

# Research on Key Technologies for Quality Control of Large Diameter Underwater Drilled Pile Construction

Zhenxing Shen

China Hydropower Construction Group 15th Engineering Bureau Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710068, China

## Abstract

With the continuous expansion of highway bridge construction scale, the application of underwater bored pile construction technology is becoming increasingly widespread. This study systematically summarizes the technical preparation work before the construction of bored piles based on current engineering practices, including core processes such as construction drawing review, geological survey data analysis, equipment selection, and personnel training. On this basis, the complete process flow of underwater drilling and grouting pile construction for bridges is elaborated in detail, from site leveling, measurement and layout, to key steps such as mud preparation, burying casing, drilling holes, cleaning and replacing mud. Propose targeted quality control measures to provide theoretical and practical support for improving the construction quality of highway bridge engineering and ensuring structural safety and stability.

## Keywords

bored pile; construction; quality control

# 大直径水下钻孔灌注桩施工质量控制关键技术研究

沈振兴

中国水电建设集团十五工程局有限公司, 中国·陕西 西安 710068

## 摘 要

随着公路桥梁建设规模的不断扩大, 水下钻孔灌注桩施工技术的应用日益广泛。本研究针对当前工程实践, 系统梳理了钻孔灌注桩施工前的技术准备工作, 包括施工图纸审核、地质勘察资料分析、设备选型及人员培训等核心环节。在此基础上, 详细阐述了桥梁水下钻孔灌注桩施工的完整工艺流程, 从场地平整、测量放样, 到泥浆制备、埋设护筒、钻孔成孔、清孔换浆等关键步骤。提出针对性质量控制措施, 为提升公路桥梁工程施工建设质量、保障结构安全稳定提供理论与实践支撑。

## 关键词

钻孔灌注桩; 施工; 质量控制

## 1 引言

随着跨海桥梁及大型水利设施等基础设施建设的快速发展, 大直径水下钻孔灌注桩因其承载力高、施工灵活等优势, 被广泛应用于深水基础施工中。然而, 水下复杂的地质条件、高水压环境以及施工技术的局限性, 使得大直径水下钻孔灌注桩的施工质量控制面临诸多挑战。成孔垂直度偏差、桩底沉渣过厚、水下混凝土灌注不连续等问题, 不仅影响桩基的承载性能, 还可能引发工程安全隐患。因此, 开展大直径水下钻孔灌注桩施工质量控制关键技术研究, 对于提升工程质量、保障工程安全具有重要意义。

## 2 大直径水下钻孔灌注桩施工技术准备工作

在公路桥梁建设中, 采用注水灌注桩工艺需做好充分的准备工作, 首要任务是对施工区域进行全面勘察, 重点勘察地貌形态、地层结构以及地下水状况等关键因素, 根据勘察数据, 科学制定施工方案, 明确各项技术指标和操作规范。当设计方案确定后, 需组织专业人员进行严格评审, 参照设计文件、地质报告以及现行施工标准, 对方案进行可行性论证, 确保其符合工程要求, 同时, 制定完善的突发情况处置预案, 为可能发生的意外事件做好应对准备<sup>[1]</sup>。通常情况下, 施工人员的专业素质直接影响工程实施效果, 为此, 必须开展针对性的技能培训和考核评估工作, 通过系统培训, 不仅可以提高作业人员的技术水平, 还能强化其安全防范意识, 使其充分理解施工要点, 具备处理突发问题的能力, 从而保证工程按计划推进。而在对施工材料质量的管控中, 灌注桩施工时, 必须严格把关材料的筛选、采购及运输流程,

【作者简介】沈振兴(1991-), 中国陕西岐山人, 本科, 工程师, 从事道路桥梁研究。

确保所有进场材料都达到规范要求。而在实际施工过程中, 技术团队要实时监测桩体定位精度, 将其控制在设计允许范围内。钻机安装前需校核基准标高, 定位完成后要复核设备的水平状态和稳固性, 保持钻具垂直度, 并且定期检测泥浆性能参数, 及时调整施工工艺, 以确保工程质量和施工安全。

### 3 大直径水下钻孔灌注桩施工关键技术分析

#### 3.1 泥浆制备

在复杂地层实施钻孔作业时, 选择合适的孔壁支护工艺对工程质量和施工安全至关重要。当遇到含碎石、砂层或黏土互层的地质情况时, 采用膨润土浆液进行护壁是较为理想的方案。这种浆液凭借其优异的悬浮稳定性和胶凝作用, 能够在孔壁形成致密保护层, 有效防止塌孔现象, 确保钻孔作业正常开展。对于塑性指数达到 15 的黏性土层, 可采用就地取材的原土造浆工艺, 该方法既能降低材料成本, 又可简化施工流程, 通过合理调配土层与水的配比, 即可制备出符合技术要求的支护浆液, 为钻孔作业提供可靠保障<sup>[2]</sup>。随着钻孔深度的不断加大, 孔壁承受的侧向压力也随之增强, 因此, 在钻进过程中需要持续补充新鲜浆液, 维持孔内液面高度, 该措施对防止孔壁失稳、确保成孔质量具有决定性作用。而采用冲击钻施工时, 针对黏土地层可先将黏土破碎至适当粒径后投入孔内, 利用钻具的冲击搅拌作用, 促使黏土与孔内水体充分融合, 形成性能稳定的支护浆液, 该工艺不仅能提升制浆效率, 还可显著增强浆液的护壁性能。在混凝土浇筑过程中, 随着混凝土液面上升, 孔内浆液会被逐步置换排出, 此时应及时将置换出的浆液引流至专用沉淀池, 便于后续净化回用, 该做法不仅实现了施工资源的循环利用, 也能为后续桩基施工创造了有利条件。

#### 3.2 埋设护筒

钻孔作业前, 必须规范安装密封性良好的孔口护筒, 这对保障施工质量至关重要, 护筒作为钻孔过程中的重要防护结构, 既能维持孔口稳定, 又可阻隔外部水体与孔内浆液的交互, 从而提升施工安全性和成孔质量。施工前需依据规范精确计算护筒内径, 通常需大于钻头直径 20~30cm, 以确保钻具运行顺畅, 尤其是在冲击成孔工艺中, 建议选用壁厚适中的钢制护筒, 标准内径宜控制在 40cm 左右, 该尺寸既能满足施工需求, 又可保证结构可靠性。护筒埋设过程中要重点控制泥浆液面高度, 作为钻孔作业的核心介质, 泥浆液位直接影响孔壁稳定和施工效率<sup>[3]</sup>。施工时应确保护筒顶端高出地下水位 2cm 以上, 以形成有效水压屏障。同时要根据实时工况动态调整护筒埋深, 使泥浆充分发挥护壁、润滑和排渣功能。对于陆地施工项目, 护筒顶部需超出地面 50cm, 这样既能防止地表水渗入, 又可避免杂物掉入孔内, 该措施不仅优化了作业环境, 还为后续混凝土浇筑创造了有利条件。

#### 3.3 钻进成孔

在桩基施工中, 成孔质量是保证工程质量的关键因素, 跳打施工工艺作为一种高效的技术手段, 能够有效降低施工干扰并提高成孔质量, 因此在工程实践中得到普遍应用。而采用跳打法作业时, 需要重点关注以下技术要点, 首先, 当已完成混凝土浇筑的桩与待施工桩位相邻时, 必须待已浇筑桩体的混凝土强度不低于 2.5MPa 时, 方可进行相邻桩位的钻孔作业, 这项要求是为了避免因过早施工对新浇筑桩体产生不利影响, 从而保证工程结构的整体稳定性。其次, 钻孔前应预先埋设定位护筒, 该装置不仅能准确定位桩位, 还可以有效防止孔壁塌陷, 在护筒内注入适量的稳定液, 能够形成保护层, 增强孔壁的稳定性的。最后, 护筒安装必须确保密封性和稳固性, 标准护筒一般采用 8mm 厚钢板制作, 长度不应短于 1.5m, 以保证其具有足够的结构强度。护筒内径宜比设计桩径大 200mm, 为钻头作业提供充足空间<sup>[4]</sup>。同时, 护筒顶面应高出施工水位或地下水位 2m 以上, 防止水体渗入。在陆地施工时, 护筒顶面需高出地面 0.5m 左右, 避免地表水流入, 此外, 护筒的垂直度偏差应控制在 1% 范围内, 以满足施工精度要求。

#### 3.4 清孔

钻孔施工结束后, 施工人员需第一时间对成孔质量进行全面检测, 重点核查钻孔位置、孔洞直径、钻孔深度、底部沉渣厚度以及泥浆含砂量等重要指标, 确保各项数据满足工程设计和技术规范的要求。其中, 孔位允许误差范围不得超过 10cm, 这是保证桩基位置精度的关键条件, 在孔径控制上, 必须完全依照设计图纸执行, 杜绝随意扩孔现象, 以免损害桩体的受力性能和结构安全。待所有检测项目验收合格后, 应迅速组织清孔作业, 彻底清除孔内积存的钻渣和泥浆, 为后续浇筑工序创造良好条件。清孔工艺可采用泥浆置换法, 即通过循环置换孔内泥浆来逐步降低含砂率和泥浆密度, 同时排出孔底沉积物。针对连续梁桥工程的支撑桩, 其孔底沉渣厚度应不超过 5cm, 对于摩擦型桩基, 沉渣厚度允许值可适当放宽至 20cm 以内。另外, 施工泥浆的含砂比例需控制在 2% 以下, 泥浆密度则应根据工程需要合理调节(建议维持在 1.1~1.3 区间)。尤其需要注意的是, 清孔过程中绝对禁止采用超钻方式来替代正规清孔程序, 这种做法极易导致孔壁结构受损, 只有在所有检测指标全部达标并通过验收后, 方可进行桩身混凝土的浇筑施工。

#### 3.5 钢筋笼加工和吊装

钢筋笼制作通常采用长线法施工工艺, 重点在于依据桩基的实际深度精准下料和加工, 严格控制主筋长度、笼体直径以及箍筋间距等核心参数, 确保完全满足设计规范。针对深度较大的桩基工程, 由于整体式钢筋笼存在运输和吊装困难, 施工人员通常采用分段预制方案。具体实施时, 需根据桩长将钢筋笼合理划分为若干节段独立加工。其中, 末

节钢筋笼需特别处理,以保证与前一段的精确匹配,从而维持结构的整体性和可靠性<sup>[5]</sup>。在分段预制过程中,每节钢筋笼均需按设计尺寸精确制作,并做好编号标记,以便现场安装时快速定位和连接。该环节非常重要,因为节段间的精准对接和可靠绑扎直接决定了钢筋笼的整体刚度和稳定性,进而影响桩基的承载性能和使用寿命。同时,在加工过程中需重点把控钢筋规格、主筋排布、焊接工艺等关键质量指标,确保成品符合技术标准。通过引入现代化加工设备和工艺方法,可有效提升钢筋笼的成型精度和生产效率,为后续桩基施工提供质量保障。

### 3.6 水下混凝土灌注

水下混凝土灌注作为桩基施工的关键工序,必须严格遵循技术规范和质量要求,以保证桩体结构的可靠性。施工前需重点核查孔底沉渣情况,该项检查直接影响桩端承载性能的发挥。检测过程中若发现沉渣厚度超过设计限值,必须进行二次清孔处理,严禁违规操作或降低质量标准。这一措施旨在确保孔底清洁度达标,为混凝土顺利灌注创造有利条件。在混凝土浇筑过程中,实时监测料面高度是质量控制的重要环节,施工人员需采用专业检测仪器持续跟踪混凝土上升情况,并据此动态调整浇筑速率和导管埋深,保证混凝土均匀密实地填充桩孔空间,该操作对确保桩身结构的连续性和整体强度具有决定性作用。此外,导管提升作业前必须准确测定管内混凝土顶面位置,该数据是控制导管埋深的重要依据,能有效预防混凝土离析或夹渣等质量缺陷。通过科学的监测手段和合理的工艺控制,可避免因操作不当引发的施工质量问题,最终确保桩基工程的整体质量达标。

## 4 大直径水下钻孔灌注桩施工钻进质量控制策略

在桩基施工的精细化管理过程中,在进行具体钻进操作时,需对泥浆比重实施精准且有效的控制。泥浆比重过大,会增加钻进阻力,降低钻进效率,还可能对孔壁稳定性产生不利影响,而比重过小,则无法起到良好的护壁作用,容易引发塌孔等质量问题。因此,施工团队需依据地质条件、钻进深度等因素,科学调配泥浆比重,并实时监测调整,确保其始终处于合理范围。当完成成孔作业后,及时清孔是保障桩基质量的关键步骤,采用换浆法进行清孔,能够较为彻底地清除孔内残留的钻渣和泥浆,为后续混凝土灌注创造良好条件。在清孔过程中,要严格控制泥浆指标,确保孔内泥浆性能符合设计要求,避免因清孔不彻底导致桩底沉渣过厚,影响桩基承载力<sup>[6]</sup>。而水下混凝土灌注是桩基施工的核心环

节,灌注速度和孔内沉渣情况直接影响桩基质量,灌注速度过快,易使混凝土产生离析现象,降低桩身强度,速度过慢,则可能导致混凝土初凝,影响灌注连续性。同时,要密切关注孔内沉渣厚度,通过合理调整灌注工艺,确保沉渣厚度在规范允许范围内。当桩基施工完成后,质量检测工作不容忽视,需依据设计需求,对每个桩进行全面、细致的检测,包括桩身完整性、承载力等指标,确保桩基质量满足设计要求。此外,对于群桩基础,还需有效实施群桩沉降观测工作,通过长期监测,掌握群桩沉降规律,为后续工程提供可靠数据支持。在相应路堤地段进行桩基施工时,为提高施工效率,可直接采用帮填边坡的方式进行施工,通过合理填筑边坡,能够适当抬高钻孔平台高度,减少钻孔深度,降低施工难度。并且,这种方式还能在一定程度上增强边坡稳定性,防止因钻孔时间过长而导致边坡失稳,保障施工安全。总之,桩基施工是一项系统工程,需从钻进、清孔、灌注、检测到边坡处理等各个环节进行严格把控,确保桩基质量,为整个工程的安全稳定奠定坚实基础。

## 5 结语

大直径水下钻孔灌注桩施工质量控制是一项系统工程,涉及成孔、清孔、混凝土灌注等多个关键环节。通过深入研究并应用高精度测量、泥浆性能优化、二次清孔及导管埋深动态调整等关键技术措施,可有效解决施工过程中的质量问题,提高桩基的施工质量。而随着新材料、新技术、新工艺的不断涌现,大直径水下钻孔灌注桩施工质量控制技术将更加成熟和完善,为更多复杂环境下的基础设施建设提供更加坚实的技术支撑,以此共同推动大直径水下钻孔灌注桩施工技术的进步与发展。

### 参考文献

- [1] 崔馨月.路桥钻孔灌注桩施工关键技术及质量控制措施分析[J].石河子科技,2025,(02):50-51.
- [2] 翟晓冬.公路桥梁钻孔灌注桩施工关键技术及质量控制[J].石河子科技,2025,(01):46-47.
- [3] 许抒.软土暗浜地层钻孔灌注桩施工关键技术及质量控制措施——以杭州市某新建大学桩基工程为例[J].建筑科技,2024,8(07):178-181.
- [4] 李明宇,李战彬,林义峰.复杂地质下超大钻孔灌注桩施工关键技术及质量控制[J].广东建材,2022,38(02):70-72.
- [5] 王嘉梁,孙杰,张守都.近岸倾斜岩面河床水下钻孔灌注桩施工技术探究[J].浙江水利科技,2025,53(02):69-72.
- [6] 张立新,唐文超,张铁兵.钻孔灌注桩在铁路特大桥梁施工中的应用[J].四川水力发电,2024,43(S2):49-52.