊缝组对

- 10.2.16 壁板环向对接接头和纵向对接接头的组装间隙参见表 7 和表 8。

表 7 壁板环向对接接头的组装间隙

单位: mm

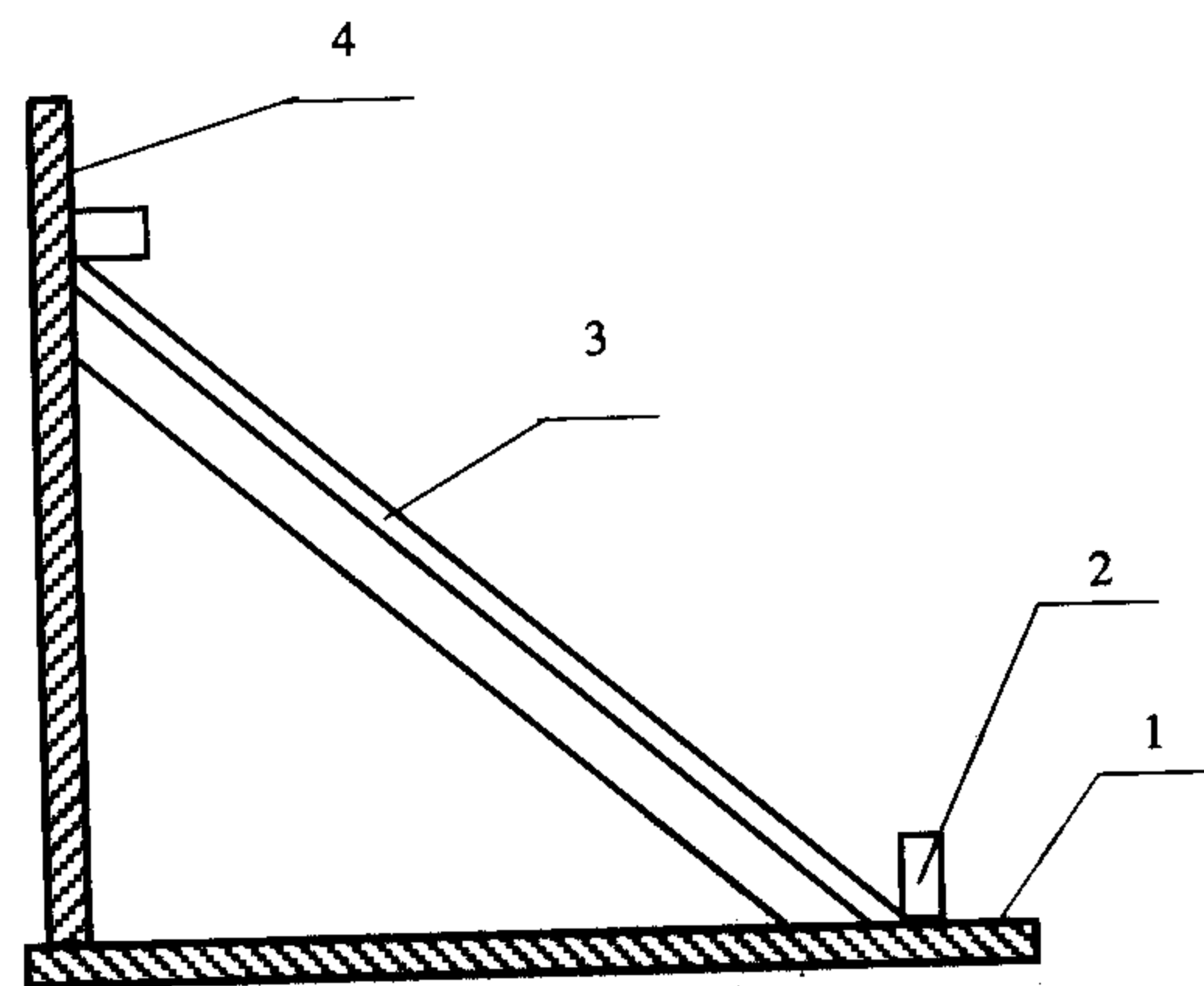
坡口形式	手工焊		埋弧焊	
	板厚 δ_1	间隙 b	板厚 δ_1	间隙 b
	$\delta_1 \leq 15$	2^{+1}_0	$12 \leq \delta_1 \leq 20$	0~3
	$15 < \delta_1 \leq 20$	3 ± 1		
	$12 < \delta_1 \leq 38$	2	$20 < \delta_1 \leq 38$	0~3
	$\delta \leq 9$	2 ± 1	$12 < \delta \leq 38$	5 ± 1
	$9 < \delta \leq 12$	2^{+1}_0		
	$12 < \delta \leq 38$			

10.2.17 各圈壁板内表面应平齐，壁板组装时错边量应符合下列规定：

- a) 纵向焊缝错边量：
 - 1) 当板厚小于或等于 10mm 时，不应大于 1mm；
 - 2) 当板厚大于 10mm 时，不应大于板厚的 1/10，且不应大于 1.5mm；
- b) 环向焊缝错边量：
 - 1) 当上圈壁板厚度小于 8 mm 时，不应大于 1.5 mm；
 - 2) 当上圈壁板厚度大于或等于 8 mm 时，不应大于板厚的 1/5，且不应大于 3 mm。

10.2.18 底圈壁板与边缘板的组对宜按下列程序进行：

- a) 按底圈壁板焊后实际周长，换算出底圈壁板内半径，以检查圆为基准进行底圈壁板与罐底板的组对，组对定位焊宜在罐外侧进行；
- b) 组对后，在罐内侧安装斜撑（见图 16）。当采用自动焊时，斜撑的长度应按焊机外形尺寸确定；



1—底板；2—挡板；3—斜撑；4—底圈壁板

图 16 底圈壁板临时斜撑安装

- c) 焊接底圈壁板与边缘板的角焊缝；
 - d) 底圈壁板与边缘板焊接后，将边缘板未焊部分找平并焊接；
 - e) 组对边缘板与中幅板并焊接，焊接后拆除斜撑。
- 10.2.19 用弦长不小于 1 m 的样板检查壁板焊缝的角变形，应符合表 9 的规定；用长度不小于 1 m 的直线样板检查壁板的局部凹凸变形，应符合表 10 的规定。

表 9 壁板焊缝的角变形 单位：mm

板 厚 δ	角 变 形
$\delta \leq 12$	≤ 10
$12 < \delta \leq 25$	≤ 8
$\delta > 25$	≤ 6

表 10 壁板的局部凹凸变形 单位：mm

板 厚 δ	壁板的局部凹凸变形
$\delta \leq 25$	≤ 13
$\delta > 25$	≤ 10

10.2.20 壁板组装若采用脚手架,其搭设高度应满足壁板的组对、焊接和检验需要，同时满足内、外罐壁的施工顺序的需要。

- 10.2.21 在内外罐壁底圈壁板上设置一临时出入门，临时出入门的设置和更换程序如下：
- a) 内、外底圈壁板在相同方位各留一张壁板不焊接，待第二圈壁板施工完，各用一张比壁板尺寸稍大、厚度相近、曲率相同的钢板作为临时壁板，与预留位置的邻近壁板用连接板焊接固定；
 - b) 在临时壁板两侧设置工字钢予以加固后移开正式壁板；
 - c) 在内、外临时壁板上开设临时出入门；
 - d) 罐内各工序施工完后，用正式壁板替换下临时壁板，并进行焊接和检验。

10.2.22 临时出入门的设置也可在内外底圈板的相同方位各留一张壁板不焊接，在相邻壁板加固后移走不焊接的壁板作为出入门，罐内施工完毕后再安装上这张预留板并去除加固设施。

10.2.23 外罐壁板组装后组装焊接锚固设施与外罐壁板的联接部分。

11 罐顶组装

11.1 中心架法

11.1.1 外罐顶组装可采用中心架法，即在储罐中心组装中心架，放置外罐顶中心顶环后，安装外罐拱顶梁，铺设罐顶板。

11.1.2 中心架法组装程序如下：

- a) 在内罐第二圈壁板组焊后组装中心架，组装后用缆绳固定；
- b) 安装外罐顶承压环；
- c) 将中心顶环吊装到中心架上，找准标高和中心；
- d) 将外罐拱顶弧形梁逐根或成组对称地吊装就位，两端分别与中心顶环及罐壁与罐顶间的承压环焊接；
- e) 在拱顶弧形梁间安装联系梁，按排板图铺设组焊罐顶板。

11.1.3 中心架制作成钢构架形式，应有足够的强度和刚度，组装时应严格控制中心位置和标高。

11.1.4 内悬挂顶的组装方法如下：

- a) 满堂红脚手架组装法，即在调整好顶标高和平整度的满堂红脚手架上组装内悬挂顶，通过吊杆将内罐顶悬挂在外罐拱顶梁下，固定后拆除脚手架和中心架；
- b) 卷扬机吊装法，即在罐底上组装内悬挂顶，在外罐顶上开孔，外罐顶下设置滑轮组，罐外设置卷扬机，将内悬挂顶吊装就位后固定。

11.2 气升法

11.2.1 罐顶组装也可采用气升法，即内外罐壁施工后，在外罐底上组装外罐拱顶和内罐悬挂顶，安装密封装置和平衡装置，气升法提升安装罐顶。

11.2.2 气升法的组装程序如下：

- a) 内外罐壁施工完，并临时加高内罐壁；
- b) 在外罐底上制作安装拱顶梁支撑胎具，设置组装用小中心架，吊装中心顶环；
- c) 截断拱顶梁，在支撑胎具上组装拱顶梁；
- d) 罐顶板吊装、组对、焊接；
- e) 铺设内悬挂顶，并将其悬挂在外罐顶上；
- f) 安装气升密封装置；
- g) 设置排雨水装置；
- h) 安装外罐壁承压环或包边角钢，在外罐壁上安装气升限位吊挂装置；
- i) 安装气升平衡装置；
- j) 临时连接锚固结构并紧固地脚螺栓；
- k) 安装风机、风道、风量调节装置、风压测量装置等；
- l) 气升并固定外罐顶和内悬挂顶；
- m) 组对焊接拱顶梁，铺设剩余罐顶板；
- n) 拆除内罐临时壁板。

11.2.3 加高内罐壁用的临时壁板应与正式壁板焊接，其上边沿标高应比拱顶下边沿在此位置的实际

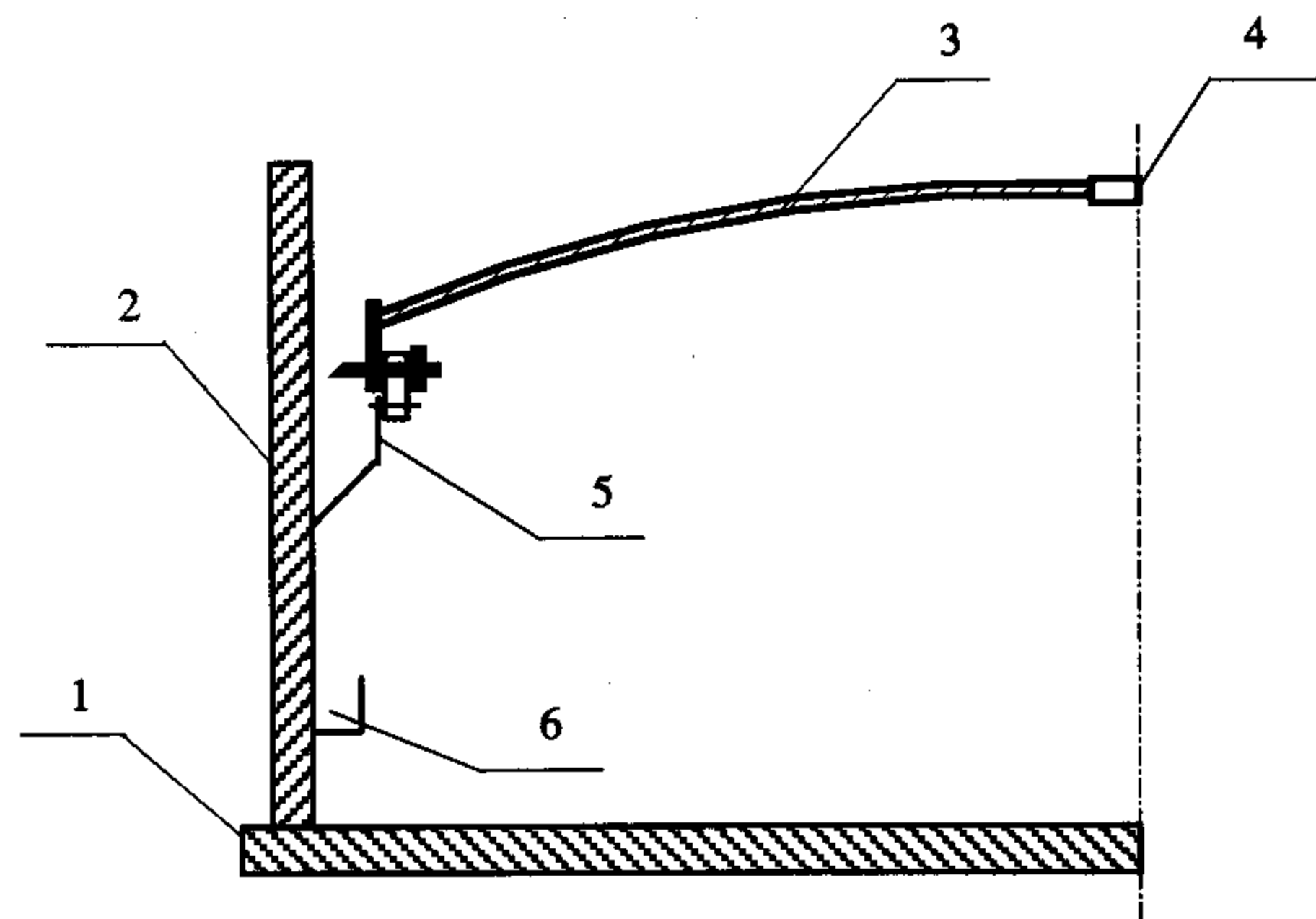
应有标高低 100 mm~200 mm。

11.2.4 组装内外罐顶用的小中心架高度应满足外罐拱顶与内悬挂顶间距要求。

11.2.5 截断后的拱顶梁应与内罐壁有 100 mm~200 mm 的间距。

11.2.6 外罐顶板应与拱顶梁及中心顶环焊接牢固。

11.2.7 气升密封装置和接雨水槽结构参见图 17。

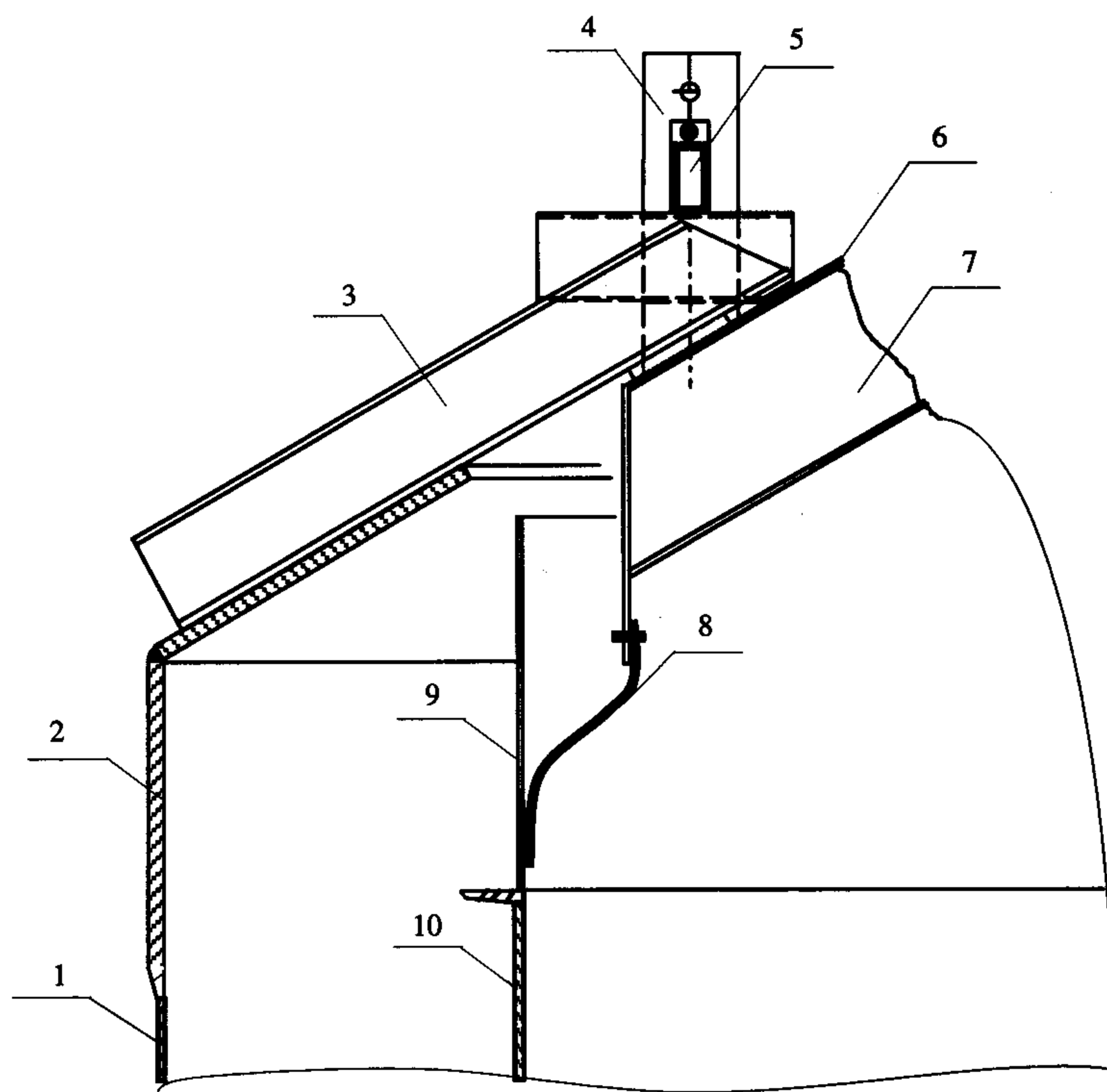


1—内罐底；2—内罐壁；3—外罐拱顶；4—中心顶环；5—软性密封；6—接雨水槽

图 17 气升密封装置示意

11.2.8 雨水应引出罐外，防止密封装置上部积水流入罐底。

11.2.9 气升限位吊挂装置参见图 18。



1—外罐壁；2—外罐壁承压环；3—限位吊挂杆（与承压环焊接）；4—限位吊挂板（与罐顶钢梁焊接）；
5—活动栓；6—罐顶板；7—罐顶钢梁；8—软性密封圈；9—临时内罐壁板；10—内罐壁

图 18 限位吊挂装置示意

11.2.10 气升所需最小风压值按公式(15)计算

$$P_{\min} = \frac{k(m_1 + m_2)g}{A_1 - fA_2} \dots\dots\dots (15)$$

式中:

A_1 ——内罐截面积, m^2 ;

A_2 ——密封装置与内罐壁摩擦部分的面积, m^2 ;

f ——密封装置与钢板间的摩擦系数;

g ——重力加速度, 9.8 m/s^2 ;

k ——超载系数, 取 1.05;

m_1 ——拱顶、内悬挂顶的质量和(不计切除部分质量), kg ;

m_2 ——密封装置、排水装置、平衡装置和吊挂板的质量, kg ;

$P_{\min}$ ——气升法所需最小风压, Pa 。

11.2.11 气升法允许的最大风压值, 应小于气压试验压力。

11.2.12 气升所需最大风量按公式(16)计算。

$$Q_{\max} = k_2 \left[\frac{PV}{P_0} + \frac{(P - P_0)V_0}{P} \right] \times \frac{1}{t} \dots\dots\dots (16)$$

式中:

k_2 ——泄露系数, 取 3~4;

P ——风压, Pa ;

P_0 ——大气压, Pa ;

$Q_{\max}$ ——最大风量, m^3/h ;

t ——气升过程所需时间, 取 4 h;

V ——罐顶气升后增加的容积, m^3 ;

V_0 ——初始容积, m^3 。

11.2.13 根据本规程 11.2.10、11.2.11、11.2.12 条要求选取鼓风机。风道从人孔或临时壁板通入罐内, 并设置风量调节阀及“U”型管压差计。

11.2.14 气升前应检查临时连接的锚固结构和地脚螺栓的紧固情况。

11.2.15 罐顶气升到位后, 应立即用限位吊挂装置固定, 并组对焊接预先截断的拱顶梁。

11.2.16 预先截断的拱顶梁的焊接接头应采用全焊透的型式, 并保证接头强度。

12 附件安装

12.1 罐体的开孔接管安装

12.1.1 接管开孔中心位置偏差不得大于 10 mm, 接管外伸长度的允许偏差应为 $^{+10}_0 \text{ mm}$ 。

12.1.2 开孔补强板的曲率, 应与罐体一致。

12.1.3 开孔接管法兰的密封面应完好, 不得有焊瘤和划痕, 法兰密封面与接管轴线的垂直度偏差不应大于法兰外径的 1%, 且不得大于 3 mm, 法兰的螺栓孔应跨中安装。

12.2 其他附件安装

12.2.1 除设计文件另有规定外，罐内竖向管线的铅垂度允许偏差不得大于管高的 1/1 000，且不得大于 10 mm。

12.2.2 盘梯踏步板宽度应一致，踏步间距应相同。

12.2.3 低温储罐需安装铭牌时，应在铭牌上同时标明内外罐的主要参数。

13 焊接

13.1 一般规定

13.1.1 低温储罐施焊前，其焊接接头应进行焊接工艺评定，并符合本规程 3.5 条规定。

13.1.2 施焊焊工应按本规程 3.3 条要求的取得资格后，方可从事低温储罐相应部位的焊接。

13.1.3 焊接设备、仪表、仪器以及参数调节装置应定期检定和校验，满足焊接工艺的要求。焊接 9Ni 钢或 5Ni 钢时，若采用交直流两用焊条，宜选用交流焊机。

13.1.4 焊接前应检查组对质量，坡口形式及尺寸应符合焊接工艺要求，坡口表面和两侧至少 20 mm 范围内的油、漆、垢、锈及毛刺应清理干净。

13.1.5 焊接环境应符合下列规定：

a) 焊接时的环境温度：

1) 碳素结构钢不低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

2) 低合金钢不低于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

3) 标准抗拉强度下限值大于或等于 540 MPa 的钢、低温钢不低于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

b) 焊接时的风速超过下述规定时，应有防风设施：

1) 焊条电弧焊时风速小于 8 m/s；

2) 气体保护焊时风速小于 2 m/s；

c) 焊接电弧 1 m 范围内的相对湿度小于 90%；

d) 雨、雪环境下无防护措施不得进行焊接。

13.1.6 预热温度应根据焊接的材质、厚度、接头拘束度及环境温度等因素，经焊接工艺评定确定。普通碳素钢、低合金钢的预热温度宜符合表 11 的规定。

表 11 焊前预热温度

钢材种类		钢板厚度 mm	焊接环境温度 ℃	预热温度 ℃
普通碳素钢		$20 \leq \delta \leq 30$	$-20 \sim 0$	50~100
		$30 < \delta \leq 38$	$-20 \sim 0$	75~125
低合金钢	$\sigma_b < 540 \text{ MPa}$	$25 < \delta \leq 32$	$-10 \sim 0$	75~125
		$32 < \delta \leq 38$	$-10 \sim \text{常温}$	100~125
	$540 \text{ MPa} \leq \sigma_b < 590 \text{ MPa}$	$20 < \delta \leq 25$	0~常温	75~125
		$25 < \delta \leq 32$		100~150
		$32 < \delta \leq 38$		125~175

注： σ_b 为钢材标准抗拉强度下限值。

13.1.7 预热范围应以焊缝中心为基准，两侧各不小于 100 mm，且保证焊缝两侧均匀受热，防止局部过热。预热温度应在距焊缝中心 50 mm 处对称测量。

13.1.8 定位焊、工卡具焊接应采用经评定合格的相应焊接工艺，并由合格焊工担任。

13.1.9 接管、补强圈与罐壁、罐顶的接头形式应采用全焊透接头形式。

13.2 焊材管理

13.2.1 焊接材料应做好标识，分区存放，分类管理。

13.2.2 焊条使用前应按焊条说明书的要求进行烘干，烘干后的焊条，应保存在 100℃~150℃ 的恒温箱中随用随取；焊条烘干时应作烘干记录，记录上应有焊条牌号、批号、烘干温度和时间；焊条发放应作好记录，记录中应填有领用焊工姓名和使用部位。

13.2.3 焊条领出后，应在保温筒内存放使用，且存放时间不得超过 4 h，否则应重新烘干。重复烘干次数不得超过 2 次。

13.2.4 焊丝使用前，表面的锈、油污等应清理干净。

13.2.5 埋弧焊的焊剂应按要求烘烤后使用。

13.3 焊接要求

13.3.1 焊条电弧焊起弧端应采用后退起弧法，收弧时应将弧坑填满，并用砂轮磨去弧坑缺陷。多层焊的层间接头应错开 30 mm~50 mm。

13.3.2 焊件表面不得有电弧擦伤。焊接时，不得在焊件表面引弧、熄弧。

13.3.3 双面焊的对接接头在背面焊接前应清根，低温钢焊缝清根宜采用机械打磨法。

13.3.4 低温钢构件的角焊缝应至少焊两层。

13.3.5 管线接头底层焊道宜采用钨极氩弧焊焊接。

13.3.6 低温钢焊接过程应严格控制焊接线能量，要求在施工技术文件规定的范围内选用较小的焊接线能量。焊条电弧焊时，可依据允许的线能量范围确定每根焊条焊接的焊道长度，进行线能量的控制。

13.4 焊接顺序和方法

13.4.1 低温储罐的焊接，应采用合理的焊接顺序。

13.4.2 罐底带垫板边缘板的焊接，应先焊靠外边缘 300 mm 部位的焊缝，且由里向外焊接。焊接时可采用垫高焊缝等反变形措施，剩余焊缝应在罐底与罐壁连接的角焊缝焊完后，在中幅板与边缘板的连接焊缝焊接前施焊。边缘板焊缝宜沿圆周对称隔缝施焊，焊缝外端宜加引弧板。

13.4.3 内罐双面焊的边缘板，采用垫高边缘板先焊接下方焊道的方法施焊，边缘板的焊缝一次焊完。边缘板焊缝宜沿圆周对称隔缝施焊，焊缝外端宜加引弧板。

13.4.4 罐底中幅板采用搭接接头手工焊时，宜采用分段退焊或跳焊法，先焊短焊缝，后焊长焊缝，焊接长缝时，由中心向两侧分段退焊。

13.4.5 罐底中幅板采用对接接头时，宜采用手工焊打底埋弧自动焊填充。手工焊打底施焊顺序与方法同本规程 13.4.4 条，埋弧自动焊宜采用隔缝同向焊。

13.4.6 底圈壁板与边缘板连接的角焊缝，宜在底圈与上一圈壁板间环向焊缝焊完后施焊。

13.4.7 底圈壁板与边缘板的焊接程序和要求：

a) 采用手工焊时，宜先焊内侧第一层，再焊外侧焊缝，最后焊接内侧其余层；

b) 采用自动焊时，先进行内侧第一层手工焊，再进行外侧第一层手工焊和其余层的自动焊，最后

进行内侧自动焊；

c) 手工焊焊工应均匀分布，沿同一方向采用分段退焊或跳焊法施焊。

13.4.8 罐底中幅板与边缘板的连接焊缝应在罐底与罐壁连接的角焊缝和剩余的边缘板间的焊缝及中幅板焊缝焊完后施焊。焊工应均匀分布，沿同一方向采用分段退焊或跳焊法施焊。

13.4.9 罐壁的焊接，应先焊纵向焊缝，后焊环向焊缝，即焊完相邻两圈壁板的纵向焊缝后，再焊其间的环向焊缝。

13.4.10 罐壁纵向焊缝采用手工焊时，底层焊道宜采用分段退焊或跳焊法。

13.4.11 罐壁纵向焊缝采用自动焊时，应自下而上焊接，底圈壁板下部 300mm 应采用手工焊接。

13.4.12 采用手工焊焊接环向焊缝时，焊工应均匀分布，并沿同一方向施焊；采用自动焊时，焊机应均匀分布，并沿同一方向焊接。

13.4.13 矩形排列的罐顶板宜采用分段退焊或跳焊法，先焊短焊缝，后焊长焊缝，焊接长焊缝时应由中心向两侧分段退焊。

13.4.14 瓜瓣排列的罐顶板，应先焊瓜瓣内拼接焊缝，再焊瓜瓣间径向焊缝，最后焊环向焊缝。焊接瓜瓣间径向焊缝时，应采用隔缝对称焊接，并由中心向两端分段退焊。

13.5 修补

13.5.1 钢板表面下述缺陷应进行修补：

- a) 低温钢板表面所有机械划伤、电弧擦伤、焊疤及去除工卡具后的凹坑等任何深度的缺陷；
- b) 非低温钢板表面存在的深度超过 0.5 mm 的缺陷。

13.5.2 钢板表面缺陷修补应符合下列规定：

- a) 低温钢板表面缺陷及深度超过 0.5mm 的非低温钢板表面缺陷，应打磨平滑；
- b) 打磨后的钢板实际厚度应大于或等于钢板设计厚度扣除负偏差；
- c) 缺陷打磨后的钢板实际厚度不满足 b) 项要求时，应进行补焊，补焊后打磨平滑。

13.5.3 焊缝缺陷的修补应符合下列规定：

- a) 焊缝表面的超标缺陷应进行打磨消除，磨除缺陷后的焊缝表面不应低于母材的表面，否则应进行补焊，补焊后焊缝表面应打磨成平缓面；
- b) 焊缝两侧不符合本规程表 12 要求的咬边和焊趾裂纹，应进行打磨消除，磨除后的钢板实际厚度应符合本规程 13.5.2 条 b)、c) 项的要求；
- c) 焊缝内部的超标缺陷，清除的深度不宜超过板厚的 2/3，当缺陷仍未清除时，应焊接修补后，从另一侧清除。低温钢焊缝缺陷，宜采用机械打磨方法清除，并进行渗透检测，确认无缺陷后方可进行补焊；
- d) 焊缝的补焊，应按照施工技术文件的要求进行，焊缝的补焊长度不应小于 50 mm。自动焊焊缝采用手工焊补焊时，手工焊应按本规程本规程 3.5 条的规定进行焊接工艺评定；
- e) 补焊后的焊缝应按原检验方法及合格标准进行检验；
- f) 同一部位的返修次数不宜超过两次。返修次数超过两次时，应经项目技术总负责人批准；
- g) 低温钢焊缝补焊的部位、次数和检验结果应作记录。

14 保冷

14.1 一般要求

14.1.1 低温储罐保冷结构、型式、材料应符合设计文件规定。施工方法应根据结构、型式和材料在施工技术文件中明确。

14.1.2 保冷材料应做好防水保护，保持干燥。

14.1.3 砂子填装前，应测定粒度和含水率。粒度符合设计文件规定，含水率不超过 1%（重量）。

14.1.4 当环境相对湿度超过 90%或环境温度低于 5℃时不能进行保冷材料的装填。

14.1.5 施工过程要做好防水防潮措施，保持罐内干燥。收工时将孔洞、临时出入门用防雨布密封。

14.2 罐底保冷

14.2.1 底层铺设干砂垫层，厚度应符合设计文件要求，整平后用水平尺或水准仪测量，2m 内允许偏差为 $\pm 3\text{mm}$ 。

14.2.2 保冷层采用泡沫玻璃，层间铺设沥青毡时，毡间应对接。

14.2.3 内罐壁板下罐底保冷层顶层铺设珍珠岩混凝土圈作为承重圈时，珍珠岩混凝土圈与泡沫玻璃之间铺沥青毡。

14.2.4 承重圈采用的预制珍珠岩混凝土填装块且能预先安装时，安装完填装块可直接在其上铺设罐底边缘板后安装内罐壁；不能预先安装时，可在珍珠岩混凝土填装块的位置设置临时台架，在其上铺设罐底边缘板后安装内罐壁。施工完边缘板和内罐壁后做保冷时，用提升架均匀抬高内罐，更换临时台架，更换工作应在外罐顶安装完毕后进行。

14.2.5 珍珠岩混凝土块间应填装 50mm 厚（压缩到 10mm）的低温玻璃棉。

14.2.6 采用现场浇注珍珠岩混凝土承重圈时，应搭设防雨棚分段浇注，浇注后制作防水设施。

14.2.7 珍珠岩混凝土承重圈无论是用珍珠岩块填装或者是现场浇注，其上表面平面度在每 10m 弧长内任意两点的高差不应大于 6mm，整个圆周长度内任意两点的高差不应大于 12mm。

14.2.8 罐底其余部分保冷层铺设应符合下述规定：

- a) 按设计文件规定在混凝土承重圈内侧沿周向贴敷的低温玻璃棉，应在砌筑其余部分泡沫玻璃时将其压缩至设计厚度；
- b) 泡沫玻璃砖块间应紧密，对接间隙不应超过 2mm，平面度偏差为 $\pm 3\text{mm}$ ；相邻两层泡沫玻璃砖长宽方向的错缝不少于砖长 30%或与下一层成 90° 铺设；
- c) 在最后一层泡沫玻璃上铺防潮薄膜（如聚乙烯、聚丙烯、聚脂等），膜间搭接应不少于 500mm；
- d) 最上层铺设干砂层，干砂层与混凝土承重圈平齐，整平后的平面度在 3m 范围内应不超过 3mm。

14.2.9 现场浇注的保冷层应按设计文件规定制作测定抗压强度用的试块和导热系数用的试块。

14.2.10 罐底保冷施工完后，内、外罐之间部分应采取保护措施，避免在后续施工中受到损坏。

14.3 罐壁保冷

14.3.1 罐壁保冷应在罐体试验完成后进行。

14.3.2 在罐壁上按设计文件要求排列固定销钉。若采用胶接法固定销钉，则罐壁应干净。

14.3.3 在固定销钉上挂铺低温玻璃棉，用自粘性铝条固定并密封接缝。低温玻璃棉分层自上而下铺设，层间接缝应错开 500mm 以上。最外层的低温玻璃棉带有铝箔时，铝箔朝向外罐。

- 14.3.4 低温玻璃棉压缩到设计文件规定厚度后，应将固定销钉弯曲 90° 并固定。
- 14.3.5 用自粘性铝条密封外层低温玻璃棉的对接缝，固定低温玻璃棉底端。
- 14.3.6 安装内罐壁上端的悬挂系统。
- 14.3.7 安装玻璃布，保证设计文件规定的搭接宽度，并用夹具密封或用不锈钢丝缝合。
- 14.3.8 在内、外罐壁间分层充填珍珠岩粉，每层厚度宜为 3m。每层充填完后应对珍珠岩粉进行振捣，使密实度达到设计文件要求，并粉充填至填料孔止。
- 14.4 罐内管线保冷
- 14.4.1 管线保冷层应采用对接接缝分层包扎，对接缝应紧密，层间对接缝应错开布置。
- 14.4.2 丝网保护加强层应用不锈钢丝缝合。
- 14.4.3 穿越悬挂顶的管线保冷时，管线和悬挂顶之间的缝隙应用玻璃布包扎牢固。
- 14.4.4 竖向管线的保冷材料应用不锈钢丝悬挂于外罐顶，以防下沉。
- 14.4.5 穿越外罐顶的管线应在管线与套管之间用保冷材料填实。
- 14.5 内悬挂顶保冷
- 14.5.1 内悬挂顶保冷层的铺设应在罐内管线保冷完成后进行。
- 14.5.2 保冷层施工时，应先铺设防潮薄膜，防潮薄膜间搭接应不少于 500mm。
- 14.5.3 内悬挂顶采用多层低温玻璃棉保冷时，相邻两层的对接缝应错开 250mm 以上，最后一层的对接缝用自粘铝条保冷密封后，用铆钉和钢带安装边缘低温玻璃棉，并用玻璃布封闭所有缝隙处。
- 14.5.4 低温玻璃棉覆盖层安装后不得踩踏或放置重物。
- 14.5.5 内悬挂顶采用膨胀珍珠岩粉作保冷层时，应分层压实。

15 检查和试验

15.1 焊缝外观检查

- 15.1.1 焊缝应去除渣皮、飞溅物，清理干净焊缝表面后，方可进行焊缝外观质量检查。
- 15.1.2 焊缝外观质量应符合表 12 的规定，并不得有裂纹、气孔、夹渣和弧坑等缺陷。

表 12 焊缝外观质量 单位: mm

检查项目				允许偏差值
咬边	低温钢			不允许
	非低温钢	深度		0.5
		连续长度		100
		焊缝两侧总长度		0.1 L
对接焊缝 余高	罐壁	纵向 焊缝	$\delta \leq 12$	2
			$12 < \delta \leq 25$	3.0
			$\delta > 25$	4.0
		环向 焊缝	$\delta \leq 12$	2.5
			$12 < \delta \leq 25$	3.5
			$\delta > 25$	4.5

表 12 焊缝外观质量 (续) 单位: mm

检查项目	检查部位			允许偏差值
对焊焊缝 余 高	罐 底			2.0
	罐内接管			$1+0.1B$, 且 ≤ 3
对接焊缝 凹 陷	低温钢			不允许
	非低 温钢	纵向焊缝		不允许
		环向 焊缝	深 度	0.5
			连续长度	100
			总长度	$0.1 L$
角焊缝焊脚尺寸不足	全 部			不允许
注 1: L —焊缝长度。 注 2: B —焊缝宽度。				

15.2 焊缝无损检测及严密性试验

15.2.1 焊缝无损检测, 当设计文件无规定时按本规程 15.2.2、15.2.3 条进行。

15.2.2 罐底焊缝应进行下列检测和试验:

- a) 罐底所有焊缝, 包括罐底与罐壁连接的角焊缝, 应采用真空箱检漏法进行严密性试验。单层低温储罐罐底焊缝和双层低温储罐内罐底焊缝, 应在充水试验前、后各进行一次真空箱法严密性试验; 双层低温储罐的外罐底焊缝, 在罐底保冷层施工前进行一次真空箱法严密性试验;
- b) 罐底严密性试验的负压值应大于或等于 53kPa。试验时应有足够的照明, 以目视无渗漏为合格;
- c) 边缘板对接焊缝外端 300 mm 范围内, 应进行射线检测;
- d) 罐底板三层钢板重叠部分的搭接接头焊缝或对接接头的 T 形焊缝沿三个方向各 200mm 范围内, 在根部焊道焊完后应进行渗透检测; 全部焊完后, 应进行渗透检测或磁粉检测;
- e) 罐壁与罐底连接的内侧角焊缝, 在储罐充水试验前, 应进行 100%渗透检测或磁粉检测。单层低温储罐或双层低温储罐内罐的罐壁与罐底连接的角焊缝, 在充水试验后, 应采用同样方法进行检测;
- f) 低温钢罐底上拆除临时工卡具及电弧擦伤处打磨后, 应进行 100%渗透检测或磁粉检测。

15.2.3 罐壁焊缝应进行下列检测:

- a) 低温储存部分罐壁纵向焊缝应进行 100%射线检测, 环向焊缝应进行 20%射线检测, 其中 T 形焊缝应进行 100%射线检测;
- b) 非低温储存部分罐壁纵向焊缝的检测:
 - 1) 底圈壁板当厚度小于或等于 10 mm 时, 应从每条纵向焊缝中任取 300 mm 进行射线检测, 检测部位中的 25%应位于 T 形焊缝处; 当壁厚大于 10mm 且小于或等于 25 mm 时, 全部 T 形焊缝应进行射线检测, 且应从每条纵向焊缝中任取 2 个 300 mm 进行射线检测, 其中一个位置应靠近底板; 当板厚大于 25 mm 时, 每条焊缝应进行 100%射线检测;
 - 2) 其他各圈壁板, 当板厚小于 25 mm 时, 每一焊工焊接的每种板厚 (板厚差不大于 1 mm 时可视为同等厚度) 在最初焊接的 3 m 焊缝的任意部位取 300 mm 进行射线检测。以后不考虑焊工人数, 对每种板厚在每 30m 焊缝及其尾数内的任意部位取 300mm 进行射线检测;

当板厚大于或等于 25 mm 时, 每条纵向焊缝应进行 100%射线检测;

3) 当板厚小于或等于 10 mm 时, 2) 项中射线检测部位的 25%应位于 T 形焊缝处; 当板厚大于 10mm 时, 除 2) 项规定外, 全部 T 形焊缝应进行射线检测;

c) 非低温储存部分罐壁环向焊缝检测不考虑焊工人数, 每种板厚 (以较薄的板厚为准) 应在最初焊接的 3 m 焊缝的任意部位取 300 mm 进行射线检测; 以后对于每种板厚, 在每 60 m 焊缝及尾数内的任意部位取 300 mm 进行射线检测;

d) 除 T 形焊缝外, 可用超声检测代替射线检测, 但其中 20%的部位应采用射线检测复验;

e) 射线抽检或超声抽检不合格时, 应在该检测长度的两端延伸 300 mm 作补充检测, 但缺陷部位距离底片端部或超声检测端部 75mm 以上者可不再延伸; 如延伸部位的检测结果仍不合格时, 应继续延伸进行检测;

f) 低温钢罐壁上的所有角焊缝、临时工卡具及电弧擦伤修补处打磨后, 应进行 100%渗透检测或磁粉检测;

g) 罐壁上的接管角焊缝和补强板角焊缝应进行 100%渗透检测。

15.2.4 输送储存介质的管线, 在内罐顶以上至罐外第 1 片法兰之间的管线焊缝, 应进行 100%射线检测。

15.2.5 外罐顶上的接管角焊缝和补强板角焊缝应进行 100%渗透检测。

15.2.6 开孔补强板焊完后, 由信号孔通入 100kPa~200kPa 压缩空气, 检查焊缝严密性, 无渗漏为合格。

15.2.7 焊缝无损检测的方法和合格标准, 应符合下列规定:

a) 射线检测应按 JB 4730 的规定进行, 低温钢焊缝及接管焊缝 II 级合格, 非低温钢焊缝 III 级合格;

b) 超声检测应按 JB 4730 的规定进行, 低温钢焊缝 I 级合格, 非低温钢焊缝 II 级合格;

c) 渗透检测和磁粉检测应按 JB 4730 进行, 焊缝合格标准应符合下列规定:

1) 不得有任何裂纹;

2) 不得有任何横向缺陷;

3) 不得有任何长度大于 1.5mm 的线性缺陷;

4) 在 100mm 长的焊缝上, 缺陷显示长度不得大于 2mm。

15.3 罐体几何形状和尺寸检查

15.3.1 罐底焊接后, 局部最大凹凸变形的深度, 不应大于变形长度的 2%, 且不应大于 50mm。

15.3.2 罐体组装焊接后, 罐壁几何形状和尺寸应符合下列规定:

a) 罐壁高度的允许偏差, 不应大于设计高度的 0.5%, 且不应大于 100 mm;

b) 罐壁铅垂度允许偏差, 不应大于 50 mm;

c) 罐壁表面不应有明显凹凸变形, 局部凹凸变形应符合表 10 的规定;

d) 内罐底圈罐壁半径, 在距罐底 1m 处测量, 内表面任意半径的允许偏差应符合表 6 的规定。

15.3.3 罐顶板不应有明显凹凸变形。

15.4 罐体试验

15.4.1 单层低温储罐罐体试验项目按照设计文件规定进行, 设计文件无要求时, 罐体试验应包括下列项目:

- a) 充水试验;
- b) 气压试验;
- c) 罐体真空试验。

15.4.2 双层低温储罐内、外罐体试验项目执行设计文件规定,当设计文件无要求时,罐体试验应包括下列项目:

- a) 内罐充水试验;
- b) 内罐充水外罐气压试验;
- c) 外罐气压试验;
- d) 罐体真空试验。

15.4.3 内罐充水试验应按下列程序进行:

- a) 内罐充水试验前,内罐所有焊接工作应全部完成并检验合格,罐内各种杂物清理干净,充水试验前,外罐壁不得与基础预埋锚固件焊接,地脚螺栓应松开;
- b) 充水试验应采用清洁水,水温不应低于 5℃;
- c) 充水和放水过程中应采取严密的监控措施,保证内罐始终与大气相通,充水速度不宜大于 500m³/h,充水高度不得超过设计规定的最高操作液位;
- d) 充水过程中应按设计文件要求进行内罐和罐基础沉降观测。如内罐或基础发生较大沉降或不均匀沉降,应停止充水,待处理后,方可继续进行试验;
- e) 若沉降观测有特殊要求,充水速度和试验程序应符合沉降观测的要求;
- f) 充水试验时,应对内罐焊缝的严密性及罐体各部位的变形仔细检查,当充水到设计最高液位并保持 48h 后,内罐无渗漏、罐体无异常变形为合格;
- g) 充水试验合格后不应放水,继续进行内罐充水外罐气压试验。

15.4.4 内罐充水外罐气压试验应按下列程序进行:

- a) 内罐充水外罐气压试验前,外罐体所有焊接工作应全部完成并检验合格;
- b) 内罐充水外罐气压试验时,内罐应充水至设计规定的试验液位;
- c) 当罐内空气压力达到 1500 Pa 时,用发泡剂涂刷并检查外罐壁、罐顶板的所有焊缝,焊缝检查合格后,继续向罐内充气;
- d) 当罐内空气压力达到设计规定的试验压力时,保持此压力 1h,焊缝无渗漏、罐体无异常变形为合格;
- e) 内罐充水外罐气压试验合格应立即打开排气降压阀,使罐内部与大气相通,排气后应先将外罐与基础预埋锚固件组对焊接完,若采用地脚螺栓锚固结构应先紧固地脚螺栓,再排放内罐试验用水,并清洗内罐,罐内不得存有积水和脏物。

15.4.5 外罐气压试验应按下列程序进行:

- a) 外罐气压试验在内罐充水外罐气压试验合格,将内罐水排放净后进行;
- b) 外罐气压试验前,应重新检查确认锚固结构紧固符合要求;
- c) 向罐内充气,当罐内空气压力达到设计规定的试验压力后,检查外罐体锚固结构和基础,无异常变形为合格。试验后应立即打开排气降压阀,使罐内部与大气相通。

15.4.6 真空试验应按下列程序进行:

a) 罐体真空试验应在气压试验合格后进行;

b) 罐体真空试验使用真空泵向罐外抽气,使罐内真空度达到设计规定的试验值,保持 1h,同时检查罐体有无异常变形,无异常变形为合格。试验后应立即打开进气阀,使罐内部与大气相通。

15.4.7 内罐充水外罐气压试验、外罐气压试验和罐体真空试验时,应注意环境温度对压力的影响。试验前应设置口径足够大的排气降压阀。

15.4.8 温度剧烈变化的天气,不宜做内罐充水外罐气压试验、外罐气压试验、罐体真空试验。

15.4.9 外罐壁为钢筋混凝土结构的双层低温储罐按本规程 15.4.3、15.4.6 条的规定进行试验。

16 工程验收

16.1 低温储罐按合同规定的内容全部完成后,应及时向建设单位办理交工验收。

16.2 施工单位应按 SH 3503-2001 或合同规定向建设单位提交交工技术文件。按 SH 3503-2001 中编制交工技术文件时,罐体总体试验可采用 SH 3503-2001 中 J128 表格。

16.3 施工单位提交的交工技术文件,应包括下列内容:

a) 低温储罐交工验收证书;

b) 材料质量证明文件;

c) 低温储罐罐体几何尺寸检查记录;

d) 隐蔽工程检查记录;

e) 焊缝无损检测报告;

f) 焊缝严密性试验报告;

g) 焊缝返修记录;

h) 强度及严密性试验报告;

i) 基础沉降观测记录;

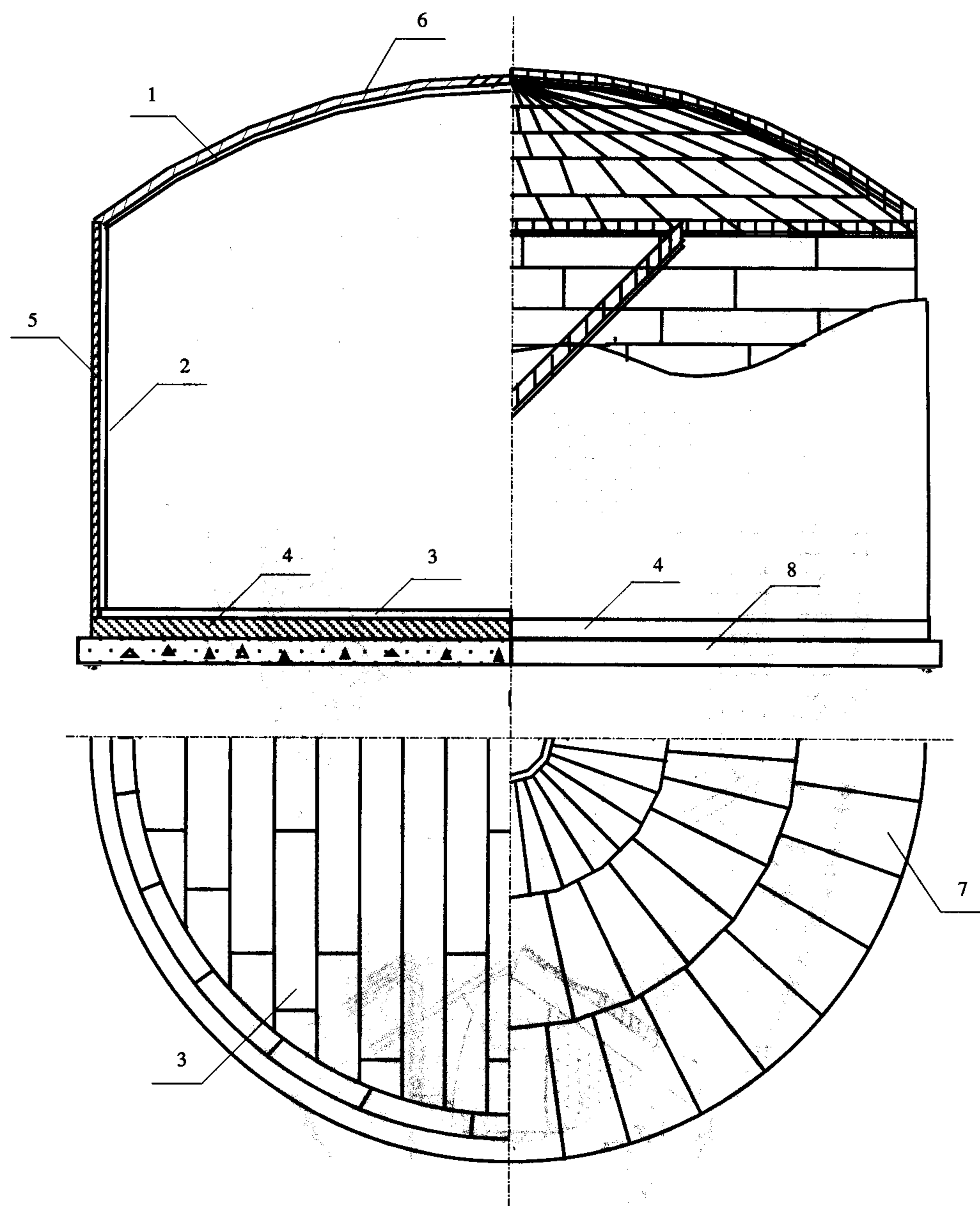
j) 试块强度和导热性试验报告;

k) 设计修改文件;

l) 竣工图。

附录A
(资料性附录)
低温储罐几种典型结构

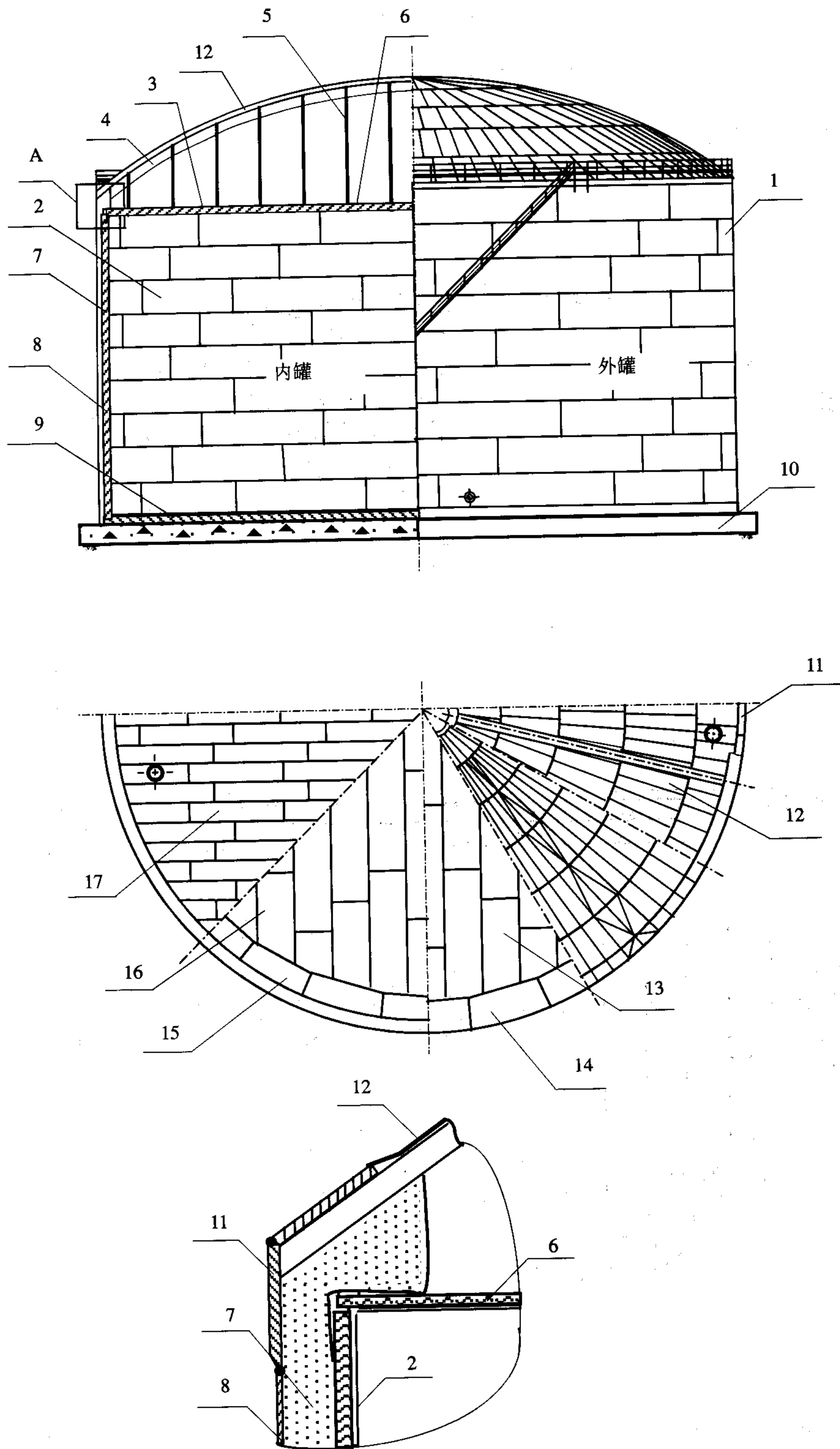
A.1 单层低温储罐典型结构见图 A.1。



1—罐顶；2—罐壁；3—罐底；4—罐底保冷层；5—罐壁保冷层；6—罐顶保冷层；7—拱顶板；8—基础

图 A.1 单层低温储罐典型结构

A. 2 双层低温储罐典型结构形式见图 A. 2。

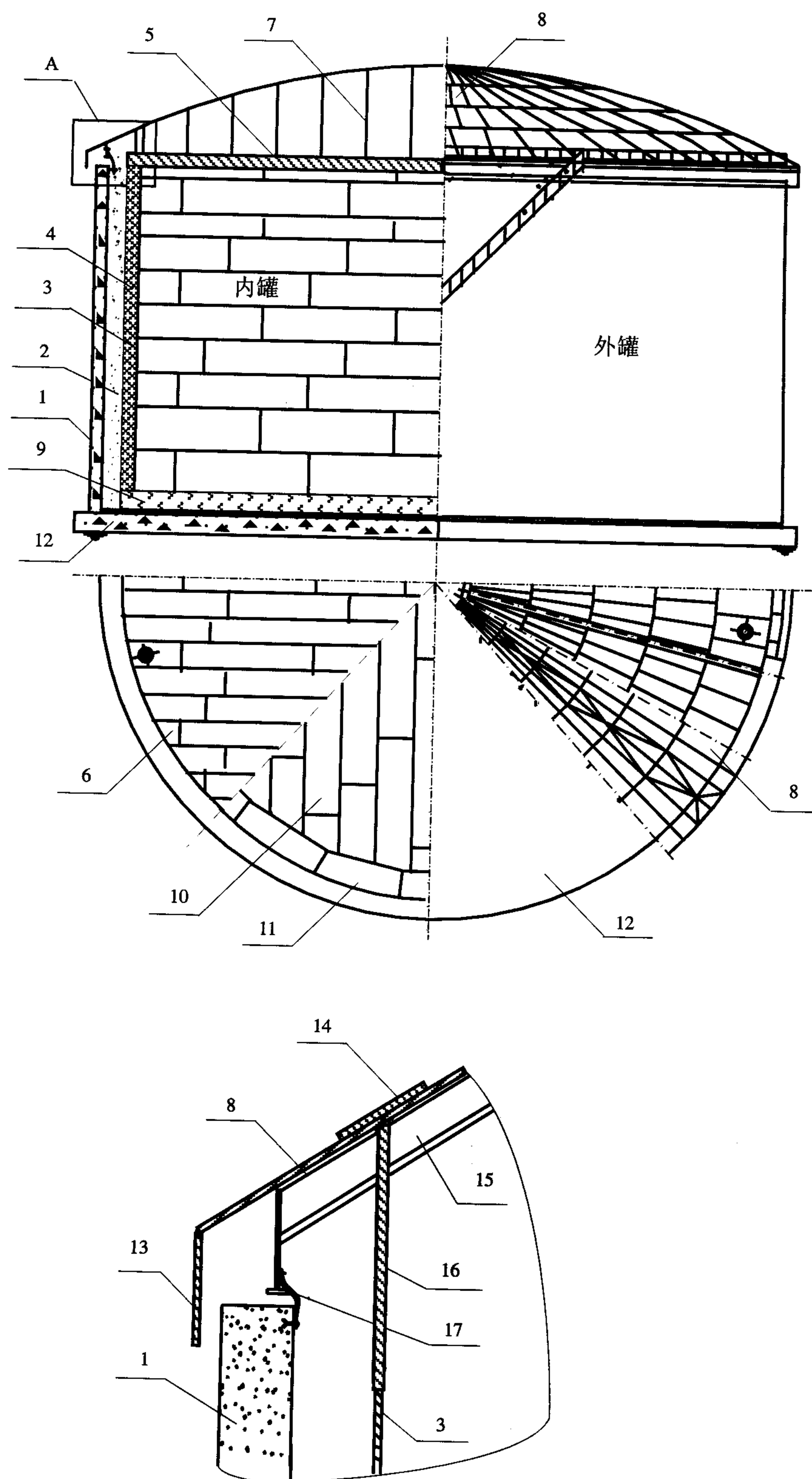


详图 A

- 1—罐壁；2—内罐壁；3—内悬挂顶；4—拱顶梁；5—吊杆；6—内悬挂顶保冷层；7—罐壁保冷填料；
8—罐壁保冷层；9—罐底保冷层；10—基础；11—外罐承压圈；12—外罐顶板；13—外罐底中幅板；
14—外罐底边缘板；15—内罐底边缘板；16—内罐底中幅板；17—内悬挂顶板

图 A. 2 双层低温储罐典型结构

A.3 混凝土外罐低温储罐典型结构见图 A.3。



详图 A

- 1—外罐壁（预应力混凝土）；2—罐壁保冷填料；3—内罐壁；4—罐壁保冷层；5—内悬挂顶保冷层；
 6—内悬挂顶；7—吊杆；8—外罐顶；9—罐底保冷层；10—内罐底中幅板；11—内罐底边缘板；
 12—外罐底（混凝土）；13—挡板；14—压板；15—拱顶梁；16—承压环；17—柔性压条

图 A.3 混凝土外罐低温储罐典型结构

附录 B
(资料性附录)
施工工艺流程

图 B. 1、图 B. 2 给出了钢制双层低温储罐施工工艺流程。

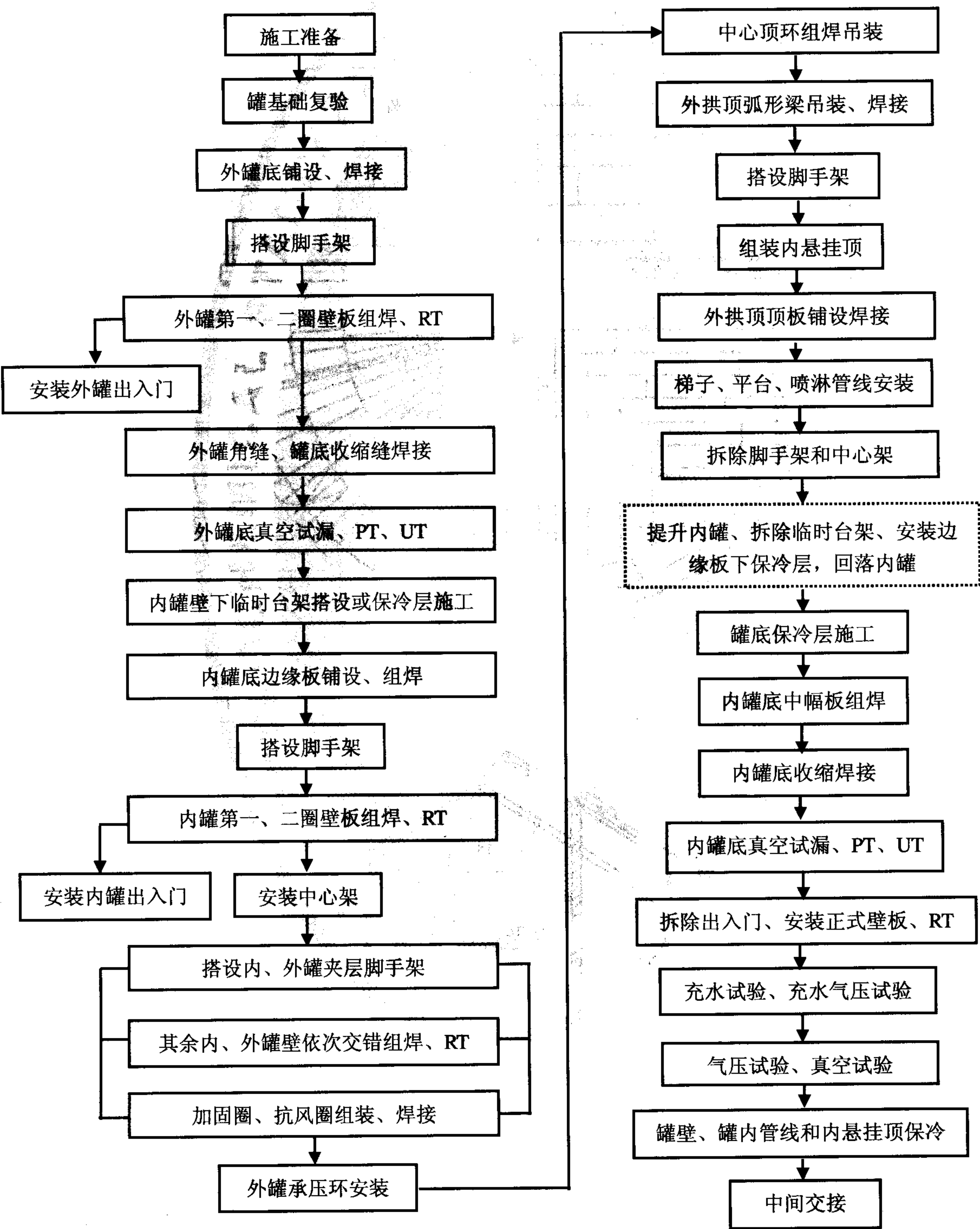


图 B. 1 钢制双层低温储罐正装法施工工艺流程

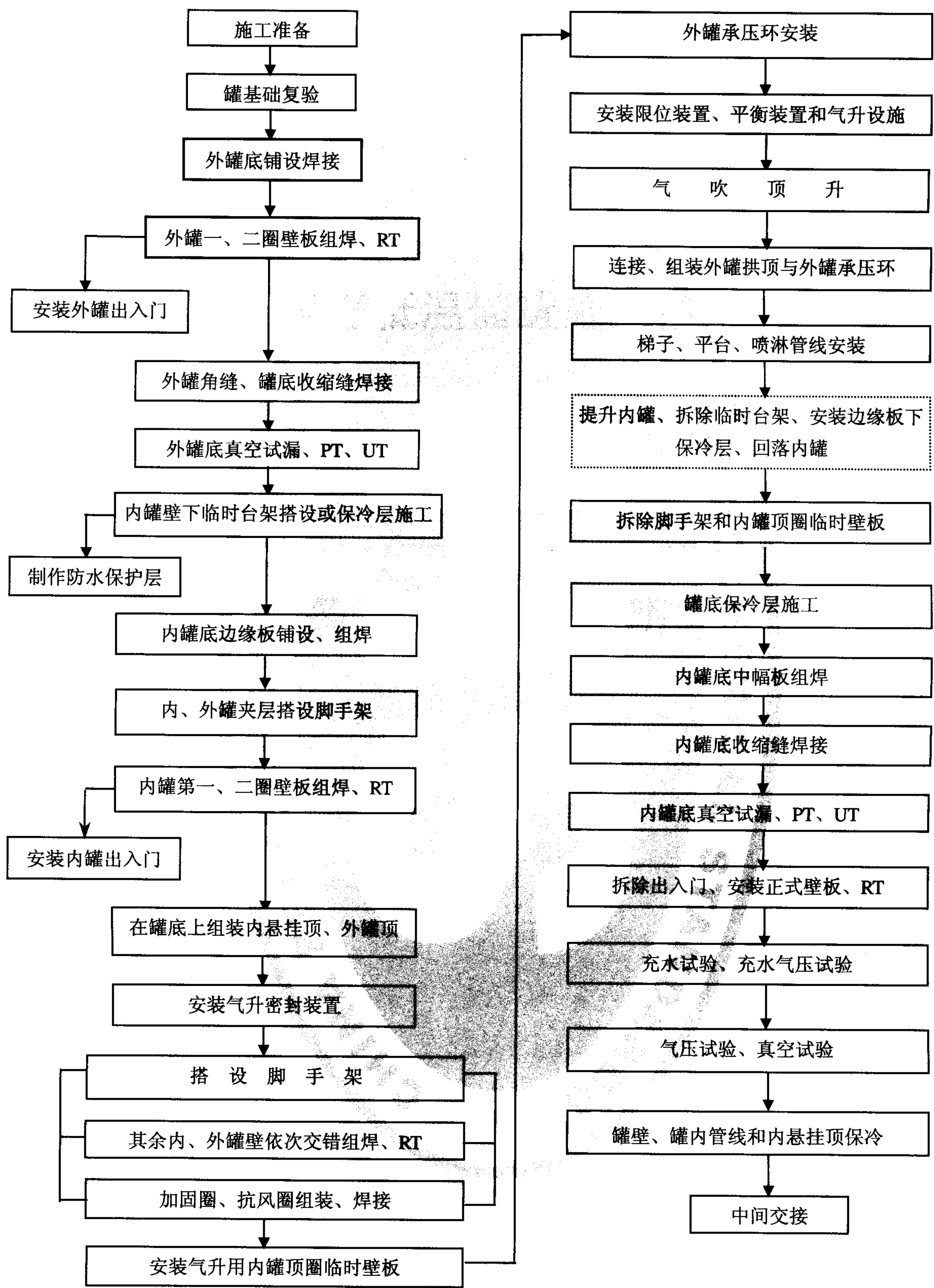


图 B.2 钢制双层低温储罐罐壁正装罐顶气升法施工工艺流程

中华人民共和国石油化工业行业标准

立式圆筒形低温储罐施工技术规范

SH/T 3537-2002

条 文 说 明

2002 北 京

目 次

1 范围.....41

3 一般规定.....41

4 施工准备.....41

5 材料.....42

6 施工工艺.....42

7 预制加工.....42

7.1 一般要求..... 42

7.2 底板预制..... 43

7.3 壁板预制..... 43

7.4 拱顶预制..... 43

7.5 内悬挂顶预制..... 43

7.6 其他构件预制..... 43

7.7 出厂检验..... 43

8 基础、钢筋混凝土外罐复查.....43

8.1 基础复查..... 43

8.2 钢筋混凝土外罐复查..... 44

9 罐底组装.....44

9.1 一般要求..... 44

9.2 搭接接头罐底板的组装.....44

9.3 对接接头罐底板的组装..... 44

9.4 双层低温储罐内罐底组装.....44

10 罐壁组装..... 44

10.1 一般要求..... 44

10.2 罐壁组装..... 45

11 罐顶组装..... 46

11.1 中心架法..... 46

11.2 气升法..... 46

12 附件安装..... 46

12.1 罐体的开孔接管安装..... 46

12.2 其他附件安装..... 46

13 焊接..... 46

13.1 一般规定..... 46

13.4 焊接顺序和方法..... 47

13.5 修补..... 47

14 保冷.....	47
14.1 一般要求.....	47
14.2 罐底保冷.....	47
15 检查和试验.....	47
15.1 焊缝外观检查.....	47
15.2 焊缝无损检测及严密性试验.....	47
15.3 罐体几何形状和尺寸检查.....	48
15.4 罐体试验.....	48

1 范围

1.2~1.3 目前建造的用以储存液态烃、丙烯、乙烯、天然气等介质的的大型低温储罐其容积都达到或超过 10 000 m³，故本规程规定适用范围为容积大于或等于 10 000 m³ 的低温储罐。

几种介质在常压下的液化温度见表 1，本规程主要适用于储存液化石油气、丙烯、乙烯、天然气等介质的低温储罐，故将设计温度的适用范围界定为不高于-45℃且不低于-168℃。

表 1 几种介质在常压下液化温度 单位：℃

介质名称	H ₂	N ₂	空气	O ₂	天然气	乙烯	丙烯	液化气	CO ₂	NH ₃	乙炔
液化温度	-252	-196	-192	-183	-167.8	-107	-47.7	-46	-50	-33	-23.5

本规程所适用的低温储罐的储存介质虽然仅限于液化石油气、丙烯、乙烯、天然气等，但就其施工技术规程来说，界定温度范围内储存其他介质的低温储罐的施工可参照本规程。

1.4 由于不锈钢制的低温储罐在施工中还要满足不锈钢材质的特殊要求，为简化叙述，本规程不包括不锈钢制低温储罐，但不锈钢制低温储罐的施工可参照本规程。

1.5 根据介质的常压液化温度和使用条件，低温储罐的结构可分为单层结构低温储罐和双层结构低温储罐，在双层结构低温储罐中又有钢制外罐结构和钢筋混凝土外罐结构。结构不同，施工工艺也不同。钢筋混凝土外罐部分属土建专业，因此本规程不包括钢筋混凝土外罐低温储罐的钢筋混凝土部分，钢筋混凝土外罐结构低温储罐的内罐及罐顶包括在本规程内。

3 一般规定

3.1 立式圆筒形低温储罐与立式圆筒形钢制焊接油罐的施工有许多共同之处，故施工及验收的共同之处应参照 GBJ 128 执行。

4 施工准备

4.1 目前国内尚无关于低温储罐的设计规范和施工及验收规范，只能根据设计文件提供的施工及验收要求或设计文件指定的施工及验收规范进行施工。国外引进的低温储罐多按照国外有关规范施工。

4.2 施工技术文件包括施工组织设计、施工方案、施工技术措施及作业指导书等，施工单位可根据本单位的质量管理要求选择，并按规定的程序审核、批准，必要时按建设单位、监理单位和施工单位协商的有关管理程序的要求实施。

4.5 工装设施的选用或设计制造主要决定于低温储罐结构和施工工艺过程，还应满足安全施工的要求，其中：

- 单层结构低温储罐与普通拱顶储罐相近，可参照普通拱顶储罐施工工艺所需要的工装设施；
- 双层结构低温储罐应根据不同的施工工艺过程配置不同的工装设施。

5 材料

5.1 材料的选用应由设计文件规定,可供低温储罐低温储存部分用钢板。目前较多选用 A353、A516、A357、A645。

5.2 对于低温钢板和低温焊接材料,不仅要求质量证明文件中标明钢号、规格、化学成分、力学性能、低温冲击韧性值、供货状态及材料的标准,而且要求其特性数据应符合相关标准,满足设计文件要求,并列为强制性条文。质量证明文件不应存在有疑问的特性数据,也不应采取通过复验的办法来确认特性数据的准确性,采购应从根本上保证低温材料的质量。低温钢板应标有低温冲击韧性值,这主要是保证其低温性能。

5.3 低温钢板的表面机械划伤将会降低材料的低温性能,因此规定低温钢板不得存在机械划伤。

5.4 保冷材料对低温储罐的使用效果起决定性作用,故对材料性能指标提出了测定保冷性能的要求。

5.5 对于低温钢板,不得用带棱角的构件垫底是为防止产生机械损伤。

6 施工工艺

6.1 单层结构低温储罐多用于储存液态烃介质,由于其结构类似于立式圆筒形拱顶储罐,故可参照立式圆筒形拱顶罐所采用的施工工艺,如中心柱法、正装法、气升倒装法或液压提升法等。

6.2~6.3 双层结构低温储罐目前主要有正装法,有罐壁正装外罐拱顶散装法和罐壁正装罐顶气升法两种施工工艺,这两种施工工艺对于内外罐底板和内外罐壁板的施工方法基本相同,只是罐顶的施工方法不一样。无论那种方法都应在内外罐壁上留出出入口,在内罐底保冷和内罐底中幅板施工完之后再拆除出入口,换上正式壁板。安装出入口时一定要加固,以防止罐壁加高后由于重力作用而产生局部变形。拆除出入口换上正式壁板时一定要注意防止过大的焊接变形。

罐壁正装外罐拱顶散装法在储罐容积变大时受到一定限制,罐壁正装罐顶气升法则不受容积的限制,容积愈大,罐壁正装罐顶气升法愈显示出其优越性。内悬挂顶的安装还可在外罐顶安装之后,在罐底上组装内悬挂顶,在外罐顶上开孔,用滑轮组穿钢丝绳提升的方法提升固定。罐顶的施工方法各施工单位可根据自己的资源和施工经验选择。

6.4 外罐采用钢筋混凝土的双层结构低温储罐虽在国内少见,但由于其更具安全性,今后可能会更多的被采用,其内罐悬挂顶施工方法可参照钢制双层结构低温储罐的内罐悬挂顶施工。

7 预制加工

7.1 一般要求

7.1.1 本规程适用于容积大于或等于 $10\,000\text{m}^3$ 的低温储罐,储罐半径必定大于 12.5m ,据此规定弧形样板的弦长不得小于 2m 。若有半径小于或等于 12.5m 的低温储罐需参照本规程施工时,其弧形样板的弦长可小于 2m ,但不得小于 1.5m 。

7.1.4 在有的工程项目施工中,无论板的四周是否平直都要求进行加工。

7.1.5 在低温钢板的剪切线上可用尖锐物品划线和样冲打眼,在剪切线内侧的检查线或检查点等不得

用尖锐物品划出记号或用样冲打眼，以避免使用中产生低温缺口效应。

7.1.11 本条主要是加强对预制件的检验、控制，加强预制、安装间交接管理。

7.2 底板预制

7.2.1 罐底排板有多种形式，低温储罐属大型储罐，故采用有边缘板的形式，中幅板推荐两种常用形式，其接头均可采用搭接或对接形式。

7.2.2 储罐底板所用钢板，往往不能完全符合设计文件尺寸，为此，在预制前应按钢板实际规格重新排板，但底板的任意相邻焊缝之间的距离不得小于 200 mm 是应遵守的。

7.2.3 所指边缘板包括弓形边缘板和弧形边缘板。

7.2.7 日本设计的低温储罐，内罐边缘板的坡口采用双面焊接头形式中有采用倒 V 型的形式，即大坡口朝下。

7.3 壁板预制

7.3.2 设计文件应绘制出供材料采购用并供施工用的排板图，供应部门应按设计文件中的排板图采购材料，如果供应部门不能采购到设计文件排板图中的材料规格，即只能采购到满足设计要求、但不一定恰好符合设计文件排板图尺寸的材料，施工时应按现有规格的材料做满足设计文件要求的排板。国外引进工程中，其壁板排板已在设计文件中给出，且壁板材料按设计文件供货，只要按设计文件施工即可。现行设计规范已取消壁板搭接结构，故表 3 中只给出环向焊缝对接的允许偏差。

7.3.3 壁板预制下净料，要求下料精度较高，但这是保证组装质量的前提。

7.4 拱顶预制

7.4.1 拱顶相邻焊缝的间距及搭接最小宽度要求同底板相邻焊缝的间距及搭接最小宽度要求。国外引进工程中拱顶板排板已在设计文件中给出，且拱顶板材料按设计文件供货，只要按设计文件施工即可。

7.4.2 拱顶排板，此处推荐两种形式，但本规程适用于 10 000 m³ 及以上容积的储罐，容积比较大，拱顶排板多选用矩形板式，下料时只要将几何尺寸控制准确，直接往上铺设即可。

7.4.3 各种低温储罐在 A、B 点处的结构可能不同，但对推算的瓜瓣板计算的影响很小，故各种结构的拱顶瓜瓣板仍可按本条所给出的公式计算。

7.4.6 拱顶梁是重要受力结构，有多种连接型式，应严格依照设计文件施工和检验。

7.5 内悬挂顶预制

7.5.1 内悬挂顶铺板的排板形式往往由设计文件给定，此处供提供參考。

7.6 其他构件预制

7.6.2 弧形构件的成形检查，检查弧形间隙是重要的，但更重要的是检查翘曲变形，翘曲变形过大将影响安装质量。

7.7 出厂检验

7.7.2 对出厂资料提出要求，这是必要的，这是控制质量的关键环节之一，目的是为保证安装质量创造条件。

8 基础、钢筋混凝土外罐复查

8.1 基础复查

8.1.2 本条只对与安装有关的基础表面、外形尺寸进行复查，当检查确认符合规范规定允许偏差时，即可进行安装作业。

8.2 钢筋混凝土外罐复查

8.2.1 钢筋混凝土外罐结构属土建专业，本规程不包括钢筋混凝土外罐的施工，此条只是作为施工技术规程的一个施工程序提及。

8.2.2 本条列出了与安装工程有关项目的允许偏差，外罐底平面度不做数值要求。对于设计文件另有要求的项目也要进行复查，其允许偏差应满足设计文件的要求。预留孔和预埋件中心位置允许偏差数值控制较严，对于安装是必要的。若不在外罐壁上方安装承压环，外罐壁上表面平面度可不作要求。

9 罐底组装

9.1 一般要求

9.1.2 GBJ 128—90 明确规定每块底板下表面边缘 50 mm 范围内不刷防腐涂料。考虑到目前不影响焊接的涂料已有生产，故可在底板下表面全部涂刷不影响焊接的涂料。

9.1.3 此条给出了边缘板铺设外半径与设计外半径、基础坡度角、边缘板的收缩量之间的关系式。为确保罐壁安装时与边缘板外边缘有一定距离，外罐和内罐的边缘板均采用此公式计算。

9.2 搭接接头罐底板的组装

9.2.4 国外低温储罐近年来常采用在搭接接头三层板重叠后的悬空部分，用与底板相同材质的三角形垫铁垫实焊上，主要是为改善局部受力状态。

9.2.5 为了改善罐底板的受力状态并减少罐底板的焊接变形而规定搭接缝间隙是必要的。

9.2.7 此条目的是使边缘板与环梁间接触良好，使底圈壁板的受力均匀。

9.3 对接接头罐底板的组装

9.3.1 垫板铺设位置要准确，否则影响底板的铺设。垫板对接缝下宜加小垫板是为避免焊接裂纹。垫板接头对接焊后磨平上表面是为了保证底板铺设的平整且与垫板接触良好。

9.3.5 为了改善罐底板的受力状态并减少罐底板的焊接变形而规定贴紧间隙是必要的。

9.3.7 双面焊接头由于需要在边缘板下方进行焊接，故不能将每条焊缝分两部分在不同时段内焊接。

9.3.8 对于大型储罐若在切除多余的中幅板后不立即进行边缘板与中幅板的组对焊接，可能会由于温度变化造成中幅板不可逆的收缩致使组对困难。

9.4 双层低温储罐内罐底组装

9.4.3 内罐壁下承重保冷层为填装块结构时，往往有的工程要求罐底施工完毕后再安装填装块，于是只有在填装块处搭设临时台架，在其上铺设组装边缘板。

9.4.5~9.4.6 内罐底保冷材料一定要防止受潮、浸湿，施工过程中一定要采取防水措施。

10 罐壁组装

10.1 一般要求

10.1.3 因低温储罐壁板较一般储罐壁板厚度小，容易由于风力等原因造成失稳，故施工中要采取防

止失稳破坏的措施。

10.1.4 对于低温钢板,拆除工卡具时首先要强调不得损伤母材,因为任何损伤都将影响其使用性能。若发生损伤母材的情况就应按 13.5 条的要求修补。

10.2 罐壁组装

10.2.1 底圈壁板的组装圆半径的计算,应考虑底圈壁板纵向焊缝焊接收缩量 and 罐基础坡度两个因素。公式(13)就是既反映出考虑到基础坡度,又反映出考虑到纵缝焊接收缩量,这样考虑使得净料下料组对成为可能。

10.2.4 挡板的位置应考虑到底圈壁板的焊接收缩,故在组装圆周线与挡板之间留出组装垫板厚度。组装垫板的厚度依据焊缝收缩量计算得,组装时加进垫板,组装后抽取垫板,然后焊接,即可达到所要求的内半径。

10.2.5 底圈壁板是储罐壁板的组装基准,在此处专门提出底圈壁板的组装要求。底圈壁板按规定要求组装完毕之后,其余壁板就可顺利组装。

本条中壁板的铅垂度允许偏差宜不大于 3 mm,此数据不适用于采用预倾斜组装法,若考虑焊缝焊接收缩而采用预倾斜组装法时壁板的铅垂度允许偏差不受此限制。

在本条中规定了底圈壁板铅垂度要求,而在本条之后再也没有出现其余单圈壁板的铅垂度要求,其原因如下:

- a) 在引进的低温储罐施工要求中均没有出现单圈壁板的铅垂度要求,API 620 中也没有对单圈壁板的铅垂度提出要求。国外施工经验是控制底板的平整度和壁板预制的精度以及焊缝组对的间隙。如果底板平整度是好的,壁板预制精确度符合要求,纵向焊缝组对间隙均匀,自然会保证单圈壁板组装铅垂度。本规程在底板平整,壁板预制精确度方面要求都较高,而纵向焊缝组对间隙均匀性组装过程也应严格控制。
- b) GBJ 128—90 中规定组对时各圈壁板的铅垂度允许偏差,不应大于该圈壁板高度的 0.3%,此要求不高,也是较容易做到的。

基于上述原因,在本规程中不出现对其余单圈壁板的铅垂度要求。

10.2.8~10.2.9 罐壁组装方法多种多样,此两条提供的施工方法、工装设施仅供参考,各单位可根据自己的使用习惯采用各自的工装设施和施工方法。

10.2.14 此条提出了加强圈、抗风圈在施工过程中的工序安排,这一工序安排既能较好的防止焊接变形,又不影响无损检测。

10.2.15 此条提供的工卡具仅供参考,各单位根据自己使用的习惯采用各自的工卡具。

10.2.18 本条提出了底圈壁板与边缘板的组对方法和程序,在罐内侧安装斜撑是为保证底圈板与边缘板间的垂直关系,防止角焊缝焊接时造成边缘板不应有的变形。斜撑安装的长度和角度以不妨碍自动焊机的行走为度。

10.2.21~10.2.22 临时出入门是针对双层低温储罐设置的,对于双层低温储罐(包括钢筋混凝土外罐)是应的。临时出入门的设置除满足施工需要外,应考虑防止变形的能力,确保在设置和更换过程中不会对罐壁产生影响。更换时注意不能造成罐壁的变形,也不能使更换后的残余应力过大。设置临时大门的同时要做好防雨水措施。

10.2.23 此时仅能焊接锚固设施与壁板的联接部分,不应将外罐壁板与基础预埋锚固件组对焊接或紧

固螺栓。

11 罐顶组装

11.1 中心架法

11.1.1 本方法是组立中心架作为组装罐顶的支撑架，外罐顶在中心架上逐一安装。此方法要求中心架的中心位置和标高都要较为准确，便于准确安装罐顶。

11.1.2 外罐顶承压环指安装在拱顶外边缘的弧形厚板与罐壁顶部一圈厚板的组成件，用以支撑拱顶梁，相当于一般拱顶罐的包边角钢。对于混凝土外罐的双层低温储罐，若承压环安装在内罐壁顶部，承压环与内罐壁同时施工；若承压环安装在外罐壁顶部，承压环与外罐壁同时施工。对于钢制外罐的双层低温储罐承压环与外罐壁同时安装。

11.2 气升法

11.2.2 进行气升前临时连接锚固结构并紧固地脚螺栓是为了防止气升过程造成外罐体不应有的变形。

11.2.3 加设临时壁板是为使罐顶能气升到位，临时壁板上边沿标高比拱顶下边沿在此位置应有高度低 100 mm~200 mm 是为了给组对焊接拱顶梁提供条件。

11.2.5 由于外罐顶是在已组装完毕的内罐壁内组装的，因此应在拱顶梁吊入组装场地之前截去一部分。为使气升能顺利进行，拱顶梁截去的长度要使得罐顶组装后拱顶梁与内罐壁间存在 100 mm~200 mm 间隙，气升罐顶达到就位标高后通过吊挂销吊挂在限位吊挂杆上，精确调整罐顶位置后组装焊接拱顶梁截下来的部分并将其与承压环组焊上。

11.2.10~11.2.12 最小风压值是罐顶气升所需的最小值，是风机起选风压值。气升法允许的最大风压值是防止由于气升法而损坏罐体的风压值，是选择风机的最大风压的限制值。选用的风机风量要小于计算的最大风量且与最大风量比较接近。

11.2.14 本条基于保证气升过程中罐体安全考虑，是必要的。

12 附件安装

12.1 罐体的开孔接管安装

12.1.1 接管外伸长度允许偏差为 $+10_0$ mm，是吸收日本一些规范的要求而制定的，这样的允许偏差值可保证保冷层的厚度。

12.2 其他附件安装

12.2.1 由于低温储罐的特殊性，对一些竖向管线要求预先有一斜度，以使在使用条件下保持竖直状态，故安装竖向管线应首先满足设计文件的要求。

13 焊接

13.1 一般规定

13.1.1~13.1.2 低温储罐是属常压设备，其焊接工艺评定和焊工考试应按 GB 50236 执行。考虑到 JB 4708 实施的广泛性，列入了“若以按 JB 4708 完成的工艺评定也适用于相应的焊接条件和焊接工艺因素”；考虑到《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》实施的广泛性，也列入“若已按考试合格并取得相应的合格证，可以从事低温储罐相应部位的焊接”。

13.4 焊接顺序和方法

13.4.1 低温储罐的低温钢板厚度往往都比较小，容易产生焊接变形，因此在焊接时要格外注意焊接顺序。

13.4.3 内罐边缘板双面焊接头由于需要在边缘板下方进行焊接，故不能将每条焊缝分两部分在不同时段内焊接。

13.5 修补

13.5.1~13.5.3 低温钢表面存在的机械划伤、电弧擦伤、焊疤及去除工卡具后的凹坑等缺陷会降低材料的低温冲击韧性，因此要求清除并修补低温钢表面任何深度的缺陷。缺陷的修补包括打磨与补焊。本条给出了打磨及打磨后需补焊的界限。对于低温钢焊缝，经补焊的部位、次数和检验结果作出记录是必要的。

14 保冷

14.1 一般要求

14.1.1 低温储罐的保冷，其结构、型式和材料都存在多样性，其保冷性能也因结构、型式和材料的不同而有较大差异。因此，这里强调要符合设计文件规定。

14.1.2~14.1.5 材料的防水防潮、施工过程的防水防潮以及环境温度和湿度对于低温储罐保冷施工显得十分重要，因保冷材料中存在的水份和保冷施工进入的水份在施工完毕之后很难蒸发出去，其结果将会在使用中结冰，长期影响使用，即便是砂子的含水率也将影响使用性能。

14.2 罐底保冷

14.2.7 珍珠岩混凝土承重圈上表面水平允许偏差值参照基础混凝土上表面允许偏差值。

14.2.8 低温储罐的保冷除对保冷材料的性能有较高的要求外，对保冷的施工要求也较高，为防止由于块间间隙过大或层间存在通缝造成传热过快而影响保冷性能，对块间间隙的处理和层间铺设都应有具体规定。

14.2.9 浇注的保冷层应保证抗压强度和导热系数。

15 检查和试验

15.1 焊缝外观检查

15.1.2 表 12 中所列低温钢不允许咬边，这一点各国规范的要求是不一样的。API 620 是不允许存在咬边的，本规程采用了 API 620 的要求。

15.2 焊缝无损检测及严密性试验

15.2.2 边缘板对接焊缝的射线检测 300 mm 范围恰好为 1 张 X 光片的长度。

15.2.3 低温储存部分焊缝检测要求是依据国外引进储罐检测要求确定的；非低温储存部分焊缝检测要求则是引用 GBJ 128—90 有关要求。

15.2.7 焊缝无损检测方法和合格标准对于射线检测和超声检测，现行的规范有 GB 3323 和 GB 11345 与 JB 4730。两者检测方法、质量标准都相同，本规程选用 JB 4730。

15.3 罐体几何形状和尺寸检查

15.3.2 由于 $10\,000\text{m}^3$ 及以上的储罐罐壁高度均超过 12.5m，此处不再以铅垂度不应大于罐壁高度的 0.4% 作为约束条件。由于外罐底圈壁板的要求已在本规程 10.2.5 条中叙述，且内罐壁施工后无法再测量外罐半径，故在此条中不再谈及外罐半径的允许偏差。

15.3.3 国外规范对罐顶板凹凸度无要求，本规程仅提出不应有明显的凹凸变形要求。

15.4 罐体试验

15.4.2 双层低温储罐罐体试验的项目是参照 API 620 制定的。

15.4.3 条文中对于试验用水的温度只提出不应低于 5℃ 的要求是因为低温储罐的低温材料本身具有良好的低温下的使用性能。内罐充水试验的目的是检验内罐焊道，进行基础沉降观测及内罐的沉降观测。试验前，不得将外罐壁与基础预埋锚固件组对焊接，也不得紧固地脚螺栓。应在试验合格后，放水之前，将外罐壁与基础预埋锚固件组对焊接或紧固地脚螺栓。

15.4.4 在内罐充水状态下的气压试验目的是检验外罐的严密性，此试验可在内罐充水试验合格后立即进行。同样，试验前不得将外罐壁与基础预埋锚固件组对焊接，也不得紧固地脚螺栓。

15.4.5 外罐气压试验是在罐内无水状态下试验的，试验时有使储罐球形化的趋势，目的是检验罐的锚固结构可靠性，因此试验前应重新检查锚固结构的紧固程度。

15.4.6 使用真空泵向罐外抽气，是为了确保罐体的安全，防止意外事故的发生。