

水利工程钻孔灌注桩施工技术分析

王 程

(衡宇建设集团有限公司合肥分公司, 安徽 合肥 230093)

摘 要 钻孔灌注桩凭借承载力强、适应性广、施工扰动小等优势, 成为水利工程基础施工中的核心技术, 广泛应用于大坝、水闸、泵站等水利构筑物的地基处理中。本文结合水利工程施工特点, 阐述钻孔灌注桩施工的前期准备与核心流程, 分析施工过程中常见的质量问题及成因, 提出针对性的解决对策, 总结施工技术应用要点与发展趋势, 以为水利工程钻孔灌注桩施工质量提升提供理论参考与实践借鉴, 进而保障水利工程基础结构的稳定性和耐久性。

关键词 水利工程; 钻孔灌注桩; 钻孔作业; 钢筋笼制作; 塌孔

中图分类号: TV553

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.24.030

0 引言

水利工程作为国民经济的重要基础设施, 承担着防洪、灌溉、供水等重要民生职能, 其基础工程质量直接决定整个工程的安全运行与使用寿命。钻孔灌注桩因能适应水利工程复杂的地质条件, 可有效穿越软土、砂卵石等不良地层, 且具备良好的抗渗、抗倾覆性能, 在水利基础施工中应用广泛。但在实际施工中, 受地质条件、施工工艺、操作水平等因素影响, 易出现塌孔、钻孔偏斜、断桩等问题, 影响工程质量。因此, 深入分析钻孔灌注桩施工技术要点, 排查施工隐患, 优化施工工艺, 对提升水利工程施工质量、保障工程长期稳定运行具有重要意义。

1 水利工程钻孔灌注桩施工前期准备与核心流程

1.1 施工前期准备

水利工程钻孔灌注桩施工前期筹备, 是筑牢施工根基、规避质量隐患、适配水利工况特点的核心前提, 需从技术、场地、设备、材料四大维度系统推进。技术方面, 技术人员通过深度研读图纸与地质勘察报告, 精准把控桩位、桩径等参数, 结合水下施工、地质复杂的特性编制专项方案, 明确工艺标准与应急措施, 完成全员技术交底。场地面层, 清理平整作业区, 硬化软土路基、搭建施工平台并完善排水系统, 合理规划运输与堆放区域, 避免扰动周边水利设施。设备进场前全面检修调试, 确保钻机、输送设备等性能达标。原材料严格筛选检测, 钢筋、抗渗混凝土、护壁膨润土等均检验合格后投入使用, 为施工夯实基础^[1]。

1.2 钻孔作业施工

钻孔作业是钻孔灌注桩施工的核心环节, 施工质量直接影响桩体成型效果, 需严格控制钻孔精度、泥浆护壁质量及钻进速度。钻孔前, 采用全站仪精准定位桩位, 设置定位桩和护桩, 确保桩位偏差控制在规范允许范围; 埋设钢护筒, 采用钢板制作, 直径比桩径大 10 cm ~ 20 cm, 埋深根据地质条件确定, 一般不小于 1.5 m, 护筒周边用黏土分层夯实, 防止泥浆渗漏和护筒移位。泥浆护壁是关键, 需结合地质配置泥浆, 砂层采用“膨润土 + 纯碱 + 纤维素”混合泥浆, 黏度控制在 22 s ~ 25 s、比重 1.2 ~ 1.3, 形成致密泥皮保护孔壁; 淤泥层适当提高泥浆比重至 1.3 ~ 1.4, 防范孔壁坍塌。钻进中, 根据地层特性调整参数, 黏性土层可适当提速, 砂卵石层遵循“慢进尺、勤排渣”原则, 降低钻进速度; 实时监测孔内水位, 保持高于地下水位 1.5 m ~ 2.0 m, 定期检测泥浆性能并调整配比。钻孔至设计深度后, 用超声波检测仪检测孔径与垂直度, 确保孔径偏差 $\leq \pm 50$ mm、垂直度偏差 $\leq 1\%$, 合格后方可进入下一工序。

1.3 钢筋笼制作与安装

钢筋笼制作与安装直接影响桩体抗拉强度和整体稳定性, 需严格遵循设计要求和施工规范。钢筋笼采用工厂化加工, 选用 HRB400 级钢筋, 主筋直径、箍筋间距、加强箍设置符合设计标准, 主筋直径 ≥ 22 mm, 箍筋间距 ≤ 200 mm, 每隔 2 m 设置一道加强箍; 结合水利工程桩体抗裂、抗腐蚀需求, 增设纵向止水钢筋并与主筋焊接牢固, 加工完成后采用环氧树脂涂层进行

作者简介: 王程 (1979-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 水利水电工程。

防锈处理,防止桩体长期浸泡锈蚀。钢筋笼制作完成后,重点检验钢筋规格、焊接质量及尺寸,确保符合规范^[2]。安装采用吊车分段吊装,段间焊接长度 $\geq 10d$ (d 为主筋直径),焊接质量需进行无损检测;安装时保持钢筋笼居中,设置厚度 ≥ 70 mm 的混凝土保护层垫块,避免保护层不足影响抗渗性能。吊装过程中缓慢下放,防止碰撞孔壁破坏泥皮,下放至设计标高后固定牢固,防范混凝土灌注时发生上浮,保障钢筋笼安装质量。

2 水利工程钻孔灌注桩施工常见问题分析

2.1 塌孔问题

塌孔是水利工程钻孔灌注桩施工中最常见的质量问题,多发生于砂层、粉土层、淤泥层等不稳定地层,严重影响施工进度与工程质量。其成因主要有三个方面:一是地质因素:地下水位骤升(尤其雨季或承压水层施工)会破坏孔壁土压力平衡,砂层、粉土层透水性强易导致泥浆渗漏,淤泥层土质松软、孔隙比大,孔壁稳定性差,均易引发塌孔。二是施工工艺缺陷:泥浆黏度、比重不达标,无法有效包裹钻渣、形成致密泥皮;钻进速度过快扰动孔壁土体,破坏原状土结构;护筒埋设不规范,埋深不足、周边回填不密实,导致泥浆渗漏、护筒移位;钻孔停钻时间过长,泥浆沉淀使孔壁失去保护。三是设备与操作因素:钻机底座不平整、固定不牢,钻进时倾斜扰动孔壁;钻杆弯曲、接头不直,产生不均匀挤压力;操作人员未及时监测泥浆液面和性能,隐患未及时处理。塌孔若处理不及时或不当,可能导致钻孔报废,增加施工成本、延误工期^[3]。

2.2 钻孔偏斜问题

钻孔偏斜会影响桩体受力性能,若偏斜超标,会导致桩体受力不均、承载力下降,甚至影响水利构筑物整体稳定性。其成因主要包括四个方面:一是设备因素:桩架不稳、钻杆导架不垂直,钻机部件松动,或钻杆弯曲、接头不直,使钻具无法保持垂直;钻机底座未垫实平整,施工中因土层沉降导致钻机倾斜。二是地质因素:钻进时遇较大孤石、探头石,或在粒径悬殊的砂卵石层中钻进,钻头阻力不均导致偏移;软硬地层交替时,钻进速度控制不当,软地层过快、硬地层过慢,造成孔壁受力不均引发偏斜。三是操作因素:操作人员未严格按规范定位校正钻机,未用经纬仪或全站仪在互成 90° 方向校正桩架垂直度,或校正后未复核;钻进中未实时监测垂直度,发现偏斜未及时纠正。四是环境因素:水利施工区域多临近水源,场地积水、泥泞导致钻机移位倾斜;风力过大使钻机晃动,均会影响钻孔垂直度。钻孔偏斜还会影响钢筋笼安装和混凝土灌注,严重时需返工,增加施工成本。

2.3 混凝土灌注相关问题

混凝土灌注是决定桩体完整性和密实度的关键工序,水利工程水下灌注中,易出现封底失败、卡管、断桩、夹泥层等问题,严重影响桩体质量。封底失败主要因首批混凝土数量不足、孔底沉渣过厚,导致无法实现水下封底,泥浆与混凝土混合影响质量。卡管则源于混凝土和易性差、坍落度不达标,含大块骨料或受潮凝固水泥块,灌注冲击力不足,或导管内壁结垢堵塞,导致灌注中断。断桩是最严重的问题,成因包括导管埋深不足(泥浆倒灌污染混凝土)或过深(导管无法提拔),混凝土供应中断导致已浇筑混凝土初凝,新旧混凝土无法结合,以及钢筋笼上浮与混凝土黏结不紧密形成缝隙。夹泥层主要因清孔不彻底、孔底沉渣过多,导管提升过快导致泥浆进入,或混凝土灌注过快使泥浆无法及时排出,混入混凝土中。这些问题会导致桩体强度不足、完整性差,无法满足水利工程基础承载和抗渗要求。

3 水利工程钻孔灌注桩施工问题解决对策

3.1 塌孔防控对策

针对塌孔问题,需坚持“预防为主、防治结合”的原则,结合地质条件和施工实际,采取针对性的防控措施。一是优化泥浆护壁质量,根据地质勘探报告调整泥浆配比,黏性土地层适当降低泥浆黏度和比重,增强携渣能力;砂层、粉土层中适当增加膨润土掺量至 $8\% \sim 12\%$,并添加 CMC(羧甲基纤维素)改善泥浆的悬浮性和稳定性,确保泥浆黏度维持在 $18\text{ s} \sim 22\text{ s}$,比重控制在 $1.1\text{ g/cm}^3 \sim 1.3\text{ g/cm}^3$;定期检测泥浆性能,及时补充新泥浆,确保泥浆始终处于良好的护壁状态。二是规范护筒埋设与钻进操作,护筒埋设前精准定位,确保中心与桩位中心重合,埋深符合设计要求,周边用优质黏土分层回填夯实,夯实时不得撞击护筒;钻进过程中严格控制钻进速度,软淤泥、流沙层中遵循“低转速、慢进尺”的原则,让泥浆有足够的时间形成护壁,避免钻进过快扰动孔壁;避免长时间停钻,若确需停钻,需定期循环泥浆,防止泥浆沉淀。三是加强现场监测与应急处置,安排专人每小时监测一次泥浆液面高度,并记录,发现液面下降较快,立即查找原因并迅速补充泥浆;轻度塌孔时,立即停止钻进,将钻具提至安全高度,补充优质泥浆,提高泥浆比重至 1.3 以上,提高孔内水头,循环观察 $1\text{ h} \sim 2\text{ h}$,确认无异后再恢复钻进;严重塌孔时,立即回填掺有 5% 水泥的黏土混合物或低标号砂浆至塌孔位置以上 $1\text{ m} \sim 2\text{ m}$,待其凝固 $3\text{ d} \sim 7\text{ d}$ 后,在原位置重新钻进。四是规范设备操作,钻机就位后确保底座平整、固定牢固,钻进

前检查钻杆的完好性,避免使用弯曲、损坏的钻杆^[4]。

3.2 钻孔偏斜纠正对策

针对钻孔偏斜问题,需从设备校准、操作规范、地质适配等方面采取措施,确保钻孔垂直度符合要求。一是加强设备检查与校准,钻机就位后,采用两台经纬仪或全站仪在互成90°的方向上校正桩架(或钻杆)的垂直度,不仅要检查静态垂直度,还应在钻机空转运行时观察其是否有明显晃动;每班开始工作前,机长必须检查钻杆连接销、螺栓是否松动,钻杆是否有肉眼可见的弯曲,及时更换损坏的钻杆和部件;钻机底座需垫实钢板,防止施工中因土层沉降导致钻机倾斜,临平台需增设揽风绳固定。二是优化钻进工艺,采用“减压钻进”法,尤其在开孔和进入软硬交替地层时,通过吊钩系统使钻杆始终处于受拉状态,仅提供部分钻压,避免钻杆因受压而弯曲导致偏斜;遇到孤石、探头石时,暂停钻进,先回填黏土和片石,用锥形钻头将探头石挤压在孔壁内,或用冲击钻冲击击碎,再继续钻进;在软硬交替地层中,降低钻进速度,逐步过渡,维持孔壁稳定^[5]。三是及时纠正偏斜,发现孔斜后,不要盲目强行钻进,应提起钻头,分析偏斜的位置和原因;对于上部20 m以内的偏斜,回填高强度等级的片石(粒径10 cm~20 cm)和黏土的混合物至偏斜位置以上至少2 m,然后用冲击钻采用“低冲程、高频率”的方式反复冲砸、修孔;对于下部较深的偏斜,采用“扫孔法”,在偏斜段,使钻头反复上下提拉,并不旋转或慢速旋转,利用钻头侧刃逐步切削突出的孔壁。四是优化施工环境,及时清理施工场地积水,对泥泞场地进行硬化处理,避免钻机移位、倾斜;风力较大时,暂停钻孔作业,防止钻机晃动引发偏斜。

3.3 混凝土灌注问题解决对策

针对混凝土灌注过程中的各类问题,需从混凝土质量、导管操作、灌注流程等方面严格把控,确保灌注质量。一是严控混凝土质量,根据水利工程抗渗、抗冻要求优化混凝土配合比,采用商品混凝土,坍落度控制在180 mm~220 mm,初凝时间 ≥ 6 h,掺入粉煤灰与聚羧酸减水剂,提升混凝土和易性与抗渗性;严格控制粗骨料粒径,最大粒径不大于导管内径的1/8和钢筋净距的1/4,避免混入大块骨料和杂物;混凝土运输过程中需持续搅拌,防止离析,进场后进行坍落度检测,不合格的混凝土严禁使用。二是规范导管操作,导管使用前进行试拼、水密性试验,确保导管无渗漏、无变形;导管安装时保持垂直,避免弯曲、倾斜,导管底部距孔底300 mm~500 mm;灌注过程中严格控制导管埋深,保持在2 m~6 m之间,埋深过浅时及

时补充混凝土,埋深过深时缓慢提拔导管,避免导管拔出混凝土面;定期清理导管内壁,防止结垢、堵塞。三是优化灌注流程,灌注前严格清孔,采用换浆法或抽浆法进行二次清孔,确保孔底沉渣厚度符合规范要求,沉渣厚度不大于50 mm;计算准确的首批混凝土方量,确保首批混凝土灌注后导管埋深 ≥ 1.0 m,实现有效封底;安排专人实时监测混凝土灌注进度和孔内混凝土面高度,及时调整灌注速度,当混凝土面在钢筋笼底口以下时,可适当加快灌注;当混凝土面升至钢筋笼内时,应适当放慢灌注速度,减少混凝土向上的顶托力。四是加强应急处置,封底失败时,立即暂停灌注,用带底盖的捞渣筒或反循环钻机将已灌注的混凝土和沉渣一并吸出,清理干净后重新灌注;卡管时,在保证最小安全埋深的前提下,小幅提升导管然后快速下落,或用附着式振动器振动导管,无效时可加大一次性拆管长度,若仍无法疏通,需拔除导管,清理孔内混凝土后重新灌注;发生断桩时,根据断桩位置和程度,采用接桩或补桩的方式处理,确保桩体完整性。

4 结束语

孔钻孔灌注桩作为水利工程基础结构的核心施工技术,其成桩质量直接关乎水利工程整体结构安全与长效运行能力。本文围绕水利工程场景下该技术的施工要点展开研究,明确前期准备、钻孔施工、钢筋笼加工安装及混凝土灌注等质量管控的核心环节,各工序均需严格遵循设计标准与施工规范执行。针对施工中易出现的塌孔、孔身偏斜、混凝土灌注缺陷等问题,其诱因多与地质条件、工艺操作、设备管控相关,需秉持预防为主、精准处置的原则,针对性防控各类隐患。随着水利工程建设趋于大型化、智能化,需持续优化灌注桩施工工艺,融入数字化、智能化监测管控手段,提升施工质量与效率,为水利工程基础安全提供更坚实的技术支撑。

参考文献:

- [1] 梁文杰.不良地质中粗砂层钻孔灌注桩施工质量的控制研究[J].工程建设与设计,2024(06):191-193.
- [2] 张雪林,宋晓冬,吴政.用于长螺旋钻孔灌注桩施工工艺的混凝土配合比试验研究[J].水电站设计,2024,40(01):8-14.
- [3] 孔凡磊.水利施工中钻孔灌注桩技术的应用分析[J].水上安全,2024(05):148-150.
- [4] 徐光.水下钻孔灌注桩施工常见问题及对策研究[J].工程技术研究,2024,09(21):103-106.
- [5] 邵晓平.桥梁钻孔灌注桩施工中的泥浆护壁技术改进研究[J].工程技术研究,2025,10(11):74-76.