

钻孔灌注桩施工技术在市政道桥工程中的应用分析

范汉杰

(上海三维工程建设咨询有限公司合肥分公司, 安徽 合肥 230001)

摘要 道路桥梁工程作为城市基础设施的关键构成部分, 其施工品质与效率直接关乎城市交通的流畅及居民出行的便利性。本文深入探讨了钻孔灌注桩施工技术在市政道桥工程中的应用, 涵盖技术原理、设备、实例分析及质量控制, 通过实例分析, 详细阐述了施工准备、钻孔、钢筋笼制作与下放、混凝土灌注等流程。研究表明, 在市政道桥工程施工中, 严格施工准备与过程控制可确保桩体质量。

关键词 钻孔灌注桩; 市政道桥工程; 施工准备; 钻孔施工

中图分类号:U416.1; U445.551

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.03.020

0 引言

钻孔灌注桩作为道路桥梁基础的关键形式, 凭借其深长的桩体与卓越的承载能力, 为道路桥梁结构奠定了稳固基础。在施工实践中, 该技术需应对复杂地质环境、严格的质量控制标准及高效施工的需求。伴随工程技术的持续进步, 钻孔灌注桩施工技术在桩型规划、施工流程、品质管控等方面均取得显著成就。然而, 实际工程仍面临诸多技术障碍和施工挑战, 诸如桩体垂直度的精确控制、桩身缺陷的有效预防及施工效率的提升等。因此, 深入探究钻孔灌注桩施工技术在市政道路桥梁工程中的实际应用, 对于攻克技术难题、提高施工品质与效率、促进市政道路桥梁工程技术的不断进步具有极其重要的现实意义。

1 钻孔灌注桩施工技术概述

1.1 技术原理

在当代建筑工程施工中, 钻孔灌注桩技术扮演着至关重要的角色。本质上, 该技术深植于对地下土体力学性质及混凝土特性的充分运用。施工前, 需根据工程地质勘探数据, 精确掌握各地层土体构造、承载力等核心要素。其基本原理是运用专用钻孔机械, 于设计桩位破土开孔, 打破土体原有的自然平衡^[1]。钻孔时, 需严格监控钻进速率、垂直度等参数, 确保孔质满足后续施工标准。随孔深渐增, 周边土体应力状态发生变化, 此时需采用泥浆护壁工艺, 利用泥浆在孔壁构建一层稳固的防护层, 阻挡地下水对孔壁的渗透冲刷, 保持孔壁稳定, 为后续的钢筋笼安装与混凝土浇筑提供可靠基础。钢筋笼妥善安置后, 执行混凝土浇筑工序, 利用混凝土优异的流动性和粘结力,

填充桩孔, 于孔内逐步凝固强化, 最终与土体共同作用, 形成高承载力的桩基, 承载上部结构传递的各种荷载, 确保建筑物的整体稳固性。

1.2 关键施工设备

在钻孔灌注桩的施工过程中, 关键施工设备发挥着至关重要的作用。随着建筑行业的高效化、精确化、大型化趋势, 这些设备持续更新换代。首先, 钻孔机具作为核心设备, 类型多样, 以适应各种地质条件。回旋钻机以其稳定的旋转钻进特性, 在软土地层中大显身手, 能以平稳的速率切削土体形成桩孔, 对地层扰动较小; 而冲击钻机则在硬岩地层中展现出独特优势, 通过重锤的高频冲击作用, 破碎坚硬岩石, 为桩孔开辟路径, 但施工时的震动对周围环境的影响需予以高度重视。泥浆循环系统设备同样至关重要, 它与钻孔作业密切配合, 一方面负责制备满足特定要求的泥浆, 确保泥浆的比重、黏度等性能达标, 以发挥护壁、携渣等效用; 另一方面, 通过循环机制, 将孔内含钻渣的泥浆抽出进行净化处理, 再回灌至孔内, 保持泥浆性能的稳定, 确保钻孔作业连续且高效。此外, 大型吊车等起吊设备承担着钢筋笼的吊运及精确入孔任务, 其起重能力、操作精确度直接关乎钢筋笼安装的成功与否。在大型灌注桩工程中, 对吊车的起重量、稳定性等参数有着严格的要求, 任何微小失误都可能造成严重后果, 影响桩基础的质量与施工进度。

2 钻孔灌注桩施工技术在市政道桥工程中的应用实例分析

以某市一项市政道桥工程为实例, 该工程包含主桥及引桥两部分, 跨越一条现有河流。桥梁基础采用

钻孔灌注桩设计。工程区域地质状况较为复杂,地层自上而下分别为杂填土层、粉质黏土层、粉砂层、中砂层及强风化岩石层。依据设计要求,灌注桩直径范围为 1.2~1.5 m,桩长则在 30~40 m 不等,总计布设 200 多根。桩型以端承摩擦桩为主导,用以承受并传递桥梁上部结构所产生的各类荷载^[2]。

2.1 施工准备

1. 场地整平。在施工开展前,需先对场地实施整平处理。因场地邻近河流,地势较低且存在淤泥区域,故采用挖掘机与装载机协同作业,进行淤泥清除和场地整平,随后回填土石并实施分层压实,以确保场地具备足够的承载力,满足钻机作业要求。同时,于场地四周开挖临时性排水沟渠,以防雨水汇聚对施工造成不利影响。

2. 桩位测量。根据设计图纸要求,运用全站仪精准实施桩位测量与放线工作。由专业测量技术人员依据坐标控制点,精确标定每根桩的中心位置于地面,并设置醒目护桩,便于施工期间随时校核桩位,确保误差在规范允许的 ±5 mm 范围内。

3. 钻机选型。综合考量地质状况、桩径及桩长等要素,选定 GPS-15 型旋转钻机。此钻机适用于黏土、粉土、砂土及岩层等多种地质层钻进,扭矩大,能满足本工程深桩孔钻进需求,且操作简便,钻进效率高。

4. 泥浆配制。泥浆在钻孔灌注桩施工中具有关键作用,具有护壁、携渣、钻头冷却等功效。本工程采用膨润土配制泥浆,按水:膨润土:外加剂=1 000:80:2 (质量比) 在泥浆池内均匀搅拌。泥浆性能指标需严格把控,比重控制在 1.1~1.3 g/cm³,黏度 18~25 s,含砂率低于 4%,以确保泥浆能有效发挥护壁作用,防止孔壁发生坍塌。

2.2 钻孔施工

1. 钻机定位。将选好的钻机移动至桩位,通过调节钻机的底盘和桅杆等,确保钻头中心与桩位中心对齐,误差控制在 20 mm 以内。同时,使用水准仪调平钻机平台,保证钻进时钻机的垂直度,偏差不超过 1%。

2. 钻进实施。启动钻机,开始钻进作业。在杂填土及粉质黏土层中,采用低速钻进模式,转速维持在 30~50 r/min,并适当控制钻进压力,以防钻头偏移。进入粉砂、中砂层后,将泥浆比重提高至 1.2~1.3 g/cm³,增强护壁效果,并根据钻进状况适时调整转速和压力,保持稳定的钻进速率。遇强风化岩层时,更换为牙轮钻头,采用冲击钻进方法,冲击频率控制在 40~60 次/min,钻进中密切监控钻机运行参数、泥浆循环及孔内返渣情况,及时判断地层变动。

3. 泥浆循环。钻进时,泥浆由泥浆泵从泥浆池泵

入钻杆内,从钻头底部喷出,携带钻渣沿孔壁与钻杆间的环状间隙上升,经泥浆槽流回泥浆池。循环过程中,安排人员负责清理泥浆池沉渣,定期检测泥浆性能,及时补充新泥浆,保障泥浆循环系统正常运行^[3]。

4. 清孔作业。钻孔达到设计深度后,进行清孔处理,以清除孔底沉渣,提升桩端承载力。本工程采用正循环与气举反循环相结合的清孔方式。先利用正循环带出大部分钻渣,然后将气举反循环装置下放至孔底 0.3~0.5 m 处,通过压缩空气将孔底沉渣进一步吹起,由泥浆带出。清孔后,孔底沉渣厚度需小于 50 mm,泥浆比重降至 1.05~1.1 g/cm³,黏度 17~20 s,含砂率低于 2%,经监理工程师验收合格后方可进行后续工序。

2.3 钢筋笼制作与下放

1. 钢筋笼制作。于钢筋加工场地集中进行钢筋笼制作,选用符合设计规格的 HRB400 钢筋。主筋间通过焊接技术实现牢固连接,确保同一截面接头数不超过主筋总量的半数,且相邻接头需错开,距离不小于 35 倍主筋直径 (d)。加强筋与主筋实施点焊以加固,每隔 2 m,螺旋箍筋与主筋点焊一周,以强化钢筋笼的整体结构稳定性。制作完毕后,对钢筋笼实施质量检验,涵盖钢筋规格、间距及焊接品质等,达标后方可吊装至桩位。

2. 钢筋笼下放。利用吊车将钢筋笼垂直、缓慢且匀速地吊入孔内,过程中避免触碰孔壁。于钢筋笼顶端装设定位筋,以确保钢筋笼中心与桩位中心对准,定位误差控制在 10 mm 以内。钢筋笼下放至设计高度后,应稳固地固定于钻机平台或护筒之上,以防在混凝土浇筑时钢筋笼上浮。

2.4 混凝土灌注

1. 混凝土配合比设计。依据工程设计要求的混凝土强度等级(本工程选定 C30),并综合考虑工程环境条件及施工工艺流程,实验室负责开展混凝土配比设计工作。精选高品质水泥、骨料及外加剂,经试验调配,确定配比为水泥:砂:碎石:水:外加剂=380:750:1050:180:4.5 (kg/m³),以保证混凝土具备优良的工作性能、流动性能及耐久性能,坍落度维持在 180~220 mm 范围内。

2. 混凝土灌注。采用导管浇筑法进行混凝土施工。导管选用内径 300 mm 的无缝钢管,施工前需进行严密性测试,确保导管无渗漏。导管下放至孔底上方 0.3~0.5 m 处,首批浇筑的混凝土量需达到导管初始埋置深度至少 1.0 m 的标准,经核算,首批浇筑量不低于 3 m³。在浇筑过程中,混凝土应持续供应,导管埋设深度控制在 2~6 m,依据混凝土面上升高度适时提升导管,

提升速度需适中，以防导管脱离混凝土面导致断桩。同时，现场指派专人记录混凝土浇筑量、导管埋深等关键数据，保障浇筑作业顺利进行。

2.5 质量控制与检验

1. 质量控制举措。(1)在施工进程中，严格执行“三检”流程，即施工单位自行检查、相互检查及专业检查，每道工序必须经检验合格后才能转入下道工序。(2)对原材料品质实施严格管控，如水泥、钢筋、膨润土等，进场时须持有质量合格证书，并依规进行随机抽检，合格后方可使用。(3)钻孔灌注桩施工过程中，要强化对各项参数的监控，涵盖钻机垂直状态、泥浆性能参数、孔深、孔径、钢筋笼放置位置及混凝土灌注各项指标等，一旦发现异常，立即调整处理。

2. 质量检验规范。(1)成桩后，运用低应变检测技术对桩体完整性进行检验，检验数量需达到总桩数的21%以上，且至少为10根。对于检测结果为Ⅲ类、Ⅳ类桩的，需采取相应措施，如通过钻芯法深入检测，确定缺陷部位并进行加固。(2)依据规范标准，随机选取一定数量的桩进行单桩竖向抗压静载试验，以验证桩的承载力是否符合设计要求，本工程抽检桩数占总桩数的1%，且不少于3根^[4]。

3 钻孔灌注桩施工技术在市政道桥工程中应用的质量控制策略

3.1 制定合理施工方案

市政道桥工程面临的地质环境错综复杂，其地下水位、土层构造及邻近既有建筑物等，均对钻孔灌注桩施工构成影响。为此，项目初期应组建专业地质勘探队伍，采用尖端勘探设备和技术，精确采集地质参数，涵盖土层厚度、力学特性、地下水流向及流速等关键数据。基于详尽的勘探成果，设计团队需综合考虑工程承载力需求、桩径尺寸、桩体长度等要素，科学选定桩型并规划布局。在方案设计阶段，融入建筑信息模型(BIM)技术，利用三维建模技术直观展现桩体与周边环境、地下管网的空间关联，预先模拟施工步骤，针对潜在问题，如孔壁坍塌、桩径扩大等，进行预警并优化设计方案，确保施工方案既科学又合理，为后续施工工作奠定牢固的基础。

3.2 做好施工安全防护

市政道桥施工场地人员众多，机械密集，且常邻交通要道，安全隐患突出。施工前，需结合工程特性及现场状况，编制详尽的安全防护指南，清晰界定各施工步骤的安全操作规范。对施工人员实施强制性的安全教育，内容涉及安全防护装备的正确穿戴与使用、

各类施工设备的操作规范及应急避险技能等，通过考核后方可作业。钻孔灌注桩作业区应设立稳固的围栏，其高度与强度需满足安全要求，以防非作业人员进入。对于泥浆池、沉淀池等高风险区域，除设置醒目标识外，还应配置防护栅栏、救生器材等，并定期进行巡查与保养，保证防护设施完好无损，全面确保施工安全。

3.3 严格把控灌注质量

灌注作业是钻孔灌注桩施工的关键环节，其质量直接影响桩体的承载能力。首先，需严格控制混凝土原材料的质量，对水泥的安定性、强度以及骨料的粒径、含泥量等指标进行严格检验，确保原材料满足设计要求。在混凝土拌制过程中，应依据配合比精确计量各成分，采用强制搅拌方式确保混合均匀，并实时监测混凝土的坍落度、扩展度等性能参数，不合格的一律弃用。灌注时，需选用适宜的导管，其管径和壁厚需根据桩径和桩长进行计算确定，确保导管的密封性能良好。在灌注过程中，应匀速提升导管，控制导管埋深在2~6m，同时利用超声波检测等技术手段实时监测混凝土的灌注高度和桩身质量，确保灌注作业连续、平稳进行，桩身结构密实无瑕疵^[5]。

4 结语

钻孔灌注桩施工技术在市政道桥工程中的应用成效显著，贯穿于前期地质勘探、方案设计，中期精细化施工至后期质量监测与维护的全过程，各环节紧密相连，为道桥奠定了坚实的基础。该技术凭借对多样地质条件的良好适应性、施工过程的环保特性及对结构稳定性的可靠保障，已成为市政道桥建设的中坚力量。然而，技术发展永不停歇，面对未来工程需求的复杂多变，仍需不断细化钻孔灌注桩工艺、强化质量控制体系，并融合新兴科技力量，深入挖掘其应用潜力，以期在市政道桥工程不断升级的征途中续写技术辉煌，推动城市交通向更安全、更高效、更智能的方向迈进。

参考文献：

- [1] 陆海涛. 钻孔灌注桩施工技术在市政道桥工程中的实践研究[J]. 四川建材, 2024, 50(11): 187-189.
- [2] 杨普军. 钻孔灌注桩施工技术在市政道桥工程中的应用[J]. 四川建材, 2022, 48(01): 129-130.
- [3] 范传伟. 钻孔灌注桩技术在道桥工程施工中的应用分析[J]. 运输经理世界, 2020(16): 81-82.
- [4] 贺淑萍. 探究钻孔灌注桩技术在道桥工程施工中的应用[J]. 四川建材, 2021, 47(08): 141-142.
- [5] 刘宝军. 钻孔灌注桩技术在道桥工程施工中的应用研究[J]. 科学技术创新, 2020(22): 133-134.