

16t 建筑塔吊作为炉顶吊的应用

韩万敏

中国能源建设集团安徽电建一公司 安徽 232001

摘要：电厂的建设过程中，随着工程的推进，作业人员的大量进点，各专业间的交叉作业越发频繁，工程进入建设的高峰期，此时对现场的施工机械使用就会越来越多，本工程使用的 42t 建筑塔吊主吊机械已不能满足施工需求，如果租用 350t 履带吊可以满足现场需要，但本着开源节流、降本增效的管理理念，在确保施工要求的前提下，安装炉顶吊是即可降低项目成本，又能提高机械利用率的可行方案，最终在国电克拉玛依 2×350MW 热电联产的工程上使用 16t 建筑塔吊作为炉顶吊，此方案在工程上克服沙尘暴、大风等恶劣天气连续、安全运行 108 天，圆满完成各项施工任务！

中图分类号：F407 文献标识码：A

1、 炉顶吊钢结构基础制作

根据国电克拉玛依现场的施工需求，在锅炉炉顶靠近炉后扩建端位置安装一台 16t（C7030）建筑塔吊，作为锅炉后炉膛大件吊装使用。根据热动专业的要求及现场的实际情况确定了安装位置，此安装位置在本公司尚属首次，主要需考虑的问题：1、16t 建筑塔吊安装位置能满足吊装低再、低过、省煤器等受热面的要求，确保吊装重量在塔吊作业性能范围内，最大限度的避免二次倒运；2、42t 建筑塔吊与 16t 建筑塔吊同时作业过程中有作业范围的交叉，由于位置的特殊性，确保 16t 建筑塔吊平衡臂回转过程中不会与 42t 建筑塔吊的标准节相碰（理论数据：在 42t 建筑塔吊降下爬升套架的情况下，平衡臂配重托架尾部与标准节的距离为 0.9m，实际数据仅为 0.35m）具体位置见下图：

只能使用钢结构对塔吊基础进行加固；

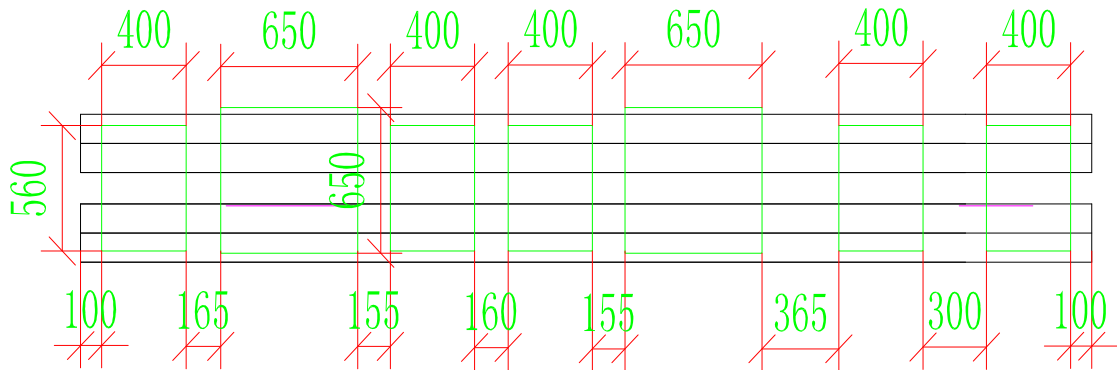
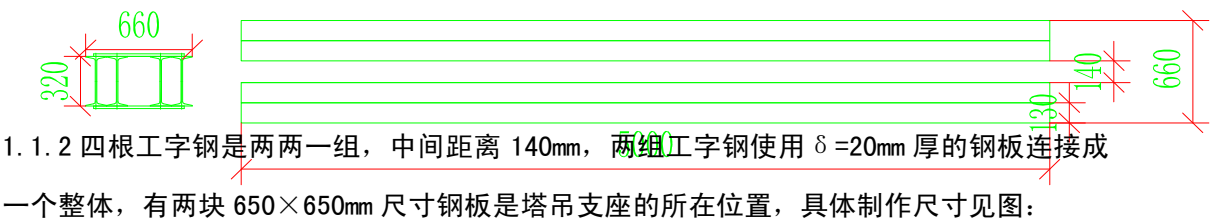
1. 1 承重梁的制作

1. 1. 1 承重梁选用材料：#32a 工字钢

基础承重梁采用 4 根#32a 工字钢拼接。这样的承重梁制作两根，承重梁的长度（5000mm）

是根据安装位置的钢次梁的跨度（3356mm）决定的，承重梁的宽度（660mm）是根据塔吊支

座的截面宽度（600mm）决定的，具体尺寸见图：



1. 1. 3 基础承重梁在制作的过程中，两根工字钢在拼接时采用分段焊的形式，焊缝长度

200mm，焊缝间距 200mm，焊完之后，使用角向磨对焊缝进行打磨，确保工字钢平面的水平

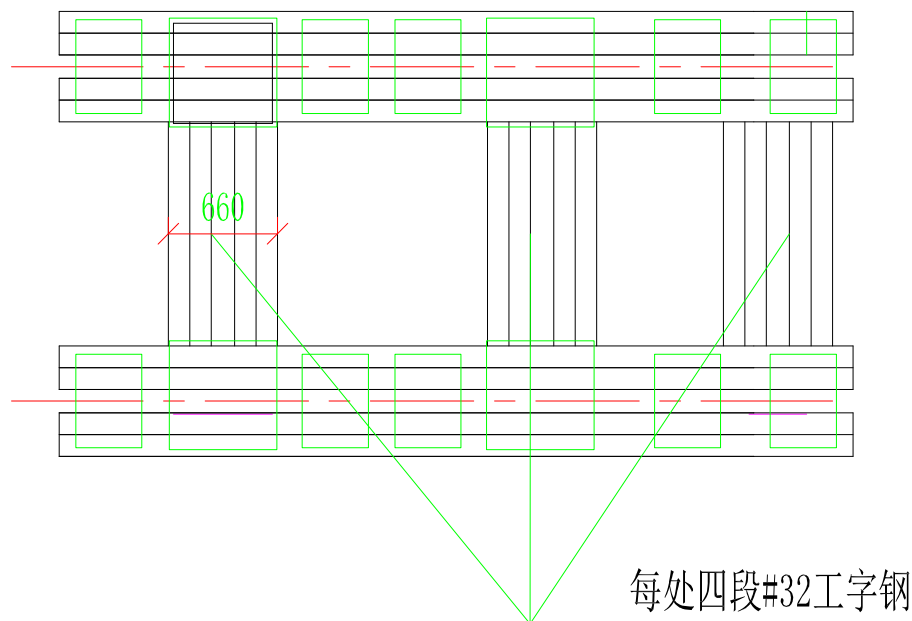
度在 $\pm 1\text{mm}$ 内；两组工字钢使用 $\delta=20\text{mm}$ 的钢板连接为一个整体的过程中，钢板与工字钢的

焊缝厚度为 15mm，同时需要保证钢板的上平面的水平度在 $\pm 1\text{mm}$ 内，值得注意的是：水平度

的测量一定要保证承重梁前后两块 $560\text{mm}\times 400\text{mm}$ 定位钢板的水平度。另一根基础承重梁用

同样的方法制作，将两根承重梁用四根#32 工字钢连接为一个整体，前、中、后各三处。具

体见图：



1.1.4 加劲肋的添加

基础承重梁加强筋的添加一共有三处，分别是：单个承重梁上两个塔吊支座的下方、与炉顶钢次梁的受力点处：

添加方式为：使用 $\delta=10\text{mm}$ 、 $300\text{mm}\times 60\text{mm}$ 的钢板，同时钢板一侧两端割除 20mm 的倒角，先固定中间位置的加劲肋，其余两根与中间位置的中心间距为 250mm，焊缝厚度为 10mm，每一处添加 12 根，每组工字钢的外口各 3 根，两根承重梁加劲肋的添加方式相同；

1.1.5 塔吊支座与承重梁的固定

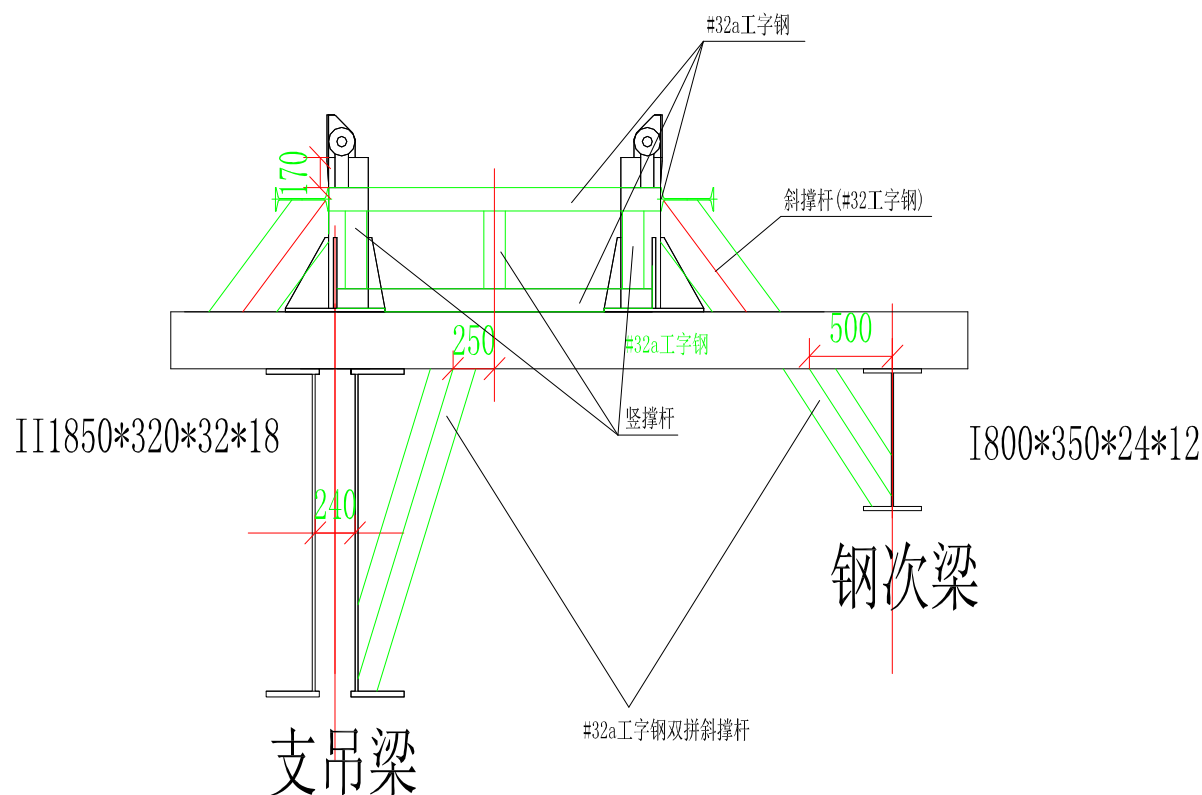
塔吊支座与承重梁进行焊接前，应该注意这样一个细节：为了便于焊接完的支座销孔能与塔吊基础节的销孔能够完全对接，应先将塔吊支座与基础节进行安装，这样就去除了销孔对接不上的隐患；

将组装好的支座与基础节落到基础承重梁上，将支座下平面的四边中心与承重梁上 $650\text{mm}\times 650\text{mm}$ 钢板的四边中心对齐就位，由于支座下平面钢板厚度为 30mm，为了确保焊接的熔深，采取单边 v 型的坡口方式，熔深为 10mm，钢板与支座的焊缝为 15mm；

为了确保支座的稳定性，在支座上部距支座顶部 150mm 处绕其外一周焊一圈 #32 工字钢，然后在其内部对角焊一对十字剪刀撑；

确保左右方向的稳定，在支座两侧各焊一个 #32 工字钢的斜支撑，上下方向每个面再加焊三根竖支撑，如此一来塔吊基础的稳定性就得到了有效的保证，将组合好的塔吊基础段整体吊装至炉顶刚性梁上，将刚性梁的四个受力部位与承重梁接触面进行焊接，焊缝厚度为 15mm，

每处使用 $\delta=10\text{mm}$ 、 $200\text{mm}\times 200\text{mm}$ 的倒三角钢板三块，作为斜撑进行基础的加固；钢次梁与承重梁间使用双拼#32 工字钢进行加固；具体如图所示：



通过以上的的工作，塔吊基础，及与刚性梁的加固基本完成，确保了基础的稳定性；

2、 作业准备和条件

2.1 技术准备

- 2.1.1 核实建筑塔吊各类技术参数及依据的可靠性。
- 2.1.2 编制施工作业指导书，施工前必须交底到每一个作业人员，并且将塔吊结构、性能参数及塔吊安装过程中存在的各项危险源因素进行交底。
- 2.1.3 对参与作业的机械、工器具进行安全检查，确认合格后才可以投入使用。
- 2.1.4 对参加作业的施工的特殊工种人员资格进行审查。
- 2.1.5 对作业环境进行检查确认。

2.2 作业人员准备

施工总负责 1 名：负责整个建筑塔吊安装过程中的施工协调工作。

技术员 1 名：负责建筑塔吊安装前的零部件清理、整理，以及安装过程中的技术指导，后期的资料整理。

安全员 1 名：负责建筑塔吊安装过程中的安全监督。

质检员 1 名：对作业过程的工艺质量进行检查和验收。

起重指挥 2 名：负责作业全过程的指挥、协调。

机械操作工 3 名：负责建筑塔吊安装时需要的吊装机械的操作和试吊时建筑塔吊的操作。

起重工 6 名：负责建筑塔吊安装过程中的起重作业。

安装工 6 名：负责塔吊钢结构、螺栓、销轴及传动、卷扬机构的安装、修整、调试。

钳 工 1 名：建筑塔吊安装过程中底座的安装和销轴的清理。

电维护 1 名：负责建筑塔吊安装过程中电气部分的安装调试。

架子工 4 名：负责塔吊基础安装部位架子的搭设。

测量工 1 名：负责塔吊基础水平度及垂直度的测量。

2.3 材料准备

2.3.1 材料附件清单

序号	名称	规格型号	数量	备注
1	道木	2m	10 根	塔吊部件的堆放
2	黄油	锂基脂	5Kg	
3	脚手管	6m	20 根	
4	铁丝	12#	20Kg	
5	脚手板	2m	10 个	

2.4 主要器具

名称	规格型号	数量	备注
建筑塔吊	D800 (42t)	1 台	
链条葫芦	1t	4 只	
链条葫芦	2t	2 只	
榔头	12P	2 把	
白棕绳	Φ 14mm	100 米	
起吊钢丝绳	6*37+1- Φ 21. 5mm*16m	一对	
起吊钢丝绳	6*37+1- Φ 19. 5mm*12m	一对	
起吊钢丝绳	6*37+1- Φ 15mm*12m	一对	
起吊钢丝绳	6*37+1- Φ 13mm*12m	一对	
卸卡	2. 1t	4 只	
卸卡	4. 1t	4 只	
活动扳手	15''	2 把	
水平仪		一套	
经纬仪		一套	

电焊工具		一套	
火焊工具		一套	
短千斤绳	6*37+1-Φ15mm	四根	

2.5 作业条件

2.5.1 力能供应

380V 电源满足施工要求，氧气、乙炔采用瓶装气供应。

2.5.2 场地

锅炉炉顶上 BG 和 BK 大板梁作为主要吊装区域。

2.5.3 上道工序

塔吊部件、销轴清点结束，各部件消缺完毕具备安装条件。

2.5.4 工作环境

五级以上大风及雨天不得从事吊装作业。

2.5.5 临时工作设施

塔吊安装结束后过道平台的搭设。

2.5.6 安全防护设施和用品

主要安全防护设施和用品配置

序号	名称	规格型号	单位	数量	备注
1	安全带	双背	只	6	高处作业
2	红白带		米	100	作业区域
3	手套	帆布	副	30	

3、 安装顺序和工艺要求

3.1 主要工作量

名称	规格	数量	重量（Kg）
基础节		1	3945
标准节		3	5025
塔头撑架		1	2500
驾驶室节		1	4730
驾驶室		1	475
回转支承组件		1	7330
起升卷扬机	含钢丝绳	1	4000

平衡臂根节		1	3380
平衡臂端部节		1	7550
配重托架		1	1595
走道			295
起重臂组合	50m	1	15448
牵引小车		1	1256
配重		4	3100
配重		2	1800

3.2 工期要求

序号	作业任务	工期 d	开始时间	完成时间
1	基础部分安装	1		
2	基础节安装	0.5		
3	回转支承、驾驶室安装	0.5		
4	塔顶节安装	0.5		
5	平衡臂组合吊装	1		
6	伸臂组合吊装	1		
7	配重吊装	0.5		
8	电气安装调试	1		
9	钢丝绳穿绕	0.5		

3.3 作业主体方案

在锅炉炉顶确定建筑塔吊安装位置后，制作两根塔吊基础横梁作为塔吊基础部分，在地面将塔吊的四个支座与横梁位置固定好并焊好，然后将基础横梁焊接到大板梁连接次梁上，然后安装标准节，再用 D800-42 建筑塔吊安装塔吊的回转支承、回转塔身、塔顶、平衡臂、伸臂和配重部分，部件安装结束后，恢复塔吊电气部分，穿绕钢丝绳，然后试吊，合格验收后投入使用。塔吊安装结束后，委托架业施工人员搭设脚手架平台，方便作业人员登塔作业。

3.4 作业方法与步骤

3.4.1 步骤 1 塔吊基础部分安装

此部分已在 1.1 节做了详细的描述，在此不做论述；

3.4.2 步骤 2 塔机基础节、标准节安装

3.4.2.1 因锅炉扩建端 D800-42 建筑塔吊安装 18 节标准节，钩下高度为 103.5m，BH 与 BK 钢次梁的标高为 71650 mm，因此净空高度为：31.85m，基础横梁高度 0.35m，塔吊支脚高度

1m, 基础节高度 7.5m, 回转到 A 字架的顶标高为 14m, 因此为满足两台塔吊吊装需要, C7030 建筑塔吊只能安装 3 节标准节高度 9m (安装 2 节标准节也就能满足吊装要求, 安装高度越高, 其实是增加了安装的难度)。

3.4.2.2 在地面将标准节吊装到位, 重量为 1.675t, 高度为 3m, 将三节标准节在地面组合为一体, 使用 D800-42 建筑塔吊将其吊装至基础节上;

3.4.3 步骤 3 吊装回转支承—驾驶室节组件

3.4.3.1 回转支承和驾驶室节先在地面组装成一个整体, 该组件总重 12t, 高度为 5.57m, 先将该组件吊成垂直状态, 将导轨用销子固定在回转支承下面, 然后吊装驾驶室以及周边的走台和栏杆, 最后再将该组件吊起, 安装于标准节上, 将回转支承与标准节用 4 只保险销连接起来。

3.4.4 步骤 4 安装塔头撑架

3.4.4.1 塔头组件包括塔头、2 根平衡臂拉杆和 2 根起重臂拉杆, 总重 2.5t, 高度为 8.43m。先提升至超过驾驶室节, 然后缓慢下落, 使塔头支脚对正驾驶室节顶部耳座, 装入销轴并用开口销锁住, 慢慢使塔头向前倾斜, 到达一定位置时, 安装小拉杆, 然后继续让塔头向前倾斜, 直到塔头稳定全部由拉杆控制后, 吊车松钩。

3.4.5 步骤 5 吊装平衡臂

3.4.5.1 在地面将两节平衡臂和配重挂架组合在一起, 安装好走台和扶栏, 以平衡臂端部节上的四个设计吊耳为起吊点吊起平衡臂 (总重 11.55t), 注意系上溜绳, 当平衡臂到达安装位置时, 要先安装上面的两根销轴, 再安装下面的两根销轴。注意所有的销轴都要装保险销, 然后挂上链条葫芦, 将平衡臂和塔头上的两根拉杆安装到位。

3.4.6 步骤 6 吊装起升卷扬机

3.4.6.1 起升卷扬机本身带有三个吊耳, 利用这三个吊耳即可将其吊平; 当卷扬机到达就位位置时, 安装四个销轴和开口销。

3.4.7 步骤 7 起重臂安装

a) 本次安装 50m 伸臂, 按照组合顺序从根部至端部分别为 10m 节、10m 节 (带拉杆)、10m 节、10m 节 (带拉杆)、10m, 组合时应注意截面为从大到小。

b) 按要求组装拉杆, 并将拉杆用 12#铁丝捆扎在伸臂上弦杆上, 每隔 2m 绑扎一道。

拉杆组装尺寸为 A 段 (长拉杆): 1.70m、5.25m、6.57m、7.35m、3.31m、4.94m、4.94m、1.25m、6.255m、0.4m、3.00m;

B 段 (短拉杆): 1.50m、5.50m、4.94m、7.35m、1.55m、1.24m。

c) 安装牵引小车

在组装起重臂根部节时,先将起升小车安装并固定在伸臂根部节,使之靠近止动块并用千斤头锁定。待伸臂组装好之后,穿绕小车拉绳,用棘轮扳手将小车拉绳张紧。

d) 起重臂吊装

伸臂组件总重 15.448t,重心距根部 20.5m,用一对 $\phi 21.5\text{mm}$ 钢丝绳起吊。先将其吊离地面 1.5m,将检修吊笼安装在起升小车上。继续起升直至到达安装位置,先装上伸臂与驾驶室节的连接销,继续起升,当伸臂上翘达到 15° 时,将塔头上的前拉杆与伸臂上所带拉杆相连接。去除拉杆上的捆绑铁丝, D800-42 继续起钩,同时用 2t 链条葫芦将平衡臂拉杆向后张紧(注意去掉塔头撑杆!),直到可以穿上销轴,销轴穿好之后, D800-42 慢慢落钩,当拉杆完全受力后, D800-42 塔吊松钩,去掉起升钢丝绳。

3.4.8 步骤 8 吊装平衡重

3.4.8.1 本次安装平衡重 $3.1\text{t} \times 3$ 块+ $1.8\text{t} \times 1$ 块,小块配重放在外侧,吊装之后用两根锁杆锁紧。

3.4.9 步骤 9 穿绕起升钢丝绳

3.4.9.1 接通塔吊电源后,准备穿绕钢丝绳,慢速开动起升卷扬机,放出钢丝绳,连续穿过排绳滑轮、塔头滑轮、测力滑轮、腰型滑轮,引到臂架根部起升小车,按 2 绳—4 绳的穿绕方法穿绕起升钢丝绳,最后在钢丝绳头上安装楔套及钢丝绳夹子,再用销轴将楔套与伸臂端部的钢丝绳转环相销接,用开口销锁好。检查钢丝绳的穿绕情况,确认无误后该步骤结束。

4、 安装质量标准

4.1 安装前应对所有变形件、损耗件进行校正和修补。

4.2 所有传动件须进行有效的保养,各减速箱内的残油应冲洗干净,检查齿轮啮合,轴套磨损,螺栓连接全部合格后,补充和重新添加新的润滑油(脂)。各减速传动部分不应有漏油现象。

4.3 防腐作业按标准进行一底一面,彻底防锈,无明显色差,厚薄均匀,安装后的补漆要求与原油漆无明显色差。

4.4 所有的螺栓、垫圈、销轴不允许有损坏或达不到材质要求。

4.5 安装的金属构件无损坏或有害塑性变形。

4.6 载荷试验后,各电动机、接触器等电气设备应完好无损坏。

4.7 重要步骤须经过各职能部门的检查和验收,且有详细的施工技术记录和验收记录。

5、 成品保护措施

5.1 在安装过程中注意构件之间不能相互碰撞

5.2 注意对周围结构的保护

5.3 对精密结构或重要部位要采取必要的防护措施

6、 文明施工标准

a) 施工人员进入施工现场必须遵守各项管理制度，遵章守纪，确保做到“安全施工、文明施工”。施工现场禁止流动吸烟。

b) 施工人员按规定正确使用劳动保护用品，着装要整齐。

c) 讲文明、讲礼貌、不在施工现场乱写乱画。

d) 设备绑扎要牢固, 并根据钢丝绳的用途、被吊设备重量、钢丝绳间的夹角来经济、合理、安全地选择钢丝绳的规格和直径。

e) 正确使用、保养、维护机械、工器具，确保其使用性能和安全性能。

f) 建立并严格执行工序交接验收制度，上道工序交给下道工序应是干净、清洁、工艺符合要求的作业面。

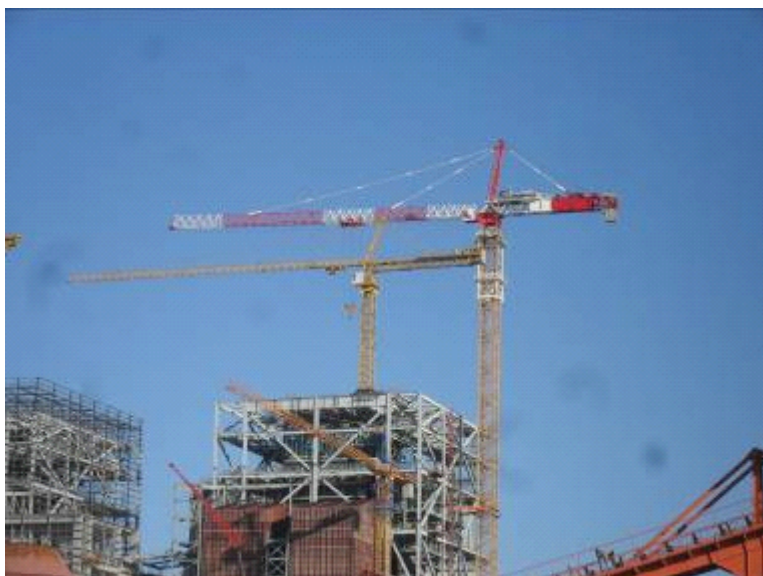
g) 加强施工现场的钢丝绳、卸扣、脚手架管的使用管理，不用的钢丝绳和小型起重工器具应及时收回，禁止出现乱堆乱放现象。

h) 现场设置的安全施工设施、文明施工设施及消防设施严禁乱拆乱动。

i) 进行起重指挥作业的人员作业时应穿黄马甲、佩带起重袖标。

j) 机械安装完毕以后，进行全面检查和清洁工作，消除扶梯、桥架、操作室及维护范围内的油污和杂物。

k) 根据每日的工作情况，使用的工具和材料，剩余材料和不能再使用的物件，应每日进行回收，作业人员随身携带工具包，作业扳手应有防掉落保护绳。严禁高空乱抛杂物，保持施工场地整洁，做到“工完、料尽、场地清。”



安装后的效果图

7、 相关计算

名称	规格	数量	重量 (t)	对回转产生的力矩 (t.m)
基础节		1	3.945	0
标准节		3	5.025	0
塔头撑架		1	2.5	0
驾驶室节		1	4.73	0
驾驶室		1	4.75	0
回转支承组件		1	7.33	0
起升卷扬机	含钢丝绳	1	4	-62
平衡臂总成		1	12.82	-135.9
配重总量			16	-323.2
起重臂组合	50m	1	17.25	+353.63
牵引小车	3m 处	1	1.256	+3.8
总计			79.606	不平衡力为 -163.67t.m

1) 塔吊相关参数: 塔吊安装高度 $H=31\text{m}$, 塔吊标准节宽度 $B=2\text{m}$, 标准节长度 $b=3\text{m}$, 主弦杆材料: 角钢, 宽度: 120mm。

2) 作用于塔吊的竖向力 (非工作状态): $F_{k1}=\text{自重}=79.606=780\text{KN}$;

非工作状态倾覆力矩为 $M_{k1}=163.67 \text{ t.m} =1604\text{KN.m}$

1、塔吊弯矩计算

依据《建筑结构荷载规范》(GB50009-2001) 中风荷载体型系数:

克拉玛依市基本风压为 $\omega_0=1.0\text{kN/m}^2$;

查表得: 风荷载高度变化系数 $\mu_z=2.09$;

挡风系数计算:

$$\phi = [3B + 2b + (4B^2 + b^2)^{1/2}] c / (Bb) = [(3 \times 2 + 2 \times 3 + (4 \times 2^2 + 3^2)^{0.5}) \times 0.12] / (2 \times 3) = 0.34;$$

因为是角钢, 体型系数 $\mu_s=2.32$;

高度z处的风振系数取: $\beta_z=1.2$;

所以风荷载设计值为:

$$\omega=0.8 \times \beta_z \times \mu_s \times \mu_z \times \omega_0=0.8 \times 1.2 \times 2.32 \times 2.09 \times 1.0=4.65 \text{ kN/m}^2;$$

风荷载对塔吊基础产生的弯矩计算:

$$M_\omega=\omega \times \phi \times B \times H \times H \times 0.5=4.65 \times 0.34 \times 2 \times 31 \times 31 \times 0.5=1519.3 \text{ kN} \cdot \text{m};$$

$$M_{k\max}=M_{k1}+M_\omega=1604+1519.3=3123.3 \text{ kN} \cdot \text{m};$$

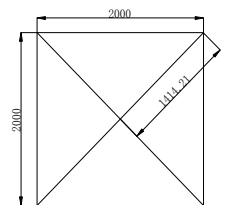
3) 炉顶塔吊钢结构基座自重: 承重梁 $G=2.1\text{t}$;

2、承重梁的受力校核

1) 塔吊标准节传递给支座四个连接点的垂直力计算。依据《建筑桩基础技术规范》

JGJ94-94 的第 5.1.1 条来对标准节的竖向力进行计算:

$$N_i = \frac{F+G}{n} \pm \frac{M_x y_i}{\sum y_i^2} \pm \frac{M_y x_i}{\sum x_i^2}$$



其中 n ——桩基个数, $n=4$;

F ——作用于钢结构基座顶面的竖向力设计值, $F=1.2 \times F_{k1}=1.2 \times 780=936 \text{ kN}$;

G ——钢结构支座的自重 2.1t , $G=F_{k2}=1.2 \times 2.1 \times 9.8=24.7 \text{ kN}$;

M_x, M_y ——最大倾覆力矩 ($\text{KN} \cdot \text{m}$);

x_i, y_i ——单桩相对承台中心轴的 XY 方向距离 (m);

N_i ——单根桩顶竖向力设计值 (KN)。

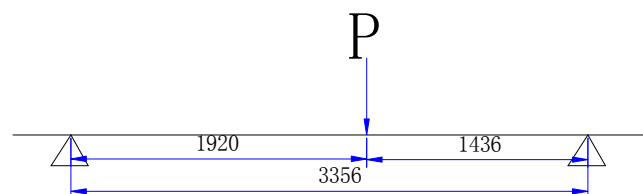
经计算得到单根桩基竖向力设计值:

$$N_{\max}=(936+24.7)/4+3123.3 \times 1.41421/[2 \times 1.41421^2]=1344.25 \text{ kN}, \text{ 即塔吊标准节传递}$$

给承重梁的压力为 1344.25 kN , 合 137.2t 。

$$N_{\min}=(936+24.7)/4+3123.3 \times 1.41421/[2 \times 1.41421^2]=-864.25 \text{ kN}, \text{ 即塔吊标准节传递}$$

给承重梁的拉力为 864.25 kN , 合 88.2t 。



单根基桩最大竖向力 $N_{\max}=1344.25 \text{ kN}$ 作用于基础横梁上, 根据简支梁的受力计算, 所产生的弯矩 $M_l=(a \times b/l) \times N_{\max}=(1920 \times 1436/3356) \times 1344.25=1104367000 \text{ N} \cdot \text{mm}$;

基础横梁采用四拼工字钢而成, 中间留有 140 mm 的间距, 拼接后基础横梁截面特性为:

对 X 轴线抗弯截面系数为: $W_x=5157333 \text{ mm}^3$, $Q345$ 材质钢板抗弯 $[\sigma]=310 \text{ N/mm}^2$, $[\tau]=180 \text{ N/mm}^2$

在非工作状况下, 基础横梁承载弯矩为:

根据 $\sigma \leq \frac{M}{W} \leq [\sigma]$

σ ——截面产生的弯曲应力；

M ——截面的弯矩，即为 $M_1 = 1104367000 \text{ N} \cdot \text{mm}$ ；

W ——截面抗弯模量，即为 $W_x = 5157333 \text{ mm}^3$ ；

计算得 $\sigma = 214.1 \text{ N/mm}^2 < [\sigma]$ ，即承重梁的强度满足要求。

四拼工字钢截面面积为： $A = 268 \text{ cm}^2$

基础横梁承受剪切应力为：

$\tau = N_{\max} / A = 1344250 / 26800 = 50.2 \text{ N/mm}^2 < [\tau]$ ，满足要求；

通过以上计算，四拼#32 工字钢满足要求。

参考文献：

- (1) 《起重机械安全规程》
- (2) 《施工现场设计安全设计计算》
- (3) 《建筑结构荷载规范》
- (4) 《C7030 塔式起重机安装使用说明书》（四川建筑机械厂编）
- (5) 《起重机械超载保护装置安全技术规范》
- (6) 《建筑塔式起重机性能试验规范和方法》
- (7) 《建筑桩基础技术规范》
- (8) 《克拉玛依施工组织设计》
- (9) 《钢结构设计规范》