

桥梁钻孔灌注桩施工关键技术及质量控制要点

刘欣

长沙华南工程监理有限公司 湖南 长沙 410118

【摘要】：钻孔灌注桩是高速公路桥梁工程的主要基础形式，具有承载能力大、地质适应性强、对高速路网周边影响小等特点，在高速公路跨线桥、跨河桥、互通立交桥梁等工程中得到广泛应用。高速公路桥梁的基础工程比普通道路桥梁对基础工程的稳定性、耐久性、抗变形能力要求高得多，钻孔灌注桩施工质量的好坏直接影响到高速桥梁结构的运营安全和使用寿命。本文以高速公路桥梁施工实际情况为基础，依据《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650-2020）及《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1-2017），对高速桥梁钻孔灌注桩施工过程进行梳理，分析各个施工环节的施工技术，根据高速施工特有的地质、场地、保通等要求，提出相应的质量控制要点，为高速公路桥梁钻孔灌注桩施工提供技术参考。

【关键词】：高速公路桥梁；钻孔灌注桩；施工关键技术；质量控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.075

伴随着我国高速公路路网向山区、水域、软土区等复杂区域的延伸，高速公路桥梁成为路网的重要节点，施工环境越来越复杂，施工质量、效率和交通保通的要求也越来越高。钻孔灌注桩可以适应高速桥梁大跨度、高荷载、复杂地质的建设要求，是其下部结构的主要基础形式。高速桥梁钻孔灌注桩施工质量标准高、工序控制严、场地受限、必须考虑高速通行等因素，施工过程中易产生塌孔、缩颈、断桩等隐患，不仅会造成成本增加、工期延误，还会给运营安全造成隐患。因此，对高速桥梁钻孔灌注桩施工技术进行研究，加强全过程质量管控，对保证工程质量、提高耐久性有着十分重要的意义。

1 高速公路桥梁钻孔灌注桩施工概述

高速公路桥梁钻孔灌注桩是用专业钻孔机械钻出符合设计要求的桩孔，清孔、放钢筋笼、浇筑混凝土形成桩体，作为高速桥梁下部结构的主要支撑。其主要特点除了隐蔽性、工序衔接紧密之外，还符合高速桥梁施工特有的要求，即质量标准高，要承受高速行车荷载和反复振动，对桩体承载力、完整性、抗渗性要求严格；地质适应性要求高，经常穿越岩溶、流沙、厚层软土、大粒径卵石层等复杂的地质；施工场地受限，大多分布在高速路基两侧、互通区域或者跨河路段，大型设备作业空间小；交通保通要求高，在施工过程中需要保证高速主线的正常通行，减少对路网的影响^[1]。

施工基本流程为施工准备、测量放线、钻机就位、钻孔作业、清孔处理、钢筋笼制作与安装、混凝土浇筑、桩头处理、质量检测。各个工序之间相互联系、紧密衔接，必须严格按照《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650-2020）进行控制。施工前要根据详细的地质勘察报告确定地质分层、地下水位、周边构筑物分布，制定施工方案及交通保通方案，选用适合复

杂地质的大型设备和优质材料，为施工顺利进行做好准备。

2 高速公路桥梁钻孔灌注桩施工关键技术

2.1 施工准备关键技术

施工准备需兼顾质量、设备匹配与高速保通。需补充地质勘察，明确桩基深度内地质情况，对岩溶、流沙等复杂地质制定专项方案及应急处置方案，规划施工区与高速行车区的隔离及保通措施，复杂灌注桩宜先做工艺试桩。优化场地布局，钻机作业区用C20以上混凝土硬化（厚度 $\geq 20\text{cm}$ ），设排水系统；地下水位较高时，用轻型井点降水至桩孔底面下1.0—1.5m。施工区与高速主线间设硬质隔离围挡和防撞设施，保障施工与通行安全。

2.2 测量放线与钻机就位技术

桩基位置精度直接影响上部结构受力，需严格控制。以高速公路施工控制网为基准，按规范采用卫星定位测量等方法，结合全站仪+GPS双模定位放线，确定桩中心位置并设置不少于4个混凝土固定护桩。放线后两级复核，单排桩/独立桩桩位中心偏差 $\leq 50\text{mm}$ 、群桩 $\leq 100\text{mm}$ 。钻机就位时，用仪器调整平台水平度和钻杆垂直度（偏差 $\leq 1\%$ ），采用地锚+压重固定，确保钻杆中心与桩位中心偏差 $\leq 5\text{mm}$ ，底座和顶端平稳无位移沉降。

2.3 钻孔作业关键技术

钻孔为核心工序，需严控泥浆配比、钻进工艺及复杂地质处理。泥浆性能适配钻孔方法与土层，正循环、反循环、旋挖钻孔及易坍地层各有对应比重、黏度和含砂率标准。钻进中持续补浆，保持液面高于地下水位1.0—1.5m，设三级沉淀池循环利用泥浆，重要工程可配泥沙分离器。

作者简介：刘欣（1986.02-），男，汉族，湖南长沙人，中级，大学本科，研究方向：高速交安、桥梁、路基。

根据地质分层调整钻速钻压，黏性土中速钻进，砂土/流沙层低速轻压并加固，岩层/岩溶地层用适配钻机，遇溶洞时按溶洞大小分级处理（回填片石/混凝土/注浆），遵循各类钻机操作要求。

2.4 清孔处理关键技术

清孔核心是清除孔底沉渣，执行二次清孔制度。初次清孔在钻孔达设计深度后进行，选择抽浆法或换浆法，保持孔内水头防坍孔，清孔后泥浆性能和沉渣厚度需符合规范（设计未规定时，摩擦桩、支承桩各有对应沉渣限值）。钢筋笼安装后二次清孔，优先用高压抽浆法，抽浆管下至孔底30cm处，补充新鲜泥浆，采用测绳+沉渣检测仪双重检测^[2]。合格后20分钟内启动混凝土浇筑，严禁以加深钻孔深度代替清孔。

2.5 钢筋笼制作与安装关键技术

钢筋笼关乎桩基受力，需保证制作精度与安装稳定。采用工厂化分段加工、现场拼接，钢筋规格、间距符合设计，主筋、箍筋、加强筋间距偏差分别 $\leq 10\text{mm}$ 、 20mm 、 50mm 。钢筋连接优先选择焊接或机械连接，绑扎接头直径宜 $\leq 28\text{mm}$ ，双面焊接焊缝长度 $\geq 5d$ ，机械连接需符合相关规程。钢筋笼内设十字形支撑筋（间距 $\leq 2\text{m}$ ），外侧设混凝土保护层垫块（竖向 $\leq 2\text{m}$ 、横向圆周 ≥ 4 处）。用大型汽车吊两点吊装，垂直缓慢下放，安装后用定位钢筋与护筒焊接固定，防止上浮移位，不得直接支撑于孔底。

2.6 混凝土浇筑关键技术

混凝土浇筑决定桩体密实度与完整性，需选用强度等级 $\geq \text{C30}$ 的水下混凝土，坍落度宜为180—220mm，配合比经试配优化并掺合料改善性能。混凝土用专用罐车运输，途中慢速搅动，卸料前快挡搅拌 $\geq 20\text{s}$ ，到场检测坍落度和扩展度，不合格退场。采用导管法浇筑，导管选用无缝钢管（直径200—350mm），进场做水密承压和接头抗拉试验，安装后底部离孔底30—50cm，法兰盘密封连接，确保浇筑质量。

3 高速公路桥梁钻孔灌注桩施工质量控制要点

3.1 施工准备阶段质量控制

核心就是“源头精准把控”，按照高速桥梁高标准的要求进行全方位的管控。

（1）地质勘察和方案控制，勘察单位必须具有高速工程勘察甲级资质，专项审查勘察报告，对复杂地质采取专项施工方案，方案需经桥梁专家论证，包含交通保通措施，并报高速管理部门批准。钻孔灌注桩施工前应具有工程地质和水文地质资料，对地质情况复杂地区的大直径嵌岩桩，宜适当增加地质钻孔数量。

（2）设备质量控制，施工设备进场时提供合格证、检测报告，大型设备经过第三方检测合格后方可使用，施工期间建

立设备运行台账，定期对设备进行维护保养，保证连续作业能力。钻机的选型宜根据孔径、孔深、桩位处的水文和地质情况、施工环境条件等因素综合确定，所选用的钻机及钻孔方法应能满足施工质量和施工安全的要求。

（3）材料质量控制，钢筋、水泥、砂石等选用符合高速铁路标准的优质材料，钢筋应符合现行国家标准的规定，水泥应符合现行《通用硅酸盐水泥》（GB 175）的规定；材料进场时除应检查其外观和标志外，应按不同的品种、规格、生产厂家分批抽取试样进行检验，检验合格后方可使用；钢筋防锈、水泥干燥存储、砂石分类堆放，做好防雨防污措施。水泥进场时，同厂家、同等级、同批号散装水泥应以每500t为一批，袋装水泥应以每200t为一批，不足500t或200t时，亦按一批计。

3.2 钻孔阶段质量控制

核心就是保证桩孔位置准确、尺寸符合要求、孔壁稳定，实行全过程动态控制。

（1）孔位控制，测量放线两遍复核，钻机就位后再核对钻杆与桩位中心，施工过程中定期检查护桩的稳定性，移位时重新放线复核。护筒中心与桩中心的平面位置偏差应不大于50mm，护筒在垂直方向的倾斜度应不大于1%。

（2）孔径及垂直度控制，每50cm检测一次垂直度及孔径，垂直度偏差 $\leq 1\%$ ，孔径 \geq 设计桩径，偏斜时立即停止施工，用调整钻机、回填黏土重新钻进等方式纠正，偏斜过大重新成孔。分级扩孔钻进施工时应保持桩轴线一致。

（3）孔壁稳定性控制，及时调整泥浆参数，保证液面高度；遇到复杂的地质情况立即采取专项措施，按规范要求用片石和黏土回填，提高泥浆比重来加固孔壁，稳定后才能施工。在钻孔排渣、提钻头除土或因故停钻时，应保持孔内具有规定的水位及要求的泥浆相对密度和黏度。

3.3 清孔阶段质量控制

核心就是“彻底清渣，严控厚度”，实行双重检测、全程控制。

（1）清孔方法和控制方法，清孔分为初次清孔、二次清孔，清孔时不断补充新鲜泥浆，保证性能稳定。清孔后泥浆的相对密度、黏度、含砂率、胶体率等性能指标应符合规范规定。

（2）沉渣厚度控制，清孔后用测绳和沉渣检测仪同时检测，两次结果沉渣厚度均不应大于设计规定，设计未规定时按规范要求执行，不合格则重新清孔。

（3）浇筑间隔控制，清孔合格后应尽快浇筑混凝土，在吊入钢筋骨架后，灌注水下混凝土之前，应再次检查孔内泥浆的性能指标和孔底沉淀厚度，如超过规定，应进行第二次清孔，符合要求方可灌注水下混凝土^[3]。

3.4 钢筋笼制作与安装质量控制

核心就是精度控制、强度保证、安装稳定,根据高速桥梁钢筋笼的特点进行精细化的控制。

(1) 制作控制,专业质检员全程旁站监督钢筋规格、间距、焊接、机械连接质量,每批钢筋笼检测尺寸偏差及强度,合格后方可运输;保护层垫块材质、数量、间距满足要求,保证保护层厚度一致。钢筋加工的允许偏差应符合规范要求,受力钢筋顺长度方向加工后的全长允许偏差 $\pm 10\text{mm}$,弯起钢筋各部分尺寸允许偏差 $\pm 20\text{mm}$,箍筋、螺旋筋各部分尺寸允许偏差 $\pm 5\text{mm}$ 。

(2) 安装控制,吊装前检查吊点及钢筋笼变形情况,吊装时保持垂直缓慢下放;安装就位后调整标高、中心位置,标高偏差 $\pm 50\text{mm}$ 以内、中心偏差 $\leq 50\text{mm}$;定位钢筋与护筒焊接牢固,受力验算合格,安装完毕后进行专项验收合格后方可进入下道工序。绑扎或焊接的钢筋骨架和钢筋网不得有变形、松脱和开焊。

3.5 混凝土浇筑质量控制

核心就是保证桩体密实度、完整性、强度,实行全过程旁站控制。

(1) 混凝土控制,到场后检测坍落度、扩展度、入模温度,坍落度偏差符合规范要求,不合格不得使用;夏季防晒、冬季防冻,保证混凝土性能稳定。混凝土的抗压强度应以边长为 150mm 的立方体标准试件测定,且应取其保证率为 95% ,试件应以同龄期者3个为一组。

(2) 导管控制,进场后做水密性及承压试验,安装时接头紧密、密封不漏,浇筑过程中对导管接头进行检查,防止漏浆、脱节。导管使用前应进行水密承压和接头抗拉试验,严禁采用压气试压。

(3) 浇筑过程控制,浇筑连续不间断,随时调节导管埋深 $2\text{—}6\text{m}$,严禁拔出混凝土面;首批混凝土保证封底成功,浇筑到桩顶设计标高以上 $1.0\text{—}1.5\text{m}$ 。混凝土浇筑时,自高处向

模板内倾卸混凝土,应防止混凝土离析,直接倾卸时,其自由倾落高度宜不超过 2m ;超过 2m 时,应通过串筒、溜管(槽)等设施下落。

3.6 桩头处理与质量检测控制

核心就是高标准、全覆盖的控制,验证桩基最终施工质量。

(1) 桩头处理控制,严格采用机械加人工破除的方式,保证桩头平整、无松散混凝土,保护桩身钢筋,及时移位复位加固;养护时间不少于 7d ,对重要工程或有特殊要求的混凝土,应酌情延长养护时间,保证混凝土强度达到要求。混凝土浇筑完成后,应在其收浆后尽快予以覆盖并洒水保湿养护[4]。

(2) 质量检测控制,按照《公路工程基桩检测技术规程》及《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》(JTG F80/1-2017)检测,项目包含桩身完整性、混凝土强度、单桩竖向抗压承载力。桩身完整性用低应变法或超声波法 100% 检测;单桩竖向抗压承载力静载试验检测数量 \geq 总桩数 3% 且每个承台 ≥ 2 根;检测不合格桩基由专家分析原因,采用注浆加固、补桩等处理,重新检测合格后方可进行承台施工[5]。成孔、成桩检验应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650-2020)的规定。

4 结语

钻孔灌注桩是高速公路桥梁的主要基础形式,施工质量的好坏直接影响到高速桥梁结构的安全、运营的稳定和使用寿命,与普通道路桥梁相比,高速桥梁钻孔灌注桩施工质量标准高、地质条件复杂、场地狭小、保通要求高,对施工技术及质量控制的要求也更高。施工过程中必须严格遵循《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650-2020)及《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》(JTG F80/1-2017)的要求,加强施工全过程的技术管控和质量监督,从施工准备、钻孔、清孔、钢筋笼制作安装到混凝土浇筑、质量检测等各个环节严格把关,及时处理施工中出现的各种问题,确保钻孔灌注桩施工质量符合设计及规范要求,为高速公路桥梁的安全运营奠定坚实基础。

参考文献:

- [1] 侯必琳.研究旋挖钻孔灌注桩在桥梁深水基础施工中的应用[J].交通科技与管理,2025,6(20):46-48.
- [2] 冯杭杭.高速公路桥梁施工中钻孔灌注桩技术研究[J].交通科技与管理,2025,6(16):32-34.
- [3] 佘同云.桥梁施工中钻孔灌注桩施工技术研究[J].工程机械与维修,2025,(08):113-115.
- [4] 崔泳炎,陈佳飞.桥梁桩基础钻孔灌注桩施工技术探讨[J].交通科技与管理,2025,6(13):93-95.
- [5] 张丛.高速公路桥梁钻孔灌注桩施工技术研究[J].交通世界,2024,(23):179-181.