

桥梁桩基施工中常见质量问题及处理对策

曾磊泉

江西科力咨询监理有限公司 江西 抚州 330200

【摘要】：桥梁桩基承担上部结构荷载传递任务，成桩质量直接关系基础承载稳定性。施工中受地层条件、成孔控制、钢筋笼安装及混凝土灌注等因素影响，易出现塌孔缩径、孔位偏斜、钢筋笼上浮、断桩夹泥等问题。针对不同缺陷形成机理，可从护壁参数调整、成孔精度控制、钢筋笼定位、导管灌注管理及全过程监测等方面采取对应措施，减少桩身完整性缺陷，提升成桩合格率、承载性能及桥梁基础施工质量。

【关键词】：桥梁桩基；成孔质量；钢筋笼安装；混凝土灌注；质量控制

DOI:10.12417/2705-0998.26.12.054

1 桥梁桩基施工质量控制关键环节分析

1.1 复杂地层条件下成孔稳定控制要求

复杂地层对桩孔稳定性的影响主要集中在孔壁失稳、局部缩径、孔底沉渣增加及垂直度偏差等方面。施工时应依据勘察资料细化土层结构、地下水位及软硬地层交界位置，合理确定钻进速度、钻压、转速及泥浆性能参数。进入砂层、卵石层或软弱夹层后，应加强泥浆相对密度、黏度、含砂率等指标控制，使孔内水头保持稳定，避免钻进扰动造成孔壁坍塌。钻进过程中同步记录孔深、孔径、垂直度及地层变化，发现钻速突变、泥浆液面异常下降等情况应及时停钻分析。成孔后严格控制清孔时间和沉渣厚度，减少孔壁长时间暴露引起的二次坍塌，为钢筋笼下放和后续灌注提供稳定孔形条件。

1.2 钢筋笼吊装定位精度控制要求

钢筋笼安装质量不仅关系桩身受力钢筋的位置准确性，还会直接影响保护层厚度、桩身垂直受力状态及混凝土灌注通道。制作阶段应控制主筋间距、箍筋间距、加强箍尺寸和焊接质量，分节钢筋笼还需保证连接端轴线一致，避免接头累积偏差造成整体弯曲。吊装时应根据钢筋笼长度和刚度配置合理吊点，采用多点起吊减少局部变形，入孔过程中保持笼体中心与桩孔中心基本重合，不得强行下压处理卡阻^[1]。保护层垫块应均匀设置，数量和间距满足定位需要。到达设计标高后，应利用定位架、吊筋或限位构件固定顶端位置，并核对钢筋笼顶标高、中心偏差及垂直状态，防止后续导管安装和混凝土上升产生偏移或上浮。

1.3 水下混凝土连续灌注控制要求

水下混凝土灌注应重点控制导管密封、初灌条件、埋深变化和灌注连续性，任何环节失控都可能形成夹泥、断桩、离析或局部缩颈。导管下放前需要完成密封性检查，接头连接牢固，底口与孔底保持合理距离。首批混凝土方量应满足导管底端一次性形成可靠埋置条件，避免泥浆进入导管造成混合污染。灌注过程中应连续测定混凝土面高度，根据实测数据及时拆卸导管，使埋深保持在适宜范围，既防止拔管过高造成断桩，

也避免埋置过深增加提升阻力。混凝土坍落度、和易性及供应节奏应保持稳定，运输、等待和灌注环节形成连续衔接。接近桩顶时还需适当提高超灌高度，排除顶部浮浆及低质量混凝土，保证设计桩顶范围内结构密实。

2 桥梁桩基施工常见质量问题成因辨识

2.1 塌孔缩径偏孔形成原因分析

塌孔、缩径和偏孔多与地层扰动、护壁能力不足及钻进参数失配有关。松散砂层、粉细砂层或软弱夹层受地下水作用后稳定性降低，若孔内泥浆液面不足、相对密度偏低，孔壁侧向土压力难以得到有效平衡，局部土体容易剥落甚至整体坍塌。钻进速度过快会加剧孔壁扰动，钻头磨损、钻杆刚度不足或机架倾斜又会使钻孔轴线逐步偏移。遇到软硬地层交界时，两侧切削阻力差异明显，钻头易向阻力较小方向偏斜。停钻时间过长还可能引起孔壁回缩和沉渣堆积，使设计孔径、垂直度及有效桩长受到影响。

2.2 钢筋笼变形上浮偏位原因分析

钢筋笼变形往往始于制作、运输和吊装阶段的刚度控制不足。主筋连接误差累积、加强箍设置间距偏大，容易造成大尺寸笼体出现局部弯曲或椭圆变形；吊点布置不合理时，起吊过程中还会产生较大的附加弯矩。下放阶段若孔壁存在缩径、凸起或沉渣，钢筋笼受到阻挡后强行压入，容易引起笼体扭曲及保护层偏差。混凝土灌注初期上升速度过快，粗骨料对钢筋笼底部产生顶托作用，导管提升时若挂碰笼体，也会诱发整体上浮^[2]。定位筋、吊筋或固定装置刚度不足，则难以限制灌注过程中的竖向位移和横向摆动，最终造成钢筋笼中心偏离设计轴线。

2.3 断桩夹泥桩身缺陷原因分析

断桩、夹泥等缺陷主要产生于水下混凝土灌注失去连续性或导管工作状态异常。首灌混凝土方量不足时，导管底口不能形成可靠埋深，孔内泥浆可能进入导管或混入新浇混凝土。灌注过程中导管提升幅度过大，使底口脱离混凝土面，会造成泥浆进入并形成明显夹层；导管埋置过深又可能增加拆管困难，

延误后续浇筑。混凝土和易性不足、运输等待时间过长或骨料级配控制不当,会引起离析、堵管和流动性下降。孔底沉渣超限、二次清孔不彻底时,泥砂还可能被卷入桩身内部,形成夹泥、蜂窝及局部低强度区段。

3 成孔阶段质量问题针对性处理技术

3.1 泥浆性能调控降低孔壁失稳风险

泥浆性能控制应根据桩位地层组成、地下水条件及钻进深度实行动态调整,不能采用固定参数贯穿整个成孔过程。砂层、粉细砂层及松散填土段对护壁能力要求较高,应重点控制泥浆相对密度、黏度、含砂率和胶体率,使孔内液柱压力能够持续平衡孔壁侧向土压力及地下水压力。泥浆相对密度偏低时,护壁膜形成速度慢,孔壁颗粒容易在水流扰动下脱落;参数过高又会增加孔底沉积和后续清孔难度,因此应结合钻进反馈及时修正配比。泥浆循环系统还需控制回流速度和沉淀效果,避免含砂量持续升高削弱护壁质量。钻进期间应连续观察液面高度、返浆状态及泥浆性能变化,孔内液面出现异常下降时不得盲目继续进尺,应核查漏浆、孔壁失稳及地下水补给情况。对于地层转换位置,可通过提高泥浆稳定性、降低钻进扰动强度和缩短孔壁暴露时间协同处理。采用数字化检测设备实时记录泥浆参数,可将传统经验判断转化为参数预警,使护壁控制由事后处置转向过程干预,降低塌孔、缩径及局部坍塌发生概率。

3.2 钻进参数优化控制孔径垂直精度

钻进参数应根据不同土层的切削阻力、钻具受力状态及设备稳定程度分段调整,重点协调调压、转速、进尺速度和循环排渣效率。软弱地层若进尺过快,钻头对孔壁产生持续扰动,容易形成扩孔或局部坍塌;进入硬夹层、卵砾石层后仍保持较高推进速度,则可能造成钻具偏斜、跳钻和孔轴线漂移。施工过程中应根据钻机扭矩、钻进阻力及返渣变化识别地层转换,适当降低进尺速度并保持钻杆受力均衡,使钻头沿设计轴线稳定切削。钻机平台必须具备足够承载力和整体刚度,开钻前校核桅杆垂直度、钻杆中心和桩位中心,施工期间还应复测设备沉降及水平偏移,防止平台微小变形逐渐放大为孔位偏差。成孔较深时,应增加垂直度过程检测频次,对偏斜趋势及时采用扫孔、纠偏等方式处理,不宜等到终孔后集中修正^[1]。孔径控制则需结合钻头磨损程度进行检查,刃齿损耗或钻头直径不足应及时更换。利用钻机运行数据、孔深信息和倾斜监测结果建立参数联动控制,可提高成孔尺寸一致性,减少偏孔、缩径及局部超挖对桩身质量产生的不利影响。

3.3 清孔工序强化控制沉渣厚度指标

清孔质量直接影响桩端承载条件和桩身混凝土完整性,应将沉渣厚度、泥浆含砂率及孔底沉积状态作为连续控制对象,而不是仅在终孔后进行一次性处理。终孔达到设计深度后,应先利用循环泥浆带出孔底大颗粒钻渣,使孔内悬浮物逐步降

低,再结合孔深、孔径和地层性质选择适宜的循环方式控制沉积速度。清孔过程中应保持合理循环流量,流速过低难以携带细颗粒,过高又可能扰动孔壁并诱发新的塌落。钢筋笼和导管安装完成后,还需关注等待时间造成的二次沉淀,灌注前重新检测孔底沉渣,不能直接使用首次清孔结果替代最终状态。检测时应同步核对实际孔深和设计孔深,防止测绳粘附泥浆、孔底软层压缩等因素造成误判。泥浆含砂率过高时,应加强循环置换,使孔底沉积物能够持续排出;沉渣仍超限时,应延长清孔时间并调整循环参数,直至满足施工控制要求。引入数字测深、泥浆在线检测和施工记录联动,可形成沉渣变化曲线,及时识别清孔效率下降、孔底回淤等异常,使清孔质量控制更加精细,降低桩端夹泥、桩底软弱层及承载力不足风险。

4 钢筋笼安装及混凝土灌注质量控制措施

4.1 分节制作定位控制钢筋笼安装偏差

钢筋笼分节制作应从主筋下料、加强箍设置、接头布置和整体几何尺寸四个环节同步控制,避免加工误差在多节连接后逐步累积。主筋长度、间距及端部位置需依据设计尺寸统一放样,接头区域应错开布置,连接完成后重点复核笼体直径、轴线顺直度和节间同心程度。长钢筋笼吊装时,单点受力容易造成局部弯折,应结合节段长度、刚度和自重合理布置吊点,使起吊过程中的弯矩分布更加均衡。下放前还应检查孔口中心、护筒中心和钢筋笼轴线关系,利用定位架、十字控制线或导向装置限制横向摆动。入孔过程中保持匀速下放,发现阻力异常时暂停检查,不得依靠冲击或强压使笼体通过缩径部位。保护层垫块需沿周向、纵向合理布置,使笼体与孔壁保持稳定间距。达到设计高程后,应采用吊筋、限位架等措施固定顶部位置,并复核顶标高、中心偏差和垂直状态。数字测量设备可同步记录吊装高程及偏位数据,将加工、吊装、定位三个阶段形成连续质量控制链,降低钢筋笼偏心、倾斜和保护层厚度不足的发生概率。

4.2 导管埋深控制防止断桩夹泥发生

导管埋深控制应贯穿首灌、正常灌注、拆管和桩顶收尾全过程,其核心在于保持导管底口始终处于已灌混凝土内部,防止泥浆重新进入导管或混入新浇筑混凝土。灌注前应根据孔深、导管总长和接管组合准确计算底口位置,同时完成导管水密性检查,避免接头渗漏削弱灌注压力。首批混凝土方量应根据桩径、导管尺寸和孔底空间进行核算,使初灌完成后能够形成稳定埋置条件。正常灌注阶段不能仅依靠理论方量判断混凝土面位置,应定时测量实际上升高程,并结合累计灌注量校核,发现两者偏差较大时及时分析扩孔、塌孔或测量误差。拆除导管前应根据当前混凝土面高程计算剩余埋深,严禁凭经验一次拆除过多管节。埋深过小容易导致导管脱离混凝土面形成夹泥和断层,埋深过大则会增加管壁摩阻,造成提升困难甚至堵管

[4]。灌注过程中还应控制拆管节奏,保持导管竖向提升平稳,减少横向摆动对钢筋笼和桩身混凝土的扰动。采用实时测深记录、方量自动统计和埋深动态计算,可及时识别异常变化,使导管控制由经验操作转向数据化管理,降低断桩、夹泥、离析和局部低强度区形成风险。

4.3 灌注连续管理抑制钢筋笼上浮现象

钢筋笼上浮通常发生在混凝土灌注初期和快速上升阶段,控制重点应放在混凝土供应节奏、导管位置、灌注速度及笼体固定状态之间的协调。灌注前应确认钢筋笼顶部固定装置具有足够刚度,吊筋、定位架及孔口支撑不得存在松动,防止混凝土上升产生的浮托力超过约束能力。首灌完成后,混凝土自导管底部向四周扩散并逐渐上升,当混凝土面接近钢筋笼底端时,粗骨料冲击和流体上升产生的顶托作用会明显增强,此阶段应适当控制灌注速度,避免短时间内大量混凝土集中进入孔内。导管埋置位置同样需要动态调整,埋深过大容易增加混凝土沿钢筋笼周边向上的推力,导管提升过快又可能挂碰笼体产生附加抬升。混凝土坍落度和和易性应保持稳定,离析、泌水或流动性不足会增加局部阻力,使钢筋笼受力更加不均。施工组织还需保证拌合、运输、检测和灌注连续衔接,避免长时间停灌造成已浇混凝土流动性下降,恢复灌注后形成较大的瞬时冲击。通过记录混凝土面高程、导管埋深、灌注方量和钢筋笼顶标高变化,可及时发现上浮趋势,并根据实时数据调整灌注强度和导管位置,控制钢筋笼竖向位移。

5 质量处理措施实施后的桩基施工成效评价

5.1 成孔尺寸稳定程度评价

成孔尺寸稳定程度应结合孔径、孔深、垂直度及孔位偏差进行综合判定。质量处理措施落实后,钻进参数、泥浆性能和清孔过程形成较稳定的协同控制关系,孔壁局部坍塌、缩径及扩孔现象得到有效压减。检测数据能够较准确反映不同深度范

围的孔径变化,桩孔轴线偏移幅度趋于平稳,成孔深度与设计值保持较高一致性。孔底沉渣厚度控制更加均衡,复杂地层转换位置的孔形突变明显减少,为钢筋笼顺利下放和后续混凝土灌注提供较稳定的几何空间条件。

5.2 桩身完整质量等级评价

桩身完整质量等级主要依据低应变检测、声波透射检测等结果进行判定,并结合施工记录分析缺陷位置及形成特征。处理措施实施后,混凝土灌注连续性得到加强,导管脱空、泥浆侵入和局部离析引起的桩身缺陷数量明显减少^[5]。检测波形连续性及其传播特征更加稳定,明显缩颈、夹泥、断层和低强度区段发生概率降低,桩身截面完整程度得到改善。钢筋笼偏位及保护层异常同步减少,使桩体内部受力构造更加规整,I类、II类桩占比能够保持在合理水平,成桩质量离散性得到压缩。

5.3 单桩承载性能控制效果评价

单桩承载性能评价应结合静载试验结果、沉降变化规律及桩身质量检测数据进行综合判断。处理措施实施后,孔底沉渣受控、桩端接触条件改善,桩侧土体扰动程度降低,使侧摩阻力和端阻力能够按照设计受力路径逐步发挥。加载过程中沉降曲线变化趋于平缓,各级荷载对应沉降量保持合理区间,卸载后的残余变形得到控制。桩身完整性提高后,荷载传递过程中的局部应力集中现象减少,单桩极限承载力及变形稳定性更加可靠,为承台及上部桥梁结构提供稳定的基础受力条件。

6 结语

桥梁桩基施工质量受成孔、钢筋笼安装、混凝土灌注等多道工序共同影响。针对塌孔缩径、偏孔、钢筋笼上浮及断桩夹泥等问题,强化泥浆参数、钻进精度、导管埋深和连续灌注控制,可减少桩身缺陷,稳定成孔质量及承载性能,形成更加精细、可靠的桩基施工质量控制体系。

参考文献:

- [1] 王明理,刘艳杰,李名远,等.探究公路桥梁施工中桩基施工技术与质量控制[J].工程建设与设计,2025,(12):199-201.
- [2] 熊文祺.桥梁施工中常见的技术问题及对策研究[J/OL].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025,(2):111-114[2026-08-22].
- [3] 金书强.探讨公路桥梁施工中钻孔灌注桩质量控制路径分析[J].建筑与装饰,2025,(7):184-186.
- [4] 孟令飞.道路与桥梁施工中软土地基施工技术要点[J/OL].中国科技期刊数据库工业 A,2025,(9):033-036[2026-08-22].
- [5] 李平.桥梁桩基施工中的常见问题及处理对策[J/OL].中国科技期刊数据库工业 A,2024,(11):232-235[2026-08-22].