

市政桥梁钻孔灌注桩施工质量控制技术研究

——以某“城中村”改造配套道路改建工程为例

杨雪明

上海瑞昆建设股份有限公司，上海 202157

DOI:10.61369/ERA.2026050009

摘要： 市政桥梁钻孔灌注桩属于关键的基础结构，它的质量好坏直接关系到桥梁的安全和耐久性。本文就钻孔灌注桩施工的质量控制展开研究，介绍了钻孔工艺、钢筋笼的制作安装以及混凝土浇筑养护等关键技术，并分析了各个工序中的质量风险点，结合浦东新区东高路道路改建工程这个案例，针对杂填土和淤泥质粘土地层的特点提出了成孔质量控制、钢筋笼制作与安装、水下混凝土浇筑的保证措施，还介绍了项目质量检测的标准及其达成的效果情况，通过全过程的技术管控可以避免出现塌孔或者断桩之类的毛病，在类似工程施工时做好质量把控方面的工作能起到一定的借鉴作用。

关键词： 市政桥梁；钻孔灌注桩；施工质量控制；技术研究

Research on Construction Quality Control Technology for Bored Cast-in-Place Piles of Municipal Bridges —Taking the Road Reconstruction Project for the Renovation of an “Urban Village” as an Example

Yang Xueming

Shanghai Ruikun Construction Co., Ltd., Shanghai 202157

Abstract： Bored cast-in-place piles for municipal bridges constitute a critical foundational structure, and their quality directly impacts the safety and durability of the bridge. This paper investigates the quality control in the construction of bored cast-in-place piles, introducing key technologies such as drilling techniques, fabrication and installation of steel reinforcement cages, and concrete pouring and curing. It also analyzes quality risk points in each process. Using the Donggao Road reconstruction project in the Pudong New Area as a case study, the paper proposes measures to ensure hole formation quality control, fabrication and installation of steel reinforcement cages, and underwater concrete pouring, tailored to the characteristics of miscellaneous fill and silty clay strata. Additionally, it introduces project quality inspection standards and the achieved results. Through comprehensive technical control throughout the process, issues such as hole collapse or pile breakage can be avoided, providing valuable insights for quality control in similar construction projects.

Keywords： municipal bridges; bored cast-in-place piles; construction quality control; technological research

引言

市政桥梁属于城市交通网络的关键节点，基础工程质量直接关系到结构的长久安全。钻孔灌注桩由于适应性强、对周边环境的影响较小，成为市政桥梁常用的桥墩基础形式之一，但是施工工艺复杂，地质状况、设备操作、材料性能等都会导致出现质量问题。目前在复杂的地层中塌孔、钢筋笼偏差以及混凝土离析等问题仍然比较突出，这些因素限制了桩体承载能力和耐久性的发展，在工程实践中本文深入研究钻孔灌注桩施工质量控制技术，以期为提高市政桥梁基础工程质量提供技术支持。

一、市政桥梁钻孔灌注桩概述及质量的重要性

市政桥梁工程里较为常见的基础构造是钻孔灌注桩，其施工流程包含地基钻孔、安放钢筋骨架等环节从而提升桩体抗拉与抗剪能力，混凝土需依照现场材料特征及设计强度要求确定配合比，并且要保证浇筑过程连续而密实，防止出现断桩或者夹泥之

类的问题，最终形成圆柱形桩体；桩体直径和长度得根据设计所承受的荷载需求以及实际地质状况加以决定，在施工过程中针对软土地层常常采用旋挖钻机进行挖掘工作，而对于硬岩地带更多会选用冲击钻机开展作业活动并保持钢筋骨架规格符合标准情况下的安装质量。

钻孔灌注桩的质素水平，直接影响着桥梁结构的安全以及正

常运行情况。它是桥梁的基础部分的关键部件之一，主要作用就是把上面建筑所承受的压力传给大地上的土壤层当中去，如果这个柱子没有足够的支撑力、不完整或者内部混杂物质量不够好，还有可能因为混凝土强度不符合标准要求而使钢筋保护厚度太薄等问题发生时，则轻则会导致基础下沉和倾斜现象出现；严重一点就会造成整个桩体崩裂开裂甚至坍塌掉下来的情况，在这种情况下不仅会给过往行人带来危险还会缩短这座桥本身的寿命时间，并且使得今后需要花费更多钱来维护它了；另外由于这些市政用的大跨径跨度型式较多都位于城市交通要道上边，要是它们出现了质量问题那么很有可能就会影响到道路畅通无阻地行驶状态，从而产生一系列连带性后果比如导致经济损失和社会负面影响等等因素。

二、市政桥梁钻孔灌注桩施工关键技术

（一）钻孔工艺控制技术

钻孔工艺属于钻孔灌注桩施工的首环，直接关联到桩体的空间位置和承载基础，选型钻机要依照地质勘察报告来定，软土地层里旋挖钻机凭借其高效的钻进能力和精准的垂直度控制成为首选，在硬岩地层或者含孤石地区，冲击钻机那种强有力的冲击破碎功能才能保证成孔效率，钻孔期间，垂直度监测十分关键，用电子测斜仪或者经纬仪随时跟进，要是察觉偏差超出规范许可数值就得马上改变钻机姿态或者回填黏土再重新钻进，以免产生偏孔致使桩体受力偏向。泥浆制备与循环体系是保持孔壁稳定的要害所在，泥浆的密度，黏度以及含砂率须按照地层特性动态调节，比如说在砂层当中加大泥浆密度以改良护壁性能，防止塌孔事故。钻孔深度控制要兼顾设计桩长和孔底沉渣厚度要求，终孔前用测绳或者超声波检测仪精准测量孔深，保证沉渣厚度不高于设计标准，以免沉渣太厚削弱桩端承载力，钻孔工艺的每一个操作细节都同桩体质量紧密联系在一起，钻机操控失误，泥浆指标失守或者孔深丈量出现偏差，都会造成塌孔，偏孔，沉渣超标之类的状况，进而影响到桩体的承载能力和完好程度。

（二）钢筋笼制作与安装技术

钢筋笼是钻孔灌注桩承受水平荷载和拉力的主要受力构件，其制作质量和安装质量直接影响到桩的承载能力。钢筋原材料进场前应进行检验，并核对钢筋强度、直径及锈蚀程度等指标是否符合设计要求。钢筋笼加工过程中主筋与箍筋间距以及焊接或机械连接的质量控制为主，其中主筋间距偏差不得超过 $\pm 10\text{mm}$ ，箍筋间距允许偏差为 $+20\text{--}20\text{mm}$ ，且钢筋接头处焊缝长度、厚度及其饱满度必须达到规范规定的要求；对于采用机械连接方式形成的接头，则要经过拧紧力矩检测以防止因接头断裂而导致整个钢筋笼结构变弱。钢筋笼下放时应使用专门吊具保证垂直起吊，在此过程中如遇到阻力则需要查明原因之后才能慢慢往下送下去，严禁强行压入以防损伤孔壁造成塌陷情况发生。钢筋笼定位时，采用定位钢筋或者混凝土垫块控制保护层厚度，若保护层不足会使钢筋直接暴露于外界环境之中，进而加快其锈蚀速度并影响桩体耐久度，在钢筋笼制作及安装环节中如果出现疏忽比如钢

筋质量不佳、加工尺寸有误差、接头失效或是定位不准等情况就会造成桩体抗剪和抗弯性能变差，并且在受荷载作用下存在破坏的可能，从而对桥梁基础的安全产生严重威胁。

（三）混凝土浇筑与养护技术

混凝土浇筑是形成桩体实体的重要工序，其质量好坏直接影响到桩体的强度和密实度。混凝土配合比应根据设计强度等级、骨料种类及施工工艺等因素进行优化设计，并控制坍落度在 $160\text{--}200\text{mm}$ 之间，使混凝土具有良好的流动性以及自密实性；加入外加剂调整混凝土初凝时间和早期强度以适应水下浇筑条件。对导管密封性和连接情况进行检查，在导管底部距孔底距离为 $300\text{--}500\text{mm}$ 时开始灌注首批混凝土并保证埋入深度不小于 1m ，防止泥浆反灌造成断桩现象发生。要连续均匀地下料保持导管内混凝土压力大于孔内泥浆压力以防堵管情况出现，同时注意控制好导管埋深一般维持在 $2\text{--}6\text{m}$ 范围内即可避免因埋得过浅而脱离混凝土面或埋得太深而导致堵塞问题产生。混凝土浇筑完成后，桩头处理要在初凝之前开展，把浮浆层清除掉，保留密实的混凝土面，要保证桩头强度达到设计要求，在养护的时候也要覆盖保湿材料或者注水养护，从而保障混凝土强度正常增长，防止因为缺水而导致表面开裂或者强度不够。如果在混凝土浇筑过程中出现了导管漏水、浇筑停止、混凝土离析等情况，就会产生夹泥层、空洞或者断桩之类的严重质量问题，而且养护措施不当的话也会影响到混凝土后期的强度发展，进而影响到桩体长时间内的承载能力和耐久性。

三、案例分析

（一）项目概况

本项目是浦东新区高行镇“城中村”改造配套东高路（浦东北路—莱阳路）道路改建工程，本次东高路工程范围西起浦东北路、东至莱阳路，路线全长约 580m ，红线宽 20m 。该工程位于高行城中村改造多个地块之间，其建设对完善地块周边路网有好处，有利于地块出入口的设置，也有利于地块引入市政管网，为加快地块开发建设提供有利条件。

本工程东高跨越规划河道炼钢浜。炼钢浜河口宽 14m ，河底宽 5m ，河底标高 0.5m 两侧各 6m 陆域控制带，规划河道现状未开挖，河道开挖与桥梁施工同步进行，本桥为单跨 16m 桥梁，梁底控制标高： $\geq 4.8\text{m}$ ，桥台分东西两个，桥台下桩基采用直径 $\text{D}800\text{mm}$ 的钻孔灌注桩，桩长 46m ，进入地下⑧1层地质作桩基持力层。

（二）项目质量控制难点及对策

1. 成孔质量控制

本工程地质含杂填土、淤泥质粘土和砂层，松散地层容易塌孔、缩径。硬夹层或者孤石会造成钻机偏斜，垂直度偏差也许超出规范要求，成孔之后沉渣过厚会直接减小桩端承载能力，清孔结束以后如果超过 30min 没有浇筑混凝土就要再次检测调整，这样耽误工期，这些都会对成孔质量形成威胁。

对策：选用 GPS-15 正循环钻机，钻机就位前要平整场地

并铺好行道木,经由:天轮、游动滑车、转盘中心,来校准钻具中心和桩位中心的同心度,用水平仪保证钻机底盘处于水平状态,机身稳固之后再固定支腿;开钻之前得向监理报告验收开孔状况,只有验收合格才能开始钻进,增添垂直度控制的前期关键步骤。针对不同地层动态调整泥浆参数,砂层把泥浆密度提升到 $1.2 \sim 1.4\text{g}/\text{cm}^3$,淤泥质土层保持黏度在 $22 \sim 24\text{s}$,还要维持胶体率大于95%,泥皮厚度小于3mm,失水量少于3%,加强护壁效果。每钻进5m用电子测斜仪复测垂直度,偏差超过1%时立即停机,回填黏土至偏斜位置以上1米处,待地层稳定后再继续钻进。清孔采用一次清孔+二次清孔的组合工艺,在成孔后先采用换浆法进行一次清孔,下放钢筋笼及导管安装完成后,再使用气举反循环(或3PNL泥浆泵正循环)的方式执行二次清孔,并且再次检测沉渣厚度小于等于50mm、泥浆密度小于等于 $1.15\text{g}/\text{cm}^3$ 之后才能开始浇筑;如果在二次清孔结束后超时30分钟仍未启动浇筑,则需要重新测定沉渣与泥浆指标情况,不合格则需第三次进行清孔”进一步完善清孔质量控制流程。



图1 GPS—15正循环钻机示意图

2. 钢筋笼制作与安装

钢筋笼主筋焊接质量易产生焊缝长度不足、饱满度差等问题,同一截面接头数可能超50%,下放时碰孔壁容易造成塌孔或骨架变形。保护层厚度控制不好,致使钢筋锈蚀,影响桩体耐久性等缺陷都会直接降低桩体受力性能。

对策: 钢筋进场检验强度、直径与锈蚀情况,HRB400主筋CO₂气体保护焊,单面焊缝长 $\geq 10D$,焊接前清除钢筋表面铁锈和油污,同一截面接头数量 $\leq 50\%$,错开距离 $\geq 35D$,保证受力均匀。钢筋笼上下端各设一道定位控制件,每道沿圆周布置3~4个混凝土垫块,钢筋笼上下端另外各加一道定位件,全节段保护层厚度稳定控制在60mm左右,防止钢筋生锈,采用专用吊具两点起吊,主吊点位于顶端1/3处,副吊点靠近底端,保持垂直下放,遇到阻力时停止操作,用孔内摄像观察是否缩径,严禁强行下压,以免造成骨架变形或者孔壁坍塌。

3. 水下混凝土浇筑

导管密封性不好,泥浆会反灌形成夹泥,初灌量少容易导致导管埋深不够,造成断桩。浇筑过程中导管埋深太浅或者太深都会引起脱空或者堵塞,混凝土的坍落度不稳定,流动性与密实性受到影响,这些情况也会造成桩体有结构性缺陷。

对策: 导管使用前做水密性试验,压力大于等于0.6MPa,查

看密封圈完好情况,连接处用两个螺母拧紧。混凝土坍落度维持在160到200毫米之间,加入缓凝剂来延长初凝时间大约四小时左右,符合水下浇筑的需要。初次灌注量经由计算得出要达到或超过两米三六立方米才行,采取二点五米储料斗搭配八米立方罐车的办法实施,使得导管埋入深度不少于一点二米,第一罐混凝土未完成初凝之前就要开始接着浇筑,浇筑过程中持续往下放料,每隔三十分钟就利用测绳去测量一次混凝土面的高度,务必使导管始终被混凝土掩埋于其中,其深度范围是两到六米之内,提升的速度不能高于零点五六米每分钟;如果出现堵塞状况就得上下摇晃着把导管摆弄一番,若这样还解决不了问题的话就需要将它拔出来清理干净再重新插入进去直到碰到混凝土面为止,而且得深入一米五的地方才可以停止超灌操作并且将其抬高至设计标高的上方一点米的位置,在强度满足要求之后安排工人人工凿掉浮浆层从而保证桩顶部分的混凝土比较扎实些。

(三) 项目质量检测

本项目桥梁钻孔灌注桩施工技术质量检测按《钻孔灌注桩施工标准》(DG/TJ08-202-2020)等执行。成孔阶段对孔位偏差 $\leq 50\text{mm}$ 、孔径 $\geq$ 设计直径800mm、垂直度偏差 $\leq 1\%$ 、孔深符合46m设计要求,沉渣厚度 $\leq 50\text{mm}$ 进行检测;钢筋笼主筋间距偏差 $\leq \pm 10\text{mm}$ 、箍筋间距偏差 $\leq \pm 20\text{mm}$ 、保护层厚度50mm、主筋CO₂气体保护焊单面焊缝长度 $\geq 10D$ 、同一截面对接头数 $\leq 50\%$,检查焊缝饱满度及强度;混凝土为水下C30需做配合比试验、坍落度160~200mm,在浇筑前检查导管密封性,在浇筑过程中监测混凝土面高度保证导管埋深2~6m,按照规范制作试块检测28天抗压强度。成桩后按以下标准检测: 1、桩身完整性: 100%,采用超声波透射法(不少于总桩数的50%)与低应变法; 2、桩基承载力: 高应变法,检测数量不应少于总桩数的5%,且不宜小于5根。炼钢浜桥桥台单桩竖向承载力设计值不得小于2603KN; 3、必要时钻芯取样检验混凝土密实性,所有检测均需符合《钻孔灌注桩施工标准》(DG/TJ08-202-2020)、《地基基础设计标准》(DGJ08-11-2018)的规定。

(四) 经验总结

本次项目在桥梁钻孔灌注桩施工中积累了许多技术经验,根据本项目的杂填土、淤泥质粘土和砂层地质条件,采用2台GPS-15正循环钻机进行钻孔作业。利用其泥浆循环护壁的优点以及对松散地层的适应性,减少塌孔和偏孔的风险。泥浆系统分级处理,泥浆系统采取硬地施工法,设置沉淀池、循环池、废浆池串联运行,砂层泥浆密度控制在 $1.2 \sim 1.3\text{g}/\text{cm}^3$ 增强护壁效果,淤泥层黏度控制在18~22s防糊钻,做到泥浆循环使用与污染管控。成孔时“三点一线”校准钻机,并用电子测斜仪每5m检测一次垂直度,发现偏差超过1%,回填黏土至偏斜段以上1米重新开孔,保证桩体垂直度合格。钢筋笼制作采用CO₂气体保护焊,主筋接头错开50%,焊缝长 $\geq 10D$,双吊点起吊(主吊点在顶端1/3处,副吊点近底端),下放垂直,上下端定位件控制好50mm保护层厚度。混凝土浇筑前导管做0.6MPa水密性试验,1.5m³储料斗保证初灌埋深大于等于1米,浇筑过程中每半小时测一次混凝土面高度,严格控制埋深在2~6米之间,超灌1米后人工凿除浮浆。清孔

用换浆法沉渣小于等于50毫米，30分钟内开始浇筑，防止因沉渣过大影响桩端承载力，保证了全部14根直径800、长度46米钻孔灌注桩的完整性和力学性能。

四、结语

市政桥梁钻孔灌注桩施工质量控制属于一项系统工程，要覆盖成孔、钢筋笼制作安装以及混凝土浇筑的全部流程，在技术角度来讲，地质适应性设备选择，泥浆参数随时调整，钢筋笼精确

加工安装和水下混凝土浇筑工艺改善，这些都是防止出现质量问题的关键办法。在东高路项目当中显示出来的是，经由严格掌握钻孔垂直度情况，沉渣层厚度状况，钢筋连接品质优劣还有混凝土密实程度高低之后就能避免产生塌孔或者断桩之类的事情发生，并且保证桩体满足设计所规定的承载能力与耐久性能要求，所以应该再进一步融合智能监测技术达成对施工过程中的实时监控目的，不断改进和完善质量保障体系工作内容，从而给市政桥梁安全运行给予有力支持条件。

参考文献

[1] 任柯翰. 钻孔灌注桩施工技术在高速公路施工中的应用分析[J]. 时代汽车, 2025, (16): 193-195.
[2] 谷桂丽. 桥梁施工中钻孔灌注桩施工控制要点[J]. 建设机械技术与管理, 2025, 38(03): 64-66.
[3] 李明洋. 钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁施工中的运用[J]. 交通科技与管理, 2025, 6(12): 45-47.
[4] 曹建祥. 公路桥梁施工中钻孔灌注桩施工技术的应用分析[J]. 汽车周刊, 2025, (07): 119-121.
[5] 王胜利, 韩伟, 李凯新, 等. 钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁工程中的应用[J]. 中国住宅设施, 2025, (05): 212-214.
[6] 马居军. 桥梁施工中钻孔灌注桩质量控制措施研究[J]. 运输经理世界, 2025, (14): 115-117.
[7] 黄事潇. 国际公路桥梁钻孔灌注桩施工质量控制要点分析[J]. 工程技术研究, 2025, 10(09): 135-137+186.