

道路桥梁钻孔灌注桩施工技术的 关键问题与优化措施

汪 浩

(安徽开源路桥有限责任公司, 安徽 合肥 230088)

摘 要 在道路桥梁建设过程中, 钻孔灌注桩作为深基础构件, 其施工质量会直接对工程结构的安全性与耐久性产生影响。本文将天天高速 04 标段作为研究对象, 系统地分析钻孔灌注桩施工中孔壁稳定性、泥浆参数控制、钻孔偏斜与孔底沉渣、钢筋笼安装以及混凝土灌注等关键问题。通过引入先进的泥浆护壁技术、泥浆参数智能监测系统、高精度测斜装置、钢筋笼分段吊装工艺以及智能混凝土灌注设备, 提出具有针对性的优化措施。结果表明, 优化后的施工技术能够有效降低孔壁坍塌率、控制沉渣厚度、提升桩身垂直度以及混凝土密实性, 可为同类工程提供技术参考。

关键词 钻孔灌注桩; 孔壁稳定; 泥浆参数; 钻孔偏斜; 混凝土灌注

中图分类号: U445.55

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.25.019

0 引言

钻孔灌注桩凭借地质适应性强、单桩承载力高、工艺成熟便捷等突出优势, 已成为道路桥梁工程中应用最广泛的桩基形式之一。由于地质条件具有复杂性、施工工艺的规范性存在不足以及现场管理的精细化程度受到限制, 钻孔灌注桩在施工过程中常常面临诸如孔壁失稳、沉渣超标、桩身偏斜等一系列质量问题, 这些问题会直接影响到工程结构的安全性与耐久性。本文结合具体的工程实践情况, 系统地分析施工过程中的关键问题并提出相应的优化措施, 以期能够为同类工程提供技术借鉴。

1 钻孔灌注桩施工技术概述

1.1 钻孔灌注桩的基本概念与分类

钻孔灌注桩是借助机械或者人工的方式于地基当中进行钻孔, 之后灌注混凝土所形成的深基础构件。依据成孔工艺的不同, 能够将其划分为泥浆护壁成孔、全套管成孔以及干作业成孔这三类。泥浆护壁成孔灌注桩由于适用的地层范围较为广泛、施工效率较高, 从而成为道路桥梁工程中的主流选择。其核心功能是通过桩身和周围土体的摩擦阻力以及桩端阻力来传递上部荷载, 同时通过配筋设计增强抗弯、抗剪性能, 以此满足地震、风荷载等水平力作用下的结构稳定性要求^[1]。

1.2 施工工艺流程

钻孔灌注桩施工应遵循一套严谨且有序的工艺流程, 以此保障桩基质量。施工开始时, 需做好场地准备工作, 对施工区域进行平整与夯实, 清除杂物和软弱土层, 为后续施工搭建稳固平台。紧接着进行测量定位, 依据设计图纸, 运用精密测量仪器精确定位桩位, 并设置牢固标记, 确保位置准确无误。随后进行护筒埋设, 护筒可起到固定桩位、防止孔口塌陷以及隔离地表水的作用。钻机就位时, 要确保钻机平稳且垂直, 使钻头对准桩位中心。成孔环节十分关键, 需根据地层特性合理选择钻进参数, 同时严格控制泥浆性能, 维持孔壁稳定。成孔后进行清孔, 清除孔底沉渣, 保证沉渣厚度符合规范要求。钢筋笼安装时要确保垂直下放且位置精准。最后进行混凝土灌注, 严格控制灌注速度, 保证导管埋深合适, 避免出现夹泥、断桩等质量问题。成桩后还需进行成桩检测, 全面评估桩身完整性, 为工程质量提供可靠保障。

2 案例项目概述

天天高速 04 标段项目位于安徽省长江北岸, 路线穿越冲积平原、丘陵及复杂地质区域, 包含特大桥、长隧道及高陡边坡等关键工程。项目采用双向四车道设计, 设计时速 120 千米/小时, 桥隧占比达 41.6%, 施工难度大、技术要求高。钻孔灌注桩作为基础工程

作者简介: 汪浩 (1989-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 道路与桥梁工程。

核心,需应对软土、砂层等不良地质条件,通过优化护筒埋设、泥浆配比、钻进工艺及混凝土灌注参数,结合智能化监控系统,确保桩基承载力与成桩质量,为上部结构施工及全线年底通车目标提供坚实的保障。

3 钻孔灌注桩施工的关键问题

3.1 孔壁稳定性问题

孔壁稳定性属于钻孔灌注桩施工当中的核心问题之一。在软土、砂层这类松散地层中,孔壁土体容易因为泥浆护壁失效、地下水位出现变化或者钻进产生振动等因素而发生坍塌,进而致使孔径缩小、钢筋笼下放遭遇困难以及混凝土灌注出现中断。在天天高速 04 标段的桥梁桩基施工时,由于砂层厚度达到 12 米,泥浆比重控制存在不当情况,使得成孔之后 3 小时内孔壁发生坍塌,孔深减少 2.3 米,需要重新进行清孔并且加固护筒,最终延误工期 5 天^[2]。

3.2 泥浆参数控制问题

泥浆性能对孔壁稳定性以及成孔质量有着直接的影响。泥浆的比重、黏度和含砂率属于关键控制指标,若比重过低,容易致使孔壁失稳,而比重过高则有可能引发泥浆泵堵塞,要是黏度不足,便无法有效地悬浮钻渣,而黏度过高又会降低钻进效率,一旦含砂率超标,会加剧泥浆泵的磨损,同时还会影响混凝土与孔壁的黏结强度。在天天高速 04 标段施工期间,由于泥浆配比不恰当,造成 3 处桩基沉渣厚度超出标准(最大达到 15 厘米),需要进行二次清孔并且增加混凝土超灌量,使得成本增加约 12%。

3.3 钻孔偏斜与孔底沉渣问题

钻孔偏斜现象主要是由钻机安装不稳定、地层软硬程度不均匀或者钻进参数控制不恰当所引发。若偏斜程度超出标准,将会造成钢筋笼下放困难、桩身受力不均衡以及承载力降低等问题。孔底沉渣属于影响桩端阻力的关键要素,沉渣过厚会使单桩承载力降低 10%~30%。在天天高速 04 标段施工过程中,由于钻机底座未进行夯实处理,致使 2 处桩基垂直度偏差达到 1.5% (规范要求垂直度偏差应小于等于 1%),这种情况需要进行回填并重新钻孔,因为清孔工作不彻底,导致 5 处桩基沉渣厚度超出标准(最大沉渣厚度达到 12 厘米),此时需采用后压浆技术进行补强,这会使成本增加约 8%^[3]。

3.4 钢筋笼安装问题

钢筋笼的安装质量会直接对桩身的受力性能产生影响,常见问题包含钢筋笼变形、保护层厚度不足以及下放困难等情况,钢筋笼变形主要是由于吊装方式

不恰当或者钢筋笼刚度不够所引起;保护层厚度不足会使桩身的耐久性降低,下放困难大多是因为孔壁缩径、孔底沉渣或者钢筋笼尺寸存在偏差所导致。在天天高速 04 标段施工期间,由于钢筋笼分段焊接质量欠佳,造成 2 处桩基钢筋笼在灌注过程中出现上浮现象,需要重新进行焊接并加以固定,从而延误工期 3 天。

3.5 混凝土灌注质量问题

混凝土灌注作为桩基施工的最后环节,其质量状况直接影响桩身的完整性。施工过程中常见的问题包含导管堵塞、断桩以及混凝土离析等情况。导管堵塞大多是由于混凝土和易性较差或者灌注速度过快所导致,断桩则是由灌注中断或者导管拔出混凝土面等原因引起,混凝土离析会降低桩身强度,同时增加不均匀沉降的风险。在天天高速 04 标段的施工当中,因为混凝土初凝时间不足,使得 1 处桩基在灌注至桩顶 5 米时发生堵管问题,需要采用冲击钻进行疏通并补灌,这使得成本增加了约 5%^[4]。

4 钻孔灌注桩施工技术的优化措施

4.1 先进泥浆护壁技术

在软土、砂层这类松散地层当中,传统泥浆护壁技术容易因为黏度不足或者比重失衡,进而导致孔壁出现坍塌情况。鉴于此,采用膨润土基高性能泥浆,通过添加聚丙烯酰胺(PAM)等增黏剂的方式,将泥浆黏度提升至 25 秒~30 秒,同时严格把比重控制在 1.15~1.25 之间,并且使含砂率小于等于 4%。膨润土的层状结构能够形成致密泥皮,可有效阻隔地下水渗透,PAM 的增粘作用则可以增强泥浆对孔壁土体的悬浮支撑能力。在天天高速 04 标段施工过程中,该技术使得孔壁坍塌率从传统工艺的 3% 降低至 0.5% 以下,成孔效率提升了 15%。引入泥浆分离系统,通过振动筛去除大颗粒钻渣,利用旋流器分离细颗粒悬浮物,从而实现泥浆循环利用率达到 80%,废弃泥浆排放量减少 40%,显著降低了环保成本。该系统通过多级过滤与离心分离,确保泥浆性能保持稳定,避免因钻渣积累导致泥浆性能出现劣化,为连续成孔提供了保障^[5]。

4.2 泥浆参数优化与智能监测

泥浆性能的动态调控对于确保成孔质量而言是极为关键的。针对不同地层所具有的特性,需建立分级配比机制,当在砂层中进行钻进作业时,要将膨润土的用量增加至 8%~10%,并且添加 0.2%~0.3% 的 PAM,以此来提升泥浆的黏度与悬浮能力,当在岩层中进行钻进作业时,要把泥浆比重降低至 1.05~1.10,从而减少泥浆泵的负荷,同时避免因比重过高而导致钻头

磨损加剧的情况发生。为了实现对参数的精准控制,需要引入智能泥浆监测系统,通过在泥浆池中部署高精度传感器,实时采集泥浆的比重、黏度以及含砂率数据,并借助无线传输模块将这些数据上传至云端平台。当参数超出限定范围时,系统会自动触发报警并推送调整建议至现场终端,以指导施工人员及时补充膨润土或者清水。在天天高速 04 标段的施工过程中,该系统使得泥浆参数的合格率从 85% 提升至 98%,沉渣厚度的控制精度提高了 30%,有效避免了因参数失控而导致的二次清孔或者桩基缺陷问题。

4.3 高精度测斜与钻机精度提升

钻孔的垂直度会直接对桩基的承载力以及结构的安全性产生影响,传统的测斜方法主要依赖人工进行抽检,难以实现对全过程的有效监控。鉴于此,采用电子垂直度监测系统,通过在钻杆上安装双轴倾角传感器的方式,实时采集钻孔的偏斜数据,并通过无线传输将数据传送至驾驶室的显示屏。当偏差超过 0.5% 时,系统会自动触发声光报警,并联动钻机的液压系统对钻进方向进行调整,从而实现闭环控制。对钻机的安装工艺进行优化,在钻机底座与地面之间铺设 20 毫米厚的钢板,并通过地锚进行固定,以此减少钻进过程中因地面沉降或振动所导致的位移。在天天高速 04 标段的施工过程中,该技术使得桩基垂直度的偏差能够控制在 0.3%~0.8% 之间,合格率达到 100%,相较于传统工艺提升了 20%。通过在钻杆上设置刻度标记,并配合电子测斜仪,能够实现每 5 米进行一次偏斜复核,进一步确保钻孔的精度。

4.4 钢筋笼刚度增强与分段吊装

钢筋笼出现变形或下放困难的情况,是影响桩基质量较为常见的问题。传统焊接工艺容易因为局部应力集中,进而导致刚度不足,而整体吊装会受到起重设备能力的限制。鉴于此,对钢筋笼设计进行优化,将加强箍筋数量增加至每 2 米设置一道,并把主筋与加强箍筋的焊接方式改为机械连接(套筒挤压连接),借助冷加工强化来提升整体刚度。采用分段吊装工艺,把每段长度控制在 12 米以内,运用双吊点法垂直下放,以此避免因单点受力不均而造成的弯曲变形。在孔口对接时,采用二氧化碳气体保护焊,这种焊接方式焊接速度快、熔深大,能够确保接头强度不低于母材。在天天高速 04 标段施工过程中,该工艺使钢筋笼变形率从传统工艺的 2% 降低至 0.2% 以下,下放效率提升了 25%。通过在钢筋笼上设置保护层垫块,可确保混凝土保护层厚度均匀,从而提升桩身耐久性^[6]。

4.5 智能混凝土灌注与导管优化

混凝土灌注作为桩基施工的最后环节,其质量状况会直接对桩身完整性产生影响。传统的灌注工艺主要依靠人工经验来控制导管埋深,这种方式容易因为导管埋深过浅而导致断桩问题,或者因埋深过深而引发堵管现象。鉴于此,引入智能混凝土灌注系统,该系统通过在导管内安装压力传感器与流量计的方式,对混凝土灌注速度以及导管埋深进行实时监测。当导管埋深超过 6 米时,系统会自动降低灌注速度,以此避免压力过大的情况发生,当导管埋深低于 2 米时,系统则会加速灌注,从而防止混凝土与泥浆混合。对导管设计进行优化,采用内径为 300 毫米、壁厚为 10 毫米的加厚导管,并在接头处设置双密封圈,以此减少漏浆风险。在天天高速 04 标段的施工过程中,该系统使得导管堵塞率从传统工艺的 1% 降低至 0.1% 以下,桩身完整性检测合格率达到 99%,相较于传统工艺提升了 15%。通过在混凝土中添加缓凝剂的手段,可将混凝土的初凝时间延长至 8 小时以上,为复杂地质条件下的连续灌注提供有力保障。

5 结束语

钻孔灌注桩施工技术的优化对于提升道路桥梁工程质量起着关键作用。本文结合天天高速 04 标段的实际情况,系统地对孔壁稳定性、泥浆参数控制、钻孔偏斜与孔底沉渣、钢筋笼安装以及混凝土灌注等关键问题展开分析,并提出具有针对性的优化措施。工程应用结果显示,优化后的施工技术能够显著降低孔壁坍塌率、有效控制沉渣厚度、大幅提升桩身垂直度以及增强混凝土密实性,可为同类工程提供技术方面的参考。

参考文献:

- [1] 王海军.道路桥梁钻孔灌注桩施工技术的關鍵问题与优化措施[J].大众标准化,2025(12):39-41.
- [2] 李雄.道路桥梁钻孔灌注桩施工技术的關鍵问题与优化措施[J].城市建设理论研究(电子版),2026(08):133-135.
- [3] 陈育斌.市政道路桥梁工程钻孔灌注桩施工技术的探讨[J].四川水泥,2024(12):233-235.
- [4] 胡力鹏,陈真银,易磊,等.基于旋挖钻机的桥梁灌注桩施工关键技术[J].工程建设与设计,2024(22):121-123.
- [5] 胡平健,吴金芳.公路桥梁施工中钻孔灌注桩施工技术的应用研究[J].运输经理世界,2023(30):77-79.
- [6] 段博员.道路桥梁施工中钻孔灌注桩施工技术的应用[J].大众科技,2023,25(10):42-44,53.