

大直径旋挖桩施工技术在建筑工程中的应用

王 宁

北京赛瑞斯国际工程咨询有限公司天津分公司 天津 300300

【摘 要】：大直径桩基础在高层与复杂地质工程中应用广泛，但施工过程中易出现孔壁坍塌、成孔偏斜及混凝土灌注质量不稳定等问题，影响结构安全与耐久性。针对施工环节中存在的控制难点，通过优化旋挖设备配置、改进泥浆护壁工艺、细化成孔参数控制及完善灌注流程，实现施工全过程的精细化管理。实践结果表明，成孔质量与垂直度控制水平明显提升，桩体完整性与承载性能得到有效保障，工程整体质量稳定性显著增强。

【关键词】：大直径旋挖桩；施工工艺；成孔质量控制；泥浆护壁；桩基承载力

DOI:10.12417/2705-0998.26.11.016

引言

城市建设规模持续扩大，深基础工程对桩基施工技术提出更高要求。大直径旋挖桩因施工效率高、适应性强，在高层建筑及复杂地层条件中逐渐成为主要选择。但在实际施工过程中，地层差异、地下水条件及设备性能等因素相互作用，容易导致成孔质量波动、孔壁稳定性不足以及灌注过程失控等问题。这些因素不仅增加施工风险，还对后续结构安全形成潜在影响。如何在复杂条件下实现稳定、高质量的成孔与灌注，成为工程实践中亟需解决的关键环节。围绕施工过程中的关键技术环节进行系统分析，并通过工艺优化与参数控制实现质量提升，为工程应用提供可靠技术路径。

1 大直径旋挖桩施工技术应用基础条件分析

1.1 工程地质条件特征识别

工程地质条件直接决定旋挖桩施工工艺选择与控制重点，需通过详勘资料与原位测试数据对地层结构进行精细划分，明确土层类型、分布厚度及力学指标变化规律。针对软弱夹层、卵石层及强风化岩层等复杂组合，应系统分析土体黏聚力、内摩擦角及渗透系数对孔壁稳定性的影响，结合地下水位埋深与补给条件判断孔内水压变化趋势。对不良地质单元进行空间定位，建立分层参数模型，实现不同钻进阶段的差异化控制策略。通过数字化地质建模与施工参数联动，提升地层识别精度与施工适配性，为成孔稳定与垂直度控制提供基础支撑，确保施工过程与地质条件高度匹配。

1.2 施工设备配置与性能匹配

旋挖设备选型需综合桩径、桩深及地层抗阻特性进行系统匹配，重点关注扭矩输出能力、加压力范围及动力系统稳定性。大直径桩施工对设备刚度与回转稳定性要求较高，应确保钻杆系统具备足够抗弯性能，避免偏载引起孔斜偏差。钻具类型需根据不同地层进行组合配置，如针对黏土层、砂层及卵石层分别选用对应结构形式，以提升钻进效率与孔壁成型质量^[1]。配套泥浆循环系统与清孔设备应满足大流量与高效分离需求，保证孔内介质性能稳定。结合智能监测系统实时采集钻进深度、

转速及扭矩数据，实现设备运行状态动态调节，形成设备性能与施工需求之间的协同控制体系。

1.3 施工环境与作业参数设定

施工环境条件对旋挖桩成孔质量具有显著影响，需对场地平整度、承载能力及排水条件进行系统优化，确保设备稳定运行基础。作业参数设定应结合地层特性与设备性能进行动态调整，包括钻进转速、加压力及提升速度等关键指标，通过分阶段控制实现成孔过程平稳推进。泥浆比重、黏度及含砂率等参数需依据孔内稳定需求进行精细调控，维持合理的护壁压力平衡。针对地下水变化及环境温度差异，应建立参数调整机制，避免因外部条件波动引起孔壁失稳。依托信息化管理手段对施工全过程进行实时监控，实现参数设定与现场状态的闭环反馈，提高施工环境适应能力与作业精度。

2 成孔施工过程关键问题识别

2.1 孔壁稳定性控制难度加大

复杂地层条件下孔壁受力状态呈现明显不均衡特征，土体结构松散或夹层变化频繁时，易引发局部失稳现象。地下水渗流作用叠加施工扰动，使孔内外水压差波动加剧，导致护壁效果不稳定。泥浆性能控制不精准时，护壁压力难以维持动态平衡，孔壁局部出现坍塌或缩径情况。钻进过程中反复扰动使土体结构进一步弱化，稳定性逐步降低。多因素耦合作用下，孔壁完整性难以持续保持，增加成孔过程中的不确定性与风险水平。

2.2 成孔垂直度与孔径偏差控制不足

钻进过程中受设备受力不均与地层阻力变化影响，钻具易产生偏移趋势，导致成孔轴线偏离设计位置。大直径桩体对垂直度控制要求更为严格，一旦偏差累积，将直接影响桩体受力性能与后续结构连接精度^[2]。孔径控制受钻具磨损及回转稳定性影响，局部扩径或缩径现象时有发生，削弱桩体完整性。测量手段滞后与监测频率不足，使偏差难以及时修正，成孔质量控制难度进一步加大。

2.3 复杂地层中钻进效率波动明显

不同地层交替分布使钻进阻力变化频繁,钻进参数难以保持稳定状态,导致效率呈现明显波动。硬质夹层与松散层交替出现时,钻具切削状态不断变化,设备负荷波动加剧,影响连续作业能力。钻渣排出效率受孔内条件限制,清孔不畅时会增加重复钻进频次,降低整体进尺速度。设备参数调整滞后与地层适应性不足,使施工节奏难以均衡控制,直接制约施工效率与质量同步提升。

3 针对性施工工艺优化路径构建

3.1 泥浆性能调控与护壁工艺改进

泥浆性能控制需以孔壁稳定需求为核心,构建以比重、黏度、含砂率及胶体率为关键指标的多参数协同调控体系。根据地层渗透特性与地下水压力变化规律,动态调整泥浆比重区间,使孔内液柱压力始终高于孔外土水压力,从源头抑制孔壁坍塌趋势。黏度控制侧重提升泥浆携渣能力与护壁附着性能,通过优化膨润土掺量及添加改性材料,提高泥浆滤失性能与成膜能力,形成稳定致密的护壁层结构。含砂率需通过循环净化系统持续控制,防止泥浆性能劣化影响护壁效果。护壁工艺方面,应强化泥浆循环路径设计与沉淀分离效率,确保孔内泥浆始终处于有效工作状态。结合实时监测技术,对泥浆参数进行连续采集与反馈修正,实现护壁性能的动态平衡控制,增强复杂地层条件下孔壁稳定性与施工连续性。

3.2 钻进参数与设备运行协同控制

钻进参数设置需围绕地层阻力变化与设备性能极限进行精细匹配,通过转速、加压力及提升速度的多变量协同调节,实现钻进过程稳定运行。转速控制应依据土层结构差异进行分级设定,避免过高转速引发孔壁扰动加剧,同时保证切削效率。加压力需保持在设备安全承载范围内,防止因过载导致钻杆偏移或设备振动增强,从而影响成孔垂直度^[3]。提升速度与排渣效率密切相关,应通过合理控制提升节奏,确保孔底钻渣及时排出,减少重复钻进现象。设备运行状态监测应引入信息化手段,对扭矩、振动及负载变化进行实时分析,形成参数调节的闭环控制机制。通过构建设备运行与施工参数之间的动态协同体系,使钻进过程在复杂地层中保持稳定与高效,提升成孔质量与施工可靠性。

3.3 分层成孔与清孔流程精细化管理

分层成孔策略需依据地层结构差异进行针对性划分,将不同性质土层作为独立施工单元实施差异化控制,减少复杂地层交界面带来的扰动影响。各层钻进过程中应设定独立参数区间,并结合实时监测数据进行动态修正,使成孔过程始终处于可控状态。清孔流程需在成孔完成后及时开展,通过控制循环时间与泥浆流量,实现孔底沉渣有效清除。清孔质量直接关系到桩端承载性能,应通过多次循环与检测手段确保沉渣厚度控

制在允许范围内。导管下放前需对孔内环境进行复核,保证泥浆性能与孔底状态满足灌注条件。全过程管理应依托数据化平台,对成孔深度、清孔次数及沉渣指标进行记录与分析,实现施工过程可追溯与可优化。通过分层控制与流程精细化管理相结合,提升大直径旋挖桩成孔质量与施工稳定性。

4 混凝土灌注与成桩质量控制技术

4.1 导管埋深与灌注连续性控制

导管埋深控制是保障水下混凝土灌注质量的核心环节,应根据孔深、泥浆性能及混凝土上升高度进行动态调节,使导管底端始终保持在已浇筑混凝土面以下合理范围内,避免断桩与离析现象发生。灌注初期需快速建立稳定混凝土柱体,通过合理控制首批混凝土方量与下放速度,形成良好的封底条件。灌注过程中应持续监测混凝土面高度,结合导管提升节奏进行同步调整,防止导管埋深不足或过深引发质量隐患。连续性控制需确保混凝土供应与灌注节奏高度匹配,减少中断时间,避免冷缝产生及结构分层。施工组织应围绕连续灌注需求进行统筹配置,保证运输、搅拌与下料各环节顺畅衔接,使混凝土在孔内形成均匀密实的结构体系。

4.2 混凝土配比与流动性能优化

混凝土配比设计需兼顾强度指标与施工性能,通过合理选择水胶比、砂率及外加剂种类,实现高流动性与良好抗离析性能的统一。流动性能控制重点在于坍落度与扩展度的稳定保持,使混凝土能够在导管内顺畅下落并在孔内均匀铺展。外加剂掺量应结合环境温度与运输时间进行精细调整,避免因流动性衰减导致灌注不畅或分层现象^[4]。骨料级配需优化,以减少颗粒间空隙并提高整体密实度,增强桩体结构完整性。配比控制还应考虑泥浆环境对混凝土性能的影响,通过提高抗水洗能力,减少水泥浆流失,确保桩体强度发展稳定。全过程应依托标准化试配与动态检测,实现配比参数的精细化管理,保障灌注质量与结构性能协调提升。

4.3 灌注过程监测与异常处理机制

灌注过程监测需构建多维度数据采集体系,对混凝土用量、灌注时间、导管埋深及孔内混凝土面变化进行实时记录与分析,形成连续性质量控制链条。通过信息化手段实现数据可视化,对关键参数变化趋势进行动态识别,及时发现异常波动。异常处理机制应以快速响应为原则,针对导管堵塞、混凝土离析及灌注中断等情况,建立分级处置流程,确保问题在早期阶段得到控制。对灌注过程中出现的参数偏离,应及时调整施工节奏与技术措施,使施工状态恢复稳定。质量追溯体系需同步完善,对全过程数据进行归档分析,为后续优化提供依据。通过监测与处置机制的协同运行,实现灌注过程的精细控制与风险防控,确保成桩质量稳定可靠。

5 施工技术优化后的质量提升效果分析

5.1 成孔质量稳定性显著增强

施工技术优化后,成孔过程中的扰动因素得到有效控制,孔壁受力状态趋于均衡,孔内压力环境保持稳定。泥浆性能调控与钻进参数协同作用,使孔壁支护能力持续增强,局部失稳现象明显减少。成孔过程中对地层变化的适应能力显著提升,复杂界面处的稳定控制更加精准,避免因参数不匹配引起的孔径异常与局部坍塌。垂直度控制通过设备稳定性与参数动态调节实现精细化管理,偏差范围得到有效收敛。成孔质量检测结果呈现出较高一致性,孔径、孔深及轴线偏移均保持在控制标准范围内。信息化监测手段的应用,使成孔过程由经验判断转向数据驱动,质量波动得到有效抑制,整体施工稳定性显著增强。

5.2 桩体完整性与承载性能提升

灌注工艺与配比控制优化后,混凝土在孔内形成连续致密结构,内部缺陷显著减少,桩体完整性水平持续提升。导管埋深与灌注节奏的精细控制,有效避免离析与断桩问题,保证桩体各截面性能均衡^[5]。混凝土流动性能与抗水洗能力的提升,使桩身密实度增强,结构整体性得到改善。桩端沉渣控制水平提高,桩土接触界面更加稳定,端承与侧阻协同作用得到充分发挥。承载性能检测结果表现出更高稳定性与一致性,承载力

离散程度明显降低。通过全过程质量控制与数据反馈机制,桩体性能实现从单点达标向整体均衡提升转变,满足高标准基础工程对承载能力与耐久性的综合要求。

5.3 工程施工效率与安全水平改善

施工流程优化与设备运行协同控制,使钻进与灌注环节衔接更加紧密,作业节奏趋于均衡,整体施工周期得到有效压缩。参数动态调整机制减少无效作业时间,钻进效率波动明显降低,施工连续性增强。清孔与灌注过程的标准化管理,提高各工序执行效率,降低重复作业频率。安全控制方面,通过实时监测系统对关键参数进行持续跟踪,风险识别能力显著提升,异常状态能够及时预警与处置。施工环境适应能力增强,使复杂地质条件下作业稳定性提高,减少突发性安全隐患。信息化管理与精细化控制的融合,使施工过程更加可控,安全保障体系更加完善,整体施工运行水平实现系统性提升。

6 结语

大直径旋挖桩施工技术经系统优化后,关键工序衔接更加紧密,质量控制路径更加清晰,成孔稳定性与灌注可靠性同步提升。多维参数协同调控与信息化监测手段融合应用,使施工过程由经验驱动转向数据支撑,桩体性能均衡性显著增强。施工组织与技术管理一体化推进,工程质量、安全水平及作业效率实现整体提升,形成可推广的技术应用模式。

参考文献:

- [1] 范军涛.大直径旋挖桩后注浆施工技术及实践[C]//《施工技术(中英文)》杂志社,亚太建设科技信息研究院有限公司.2025年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(下册).[出版者不详],2025:494-496.
- [2] 林萍萍.建筑工程中大直径旋挖成孔灌注桩施工管理[J].中国建筑金属结构,2025,24(9):178-180.
- [3] 王克鹏.建筑工程大直径旋挖桩施工技术探究[J].城市开发,2025,(6):174-176.
- [4] 汪浩,孙俊.建筑工程大直径旋挖桩施工技术要点及常见质量问题与防治措施——以川东北金融中心二期项目为例[J].房地产世界,2024,(5):122-124.
- [5] 李歆.建筑工程大直径旋挖桩施工技术[J].建筑技术开发,2023,50(6):70-72.