十、15万 m^3 低压湿式螺旋升降贮气柜施工组织设计

(一)工程概况

1. 主要设计参数

(1)气柜的经济技术指标：

公称容积：　　150000m^3

几何容积：　　176000m^3

总耗钢量：　　(设计)1450000kg

设计压力：　　106/153/200/245/280mm 水柱

有效容积：　　166000m^3

单位体积耗钢量：　　约 8.6kg/m^3

(2)水槽和各塔体主要设计参数如表 2.3.10(1)。

表 2.3.10(1)

序号	气柜分部结构名称	设计参数			
		直径(外)/mm	高度/mm	气柜升起时各塔高度/mm	供高度及供顶半径/mm
1	水槽底板	67100			
2	水槽壁板	67000	11320		
3	塔 1	66000	11000	21670	
4	塔 2	65000	11000	32020	
5	塔 3	64000	11000	42370	
6	塔 4	63000	11000	52720	
7	塔 5	62000	11000	68070	H=5000 R=98600

(3)气柜主要钢结构设计型号和数量见表 2.3.10(2)。

2. 工程量

(1)安装工程量见表 2.3.10(3)。

表 2.3.10(2)

序号	气柜分部结构名称	主要钢结构设计型号及数量					
		水槽和各塔立柱	垫梁	导轨	菱形板	斜梯及盘梯	顶架
1	气柜水槽	48 根 L=2400 组合件	48 根 L=400 I32a			T1 新型悬臂式盘梯	塔 5 主梁 24 根 L=29725 I36a 次梁 24 根 L=15190.4 I32a 中心顶圈横梁 I32a 264 根
2	塔体 1	48 根 L=10880 L100×100×8		48 根 L=15800 24kg/m	48 块 3980×9570×3	T2 斜梯 组合件	
3	塔体 2	48 根 L=10990 L100×100×8 组合件		36 根 L=15800 24kg/m	36 块 5333×9570×3	T3 斜梯 组合件	
4	塔体 3	48 根 L=10990 L100×100×8 组合件		36 根 L=15800 24kg/m	36 块 5244×9570×3	T4 斜梯 组合件	
5	塔体 4	48 根 L=10990 L100×100×8 组合件		24 根 L=15800 24kg/m	24 块 7905×9570×3	T5 斜梯 组合件	
6	塔体	48 根 L=10760 I20a		24 根 L=15800 24kg/m	24 块 9570×7774×3		

表 2.3.10(3) 安 装 工 程 量

序 号	气柜分部结构名称	安装工程量/kg	备 注
1	水槽底板之中幅板	232502	487 块
2	水槽底板之边板	21096	36 块
3	水槽壁板	259445	181 块
4	导轨	110215	(包括垫板)共 168 件
5	菱形板	213660	(厚度 3mm)共 168 块
6	上下水封槽	228353	包括立柱、垫梁、顶梁
7	钢结构	214914	
8	顶板	90705	
9	水槽平台	19632	
10	斜梯	11361	
11	平台、梯子、栏杆	11917	
12	人孔、检查孔	1535	水槽人孔 2 个，塔体人孔 10 个
13	导轮	42000	168 套
14	铸铁配置	8484	120 件
15	溢流管	768	3 个
16	闸门	562	1 个
17	合计	1468000	

(2)焊接工程量(工地焊接量)		41200m
(3)刷油面积		173780m²
(4)结构吊装工程量		1440000kg
(5)半成品运输量(包括措施)		1600000kg
(6)检验工程量:		
1)X 光拍片		18 张
2)超声波探伤		296m
3)焊缝真空试漏		4801m(焊缝)
4)气密性试验		16730m(焊缝)
5)充水量		79546m³(二次量)
(7)附件及配件	Dg600	2 个
水槽人孔	Dg500	10 个
塔体人孔		120 件
铸铁配重		168 套
导　　轮		1 个
DN300 闸门		1 套
防电设施		

3. 15 万 m³ 气柜的工程施工特点及施工技术关键

(1)工程施工特点:

1)该项工程外形结构庞大,各项几何尺寸难以控制,并且水槽与塔体、塔体与塔体间,彼此互相独立,而又互相联系,因果关系密切,因此无论是构件制作还是现场安装,其几何尺寸均应准确。

2)气柜贮存介质系有毒、易燃气体,这就要求安装时各塔焊缝要有足够的强度和严密性。

3)气柜露天运行,且介质腐蚀力强,因此防腐刷油施工质量要求高,且工程量大。

4)气柜水槽和各塔施工安装均有大量的高空作业,操作面狭小,施工难度大。

(2)安装技术关键:

1)水槽壁板的组装和焊接。要求在特定的安装工艺下,将直径 67m 钢水槽组焊成一个敞口的圆形贮槽,其关键在于有效控制各层壁板的不圆度、圆弧度和垂直度。

2)塔体骨架的几何形状要求十分严格,其关键在于测量定位要准确,并严格控制各塔上下水封的不圆度和同心度,以及导轨的平行度误差,径向突出度误差在设计规定的范围内。

3)大跨度的拱梁安装难度大,吊装方案的选定、机械选择、安装措施等应全面综合考虑,不许有任何疏忽大意。

4)气柜的防腐、刷油的质量,直接关系到气柜使用寿命。刷油面积大(173780m²),操作间隙狭小。

(二)气柜安装综合进度计划

根据总工期的要求,气柜本体工程期确定为十个半月。气柜本体安装拟定分五大阶段来

实现：施工准备阶段；小槽安装阶段；塔体安装阶段；气柜总体试验阶段以及收尾阶段。各阶段施工主要内容见气柜水槽、塔体、总体试验施工进度网络控制图(图 2.3.10(1)～2.3.10(3))。

(三)劳动力配备

(1)劳动力需用计划(见表 2.3.10(4))。

表 2.3.10(4)　　劳动力需用计划表

序　号	工种名称	计划用工	最高需用人数/个	备　注
1	铆工	12770	30	
2	电焊工	7650	28	
3	起重工	5100	15	
4	运输	1275	5	
5	油工	2924	7	
6	汽焊工	1785	4	
7	电工		4	
8	司机		3	
9	测量		2	
10	管理员		7	
11	合计	31504	103	

(2)各阶段用工分布计划(见图 2.3.10(4))。

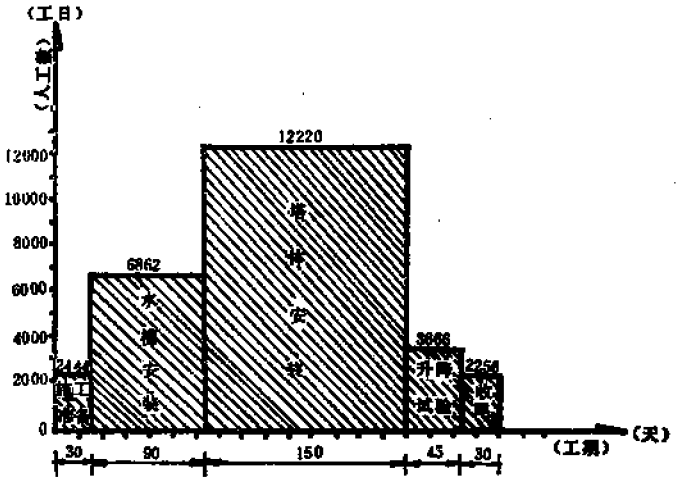

图 2.3.10(4)　各阶段用工分布计划

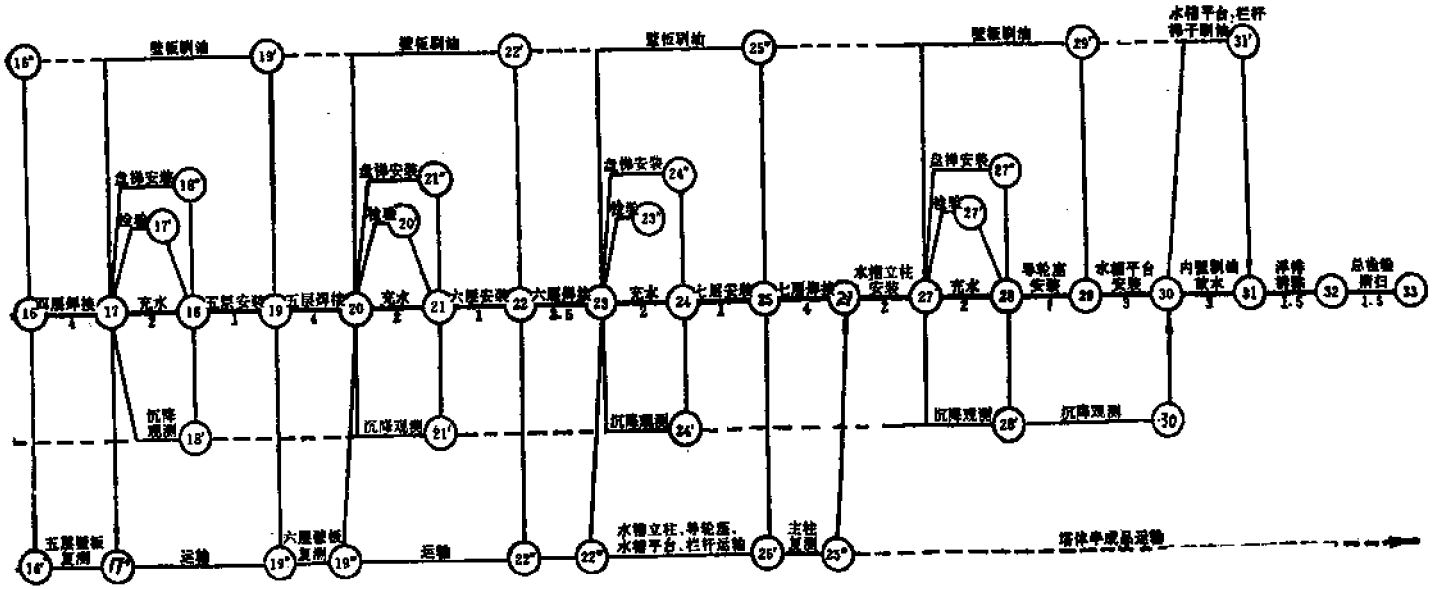

图 2.3.10(1)b　气柜水槽施工进度控制图

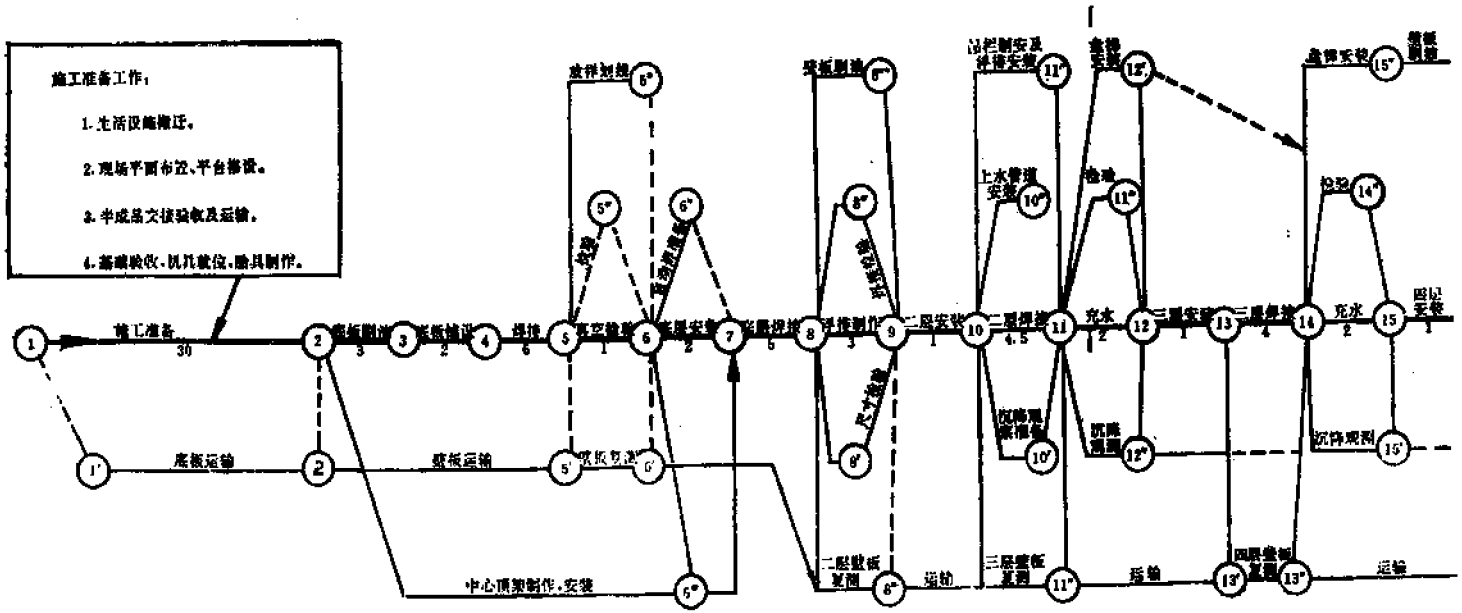

图 2.3.10(1)a　气柜水槽施工进度控制图

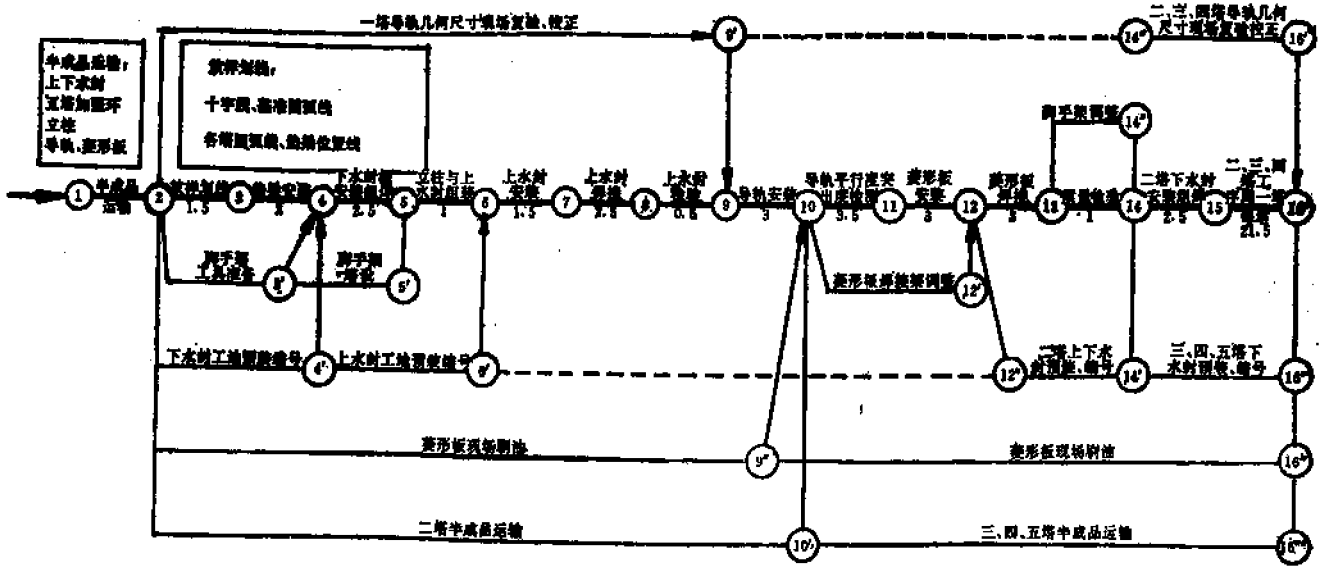

图 2.3.10(2)a　气柜塔体施工进度控制图

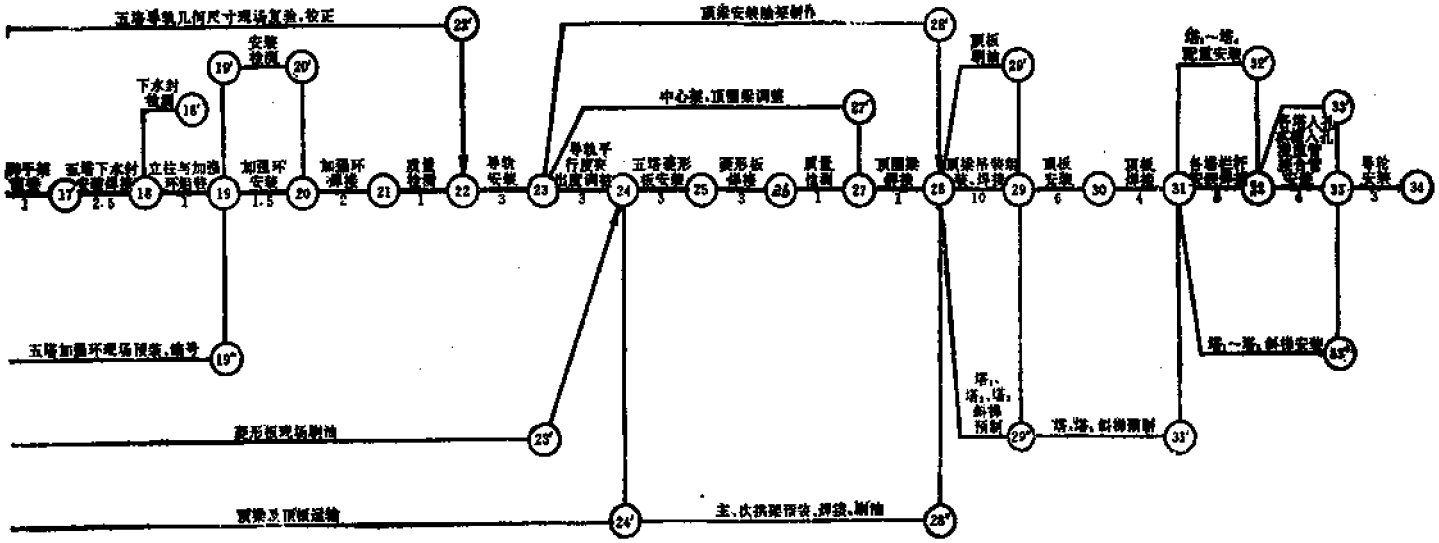

图 2.3.10(2)b　气柜塔体施工进度控制图

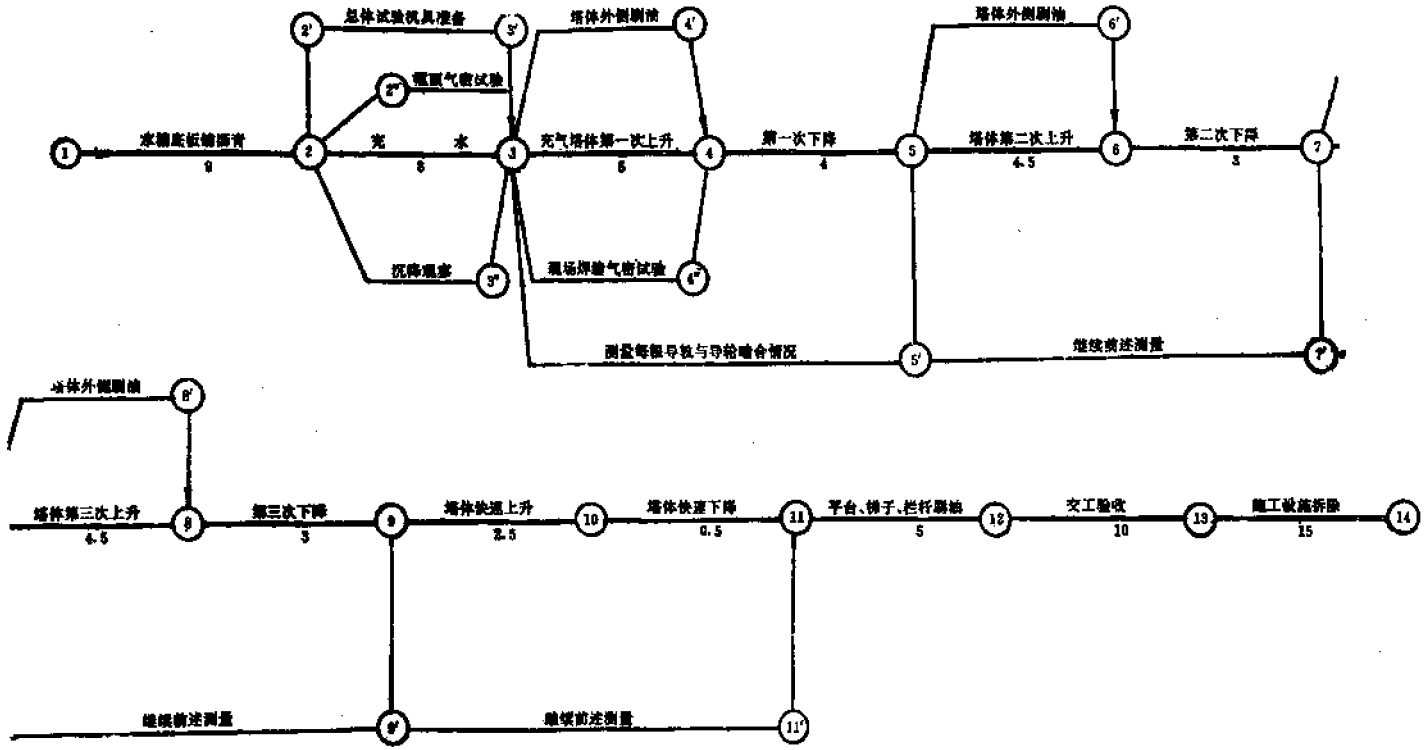

图 2.3.10(3) 气柜总体试验进度控制图

(四)气柜安装的工程质量要求

1. 气柜水槽安装

(1)底板局部凹凸度不得大于 50mm。

(2)边板的对接焊缝采用 X 射线探伤,探伤部位为边板对接缝的外端部,拍片数量为焊缝的 50%,以 GB3323-87《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》Ⅱ级为合格。

(3)底板所有焊缝应进行真空试漏,真空度为 40kPa。

(4)水槽壁板焊缝超声波探伤率,见表 2.3.10(5)。

超声波探伤标准按 JB1152-81《钢制压力容器对接焊缝超声波探伤》Ⅰ级为合格。

(5)水槽壁板几何尺寸要求,见表 2.3.10(6)。

表 2.3.10(5)

板厚/mm	纵缝/%	环缝/%	Γ缝/%
8～12	30	5	50
≥16～24	50	5	100

表 2.3.10(6)

序号	检查项目		允许偏差/mm	检查方法和要求
1	直径	顶层	±10	吊线和用尺,沿基准圆检查不少于 36 点
		底层		
2	水槽总高度(H)		$\frac{H}{1000}$但≯10	用尺,沿圆周检查,不少于 32 点
3	水槽总高垂直度		±10	吊线和用尺或经纬仪,沿圆检查 36 点(导轮处)
4	水槽壁上口水平度		±10	测 48 根立柱处
5	壁板局部凹凸度	垂直方向	±3	1m 直线样板测量
		圆弧度	焊缝处±6 板面处±3	弦长为 2m 弧形板测量

2. 气柜塔体安装

(1)垫梁相对标高允许偏差不大于 5mm,单根垫梁水平度误差不大于 1mm。

(2)塔体安装几何尺寸要求,见表 2.3.10(7)。

(3)各塔下水封槽注水试验,要求不渗漏。

(4)塔顶安装的几何尺寸要求,见表 2.3.10(8)。

(5)梯子、平台、栏杆安装要求,见表 2.3.10(9)

(6)构件刷油质量要求,应按《除锈刷油》有关说明严格执行。

表 2.3.10(7)

序号	检查项目	允许偏差/mm	检查方法和要求
1	各塔上下水封不圆度	±10	用垂线和尺检查，不少于 24 点
2	各塔上下水封(5 塔加强环)全高垂直度(H—塔体高度)	$\frac{H}{1000}$但≯10	吊线用尺检查点不少于 16 点
3	各塔上下水封同心度	3	测量 4 点(0°、90°、180°、270°)
4	各塔圆弧线等分线弦长	2	测量不少于 24 点
5	导轨平行度	±6	拉尺自上而下测 6 处
6	导轨径向突出度	±10	吊线自下而上不少于 5 处
7	各塔立柱垂直度	$\frac{H}{1000}$但≯10	吊线或经纬仪
8	菱形板安装	和顺无突变	目测
9	各塔上下水封的水平度	±10	圆环水平度测导轮立柱处(不少于 24 点)

表 2.3.10(8)

序号	检查项目	允许偏差/mm	检查方法和要求
1	相对梁两根径向梁中心线偏斜	10	拉线吊线和用尺或经纬仪检查
2	每根径向梁在沿垂直方向平面内偏斜	$\frac{D}{2000}$(D—直径)	在主梁中点吊线用尺检查
3	拱高	±50	用尺检查
4	中心顶圈水平度	±2	用水平仪检查
5	顶板凹凸度	和顺无突变	目测

表 2.3.10(9)

序号	检查项目	允许偏差/mm	检查方法和要求
1	平台标高	±10	用尺或水准仪测点不可少于 36 处
2	斜梯垂直度	±10	吊线用尺检查

(五)施工安全技术措施

1. 钢水槽安装的安全措施

(1)采用浮排充水正装法施工，应进行浮排的承载能力及安全性计算。

(2)浮排隔仓应密封，使用前应进行气密性试验。

(3)浮排内侧和浮动吊篮外侧平台应设置栏杆或立挂安全网。

(4)浮排与吊篮的各连接点和焊接处，必须经专人检查验收。

(5)水槽充水后，罐内应备有救生设施。

2. 塔体安装的安全措施

(1)各塔安装用的作业架搭设要牢固，间距和高度要适当，跳板铺设要符合安全规定要求。

(2)作业架周围要栓好护腰绳〈二道〉或立挂安全网。

(3)若遇三级或三级以上风天，不允许进行菱形板的吊装。

(4)吊装时，必须由专人操作，严格遵守操作规程。

(5)菱形板施焊及两塔间隙内刷油作业时，应设有安全流动监督哨。

3. 顶梁和顶板安装安全措施

(1)顶梁安装用的中心胎架要牢固，作业平台周围应设护拦。

(2)顶梁、顶板安装时，操作者应穿防滑鞋，戴好安全帽，挂牢安全带。

4. 气柜总体升降试验的安全措施

(1)气柜升起时，地面指挥与顶部作业人员要经常联络，以便及时处理问题。

(2)试升时如遇实测风压值较大地超过计算风压值时，应立即停止充气并进行检查，待故障消除后，再继续鼓风试升。

(3)放水或遇到白天与夜间温差较大时，应先打开顶部放空阀门，以防止气柜顶板抽瘪和顶架坍落。

5. 防腐刷油安全措施

气柜选用的油漆毒性较大，刷油时要求油工戴好防毒面具，并定期检查身体。

(六)质量设计

(1)工程项目：15 万 m^3 低压湿式螺旋升降贮气柜安装工程。

(2)工程质量目标：

1)分项工程合格率 100%，优良率低于 80%；

2)单位工程竣工一次交验合格率 100%，单位工程验优达标率 100%。

(3)工程质量管理目标：

1)组织健全工程质量保证体制，实施计划网络管理和计量网络管理；

2)严格按照设计要求、技术规范和施工组织设计进行施工；

3)认真执行质量保证手册中规定的各级部门及人员的责任要求，推行全面质量管理，开展"QC"小组活动，确保工程质量达到优良标准。

(七)施工工艺和施工技术措施

1. 气柜钢水槽部分

(1)基础验收：按照土建设计图纸的技术要求，对基础的平整度和水平标高用水平仪进

行测量复验。不合格处，则应由土建施工单位处理并达到要求后方可铺设罐底板。

(2)底板的铺设和划线：基础验收合格后，可进行底板的铺设工作，气柜底板中幅板的连线形式为搭接，边板之间为对接，边板与中幅板之间为搭接，根据供料尺寸，底板实际配板为“井”字形，共划分为九个区，各区之间的条板均纵横交错。底板铺设顺序由中心往两边进行。各中幅板搭接宽度为50mm。由于底板焊接收缩和坡度的影响，所以底板放样时应将底边中幅板和边板作适当放大，为此，加工制作时中幅板直径放大了160mm，边板外圈直径放大了80mm，为了留有余地，边板外侧圆弧切割宜在工地进行。

(3)底板的焊接：水槽底板中幅板焊接应分区域进行，在同一区域内的施焊程序和焊接工艺与钢质贮罐底板相同，各区焊缝施焊完毕后，再进行分区之间焊接(具体施焊工艺从略)。

(4)水槽壁板的安装：

1)圆心定位与放线：

①圆心定位：气柜的水槽壁和塔1、塔2、塔3、塔4、塔5壁板是半径不同的同心圆，它们的圆周尺寸和安装的位置准确与否，对气柜升降有很大影响，其圆周是否同心关键在于中点的固定。实际上底板中心点在划线时很难控制得好。为此采用在中心点焊接中心底座板的方法来保证圆心定位。

②划线：

A. 划线内容：a. 通过圆心相互垂直的有十字基准线；b. 水槽底板外沿尺寸线；c. 水槽壁板的圆周位置线；d. 水槽壁板外侧立柱的等分位置线；e. 垫梁安装位置线；f. 塔1至塔5下水封安装位置线。

B. 划线半径 R：

划线半径 R 应考虑基础坡度和焊接收缩，即：

$$R=\sqrt{r^2+h^2}+C$$

式中 R——实际划线半径(mm)；

r——设计图纸所标半径(mm)；

h——坡度造成中心高差(mm)；

c——收缩余量(取15mm)。

2)钢水槽壁板的安装工艺：

①充水浮排正装法：沿钢水槽内壁设置两圈钢浮筒，其上铺设跳板作为内脚手平台；罐外以水槽平台作外脚手平台；用悬臂吊架及斜拉杆将内外脚手平台连成一个整体(如图2.3.10(5)所示)。

当向水槽内充水时，浮排的浮力大于自重和水槽平台重量时，浮排及罐外环形平台即开始浮起，可根据工作需要升至安装位置，以便进行各层壁板的组装与焊接。

a. 主要设施：根据施工总进度的安排，在不影响配套工程的前提下，利用配套工程中的煤气管将每根钢管两端封死，使其成为钢浮筒，浮筒端与端之间用型钢连接成为多边形。沿水槽内壁周向布置两圈钢浮筒。其间用管子或型钢焊成整体，即成浮排。浮排顶面铺上跳板作为操作平台，宽度为2.8m。为了操作安全，可在浮排内侧周向设置栏杆扶手。

利用钢水槽平台作为外平台，按设计要求制成18榀组合件，每榀组合件之间用型钢临时组焊成一个环形平台，操作宽度0.8m，为了安全起见，外缘栏杆扶手一并焊好。

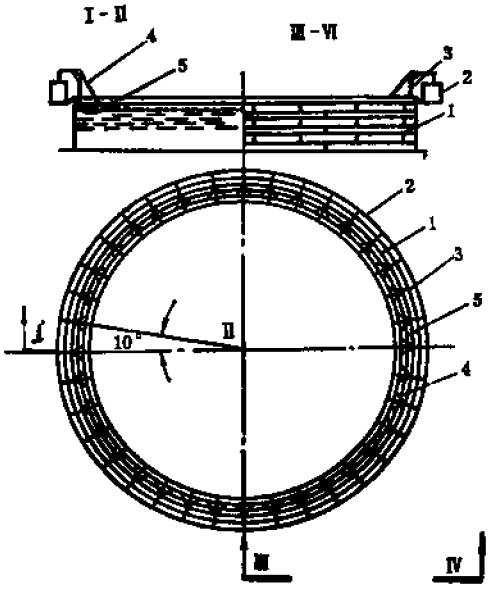

图 2.3.10(5) 钢水槽壁板浮排充水正装设施示意图

1—水槽壁；2—浮动吊篮；3—悬臂吊架；

4—斜拉杆；5—浮排

为了罐外环形平台升降平稳、受力均衡，在浮排上设了 36 榀悬臂吊架，高为 3.8m，通过悬臂吊架将罐外环形平台与罐内浮排连成整体，罐内浮排升起，罐外环形平台也随之升起。为增强悬臂吊架的稳固性，在吊架上端用 ϕ50mm 钢管两根作为拉杆(见图 2.3.10(6))。

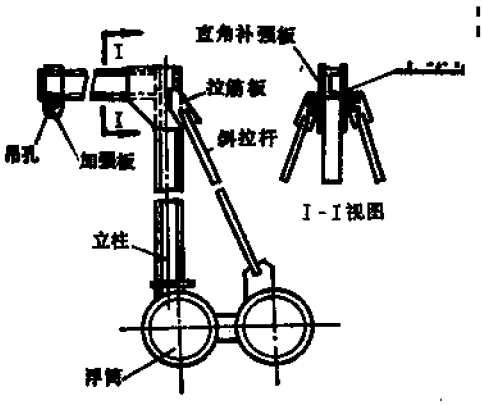

图 2.3.10(6) 悬臂吊架

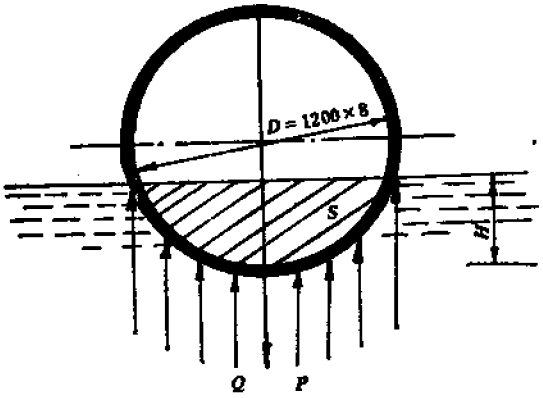

图 2.3.10(7) 管子浸液深度计算

考虑浮排和环形平台在组装时，因局部受力，可能产生偏转，所以在浮排外侧与水槽壁之间装有 36 个防转导向装置。

b. 浮排的承载能力、安全性及抗沉性：

浮排的浮力计划：

安装时作用在浮排上的总荷重 P：

$$P=Q_1+Q_2+Q_3$$

式中 Q_1——罐外环形平台重量(kg)；

Q_2——人员及安装设施重量(kg)；

Q_3——浮排钢管自重，$Q_3=L\cdot r$，

L 为钢浮筒总计度(m)，

r 为大管单位长度重量(kg/m)。

浮排的总浮力 Q：

$$Q=S\cdot L\cdot r$$

式中 S——钢管的截面积(m^2)；

L——钢管的总长度(m)，

r——水的比重。

安全性的确定：

浮排安装时的安全系数(n)，可由总浮力实际总荷重相比得出，即：

$$n=\frac{O}{P}$$

如图 2.3.10(7)所示。

浮排吃水深度 H 的计算：

浮排钢管浮在水面时，其重力 P 与浮力 Q 互相平衡；即：

$$P=Q；而\quad P=q\cdot L$$

$$Q=S\cdot L\cdot r$$

所以

$$q\cdot L=S\cdot L\cdot r$$

$$q=S\cdot r$$

$$S=\frac{q}{r}$$

式中 S——管子浸液横截面积(m^2)；

L——管子总长度(m)；

q——安装时浮排的单位长度荷重(包括自重)

$q=\frac{P}{L}$ (kg/m)；

r——水的比重。

由计算可知，钢管所制作的浮排，其吃水深度与浮排单位长度荷重有关。得到管子吃水部分的截面积 S，查 H/D 与 S 关系曲线，得与浮排承重相应的吃水深度 H。见图 2.3.10(8)。

②水槽壁板充水正装法施工顺序：在底板和底层壁板全部焊接完毕后，立即检查底层壁板尺寸和焊缝质量，同时安装浮排和外侧环形操作平台。确认壁板几何尺寸、焊缝质量和浮排的安全性合格后，即可充水，使浮排升起，进行第二圈壁板的安装和焊接。经质量检验符合要求后可再次充水，使浮排升到工作高度，进行第三层壁板的安装和焊接。重复上述程序，直至最后一圈水槽壁板组焊完毕。然后按设计要求安装立柱，固定水槽平台，拆除吊架。

水槽壁板纵焊缝内外侧采用自动焊，环焊缝外侧采用自动焊，内侧采用手工电弧焊。

③充水正装的注水步骤和注意事项：水槽施工特点是每层壁板施工周期较长，在此期间内，基础沉降随时间延长而趋向稳定。此外，应注意到北京地区与上海、天津等地区的情况有所不同，因此，注水速度和静置时间也应有所区别。我们拟定如表 2.3.10(10)所示的注水步

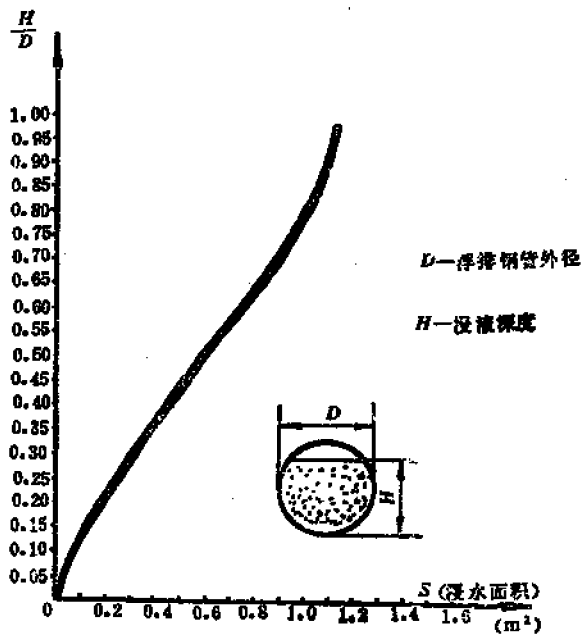

图 2.3.10(8) H/D 与 S 曲线

表 2.3.10(10)

注水步骤	注水高度/mm	静止停放时间/d	控制沉降量不大于/mm
1	1000	4～6	7
2	1600	4～6	7
3	1800	4～6	6
4	1800	4～6	5
5	1800	4～6	5
6	850	3～5	5
7	1800	6～7	5

如果沉降量超过规定值，则应立即减缓上水速度或停止上水，直至沉降量达到规定值后再恢复上水。

当基础不均匀沉降量数值较大时，则可在其相应部位垫钢板找平，或者留待垫梁安装时处理，如不均匀沉降量比较严重，则应放水将沉降严重处的壁板支起，在其底部垫铁板找平，或用充砂等办法进行处理。无论哪种办法，均要保证其承压面积足够大，最后将垫铁(或垫木)之间的间隙灌浆堵实。

2. 气柜塔体安装

塔 1、塔 2、塔 3、塔 4、塔 5 是 15 万 m^3 气柜最重要的组成部分，它的安装难度大，其质量好坏是关系到气柜能否使用的关键。因此，必须认真对待每一道安装工序，作到严格要求，精心施工，每一个检测数据要做到准确无误。

(1)塔体划线及垫梁安装：

1)划线：根据事先确定的中心，利用盘尺和弹簧称(拉力统一如 10kg)在同一气温条件

下，画出塔 至塔 5 的上、下水封内、外圆在板上的投影弧线、十字 心线（基准线）和基准圆弧线。

塔体 部共有 96 根垫梁，它们的安装位置既要与十字基准线保持正确的关系，又要呈辐射形（相 邻间圆心角为 3.75°）均布，并且要求保持等高。因此，需用经纬仪精心测出角度，划出 96 条 射线，然后利用钢盘尺加弹簧秤（拉力 10kg）量取半径，确定垫梁的安装位置。

2）垫 的安装：根据划线确定的安装位置，先将 δ=10mm 铁板 找平并焊接在中幅板上。然后安装 =2400mm 的垫梁，利用垫铁找平，控制垫梁相对标高 大于 5mm，本身水平度不大于 1m ，每根垫梁的标高测量外、中、内三点，以最低点为基准 。

垫梁 接应由若干名焊工同时对称施焊。施焊完毕后，还应复查垫梁的安装位置，不合格者应予 正。最后将各塔圆弧线由底板返到垫梁上表面。

（2）塔 体的安装：垫梁安装焊接完毕后，进行各塔骨架的安装，其安装顺序由外向内，即先进行塔 骨架的安装，然后依次进行塔 2、塔 3、塔 4 和塔 5 的骨 安装。菱形板的安装由内向外依 进行，即先安装塔 5 菱形板，然后进行塔 4、塔 3、塔 2、塔 1 菱形板的安装和焊接。

各塔 架安装的总原则是：扩大现场预制化程度，减少高空作 量。

1）塔 上下水封的预制及下水封安装：根据塔体立柱和导轨 ，预制时将各塔上、下水封等分预 成若干段组合件。各段组合件的理论长度应当相等，上 可以互换，由于实际制作中的误差 在，为了避免某一区段误差积累过大，以保证导轨、立柱 的安装孔距均匀分布，预制和安装 应采用如下措施：

①测 各段上、下水封圈板的实际长度，各段长度的叠加，加 各段水封圈板的组装间隙应与设 的理论长度相一致。

与此 时，现场应对各塔上、下水封圈板上的立柱与导轨螺孔 位置、孔距进行复测，复测无误后 方可进行安装。

②下 封安装前，应在垫梁上按各塔直径的理论位置线点焊 板，挡板点固位置应扣除圈板厚度。

③各 下水封安装时，圈板上的立柱导轨螺孔自身的间距应 设计的理论长度相一致。

④各 下水封第一段的基准位置均以设计图所标注的尺寸为 准，第一段的起始位置要反复检查 证。

2）立 与上水封的安装：为了减少高空作业，保证安装质量，将各段上水封（或者两段组合件）与立 在地面上用螺栓预先紧固连接成“Ⅱ”型组合件，将其吊起至适当高度，然后封焊水封圈 上的螺孔，以减少高空焊接工作量。

吊起 “Ⅱ”型组合件，除按有关要求组对外，还应注意下列问题：

①第 榀上水封立柱组合件的安装位置要准确。为此在安装时配备经纬仪，随时检测立柱的周向 直度，以确保其在设计允许偏差范围之内。第 1 的立柱垂直度（周向）应控制在 3～4mm，立 柱的径向垂直度误差可借助于水槽平台上的基准圆来控制，并辅以吊线来检查。第 1 榀上 封—立柱组合件安装完毕，用型钢固定在水槽平台（或 邻塔的上水封）上，以此从两面对 组装。

②上 封各段之间的组对间隙、误差控制及注意事项与下水封相同。

③各 上水封—立柱的“Ⅱ”型组合件数，主要决定于各塔上、下水封制作时的分段数。为了保证 装的顺利进行，每一上水封—立柱组合件必须有两根至三根立柱作支柱。如果水

封分段数多，可以将两段水封在平台上事先按要求组拼成大件。然后再与立柱组合成“Ⅲ”型大件。

(6) 立柱与水封连接前，应对立柱上部两根角钢组拼处因焊接造成的角变形进行人工或机械校平，以保证柱子面能贴紧水封圈板。

(7) 组合件的吊装，应采取相应措施，以保证各段立柱(与地面倾角<45°时)不产生永久性变形。因此吊装组合件拟用铁扁担，铁扁担两端部各挂 1.5～2.0t 倒链 1 个，借以调整立柱高度，便于螺栓穿插连接。

(8) 上水封的半径不圆度，用反正扣松紧节进行调正(见示图 2.3.10(9))。

(9)导轨的安装：塔体上下水封组装完毕后(焊缝尚未施焊前)，即可进行导轨的安装。安装时应注意下列问题：

1 导轨安装吊点为一个。利用卡扣栓在导轨附板的安装孔上，或者用钢丝绳捆扎在导轨上，吊点应在导轨组合件的中心偏上位置，以便导轨斜穿插入各塔上水封空档口。

()导轨吊装就位后，立即将其与下水封圈板用螺栓紧好。再进行上水封圈板与导轨附板螺栓连接，最后进行导轨附板与立柱间的对接。

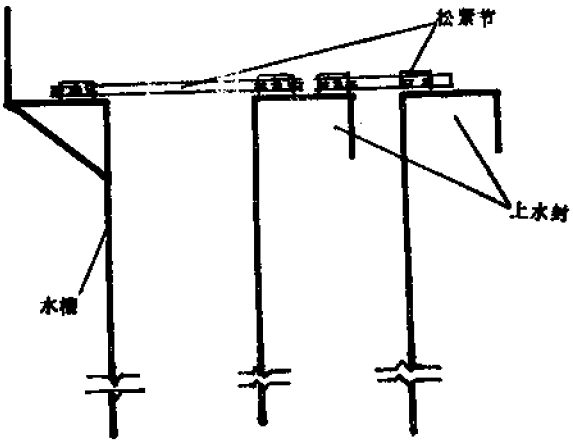

图 2.3.10(9) 上水封径向位置控制示意

导轨的预制质量是气柜加工制作的关键，因此安装前在现场还应对运至工地的导轨进行复验或修理。将合格的导轨，分成若干等分，并作好标记(图 2.3.10(10))，以此测量其平行度和突出度。

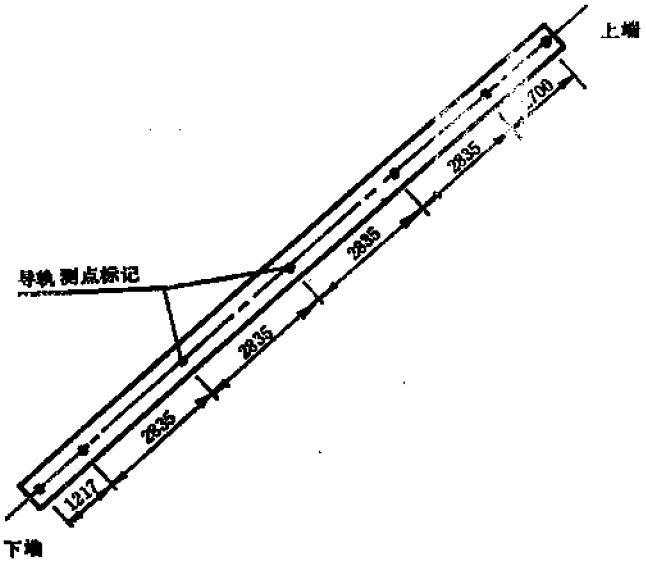

图 2.3.10(10) 导轨平行度、突出度测点标记

分段等分工作要十分仔细、认真，要复查等分尺寸的准确程度。

4)导轨平行度和突出度检验：

①导轨平行度的测量：导轨安装是否符合要求，主要的标志就是导轨平行度是否达到规范规定。误差大小将直接影响气柜的升降。因此必须仔细、认真测量，要反复校对，确保无误。

导轨平行度的拉尺检查，是利用钢盘尺和弹簧秤(拉力 100N)拉尺检查相邻导轨的弦长，其误差值不得大于 6mm。

②导轨径向突出的测量：导轨径向突出度如果控制不好，在气柜升降过程中导轨将导轮向外拉出或者向内压进，如果突出度(径向)误差超过导轨结构所允许的轴向串动量(15 万 m^3 气柜导轮轴向串动量为 20mm)，则会产生导轨与导轮间严重挤压或者脱轨。

测量导轨径向突出度的方法是在导轨上、中、下挂垂线，借助于基准圆线测量径向误差(见图 2.3.10(11))。

(4)菱形板的安装：

1)菱形板安装顺序由内向外逐塔进行，采取这种方法，有利于改善焊工的施焊条件，以保证焊接质量。因为大量的菱形板外侧焊缝为连续焊接，施焊作业需要有一个较为宽裕的活动范围。

2)菱形板吊装采用铁扁担进行(见图 2.3.10(12))。

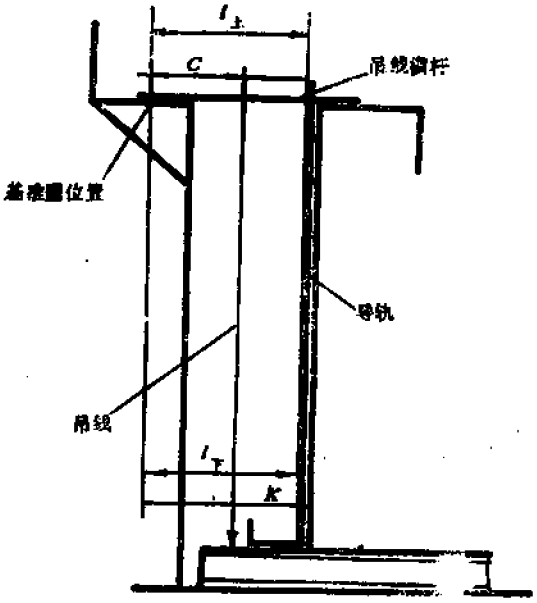

图 2.3.10(11) 导轨所在圆柱面半径测量

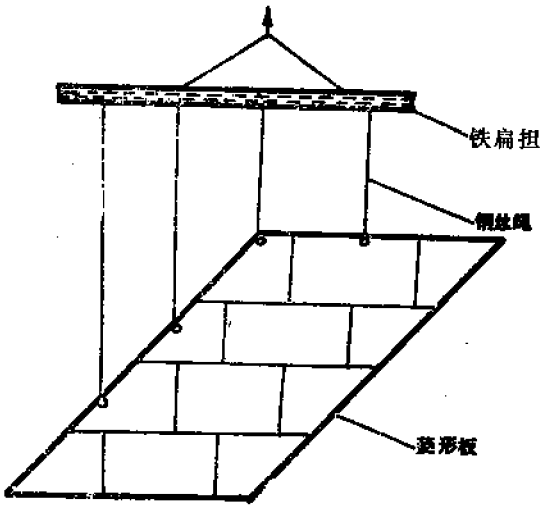

图 2.3.10(12) 菱形板吊装

3)菱形板安装时应注意如下几点：

①在塔体的“骨架”几何尺寸复测无误后，方可进行菱形板的安装。

②菱形板板面不允许焊接吊耳，利用安装螺孔进行。

③菱形板安装时要求采用“对角拉紧”的办法，确保板面不产生皱折或鼓包。

④菱形板的焊接是塔体焊接的关键，要确保塔体的密封性。焊接时焊工要均布并选择适当焊接规范进行焊接。施焊时，要防止电流过大烧穿菱形板，或热量过于集中导致结构产生

过大变形。

(5)塔体安装用的脚手平台：为了加快工程进度，降低成本，拟用塔体立柱作为脚手支柱，其上设置横梁(ϕ60×3.5 管子或者∟ 50×50×5 角钢)并铺设跳板。

1)架子层数和高度：脚手平台的高度主要是根据焊工的施焊位置来选定，其次结合各塔导轨平行度、突出度调整的需要来综合考虑。现拟定架子层数为五层，每层高度为 1.75～1.80m。

现场搭设架子时，由于受导轨及附件安装所占空间位置的限制，某些部位层次高度要视实际情况，适当增高或降低。

2)架子形式：脚手架是导轨调整、菱形板焊接所必须的设施，它随操作内容改变而变化。每一塔跳板将自下而上或者自上而下逐层翻捣。当一个塔的菱形板安装焊接结束后，跳板将由内向外逐塔转移。

架子的横担长度为 1.4m，它通过挡板固定在塔体立柱侧面，这种架子形式既适合五塔菱形板焊接需要，也可以满足 5 塔、4 塔、3 塔、2 塔导轨平行度、突出度调整的要求。

3. 气柜的顶架和顶板部分

(1)顶架的预制：顶架的主梁、次梁以及横梁都是以单件运至工地的。在工地首先应将 4 榀主顶架单件和 8 榀次顶架单件在组合胎具上预制成组合件(如图 2.3.10(13))。

预制时，凡 DL 梁(Ⅰ36a)上的连接件均应事先焊好，以减少顶架吊装后的高空焊接工作量。并根据设计对顶架的要求，严格控制顶架组合件的尺寸误差，经检查合格后，按要求作好全部防腐工作。

为了尽可能地减少吊装次数和为顶架横梁的安装创造条件，计划在已预制好的 12 榀顶架上预先铺设顶板，作到顶板和顶架一起吊装。顶板铺设前，应将顶板内侧的六道防腐工作全部作完，铺设应由上而下进行。

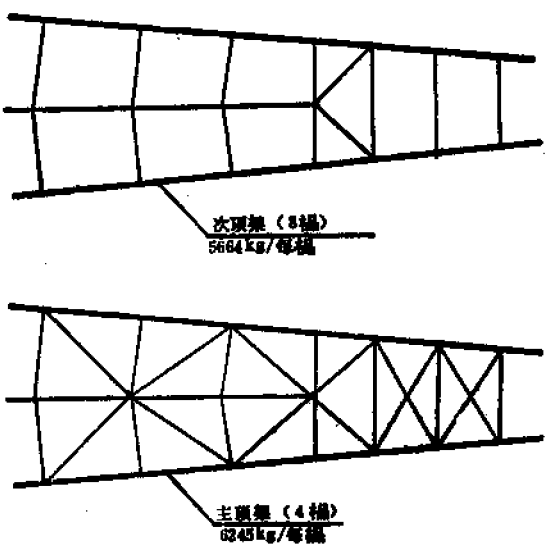

图 2.3.10(13) 顶架组合件

(2)中心胎架和中心顶圈的安装：

1)顶架安装前，应对水槽中心顶架安装胎(即中心胎架)的垂直度和实际高度进行复验。因基础充水试压，可能出现顶圈中心偏移和标高降低，其中心偏移不得大于 2mm(吊线检查)，顶圈不平时，则用斜垫铁垫平固定，并使顶圈实际标高较设计尺寸提高 150mm。

中心胎架是顶架安装的必备设施，其底部与底板固定，其直径为 5.6m，顶部直径为 4m，高 16m，并在顶部设置操作平台，它的安装应在水槽底板焊接之后，壁板尚未组对之前完成。安装时，应先将 5 塔中心顶圈固定在胎架上部，如图 2.3.10(14)所示。

2)根据气柜施工的实践，顶架安装前，应将 5 塔上部加强圈用足够强度型钢与其他各塔上水封直至水槽壁板连接，以防止五塔加强圈在顶架安装时发生过大变形而造成椭圆。

(3)顶梁的安装：

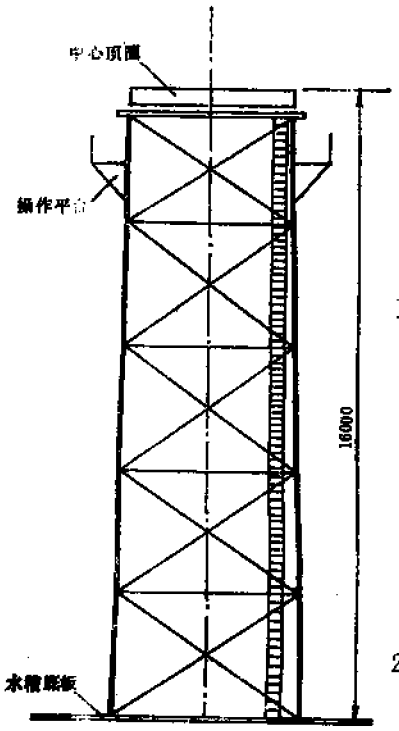

图 2.3.10(14)　中心胎架示意图

1)顶架最大实际重量。

主顶架重量：　　$Q_1=6245\text{kg}$

次顶架重量：　　$Q_2=5664\text{kg}$

随顶架一起吊装之顶板：　　$Q_3=2909.8\text{kg}$

最大实际吊装重量：　　$Q=Q_1+Q_3=6245+2909.8=9155(\text{kg})$

2)顶架的吊装重心位置：根据顶架尺寸，计算出主顶架重心距离中心 S_1，和次顶部重心距中心距离 S_2。

即：$6245S_1=113470(\text{kg.m})$

$$S_1=\frac{113470}{6245}=18.170(\text{m})$$

$$5664S_2=102140(\text{kg.m})$$

$$S_2=\frac{102140}{5664}=18.0331(\text{m})$$

3)顶架的吊装高度及吊装半径如图 2.3.10(15)所示。

4)吊装机械的选择：吊装机械计划采用神户 PSHG/25TC 吊车。

神户 PSHG/25TC 有关技术参数：

用 18.5t 配重，和 9.5t 附加配重、使用外支腿。

吊杆长度：　　42.67m

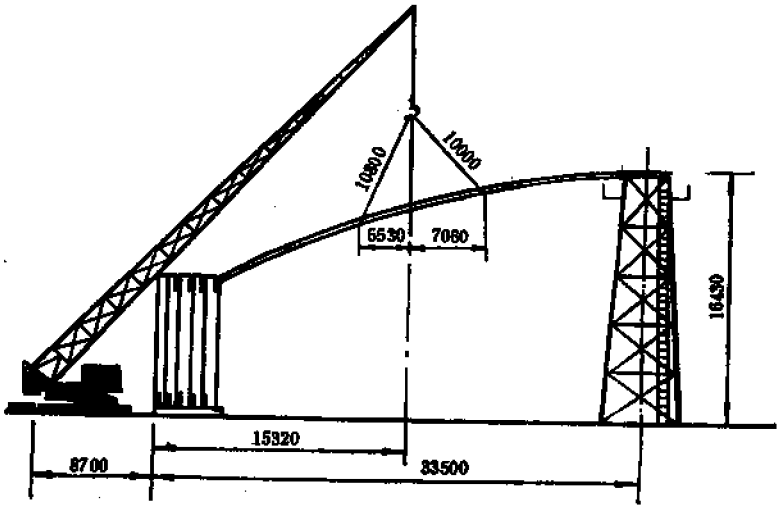

图 2.3.10(15)　顶架吊装图

工作半径：　　25m

额定提升能力：　　10t

5)吊装：顶架吊装时，应对称进行，首先应吊装 4 榀主顶架，然后吊装 8 榀次顶架，吊装顺序如图 2.3.10(16)所示。

(4)其他构件(短梁和横梁)的安装：当 12 榀顶架组合件安装结束后，即可进行其他径向

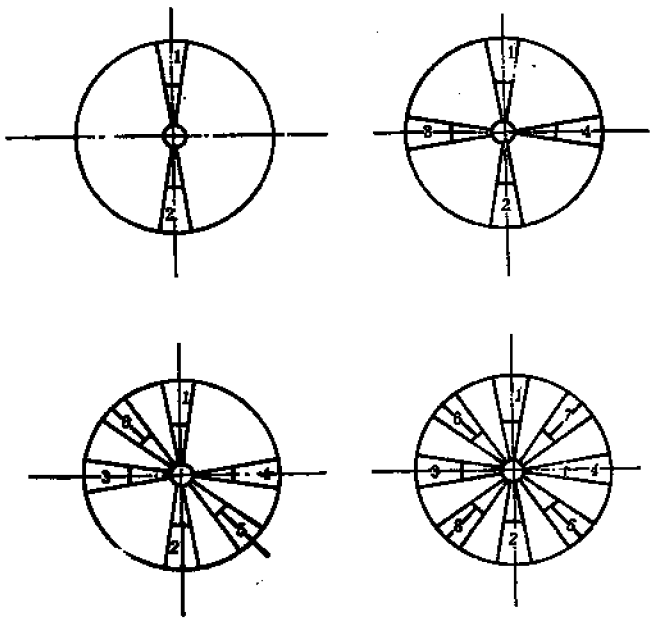

图 2.3.10(16) 顶架吊装顺序示意图

短梁及横梁的安装。径向短梁与其顶端的横梁应事先预制成组合件，一并吊装就位。其他横向短梁的安装则应单件进行。安装时，可由一侧顺序进行，因为 12 榀顶架安装完毕后，一个刚性很大的拱顶整体已经形成，安装可不必对称进行。

由于 4 榀主顶架和 8 榀次顶架在安装前已经铺设顶板，因此在横梁安装时，作业人员可借助顶板进行组对和焊接。为了确保操作人员的安全，应在顶板临时焊接挂钩，将安全带系在上边，并在下边挂好安全网。

(5)顶板安装：当顶架安装结束后，即可进行顶板的最后找正安装，根据设计对气柜顶板安装的要求，顶板安装应由上而下进行，即先安装顶圈盖板，然后安装顶板的中幅板。对事先已铺设的顶板，应将点焊处铲除，按照排板尺寸找正就位，点焊固定。

顶板共分为 6 个环形区，由外向内，板厚分别为 14mm、3mm、3mm、3mm、3mm、3mm、6mm，无论是纵缝或者环缝，除 14mm 厚边板为对接外，其余均为搭接。

顶板的焊接原则与拱顶贮罐相同，即先焊接径向焊缝，然后焊接环向焊缝。

4. 各塔斜梯和导轮安装

(1)斜梯安装：按十字基准线确定好各塔斜梯的安装位置，注意斜梯位置不能与内侧导轨相碰撞。预先将斜梯在平台上预制好，吊装就位，并用线锤或经纬仪找正，然后焊接。

(2)导轮安装：

①按设计尺寸确定各塔导轮位置，将导轮就位，并把导轮底板焊死。

②导轮座的螺栓在升降试验时不要固定太死。在进行第一、二次升降试验时，测量每根导轨沿高度方向(1m)的径向突出度和导轨的啮合距离。并根据实侧数据，调正导轮座的安装位置，对于凹凸度超差较大的部位，可以用增加导轮轴向窜动量的办法来弥补。待两次升降试验结束，导轮位置调整适当后，再将导轮座固定。

5. 防腐刷油部分

贮气柜内的气体介质的水槽内的水均有腐蚀性，且塔体运行不断地反复地浸入水槽或暴露在大气中，受风吹日晒，极易腐蚀，因此，防腐工作是一项十分重要的工序。

(1)气柜防腐方案：气柜构、部件刷油前均要认真除锈，凡处于高空的构、部件，吊装前尽量将油漆涂刷完毕。焊缝处油漆可以留待安装焊接以后补刷。防腐刷油的除锈要求和油漆种类见表 2.3.10(11)。

表 2.3.10(11)　　气 柜 防 腐 方 案

防腐部位	施工顺序	涂料名称	涂刷道数	漆膜厚度/mm	稀释剂名称	备 注
水槽底板（底面）	首道	YJ 型硅酸锌防锈底漆	2	40		出厂已做
	中间层	HL-901 环氧沥青管道漆	1	70	103 稀释剂	出厂已做
	末道	HL-902 环氧沥青管道漆	1	70	稀释剂	现场做
水槽底板（上面）	首道	YJ 型硅酸锌防锈底漆	2	40		出厂已做
	中间层	HL-901 环氧沥青管道漆	1	70	103 稀释剂	出厂已做
	末道	HL-902 环氧沥青管道漆	1	70	稀释剂	现场做
	表层	30 甲石油热沥青		10		现场做
水槽内壁 各塔内壁 顶壁内壁	首道	YJ 型硅酸锌防锈底漆	2	40		出厂已做
	中间层	"843"高铁环氧脂防锈漆	2	70	103 稀释剂	出厂前做一道 现场做一道
	末道	"624"高铁氯化橡胶防锈漆	2	70	101 稀释剂	现场做
各塔外壁 顶板外壁	首道	YJ 型硅酸锌防锈底漆	2	40		出厂已做
	中间层	"615"铝粉氯化橡胶防锈漆	2	70	101 稀释剂	出厂前做一道 现场做一道
	末道	"651"铝粉氯化橡胶面漆	2	70	稀释剂	现场做
水槽外壁 梯子、平台 各塔斜梯	首道	YJ 型硅酸锌防锈底漆	2	40		出厂已做
	中间层	"615"铝粉氯化橡胶防锈漆	2	70	101 稀释剂	出厂前做一道 现场做一道
	末道	"629"绿色氯化橡胶防锈漆	2	70	稀释剂	现场做

(2)防腐刷油的程序：

1)水槽底板下表面与基础接触面的末道刷油。在底板铺设前进行，上表面的末道刷油及 10mm 热沥青层待 5 塔壁板安装结束后进行。

2)1～5 塔内壁，下水封内外表面，上水封内表面、垫梁、立柱、顶架以及顶板内表面的防腐，均在安装前全部做好。顶架安装组对的焊接部位，在焊后进行补刷。下水封的安装焊缝在盛水试漏后进行补刷。

3)五塔顶板外侧的中间油漆，待顶板焊接结束后进行。顶板安装焊缝的防腐，在进行气密性试验之后补刷。其他顶板板面的末道油漆，待防雷设施安装结束后进行。

4)1～5塔壁板外侧的中间漆及面漆，在升降试验时涂刷，并对安装焊缝进行补刷。

5)水槽板外侧之中间漆及面漆，随同壁板安装一道进行。焊缝处待水槽充水试漏合格后进行补刷和最后一道面漆涂刷。

6. 气柜的总体试验

(1)试验内容和目的：

1)1～5塔升降各三次，检验各塔体运转性能。

2)检验各塔气密性。

3)检验罐体强度和地基的承载能力，各塔升降试验是对气柜施工质量的总检验，是施工的最后关键工序。

(2)气柜总体试验：

1)水槽充水试验及其注意事项：

①试验前的准备工作：

A. 仔细检查水封、立柱与垫梁以及其他各部位点固焊是否铲除。

B. 所有妨碍升降的因素应予以消除。

C. 水槽内所有杂物、灰泥及垃圾均应清扫干净。

D. 升降试验若在冬季进行，应在水槽内临时设置加热器，以保证水温在0℃以上。

E. 水槽外充水管线及阀门，应进行保温或采用其他办法保护，以防冻坏管子和阀门。

②注意事项：

A. 设专人负责值班，检查水槽壁板各处有无漏水和渗水的现象或有无变形现象产生。

B. 充水试验时应对基础进行沉降观测。

2)各塔升降试验，气密性试验：

①罐内气压值计算和风机选择：升降试验时，各塔内的气压按下式计算：

$$P=\frac{Q}{F}$$

式中 Q —— 上升塔体的总重量(kg)

F —— 上升塔体的圆截面积(m^2)。

根据上式可以计算出升降试验时各塔的气压值，其中包括气柜升降的最大气压值和最小气压值。

各塔气压值(mm水柱)见表2.3.10(12)。

表2.3.10(12)

项　目	1塔	2塔	3塔	4塔	5塔
设计的气压值	280	245	200	153	106
实际计算气压值	289	255	209	162	115

表 2.3.10(13)

升降次数	上升速度/(m/h)	下降速度/(m/h)
第一次升降试验	2～3	7～8
第二次升降试验	3～4	8～10
第三次升降试验	5～6	10～12

表 2.3.10(12)所列的各塔升降气压值中，最大气压值为 289mm 水柱。风量泄漏可以不计，升降试验时所选择风机全压大于 300mm 水柱即可。

②升降速度：升降试验时，由于要进行各项数据的测量，各塔外壁油漆涂刷或补焊，焊缝涂肥皂水试漏等。因此，第 1、2 次升降试验可以控制得慢一些，第 3 次升降试验可以进行得快些。根据有关资料，我们制订如下升降速度(见表 2.3.10(13))。

③试验方法：

A. 试升：利用鼓风机向罐内充气，使塔体徐徐上升，通过导轮运转情况和借助罐顶的 U 型压差计观察压力变化，来检验塔体上升的性能，并对安装焊缝涂刷肥皂水来检验焊缝的严密性。

B. 试降：当气柜一塔上升至最高位置后，打开放空阀，使塔体渐渐下降。此时，要继续观察罐内压力变化和导轮情况，以检验塔体下降性能。

④试验前的准备工作：

A. 检查气柜导气阀门的严密性；

B. 在气柜顶部设置 U 型压差计；

C. 准备好供气鼓风设备和供气管道，其出口压力必须大于气柜额定的操作压力；

D. 各塔的下水封应注水试漏合格。

⑤试验时注意事项：

A. 气柜充气后应经常注意压差计的指示读数以及各塔上升的情况，如果产生压力突然升高现象，则应立即停止充气。检查阻碍上升的部位，待障碍消除后方能继续试验。

B. 当各塔下水封带板靠近下一塔的上水封带板时应减速上升，并检查下水封内有无妨碍扣合的杂物。此时，必须沿圆周分多处同时观察下水封是否准确地进入上水封内。

C. 气柜上升或下降，应沿圆周仔细观察并测量导轨与导轮的接触情况，以供导轮安装最后定位时参考。

(八)工艺、质量计量检测网络图(略)

(九)气柜施工机具、材料使用及运输计划(略)

(十)技术经济指标

技术经济指标列于表 2.3.10(14)。

(十一)施工平面布置图

施工平面布置见图 2.3.10(17)。

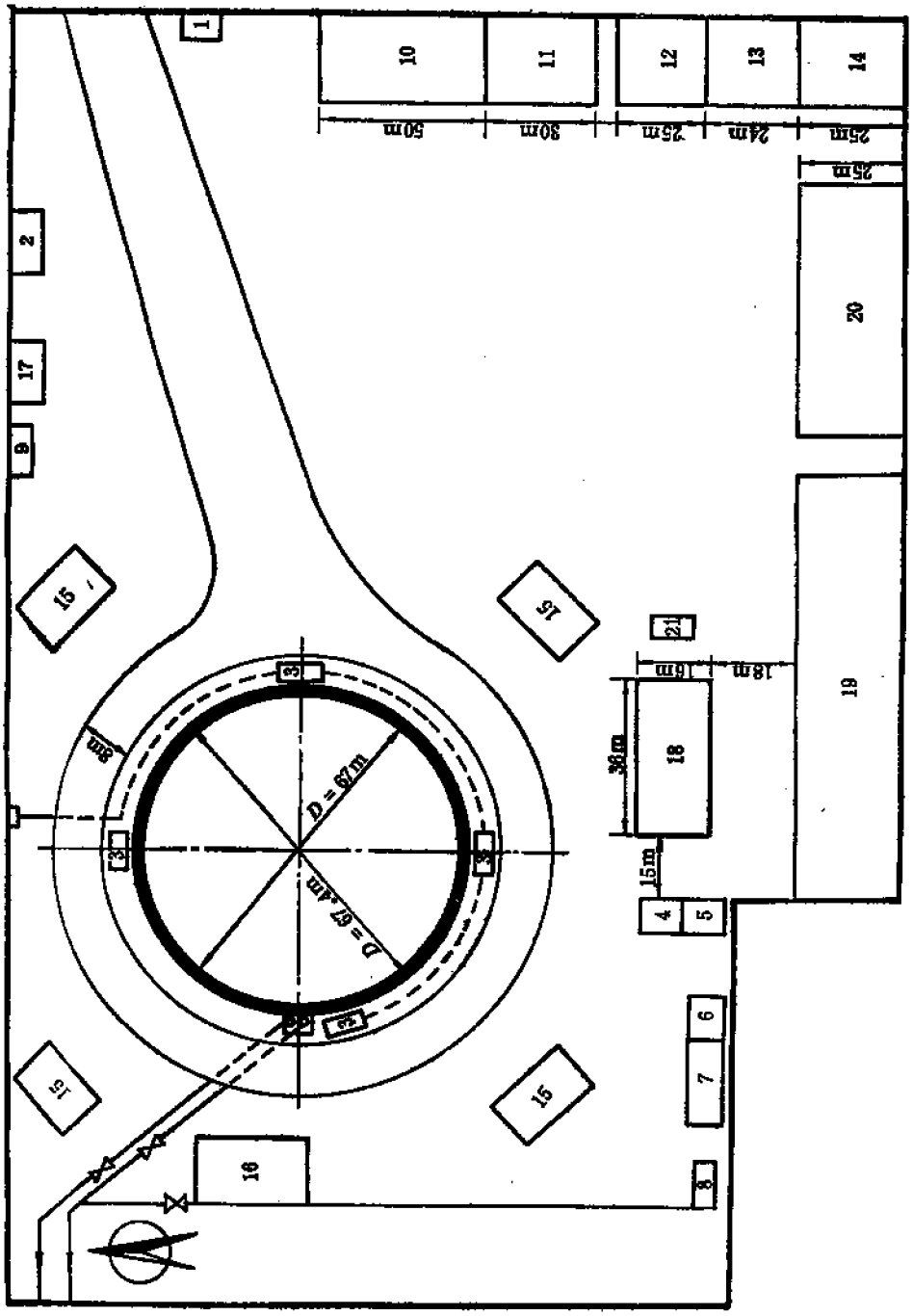

图 2.3.10(17) 气柜施工平面布置图

1—门卫房；2—工地办公室；3—电焊机房；4—值班室；5—料库；6—电气修理间；7—仓库；8—起重工具房；9—油工房；10—管材堆放区；11—水槽、塔体立柱堆放区；12—导轨校验区；13—导轨堆放区；14—菱形板堆放区；15—水槽底板、壁板堆放区；16—措施材料堆放区；17—涂料堆放区；18—拼装钢平台；19—各塔上、下水封堆放区；20—顶架梁堆放区

表 2.3.10(14)

序　号	项　目	指　标	备　注
1	工期指标	328 天	
2	计划总用工日	31504	
3	工程优良率/%	80	
4	安全指标	杜绝死亡、减少重伤、月事故率 2.5%	绝对工期
5	降低成本/%	3	
6	机械利用率/%	50	
7	机械完好率/%	96	

（编制　陈允仁　时成栋　韩仁勇　牛清俭　赵义生）