

旋挖钻孔灌注桩施工技术在市政道路桥梁工程中的应用

文 / 程元康 济南黄河路桥建设集团有限公司

王 晗 济南黄河路桥建设集团有限公司

摘要：市政道路桥梁工程是城市基础设施的关键部分，对城市交通、经济及形象提升有着重大意义。旋挖钻孔灌注桩技术凭借着成孔效率高、适应性强、对周边环境影响小等优势，在市政道路桥梁工程中得到了很广泛的应用，本文详细阐述了旋挖钻孔灌注桩施工技术的作业流程、技术优势，深入分析了其在市政桥梁工程施工各阶段的应用要点，希望推动市政道路桥梁工程建设的顺利进行，为城市发展提供坚实的基础设施保障。

关键词：市政道路桥梁工程；旋挖钻孔灌注桩技术；施工应用；质量控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.061

引言

市政道路桥梁工程作为城市基础设施建设的重要组成部分，对于促进城市交通的顺畅运行、推动区域经济发展以及提升城市整体形象具有十分关键的作用。在各类的桥梁工程建设中，基础施工质量直接关乎桥梁结构的稳定性与安全性。而旋挖钻孔灌注桩技术凭借着其自身独特优势，近年来在市政道路桥梁工程领域得到了广泛的应用。旋挖钻孔灌注桩技术具有成孔效率高、适应性强、对周边环境影响小等特点，能够有效地满足市政工程在复杂地质条件下以及城市环境限制下的施工要求，深入研究旋挖钻孔灌注桩施工技术在市政道路桥梁工程中的应用，对于进一步提升工程质量、缩短施工周期、降低施工成本以及保障工程的顺利推进具有重要的现实意义。

一、旋挖钻孔灌注桩技术分析

旋挖钻孔灌注桩技术主要是以旋挖钻机为主要施工设备，通过底部带有活门的桶式钻头回转破碎岩土，直接将其装入钻斗内，然后再由钻机提升装置和伸缩钻杆将钻斗提出孔外卸土，如此循环往复，直至钻至设计深度，放入钢筋笼、浇筑混凝土成桩。旋挖钻孔灌注桩技术的工艺流程主要包括场地平整、测量放线、埋设护筒、钻机就位、钻进成孔、清孔、钢筋笼制作与安装、混凝土灌注等环节。旋挖钻孔灌注桩技术的作业流程精密高效，其中旋挖钻机的动力头可以凭借强大扭矩，驱动钻杆及适配的钻头高速的旋转，其特殊设计的切削刃与岩土紧密地接触，将岩土逐步地切削成细碎的块状，破碎效果较好，以黏土或粉质黏土地层为例，旋挖钻机选用带有锋利切削齿的钻头，在高速旋转下，能快速、高效地切削土体，极大地提高了成孔效率，为后续钢筋笼吊放与混凝土灌注工作奠定坚实基础。

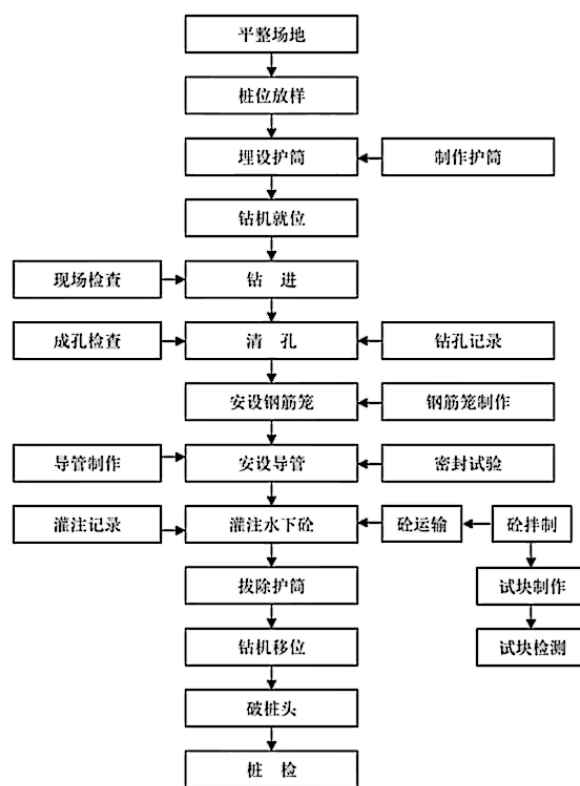


图 1 旋挖钻孔灌注桩技术流程

二、旋挖钻孔灌注桩在施工过程中的技术优势

（一）成孔效率高

旋挖钻机具有强大的动力系统和高效的钻进装置，其钻进速度相比传统的钻孔方式有着显著的提升，在一般的土层中，旋挖钻机每小时的钻进深度可达数米甚至更高。在市政道路桥梁工程中，可以使用旋挖钻机进行钻孔作业，单桩成孔时间相比冲击钻效果提升较大，施工效率显著提升，也缩短了整个工程的工期。

（二）适应性强

旋挖钻孔灌注桩技术无论是黏土、砂土、粉质土，还是含有一定孤石、风化岩等多种复杂地质条件都能适

应,其也可以通过更换不同类型的钻头来进行有效的钻进作业。如在桥梁工程场地存在砂卵石地层,通过采用特殊的嵌岩钻头,旋挖钻机顺利完成了钻孔施工,保证工程的顺利进行。

(三) 施工质量可靠

旋挖钻机在钻进过程中,为有效保证桩孔的垂直度和孔径符合设计要求,可以通过先进的自动控制系统,精确控制钻杆的垂直度和钻孔深度。同时,在清孔过程中能够较为彻底地清除孔底沉渣,为后续的钢筋笼吊放和混凝土灌注提供良好的条件,确保灌注桩的施工质量,在已建成的众多市政桥梁中,采用旋挖钻孔灌注桩技术的桥梁基础在长期使用过程中表现出了良好的稳定性和承载能力。

(四) 对周边环境影响小

在城市市区等对噪音和环境要求较高的区域进行市政道路桥梁施工时,相比传统的冲击钻等施工方法,使用旋挖钻孔灌注桩施工的市政桥梁产生的噪音相对较小,且泥浆的排放量少,能够有效减少对周边居民生活和工作环境的干扰,进而降低环境污染。

三、旋挖钻孔灌注桩技术在市政桥梁工程中的应用

(一) 施工准备阶段

施工准备阶段,施工团队应先确定材料堆放区的位置,并依据材料种类与使用频率进行划分,可将常用的钢筋、水泥等主材放置在靠近运输通道且便于取用的位置,同做好防潮、防锈等防护措施,对于钢筋笼加工区应配备弯曲机、切断机等专业的钢筋加工设备,同时为保障钢筋笼加工的精准度与效率,应设置操作平台。测量环节关乎整个工程的桩位精准度,测量人员应运用高精度的全站仪,通过多次复测与校准,确定每根桩的桩位坐标。并在桩位确定后,设置醒目的标识,采用坚固的木桩并在顶部钉上铁钉,同时在周围撒上石灰粉,以清晰界定桩位范围,避免施工过程中出现桩位混淆的情况。

对于施工现场,应首先对场地进行平整,清除场地内的杂草、垃圾、障碍物等,将场地平整至设计标高,确保旋挖钻机能够平稳作业,根据施工现场的地形和周边环境,合理设置施工便道,保证施工材料和设备的顺利运输,测量放线工作由专业的测量人员采用全站仪进行,根据桥梁的设计图纸,在现场精确测放出桩位中心,并用木桩或钢筋打入地面作为标记,同时在桩位中心四周设置护桩,以便在后续施工过程中对桩位进行复核,测量完成后,对桩位进行编号记录,并做好保护措施,防止桩位标记被破坏。材料准备方面,可选用先进的旋挖钻机型号,确保具有强大的扭矩和提升能力,能够满足本工程桩径和桩长的施工要求。同时,配备配套的泥浆泵、电焊机、起重机等设备,并对所有设备进行了全面的检查和调试,确保设备性能良好,能够正常运行。

护筒埋设是保障孔口稳定与泥浆循环的关键步骤。施工人员采用挖埋法进行护筒埋设,其方法是先用小型挖掘机挖出合适尺寸的孔洞,随后将钢护筒缓缓放入孔内,在护筒的周围,要选用优质的黏土进行分层夯实,在每铺填一层黏土后,便使用小型夯实机械进行夯实作业,每层夯实厚度控制在20-30cm,确保护筒埋设的稳定性与垂直度误差控制在极小范围内,从而为后续的钻进作业提供坚实基础。

(二) 钻进成孔阶段

钻进成孔过程中,地层条件复杂多变,施工团队应依据不同地层特性,选用适配钻头。普通旋挖斗的选择应有较强的切削能力,能在杂填土和粉质黏土层快速地将土体切削成碎块并带出孔外,确保高速钻进。当进入砂层时,由于砂层土质松散,极易出现塌孔现象,施工方可采用带有护壁功能的钻头,在钻进的同时,能够在孔壁形成一层稳定的泥皮,从而起到护壁作用。与此同时,也应合理调整泥浆的配合比,适量增加膨润土等添加剂,提高了泥浆的比重至1.15-1.25g/cm³,黏度控制在18-22s,以此来增强泥浆对孔壁的压力,有效地防止塌孔。当遭遇中风化岩层时,施工难度显著增加。应采用高强度的合金材料制成嵌岩钻头,提升其破岩能力。在钻进过程中,可加大钻压至8-12MPa,提高转速至30-40r/min,使钻头缓慢但稳定地切入岩层之中。施工人员应密切关注钻机扭矩、进尺速度、钻压变化等各项参数,同时借助孔内摄像设备实时观察孔内情况。如果钻进过程中,突然出现钻杆晃动剧烈的情况,则应判断其原因,立即采取相应的应对措施,停止钻进作业,并向孔内回填预先准备好的黏土和片石混合物,回填高度超出坍塌部位0.5-1.0m,待回填物静置24小时,孔壁稳定后,重新进行钻进。在钻进过程中,每钻进2-3m,及时清理钻斗内的钻渣,并记录钻进深度和钻进时间,同时,密切观察钻机的工作状态和孔内情况。当旋挖钻机钻进至设计深度后,对成孔质量进行严格检查,首先,采用测绳测量孔深,确保孔深不小于设计桩长。然后,使用孔径检测仪检测孔径,保证孔径不小于设计桩径。同时,再次检查孔的垂直度,确保垂直偏差符合要求。此外,还对孔底沉渣厚度进行检测,采用沉渣测量仪进行测量,要求孔底沉渣厚度不大于50mm。若检测发现某项指标不符合要求,及时进行处理,直至成孔质量满足设计和规范要求。

(三) 清孔阶段

当钻孔精准达到设计深度后,便正式步入至关重要的清孔工序。在本工程中,可选用气举反循环清孔的方法,通过作为核心动力源的空压机持续向孔内注入强大的高压空气,高压空气在导管内与泥浆充分混合,由于空气的低密度特性,二者混合后形成密度显著小于孔内

泥浆的气液混合物。在这一密度差所产生的强大压力差驱动下,孔内原本沉积的泥浆和沉渣被强力搅动,进而形成反循环,进而沿着导管源源不断地排出孔外。在清孔的整个过程中,技术人员应借助各类专业检测仪器,对孔底沉渣厚度和泥浆指标展开不间断的严密检测。沉渣厚度检测仪运用先进的超声波反射原理,精准测量孔底沉渣的实际厚度,其仪器反馈的数据显示沉渣厚度可以达到小于设计所要求的50mm。与此同时,泥浆的比重、黏度、含砂率等关键指标也应及时关注,相关技术人员可以通过调整泥浆的配合比、添加适量的添加剂等方式,将泥浆比重精细控制在 $1.03\sim 1.10\text{g}/\text{cm}^3$ 的理想区间,黏度巧妙调整至16-20s,含砂率成功降低至2%以内。只有当沉渣厚度以及泥浆的各项指标均完全符合严格的规范要求后,才能停止清孔作业,从而为后续钢筋笼的顺利吊放以及高质量的混凝土灌注工作营造优良的施工条件,确保整个灌注桩施工流程的连贯性与稳定性。

(四) 钢筋笼制作与吊放阶段

钢筋笼应在专门规划的加工区内进行制作,加工区严格按照标准化的流程进行管理。确保焊接质量高,钢筋焊接应采用单面焊工艺,焊接过程中,焊缝长度严格控制在不小于 $10d$ (d 为钢筋直径),焊缝宽度、高度以及表面平整度均符合规范标准,焊接完成后,确保焊接质量无缺陷,则采用焊缝探伤仪对部分焊缝进行抽检。为了保证钢筋笼在桩孔内的保护层厚度均匀一致,施工人员可在钢筋笼外侧每隔2m设置一组混凝土垫块,每组垫块呈梅花形布置,且垫块强度高于桩身混凝土强度。钢筋笼制作完成后,需采用25t吊车进行吊放作业,在吊放前,对吊车的各项性能进行全面检查,以此确保吊车运行状态良好。吊放过程中,安排专业指挥人员,通过对讲机与吊车司机保持着密切的沟通,缓慢下放钢筋笼,下放速度控制在 $0.3\sim 0.5\text{m}/\text{min}$,防止钢筋笼因下放过快而碰撞孔壁。当钢筋笼下放到位后,采用钢筋支撑将其固定在孔口位置,避免钢筋笼在混凝土灌注过程中发生位移,进而确保钢筋笼的位置精准无误。

(五) 混凝土灌注阶段

混凝土应由距离施工现场最近的搅拌站集中供应,搅拌站严格按照设计配合比进行混凝土生产,对原材料的质量进行严格的把控,每批次水泥、骨料等均进行抽样检验。混凝土采用混凝土罐车运输至施工现场,在运输过程中,罐车要持续地低速转动,以确保混凝土的和易性与流动性。在灌注前,要对导管进行全面的水密性试验。其方法是将导管连接成整体后,封闭一端,向导管内注水至满,然后施加 $0.6\sim 1.0\text{MPa}$ 的压力,稳压15-20min,观察导管有无漏水、变形等情况,只有在水密性试验合格后,导管才能投入使用。在灌注过程中,首批混凝土的灌注量需经过精

确的计算,确保能够将导管底部埋入混凝土中1m以上,从而有效地隔绝泥浆与混凝土的接触。随着混凝土的不断灌注,技术人员应通过测量锤实时地测量着混凝土的灌注高度,测量频率不低于每灌注一车混凝土测量一次。与此同时,逐渐提升导管,但始终将导管埋深控制在2-6m之间,避免导管拔出混凝土面或埋深过深导致灌注不畅。当混凝土灌注至设计标高以上 $0.5\sim 1.0\text{m}$ 时,停止灌注,以保证桩顶混凝土的质量,避免因桩顶混凝土强度不足而影响桩身整体承载能力。

结语

旋挖钻孔灌注桩技术在市政道路桥梁工程中展现出了显著的优势与重要的价值。其成孔效率高、适应性强、施工质量可靠且对周边环境影响小等优势,有效解决了市政工程在复杂地质与城市环境下的施工难题,有力地推动了城市基础设施建设。在施工过程中,塌孔、桩位偏差以及混凝土灌注质量等问题不容忽视,需要施工单位严格把控各个环节,依据不同的地质条件和施工要求,合理地调整施工工艺与参数,强化质量管控,提升施工人员的专业素养,以保障工程顺利地推进。随着技术的持续发展与创新,旋挖钻孔灌注桩技术有望在未来市政道路桥梁工程中进一步优化应用,为城市建设提供更坚实的基础支撑,助力城市交通与经济的可持续发展。

参考文献

- [1] 陈毅勇. 市政道路桥梁工程旋挖钻孔灌注桩施工技术[J]. 居业, 2025, (04): 1-3.
- [2] 何艳龙, 赵付强, 许晓轩. 超厚砂层地质条件下旋挖钻孔灌注桩施工技术[J]. 施工技术(中英文), 2025, (07): 102-105.
- [3] 张晓飞. 市政道路桥梁工程旋挖钻孔灌注桩施工技术[C]// 重庆市大数据和人工智能产业协会. 人工智能与经济工程发展学术研讨会论文集(一). 义乌市聚佳建设工程有限公司; 2025: 896-899.
- [4] 李云佳. 市政道路桥梁工程旋挖钻孔灌注桩施工技术[C]// 重庆市大数据和人工智能产业协会, 西南大学, 重庆工商大学, 重庆建筑编辑部. 人工智能与经济工程发展学术研讨会论文集. 浙江永正市政园林有限公司; 2025: 399-402.
- [5] 李文炳. 复杂地层旋挖钻孔灌注桩施工技术分析[J]. 安徽建筑, 2025, (03): 54-56.
- [6] 井正洋. 岩土工程中泥浆护壁钻孔灌注桩施工技术的应用[J]. 四川建材, 2025, (03): 190-192.
- [7] 高增杰. 旋挖钻孔灌注桩施工技术的应用[J]. 四川水泥, 2025, (02): 158-160+166.
- [8] 邵洋. 岩溶地质条件下旋挖灌注桩基础施工技术[J]. 工程建设与设计, 2025, (02): 125-127.