

深基坑格构式塔吊基础群塔施工关键技术研究

陈东

中交第二航务工程局有限公司

DOI:10.12238/jpm.v5i11.7430

[摘要] 本文研究了深基坑中格构式塔吊基础的稳定性及与传统基础的优势对比。通过分析和模拟，探讨了不同基础类型对深基坑施工组织的影响，以及格构柱钢平台基础和混凝土基础的施工优缺点，研究了地质条件、基础设计、施工方法对施工组织的影响。总结了不同场景下最优塔吊基础选择及群塔作业安全关键要素，为类似工程提供新思路与方法，具有参考价值。

[关键词] 深基坑；格构式基础；基础稳定性分析；钢平台基础；混凝土基础；群塔作业

Construction of deep foundation pit lattice structure tower crane foundation group tower key technology research

Chen Dong

CCCC Second Navigation Engineering Bureau Co., Ltd.

[Abstract] This paper studies the stability of lattice tower crane foundation in deep foundation pit and the advantages compared with the traditional foundation. Through analysis and simulation, the influence of different foundation types on deep foundation pit construction organization, as well as the advantages and disadvantages of lattice column steel platform foundation and concrete foundation are discussed, and the influence of geological conditions, foundation design and construction methods on the construction organization is studied. This paper summarizes the optimal basic selection of tower crane operation and the key elements of tower operation in different scenarios, providing new ideas and methods for similar projects, which has reference value.

[Key words] Deep foundation pit; foundation stability analysis; steel platform foundation; concrete foundation; tower operation;

前言

本文研究深大基坑施工中，不同塔吊基础对塔吊稳定性及施工组织的影响，以及群塔施工关键技术。项目位于长江沿岸，采用半地下式双层加盖模式，后期转为全地下式双层加盖模式。除综合楼外，所有建构筑物均位于地下。桩基数量多、种类多，空桩长11m，平均入岩深3~5m，施工平台位于池塘底，淤泥厚，施工环境不佳。支护体系工程量大，涉及分区分块同步流水作业，施工组织难度高。选择合适的起重设备、安全稳

定的工作平台并组织高效施工是关键。

1 工程概况

1.1 项目概况

本工程为全地下式钢筋砼结构，平面尺寸153.3×196.7m，为地下二层框架结构（地下二层8.3m，地下一层7m）。地下构筑物主体结构均采用现浇C40钢筋混凝土结构，基础为C35Φ800钻孔灌注桩。结构框体基坑长度约201m，宽度约158m，平面面积约32000m²，基坑深度约12~17m。

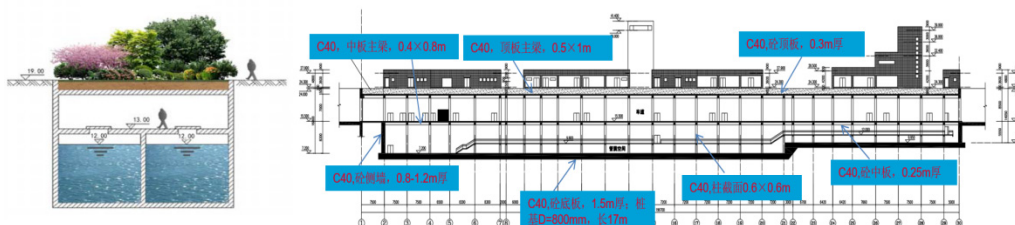


图1 箱体支护结构断面布置图

2 塔吊布局方案比选

根据施工需要和场地布局合理布设塔吊对施工组织尤其

重要，塔吊布置的同时需考虑安装，拆除及施工过程的利用率问题，针对基坑施工塔吊布置方案如下：

表 1 塔吊布局方案比选

序号	方案	布局示意	优缺点	备注
1	方案 1：配置 2 台 STC7528+3 台 STC7020+1 台 STC6013 塔吊，布置形式如图所示		基坑部分塔吊全覆盖，塔吊交叉多，塔吊数量多，塔吊利用率不佳	
2	方案 2：配置 4 台 STC7528+1 台 STC125A 塔吊，布置形式如图所示		基坑部分塔吊全覆盖，塔吊交叉多，中心部位存在吊装死角，塔吊利用率不佳	
3	方案 3：配置 2 台 STC7528+2 台 STC7020 塔吊，布置形式如图所示		基坑区域塔吊覆盖不全，塔吊交叉多，塔吊利用率不佳	
4	方案 4：配置 2 台 STC7528+3 台 STC7020 塔吊，布置形式如图所示		基坑区域塔吊覆盖，塔吊交叉多，中心部位存在吊装死角，塔吊利用率浪费较多	
5	方案 5：配置 4 台 TC7525 塔吊，布置形式如图所示		基坑区域塔吊覆盖，塔吊交叉少，塔吊利用率最大化	

综合比选选取方案 5：4 台 TC7525 塔吊，可做到基坑部分塔吊全覆盖，塔吊交叉少，塔吊利用率最大化。

3 塔吊基础形式方案比选

3.1 格构式塔吊基础

根据工程施工分段特点，结合再生水厂工程基坑支护结构及塔吊最大施工悬臂要求，拟在该区域安装 4 台塔吊作为钢筋

砼支撑等施工垂直起重设备。2#塔起重臂覆盖范围内有一待建高约 13m 办公楼，需特殊考虑；考虑到基坑面积大，支撑体系复杂，混凝土支撑长 1.4 万米，且位置相对分散，如何布置塔吊，塔吊何时启用进行安装成为基坑施工的关键技术问题，主要思路对比如下：

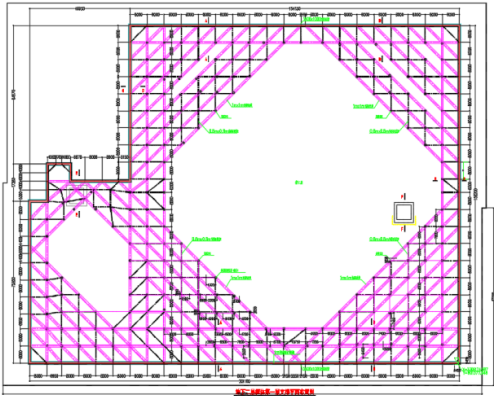


图 2 箱体支护结构平面布置图

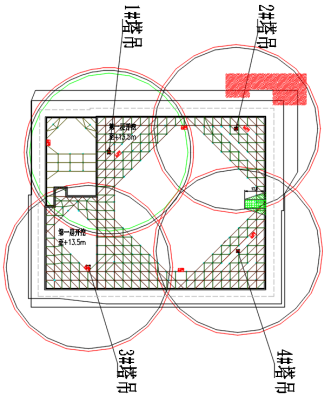


图 3 塔吊区位布置图

表 2 塔吊基础形式选择对比

序号	结构形式	优点	缺点
1	传统扩大基础	1、操作简单 2、稳定性强 3、施工精度要求相对不高 4、基础成本相对较低	1、需要大型安拆设备 2、承台侵入底板结构较多，影响结构施工。 3. 拆除难度较大
2	塔吊格构式基础	1、可以提前投入使用，综合成本较优 2、安拆只需要常规设备 3、拆除难度相对较低 4、避免了基础与底板的	1、结构相对复杂 2、施工精度要求高 3、基础材料消耗较大 4、施工过程质量要求高

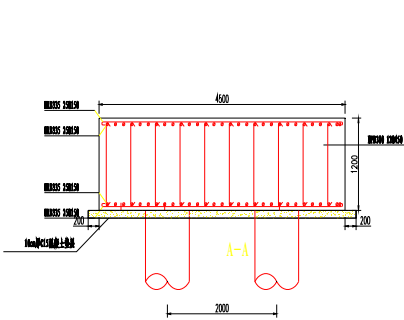


图 4 混凝土塔吊基础

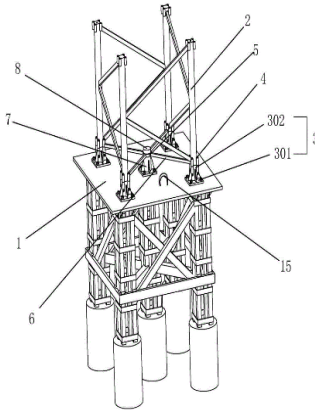


图 5 钢平台塔吊基础

通过采用格构式塔吊基础，提前将塔吊投入到砼支撑施工节段，高效有序的解决了支撑施工过程中的材料运输问题，同时也避免了深基坑内塔吊安拆的安全风险。

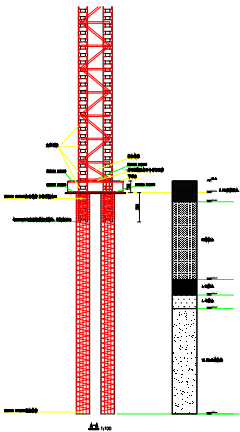


图 6 格构柱塔吊基础

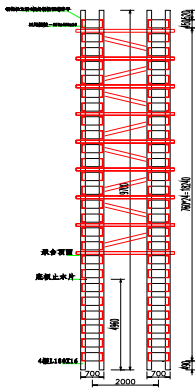
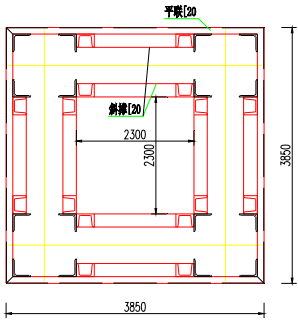
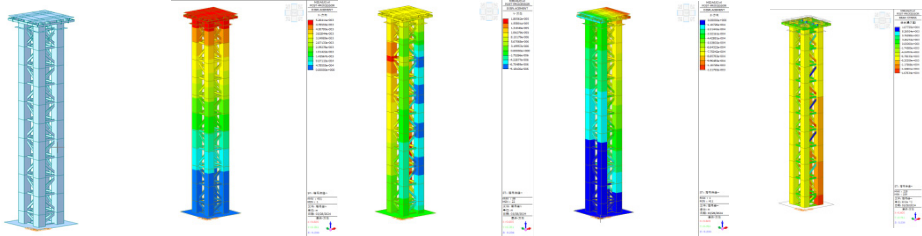


图 7 格构柱塔吊基础细部图



针对格构式塔吊基础的稳定性进行模拟分析，对格构式基础加联系与不加联系时塔吊荷载对格构柱扭转和未扭转的变形和应力影响，按照塔吊自重荷载 1.3 倍+活荷载 1.5 倍考虑建模分析如下。



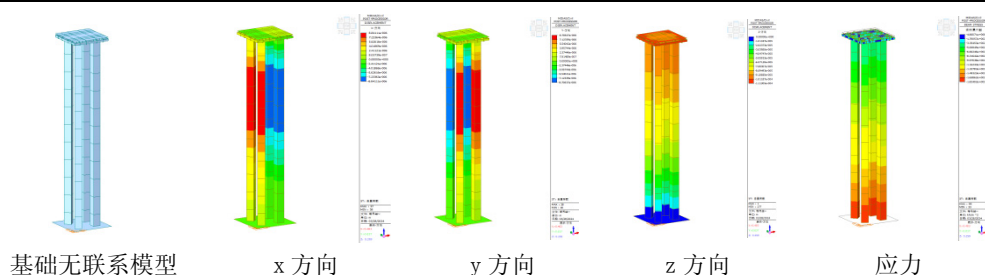


图8 不同结构体系基础塔吊扭转应力变形分析

4 塔吊基础施工

根据勘察资料，拟建再生水厂构筑物基坑最大深度约16~18m，塔吊格构柱基础施工步骤如下：

第一步：钢筋笼及格构柱加工：现场采用9m/节的钢筋笼，

格构柱为工厂定制加工，施工前需对钢筋笼及格构柱的质量情况进行验收，钢筋笼在临近孔口3m位置进行加密处理，每2m设置一个加强环。^[1]

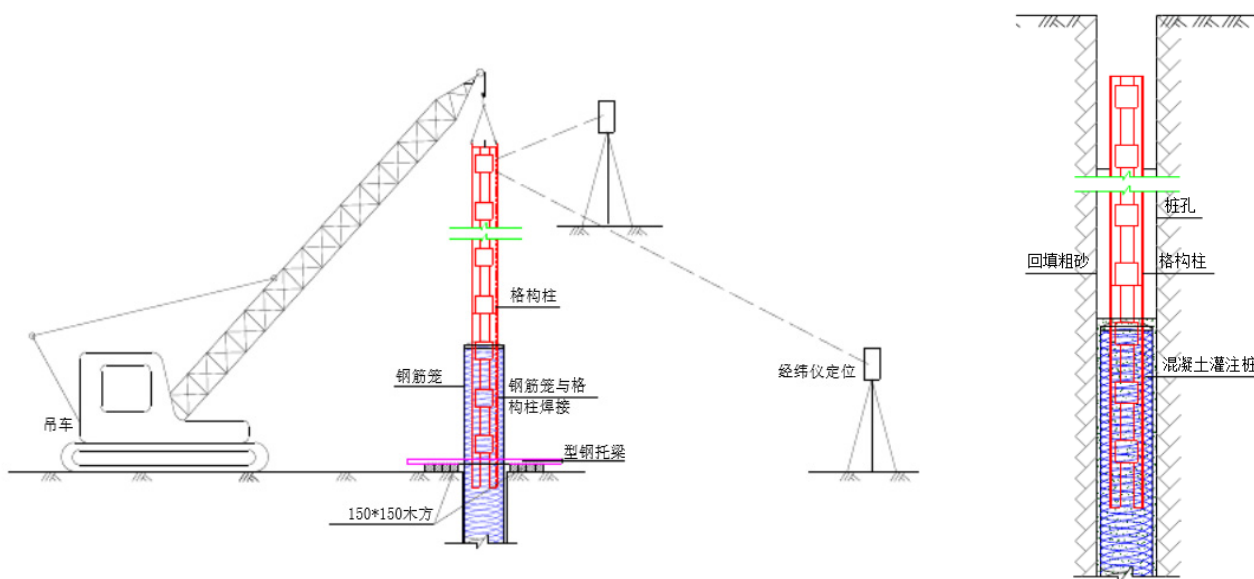


图9 格构柱定位示意图

第二步：格构柱吊装：使用25吨吊车，三点起吊钢筋笼入孔。顶节钢筋笼与格构柱连接固定搭接不少于3米。使用 $\phi 16$ 水平钢筋作为连接筋，连接格构柱与钢筋笼，保持

20~30cm活动量确保居中均匀。吊装后可微调位置保铅垂。吊车持续吊住，避免受力。连接点不少于4处，连接前用全站仪定位复核。

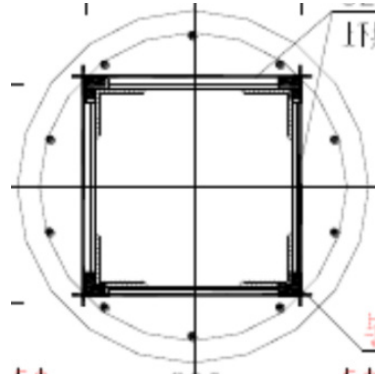


图10 格构柱钢筋笼定位示意图

第三步：格构柱定位采用专用定位器进行定位。

格构柱定位：在型钢托梁上设四个定位点，用经纬仪控垂直位置。安装1500mm高的14#槽钢对拼焊接的定位导向架。导向

架中部定位孔比格构柱大50mm，便于螺栓连接。下落时用靠尺检测，确保中心及方位符合设计，用螺杆固定。最后在柱内下导管浇筑混凝土。

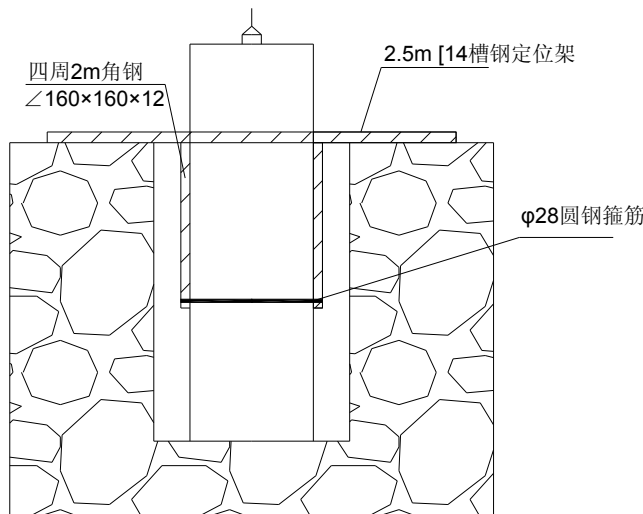
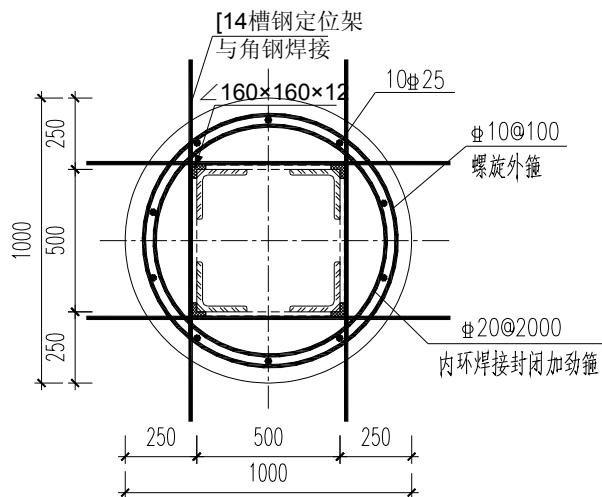


图 11 格构柱定位架示意图

第四步: 经过精确的连接, 钢筋笼与格构柱被整合为一个整体, 随后被吊装至预定孔位。在此过程中, 通过利用格构柱上预先焊接的四个 $\Phi 20$ 钢筋吊耳, 有效地控制并调整格构柱的高程, 确保其精度和稳定性。^[3]

第五步: 在完成吊装操作后, 随即进行水下混凝土灌注工

作。为确保施工质量, 混凝土灌注的顶面标高需精确控制在桩柱顶面标高以上 50 厘米。

第六步: 终凝后, 向格构柱埋入土层段填砂固定。浇注完立柱桩砼后, 用粗砂均匀回填及时回填桩孔, 并采取安全防护措施, 填筑确保密实, 避免挤偏。

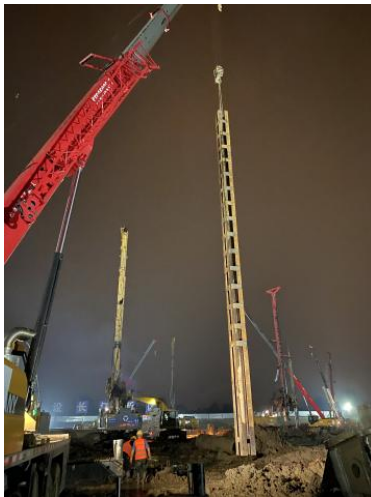


图 12 格构柱施工过程照片



图 13 格构柱与底板防渗装置

第七步: 格构柱防水措施, 在浇筑水厂箱体底板及地下二

层顶板的过程中, 为确保施工质量与安全性, 需在格构柱与底板、顶板接触部位预先进行焊接作业, 安装止水钢板。该钢板规格为 $380 \times 380 \times 6\text{mm}$, 且应精准放置于底板中央位置, 以确保其止水效果, 如图 13 所示。

5 群塔作业施工要点

5.1 群塔布置

为确保塔吊能够覆盖整个基坑, 满足施工需求, 不可避免地出现了塔吊交叉重叠的情况。因此, 防止塔吊在施工过程中发生碰撞问题至关重要。需要综合考虑塔吊的高度、角度、起重量以及施工结构物的高度等因素。针对群塔施工过程中的避让问题, 现进行以下具体分析:

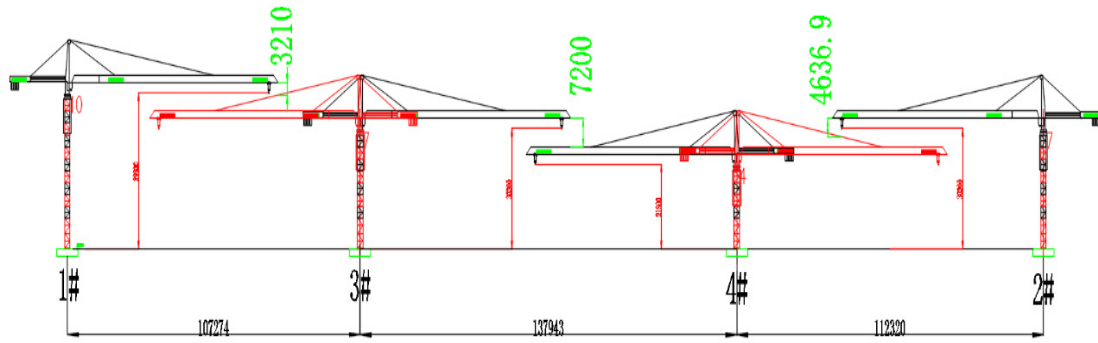


图14 再生水厂塔吊布置示意图

4 台塔吊设置于基坑内对后序施工无影响处（采用格构柱基础），所用 QTZ250 型塔吊最大臂长 75m 处吊重 2.5t，可覆盖基坑大部分施工范围，周边无高压线、暂无建筑物，但每台塔吊与周围至少两台存在交叉作业。

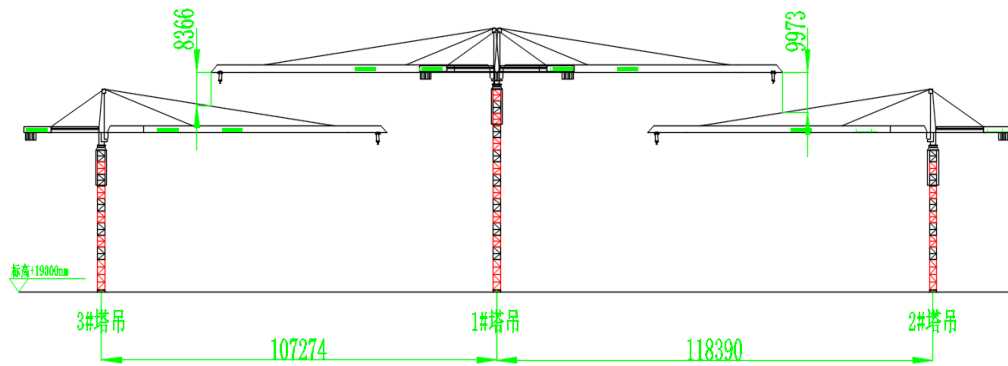


图15 1#塔与2#塔及3#塔机交叉情况立面图

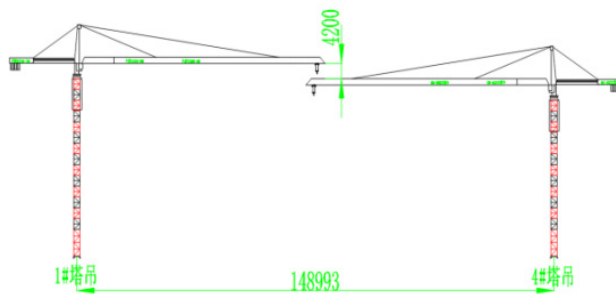


图16 1#塔与4#塔机交叉情况立面图

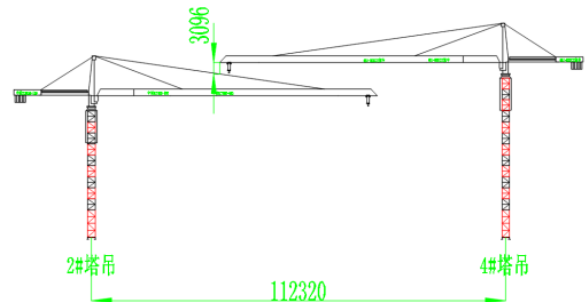


图17 2#塔与4#塔机交叉情况立面图

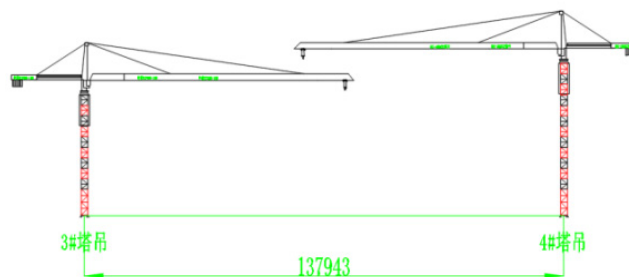


图18 3#塔与4#塔机交叉情况立面图

塔吊作业遵循低塔让高塔、后塔让先塔、动塔让静塔、荷重先行、客塔让主塔等原则。综合考虑，采取 2#、3#低塔避让 1#、4#高塔，4#客塔避让 1#主塔的策略，以提升施工效率和质量。^[2]

5.1 群塔碰撞风险分析

1、低位塔吊起重臂与高位塔吊起重钢丝绳之间防碰撞措施
根据“2#、3#低塔让 1#、4#高塔，4#客塔让 1#主塔”原则，1#主塔施工范围为 360°内全区域作业，4#塔机施工区域为 G=328°内自由作业、2#塔机为 C=196°内自由作业、3#塔机为 E=213°内自由作业。

表3 旋转工况模拟

序号	工况描述	示意图
1	根据“2#、3#低塔让1#、4#高塔，4#客塔让1#主塔”原则，1#主塔施工范围为 360° 内全区域作业，4#塔机施工区域为 $G=328^{\circ}$ 内自由作业、2#塔机为 $C=196^{\circ}$ 内自由作业、3#塔机为 $E=213^{\circ}$ 内自由作业。	
2	当2#塔需要进入与1#、4#塔的交叉区（此时事前安装的报警器报警） $D=164^{\circ}$ 区域作业时，需对讲机请示，经信号工对接同意后指挥转入该区域（此时1#塔原则上只可在 $A=280^{\circ}$ 范围内工作，4#塔只可在 $G=249^{\circ}$ 范围内工作，3#塔只可在 $E=213^{\circ}$ 范围内工作：角度限位器被触发生效）。2#塔离开交叉区域后，1#塔方可 360° 内自由作业（4#塔机施工区域为 $G=328^{\circ}$ 内自由作业、3#塔机为 $E=213^{\circ}$ 内自由作业，如右图所示）。	
3	当3#塔需要进入与1#、4#塔的交叉区（此时事前安装的报警器报警） $F=147^{\circ}$ 区域作业时，需对讲机请示，经信号工对接同意后指挥转入该区域（此时1#塔原则上只可在 $A=267^{\circ}$ 范围内工作，4#塔只可在 $G=273^{\circ}$ 范围内工作，2#塔只可在 $C=196^{\circ}$ 范围内工作：角度限位器被触发生效）。3#塔离开交叉区域后，1#塔方可 360° 内自由作业（4#塔在如前划定区域 328° 范围内工作）	
4	2#塔、3#塔机需要同时进入交叉区时：当2#塔、3#塔需要同时进入与1#、4#塔的交叉区（此时事前安装的报警器报警） $D=164^{\circ}$ 、 $F=147^{\circ}$ 区域作业时，需对讲机请示，经信号工对接同意后指挥转入该区域（此时1#塔原则上只可在 $A=163^{\circ}$ 范围内工作，4#塔只可在 $G=194^{\circ}$ 范围内工作）。2#塔、3#塔均离开交叉区域后，1#塔方可 360° 内自由作业（4#塔在如前划定区域 328° 范围内工作）	
5	图示显示，高位塔吊起重绳与低位塔吊平衡臂布局合理，互不干扰。因此，无需采取额外防碰撞措施，确保施工安全。	

低位塔吊起重臂与高位塔吊塔身在水平方向不会相撞。本方案已充分考虑塔吊布置，并进行了周密规划。为确保施工安全，建议严格按照方案指定位置安装和操作塔吊，以避免潜在安全隐患，确保工程顺利进行。

2、塔吊在垂直方向的碰撞

低位塔吊起重臂与高位塔吊钢丝绳可能在交叉作业区发生碰撞。为避免事故，需合理划分塔吊工作区，减少交叉作业。当发现塔吊起重臂进入相互覆盖区时，高位塔吊小车应停在区外，司机确认无碰撞风险后方可进入装卸。装卸完成后，小车必须离开覆盖区再回转起重臂。发现碰撞风险时，应立即示警并控制起重臂离开覆盖区，以最大限度避免碰撞事故。

6 结论

本研究通过对深基坑格构式塔吊基础群塔施工关键技术

的深入研究，综合考量塔吊布置方案、基础结构对比、稳定性分析以及群塔施工风险分析等多个方面，旨在总结提炼出一套行之有效的深基坑群塔施工方法。此方法的形成将为同类型项目提供宝贵的经验借鉴，有助于推动行业技术进步和工程实践发展。

[参考文献]

- [1]傅菁俊；黄颖昭；富春江船闸改建工程群塔作业安全管理《建设科技》，2016-08-25。
- [2]孔德娜；刘小君；王小红；王熹；大型商业广场群塔安装与作业施工技术《建筑技术开发》，2011-03-20。
- [3]刘毓川；解道龙；杨璐铭；张元霄；半盖挖顺作法在地铁车站施工中的应用《四川建筑》，2022-12-28。