

# 浅谈深大基坑立柱桩施工质量控制

庞冲 邓佳卓

北京建筑大学城市经济与管理学院, 中国·北京 100044

**摘要:** 当前城市密集型建设项目日益增多, 桩基施工质量直接影响工程质量。本研究以北京市马圈公交地铁一体化工程为背景, 针对软土地基环境下地下连续墙 + 混凝土环撑支护体系中的立柱桩施工质量控制展开研究。通过系统分析关键技术要求与质量控制策略, 结合立柱桩结构特性, 提出涵盖钢筋笼加工、格构柱定位、成孔工艺、桩底注浆等 12 项关键质量控制节点。工程实践表明: 采用全过程动态控制立柱桩一次验收合格率达 95% 以上, 承载力满足设计要求。为深大基坑立柱桩施工质量控制提供了有效经验, 对保障支护体系安全性和控制工程风险具有重要意义。  
**关键词:** 深基坑; 立柱桩; 格构柱; 钻孔灌注桩; 质量控制

## Brief Discussion on Construction Quality Control of Column Piles in Deep and Large Foundation Pits

Pang Chong, Deng Jiazhuo

School of Urban Economics and Management, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, China Beijing 100044

**Abstract:** With the increasing number of urban intensive construction projects, the construction quality of pile foundations directly affects the overall project quality. Taking the Majuan Public Transport and Metro Integration Project in Beijing as the background, this study focuses on the construction quality control of column piles in the diaphragm wall + concrete ring beam bracing system under the soft soil foundation environment. By systematically analyzing key technical requirements and quality control strategies, combined with the structural characteristics of column piles, 12 key quality control nodes are proposed, covering steel cage fabrication, lattice column positioning, hole-forming technology, pile bottom grouting and other aspects. Engineering practice shows that the one-time acceptance qualification rate of column piles reaches over 95% through whole-process dynamic control, and the bearing capacity meets the design requirements. This study provides effective experience for the construction quality control of column piles in deep and large foundation pits, and is of great significance for ensuring the safety of the supporting system and controlling engineering risks.

**Keywords:** Deep foundation pit; Column pile; Lattice column; Cast-in-situ bored pile; Quality control

## 0 引言

在当前应用的基坑支护体系中, 对于深大基坑软土地基或城市改造密集建设区的基坑支护, 采用环形内支撑体系 (主要是钢筋混凝土环形支撑) 的已经越来越多, 并向超大直径环形支撑发展<sup>[1]</sup>。格构柱桩 (以下称立柱桩) 作为基坑支护体系中的竖向受力结构, 是基坑支护结构中的一种常见形式<sup>[2]</sup>。在立柱桩施工过程中, 如何保证格构柱的标高、立柱桩桩身完整性和承载力, 是影响工程施工质量的关键。本文以北京市东城区马圈公交地铁一体化项目为例, 对立柱桩施工全过程质量控制要点进行分析, 旨在有效解决立柱桩施工过程中常见质量问题。

## 1 工程概况

项目建设地点位于北京市东城区广渠门外大街 22 号,

基坑北侧为广渠门外大街 (路下为 7 号线广渠门外地铁站), 西侧为建国达大厦, 南侧为广渠家园小区及广渠社区卫生服务中心, 东侧为广和里中路 (路下为 17 号线广渠门外站)。项目设计为地下四层, 地上九层框架混凝土钢结构, 地下埋深负 19 米。建筑红线紧贴各周边建筑及构筑物, 场地十分紧张。考虑到基坑支护安全性及对周边既有结构的影响最低, 基坑工程采用 800mm 地下连续墙 + 3 道混凝土环撑支撑, 标准段基坑深约 20.75m, 局部坑中坑 25.61m。基坑工程大体呈矩形, 长约 110m (东西方向), 宽 50-70m (南北方向), 基坑安全等级为一级。

## 2 主要施工技术难点

### 2.1 主要施工技术

本工程基坑环撑结构所用立柱桩, 主要包含两部

分，上部格构柱为钢构件，下部立柱桩为钢筋混凝土钻孔灌注桩基础。格构体系构件由肢件和缀材组成，肢件主要承受轴向力，缀材主要抵抗侧向力。格构柱长度为 14.15~27.11m，构件截面尺寸 600x600mm，缀板为 4-560x400x14，中心间距 800mm，除筏板范围内不设缀板外，格构柱通长均设有钢缀板。下部为直径 1m 或 1.2m 的钻孔灌注桩，用作格构柱的基础，格构柱插入灌注桩 3000mm，与灌注桩主筋可靠焊接。格构柱桩构造详见图 1。格构柱垂直度的允许偏差应不大于 1/300 基坑深度。下部灌注桩采用泥浆护壁钻孔灌注桩，桩端后注浆工艺，桩身混凝土设计强度等级为水下 C30，保护层厚度 50mm。桩位水平偏差应不大于 50mm，桩身垂直度偏差不大于 1/300L (L 为桩长)，孔底沉渣厚度不大于 100mm，泛浆高度根据实际情况取 1 倍桩径。立柱桩上部空桩段采取级配碎石回填密实，在成桩后应进行桩身完整性检测和承载力试验。

### 2.2 主要施工难点

(1) 地质条件复杂。项目场地表层为人工堆积之黏质粉土素填土和杂填土，中层以粉质黏土、粉细砂、黏质粉土、细中砂为主，下层以细中砂、圆砾、重粉质黏土为主。场区内分布的特殊岩土性土主要为人工回填土，成分较复杂，回填时间较短。回填过程未经过碾压夯实，软硬不均，力学性质差异较大，结构松散易坍塌。

(2) 周边建筑物密集。西侧为中建国达大厦，南侧为广渠家园小区及广渠社区卫生服务中心，桩基施工产生的振动、沉降易导致邻近建筑开裂、管线破损。

(3) 格构柱数量多且长，对垂直度要求较高。

由于以上难点，需要从材料管控、施工参数闭环等方面进行全过程质量控制。

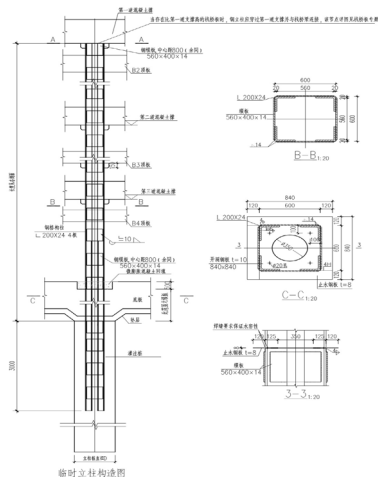


图1

### 3 立柱桩施工质量控制要点

针对软土地层施工风险及立柱桩结构特性，从事前准备、事中控制进行质量控制，具体如下：

#### 3.1 前期准备

桩基施工准备阶段作为后续施工流程有序推进的前提与保障，其核心目标在于实现全方位的生产准备，同时构建完备且具备有效性的技术文件支撑体系。在该阶段，首先由设计单位与施工单位完成技术对接与交底工作，明确设计意图、技术参数及核心要求；随后施工单位结合工程地质条件、周边环境约束及项目总体要求，编制并优化施工组织设计、专项施工方案及进度控制计划，同步针对施工人员开展系统性技术交底与安全技术培训及考核；在此基础上，开展场地平整、地下管线探测及障碍物排查与清理工作，消除施工环境中的潜在干扰因素；最终完成施工机具的进场校验、调试与性能检测，确保设备技术状态满足施工精度与安全要求。

#### 3.2 施工阶段质量控制

根据施工图纸要求进行施工，具体施工流程如图 2，各阶段质量控制分别为：



图2 立柱桩施工流程图

(1) 钢筋笼加工质量控制。制作钢筋笼首先要满足图纸要求，此道工序需控制钢筋笼制作允许偏差满足规范要求，保证钢筋笼主筋直螺纹接头质量、箍筋加密区长度及加强箍位置。除此之外，还需重点关注钢筋笼内径尺寸是否满足工艺要求。由于格构柱截面对角线长度为 850mm，直径 1 米灌注桩格构柱难以插至钢筋笼中。因此在钢筋笼加工时需将钢筋笼顶部 3m 范围的加强箍筋改到主筋的外侧（之前在主筋内侧），同时确保加强箍筋内径尺寸加工准确，便于格构柱与钢筋笼连接。

(2) 格构柱加工质量控制。因本工程格构柱较长，无法完整运输进场，格构柱采用分段进场后采用绑设缀板焊接。焊接作业是做好格构柱制作质量的重要环节，此道工序需控制格构柱拼接后的垂直度、焊缝质量，检查缀板间距、以及筏板范围是否预留准确。焊接完成后，需对焊接部位进行检测，以免出现焊接质量问题。为了进一步加强格构柱加工垂直度的精准度，整根格构柱采用模具定位进行拼装。

(3) 正式施工前进行试成孔。立柱桩应进行工艺性试成孔，数量不应少于 2 根，并采用超声波检测成孔质量。试成孔的目的是为了验证设计参数的合理性、确保施工方法的可行性。通过此步骤，可以有效得出该场地水文地质条件下泥浆比重的合理范围及钻进工艺参数，有利于加强立柱桩的施工质量。

(4) 泥浆制备质量控制。新泥浆制备的质量控制在施工中往往是被忽视的环节。由于泥浆能起到保护孔壁、防止塌孔的作用，还能有效排出土渣，同时冷却与润滑钻头。因此在施工过程中，泥浆的配制至关重要，需要针对不同的地质条件，选择适当的泥浆类型。重点检查泥浆的比重、黏度、含砂率及 PH 值满足规范要求。

(5) 桩孔定位质量控制。为确保桩心定位准确，采用十字定位法对桩基中心进行定位。埋设护筒后对桩心及护筒垂直度进行复核，护筒中心与孔位中心偏差不应大于 50mm。

(6) 钻进成孔质量控制。成孔钻进过程中检查钻杆垂直度；砂层中钻进时，适当降低钻进速度及转速，并提高泥浆比重和黏度。旋挖成孔达到设计深度时，采用清孔钻头进行清孔。

(7) 成孔质量控制。第一次清孔完成后对成孔效果及泥浆质量进行检查，成孔效果检查包括对孔深、垂直度、孔径进行检查；泥浆质量检查从比重、含砂率、黏度三个指标进行测定。检查结果符合设计要求后方可下放钢筋笼及格构柱。在此要严格控制旋挖成孔的孔深，满足设计深度的情况下尽量不要超钻超挖。若超挖需根据超挖深度加长钢筋笼，确保格构柱插入钢筋笼的标高。

(8) 格构柱平面定位、垂直度及标高控制。格构柱插入钢筋笼 3 米范围并焊接固定时，为更好控制其平面位置，采用辅助筋定位等措施，同时在下放时采用经纬仪抄测，始终保持格构柱垂直度。但由于地下土质复杂导致成孔存在一定偏差，同时因钢格构柱尺寸较长，钢格构柱的平面定位及垂直度控制一直为格构柱安装的难点，所以不可避免地出现立柱桩施工完成后出现偏差的情况，施工下一工序的单位需对其偏差进行处理，以保证内支撑系统稳固可靠<sup>[3]</sup>，如补强或切割多余的格构柱等。格构柱的标高控制采用措施柱及可调长螺杆控制如图 3。定位螺杆贯穿至吊装孔内并能调节抵靠在可拆除重复利用的措施柱侧面上，同时措施柱顶耳板担在工字钢上确定地面标高，通过调节长螺杆长度确定地面以下格构柱桩顶标高。

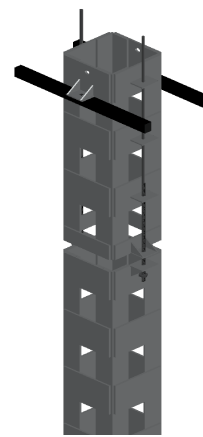


图3

(9) 二次清孔质量控制。钢筋笼、格构柱及导管下好后，用泵正循环进行第二次清孔，二次清孔时间不少于 30min。清孔后重新检查孔底 500mm 以内的泥浆相对密度小于 1.25，含砂率应小于 8%，黏度不得大于 28s。同时测绳量测桩底沉渣厚度，对于摩擦桩沉渣厚度小于 100mm。

(10) 混凝土浇筑质量控制。灌注前导管内放入隔水栓；混凝土初灌量应满足导管埋入混凝土深度不小 0.8m 的要求，导管底部至孔底距离宜为 300~500mm；导管埋入混凝土内深度控制在 2~6m 以内，当混凝土浇至钢筋笼底部时，应放慢混凝土入管速度，减小混凝土上升顶力对钢筋笼作用，达到控制钢筋笼上浮的目的<sup>[4]</sup>。另外，混凝土浇筑时应注意导管卡管，如处理不当，容易造成混凝土初凝或者破坏钢筋笼，导致灌注桩断桩或质量不满足要求<sup>[5]</sup>。混凝土浇筑控制须最后一次灌注量，超灌高度大于 1m，保证凿除泛浆后暴露的桩顶混凝土强度达到设计等级。

(11) 空桩段回填质量控制。立柱桩浇筑完成后，格构柱范围空桩段采用级配碎石回填。回填时在格构柱周边均匀回填，避免回填不平衡对格构柱造成挤偏，回填一定要密实<sup>[6]</sup>。

(12) 桩底注浆质量控制。注浆作业在成桩 2d 后开始，需要注意的是混凝土浇筑完成后 7~8h 采用清水开塞，避免混凝土硬化后无法注浆。当注浆总量和注浆压力均达到设计要求，或注浆总量已达到设计值的 75%，且注浆压力超过设计值时方可停止注浆。

#### 4 立柱桩、格构柱质量控制效果

立柱桩采用声波透射法 100% 全覆盖检测，该方法具有检测精度高、无破损、能有效识别内部缺陷的优势。施工前按规范要求钢筋笼上对称绑扎 3-4 根声测管，声测管采用无缝钢管，底部密封、顶部加盖，确保管道畅通无

表1 立柱桩、格构柱施工偏差统计表

桩型	桩径 (mm)	设计桩长及偏 差值(m)	格构柱 长度(m)	空孔长度 (m)	超挖 平均值(m)	钢筋笼长度 及偏差值(m)	二次清孔 沉渣厚度(cm)	格构柱顶 标高偏差(m)
A1	1000	15+0.197	14.15- 22.55	21.05	0.197	15+0.18	9.94	+0.05
A2	1000	15+0.211	15.20- 22.75	21.05- 23.95	0.211	15+0.20	6.10	+0.02
B2	1200	18+0.215	19.75- 27.11	21.05- 25.91	0.215	18+0.20	9.52	-0.01
B3	1200	18+0.192	14.75- 22.55	21.05	0.192	18+0.18	6.30	-0.02
C3	1200	23.5+0.161	22.25	21.05	0.161	23.5+0.15	7.54	+0.04
C4	1200	23.5+0.223	22.25- 22.55	21.05	0.223	23.5+0.20	4.42	-0.06

注：偏差值为同类桩型整体偏差平均值，+代表超出设计值，-代表低于设计值。

堵塞；检测时采用超声波检测仪，沿桩身纵向连续扫描，通过分析声波传播速度、振幅及波形变化，判断桩身是否存在断桩、夹泥、空洞等缺陷。由于传统静载试验无法实施，本项目创新采用自平衡法进行承载力检测。施工前在钢筋笼预设荷载箱（自平衡仪器），荷载箱安装于桩身平衡点位置，通过专用支架固定，确保与钢筋笼轴线一致，避免施工中移位；荷载箱导线经防水处理后引出桩外，做好标识保护。检测时待桩身混凝土强度达到设计强度 100% 后，分级施加轴向荷载，同步记录上下段桩体位移数据。在桩身混凝土强度达到设计要求的条件下，承载力检验应在后注浆 20d 后进行，待浆液充分凝固并与桩周土层形成整体受力体系，确保检测结果能真实反映桩基实际承载能力。

通过对立柱桩施工全过程进行动态质量控制，浇筑完后检查，全部立柱桩施工过程质量及试验检测满足规范和设计要求，一次验收合格率达到 95% 以上。下表为本项目立柱桩、格构柱施工偏差统计表，反映立柱桩施工关键数据质量控制成果，见表 1。

## 5 结语

目前越来越多的深大基坑项目采用格构柱 + 立柱桩作

为基坑支护的水平及竖向受力构件，立柱桩作为支护结构的施工质量直接影响到基坑支护安全，当结构工程桩作立柱桩使用时则直接作用于工程实体质量。立柱桩的施工质量对工期和费用亦产生间接影响，并随基坑深度、立柱桩数量的增加呈正相关趋势。因此，控制好立柱桩施工质量能为项目建设提效增值，此过程完全可以通过现场管理人员的质量管理行为实现。

### 参考文献：

- [1] 周剑锋. 深基坑工程围护桩基施工技术与控制[J]. 施工技术, 2020,49(S1):86-89.
- [2] 陶世馨. 地下空间工程格构柱桩施工技术研究[J]. 价值工程, 2023,42(27):160-162.
- [3] 何骥驰, 刘逾亮, 徐文汉等. 深基坑格构柱偏差处理及经济效益探讨[J]. 建筑技术, 2023,54(05):558-561.
- [4] 贾德俊, 欧阳波, 丁伟等. 超深基坑内支撑格构柱存在空桩段施工案例分析[J]. 建筑结构, 2023,53(S2):2621-2624.
- [5] 阮永芬, 梁龙元, 乔文件等. 格构柱桩基浇筑导管卡管及错位问题探究[J]. 建筑技术, 2023,54(04):455-459.
- [6] GB51004-2015 建筑地基基础工程施工规范.