

市政桥梁桩基础施工关键技术及质量控制要点研究

崔爱华

(安徽全晟项目管理有限公司, 安徽 合肥 230011)

摘 要 在城市基础设施建设持续推进的背景下, 桥梁工程作为交通网络的重要节点, 其基础结构的安全性与耐久性直接影响整体工程寿命。桩基础作为桥梁荷载传递的核心载体, 施工质量直接关系到上部结构的稳定性。当前市政桥梁建设常面临地质条件复杂、施工环境受限等挑战, 传统桩基工艺在成桩精度、岩土适配性等方面暴露出明显短板。如何针对多样化工程场景选择适用桩型, 优化施工工艺参数, 成为提升桥梁基础质量的关键突破口。本文探讨了市政桥梁桩基础施工关键技术及质量控制要点, 以期为相关人员提供有益参考。

关键词 市政桥梁; 桩基础; 钻孔技术; 混凝土浇筑技术; 质量控制

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.011.018

0 引言

市政桥梁工程向高效化、集约化方向发展的趋势, 对桩基础施工技术提出更高要求。桩基作为隐蔽性工程, 其质量隐患往往具有滞后性与不可逆性, 一旦形成结构缺陷将引发严重安全风险。当前施工实践中, 桩位偏差控制不严、混凝土离析、桩端沉渣过厚等问题频发, 暴露出技术方案与现场管理的双重不足。尤其在城市密集建成区, 既有管线分布复杂、环保限制严格等特殊条件, 进一步加剧了桩基施工的技术难度与管理复杂性。

1 桥梁桩基础定义

桥梁桩基础属于一种复合型深层支撑结构, 它借助承台和多根桩体的结构整合, 构建起一套系统性的荷载传递机制, 是现代桥梁工程中解决复杂地质条件下基础稳定性问题的关键技术手段, 它的工作原理是把桩体当作应力传递的中介, 将桥梁上部结构的静载荷(如结构自身重量、附属设施重量等)、动载荷(如车辆通行引发的冲击力、制动力、离心力等)以及风荷载、地震作用等有效地分散开来并传递到有足够承载能力的深层土体或者岩层当中。这种结构形式特别适合软土地层较厚、表层承载力不够、有溶洞或者断裂带等复杂地质环境, 依靠桩体的端阻力与侧摩阻力共同作用, 克服了浅基础在这类地质条件下可能出现的沉降过大、承载力不足、稳定性差等工程难题, 桩基础系统按照桩—土作用机理可以分成摩擦型、端承型以

及复合型三种工作状态, 其选择由工程地质条件、荷载特性以及桩体材料特性决定, 经过科学的计算和设计, 桩基础可在保障桥梁结构安全的最大程度地适应各种不良地质条件, 为桥梁工程提供稳固可靠的支撑体系^[1]。

2 市政桥梁桩基础施工关键技术

2.1 钻孔技术

市政桥梁桩基础工程里的钻孔技术是整个施工进程的关键要点, 其精准度与质量直接对桩基础的承载性能以及使用寿命起着决定性作用, 于软土地层当中, 适合采用回转钻机搭配泥浆护壁技术, 以此来避免孔壁出现坍塌现象, 而在坚硬地层或者含卵石层的地质状况下, 则需要选用冲击钻或者潜孔锤钻机, 提升钻进效率。钻机设备的功率、扭矩以及钻头规格要和设计桩径以及预期钻深相匹配, 以此保证设备拥有充足的工作能力, 钻孔定位阶段要采用全站仪等精密测量设备, 严格依据设计图纸构建施工控制网, 测量放样来确定每个桩位的平面坐标, 偏差控制要在规范允许的范围之内, 一般桩位偏差不能超过 50 mm。钻机就位之后, 要对垂直度进行多个方位的校核, 一般是采用两个正交方向的水准仪同时进行观测, 保证钻机轴线和设计桩轴线相重合, 垂直度偏差控制在 1% 以内, 为高精度成桩打下基础, 钻进过程中, 技术人员要全程监控关键参数, 覆盖钻进速率、钻机电流变化、泥浆比重与黏度、出土情况等指标, 借助这些参数的变化及时判断地层变化的情况。在碰到孔斜、塌孔、缩径

等异常状况时,应该立刻停机检查并采取针对性的措施,比如调整钻进参数、优化泥浆配比、加强孔壁支护等,防止问题扩大影响施工质量,钻到设计深度之后,应该严格执行自检、互检和专检这“三检”制度,借助测量钻孔深度、检验孔底沉渣厚度(应控制在 10 cm 以内)、验证成孔垂直度等方式,保证钻孔质量符合设计要求,为后续钢筋笼安装和混凝土浇筑创造有利条件^[2]。

2.2 钢筋笼制作及安装技术

钢筋笼作为桩基础的骨架体系,它的质量会直接对桩基的受力性能以及使用寿命产生影响,要严格依据结构力学原理以及设计规范来开展施工,在材料准备这个阶段,需要对进场的钢筋进行抽样取证检测,以此确认其屈服强度、抗拉强度以及延伸率等力学指标符合设计规定,还要对钢筋表面的状态加以检查,把表面存在严重锈蚀、裂纹或者明显机械损伤的不合格材料挑选出来。制作的时候,主筋间距要精准控制在设计规定的 600 ~ 800 mm 范围之内,要格外留意在承受弯矩比较大的桩顶段适当进行加密,箍筋布置要遵循应力分布规律,一般间距控制在 200 ~ 300 mm,并且在桩顶和桩尖部位设置加密区域,以此提高这些应力集中区域的约束作用,焊接工艺是保证钢筋笼整体性的关键技术,施工过程中应该采用 JGJ18-2012《钢筋焊接及验收规范》推荐的搭接焊或者对接焊方式,主筋接头要按照设计错开布置,搭接长度严格依照不小于钢筋直径 40 倍的技术要求来执行,焊缝成型之后凭借超声波探伤等无损检测手段验证其内部质量,保证受力传递的连续性。钢筋笼吊装是整个施工流程里的技术难点,要根据有限元分析来确定最优吊点位置,一般在 1/4 跨处设置主吊点,借助多点起吊技术,防止吊装过程中因为自重过大而导致变形或者损伤,为了保证钢筋笼在桩孔中的居中度,要在笼体外围等距离设置定位环,环间距控制在 2 ~ 3 m,并且采用特制可调节卡具保证其定位精度。保护层设置是防止钢筋锈蚀的关键举措,混凝土垫块的配置要综合考虑地下水环境特性,在侵蚀性比较强的环境中,要适当增加保护层厚度,垫块强度等级一定不能低于桩身混凝土设计强度,防止在振动或者冲击作用下出现破损^[3]。

2.3 混凝土浇筑技术

混凝土配合比设计在浇筑之前是非常关键的环节。桩基混凝土水泥用量一般控制在 380 ~ 420 kg/m³ 这个范围之内,这样的用量可保证强度发展的需求,还可

以有效地控制水化热峰值,减少因为温度应力而产生的微裂缝,在骨料组成方面,粗骨料粒径分级要采用连续级配,细骨料选用中砂并且含泥量严格控制在 3% 以下,二者的体积比一般是 1.4:1 至 1.6:1,以此来获得最佳的骨料嵌挤效应。外加剂的应用十分关键,高效减水剂的掺量一般为水泥质量的 0.8% ~ 1.2%,可改善混凝土的流动性与可泵性,同时凭借降低水灰比提高混凝土的密实度与强度,针对像地下水位高或者含硫酸盐较多这样特殊的地质条件,需要考虑添加适量的缓凝剂与抗渗剂,提高混凝土的抗侵蚀性能。导管法浇筑是保证水下混凝土质量的核心技术,施工之前要对导管系统进行严格检验,包含 200 ~ 300 kPa 的气密性试验与全部接头的水密性检查,导管内径一般采用 250 ~ 300 mm,并且配置双层橡胶密封圈来防止漏浆,导管平面布置要考虑钢筋笼的干扰因素,在桩径 3 m 以内一般设置 1 至 2 根导管,间距控制在 3 ~ 4 m,保证混凝土可均匀扩散填充整个桩孔。浇筑过程中,首批混凝土下料之前应在导管内放置隔水栓,防止混凝土与泥浆直接接触而导致离析现象,初始埋深不小于 3 m,随着混凝土面升高,要及时提升导管但始终保持 2 ~ 6 m 的有效埋深,这个范围能保证足够的静水压防止泥浆窜入,又不会因为埋深过大导致导管拔起险阻,混凝土供应速率管控是保证浇筑连续性的关键,一般应保持每小时不低于 20 ~ 30 m³ 的供应量,在坍落度控制上,出机坍落度一般要求 180 ~ 220 mm,这个范围能保证足够的流动性,又能防止泌水离析。对于 30 m 以上的超长桩,由于混凝土长距离运输容易发生性能衰减,应采用分段浇筑技术,每段浇筑高度不超过 25 m,并在界面处设置提高钢筋与粘结剂,保证结构整体性^[4]。

3 市政桥梁桩基础施工质量控制要点

3.1 成孔质量控制

桥梁桩基础钻孔质量控制在整个工程中起着极为关键的作用,它的一系列系统性技术措施对后续结构的承载性能以及使用寿命有着直接的决定性影响,在施工开始的阶段,护筒作为成孔过程中的首道关键防线,它的埋设深度需要依据土层具体的分布特性以及地下水位的情况来确定,一般这个深度不应小于 2 m,要是处于软土地区,还可以适当增加到 3 ~ 4 m,这样做的来为了保证有足够的稳定性。护筒周围设置的加劲肋,一方面提高了结构的刚度,另一方面也有效地防止了因为土体侧向挤压而引发的变形,用于固定的混凝土强度

等级要达到 C25 及以上, 以此保证在钻进过程中不会出现位移或者倾斜的情况, 钻进监控属于质量管理的核心部分, 专职技术人员需要建立一套完整的钻进记录系统, 实时对关键工艺参数进行监测并且记录下来, 这些参数包括: (1) 钻速, 一般把钻速控制在 $0.5 \sim 1.5 \text{ m/h}$; (2) 钻压, 常规的钻压是 $100 \sim 150 \text{ kN}$; (3) 泥浆比重, 一般泥浆比重为 $1.05 \sim 1.15 \text{ g/cm}^3$ 等数据, 并且要结合出土样来进行综合分析。当钻进到地层分界面或者遇到特殊地质条件的时候, 就要马上调整钻进参数, 比如在砂层段要降低钻压并且增大泥浆比重, 而在粘土层段则采取相反的操作, 孔壁稳定性的控制非常关键, 一旦发现局部坍塌的迹象, 像是泥浆液面突然下降或者回转扭矩异常增大, 就应该立刻停止钻进并且增加泥浆的黏度, 必要的时候添加封固剂来稳定孔壁。垂直度检测采用双轴或三轴测斜仪, 按照每 $5 \sim 10 \text{ m}$ 深度测量一次的频率来进行监控, 当数据显示偏差超过规范允许的值, 一般这个允许值是孔径的 1% 时, 应该借助调整钻头位置、改变钻压分布等技术手段及时进行纠偏, 成孔完成之后的质量检验是保证桩基础施工质量的最后一道防线, 超声波成像技术可直观地显示孔壁的状态, 发现扩径、缩径等异常现象, 沉渣厚度检测则是借助重锤探测法来确定, 合格的标准一般是不大于 50 mm , 如果超标就需要进行二次清孔, 保证桩端持力层与混凝土可充分接触, 为桩基础提供理想的端部支承条件^[5]。

3.2 钢筋笼安装与混凝土浇筑控制

在桥梁桩基础施工过程中, 钢筋笼安装以及混凝土浇筑环节属于工程质量控制方面的核心工序, 对于这两个环节的技术管理要遵循全过程精细化的原则, 钢筋笼质量管控从原材料进入场地就开始了, 要采用随机抽样的办法对钢筋做屈服强度、抗拉强度以及延伸率等力学性能的检测, 以此保证其符合设计标准, 焊接工序需要专业焊工来操作, 严格依据 JGJ18 规程开展搭接焊或者电阻焊, 并且借助超声波探伤去验证焊缝质量, 接头抗拉强度不能低于母材的 95%。钢筋笼吊装之前的复核工作特别关键, 主筋间距误差需要控制在 $\pm 10 \text{ mm}$ 的范围之内, 箍筋布置得符合应力分布规律, 保护层垫块的强度以及耐久性要和桩身混凝土相匹配, 保证钢筋在长期使用过程中不会受到腐蚀, 混凝土浇筑阶段的智能监控技术是保障桩身质量的有效手段, 借助理入式传感器网络达成对导管埋深、混凝土上升速率以及充盈系数的实时测控, 系统预警值一

般设置为埋深低于 2 m 或者高于 6 m 的时候触发, 保证导管一直处于最佳工作区间。浇筑过程的连续性决定着桩体的整体性能, 供应速率要依据桩径大小科学确定, 一般 $\phi 800 \text{ mm}$ 桩的浇筑速率不应该低于 $15 \text{ m}^3/\text{h}$, 首批混凝土面标高设计超高 1 m 是为了保证桩顶混凝土质量, 抵消表层和泥浆接触可能造成的强度损失^[6]。水下混凝土配比设计需综合考虑流动性与抗分层性能, 一般坍落度控制在 $180 \sim 220 \text{ mm}$ 之间, 并添加适量减水剂与缓凝剂, 延长泵送施工时间窗口。施工过程中出现的返浆现象是质量控制的重要观察指标, 正常返浆应呈灰白色且质地均匀, 若发现杂质含量过高或颜色异常, 应立即检查导管密封性及混凝土质量。完整的施工记录管理是后续质量评估的基础, 应包含钢筋进场检验报告、焊接质量检测数据、混凝土浇筑参数曲线以及成桩后的超声波完整性检测资料, 形成闭环管理体系。通过精细化控制策略的系统实施, 可有效提升桥梁桩基础的工程质量和长期服役性能。

4 结束语

在市政桥梁桩基础施工中, 关键技术及质量控制要点的研究至关重要。通过深入探讨和实践应用可以确保桥梁桩基础的稳定性和安全性, 为市政桥梁的长期使用奠定坚实基础。未来, 随着技术的不断进步和施工工艺的持续创新, 市政桥梁桩基础施工将迎来更加高效、可靠的发展前景, 为城市交通建设贡献更大力量。

参考文献:

- [1] 李伟. 市政桥梁桩基础施工关键技术及质量控制要点研究 [J]. 运输经理世界, 2024(36):98-100.
- [2] 王继虎. 市政道路桥梁施工中桩基础干成孔旋挖桩施工技术要点探析 [J]. 技术与市场, 2024, 31(06):127-129.
- [3] 曹磊. 市政桥梁工程桩基础施工技术要点 [J]. 工程建设与设计, 2022(10):134-136.
- [4] 李莉兰. 市政桥梁桩基施工中反循环钻成孔技术的应用研究 [J]. 住宅与房地产, 2020(12):217.
- [5] 朱文博. 市政桥梁工程中的扩大基础施工技术要素探索 [J]. 工程建设与设计, 2019(07):234-235, 238.
- [6] 李蒙. 钻孔灌注桩基础施工技术在市政桥梁工程中的应用 [J]. 工程建设与设计, 2018(12):123-124.