

市政工程钻孔灌注桩施工技术

张石伟

沧州市市政工程股份有限公司 河北 沧州 061000

摘要：钻孔灌注桩是市政道路、桥梁基建核心桩基工艺，适配城区复杂地质、狭小场地及密集构筑物施工工况。本文结合城区施工特殊性，剖析桩基工作原理、桩型分类与前期勘察要点，梳理场地布设、成孔护壁、清孔钢筋笼安装、水下混凝土灌注全流程核心技术，针对塌孔、断桩、桩位偏移等通病制定防控方案，结合实际工程验证工艺成效，同步落实安全环保管控，优化传统施工工艺，助推市政桩基高质、绿色、高效施工。

关键词：市政工程；钻孔灌注桩；施工技术

引言：现阶段市政基建规模持续扩容，城区老旧管线密布、软土流沙地质频发、施工空间受限，大幅提升钻孔灌注桩施工难度，传统施工易引发塌孔、周边构筑物沉降、泥浆污染等问题。桩基作为市政构筑物承重核心，施工质量直接决定道路桥梁服役寿命与施工安全。为贴合城区工期、环保、文明施工要求，本文结合现场工况优化全套施工技术，破解复杂场地施工痛点，为同类城区市政桩基工程提供标准化施工参考。

1 市政钻孔灌注桩基础理论及施工工况分析

1.1 钻孔灌注桩基础工作原理与桩型分类

(1) 钻孔灌注桩竖向承载、侧向支护工作机理。竖向承载层面，桩体依托桩身侧摩阻力、桩端持力层端阻力双重作用，承接上部桥梁、道路结构竖向荷载，将荷载逐层传导至深层稳定岩层，削弱地基沉降形变；侧向支护工况下，桩体依托自身刚度与土体嵌固作用，抵挡基坑、路基侧向土压力与水压力，约束边坡土体位移，规避城区基坑坍塌、路基滑移风险。(2) 市政工程常用钻孔灌注桩类型划分。结合施工工艺分为正循环、反循环钻孔灌注桩、旋挖灌注桩；按桩体功能分为承压工程桩、基坑支护桩、抗拔桩；按桩径分为小直径围护桩、中大直径主体结构桩，适配市政多元施工需求^[1]。(3) 不同桩型适配市政道路、桥梁、管网工程工况。旋挖灌注桩成桩快、扰动小，适配城市桥梁主墩承重桩基；小直径支护灌注桩适配道路拓宽、管网开挖基坑围护；反循环灌注桩适配深层软土、砂砾地质，多用于下穿管网重载道路桩基施工。

1.2 市政工程桩基施工特殊性分析

(1) 城区施工场地狭小、周边构筑物密集特点。市政项目多坐落建成城区，施工围挡范围受限，机械设备

布设、渣土堆放空间不足；紧邻居民楼、老旧桥梁、市政管线构筑物，施工振动易引发周边结构开裂、沉降隐患。(2) 地下管线、地下水、复杂地质施工制约因素。城区地下给排水、电力、通信管线错综复杂，无规律排布易引发钻孔破损管线事故；浅层潜水、承压水易诱发孔壁塌孔；场地杂填土、淤泥质软土、流沙层叠加，大幅提升成孔施工难度。(3) 市政工程工期、环保、文明施工管控要求。市政民生工程工期刚性约束强，需贴合道路通车、管网投用节点施工；城区严控泥浆乱排、扬尘、施工噪音，需落实降噪、泥浆闭环处置、渣土全覆盖管控，满足城区文明施工标准。

1.3 施工前期勘察与图纸复核要点

(1) 施工现场地质勘察数据梳理分析。整合岩土勘察报告，研判土层分布、承载力参数、岩层埋深，核定桩端持力层选型，预判流沙、软土缩径等地质病害，提前优化成孔施工工艺。(2) 地下管线、老旧构筑物摸排勘测。结合管线台账配合雷达探测、人工探沟复核，标注管线埋深、走向及老旧基础边界，划定桩基钻孔避让区域，规避交叉施工冲突。(3) 施工图纸会审、桩基参数复核优化。联合多方开展图纸会审，复核桩长、桩径、钢筋笼配筋、桩顶标高参数；结合现场实测地质、管线数据，微调桩基点位与埋深，兼顾结构安全与现场施工可行性。

2 市政工程钻孔灌注桩核心施工工艺流程与技术要点

2.1 施工前期准备施工技术

(1) 施工场地平整、围挡布设与设备选型进场。结合城区狭小施工场地条件，清理地表建筑垃圾、杂填土与杂草，采用碎石分层碾压夯实地面，消除设备沉降隐患；沿施工红线布设装配式降噪围挡，配套喷淋

降尘装置,隔离施工区与城市道路、居民区。结合现场地质、桩径需求选型设备,软土、普通黏土地质选用旋挖钻机,砂砾石、中风化岩层选用回旋钻机,同步配套泥浆罐、吊装设备、渣土运输车有序进场,完成设备调试与安全校验。(2)桩位测量放线、标高定位精准管控。依托市政道路原有水准点、坐标控制点布设施工控制网,采用全站仪开展桩位精准放样,打入钢筋标记桩心点位;使用水准仪复核场地基准标高、桩底设计标高与桩顶预埋标高,考虑后期施工沉降、混凝土浮浆预留冗余标高。放样完成后开展双人复核、监理验收,规避桩位偏移、标高偏差问题,保障桩基排布符合桥梁、道路结构受力设计要求^[2]。(3)泥浆配比制备、护壁材料预处理施工。依托勘察地质数据调配护壁泥浆,粉质黏土、淤泥地层选用高黏度原生黏土泥浆,流沙、承压水地层掺入纯碱、纤维素优化泥浆性能,控制泥浆比重、黏度、含砂率达标。提前筛分黏土原料、去除杂质,就地密闭泥浆池分区布设储浆、沉渣区域,提前完成泥浆静置膨化处理,提升孔壁支护能力,预防城区复杂地层钻孔塌孔、缩径病害。

2.2 中成孔与护筒埋设施工技术

(1)钢护筒选型、埋设固定施工工艺。市政桩基选用厚度4-6mm热轧钢制护筒,常规桩型护筒直径大于桩径100mm,城区临水、软弱地层加长护筒长度。开挖基坑后垂直下放护筒,校正垂直度后四周回填黏土分层夯实,护筒高出地表30cm、高于地下水位1.5m,阻隔地表积水、地表杂土涌入桩孔,稳固孔口结构。(2)回旋钻、旋挖钻成孔差异化施工技术。回旋钻机适配深部硬土、岩层地质,低速匀速钻进、循环排渣,施工扰动小、适配重载桥梁桩基;旋挖钻机采用斗式钻斗取土,干法、湿法均可施工,成孔速度快、渣土外运便捷,适配城区工期紧张道路、管网支护桩基。城区紧邻构筑物施工优先选用旋挖工艺,降低施工振动对周边老旧管线、建筑扰动。(3)孔深、孔径、垂直度同步检测控制。钻进过程每两米开展一次参数检测,利用测径仪管控孔径,杜绝缩径、扩径问题;依托钻机垂直度仪表实时纠偏,将桩身垂直度偏差控制在1%以内;达到设计标高后复核实际孔深,扣除孔底沉渣厚度,保证桩基嵌固深度满足市政结构承载力设计标准^[3]。

2.3 清孔、钢筋笼安装施工技术

(1)一次清孔、二次清孔标准化施工流程。一次清孔依托钻机钻杆循环置换泥浆,排出粗颗粒钻渣,完成初度沉渣清理;钢筋笼、导管下放完毕后开展二次清孔,置换孔内劣质泥浆,严控孔底沉渣厚度,承重桩基

沉渣厚度 $\leq 50\text{mm}$,支护桩沉渣厚度 $\leq 100\text{mm}$,达标后方可开展混凝土灌注施工。(2)钢筋笼工厂加工、现场吊装对接工艺。钢筋笼采用工厂标准化分段加工,保证主筋间距、箍筋焊接质量,规避现场露天加工锈蚀、尺寸偏差问题;城区受限场地采用两点吊装工艺,慢速起吊、避免钢筋笼弯折变形,分段钢筋笼现场采用单面搭接焊焊接,焊缝饱满无夹渣,焊接完成降温后再下放,保障整体结构强度。(3)钢筋笼居中定位、保护层厚度管控措施。沿钢筋笼纵向每间隔2m布设环形混凝土垫块,均匀排布定位垫块;下放完成后加装定位吊筋固定钢筋笼位置,杜绝钢筋笼偏位、贴壁问题,将桩基混凝土保护层厚度控制在50mm,满足市政桩基耐久性、抗腐蚀施工要求^[4]。

2.4 水下混凝土灌注闭环施工技术

(1)导管密封性检测、导管下放安装工艺。选用钢制拼接灌注导管,施工前开展水压密闭试验,排查导管渗漏、开裂缺陷;按孔深分段拼接导管,垂直下放至距孔底30-50cm位置,精准把控导管埋置基础高度,防止孔底沉渣堵塞导尿管口。(2)首批混凝土封底、连续灌注施工管控。计算首批混凝土浇筑方量,保障一次性完成导管底端封底,杜绝泥水混入混凝土内部;全程不间断连续灌注作业,严控混凝土坍落度,规避断桩、夹泥病害,适配市政桩基永久性结构施工质量要求。(3)桩顶标高控制、导管匀速拔管技术要点。灌注阶段实时监测混凝土液面高度,把控导管埋深维持在2-6m区间,匀速缓慢拔管,杜绝快速拔管造成断桩;超灌0.5-1.0m消除桩顶浮浆层,精准控制成品桩顶设计标高,后期凿除浮浆后匹配上部墩柱、路基承台施工衔接需求。

3 市政工程钻孔灌注桩施工质量通病防控、安全管控与工程应用案例

3.1 常见施工质量缺陷及防控技术措施

(1)塌孔、缩径病害成因及市政工况防控方案。城区淤泥质土、流沙层、承压水地层易引发孔壁失稳塌孔,钻进速率过快、泥浆指标不达标、护筒埋设偏浅是核心诱因。结合城区施工工况,优化泥浆比重与黏度,加长钢护筒穿透软弱土层,放缓旋挖钻机钻进速度,暂停施工时保持孔内泥浆水位,针对道路基坑毗邻桩基增设侧壁加固措施,从源头规避塌孔、桩身缩径问题。(2)断桩、夹泥、桩身混凝土密实度不足整改技术。导管拔管过快、灌注中断、泥浆杂质混入易造成夹泥、断桩,混凝土坍落度失控、灌注流速不均会降低桩身密实度。施工中保持混凝土连续灌注,严控导管埋深,杜绝中途停工;出现浅层缺陷采用开挖破除后重新

接桩处理,深层轻微缺陷采用高压注浆补强,提升桩身整体性与混凝土密实度。(3)桩位偏移、承载力不达标优化处理措施。前期放线偏差、钻机基座沉降、持力层未到位引发桩位偏移、桩基承载力不足。施工前复测桩位坐标,夯实钻机基础防止机身偏移;若桩基偏移量较小微调上部承台结构,承载力不达标可补加辅助桩基、加深桩底嵌固深度,匹配桥梁、道路桩基竖向承载设计标准。

3.2 市政施工现场安全与环保施工管控

(1)深孔作业、机械吊装施工安全管控要点。市政桩基成孔深度大、场地狭窄,深孔易发生坠物、人员坠落事故,钢筋笼吊装易碰撞围挡与设备。桩孔开挖后布设防护护栏与警示标识,夜间加装警示灯;规范吊装作业半径,划定机械施工禁区,持证上岗作业,大风、降雨天气停止吊装与深孔施工,落实人机分流管控。(2)施工泥浆、施工扬尘城区环保处理工艺。城区施工禁止泥浆直排、扬尘扩散,依托密闭泥浆池实现泥浆循环利用,废弃泥浆经絮凝沉淀、脱水固化后外运合规处置;施工围挡布设喷淋系统,渣土、砂石全覆盖密闭堆放,钻机施工配套吸尘装置,契合城区市政工程环保文明施工要求^[5]。(3)周边道路、既有管线防护施工措施。施工前锁定地下水电、通信管线及老旧道路路基,桩基钻孔远离管线核心区域,采用低振动旋挖施工工艺;道路侧设置减震缓冲垫层,严控施工沉降,实时监测管线位移与路面沉降数据,超标立即停工整改,保障既有市政设施正常运行。

3.3 实际市政工程项目案例应用分析

(1)项目工程概况、地质及施工重难点。选取某市城区跨河桥梁市政桩基工程,项目包含62根桥梁钻孔灌注桩,场地临近市政主干道与居民小区,地下管线错综复杂;场地上部为杂填土、淤泥层,下部为中风化砂岩,地下水水位偏高,场地狭小、工期紧张、管线防护为核心施工重难点。(2)本论文优化施工技术现场落地应用。项目采用前期精准管线摸排、分级泥浆护壁工艺,选用低扰动旋挖成孔技术,落实二次清孔、匀速混凝土灌注工艺,配套扬尘、泥浆闭环处理方案,同步落实质量通病前置防控措施,适配城区复杂施工

工况。(3)桩基检测结果与施工效益分析。项目完工后开展低应变、超声波及承载力抽检,桩基一类桩占比100%,无质量缺陷;施工工期缩短12%,零管线破损、零环保投诉,兼顾施工质量、城区施工安全与民生效益。

3.4 施工技术优化与未来发展趋势

(1)现有传统施工技术优化改进策略。针对传统工艺塌孔风险高、泥浆污染大、管控滞后问题,优化分段成孔、分级护壁施工工艺,改良清孔与灌注工序;优化人机排布方式,适配城区狭小场地施工,简化施工流程,降低人工测量误差与病害整改成本。(2)智能化、绿色化桩基施工技术发展方向。未来市政桩基朝着智能监测、绿色施工方向发展,依托智能传感设备实时监测桩身垂直度、孔壁稳定性;推广干法旋挖、泥浆无害化循环利用技术,结合BIM技术优化桩位排布,实现桩基施工数字化管控、低碳化施工。

结束语

本文结合城区市政施工独有约束条件,整合钻孔灌注桩全流程施工工艺,厘清工况痛点、技术要点与质量安全管控逻辑,依托实体工程印证优化工艺可行性,有效解决城区桩基塌孔、管线破损、环保超标等难题。本次研究兼顾施工质量、工期、安全与城区文明施工要求,完善了城区市政桩基施工体系,后续可结合智能监测、绿色施工技术迭代工艺,进一步适配高密度城区市政基础设施建设需求。

参考文献

- [1]王瑞敏.建筑与市政工程钻孔灌注桩施工技术探讨[J].建筑与装饰,2023,6(17):160-162.
- [2]刘建华.市政工程钻孔灌注桩施工技术浅析[J].中国科技投资,2024,10(1):121-123.
- [3]曹渐.市政工程中市政工程钻孔灌注桩施工技术研究[J].世界家苑,2021,8(16):33-36.
- [4]吴景峰.市政工程钻孔灌注桩施工技术的应用[J].建筑工程技术与设计,2024,21(13):178-182.
- [5]林焕平.市政工程钻孔灌注桩施工技术的应用[J].建筑工程技术与设计,2025,35(20):330-334.