钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁工程中的应用

胡小敏
（浙江顺合建设有限公司，浙江　衢州　324000）

【摘　要】随着社会的发展，公路桥梁成为城市交通体系的重要组成部分，建设数量不断增加。钻孔灌注桩施工技术是公路桥梁施工中的基础工艺，有助于增强桥梁基础结构的荷载能力，满足公路桥梁后期安全运营的需求。但是在应用钻孔灌注桩施工技术时，还应结合公路桥梁项目的实际情况，合理设计钻孔灌注桩施工方案，同时加强施工环节的质量控制，确保项目质量符合国家公路桥梁建设的整体需求。

【关键词】钻孔灌注桩；施工技术；公路桥梁；应用

引言：

交通运输业是我国经济发展的重要产业支柱，公路桥梁工程作为交通运输体系不可或缺的组成部分，对地基的牢固性和承载力有着极高的要求，在施工中若是不能及时处理软土地基及相关问题，则会对公路桥梁工程质量和安全造成影响。经研究表明，运用钻孔灌注桩技术可以解决许多施工问题，显著提升地基的承载能力，为人们的安全出行提供保障。所以，施工单位必须重视对这一关键技术的研发和应用，结合工程项目具体情况，严格参照相关技术规范标准及施工要求，进一步明确钻孔灌注桩施工的步骤与流程，做好施工质量控制工作，尤其要加强原材料、设备、技术的管控，保证钻孔灌注桩施工质量，提高公路桥梁工程的稳定性和安全性。

一、钻孔灌注桩施工优势

钻孔灌注桩是指在地下钻孔后注入混凝土浆液或灌注预制混凝土桩体，从而形成坚固的桩基，支撑建筑物或结构。钻孔灌注桩施工具有诸多优势：第一，钻孔灌注桩能够承受较大的垂直与水平荷载，是支撑大型公路桥梁结构的理想选择。第二，由于钻孔灌注桩深入地下并与土壤紧密结合，其整体稳定性较高，具有良好的抗震性能，对于处于地震活跃区域的公路桥梁来说尤为重要。第三，钻孔灌注桩采用机械化施工方式，施工效率高，且不受天气与季节的限制。相较于传统的桩基施工方法，钻孔灌注桩能够缩短施工周期，加快工程进度。第四，钻孔灌注桩适用于各种地质条件，包括软弱土层、淤泥层或岩石地层，无论是在河流、湖泊、沼泽等特殊环境，还是在高海拔山区，都能够有效施工。第五，钻孔灌注桩施工过程中产生的噪声、振动与尘土较少，对周围环境影响小，在城市或敏感地区的公路桥梁工程中尤为重要，可减少对居民和环境的干扰。

二、钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁工程中的应用

（一）项目概况

某公路桥梁工程路线全长 23km，设计行车速度为 60 ～ 120km/h，桥梁全长 1.78km，共设有 3 座桥梁，桥面宽度设计为 25m，桥梁上部结构设计为混凝土箱梁，下部结构为钻孔灌注桩基础结构。连续箱梁的单箱顶板宽为 13.5m，顶板厚度为 0.3mm，底板宽度为 6.82m，厚度 0.3m。箱梁从桥梁跨中铺设到桥梁主墩中心，跨中梁高 2m。

（二）施工准备

第一，正式施工前，整平、清理场地，复测标高，确认钻孔灌注桩施工设计方案，明确所需的机械设备、工艺参数。该项目采用 2 台大孔径旋挖钻机、3 台 HLS150 混凝土搅拌机、运输车 8 辆、装载机 3 台、发电机和吊机各 1 台，使用前分别检查其使用性能，合格后方可入场使用。另外，钻孔在应用大孔径旋挖钻机时应配备电脑、互联网设备，用电脑控制设备，以确保施工精度。

第二，针对河流区域的桥梁桩基工程，施工过程中需提前在桩基位置筑岛，为钻孔灌注桩施工创造条件。根据该桥梁项目的实际要求，项目中的筑岛宽度是在桥梁宽度的基础上两侧分别增加 5m，筑岛边坡坡度设计为 1 ： 1.75，筑岛高度在河面高度以上的 1.5m 处。

第三，完成以上基础准备工作后，全面勘测施工场地，测量定位桩基点，确定施工位置。测量工具为全站仪，该设备可精准放样，但施工人员需要在放样结束后记录好测量护筒标高，以及钻孔灌注桩施工所需的基础数据。

（三）钻孔

第一，钻机就位、固定，进行钻进施工。一般在钻孔达到 3 ～ 5m 后，需要对桩孔进行复测，以保证桩孔位置准确，在后续施工中需每钻进 4 ～ 5m 进行

一次复核。第二，应确保钻进施工连续进行，避免中途中断，且需做好泥浆观测与进尺控制。

（四）终孔、清孔

第一，孔位与倾斜度。孔径、孔深应符合设计终孔条件，群桩的孔中心位置偏差不得大于 10cm，单排桩的孔中心位置偏差不得大于 5cm。第二，清孔。一般采用抽浆清孔法进行清孔，确保孔内沉淀物厚度不大于 5cm，泥浆指标比重≤ 1.15，黏度为 17 ～ 20s，含砂率 <2%。

（五）泥浆制备

公路桥梁钻孔灌注桩施工中，应用泥浆护壁技术可以有效提升桩基施工质量。在钻井时，结合工程具体情况进行分析，确定钻井方法或是根据地质条件情况，制备不同比重的泥浆。在泥浆制备过程中，要准确控制泥浆的组成成分，其原料包括水、黏土及添加剂。一般情况下，制备用水的 pH 值应控制在 7 ～ 8，同时控制好杂质含量，密度要保持在 1.1 ～ 1.5，至于添加剂可以使用纯碱或者栲胶液等，以达到促进颗粒分散、降低粘度的效果。另外，泥浆制备中的水土比例应控制在 1 ∶ 1 左右，待制备完成后，检测泥浆的黏度与含沙量，保证符合工程施工要求。

（六）钢筋笼安装

钢筋笼是公路桥梁施工中钻孔灌注桩的重要结构，其施工设计参数、材料质量会直接影响钻孔灌注桩的成桩质量。

因此，还应在充分考虑公路桥梁施工设计要求的基础上，制定施工参数。该项目中，钢筋笼焊接使用 5D 双面焊技术，保护层厚度大于 76mm，钢筋主筋间距、箍筋间距的误差分别控制在 ±10mm、±20mm 以内，钢筋笼长度误差、钢筋骨架直径误差分别控制在 ±10mm、±5mm 以内。

另外，每个 4m 钢筋笼笼体外设有横向、纵向钢筋，主筋外设有保护层，由水泥砂浆制成的混凝土块组合而成。下放前逐节确认钢筋笼各节点的焊接情况，下放时施工人员注意缓慢下放，避免和钻孔内壁碰撞，受阻时可缓慢旋转笼体，直到钢筋笼下放到指定位置。钢筋笼入孔后，应基于钢筋笼、钻孔的设计标高，固定钢筋笼，让钢筋笼能够固定在孔口机架底盘上，孔口同时布设定位圈筋，在“十字线”中心点上，使钢筋笼顺利下放到要求位置。

（七）混凝土灌注

该项目通过导管法进行水下混凝土灌注，该方法不仅操作简便，且具有较高的适应性，是目前最常用的水下混凝土灌注方式。

导管是水下混凝土灌注的关键设备，应根据工程实际情况确定导管规格和长度，并合理布置导管，确保混凝土顺畅地注入桩基。

混凝土的配合比和搅拌质量对水下混凝土灌注效果同样有很大的影响，应选择合适的原材料，并根据工程实际情况确定配合比，同时使用合适的搅拌设备，确保混凝土搅拌均匀。

灌注过程中应合理控制灌注速度，避免过快或过慢，随着混凝土的灌注，应逐渐提升导管，确保导管始终在混凝土中埋置。

进行水下混凝土灌注前，应清理、湿润桩基，以确保混凝土能够与桩基表面良好粘结。同时，应连续进行混凝土灌注，确保成孔后 8h 内完成灌注，以免钻孔出现坍塌。

（八）桩基检测

桩身完整性能综合反映桩长及其截面尺寸、桩身材料密实程度与分布连续性，该工程采用低应变法检测成桩质量与桩体完整性。低应变法采用瞬态或稳态激振方式在桩顶激振，实测桩顶部的速度时程曲线或速度导纳曲线，通过波动理论分析或频域分析，进而评估桩身完整性。

检测过程中需选择合适的激振设备与检测设备，激振设备应能够产生足够的能量，确保在桩顶产生的振动能够传递到桩身下部，检测设备应能够准确地测量桩顶部的振动信号，并进行数据处理与分析。

激振点应选择在桩顶中心或偏心位置，以保证激振能量能够均匀地传递到桩身各部分；检测点应选择在桩顶中心或偏心位置，以及桩身下部关键部位，以获得更全面的信息。

激振信号的能量和频率范围应满足检测要求，以保证能够激发出桩身各部分的振动，采集时间应足够长，以保证能够捕捉到桩身各部分的振动信号。通过处理与分析采集到的数据，可以提取桩身各部分的阻抗、波速等参数，从而判断桩身的完整性。

（九）注意事项

第一，重视孔底沉渣厚度的测定，与实际要求不符时还应二次清孔，合格后开始灌注混凝土。第一次清孔作业时，为使钻孔底部的沉渣厚度符合要求，施工人员应结合泥浆的性能指标，将其相对密度控制在 0.5 ～ 1.1，泥浆含砂率不超过 3%，泥浆黏度保持在 16 ～ 20Pa•s。

第二，该项目采用导管法灌注混凝土，为保障灌注桩的成桩质量，施工人员应结合灌注导管与孔底距离、埋置深度、泥浆比重等影响因素的关系，严格控制每次灌注量，避免钢筋笼在混凝土灌注过程中上浮。安装导管前，还应通过“导管水密性试验”评估出最佳的灌注量，比如，该项目中混凝土的首次灌注量为 3m3，导管埋深设计为 2 ～ 6m，导管规格设计为 Φ230×2.5mm，导管之间用螺旋丝扣加固连接，以确保导管的刚度。

第三，该项目包含部分水下混凝土灌注作业，灌注过程中施工人员需要连续灌注，灌注期间可采用测绳确定实际深度，提升导管时需要逐级拆卸导管，使其埋深符合要求。因特殊情况无法连续灌注时，可通过“串点导管法”将导管的提升高度控制在 30cm，并注意孔口的返浆情况。灌注过程中严格控制灌注速度，每根桩灌注时间不得超过 8h。

第四，护筒埋设时，后期会出现脱落情况，所以为避免护筒脱落，还应严格把控护筒埋设流程、护筒材料，埋设过程中持续检测护筒稳定性。

第五，钻孔期间，孔壁会面临坍塌风险，施工人员在埋设护筒时，需要严格控制护筒埋入深度。同时，根据桩基区域的地质勘查信息，综合评估施工区域的静水压力，随后科学设计钻孔施工流程，规范施工，确保钻孔作业质量，减少坍孔危险因素。

第六，由于公路桥梁施工区域的地层结构较为复杂，钻孔时的侧壁断面会导致钻孔作业中出现卡钻、掉钻风险。因此，需要钻孔时，将弹性杆设置在邻近钻筒下方的筒口处，弹性杆长度和护筒长度一致，弹性杆可布设成栅栏状作为卡钻、掉钻时的阻拦结构，能够在施工过程中协助施工人员预防掉钻、卡钻，取出孤石。

除此之外，公路桥梁桩基工程各区域的地形变化较大时，钻孔作业时钻具会存在滑丝、钢丝绳拉扯、拉断的现象，为避免该现象，施工人员应在钻进前勘查周围土质情况，并仔细检查钻具，根据实际情况，制订钻孔方案，确认钻具质量无误后开始钻孔作业。

三、施工管理措施

（一）施工准备

在着手公路桥梁工程的钻孔灌注桩施工前，一项细致的筹备工作至关重要，旨在确保这项先进技术得以精准且高效地应用。首先，从策略层面出发，全面审视施工的各项要素，包括人力资源、机械设备、工艺流程以及建材选择等，通过精确的科学计算和严谨的计划制定，合理安排施工进度，同时，针对特定的地理环境，实施定制化的风险防控措施，如详尽的地质勘探，以准确理解实际地基条件，从而预先设定应对方案，确保施工过程的顺畅进行。其次，为确保每个施工环节都能按部就班，必须预先剖析可能遇到的技术挑战和关键节点，预先识别潜在的疏漏，通过详尽的任务分解和风险预判，避免施工遗漏和延误。同时，严格遵循施工工艺标准，强化安全防护体系，旨在防患于未然，防止安全事故的发生，以及降低对周边环境的潜在破坏，以此提升整体施工效率和质量。

（二）施工阶段把控

在公路桥梁钻孔灌注桩的建设过程中，施工管理扮演着至关重要的角色，它直接影响到技术应用的实际成效，故此对各个施工环节的掌控不容忽视。例如，要加强现场监督，确保所有施工技术得以合规执行，同时规范施工人员的操作行为。面对不利条件或突发事件，需迅速且妥善应对，防止对工程质量和进度产生不利影响。另外，预先制定应急响应计划，一旦发生意外情况，立即启动，以防止重大事故的发生。技术管理在施工过程中起着核心作用，因此，须精细进行公路桥梁路基的放样和定线，保证中轴线的精确无误，提升路基施工的质量。同时，应在路基两侧科学规划排水系统，以防地表水对路基结构造成损害，确保工程达标，并为后续的养护作业创造良好的前提条件。

（三）竣工验收

在工程项目接近尾声的验收环节，关键在于严谨的档案管理。一旦察觉任何资料瑕疵，务必立即进行修正，确保所有技术支撑文件在交付竣工项目时完备无缺。在整个施工过程中，务必积累详尽的钻孔灌注桩施工文献资料，并指派专人进行翔实现场记录，编制精密的施工日志，以此优化验收流程的顺畅度。同时，对施工产生的数据，需精确甄选并高效地录入数据库，以实现长期的数据管理和利用。

结论：

钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁工程中具有显著的应用优势。在承载性能方面，通过调整钻孔参数，形成桩群，提高了适应性和整体稳定性，适用于大规模桥梁工程；在施工效率方面，先进的机械化手段和高效的施工模式缩短了工程周期，为工程进度提供了强有力的支持；在环境友好性方面，减少土方开挖、优化原材料利用和降低施工污染，体现了可持续发展理念。钻孔灌注桩施工技术可灵活应对不同的地质条件，能够在软土、砂土或喀斯特地区提供可靠的基础支撑。

参考文献：

[1] 刘宁 . 公路桥梁的钻孔灌注桩设计与施工技术研究 [D]. 长春：长春工程学院，2020.

[2] 张锦栋 . 深厚淤泥地层超静水压力条件下超深灌注桩施工孔壁稳定性研究 [J]. 市政技术，2024，42(1)：116-123.

[3] 郭凯 . 基于钻孔桩施工技术的土木工程施工建设 [J]. 中国住宅设施，2023(12)：169-171.

[4] 武杰 . 喀斯特地区钻孔灌注桩施工工艺及承载能力研究 [J]. 工程技术研究，2023，8(24)：41-43.

[5] 闫晓新 . 钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁工程中的应用 [J]. 交通科技与管理，2023，4(22)：149-151.