

## 3.10 湖南电视发射塔安装工程施工组织设计

中建五局第一建安公司工业设备安装分公司



**【简介】** 湖南电视塔总高210m,由塔架、塔楼、天线三部分组成,全为钢结构,高强螺栓连接。在构件安装解决垂直运输并就位对接是个难题。通过科学分析和计算,大胆地采用了80t·m自升式塔吊,超高40m,并与钢塔同时边升边进行柔性附着,达到了塔吊与钢塔共同工作,解决了稳定问题。在塔吊高空拆除方面,解决了一系列技术难题,多、快、好、省地完成了任务。在高塔钢结构安装上采用普通自升式建筑塔吊方面开创了先例。本工程获中国建筑工程总公司银质奖,取得了良好的技术经济效益和社会效益。

### 3.10.1 工程概况

1990年,中建五局一公司承建的湖南省电视塔是目前国内少见的大型钢结构电视发射

塔之一。

她由同济大学设计,江西矿山机器厂钢塔分厂制造,以其丰韵多姿的优美造型和功能齐全、性能完善的结构特点屹立在风景秀丽的湖南省电视台院内。她东邻烈士公园,南靠长沙市动物园,依山傍水,气势雄伟。

该塔高210m,重量700t,可同时容纳7个电视频道和6套调频广播节目,发射覆盖面积比原发射塔扩大了10倍。在塔高+125m处设有观光塔楼,为人们观光长沙市景,极目湘江、岳麓,提供了良好的旅游景点。

该塔的全部钢结构由塔架主体结构、第一直线天线段和塔桅天线架3段组成。塔架主体结构分别由塔架(正六边形钢管结构)、塔楼及电梯楼(正十二边形倒锥钢管结构)和矩形桁架式电梯井道等三部分构成。塔架底板标高为±0.00m,塔柱承台中心对角线长40m,架顶标高为+141.34m。其上为边长为3.2m的正四边形直线天线段和变截面分段焊接式的塔桅天线架。电梯井道为矩形三间布置,中间是设备、爬梯、管道间,两侧安装高速电梯。塔架构件的主要节点为法兰、螺栓连接,部分搭接节点或盖板采用螺栓连接或焊接。构件和节点采用银灰色喷镀锌防腐。

上述塔架主体结构构件2900余件,重量642t,占全塔总重的91.8%,采用QT-80C型塔吊超高使用吊装架设,为国内同类钢塔架设开创了先例。

本工程于1990年1月20日开工,9月22日正式投入播送亚运会实况节目,纯工期171天,施工作业人员32人。

### 3.10.2 施工准备工作

#### 1. 图纸会审及技术交底

- (1) 熟悉施工图纸及钢塔设计、制造、安装等方面的各种技术文件、规范标准等。
- (2) 组织图纸会审及技术交底,并做好记录。

#### 2. 构件检查清点

会同建设单位、制造厂家进行现场构件开箱检查,认真清点构件的数量与质量,并做好检查记录,对于有缺陷和质量不合格的构件做出记录,并即时加以处理。

#### 3. 基础检查复核

在安装之前,须严格按钢结构验收规范对塔体基础进行认真检查复核,并做好记录,发现不符规范要求,应会同设计、建设、施工单位磋商进行处理,使其达到表3.10.1要求标准。

#### 4. 建立现场测量控制网

根据现场条件和工程特点,安装前先建立好垂直控制轴线,沉降观测线路以及标高测量控制点,并按工程测量规范要求,定好各控制点,做好标志,设好标牌;做好永久性保护。

#### 5. QT-80C型塔吊基础施工

本塔安装拟选用QT-80C型普通塔吊,采用底架固定、中间柔性附着、超高使用的方式进行主体塔架吊装,塔吊安装于塔架中央、电梯井道基础上面,塔吊基础置于辐射梁之

基础锚栓安装前复核检查标准

表 3·10·1

序 号	检 查 项 目	设 计 值	允 差	备 注
1	塔柱锚栓中心对角线长	40m	±8mm	共3条
2	塔柱锚栓中心边距	20m	±5mm	共6条
3	塔柱锚栓中心至塔心距离	20m	±5mm	共6条
4	塔柱锚栓垫板水平度		1/750R	每垫板测4点
5	塔柱锚栓垫板高差互差		±2mm	
6	加帽胶锚栓螺杆外露丝扣		不少于2扣	

上,且须高于井道基础10cm以上,混凝土强度等级不低于C20。

### 6. 现场条件

由于发射塔紧靠电视台演播厅,场地为回填土,已夯实,其上已铺一层煤碴。

## 3·10·3 施工总进度计划

施工总进度计划请参见表3·10·2。

## 3·10·4 施工总平面布置

图3·10·1所示为施工总平面布置图。

## 3·10·5 施 工 方 法

电视发射塔全高210m,总重约700t,具有垂直运输及吊装量大,高空作业危险性大等特点。综合考虑现有条件,选择先进安装技术,合理地选用吊装机械是完成电视塔安装的关键。

(1) 塔体施工方法的优化选择:由于塔座周围均有建筑物,其间距仅有6~9m,施工场地窄小,因而在塔外无法设置吊装设备。根据钢塔体不同标高、不同型式,经分析比较,拟定分段采用不同吊装方法施工。

1) 主体塔架,塔楼、电梯井道、电梯楼(±0.000~+141.434m)选用自升式QT-80C型塔吊吊装构件,采用单件吊装,高空就位拼装方法施工。

2) 第一直线段(+141.434m~+172m),采用提升式临机桅杆土法吊装方法施工。

3) 天线架部分(+172m~+210m),采用在井道内用倒装法组装成整体,一次提升到位的方法施工。

(2) ±0.000~+141.434m塔体的施工工艺选择: +141.434m以下塔体总重约610t,占塔体总重的91%,经分析研究该段塔体施工采用塔吊施工方法。





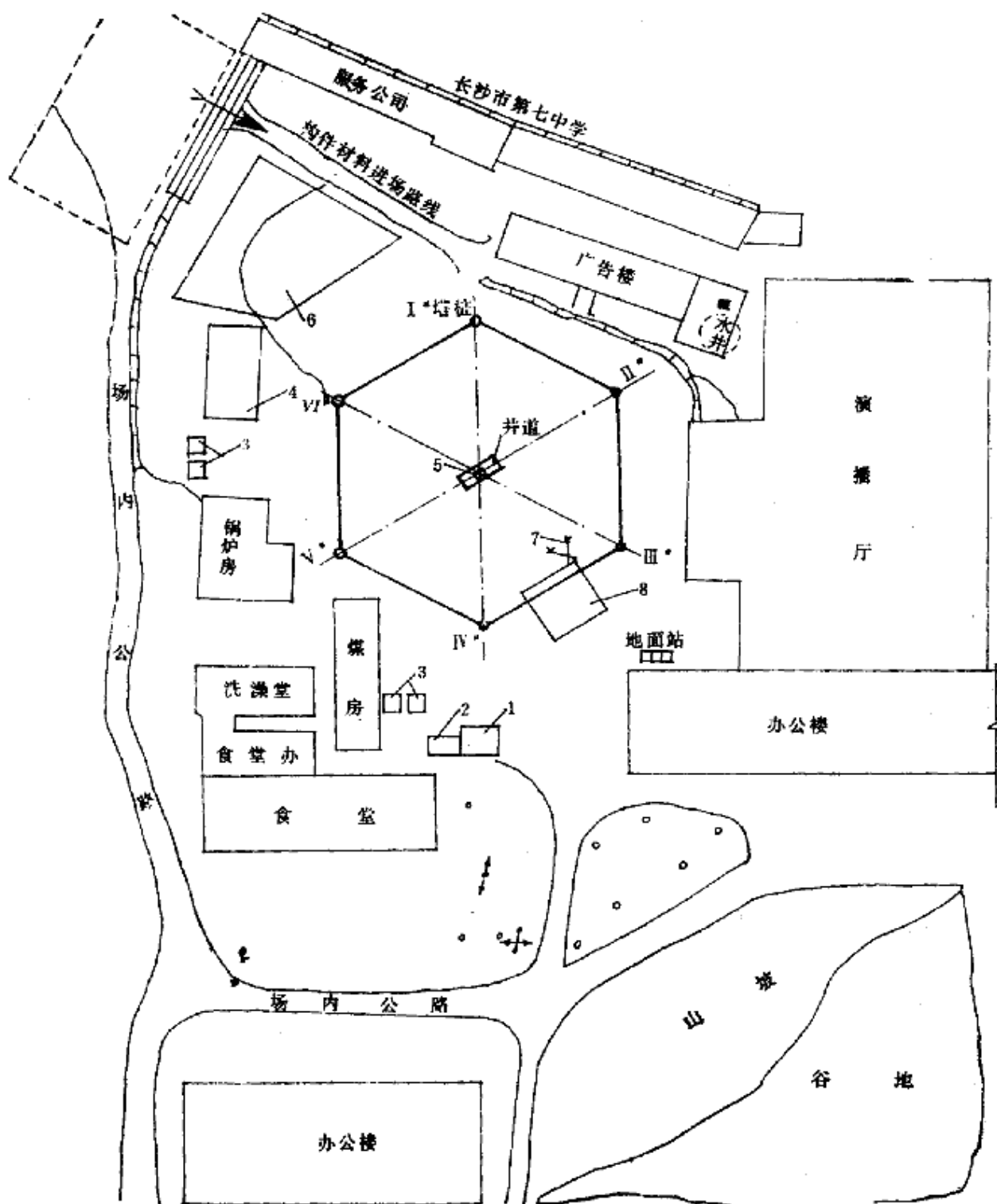


图 3-10-1 施工总平面布置图

1—监视指挥台；2—配电房；3—卷扬机；4—拼组平台；5—QT-80C型塔式起重机；6—临时构件堆放地；  
7—二次运载人字架（+130m）；8—拼装平台

### QT-80C型塔吊的选用

① +141.434m以下塔体安装对塔吊的技术要求:

- 起重力矩 $M_0 = 3.8 \times 20 = 76t \cdot m$ ;
- 起重幅度 $R > 20m$ ;
- 起升高度, 不小于142m。

② QT-80C型自升式塔吊技术参数为:

- 起升高度: 100m;
- 最大起重量8t;
- 最大起重幅度40m;
- 起重力矩80t·m;
- 吊臂分别长为25m、30m、35m、40m。

从QT-80C型塔吊技术参数与塔体安装要求相比较, 可以满足安装要求, 但必须解决下面三个技术关键。

第一, 由于塔吊设置在电视塔架中心, 而电视塔为变坡渐缩, 对角线由40~10.27m不等, 而井道与井架之间又无设置刚性附着的空间位置, 因此, 必须改变刚性桁架附着为钢丝绳柔性附着。

第二, QT-80C型塔吊设计起升高度为100m, 而塔架安装需144m, 要超高44m使用。

第三, +141.434m塔架安装完毕后, 由于QT-80C型塔吊是安装在井道中心, 由于塔本身影响, 不能靠塔吊自身升降机构降至地面拆除, 必须在150m高空处进行逐一解体拆除。

③ QT-80C型塔吊柔性附着方式、超高使用与拆除工艺技术的依据:

QT-80C型塔吊采用柔性附着、超高使用与高空拆除新技术, 由于这些技术目前在国内尚难以找到借鉴的经验, 为此公司和局工程技术人员反复进行理论探讨与分析, 并委托专家做精确的理论分析与计算, 认为上述施工方法是可行的。

### (3) QT-80C型塔吊安装使用:

1) 塔吊的安装: 塔吊基础施工后, 待混凝土强度达到75%以上, 经检查验收合格便可进行塔吊安装。应保证达到以下技术参数:

① 起重臂采用 25m 型, 平衡臂配重 2.25t, 最大起重量3.8t, 起重能力控制在 $R = 19m$ 、 $Q \leq 4t$ 、力矩 $< 80t \cdot m$ 、吊钩绳倍率 $a = 2$ 。

② 塔架底架固定在混凝土基础上, 中心压重配备54t。

③ 安装使其大臂高度达+38.95m, 并按规定做静、动荷载试验。

④ 塔吊安装方位如图3.10.2。图中: I~IV表示塔柱编号,  $\square$ 表示塔吊塔身标准节。

2) 塔吊的使用: 塔吊进行上述初临状态安装后即可按规定要求进行使用, 随塔架的

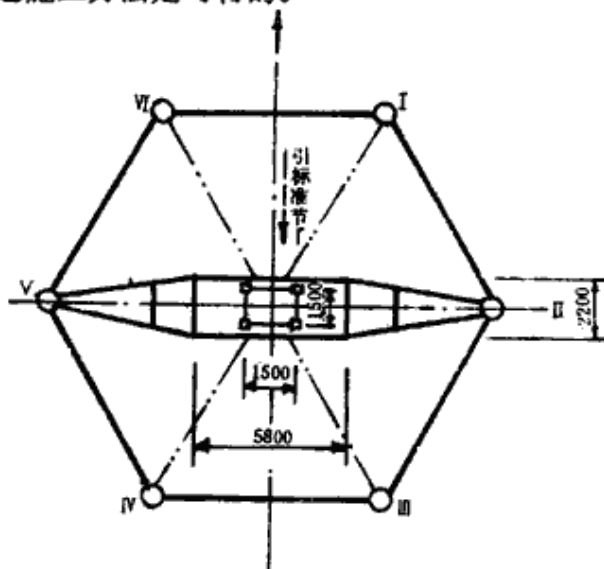


图 3.10.2 塔吊安装方位图

增高,塔吊每次顶升3~5节,采用柔性附着方式代替原刚性附着。无论是塔吊的附着还是操作使用都必须严格按照施工方案及塔吊使用规程要求进行。

①附着:采用 $\phi 15\text{mm}$ 钢丝绳2圈4根,双头绳扣+5t葫芦加在其中一根中,分别与塔吊标准节、塔架构件相连接型式代替原塔吊的桁架刚性附着,利用葫芦调节附着拉力,对塔吊进行稳定性控制,调节时勿使绳扣承受拉力过大尽量使各起重机及其绳扣受力均匀,钢丝绳与标准节等棱角接触受力部位应进行防护(加一由无缝钢管切割成的半圆垫圈)。

钢丝绳柔性附着道数及每道附着具体位置见图3·10·3。

②使用时应注意的问题:

a. 塔吊在非工作状态时,塔身垂直度不得大于 $1/1000H$ ( $H$ 为塔吊所测点之高度);

b. 塔吊自由端高度不能大于20m;

c. 必须保证塔吊最上两层附着,每道所能承受的拉力不得小于计算支反力;

d. 其余按QT-80C型塔吊说明书要求,操作时须严守有关操作规程;

(4) 第一施工段( $-0.3\text{m} \sim +141.344\text{m}$ )安装:此段的吊装选用QT-80C型塔吊吊装,安装分层进行,各操作要点分述如下:

1) 每层吊装顺序:片状井道→侧横杆→侧斜杆→塔柱→横杆→横隔→斜杆→井塔连接。

2) 吊装方法:对于不同形状、大小的构件应采取不同的吊装方式,小构件可采取装在箱里或用捆扎方法多件吊。

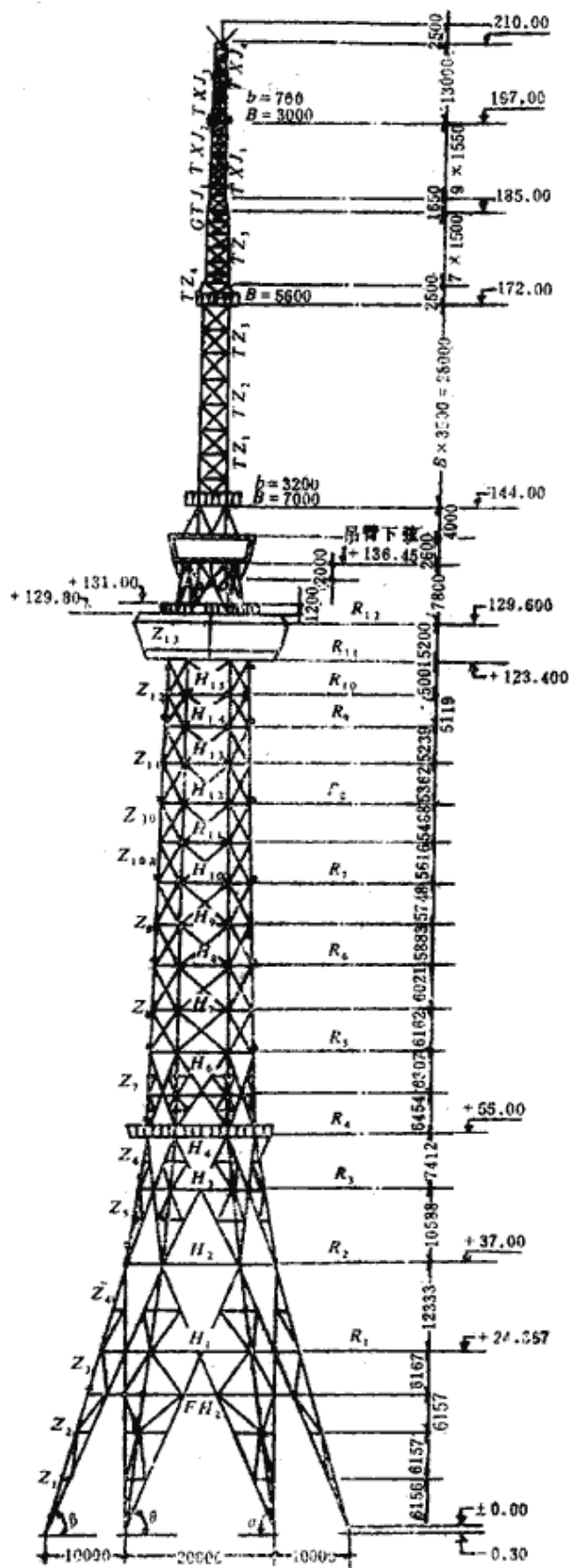


图 3·10·3 钢丝绳柔性附着道数及每道附着具体位置示意图

$\alpha = 82.5^\circ$ ,  $\beta = 74.88^\circ$  对角线交角,  $\theta = 68.45^\circ$



3) 井道安装: 为了加快吊装速度减少高空作业, 井道部位构件采取地面拼装、成片吊装, 以井道正面背面四根立柱及横杆、斜杆组成5800mm宽×4500mm~5500mm高片状, 就位后再装侧面连接杆, 其中间两道垂直方向连杆因受塔吊标准节影响而不能安装, 改为临时角钢横杆代替原横杆(见图3·10·4)。另外, 有些井道片层因塔吊顶升套架影响不能就位, 但又必须安装(搭设施工平台后, 再安装井道不方便), 采取临时就位, 即先吊装到位、下端初步连接, 上端张开外倾, 临时固定在标准节上, 塔吊再升附着后恢复归位的办法。

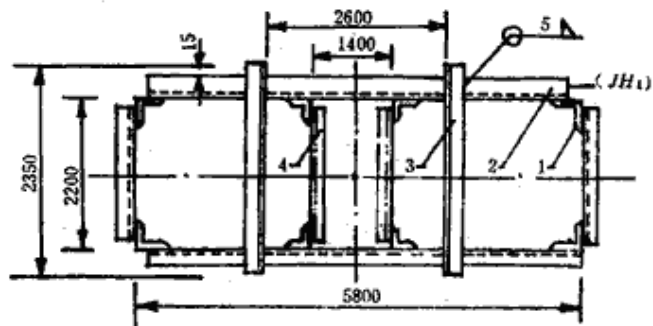


图 3·10·4 井道临时加固示意图  
—井道立柱; 2—井道横杆; 3—临时加固拉杆;  
4—被代替的原横杆

#### 4) 塔楼安装:

①安装顺序: 塔柱及横杆、斜杆→底层平台梁+撑杆→底部墙板→底层平台板→顶层平台梁+立柱→顶板→围板→扶栏→楼梯。

②安装方法: 吊装方法基本同前, 只是外挑平台梁应先在地面上校验, 吊装就位后的安装按节点图(HNT-IV(S)-02)中的节点①、②连接8根M24螺栓即与Z<sub>1</sub>安装, 顶层外挑平台梁应事先与立柱组装好后一起吊装就位, 减少空中操作。所有平台板围板须在地面上焊接牢固、可靠、位置适当的吊环, 高空施焊连接作业时应搭设操作人员作业平台, 另外, 除按上述安装顺序外还须遵循从下到上、从内向外的安装顺序, 以便形成工作面, 减少平台搭设。

5) 第一施工段安装工艺流程: Z<sub>1</sub>Z<sub>2</sub>Z<sub>3</sub>及附件、JZ<sub>1</sub>JZ<sub>2</sub>及附件吊装、JZ<sub>3</sub>临时就位调校→第一水平附着安设标高+24.667m、塔吊自升3节标准节大臂下弦高度为+46.45m→JZ<sub>3</sub>复位、Z<sub>4</sub>JZ<sub>4</sub>下、附件吊装调校→第二水平附着安设+37.00m、自升4节+56.45m→JZ<sub>4</sub>上JZ<sub>5</sub>下Z<sub>5</sub>及附件吊装调校→第三水平附着安设+47.588m、自升4节+66.45m→JZ<sub>5</sub>上JZ<sub>6</sub>下Z<sub>6</sub>及附件、平台栏杆吊装调校→第四水平附着安设+55.00m、自升4节+76.45m→JZ<sub>6</sub>Z<sub>7</sub>及附件吊装、JZ<sub>7</sub>下临时就位调校→第五水平附着安设+67.761m、自升4节+86.45m→JZ<sub>7</sub>上JZ<sub>8</sub>下Z<sub>8</sub>及附件吊装调校→第六水平附着安设+79.944m、自升5节+98.86m→JZ<sub>8</sub>上JZ<sub>9</sub>下Z<sub>9</sub>及附件吊装、JZ<sub>9</sub>上临时就位调校→第七水平附着安设+91.575m自升4节+108.95m→JZ<sub>10</sub>下、Z<sub>10A</sub>+Z<sub>10B</sub>及附件吊装、JZ<sub>10</sub>上临时就位调校→第八水平附着安设+102.679m、自升5节+121.45m→JZ<sub>11</sub>下、Z<sub>11</sub>及附件吊装、JZ<sub>11</sub>上临时就位调校→第九水平附着+113.28m自升4节+131.45m→JZ<sub>12</sub>下Z<sub>12</sub>及附件吊装、JZ<sub>12</sub>上临时就位调校→第十水平附着+118.399m、自升2节+136.45m→Z<sub>13</sub>及附件吊装、塔楼安装调校→第十一水平附着+123.40m、自升2节+141.45m→Z<sub>14</sub>及附件吊装调校→第十二水平附着+129.60m、自升一节+144m→Z<sub>15</sub>及附件吊装、小塔楼安装。

6) 塔吊拆除工艺: 安装完Z<sub>15</sub>(+141.344m标高)后, QT-80C型塔吊已完成吊装使命需退场, 此时塔吊起重臂下弦高度为+144m, 超高原设计44%, 拆除工作不同于正常情况下塔吊自身降低后借助于吊车拆除, 必须在150m高空处进行起重臂、平衡臂等拆除, 采用双索道变轨迹下滑方法。

①塔吊拆除工艺流程: 平衡重→吊钩→起重臂→起升机构→平衡臂→顶部七节标准节



→塔顶→回转塔身→上下支座→顶升套架附件→顶升套架→中心压重→上段附着→中段附着→底架→中段塔身标准节→上段塔身标准节。

### ②主要拆除工程项目编组及其拆除方法:

- a. 平衡重: 在平衡臂上安设人字架, 利用塔楼上安装的5t卷扬机将其吊运至地面。
- b. 吊钩: 直接放至地面, 然后将钢丝绳收回卷筒。
- c. 起重臂: 利用起升机构卷筒钢丝绳穿3-3滑车组摘拉杆销, 并放倾起重臂, 再用架空索道拆除, 详述如后。
- d. 起升机构: 卷扬机将钢丝绳重新缠回卷筒再将其与平衡臂分解, 用吊运平衡重方法吊运至地面。
- e. 平衡臂: 将平衡臂回转180°, 利用拆除起重臂的方法拆除。
- f. 塔头降落: 利用塔吊顶升装置分别引出七节标准节, 再以塔柱Z<sub>1</sub>设吊点依次运至地面。
- g. 塔顶: 卸完七节标准节后, 塔顶降至+132.665m, 利用上述吊点及提升系统, 在塔顶拆完底盘连接螺栓后, 提吊塔顶运至地面。
- h. 回转塔身: 方法同⑦款。
- i. 上下支座: 方法同⑦款。
- j. 顶升套架附件: 按附件结构特点, 分件拆卸, 然后用吊篮运至地面。
- k. 顶升套架: 利用上述提升系统(⑥款中)将顶升套架提出, 然后吊运至地面。
- l. 中心压重: 利用5t汽车吊及载重汽车运出场。
- m. 上段附着: 分别拆卸+55m以上各水平附着然后在塔柱Ⅱ—V方向上挂设两组25t走5滑车组将上段标准节吊持, 解开12根M27连接螺栓后, 将上段标准节提起20~30cm。
- n. 中段附着: 利用上述同样的方法再将中段标准节提起15cm左右, 在此之前应拆除+55m以下水平附着。
- o. 底架拆除: 拆开井道大面一侧, 割掉底架基础螺栓, 利用地面卷扬机拉出底架。
- p. 中段标准节: 同时起动两台卷扬机、下放两副滑车组中动滑轮, 从底往上一节节拆除中段标准节。
- q. 上段标准节: 采用同样的方法拆除上段标准节。

### ③主要拆除工艺:

a. 起重臂拆除: 起重臂长25.4m, 宽1.47m, 组合部件重4172kg其安全拆除工作是本塔拆除工程中技术难度大实施条件艰难的项目之一。采用双索道变轨迹下滑的方法拆除是一个稳妥可靠, 经济实用的最佳方案(见图3·10·5)。

地锚: 因场地限制, 索道地锚设置在距塔心163m的动物园大门口, 地锚引出2索, 能力各10t。

上部导向滑轮: 架空索道及主尾绳之上部导向滑轮均分别安设在塔吊顶部的塔桅上。

起重臂: 在其处于摘掉一端拉杆销轴的倾斜状态下, 放松索道并用4个3t单轮开门滑子将其悬挂在架空索道上。

主尾绳卷扬机: 安设在+129.8m塔楼上。

起重臂与塔身分解: 采用图3·10·6所示方法。

驱动卷扬机拉紧钢丝绳, 待起重臂微微向上抬起后停止卷扬机, 这时拉杆松弛, 用1t

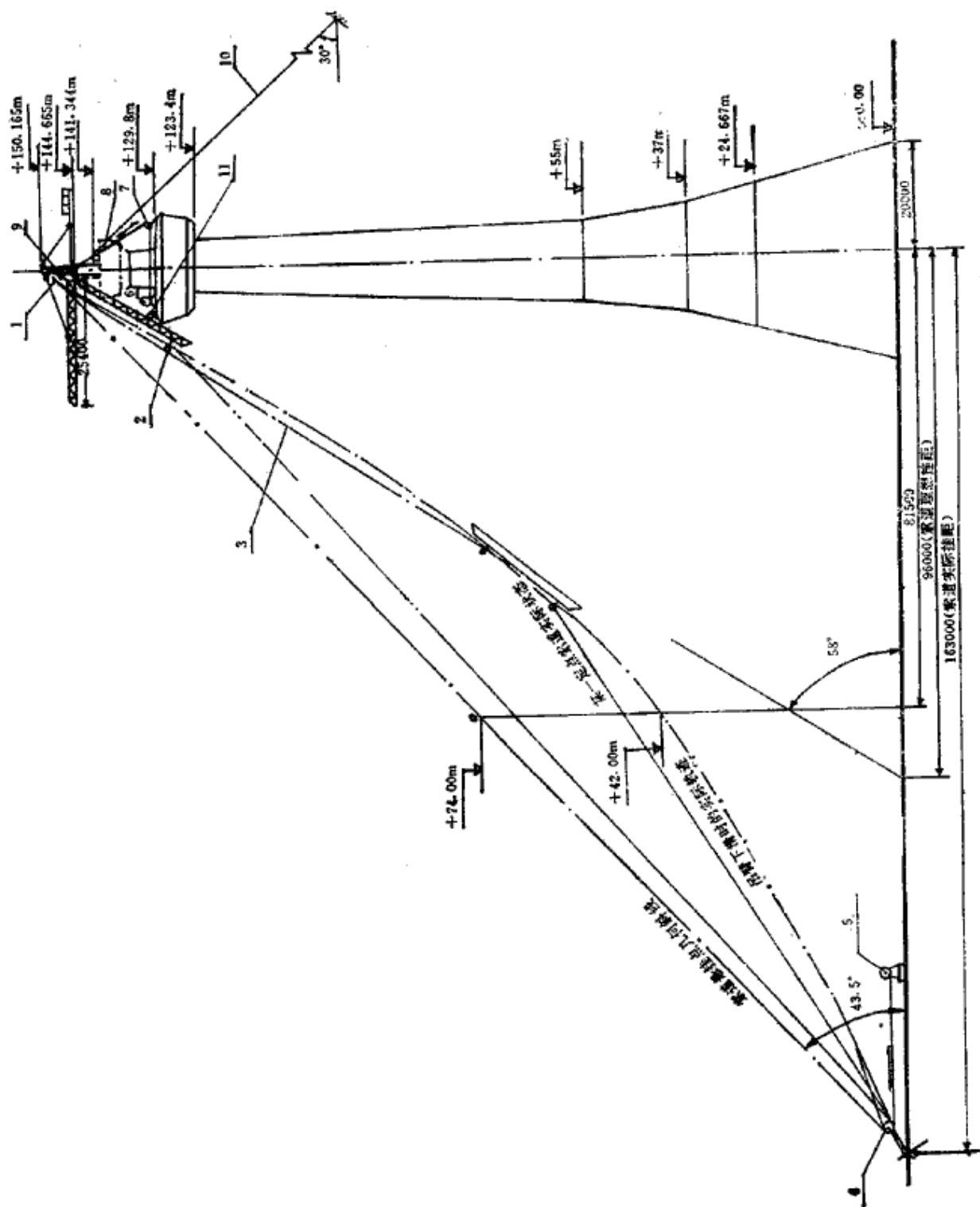


图 3-10-5 QT-80C 型塔吊起重 (平衡) 臂高空拆除架空索道安装图

1—导向滑轮 (上); 2—悬挂滑轮; 3—索道钢丝绳; 4—索道导向滑轮 (下); 5—卷扬机; 6—卷扬机; 7—导向滑轮; 8—主尾绳; 9—悬挂滑轮; 10—塔架缆风绳; 11—支承托架

葫芦挂在拉杆和塔桅之间,收紧后使销轴摆脱拉杆自重约束便可人工拆卸拉杆上部销轴,放松葫芦,使拉杆落于脊背支座上,绑扎牢固。然后反向驱动卷扬机,使起重臂落于图示支承托滚上,解除葫芦和滑轮组钢丝绳。

主尾绳挂设:主尾绳始端采用人字形吊索分别与起重臂下弦的方形梁固定,末端经导向轮缠到塔楼上5t卷扬机上,缠好后适当收紧待用。

架空索道安设:安设架空索道,其垂度的理想值:即索道未挂重前自由状态下中心点的垂度 $f=30\text{m}$ ,否则,起重臂下滑时可用卷扬机调整,以此来改变下滑轨迹。

起重臂与塔身连接销拆除:索道安设后,将起重臂用钢索和4个单轮滑子吊挂其上。然后适当拉紧主尾绳减轻销轴受力。为防止起重臂的水平分力在拆下销轴时引起冲击,拆销前须用2台3t葫芦将起重臂与塔身之间连系起来并适当收紧,至此,起重臂在主尾绳、托滚支承、索道牵引和葫芦拽拉等四种约束状态下,以手工方式即可方便迅速地拆掉销轴,解除2台葫芦。

起重臂安全下放:销轴拆卸后,起重臂主要靠卷扬机控制主尾绳实现慢慢下放。当其重心越过塔楼托滚或当其上部离开托滚时,有发生旋转或冲击的可能,利用控制主尾绳的受力和调节架空索道的松紧程度的办法解决,其着陆地点以塔架外场地而定,但离塔心越近越好。

b. 平衡臂拆除:方法同起重臂拆除。

c. 塔顶、回转塔身、上下支座及顶升套架等的拆除。

拆除二臂之后,卸掉架空索道及外塔架缆风绳。利用塔吊本身的顶升装置引出七节标准节,并在塔柱 $Z_{16}$ 上部设吊点依次运至地面,使塔顶降至 $+132.665\text{m}$ ,在此基础上拆除塔顶、回转塔身等部件。

(5) 第二施工段( $+141.344\text{m}\sim+172\text{m}$ )安装:

1) 第二施工段的施工主要是 $Z_{16}$ 第一直线段 $TZ_1$ 、 $TZ_2$ 、 $TZ_3$ 及过渡段 $TZ_4$ 的吊装施工,采用正装法高空拼装,起吊装置采用自行设计制作的提升式临机桅杆(见图3·10·7)。

提升式临机桅杆可采用普通管式桅杆,主桅杆因条件限制而不能安设缆风绳,所以,整机须借助平衡配重杆系吊持并固定在每段塔架的四根塔柱上,主桅杆安装在塔心位置。

提升临时桅杆设计吊装能力:最大起重量 $2.5\text{t}$ ,最大起升高度 $9\text{m}$ ,变幅值约为 $2.26\sim 7\text{m}$ ,起重杆应至少能旋转 $180^\circ$ 。

2) 说明:

①吊持:吊持杆靠两根千斤绳和两副 $25\text{t}$ 走5滑车组及吊索等吊持在四根塔柱横杆节点

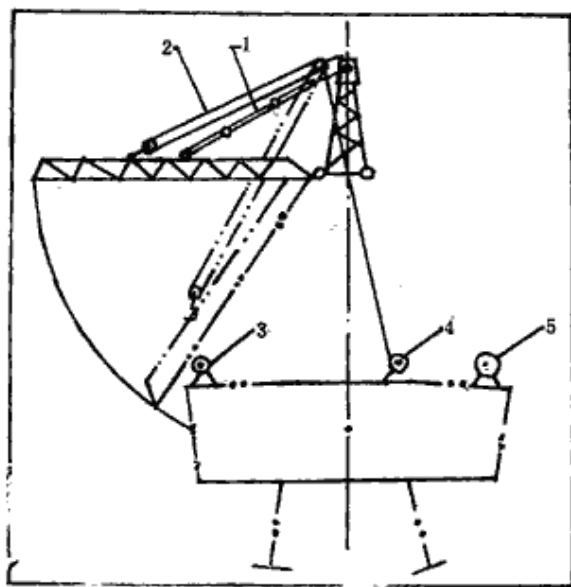


图 3·10·6

1—起重机拉杆; 2—走5滑车组, 采用2个5t3轮滑车, 分别挂在起重臂和塔顶之上, 钢丝绳为 $D-6\times 19+1-\phi 14-150\times 160\text{米}$ ; 3—支承托滚; 4—导向滑轮, 2t; 5—1t卷扬机, 安装在塔楼顶



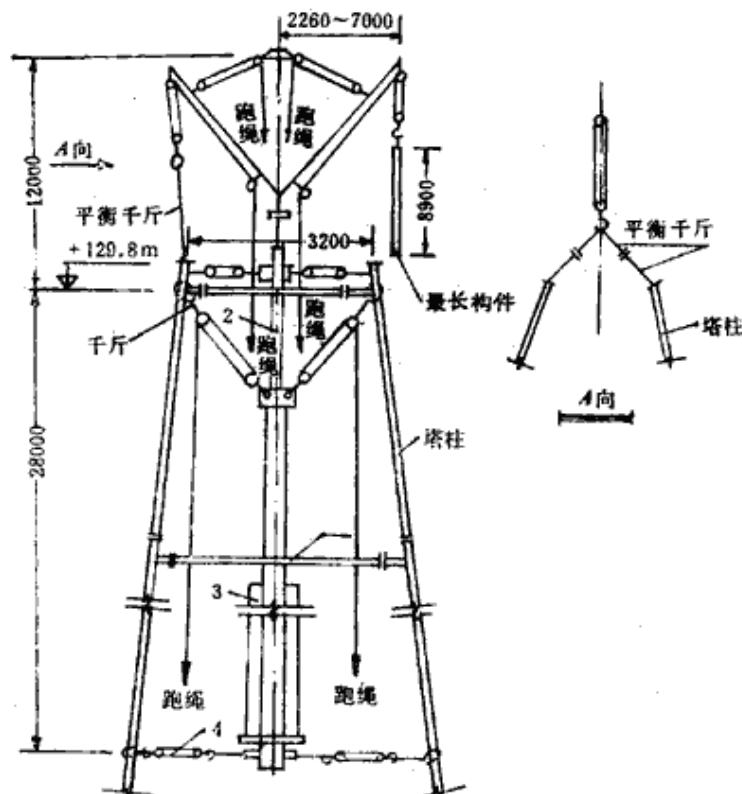


图 3.10.7 提升式临机桅杆安装悬吊图

1—临机桅杆；2—吊持杆；3—平衡重；4—索紧神仙葫芦

的上方。千斤绳与节点筋板接触应用弧形板垫上。

②防转：吊持杆底部用四台5t神仙葫芦收紧。

③吊重牵引：视塔楼、塔架具体条件考虑安设。

④构件转载：利用设置在塔楼的人字桅杆将构件从地面吊至塔楼，然后用临机桅杆提升至安装部位安装。

⑤临机桅杆移设：将借助于临时钢丝绳、葫芦将吊持一根根上移，然后解除索紧葫芦，开动卷扬机同时提升滑车组。

⑥安装： $Z_1$ 、 $TZ_1$ 、 $TZ_2$ 、 $TZ_3$ 的安装基本同于前，只是对于过渡节 $TZ_4$ 进行临时就位，使原设计往塔心倾改为暂时往侧面或往外面倾，以便上部倒装顶升不致于受到妨碍。

(6) 第三施工段+172.00m标高以上天线架安装：天线架由三段不同截面的正方体组合而成，总长35.8m，总重14.9t。为了减少高空作业，拟定采用逆序拼装，整体提升方法进行施工，即在+172.00m处铺设临时施工平台后，将34.8m的天线架与75.00m的辅助钢架吊送入电梯井道内拼装成临时整体，然后利用悬挂在标高+170m处的四副32t起动能力的走八滑车组进行整体起吊提升，达到设计标高后与 $TZ_4$ 归位接上，然后割掉辅助钢架。

1) 安装程序：+172m临时工作平台安装→+197m平台、+172m平台及避雷针吊装临时就位在+172m工作平台上→天线架及辅助架拼装→整体提升一定标高→避雷针安装→提升至一定标高→+197m平台安装→提升至设计标高→过渡节 $TZ_4$ 归位，连接、固定→+172m平台安装→辅助钢架拆除。

2) 辅助钢架选择及配重计算：井道截面尺寸5.8m×2.2m，第一直线段截面尺寸3.2m×3.2m（其间横隔事先不予安装），其中可顺利通过倒装天线架。采用现有设备QT-80C

型塔吊标准节(每节尺寸 $1.5 \times 1.5 \times 2.5\text{m}^3$ ) 25节共75m作为配重装置。整体提升吊点需设在辅助钢架上,且吊点以上辅助钢架长度至少应满足 $0.2 + 3.85 + 1.35 + 3 + 4 = 12.4\text{m}$ ,故吊点以上辅助架及天线架重量之和约为18.95t,根据吊装工艺要求,吊点以下的辅助钢架需用25节( $L = 2.5\text{m}$ ,  $G = 808\text{kg}$ ),钢架底部压重 $0.808 \times 6 = 4.848\text{t}$ ,则计整体提升重量约为43.65t,这样就能保证整体重心位置低位吊点位置1~1.5m以上的要求,千斤绑扎位置及吊耳、滑车组挂设位置如图3·10·8所示。

3) 天线架与辅助钢架的拼装方法:  
在塔吊拆除之前,用塔吊将天线架各段吊置于+124m塔楼平台上,拼装时按照天线架从上而下的顺序将天线架各段吊送电梯井道内进行分段拼装,其具体方法如下:

①拼装平台采用+124.4m塔楼平台。

②将井道 $5.8 \times 2.2\text{m}$ 宽面的小斜杆和小横杆拆除使之敞开,作为天线进档口,第一直线段不装横隔和直梯(直梯可临时固定在一角边)。

③设置提升滑车组,用四副32t走八滑车组进行交替提升,悬挂滑车组位置在+170m处的塔架立柱上,每副所用钢丝绳长约600m以上,一组对称串通需1500m以上。钢丝绳规格 $6 \times 37 + 1\phi 1$ 。

④为了保证天线架与辅助钢架接点安装方便,在焊接联结节点时,联结板应先点焊于直线天线架要求的位置上,然后用辅助钢架试接好,确认联结节点的精度之后,联结板即可进行正式焊接,焊好后拆除辅助钢架,再分别吊入电梯井道内进行总拼装。

4) 整体提升:在提升安装过程中,采用四副32t走八滑车组,分A、B两组,当安装处于拼接时,A、B两组作交替提升使用,当辅助架上的吊点到达+124m,四副滑车组全部吊到吊耳上,两组同时提升,在提升过程中二组滑车组务必保持同步。

5) +197m平台安装:整体提升到一定标高时,可进行+197m平台安装,然后继续提升。

6) 过渡段TZ<sub>4</sub>归位联结并固定:当整体提升超过设计位置20cm左右后,提升暂停,待整体稳定后,利用手动葫芦并借助于天线架将临时就位的TZ<sub>4</sub>吊起转动到设计位置后与TZ<sub>4</sub>连接固紧,然后重新利用提升系统将天线架与TZ<sub>4</sub>连接,同时可将+172m平台安装完毕,至此,塔体安装基本完成。

7) 操作时注意事项:

①提升过程中各吊点处、各导向定滑轮处、整体垂直方向的一定间隔都应设专人看管,卷扬机应专人操作,发现异常情况立即报告。

②指挥系统、通讯系统必须正常灵敏。

③吊点到达147m之后的最后提升以及过渡节连接安装等工作内容必须在一天内完成。

④必须在三级风力以内气候环境进行,否则应予以停工。

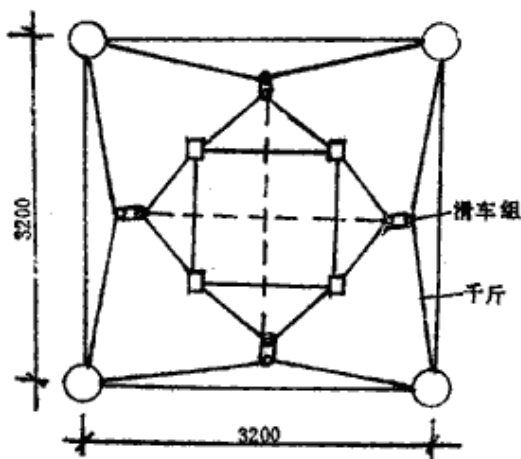


图 3·10·8 滑车组挂设平面图

### 3.10.6 施工测量

湖南电视发射塔为钢骨架结构,且+144m标高以下塔柱呈倾斜状,加上场地十分狭小,给测量控制工作带来很大不便,为此,对塔体垂直控制测量考虑两种方法,即激光铅直方法和经纬仪交会方法,对标高测量和水平度观测采用S<sub>3</sub>水平仪和静力水准的测量方法,对沉降观测则利用S<sub>3</sub>水平仪进行闭合环形观测。

#### 1. 垂直控制测量

对塔体垂直控制测量根据塔体结构特点和安装方法分三个阶段进行,第一阶段-0.3m~+141.344(其截面为正六边形);第二阶段+141.344m~+172m(塔柱呈铅直);第三阶段+172m~+210m(整体提升)。

##### (1) 利用激光铅直方法:

1) 第一阶段塔柱截面形状为正六边形,采用两台激光铅直仪一次控制两根对称塔柱,三次测完六根塔柱。在偏移塔心线20cm的基础地面上弹出与塔心线平行的控制轴线(图中虚线),在轴线上距塔心相等的二点架设仪器,在横隔上架设磁性接收靶,调整塔柱使塔上接收靶接收点至横隔的距离(或至两塔柱法兰中心拉麻线的距离)为20cm,并使两接收靶点分别至两塔柱中心的距离相等,即可达到控制塔柱的目的(如图3.10.9、3.10.10)。

井道柱为8根垂直柱,由于井道为5.8m宽边方向片装,在地面上已进行平面几何尺寸调整,则利用铅直仪控制1、4、5、8柱。其方法为先在塔吊基础上准确地找出A、B、C、D作为激光铅直仪架设点,并作上永久性的标志,然后根据A、B、C、D的位置和井道结构对应做出。接收靶观测时只须保证:①1、8柱心、两接收靶点四点在一条直线上;②两接收靶点分别至1、8距心距离相等且等于a,这样就能准确控制井道垂直度之目的,同样再控制4、5柱(图3.10.11)。

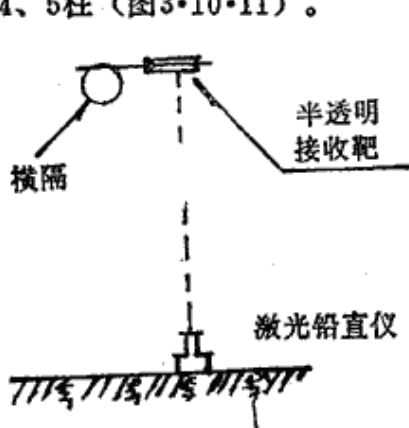


图 3.10.9

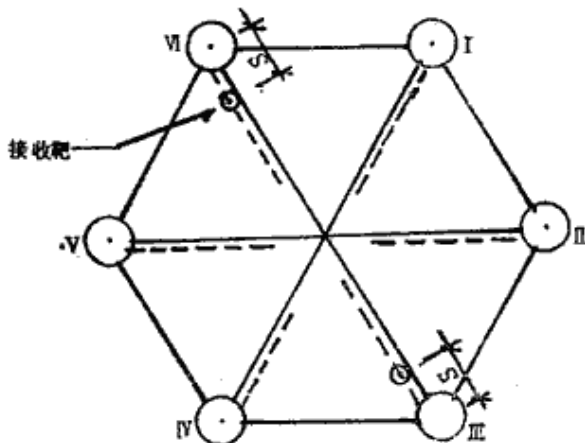


图 3.10.10

2) 第二阶段设有井道柱,外围塔柱则呈3.2m见方的垂直柱,其控制方法基本同于井道柱,只是地面仪器架设点不同、接收靶抱脚不同而已。

3) 第三阶段将采用倒装法整体提升,拼装工作在地面和空中进行,必须借助于经纬仪、麻线等对拼装整体的几何形状、轴线等按规范要求进行严格的控制,确保整体精度。整体提升时仍用两台铅直仪控制其垂直度和扭转,其中一台仪器架于中心,另一台仪器架于



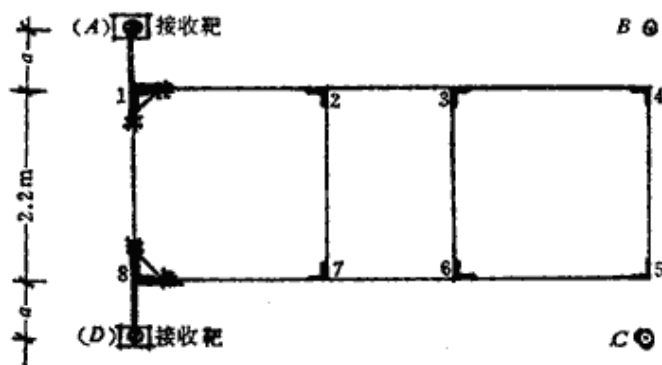


图 3-10-11

一条轴线上, 接收靶则分两层, 即倒装部分底、顶各一层。

(2) 利用经纬仪交会方法: 建立空中座标系统, 利用两台经纬仪交会的办法, 测出每层塔柱法兰中心至控制轴线的距离, 与理论距离相比较进行调整, 达到控制垂直度之目的。其方法如下:

1) 通过现场踏勘, 选择两个互成 $90^\circ$ 且通视条件较好的方向, 一个方向是文艺中心一七层楼顶部, 离塔约190m, 另一个方向是电视台演播厅一层平房顶上, 高出塔基约1m左右, 离塔约20m, 但可继续引测至较空旷的七中操场坪角上, 离塔约170m, 找到两个通视情况较好的方向后将轴线引测出去(七中方向控制轴线偏移塔心线40cm左右), 并作好永久性观测点和后视点, 注意保护, 建立控制观测网, 防其变动或破坏(图3-10-12)。

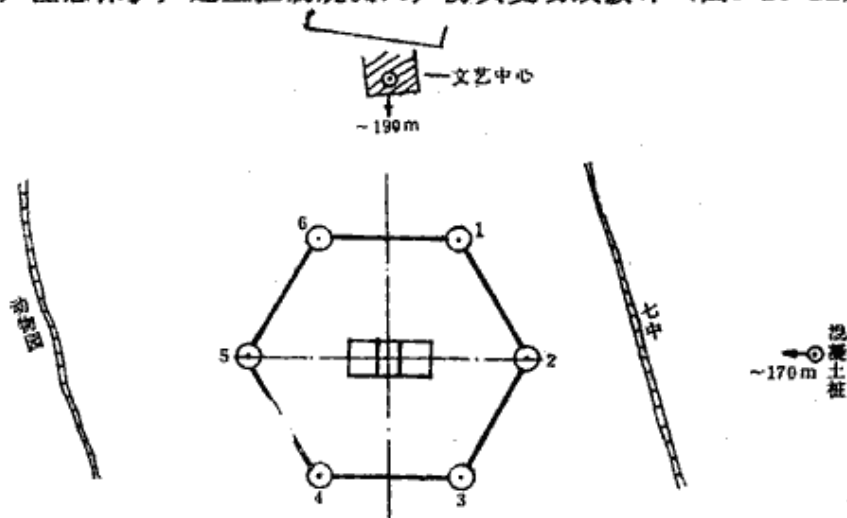


图 3-10-12

## 2) 观测程序:

①根据所测层标高和塔柱倾斜度, 计算出所测层塔柱顶法兰中心的座标值, 即至控制轴线的距离。

②仪器架于A点和B点, 对准后视轴线点准备投测。

③计算人员告诉持尺人员, 在钢尺适当的地方绑上一根细麻线, 贴着两根对称塔柱顶法兰中心拉紧钢尺。

④仪器上投对准钢尺, 并指挥持尺人员左右移动钢尺, 直至仪器对准钢尺上麻线。

⑤持尺人员告诉计算者钢尺两端读数, 即法兰中心至控制轴线的距离, 一个座标值

也就出来了,与理论值比较便可进行塔柱的调整。

⑧两个方向座标值测出后,综合计算每根塔柱的偏移,然后根据质心运动定理便可求出塔心偏移值。

第一、二阶段皆可采用此种方法。

第三阶段由于是整体提升,提升前先在天线架上标出控制轴线,分上、中、下三层,标记须清晰可见,整体提升时,控制标记在一条铅直线上,且在仪器控制轴线平面内。

以上两种方法通过精度分析,观测精度均可达 $\pm 20\text{mm}$ (精度分析略)。

## 2. 标高控制测量

每装完一塔都应进行柱法兰顶平面标高和水平度测量,高差超过 $5\text{mm}$ 可用垫片调整,如误差过大宜采用分次调整。为了能在高空进行水平度测量作业,又能保证测量精度,将采用静力水准测量原理,因为此时的绝对标高并不重要,而重要的是高差互差,于是我们利用橡皮管和带刻划(最小刻划为 $1\text{mm}$ )的玻璃管自制静力水准仪,测量时以一根柱子为基础测量其它柱子对其高差,并作好记录,进行比较,以便下塔层安装时调整(见图3·10·13)。

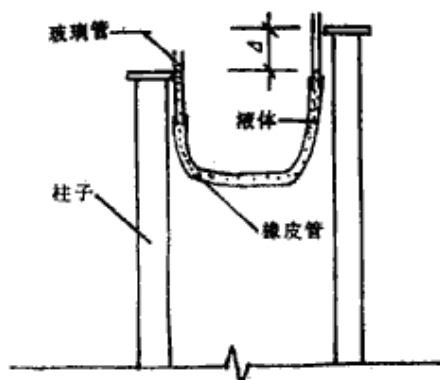


图 3·10·13

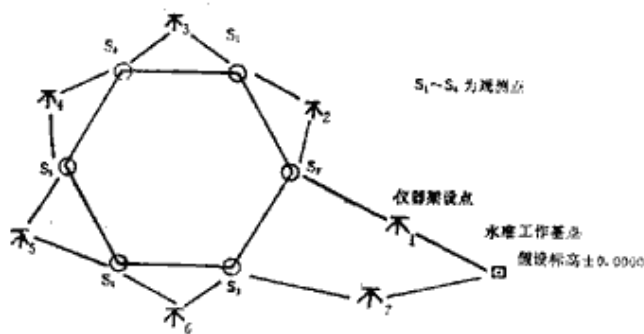


图 3·10·14

## 3. 沉降观测

基础发生不均匀沉降,势必引起塔身倾斜,故而对这种细高工程应进行严格的沉降观测。

(1) 观测方法:采用 $S_3$ 型水准仪(仪器必须通过检验校正)按三等水准测量进行闭合环观测(图3·10·14)。

(2) 观测周期:安装过程中按荷载周期进行观测,一般装完一塔进行一次观测,竣工后,按时间周期进行观测,或一个月一次或一季度一次等。

(3) 精度分析:塔顶倾斜量为 $\Delta S = 210/34.64 \times \Delta H = 6\Delta H$ ( $\Delta H$ 为不均匀沉降量),从倾斜量不超过 $H/1500 = 210000/1500 = 140\text{mm}$ 推算出基础沉降差值。绝对值不超过 $140/6 = 23\text{mm}$ ,取其 $1/10$ 作为沉降观测精度,即观测两点的沉降差值精度不得超过 $\pm 2.3\text{mm}$ 。又最弱点的高程中误差 $m_{\text{弱}} = \mu_{\text{站}} \sqrt{K} = \sqrt{\frac{3 \times 4}{3 + 4}} \mu_{\text{站}}$ ,两站沉降量中误差为 $\sqrt{2} m_{\text{弱}}$ ,

取其2倍的误差作为极限误差,则有 $2\sqrt{2} \times \sqrt{\frac{3 \times 4}{3 + 4}} \mu_{\text{站}} \leq \pm 2.3\text{mm}$ , $\therefore \mu_{\text{站}} \leq \pm 0.621\text{mm}$ ,

于是闭合线路允许闭合差 $h_{\text{允}} = 2\sqrt{n} \mu_{\text{站}} = 2 \times \sqrt{7} \times (\pm 0.621) = \pm 3.28\text{mm}$ 。而闭合线路不超过 $300\text{m}$ ,我们认为用 $S_3$ 仪器观测可以达到要求,但为了提高观测精度,必须对原配

水准标尺进行适当改进,每测站前后视距不宜太远,选好每测站点进行标定,以保证前视视距相等,观测点用 $\phi 20$ 圆钢直接焊死在底法兰筋板上,临时工作基点可设在已有房屋或地位上,但离建筑物(钢塔)之距离不少于20m,并进行保护。

#### 4. 测量后柱子的校正

电梯井道采取片状吊装,若在地面拼装时严格控制其几何形状,吊装就位后就仅剩下一个方向校正了,故采用二根管状可旋式支撑进行调整,或直接利用其与塔柱连接的花篮螺丝横杆进行调整,支撑顶部、根部利用夹箍分别与井道、横隔进行联结固定,塔柱的调整则利用1t葫芦将塔柱与邻近塔柱的下一节连接进行校正,Z<sub>2</sub>以下须利用缆风绳进行调整(图3·10·15)。

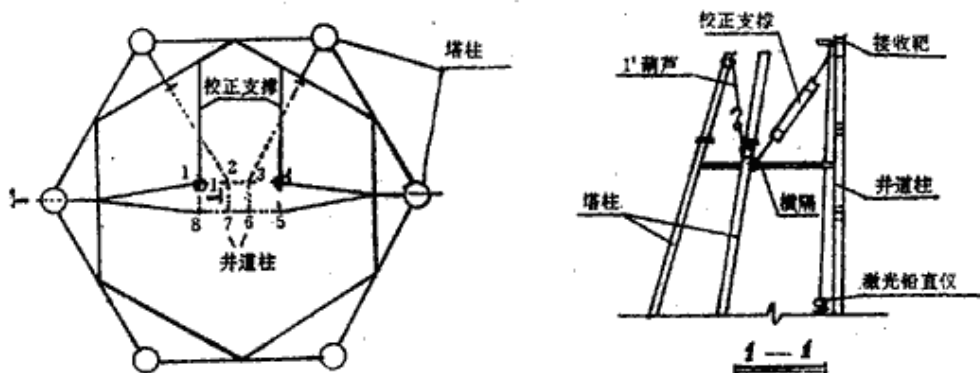


图 3·10·15

### 3·10·7 质量要求及其实施

#### 1. 安装质量要求:

##### (1) 基础复核和调整:

- 1) 塔柱锚栓中心边距误差不超过 $\pm 5\text{mm}$ ;
- 2) 塔柱锚栓中心对角线距误差不超过 $8\text{mm}$ ;
- 3) 锚栓垫板标高误差不超过 $\pm 2\text{mm}$ ;
- 4) 锚栓垫板不水平度不超过 $1/750R$ 。

##### (2) 构件检查要求:

- 1) 构件尺寸长度误差不超过 $\pm 3\text{mm}$ ;
- 2) 同型号塔柱高差 $\leq 1\text{mm}$ ;
- 3) 构件整体弯曲 $\leq \frac{1}{1000}L$ , 且不大于 $5\text{mm}$ ;
- 4) 运输中的碰伤, 整形处理部位应重新喷漆防腐。

##### (3) 安装过程中测量控制:

- 1) 塔心垂直度偏差不超过 $1/1500H$ , 目标值 $1/2000H$ ;
- 2) 塔心层间偏差不超过 $1/750H$ ;
- 3) 扭转不超高 $15\text{mm}$ ;



- 4) 每层塔柱法兰高差最大不超 $\pm 5\text{mm}$ ;
- 5) 井道内壁净尺寸 $2176\text{mm}$ , 允许误差 $\pm 2^{\circ}$ 。

(4) 安装过程中连接质量要求:

- 1) 构件安装就位后法兰吻合偏差 $\leq 1\text{mm}$  (周边对齐);
- 2) 安装就位后法兰缝隙应垫实, 必须保证两个法兰平面 $70\%$ 紧贴, 加垫后的法兰应用电焊封闭;

3) 柔性杆预拉力 $20\text{MPa}$ ;

4) 每套螺杆应按设计图纸进行配备, 不得少垫圈, 不得替换短螺杆、细螺杆、垫圈等, 螺栓拧过后不得有松动, 外露丝扣不得少于 $2\sim 3$ 扣;

5) 不得随意用气焊扩孔;

6) 造制和施工过程中的焊接应严格按施工图纸和有关规范规定执行。

(5) 其它质量要求:

- 1) 沉降观测须达到一定的精度, 观测结果可靠。
- 2) 锚栓第二次混凝土浇灌, 须将底法兰上垫圈和承载螺母紧固施焊, 检验合格方可进行。

3) 运输、安装过程中损坏涂层部位, 工地新焊处和螺栓连接处均应重新涂刷。

## 2. 具体实施

根据各时间、各空间的具体质量要求进行通盘考虑, 提前准备, 认真执行, 确保工程质量。

(1) 在安装进场准备阶段, 专业测量人员须对土建基础、锚栓等进行全面复核, 利用经纬仪 $S$ 、水平仪、 $50\text{m}$ 卷尺, 并作好记录, 对不合要求的务必进行处理, 直到达到要求为止。特别应注意的是保证锚栓螺杆的预留长度在安装后的外露丝扣不少于 $2\sim 3$ 扣。

(2) 扣件检验: 利用 $20$ 卷尺、 $1\text{mm}$ 钢丝进行, 对变形较大以及损伤部位应协同厂家代表、建设方代表在现场处理, 并做好处理记录和检测记录。

(3) 测量控制是整塔质量控制的重点, 首先必须保证测量本身的精度, 正确选择测量方法、测量仪器, 专人操作; 其次是严守操作规程, 认真测量, 认真调整, 直到达到要求为止, 并作好记录, 即时进行资料整理。

(4) 对安装的连接部位必须达到设计和规范要求, 柔性杆应用测力扳手紧固, 紧固后的螺丝的螺纹部位应涂上黄油, 螺丝的紧固程度用 $0.3\sim 0.5\text{kg}$ 小锤逐一敲打检查, 不动为止。

(5) 沉降观测严格按方案执行, 发现异常情况及时报告。

## 3. 加强质量管理措施

为了加强现场质量管理, 确保工程优良, 必须建立健全的质量管理体制。

(1) 施工现场必须有专职的质量检查负责人, 对不符要求的, 质检负责人有权提出返工, 对不听指挥的, 质检负责人有权提出停工整顿。

(2) 施工分队、专业工种、关键部位、重要施工项目应有兼职质检人员负责把关。

(3) 建立健全的质量奖罚制度, 对质量把关好的班组、个人大力表彰奖励, 对不负责任造成质量事故者应予以处罚。

(4) 每天开工前或收工后对下步工作应进行技术交底, 掌握施工关键、要点。

(5) 加强管理人员、工人质量意识, 各方配合严格按设计要求和规范规定施工, 本道工序没达到质量要求时, 不得进行下一道工序施工, 直至返修质量符合要求后方可进行下道工序施工。

### 3.10.8 施工安全措施

本塔安装工程属大型高耸建筑结构工程, 是目前国内少见的特级高空作业钢结构现场拼装的安装工程, 安装高度高、吨位大、工期短, 加工施工场地狭小, 给施工安全工作带来了很大困难, 为了确保施工安全, 施工安全技术必须做到措施可靠, 经济合理。

(1) 强化安全意识, 加强职工的安全技术教育认真贯彻执行国家有关安全生产规程。

(2) 本工程纳入公司安全生产目标管理, 安装前应进行专业技术工种安全技术操作规程学习。

(3) 适时对工人进行施工方案交底, 以便工人掌握施工各环节有关质量安全要求, 注意有关安全生产事项。

(4) 在现场入口处应设立《安全生产纪律措施》牌和安全生产岗。

(5) 施工现场要做到:

1) 现场应三通一平, 运输路面应坚实平坦。

2) 塔柱周围15m范围内应设围栏, 禁止非施工人员和车辆入内。

3) 现场应设立安全生产标牌和标语。

4) 高空作业应做到: ①施工高空严禁乱放零部件, 散件务必栓牢; ②按要求挂设安全网、安全带, 必须按要求搭设施工平台; ③脚手架施工平台须按有关规范搭设, 做到安全可靠; ④应尽量避免多层次操作, 实在避免不了, 应设保护罩、保护平台等; ⑤严禁高空抛掷传递, 违者严究; ⑥登高作业必须紧束短装, 不得穿带钉和易滑的鞋; ⑦高空用梯子不得有缺档, 不得垫高使用, 上端应扎牢, 下端应防滑。

(6) 动力、设备、照明等应专人负责、专人保管, 以防发生意外伤害事故和引起火灾, 所有设备应接地保护, 塔吊应装避雷装置。

(7) 安全生产纪律:

1) 进入施工现场必须带好安全帽、安全带, 设置安全网;

2) 施工前应事先检查施工机具是否完好, 可靠, 性能是否达到要求;

3) 人员分工明确, 信号清晰, 做到统一指挥;

4) 供电可靠, 风力、天气情况应满足要求方能施工;

5) 严禁高空作业者酗酒, 严禁患高血压、贫血、恐高症、体弱者登高作业;

6) 多层次交叉作业, 应采取防护隔离措施, 确保人身安全;

7) 严禁高空抛掷构件物品, 做到文明施工;

8) 非施工人员不得进入施工现场, 需进入者须经批准, 戴好安全帽方能进入。

编制人: 齐凤轩 贺斌 张国和