

预应力管桩预制方桩超长送桩施工技术研究

彭根, 刘磊, 谢德才

中铁建工集团有限公司, 北京 100071

DOI:10.61369/ERA.2026080014

摘 要 : 预应力管桩与预制方桩的超长送桩施工是工程基础施工的关键环节, 对保障基础承载性能、提升施工效率及增强工程经济性具有重要意义。本文针对该施工工艺, 从桩身垂直度全过程管控、桩体保护与接头施工工艺优化、送桩精度及标高控制提升三个核心维度, 提出针对性施工优化策略, 可有效解决超长送桩中易出现的偏斜、桩体损伤、标高偏差等问题, 为同类工程超长送桩施工提供技术参考, 助力工程质量与施工效益双提升。

关 键 词 : 超长送桩; 预应力管桩; 预制方桩; 施工技术

Research on Construction Technology of Precast Square Pile with Super-Long Pile Delivery for Prestressed Pipe Pile

Peng Gen, Liu Lei, Xie Decai

China Railway Construction Engineering Group Co., Ltd., Beijing 100071

Abstract : The ultra-long pile driving technique for prestressed pipe piles and precast square piles constitutes a critical phase in engineering foundation construction, playing a pivotal role in ensuring load-bearing capacity, enhancing construction efficiency, and improving project cost-effectiveness. This paper proposes targeted optimization strategies for this construction method, focusing on three core dimensions: comprehensive verticality control throughout the pile body, optimized protection and joint construction techniques, and precision improvement in pile driving accuracy and elevation control. These strategies effectively address common issues in ultra-long pile driving, such as deviation, pile damage, and elevation discrepancies, providing technical references for similar projects and contributing to dual improvements in both engineering quality and construction efficiency.

Keywords : ultra-long pile driving; prestressed pipe pile; prefabricated square pile; construction technology

引言

随着建筑工程向高层化、重载化发展, 基础工程对承载能力要求持续提升, 预应力管桩与预制方桩超长送桩施工应用日益广泛。该施工工艺虽兼具经济性与高效性, 但易出现桩身偏斜、接头损坏、标高偏差等问题, 影响基础稳定性。本文结合工程实践, 探讨超长送桩施工优化技术, 解决施工痛点, 完善施工工艺体系, 为同类工程高质量施工提供理论与实践支撑。



图一: 鄂州预应力混凝土管桩施工工艺

一、预应力管桩预制方桩超长送桩施工的重要性

(一) 保障工程基础承载性能

桩基工程是建筑结构的“根基”, 其核心功能是将上部结构荷载传递至深层稳定持力层, 避免结构沉降、倾斜。对于深厚软土、地下水位较高或存在软弱下卧层的地质条件, 常规送桩深度无法满足设计要求, 需通过超长送桩将预应力管桩、预制方桩送入指定深度的持力层(如风化岩层、密实砂层)。只有确保超长送桩的施工质量, 才能充分发挥桩体的承载潜力, 满足单桩竖向承载力设计标准, 避免因桩端未达持力层、桩身受力不均导致的桩

作者简介:

彭根(1991.08-), 江西宜春人, 男, 汉族, 本科, 土木工程, 邮箱: 742797800@qq.com

刘磊(1994.03-), 河南正阳人, 男, 汉族, 本科, 土木工程, 邮箱: 86194803@qq.com

谢德才(1990.05-), 湖北枣阳人, 男, 汉族, 本科, 给水排水工程、环境工程, 邮箱: 1125788857@qq.com

基沉降过大、承载力不足等问题，为上部结构安全提供坚实保障。同时，预应力管桩凭借高强度低松弛主筋带来的优良抗弯、抗裂性能，预制方桩凭借规整结构带来的稳定传力效果，结合规范的超长送桩工艺，可进一步提升基础工程的可靠。

（二）适配复杂地质与工程设计需求

我国地域辽阔，工程地质条件差异显著，部分地区存在深厚淤泥层、流塑状软土层或多层硬夹层，给桩基施工带来极大挑战。超长送桩技术可有效突破浅层不良土层的限制，将桩体精准送入深层稳定地层，适配复杂地质条件下的工程建设需求。此外，随着高层建筑、大型工业厂房、桥梁工程的规模化发展，结构荷载不断增大，对桩基埋深的设计要求持续提高，超长送桩成为满足深层桩基施工的必要手段。例如，在大型桥梁基础施工中，通过超长送桩将预应力管桩送入中风化岩层，可有效抵抗水平荷载与竖向荷载，保障桥梁结构的长期稳定性；在密集建筑群中，超长送桩可减少对周边建筑的影响，适配紧凑的场地布局要求。

（三）提升施工效率与工程经济性

预应力管桩与预制方桩均采用工厂标准化生产，桩身质量可控，运输与吊装便捷，结合超长送桩技术，可大幅优化施工流程。相较于钻孔灌注桩等现场浇筑桩基工艺，超长送桩施工无需进行现场成孔、养护，施工速度更快，能有效缩短工期，尤其适用于工期紧张的大型工程。从经济性角度来看，规范的超长送桩施工可减少桩体浪费，降低因施工失误导致的返工、补桩成本；同时，预制桩的规模化生产可降低材料成本，且超长送桩无需额外增设辅助支护结构，相较于其他深层桩基施工工艺，可显著节约工程投资。此外，合理的超长送桩工艺可减少挤土效应对周边土体及邻近桩基的影响，降低后期沉降治理成本，进一步提升工程整体经济性。

二、预应力管桩预制方桩超长送桩施工优化策略

（一）强化桩身垂直度全过程控制

桩身垂直度是保障超长送桩施工质量的核心前提，直接决定桩体受力合理性与基础承载稳定性，需贯穿施工全流程落实精细化控制，杜绝斜桩隐患。首先，施工前需完成场地预处理与设备适配准备，对施工场地进行全面平整压实，采用压路机分层碾压，确保桩机作业面承载力满足设备运行要求，平整度偏差控制在5cm以内，避免桩机作业时因地面沉降发生倾斜。同时，结合地质勘察报告与设计图纸，精准复核场地标高与桩位定位坐标，搭建三级测量控制网，采用全站仪完成桩位放样，放样后进行双重复核，确保桩位偏差不超过2cm，为后续送桩作业奠定精准定位基础。此外，需严格筛选适配的送桩器，选用刚度符合设计要求、与桩体规格完全匹配的送桩器，确保送桩器内径与桩顶外径契合，连接面清理干净无杂物，装配后同轴度偏差控制在规范限值内，避免因连接偏差导致送桩过程中桩身受力失衡。其次，建立全方位垂直度实时监测体系，摒弃传统单一监测模式，在桩机机身及桩体两侧分别安装经纬仪与智能垂直度检测仪，安排专业

测量人员全程值守，从正面、侧面呈90°夹角同步监测，实现双向实时数据比对。监测过程中遵循“分层复核、及时纠偏”原则，每送桩1-2m暂停作业，对垂直度数据进行精准复核，若偏差超过0.5%的规范要求，立即停止送桩作业，调整桩机水平位置与桩体倾斜角度，待复核合格后再恢复施工，严禁强行送桩引发桩身弯曲变形。吊桩就位环节同样需严控垂直度，采用两点吊装法，根据桩体长度合理设置吊点，避免吊装过程中桩体发生弯曲，吊装就位时缓慢下放，确保桩尖垂直对准桩位中心，插入土层初期控制下放速度不超过1m/min，插入深度达到1-2m时再次复核垂直度，确保初始偏差严格控制在0.5%以内。此外，针对硬夹层等特殊地层，需优化送桩操作流程，穿越硬夹层前提前调整送桩速度，放缓施压节奏，减少外力对桩体的冲击，同时加大垂直度监测频次，每送桩0.5m进行一次复核，避免桩体因地层阻力不均发生偏移，全方位保障超长送桩过程中桩身垂直度始终符合规范要求。

（二）优化桩体保护与接头施工工艺

桩体完整性与接头可靠性是超长送桩施工的核心控制点，需兼顾桩体进场、施工过程及接头处理全环节，通过精细化管控规避破损与失效隐患，保障桩体传力连续性。针对桩身破损问题，首要强化进场质量管控，建立“双人复核”检验机制，对进场的预应力管桩、预制方桩逐根核查，重点检测桩身表面平整度、混凝土强度、尺寸偏差及预应力钢绞线完整性，剔除表面存在大于0.2mm裂缝、边角破损、尺寸偏差超出规范限值及钢绞线锈蚀的桩体，确保桩身基础质量符合设计及规范要求。同时，桩体运输与吊装过程需做好防护，采用柔性吊索，避免钢丝绳直接接触桩体，堆放时设置专用垫块，控制堆放层数，防止桩体受压变形或碰撞破损。送桩前，需精准做好桩顶防护，在桩顶与送桩器之间铺设适配的弹性衬垫，优先选用多层麻袋叠加或专用橡胶衬垫，压实后厚度严格控制在60-80mm，确保衬垫铺设平整、无破损，有效缓冲送桩过程中送桩器的冲击力与挤压力，避免桩顶混凝土破碎、掉角。结合地质勘察结果优化送桩施工参数，避免桩身受力集中，锤击送桩时根据桩体材质与地层硬度，将落锤高度控制在1-1.5m，避免重锤猛击；静压送桩时严控施压进度，保持不超过2m/min的匀速施压，穿越硬夹层时适当放缓速度，减少土体对桩身的局部挤压，降低桩体开裂风险。对于接桩施工，优先采用可靠性更高的电焊接头工艺，焊接前彻底清理接头表面的污物、铁锈及氧化层，用钢丝刷打磨至露出金属光泽，精准调整桩体对接精度，确保接合面间隙不大于2mm，间隙过大时采用专用填缝材料补齐，避免焊缝受力不均。焊接作业采用两台焊机对称同步施焊，确保焊缝均匀饱满，焊接层数不少于2层，第一层采用Φ3.2mm电焊条打底，焊接完成后彻底清理焊渣，经检验无夹渣、气孔等缺陷后，再进行第二层施焊，焊缝高度需匹配桩体规格，确保接头强度不低于桩体本身。焊接完成后，需严格控制冷却流程，手工电弧焊需保证自然冷却时间不小于5min，严禁用水强制冷却或焊后立即开展送桩作业，防止焊缝因热应力集中产生裂纹，导致接头强度下降，全方位提升桩体保护效果与接头施工质量，规避超长送桩过程中的破损与失效隐患。

（三）提升送桩精度，优化标高控制

送桩精度与桩顶标高控制直接关系桩基工程是否符合设计要求，是超长送桩施工的重要质量控制点，需立足施工全流程落实精细化管控，破解地下地质复杂、测量偏差等带来的精度难题。施工前，需依托详细的地质勘察报告，全面梳理土层分布、土体承载力及硬夹层位置等参数，结合设计图纸精准核算送桩深度，兼顾桩体有效长度与持力层埋深要求，避免计算偏差引发后续施工隐患。同时，在送桩器表面采用醒目涂料做好分层标记，明确不同土层对应的送桩速度与力度标准，软土层可适当加快送桩速度，硬夹层及持力层区域需放缓节奏，为现场施工提供清晰指引。测量仪器的精准度是标高控制的基础，需选用经权威部门校准合格的全站仪、水准仪等设备，提前完成调试，建立“放样—复核—再复核”的多级测量复核制度，桩位放样后由专人完成首次复核，确认无误后再进行二次校验，确保桩位与初始标高偏差符合规范要求。针对地下地质条件未知的问题，需提前开展试桩作业，通过试桩确定合理的施工工艺参数、持力层判断标准及送桩力度控制范围，明确不同土层的贯入度参考值，为规模化超长送桩施工提供可靠的实践依据。送桩过程中，安排专业测量人

员全程值守，实时监测桩顶标高变化，遵循“分层复核、精准调控”原则，每送桩3-5m 暂停作业，对标高数据进行精准测量与记录，对比设计值排查偏差。临近设计标高时，将送桩速度放缓至1m/min 以内，逐厘米控制送桩深度，避免送桩过深或过浅。送桩完成后，需及时对桩顶标高进行全面复测，若偏差超过规范限值，立即联合设计、监理单位制定针对性整改方案，偏差较小时可采取截桩处理，偏差过大则需进行补桩作业，确保桩顶标高完全符合设计要求。

三、结语

预应力管桩与预制方桩超长送桩施工质量直接决定基础工程稳定性与耐久性，其在保障承载性能、提升施工效率及经济性上作用突出。本文针对施工核心痛点，从垂直度管控、桩体及接头保护、标高精度优化三方面提出的施工策略，可有效规避施工隐患、完善工艺体系。该研究成果可为同类超长送桩工程提供实践参考，助力推动预应力桩施工技术提质增效，满足高层及重载建筑基础施工的高标准需求。

参考文献

[1] 刘刚, 孙泽. 填海地区明挖隧道基坑超深 DJP 复合管桩施工工艺及协同传力机理研究 [J]. 市政技术, 2025, 43(08): 45-53.
[2] 谈宏堃. 劲性复合桩穿越连续软硬土层的超长送桩施工 [J]. 建筑施工, 2023, 45(12): 2393-2395.
[3] 元立刚, 于海申, 胡居中, 庞卫涛, 米艳朋, 徐军伟. 与围护结构同期施工的软土地区大面积群桩管桩施工技术 [J]. 建筑施工, 2019, 41(04): 573-575+578.
[4] 李文森. 超长送桩在锤击预应力管桩施工中的应用 [J]. 工程建设, 2017, 49(04): 86-88.