

Research on the compatibility between the selection of steel plate pile drilling equipment and construction technology

Zhikai Yue Qingjiang Liu Xuezheng Wang Fenxin Li Tingxuan Hu

China Communications First Highway Engineering Co., Ltd., No., Beijing, 101102, China

Abstract

The 18m and 24m Larsen IVw steel sheet pile support system was implemented for deep foundation pits in the Daxing section of National Highway 230. The construction site features a predominantly fine-grained sandy soil formation, consisting of multiple soil layers from top to bottom: silty sand fill, fine sand, and silty clay. This study investigates the selection of spiral drilling guide hole equipment and construction process compatibility based on the project's geological conditions. Through analyzing the influence of stratum characteristics on guide hole formation, the research optimizes equipment parameters and construction techniques to address difficulties in steel sheet pile driving. The findings provide technical references for deep foundation pit construction with steel sheet piles in similar fine-grained sandy soil formations.

Keywords

Steel sheet pile pilot hole equipment; Equipment selection; Construction technology; Compatibility technology

钢板桩引孔设备选型与施工工艺适配性技术研究

岳志才 刘青江 王学峥 李奋新 胡廷轩

中交一公局第三工程有限公司, 中国 · 北京 101102

摘 要

国道 230 大兴段深基坑用 18m、24m 拉森 IVw 型钢板桩支护, 场区主要是粉细砂地层, 自上而下分布粉砂素填土、粉细砂、粉质黏土等多层土体。本文根据该工程地质情况, 对螺旋钻引孔设备选型及施工工艺适配性进行研究, 通过对地层特性对引孔影响的分析, 优化设备参数及施工工艺, 解决钢板桩插打困难问题, 为类似粉细砂地层深基坑钢板桩引孔施工提供技术参考。

关键词

钢板桩引孔设备; 设备选型; 施工工艺; 适配性技术

1 引言

国道 230 (长周路至西韩路) 大兴段是北京市南部重要的交通干道, 深基坑工程遇到的是以粉细砂为主的复杂地层。工程中 44 座承台基坑使用拉森 IVw 型钢板桩支护, 在插打之前需要通过引孔来保证施工的效率。粉细砂地层易发孔壁坍塌、钻进阻力不均等状况, 设备选型及施工工艺的适配性关乎工程质量与安全^[1]。本文根据工程实际, 对螺旋钻引孔技术要点做了详细的研究, 为同类工程提供实践依据。

2 工程概况与地质条件分析

2.1 工程基本信息

国道 230 大兴段起止桩号 K1+970 到 K4+047.7, 全长 2.08 公里, 27# 到 48# 轴 44 座承台基坑为深基坑, 采用

18m、24m 拉森 IVw 型钢板桩 +H 型钢支撑支护。基坑开挖深度 11.28 - 15.65m, 27# 轴位于永定河河槽内, 受地下水影响较大, 其余基坑位于河滩地、堤外。主要工程量为 18m 拉森 IV 型钢板桩 4020 根、24m 钢板桩 1868 根, 围檩型钢为 HW588×300、HW700×300 等型号, 在钢板桩插打前需要通过引孔处理复杂地层。

2.2 地层特性分析

场区地层自上而下依次分布, 各层物理力学特性及适配引孔参数如表 1 所示:

粉细砂地层 (②层、④层、⑥层、⑨层) 占比达 60% 以上, 其松散易塌、渗透性强的特性导致钢板桩直接插打时阻力大、桩身垂直度难以控制, 且易引发孔壁坍塌, 必须通过引孔预处理保障施工质量。

【作者简介】岳志才 (1981-), 男, 中国山西晋中人, 本科, 高级工程师, 从事公路工程施工经营管理方面的研究。

表 1 地层信息表

地层编号	地层名称	主要特性	引孔关键参数	施工风险点
①层	粉砂素填土	表层松散，含杂质，承载力低	转速 25-30r/min，压力 5kPa	孔口浮土堆积，易塌孔
②层	粉细砂	颗粒均匀，渗透性强，易产生流砂	转速 20-25r/min，压力 6-7kPa，泥浆护壁	流砂、孔壁坍塌
③层	粉质黏土 (承台底)	可塑性强，强度中等，易粘钻头	转速 15-20r/min，压力 8kPa	钻头打滑，钻进效率低
④层	粉细砂	致密程度高，钻进阻力大	转速 20r/min，压力 8-12kPa，预裂钻孔	钻进卡顿，孔垂直度偏差大
⑤-⑨层	粉质黏土 / 细砂	交替分布，力学性质差异显著	随地层交替调整转速 15-25r/min	参数切换不及时导致孔壁扰动

3 钢板桩引孔设备选型技术研究

3.1 选型原则与核心要求

引孔设备的选型要遵照地层适配性、施工效率、安全稳定性这三个准则，具体要求如下：第一，设备必须适应粉细砂地层钻进，不能造成孔壁坍塌；第二，钻孔直径要和钢板桩尺寸准确对应，保证插打精度；第三，设备要有较强的机动性，适应基坑分散布置的施工情况；第四，设备的钻进速度要可控，符合施工进度计划。

3.2 设备选型分析与确定

针对工程地质条件，对比螺旋钻、冲击钻、旋挖钻三种常用引孔设备：冲击钻：适用于坚硬地层，钻进振动大，易扩大孔径，粉细砂地层中孔壁坍塌风险高，排除；旋挖钻：效率高，但设备体型大，基坑间距小的场景下机动性差，成本较高，不适用；螺旋钻通过螺旋叶片切削土体并将其输送到孔外，钻进平稳，对孔壁的扰动小，且设备体型适中，适合分散的基坑施工。

最终选择螺旋钻作为引孔主要设备，150 型振动锤、履带吊配合使用，其中 18m 钢板桩引孔用临工 760 型螺旋钻，24m 钢板桩引孔用定制加大功率螺旋钻，钻头直径比钢板桩桩径小 5-10cm，保证插打时的挤土效应和桩体稳定。

3.3 设备参数优化

根据地层特性调节设备参数，在粉细砂地层中，钻头转速设置为 20~30r/min，表层填土及该地层钻进压力控制在 5~8kPa；粉质黏土地层钻头转速调整为 15~20r/min；致密粉细砂层钻进压力提高到 8~12kPa。钻头采用锥形螺旋钻头，叶片螺距为 15-20cm，增加土体切削、输送能力。同时配置 3kW 水泵，施工时同步运行降尘，不仅可以有效防止粉砂扬尘污染，还可以起到稳定孔壁的作用，保证钢板桩引孔施工高效、环保、安全地进行^[2]。

4 引孔施工工艺适配性优化

4.1 施工工艺流程设计

结合工程特点设计引孔 - 插打一体化工艺流程：

施工准备→测量放样→螺旋钻就位→分层引孔→孔壁清理→钢板桩打入→垂直度校正→围檩安装→基坑开挖

关键控制节点包括引孔深度，孔壁稳定，钢板桩插打时机，保证工序衔接顺畅，符合粉细砂地层施工要求^[3]。

4.2 核心施工工艺适配性优化

4.2.1 测量定位与孔位布置

采用 GPS 定位加全站仪现场测量的方式，引孔孔位按钢板桩插打位置准确布置，偏差控制在 ±50mm 以内。整体开挖基坑长边孔位间距≤10m，短边每边中间增设 1 处孔位；分幅开挖基坑每边布置 4 处孔位，保证孔位分布均匀，支撑钢板桩插打精度。

4.2.2 分层引孔施工技术

对于多层土体，采用分层钻进工艺保证施工质量和效率：表层粉砂素填土①层快速钻进 1.5m 到 2.0m，然后清理孔口浮土，防止塌孔；粉细砂②层用慢钻慢提的方式，每钻进 50cm 停顿 30s，用螺旋叶片压实孔壁，必要时注入泥浆加强护壁效果；粉质黏土③层适当加大钻进压力，避免钻头打滑，提高钻进效率；下部粉细砂④层及以下地层严格控制钻进速度，每 2m 检测孔垂直度，若偏差超过 1% 立即调整。另外，引孔深度比钢板桩设计嵌固深度浅 30 - 50cm，为挤土留出空间，保证钢板桩插打后的稳定，18m 钢板桩引孔深度控制在 17.5 - 17.7m，24m 钢板桩引孔深度控制在 23.5 - 23.7m。

4.2.3 孔壁稳定与防护措施

在粉细砂地层中进行钢板桩引孔施工，孔壁坍塌是常发问题，采用三重防护措施解决，一是地下水位低处，采用干法护壁，依靠螺旋叶片钻进时对孔壁的挤压形成护壁；二是地下水位高处，如 27# 轴附近，采用膨润土泥浆护壁，泥浆比重控制在 1.1-1.2g/cm³，黏度控制在 18-22s，泥浆压力平衡地下水压力，提高孔壁稳定性；三是控制施工时间和机械作业，引孔完成后 30min 内完成钢板桩插打，防止孔壁长时间暴露坍塌，禁止大型机械在孔位周边碾压，防止机械振动、荷载作用下孔壁扰动，从各方面保证粉细砂地层引孔施工安全、质量^[4]。

4.2.4 钢板桩插打与引孔适配控制

钢板桩插打采用引孔导向、振动沉桩的工艺，插打前要严格检查孔位垂直度、深度，对不合格孔位及时进行二次钻孔修正，施工时用履带吊配合振动锤插打，将首根钢板桩垂直度偏差控制在 0.5% 以内，作为后续桩体的导向基准。每 3m 对桩身垂直度进行一次检测，根据需要调节吊机位置和振动锤的角度及时校正偏差，保证施工精度。另外，在锁口处涂刷黄油混合物，可以有效地减小插打阻力，同时可以

有效地提高防渗性能,保证钢板桩的施工质量。

4.3 特殊工况施工工艺调整

27#轴位于永定河河槽中,面临地表水深50cm左右,地下水位高的挑战,同时致密粉细砂④层存在钻进阻力大的问题。根据以上复杂地质、环境条件,采用如下综合施工工艺:

河槽区域施工采用“围堰筑岛+引孔”。先填筑土围堰,填土高度应高出水位1.0m,宽度应超出承台边线3m,坡度为1:1;围堰内排水后用泥浆护壁引孔,钻进时增大泥浆比重至1.2-1.3g/cm³;钢板桩插打后及时安装第一道围檩支撑,防止水流冲击造成桩体移位。

对粉细砂层采用钻孔预裂和分段钻进的工艺。先用小直径钻头预钻孔形成裂隙,再用标准钻头扩孔;每钻进1m进行孔内送风,吹散松散砂粒降低阻力;同时配备液压加压装置,提高钻头切削能力保证钻进效率^[9]。

5 施工质量与安全控制措施

5.1 质量控制标准与检测方法

钢板桩引孔施工控制项目及允许偏差如下:孔位偏差控制在±50mm以内,用全站仪测量;孔垂直度不超过1%,用吊线锤检测;孔深度允许偏差为±100mm,用钢卷尺测量;孔径尺寸比桩径小5cm至10cm,用孔径规检测。

钢板桩插打质量控制要点有桩顶平面位置偏差±50mm,用全站仪检测;桩身垂直度偏差≤1%,用水平尺和吊线锤联合检测保证垂直度;锁口要贴合紧密,没有明显的缝隙,用观察法和塞尺检测来把控质量。

5.2 关键质量控制措施

施工前应对螺旋钻、全站仪等设备进行全方位校验,经过严格校准保证其精度满足施工要求,为后续工作打下基础。选取28#轴基坑作为首件工程,在施工过程中不断调整引孔参数及插打工艺,各项技术指标达到最好时再进行大面积施工。引孔时,实行分层检测制度,每钻进2m就对孔的垂直度和孔径进行检测,发现有偏差的立即采取有效的措施进行纠正,保证施工质量。引孔结束后,技术人员与监理一起对隐蔽工程进行验收,从各方面对引孔质量进行检查,合格后才能进行钢板桩的插打,通过这一系列的严格程序,保证钢板桩引孔施工的质量和安全性^[9]。

5.3 安全保障措施

施工安全管理贯穿钢板桩引孔作业全过程,从设备、防坍塌、用电、监测预警都要把控系统:①设备安全,螺旋钻作业前必须全面检查机械性能,保证钻机停放在平整坚实的地面上,支腿稳固支撑;作业时专人监护,防止出现设备隐患。②防坍塌安全:地下水位高的地方不得盲目加快钻进速度,发现孔壁坍塌,应立即停机,用沙袋回填后重新钻孔,防止扩大险情。③用电安全:施工现场采用三相五线制供电,配备漏电保护器,所有电器设备做好防雨防潮,防止触电。④监测预警,在桩顶准确设置水平、竖向位移监测点,引孔、插打时实时监测,位移累计达到20-30mm预警值时立即停工处置,保证施工安全可控。

6 施工效果与技术经济分析

6.1 施工效果验证

通过使用螺旋钻引孔设备及采用最佳工艺,工程施工取得了良好的成效,具体表现在以下几点:①钢板桩插打成功率100%,垂直度偏差小于1%,满足设计要求;②引孔效率达到4-6孔/天,比计划工期提前15天完成全部钢板桩插打;③孔壁坍塌率仅为0.3%,远低于行业平均水平,避免了质量风险;④钢板桩锁口防渗效果好,基坑抽水后渗漏量≤0.5L/(m·d),为干槽施工创造了良好条件。

6.2 技术经济分析

技术效益方面形成了一套粉细砂地层钢板桩引孔成套技术,解决了复杂地层插打的难题,优化后的设备选型和施工工艺具有广泛的适用性,可以直接用于类似的深基坑工程,施工技术革新大大减少了钢板桩的损耗,利用率提高到了98.5%,比传统的施工方法提高了3%。

经济效益方面,用螺旋钻设备取代旋挖钻,租赁费下降了40%,施工效率提高,工期缩减,管理费用少了120万元,质量隐患减少,返工避免,直接产生86万元经济效益。两项效益互相促进,工程总体效益大增。

6.3 应用前景展望

本研究形成螺旋钻引孔设备选型及施工工艺适配技术,可用于粉细砂、松散砂土等复杂地层的深基坑钢板桩支护工程,对临近水源、地下水位高的工程有较好的借鉴意义。之后再优化泥浆护壁的配方以及钻进参数,提高在恶劣地质条件下适应性。

7 结语

国道230大兴段深基坑工程对于以粉细砂为主的复杂地层,通过系统的探究确定了螺旋钻为引孔设备,对钻头类型、转速、压力等重要参数进行了调整,形成了分层钻进、孔壁防护、及时插桩的施工工艺。可以解决钢板桩插打阻力大、孔壁坍塌等难题,保证施工质量和安全,缩短工期,降低成本。研究成果对类似地层条件下的钢板桩引孔施工提供可靠的、可借鉴的技术支撑,有较强的工程应用价值。

参考文献

- [1] 李宏宾. 复杂地质条件下钢板桩引孔施工技术研究与应用[J]. 科学技术创新,2024,(09):107-110.
- [2] 许松,苏国梁,邵彦杰,等. 浅谈钢板桩快速入桩施工技术[C]//广东省国科电力科学研究院. 第四届电力工程与技术学术交流会议论文集. 中国建筑第四工程局有限公司,2023:199-200.
- [3] 彭勇波. 钢板桩引孔施工技术在工程中的应用研究[J]. 广东建材,2022,38(12):65-67.
- [4] 刘海奇. 公路桥梁工程承台引孔钢板桩围堰施工技术要点分析[J]. 交通世界,2022,(24):62-64.
- [5] 吴辉. 深基坑水中承台引孔钢板桩围堰施工技术研究[J]. 运输经理世界,2021,(32):7-9.
- [6] 海大鹏,王小强,田为,等. 基于不同引孔参数及换填土特性的钢板桩围堰性能分析[J]. 安徽建筑,2022,29(06):141-142.