

桥梁钻孔灌注桩成孔施工关键技术探析

丁怀龙

新疆疆南路桥工程有限责任公司, 中国·新疆 阿克苏 843000

摘要: 在现代交通基础设施建设中, 桥梁钻孔灌注桩成孔施工关键技术至关重要。随着桥梁工程的不断发展, 对成孔施工技术的精度、效率及环保性要求日益提高。本文研究背景基于桥梁建设对安全可靠基础的需求, 主要技术内容涵盖泥浆护壁、钻头选型等关键技术。然而, 成孔施工面临塌孔、缩径等问题, 通过优化泥浆配比、合理选择钻头策略可有效解决。这些关键技术及解决策略对桥梁工程实践具有重要指导意义, 有助于提升桥梁工程质量与安全, 推动桥梁建设行业的可持续发展。

关键词: 桥梁工程; 钻孔灌注桩; 成孔施工; 关键技术

Analysis of Key Technologies in Drilling and Grouting Pile Hole Formation for Bridge Construction

Ding Huailong

Xinjiang Jiangnan Road & Bridge Engineering Co., Ltd., China Xinjiang Aksu 843000

Abstract: In modern transportation infrastructure development, key technologies in drilling and grouting pile hole formation for bridge construction are crucial. As bridge engineering continues to evolve, demands for precision, efficiency, and environmental sustainability in hole-forming techniques have increased significantly. This study is based on the need for safe and reliable foundations in bridge construction, focusing on core technical aspects such as slurry wall protection and drill bit selection. However, challenges such as hole collapse and borehole shrinkage often arise during drilling. These can be effectively addressed through optimized slurry formulation and rational drill bit selection. The key technologies and solutions discussed here offer important guidance for bridge engineering practice, helping improve both construction quality and safety, and promoting sustainable development in the bridge construction industry.

Keywords: Bridge engineering; Bored piles; Hole formation; Key technologies

0 引言

在现代交通基础设施体系中, 桥梁建设占据着举足轻重的地位, 其不仅是连接不同地域的关键纽带, 更是推动区域经济发展的重要支撑。钻孔灌注桩作为桥梁基础工程中常见的形式之一, 因具有承载力高、适应性广等显著优势, 在各类桥梁建设项目中得到了广泛应用。然而, 钻孔灌注桩成孔施工环节的质量与安全性直接决定了整个桥梁基础的稳定性和耐久性, 因此对该领域关键技术进行深入研究至关重要。本文旨在全面综述桥梁钻孔灌注桩成孔施工中的关键技术, 结合实际工程案例与理论研究, 系统探讨泥浆护壁、钻头选型等核心技术内容, 以期对相关工程实践提供科学指导^[1]。

1 钻孔灌注桩成孔施工概述

1.1 基本原理

钻孔灌注桩作为桥梁基础工程中的常见形式, 其基本原理是通过在土体中钻孔、放置钢筋笼并灌注混凝土以形

成桩基础。具体而言, 该技术首先利用钻机在土体中钻出预定孔径和深度的孔洞, 随后将预制好的钢筋笼放入孔内, 并通过导管法向孔内灌注水下混凝土, 最终形成具有较高承载能力的桩基础。在这一过程中, 泥浆护壁技术起到了至关重要的作用, 它不仅能稳定孔壁防止塌孔, 还能通过循环携渣清除孔内杂质, 从而确保成孔质量。此外, 钻孔灌注桩技术因其对地质条件适应性强、施工噪声低、对周边环境影响小等优点, 在桥梁基础工程中得到了广泛应用。其作用机制主要体现在通过桩体将上部结构荷载传递至深层稳定土层, 从而有效提高桥梁基础的承载能力和整体稳定性^[2]。

1.2 发展历程

钻孔灌注桩成孔施工技术经历了从早期简单工艺到现代复杂技术体系的漫长发展过程。在 20 世纪中期以前, 钻孔灌注桩的施工主要依赖于人工或简易机械进行, 工艺相对落后, 施工效率低下, 且成孔质量难以保证。这一阶段

的技术特点是以简单的旋转钻进为主,适用于较软的地层,但对复杂地质条件的处理能力有限。随着工程需求的增加和技术水平的提升,20 世纪后期出现了多种新型钻进技术和设备,如旋挖钻机、冲击钻机等,这些设备显著提高了施工效率和成孔质量。同时,泥浆护壁技术的引入进一步增强了钻孔灌注桩在复杂地质条件下的适用性。进入 21 世纪后,随着智能化技术和绿色环保理念的普及,钻孔灌注桩技术逐步向智能化、自动化和环保化方向发展。例如,智能钻机的应用实现了施工过程的精准控制,而环保型泥浆材料的研发则有效减少了施工对环境的负面影响。这一发展历程充分体现了钻孔灌注桩技术从单一到多元、从低效到高效、从传统到现代的演进脉络^[9]。

2 成孔施工关键技术

2.1 泥浆护壁技术

泥浆在钻孔灌注桩成孔施工中兼具护壁与携渣的双重关键作用,其性能优劣直接决定了成孔质量与施工效率。泥浆通过形成致密泥皮防止松散土层或高水位环境下的孔壁坍塌,同时利用悬浮力将钻屑排出孔外,确保孔底清洁。泥浆配比设计需依据土质、孔径及环境灵活调整。黏性土层可适当降低比重以减少孔壁扰动,而砂土或砾石层则需提高比重以增强护壁与携渣效果。通常膨润土用量占泥浆体积的 5%~8%,辅以碳酸钠、纤维素等外加剂调节黏度与失水量。

施工中需严密监控比重、黏度、含砂率及 pH 值等核心指标。比重过高会削弱桩身摩擦力,过低易致塌孔;黏度异常则影响携渣能力或增加钻进阻力。现场应配备比重计、黏度计等设备实施动态监测,一旦发现指标偏离,及时通过添加膨润土或外加剂进行纠偏,确保成孔施工安全顺利^[4]。

2.2 钻头选型技术

合理选择钻头类型是确保钻孔灌注桩成孔效率与质量的关键。针对黏性土层,刮刀钻头凭借锋利的刀刃高效切削土体,适用于中低速钻进;而在砂土或砾石层中,牙轮钻头利用硬质合金齿碾压破碎地层,耐磨且自洁性好,适应性更优;遇到大粒径卵石等复杂地层,则需选用锥形或取芯钻头以保障成孔稳定性。

面对特殊地质挑战,钻头技术的创新成为研究热点。传统钻头在硬岩或卵石层中易磨损且效率低,为此研发出的新型复合式钻头结合了刮刀的切削优势与牙轮的破碎能力,显著提升了复杂地层的钻进性能。此外,针对软硬交替地层,可调节式钻头通过改变切削角度与布齿方式实现

自适应钻进,有效减少了换钻频率。这些技术改进不仅提高了施工效率,也显著改善了成孔质量。

3 成孔施工常见问题及处理措施

3.1 塌孔问题

塌孔是钻孔灌注桩施工中常见且危害较大的质量问题,其成因主要包括地质因素与施工操作不当。地质上,松散土层(如砂土、粉土)因颗粒粘结力弱、稳定性差,加之高地下水位加剧孔内外水头压力差,易导致孔壁失稳。施工中,钻进速度过快、泥浆性能不佳(如比重或黏度不足)、护筒埋设深度不够等,均会削弱护壁效果,诱发塌孔^[5]。

预防塌孔的关键在于优化泥浆配比,合理调控比重、黏度和失水量,增强对孔壁的支撑能力;同时应根据地质变化动态调整钻进速度,避免过度扰动孔壁。对于已发生的塌孔,若范围较小,可采用回填黏土或碎石后重钻的方法恢复孔壁稳定;若塌孔严重,则需采用注浆加固技术,通过注入水泥浆或化学浆液,提高土体强度并封堵裂隙,防止塌孔扩大。综合运用预防与处理措施,可有效控制塌孔风险,保障成孔质量与施工安全。

3.2 缩径问题

缩径是指钻孔灌注桩成孔后孔径小于设计要求的异常现象,其成因主要涉及地质条件与施工操作两方面。地质上,膨胀性土层遇水体积膨胀会对孔壁产生侧向挤压,软塑性土层受扰动后也易变形,均会导致孔径缩小。施工中,钻头磨损致实际直径偏小、成孔后未及时灌注混凝土使孔壁失水干缩等,均是诱发缩径的重要因素。

应对缩径需从预防与处理双向发力。预防方面,在膨胀性土层中应选用切削刃宽、耐磨性强的钻头,并定期检查更换磨损钻头;同时缩短成孔至灌注混凝土的时间间隔,减少孔壁暴露变形风险。处理方面,对已出现的缩径,可通过扫孔修正孔径至设计尺寸,或采用扩孔工艺增大孔径弥补偏差。通过上述综合措施,能有效消除缩径对成孔质量的不利影响,保障钻孔灌注桩施工顺利推进。

4 施工设备与质量控制

4.1 施工设备选择与维护

钻孔灌注桩成孔施工的顺利进行离不开合理选择与科学维护施工设备,其中钻机、泥浆泵等是关键设备。钻机作为成孔施工的核心设备,其选型直接影响施工效率与质量。例如,在黏土层中施工时,可选用功率较小但扭矩较大的旋转钻机;而在砾石层或坚硬岩层中,则需采用冲击钻机或牙轮钻机以确保成孔效率。设备选型不仅需要考虑

地质条件与施工要求, 还需兼顾设备的技术参数与经济性。钻机的主轴、钻头等关键部件需定期检查与润滑, 防止因磨损导致成孔精度下降; 泥浆泵则应定期清理滤网与密封件, 避免因堵塞或泄漏影响泥浆循环系统的稳定性。通过建立完善的设备管理制度, 施工单位可有效延长设备使用寿命, 降低故障率, 从而保障施工质量与效率。

4.2 质量控制要点

成孔施工过程中的质量控制是确保钻孔灌注桩承载力和稳定性的关键环节, 其主要涉及孔径、孔深、垂直度等指标的检测与调控。首先, 孔径的控制直接关系到钢筋笼的安装与混凝土的灌注质量。施工过程中, 通常采用测径仪或超声波检测仪对孔径进行实时监测, 确保其符合设计要求。若发现孔径偏差超出规范范围, 则需及时调整钻头直径或采取扩孔措施进行修正。其次, 孔深的精确控制是保证桩端承载力的重要前提。施工单位需通过测绳或深度计对孔深进行多次测量, 并结合地质勘察报告验证孔底是否达到设计持力层。对于复杂地质条件, 还需辅以地质雷达等先进检测手段, 以提高孔深判断的准确性。

垂直度是成孔施工中另一个需要严格控制的关键指标, 其偏差过大会导致钢筋笼偏位或桩身受力不均, 进而影响桥梁基础的整体稳定性。为确保垂直度满足规范要求, 施工单位应在开钻前对钻机进行水平校正, 并在钻进过程中定期监测钻杆的垂直度。一旦发现偏差, 可通过调整钻机姿态或采用导向装置进行纠正。此外, 泥浆性能的稳定也是保证成孔质量的重要因素。施工过程中需实时监测泥浆的比重、黏度及含砂率等指标, 并根据实际情况进行调整, 以确保泥浆护壁效果良好, 避免塌孔或缩径等问题的发生。

通过以上措施, 施工单位能够有效控制成孔施工的各项关键指标, 确保成孔质量符合规范标准, 为后续钢筋笼安装与混凝土灌注奠定坚实基础。

5 未来发展趋势

5.1 智能化施工技术应用

随着现代科技的快速发展, 智能化施工技术在桥梁钻孔灌注桩成孔施工中的应用前景日益广阔。智能钻机与自动化监测系统的引入, 不仅能够显著提升施工精度, 还能有效提高施工效率与安全性。例如, 智能钻机通过内置传感器和控制系统, 可实时采集地质数据并调整钻进参数, 从而确保成孔过程的稳定性与准确性。此外, 自动化监测系统能够全程跟踪泥浆性能、孔径变化及垂直度等关键指标, 及时发现潜在问题并采取纠正措施, 避免因人为操作

失误而导致的质量隐患。这些技术的应用不仅减少了施工过程中的不确定性, 还为复杂地质条件下的成孔作业提供了可靠保障。智能化施工技术的推广, 标志着钻孔灌注桩成孔施工正逐步向精细化、高效化方向发展, 为桥梁工程整体质量的提升奠定了坚实基础。

5.2 绿色环保技术发展

在当今社会对环境保护要求日益严格的背景下, 绿色环保技术在桥梁钻孔灌注桩成孔施工中的应用已成为不可忽视的发展趋势。其中, 环保型泥浆材料的研发与废浆处理技术的创新是两大主要方向。传统的泥浆材料通常含有大量化学成分, 其废弃后可能对土壤和水体造成严重污染。为此, 研究人员致力于开发以天然材料为基础的低污染泥浆, 例如利用植物多糖、微生物发酵产物等制备的新型泥浆材料, 这些材料不仅具有良好的护壁性能, 而且在废弃后能够快速降解, 从而减少对环境的负面影响。此外, 针对废浆处理问题, 近年来出现了一系列先进技术, 如固液分离技术、泥浆再生利用技术等, 这些技术通过将废浆中的固体颗粒与液体成分分离, 实现了资源的循环利用, 显著降低了施工过程中的废弃物排放量。

绿色环保技术的发展不仅有助于缓解施工活动对生态环境的压力, 还为桥梁工程的可持续发展提供了重要支持。研究表明, 通过优化泥浆配比与改进钻进工艺, 可以有效降低施工过程中的振动与噪声污染, 从而减少对周边环境的影响。此外, 绿色环保技术的应用还能够提升企业的社会形象与市场竞争力, 为行业树立良好的示范效应。尽管如此, 绿色环保技术的推广仍面临一些现实问题, 如技术研发成本较高、施工工艺复杂化以及施工人员环保意识不足等。因此, 未来的研究应着重于降低绿色技术的应用门槛, 并通过政策支持与教育培训提升行业整体的环保水平, 从而推动桥梁工程施工向更加绿色、可持续的方向迈进。

6 结语

桥梁钻孔灌注桩成孔施工关键技术是确保桥梁工程质量与安全的重要基础。本文综述了泥浆护壁技术、钻头选型技术等关键技术要点, 这些技术在施工中对于保证成孔质量、提高施工效率起着决定性作用。同时, 针对塌孔、缩径等常见问题, 分析了其成因并提出了预防与处理措施, 为实际施工提供了有效的应对策略。在施工设备与质量控制方面, 强调了设备选型与维护的重要性, 以及质量控制要点, 确保成孔质量符合规范标准。此外, 智能化施工技术应用与绿色环保技术发展作为未来趋势, 将进一步提升施工水平并减少对环境的影响。通过持续研究与实践, 不

断完善这些关键技术，对于提升桥梁工程的整体质量与安全具有重要意义，为现代交通基础设施建设提供坚实保障。

参考文献：

[1] 曹洪涛. 路桥施工中钻孔灌注桩技术研究[J]. 科学技术创新, 2017(30): 155-156.

[2] 姚引娣. 大直径灌注桩成桩施工技术及承载性能研究[D]. 合肥工业大学, 2024.

[3] 谢君琦, 高超. 钻孔灌注桩在基坑维护施工中的质量控制措施[J]. 工程建设与设计, 2024(9): 191-193.

[4] 王亚东. 钻孔灌注桩孔壁稳定性影响因素的研究进展[J]. 黑龙江科学, 2024, 15(8): 136-139+142.

[5] 陈齐飞. 旋挖钻机钻孔灌注桩施工技术研究[J]. 运输经理世界, 2023(36): 86-88.