

钻孔灌注桩施工技术要点及质量管控策略

李湘奎 李营营

天津海滨岩土工程有限公司 天津 300382

摘要：钻孔灌注桩作为高层建筑与桥梁工程的主要基础形式，其施工质量直接关系结构安全。本文系统阐述了钻孔灌注桩的成孔、清孔、钢筋笼制作与安装、水下混凝土灌注等关键施工技术要点，从成孔阶段、钢筋笼质量、混凝土灌注阶段三个方面分析了常见质量通病及其成因，并从事前、事中、事后三个维度提出了全过程质量管控策略。研究表明，泥浆性能控制、沉渣厚度控制、导管埋深控制是保证成桩质量的核心要素，构建覆盖施工全流程的质量管控体系是预防断桩、夹泥、缩径等质量问题的有效路径。

关键词：钻孔灌注桩；施工技术；质量通病；管控策略

引言：钻孔灌注桩具有承载力高、适应性强、施工噪声小等优势，广泛应用于高层建筑、桥梁、港口等工程领域。然而，钻孔灌注桩属于隐蔽工程，施工过程不可见，质量控制难度大。成孔阶段的塌孔、缩径，混凝土灌注阶段的断桩、夹泥等质量通病时有发生，一旦形成缺陷，处理难度大、成本高，甚至危及主体结构安全。因此，系统掌握钻孔灌注桩施工技术要点，深入分析常见质量问题的成因，并构建全过程质量管控策略，对于提升桩基工程质量、保障结构安全具有重要的理论价值和现实意义。

1 钻孔灌注桩施工工艺与技术要点

1.1 钻孔灌注桩的基本原理与分类

钻孔灌注桩是通过机械成孔、放入钢筋笼并灌注混凝土形成的桩基础。其工作原理为：钻头破碎土层或岩层，泥浆护壁维持孔壁稳定，清孔后灌注混凝土置换泥浆，混凝土硬化后与土体共同承担荷载。按受力特性分为摩擦桩（依靠桩侧摩阻力，适用于深厚软土层）和端承桩（依靠端阻力，适用于基岩或坚硬土层）。按成孔工艺分为正循环回转钻、反循环回转钻、冲击钻、旋挖钻等，不同工艺适用于不同地质条件。钻孔灌注桩具有单桩承载力高、适应各类地层、对环境影响小等优点，已成为高层建筑和大型桥梁的首选桩型。

1.2 施工准备阶段技术要点

施工准备是保证钻孔灌注桩质量的基础环节。场地平整与桩位放样是首要工作，需清除障碍物、整平压实场地，采用全站仪精确放样桩位中心点，设置十字护桩并定期复核。护筒埋设要求位置准确、垂直稳固，护筒中心与桩位中心偏差不大于5厘米，护筒高出地面30厘米以上以防止地表水流入，埋设深度根据土层情况确定，一般黏性土不小于1米，砂性土不小于1.5米。泥浆制备

是关键技术，泥浆具有护壁、携渣、冷却钻头等作用，性能指标需严格控制：比重1.05~1.25，粘度18~22秒，含砂率不大于4%，pH值8~10。钻机选型应依据地质条件、桩径、桩长确定，就位后调整水平度与垂直度，确保钻杆中心与桩位中心对中。

1.3 成孔阶段技术要点

成孔是钻孔灌注桩施工的核心环节，直接决定桩的垂直度和孔径完整性。钻进参数控制包括钻压、转速和泥浆循环量，应依据地层变化及时调整：软土层轻压慢转，砂层适当提高泥浆比重和粘度，卵石层采用冲击钻进，岩层采用牙轮钻头并控制钻压。不同地层的钻进策略差异显著，淤泥质土层易缩径，需加大泥浆比重并控制钻进速度；流砂层易塌孔，需提高泥浆粘度并保持连续循环；岩层需控制钻压防止偏孔^[1]。护壁泥浆的动态维护至关重要，应定时检测泥浆性能指标，及时补充新鲜泥浆，置换劣化泥浆。成孔垂直度控制是质量关键，每进尺2~3米应检测一次垂直度，偏差不得超过1%。孔深测定与持力层判断需结合钻速变化、返渣情况和设计标高综合确定，进入持力层后应取样留存。

1.4 清孔阶段技术要点

清孔的目的是清除孔底沉渣，保证桩端承载力。清孔应在成孔验收合格后立即进行。正循环清孔操作简便但效果一般，适用于浅孔和细颗粒地层。反循环清孔通过泵吸或气举将沉渣直接抽出，效率高，适用于大直径深孔。气举反循环清孔速度快，适用于超深孔。清孔质量验收标准：孔底沉渣厚度，端承桩不大于5厘米，摩擦桩不大于10厘米；清孔后泥浆指标应满足比重不大于1.15，粘度18~20秒，含砂率不大于2%。清孔过程中应保持孔内水头高度，防止塌孔。清孔完成后应立即灌注混凝土，如不能及时灌注，应保持泥浆循环或定期搅

动,防止沉渣再次沉淀。

1.5 钢筋笼制作与安装技术要点

钢筋笼制作与安装质量直接影响桩体强度。钢筋笼加工应严格按照设计图纸进行,主筋间距偏差不大于 ± 10 毫米,螺旋筋间距偏差不大于 ± 20 毫米。主筋连接采用焊接或机械连接,焊接长度单面焊不小于10倍直径、双面焊不小于5倍直径,焊缝饱满无夹渣。保护层垫块沿钢筋笼圆周均匀布置,每2米一道、每道不少于3块。钢筋笼分段连接时接头错开布置,同一截面接头面积不超过50%。吊装采用多点起吊防止变形,下放时缓慢垂直入孔,遇阻不得强行下放。声测管沿钢筋笼内侧均匀布置,接头密封。钢筋笼下放到位后应固定在孔口,防止上浮或下沉。

1.6 水下混凝土灌注技术要点

水下混凝土灌注是最容易出现质量问题的环节。导管法灌注是主流工艺,导管使用前应进行水密性试验,试验压力不小于孔底压力的1.3倍。导管底口距孔底30~50厘米。首批混凝土灌注量必须满足封底要求,确保导管底口埋入混凝土面以下1米以上。灌注过程中应保持连续作业,中断时间不超过混凝土初凝时间。导管埋深是关键参数,埋深过浅易断桩,过深则灌注困难,正常埋深控制在2~6米之间,每灌注一车混凝土应测量混凝土面高度并及时提拆导管。超灌高度应高出设计桩顶0.5~1.0米。桩头处理在混凝土终凝后进行,采用环切法破除浮浆层至新鲜混凝土面。

2 钻孔灌注桩常见质量问题及成因分析

2.1 成孔阶段质量问题

成孔阶段质量问题主要包括孔壁坍塌、缩径、钻孔偏斜和孔底沉渣过厚。孔壁坍塌表现为孔内水位下降、泥浆冒泡、出渣量异常增加,成因为泥浆性能差、水头不足、钻进过快、地层变化未及时调整。缩径表现为孔径小于设计直径,发生在软土和膨胀土层,成因为软土蠕变、泥皮过厚、钻头磨损。钻孔偏斜表现为垂直度超差,成因为场地不平、钻杆弯曲、钻机未水平、地层软硬不均。孔底沉渣过厚表现为清孔后沉渣超标,成因为清孔不彻底、泥浆携渣能力差、等待时间过长、泥浆比重过大^[2]。上述问题一旦形成,不仅影响桩身承载力,还可能造成废桩。预防关键在于合理选择泥浆性能指标、严格控制钻进参数、及时检测孔壁稳定性。

2.2 钢筋笼质量问题

钢筋笼质量问题主要表现为钢筋笼上浮、变形和下落不到位。钢筋笼上浮发生在混凝土灌注过程中,表现为钢筋笼随混凝土面升高而抬高,成因为导管埋深过

大、混凝土冲击力过强、混凝土浮力过大、钢筋笼固定不牢。上浮会改变钢筋保护层厚度和受力位置,严重时导致桩顶钢筋外露。钢筋笼变形发生在制作、存放或吊装过程中,表现为骨架扭曲、主筋弯折、螺旋筋松脱,成因为焊接不牢、吊点设置不当、起吊速度过快、存放场地不平。钢筋笼下放不到位表现为无法下放到设计标高,成因为孔径不足、孔壁坍塌掉块、钢筋笼直径过大、接头焊瘤卡阻。预防措施包括:严格控制导管埋深、设置防浮装置、规范吊装作业、下放前检查孔径和垂直度、遇阻时严禁强行贯入。

2.3 混凝土灌注阶段质量问题

混凝土灌注阶段是最容易出现严重质量问题的环节,断桩表现为桩身混凝土不连续,局部出现泥土或空洞,是最严重的质量事故。成因包括导管拔出混凝土面、混凝土供应中断、堵管后处理不当、导管密封不严进水。夹泥与夹砂表现为桩身混凝土中夹杂泥砂,成因为导管底口拔出混凝土面后泥浆进入、导管密封不严泥浆渗入、混凝土离析、首盘封底失败。桩身蜂窝、空洞表现为混凝土不密实,成因为混凝土和易性差、坍落度过小、导管埋深过大导致混凝土流动困难、灌注速度过慢。桩头强度不足表现为桩顶混凝土松散、强度低,成因为超灌高度不足、浮浆层未清除干净、桩头受冻或失水。预防措施包括:确保混凝土供应连续性、严格控制导管埋深、使用高性能混凝土、保证足够超灌高度、加强灌注过程监测。

2.4 桩身完整性检测发现的典型缺陷

桩身完整性检测是验证成桩质量的重要手段。声波透射法通过在预埋声测管间发射和接收声波,根据声速和波幅判断混凝土质量。典型异常波形包括:声速偏低表明混凝土强度不足,波幅骤降表明存在泥砂夹层或空洞,波形畸变表明存在缺陷界面。低应变反射波法通过分析桩顶激振后的反射波特征判断完整性,典型曲线特征包括:同向反射表明缩径或离析,反向反射表明扩径,多次反射表明断桩。钻芯取样是验证缺陷的最直接方法,可直观观察混凝土胶结情况、沉渣厚度和桩底持力层状态,典型缺陷包括芯样破碎、骨料分布不均、泥砂夹层、蜂窝麻面。各类检测方法各有优劣,通常采用两种以上方法综合判定。检测结果评定按照规范分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ类桩,Ⅲ类桩需处理,Ⅳ类桩必须报废补桩。

3 钻孔灌注桩施工质量管控策略

3.1 事前质量控制策略

事前控制是预防质量问题的首要防线,施工方案编

制与论证审查是基础工作,方案应包括成孔工艺选择、泥浆配比、混凝土配合比、灌注参数等,针对复杂地质条件和超深大直径桩应组织专家论证。原材料质量控制是根本保障,钢筋需查验质保书并进行力学性能复验,水泥、骨料、外加剂应符合规范要求,泥浆材料应按配比准确计量^[3]。设备检查与计量校准包括钻机水平度、垂直度校准,泥浆泵流量标定,导管水密性试验,混凝土搅拌设备计量校验。技术交底与人员培训应覆盖全体作业人员,重点交底关键工序控制参数和应急处置措施。试成孔与工艺参数确定是验证方案可行性的关键步骤,通过试成孔检验钻机性能、泥浆配比、钻进参数,根据试验结果优化工艺参数,为后续批量施工提供技术依据。

3.2 事中质量控制策略

事中控制是保证施工质量的核心环节,成孔过程控制包括:泥浆性能定时检测与调整,每2小时检测一次比重、粘度、含砂率;钻进参数动态记录与优化,依据地层变化及时调整钻压、转速;每进尺2~3米检测垂直度;终孔后测量孔深、孔径,留存钻渣样本。清孔质量控制包括:清孔后采用测锤或沉渣仪检测沉渣厚度,端承桩不大于5厘米、摩擦桩不大于10厘米;检测清孔后泥浆指标,三方验收合格后方可进入下道工序。钢筋笼安装质量控制包括:检查焊接质量,焊缝饱满无夹渣;检查保护层垫块间距和数量;下放过程中监控垂直度,遇阻时记录位置并处理。混凝土灌注质量控制是事中控制的重点:每车混凝土检测坍落度,控制在18~22厘米;实时测量孔内混凝土面高度,计算导管埋深并记录;灌注中断超过30分钟应启动应急预案;记录灌注全过程数据,形成完整灌注记录表。

3.3 事后检验与缺陷处理策略

事后检验是验证施工质量的最后关口,成桩质量检测方法选择应依据桩基重要性、桩径、桩长综合确定,低应变法适用于检测桩身完整性,声波透射法适用于大直径桩的精细检测,钻芯法用于验证缺陷或检测持力层。检测结果判定与等级评定应严格按照《建筑基桩检测技术规范》执行,I、II类桩为合格桩,III类桩需进行注浆补强处理,IV类桩必须报废后补桩。常见缺陷的处理措施:轻微缩径或局部离析可采用高压注浆补强,注浆压力控制在1~3兆帕,浆液采用水泥浆或化学浆液;严重断桩或夹泥需在缺陷位置开挖或钻孔后重新灌

注;承载力不足可采取桩侧注浆或桩端注浆提高承载力。质量追溯与资料归档要求所有施工记录、检测报告、处理记录完整保存,形成可追溯的质量档案,为工程验收和后期维护提供依据。

3.4 基于全过程管控的质量保证体系

构建覆盖施工全流程的质量保证体系是实现质量目标的长效机制,关键工序停止点与见证点设置是体系的核心内容:成孔完成后、钢筋笼下放前、混凝土灌注前应设置停止点,由监理工程师验收签字后方可进入下一工序;钻进参数调整、导管提拆、混凝土配比调整应设置见证点,需有专人旁站见证。质量责任落实到岗到人要求明确项目经理、技术负责人、质检员、班组长等各级人员的质量职责,签订质量责任书,实施质量奖惩考核。数字化施工监控系统是提升管控水平的技术手段,成孔记录仪自动采集钻进参数并生成成孔曲线,灌注监测系统实时采集混凝土面高度、导管埋深、灌注流量,异常时自动报警^[4]。建立质量问题快速响应机制,发现问题立即停工整改,分析原因后修订工艺措施,防止同类问题重复发生。

结束语

钻孔灌注桩作为隐蔽工程,其施工质量直接关系到工程结构安全。本文系统阐述了钻孔灌注桩的成孔、清孔、钢筋笼制作安装、水下混凝土灌注等关键施工技术要点,分析了成孔阶段、钢筋笼质量、混凝土灌注阶段的常见质量通病及其成因,并从事前、事中、事后三个维度提出了全过程质量管控策略。未来应进一步推广数字化监控系统和智能灌注设备的应用,推动钻孔灌注桩施工质量管控从经验判断向数据驱动转变,持续提升桩基工程质量水平。

参考文献

- [1]田浩,马文涛,薛宇超.水利施工钻孔灌注桩施工技术要点[J].大众标准化,2022(5): 67-69.
- [2]白伟.桥梁施工中钻孔灌注桩施工技术要点[J].运输经理世界,2024(15): 83-85.
- [3]姜小红,张睿,刘骅.轨道交通车站钻孔灌注桩施工技术要点[J].交通世界,2023(29):13-15.
- [4]宋灿灿,夏赞赞.水利项目钻孔灌注桩施工技术要点分析[J].建筑工人,2026,47(1):51-53.