

公路桥梁施工中桩基施工技术与质量控制

王盼盼

安徽建工公路桥梁建设集团有限公司 安徽 合肥 230031

摘要:随着我国交通基础设施建设的快速发展,公路桥梁工程规模持续扩大,对桩基施工的技术要求日益严苛,公路桥梁桩基施工是桥梁工程的核心环节,其技术选择与质量控制直接影响桥梁结构安全与耐久性。当前,钻孔灌注桩技术凭借成本低、操作便捷、适应复杂地质条件等优势,成为公路桥梁桩基施工的主流方法。该技术通过埋设护筒、制备泥浆、钻孔成孔、吊装钢筋笼及水下混凝土灌注等环节,有效提升了桩基承载力与抗震性能。然而,施工过程中仍面临塌孔、缩径、桩孔偏斜等质量隐患,需通过优化泥浆配比、控制钻进速度、加强钢筋笼焊接质量检测等措施进行预防。本文系统梳理了桩基施工的核心技术要点,包括成孔技术、钢筋笼制作与安装、混凝土灌注技术等方面,通过动态监测垂直度、控制沉渣厚度、优化水下混凝土配合比等措施提升桩基承载力与完整性。另外,本文还提出了一些有效的能够加强桩基施工质量的措施,旨在通过工艺优化与标准细化,提升桩基施工的精细化水平,为保障桥梁工程整体质量提供技术参考。

关键词:公路;桥梁;桩基施工;成孔技术;质量控制

引言

桩基作为桥梁结构的主要承力体系,不仅需承受上部荷载,还需应对复杂地质条件下的稳定性挑战。当前,公路桥梁桩基施工面临地质条件复杂化、施工环境多样化、质量标准严格化等多重压力,传统施工工艺已难以满足现代工程需求。因此,基于公路桥梁桩基施工的实践需求,系统的探讨公路桥梁施工中桩基施工技术与质量控制具有重要的现实意义。

1 桩基施工关键技术

1.1 成孔技术

(1) 针对软土地基,因土层承载力低且易坍塌,宜采用旋挖钻机成孔,其大扭矩与快速提钻特性可减少孔壁暴露时间,同时配合优质泥浆护壁形成有效支护。若遇砂层或砾石层,冲击钻机凭借高频冲击力可破碎硬质颗粒,但需加强泥浆比重控制以防止孔壁剥落。在岩层发育区域,牙轮钻头或潜孔锤钻机能够高效穿透岩层,但需注意钻进速度与冷却液供给的匹配,避免钻头过热导致效率下降。不同地质条件下的成孔方法选择需综合考量土层力学性能、地下水分布及设备适应性,通过试验段施工验证参数合理性,为后续大规模作业提供依据。(2) 泥浆配制与管理是成孔过程中的核心环节,其性能直接影响孔壁稳定与沉渣厚度。泥浆需具备足够的黏度以悬浮钻渣,同时保持适当的比重形成液态支护,防止孔壁坍塌或地下水渗入^[1]。配制时通常以膨润土为基础材料,添加纯碱调节pH值至8-10以增强分散性,并掺入羧甲基纤维素提高黏度与滤失控制能力。在砂层或砾石层中

施工时,需增加泥浆比重至1.2-1.4以增强支护效果,而在黏性土层中可适当降低比重以减少泥浆消耗。(3) 成孔质量控制需通过精准检测手段确保孔径、孔深与垂直度符合设计要求。孔径检测采用探孔器下放至孔底,通过其外径与孔壁的接触情况判断是否满足设计直径,若存在缩径需及时扩孔处理。孔深测量通过测绳悬挂重锤进行,需在钢丝绳上标注刻度并定期校准,确保读数误差小于0.1米。垂直度检测利用测斜仪或超声波测壁仪,沿孔深方向多点测量孔壁倾斜角度,若偏差超过1%需调整钻机位置或采用导向钻具纠偏。

1.2 钢筋笼制作与安装

(1) 设计阶段需根据桩径、桩长、地质条件及荷载特征确定钢筋笼的直径、主筋规格与数量、箍筋间距及加强筋布置形式。主筋通常采用HRB400级热轧带肋钢筋,其直径根据桩身抗弯需求选取,间距需保证混凝土浇筑时钢筋骨架的稳定性。箍筋采用HPB300级光圆钢筋,间距需满足抗剪要求且不宜大于200毫米,在桩顶及桩端加密区需缩短至100毫米。加强筋沿钢筋笼长度方向每隔2米设置一道,采用与主筋同规格钢筋焊接成闭合环状,以增强整体刚度。(2) 钢筋笼制作工艺需通过标准化流程确保尺寸精度与焊接质量。主筋下料采用砂轮切割机或等离子切割机,保证端部平整无马蹄形;箍筋与加强筋成型采用钢筋弯曲机,弯弧半径需符合规范要求以避免应力集中。主筋与箍筋的交叉点采用点焊固定,焊接电流与时间需根据钢筋直径调整,防止烧伤主筋或焊点虚焊;加强筋与主筋的连接采用双面搭接焊,焊缝长度

不小于5倍主筋直径,焊接完成后需清除焊渣并检查焊缝饱满度。(3)钢筋笼吊装与定位技术需兼顾安全性与精度控制,吊装前需在钢筋笼顶部对称设置4个吊点,采用扁担梁或专用吊具分散起吊力,避免骨架变形^[2]。起吊时需缓慢提升并保持水平,防止与孔壁碰撞。下放过程中采用正反循环钻机或履带吊配合,通过孔口导向架控制钢筋笼中心位置,导向架直径比桩径大50-100毫米,高度以能固定钢筋笼顶部为宜。定位时在钢筋笼顶部设置4根定位钢筋,其长度根据设计保护层厚度确定,通过与护筒顶面焊接的槽钢或钢管固定,确保钢筋笼轴线与桩孔轴线重合。

1.3 混凝土灌注技术

(1)混凝土配合比设计需根据桩基类型、地质条件及施工工艺确定关键参数。原材料选择上,水泥宜采用低热水泥以减少水化热,粉煤灰掺量控制在20%-30%以改善和易性并降低泌水率;粗骨料最大粒径不超过导管直径的1/4且不大于40mm,细骨料采用级配良好的中砂,含砂率控制在40%-50%;水灰比严格控制在0.44左右,坍落度宜为180-220mm以确保水下灌注时的流动性。配合比需通过试验验证,确保28天抗压强度满足设计要求,同时掺入适量缓凝剂延长初凝时间至6小时以上,适应长距离灌注需求。(2)水下混凝土灌注普遍采用导管法,其原理是通过密封导管将混凝土从底部注入,利用混凝土自重顶托初期灌注层及泥浆上升形成连续桩身。导管采用内径200-300mm的钢管,节长2-3m,使用前需进行水密承压试验,试压压力为孔底静水压力的1.5倍^[3]。灌注时导管底口距孔底30-50cm,首批混凝土量需保证埋管深度不小于1.0m,后续灌注中导管埋深控制在2-6m范围。随混凝土面上升,需同步提升导管并拆除节段,每次提升幅度不超过15-60cm,避免埋深过浅导致泥浆混入或埋深过深增加灌注阻力。(3)灌注过程质量控制需重点关注三项指标,一是导管理深动态管理,通过测绳每半小时测量混凝土面标高,结合导管长度计算埋深,防止埋深不足引发断桩或埋深过大造成堵管。二是灌注速度控制,首批混凝土需在初凝前完成灌注,后续保持连续性,单桩灌注时间控制在混凝土初凝时间内,避免层间冷缝。三是混凝土性能监测,现场检测坍落度损失,若流动性不足需二次搅拌调整,严禁直接加水;同时观察混凝土和易性,确保无离析、泌水现象。

2 桩基施工质量控制

2.1 施工前质量控制

公路桥梁桩基施工前质量控制是保障工程安全与耐久性的首要环节,需通过系统性审查与检验为后续施工

奠定可靠基础。(1)地质勘察与复核需由具备资质的专业机构实施,采用钻探取样、原位测试、物探等多种手段获取地层分布、岩土参数及地下水特征等数据,重点核查勘察点间距是否满足规范要求,软土、岩溶等特殊地质层是否完整揭示,土工试验指标是否与区域地质条件匹配。勘察报告需经设计、施工、监理单位联合复核,对存在疑问的地段补充勘察或进行现场验证,确保勘察数据能准确反映场地实际条件,为桩基选型、长度设计及施工工艺选择提供科学依据。(2)施工图纸会审需组织设计、施工、监理及地质勘察单位共同参与,重点审查桩基布置是否符合地质条件与结构受力要求,桩径、桩长、配筋等参数是否满足承载力与变形控制标准,护筒埋设深度、泥浆指标等施工要求是否明确。对图纸中存在的矛盾或疑问,如桩位与地下管线冲突、构造要求与施工可行性矛盾等,需由设计单位书面澄清或出具变更通知,确保所有技术要求清晰无歧义,避免因理解偏差导致返工或质量隐患。(3)原材料检验需建立“双控”机制,即质量证明文件审核与现场性能测试相结合。钢筋需查验出厂合格证、材质单及复验报告,重点检查屈服强度、抗拉强度、伸长率及冷弯性能是否符合设计要求,对直径 $\geq 20\text{mm}$ 的钢筋还需验证重量偏差;水泥需核对品种、强度等级及出厂日期,检验标准稠度用水量、凝结时间及安定性,对重要工程或争议批次进行胶砂强度复验;砂石需检测颗粒级配、含泥量、泥块含量及压碎指标,确保粗骨料最大粒径不超过导管直径的1/4且不大于40mm,细骨料细度模数控制在2.3-3.0范围。

2.2 施工过程中质量控制

(1)桩位测量与放样作为施工起点,需采用全站仪或GPS-RTK技术进行三维坐标定位,结合场地平整度调整测量基准面,确保桩位偏差满足设计要求;摩擦桩中心偏差不超过100毫米,端承桩不超过50毫米。测量数据需经双控复核,即施工班组自检与监理单位抽检,复核合格率达100%后方可进行护筒埋设。(2)成孔过程监控依托自动化监测设备与人工巡检相结合的方式实现动态控制。孔径检测采用超声波测壁仪沿孔深方向多点扫描,生成孔壁三维模型,确保有效直径偏差不得超过设计值的 ± 50 毫米;孔深测量通过测绳悬挂重锤配合孔口标高控制,结合钻进记录验证,误差控制在 ± 0.1 米以内;垂直度监测利用测斜仪在钻进过程中连续采集数据,发现偏差超过1%时立即停钻,通过调整钻机平台或采用导向钻具纠偏^[4]。泥浆性能指标需每小时检测一次,比重、黏度、含砂率分别控制在1.1-1.25、18-25s、 $\leq 4\%$ 范围,确保孔壁稳定性。(3)钢筋笼安装质量检查聚焦定位精度与连接可

靠性。下放前需在孔口架设导向架,通过激光定位仪校准钢筋笼中心与桩位中心重合度,偏差控制在20毫米内;顶部采用4根定位钢筋与护筒焊接固定,确保钢筋笼在混凝土灌注过程中不上浮或偏移。

2.3 施工后质量检测与验收

(1) 桩基承载力检测中,静载试验作为公认的“基准方法”,通过在桩顶逐级施加竖向荷载并观测沉降量,绘制Q-s曲线及s-lgt辅助曲线,直接推求单桩竖向抗压极限承载力,其结果准确度高但周期长、成本高,适用于重要工程或争议桩的复核^[5]。高应变法则采用重锤自由落体冲击桩顶,通过实测动力响应反演桩身完整性参数与承载力,具有操作简便、周期短的优势,通常作为静载试验的补充手段,二者结合可兼顾检测效率与结果可靠性。(2) 施工记录与检测报告审核需严格遵循“三级审核”制度,检测人员需对原始数据、计算过程、结论判定进行自查,技术负责人重点核查检测方法合规性、数据逻辑合理性及结论准确性,授权签字人最终确认报告完整性、依据有效性及结论可靠性,确保检测数据真实完整、结论科学公正。(3) 分项工程验收由监理单位组织施工单位、设计单位共同参与,验收组首先核查施工资料完整性,包括原材料检验报告、施工记录、检测报告等,其次通过现场实体检测验证关键指标,如混凝土强度回弹检测、钢筋保护层厚度扫描等,最后根据检测结果与规范要求质量评定,合格后方可签署验收意见并进入下道工序,形成“资料审查-实体检测-质量评定”的闭环管理。

结语

综上所述,公路桥梁桩基施工的技术创新与质量控制是保障桥梁结构安全的核心要素。当前,随着桥梁工程向大跨度、复杂地质、智能化方向演进,桩基施工技术正经历深刻变革。一方面,新型材料与工艺不断涌现,如高性能混凝土、碳纤维复合材料、自修复混凝土的应用显著提升了桩基的耐久性与承载能力;另一方面,数字化技术深度渗透,BIM、数字孪生、5G+北斗定位等技术实现了从设计、施工到运维的全生命周期管理,大幅提高了施工效率与质量可控性。此外,绿色施工理念日益普及以及就地热再生技术的广泛应用,推动了桩基施工向低碳化转型。未来,随着智能化施工装备与数字化监测技术的普及,桩基施工将向精准化、高效化方向演进,但无论技术如何迭代,对地质条件的适应性分析与施工细节的精细化控制始终是提升桩基质量的核心路径。

参考文献:

- [1]安扬.高速铁路桥梁桩基施工质量控制要点[J].交通建设与管理,2024,(S01):130-132.
- [2]贾炜,姚银威.岩溶地区公路桥梁桩基施工技术难点与对策应用[J].工程建设与设计,2025,(01):195-197.
- [3]冯英达.复杂不良地质条件下的公路桥梁桩基施工技术[J].中国高新科技,2024,(21):158-160.
- [4]秦霞.公路桥梁桩基施工质量问题及控制分析[J].交通科技与管理,2023,(1):0126-0128.
- [5]李清平.高速公路桥梁工程桩基施工技术及其质量控制研究[J].工程建设与设计,2023,(09):202-204.