

水利水电工程基础处理施工技术研究

王 婷 孟令莉 刘 涛 相 磊
灌南县水利局 江苏 连云港 223500

摘要：水利水电工程是国家基础设施建设的重要组成部分，其安全稳定运行直接关系到民生保障与经济发展。本文分析了水利水电工程基础类型及特征，明确基础处理要遵循安全、经济、适用、环保原则。剖析了地基沉降、渗漏、抗滑稳定三类常见问题，阐述了换填垫层法、排水固结法、振冲法、高压喷射注浆法四项关键技术的施工要点，最后探讨新型材料与智能化技术的创新应用。研究可为水利水电工程基础处理施工提供技术参考，助力提升工程质量与稳定性，推动行业技术优化升级。

关键词：水利水电工程；基础处理；施工关键技术；创新

引言：水利水电工程基础作为工程承载核心，因地质条件复杂，易出现沉降、渗漏等问题，严重影响工程寿命与安全。当前传统基础处理技术面临效率低、适应性不足等挑战，新型技术应用尚需完善。基于此，本文系统研究水利水电工程基础处理施工技术，梳理基础类型与原则，分析常见问题，总结关键技术并探讨创新方向，对提升工程建设水平具有重要现实意义。

1 水利水电工程基础处理施工技术概述

1.1 水利水电工程基础的类型与特征

水利水电工程基础依据地质构成可分为以下主要类型。（1）岩基由各类岩石构成，其物理力学特征表现为整体强度较高、压缩性较低，但受地质构造影响，可能存在裂隙、断层等缺陷，导致完整性和稳定性出现差异。（2）土基由不同成因的土层组成，物理力学性质受颗粒组成、含水率、密实度等因素制约，整体强度和稳定性相对岩基较弱，且易受外界环境变化影响。（3）软土地基以淤泥、淤泥质土为主，具有高含水率、高压缩性、低强度的特征，在荷载作用下易产生较大变形。（4）岩溶地基因可溶性岩石经溶蚀作用形成溶洞、溶沟等地质形态，其结构复杂，完整性差，存在明显的不均匀性，对工程建设的适应性要求更高。

1.2 基础处理施工技术的基本原则

水利水电工程基础处理施工技术要遵循以下原则。（1）安全性原则要求技术应用过程中，确保处理后的基础能承受工程荷载，保障工程结构在长期运行中的稳定，避免因基础问题引发安全隐患。（2）经济性原则强调在满足工程要求的前提下，合理选择技术方案，优化资源配置，控制施工成本，实现技术应用与经济效益的平衡。（3）适用性原则要求根据基础类型、地质条件及工程功能需求，选择适配的处理技术，确保技术能有效

解决基础存在的问题，符合工程实际应用场景。（4）环保性原则注重施工过程对周边生态环境的影响，减少施工活动对土壤、水体等环境要素的破坏，实现工程建设与生态保护的协调发展^[1]。

2 水利水电工程基础处理常见问题

2.1 地基沉降问题

地基沉降多因地基土性质不均、荷载分布失衡引发。在软土地基区域施工时，若未充分处理土层压缩性问题，工程运行中地基易出现不均匀沉降，导致堤坝、闸室等结构出现裂缝，不仅影响工程外观完整性，还会削弱结构承载能力，严重时可能引发坝体渗漏、设备运行故障等连锁问题，威胁工程整体稳定。

2.2 地基渗漏问题

地基渗漏主要源于岩土体天然孔隙、裂隙发育，或防渗结构施工存在缺陷。水库、水电站等工程中，渗漏会导致水体持续流失，降低工程蓄水能力与发电效率；渗漏水流会冲刷地基土体，破坏地基结构稳定性，长期可能引发管涌、流土等灾害，对工程安全运行构成直接威胁，增加后期维修成本与难度。

2.3 地基抗滑稳定问题

地基抗滑稳定不足尤其在边坡、闸基等部位较为突出。受岩土体强度不足、边坡坡度设计不合理、水压力长期作用等因素影响，地基易出现滑动趋势。一旦发生滑动，可能导致堤坝溃决、闸室移位等重大事故，不仅造成巨大经济损失，还可能危及周边居民生命财产安全，对区域生态环境也会产生严重破坏^[2]。

3 水利水电工程基础处理施工关键技术

3.1 换填垫层法

换填垫层法是通过开挖基础底面以下一定深度的软弱土层，换填强度较高、压缩性较低且性能稳定的材

料,经压实处理形成垫层以改善地基受力条件的关键技术,施工过程要严格把控以下环节:(1)垫层材料选择。结合工程地质条件、基础荷载要求及当地材料供应情况确定材料类型,常用材料包括砂类土、碎石类土、灰土、素土等。砂类土需控制含泥量,一般不超过5%,且颗粒级配应满足压实要求,避免离析;碎石类土需保证颗粒强度,最大粒径通常不超过垫层厚度的1/3,以防压实不充分;灰土需按设计比例混合石灰与土,石灰等级符合要求,土料需过筛处理,确保颗粒均匀。(2)基坑开挖控制。开挖前根据设计图纸确定开挖范围与深度,采用机械开挖为主、人工修整为辅的作业方式。开挖中需避免超挖,若出现超挖,需用与垫层材料同类或性能相近的材料回填并压实,严禁用杂土回填。同时做好基坑排水,防止雨水或地下水浸泡基坑导致边坡坍塌、基底土层扰动,若基坑底部存在软弱夹层,需彻底清除。(3)垫层铺设与压实。垫层铺设应分层进行,每层厚度根据压实机械性能、材料类型确定,一般为200-300mm。铺设前需清理下一层表面,确保无杂物、松散土层。压实机械选择需匹配材料特性,砂垫层与碎石垫层宜用振动压路机、平板振动器等振动类设备,灰土垫层宜用光轮压路机或蛙式打夯机。压实过程中控制压实速度与遍数,压实速度一般不超过4km/h,遍数需通过现场试验确定,确保垫层压实度达标——砂类土与碎石类土压实度不低于95%,灰土垫层不低于93%。(4)质量检验。每层垫层施工完成后需及时检验,项目包括压实度、厚度、标高及平整度。压实度采用环刀法、灌砂法或灌水法检测,检测点布置均匀,每100-200m²至少设1个检测点;厚度与标高通过水准测量与尺量检查,确保符合设计要求。

3.2 排水固结法

排水固结法是利用排水系统加速地基土中水分排出,促进土体固结,提高地基承载力与抗剪强度的关键技术,广泛应用于软土地基处理,核心施工要点如下:

(1)排水系统设置。排水系统由竖向排水体与水平排水体组成,竖向排水体常用塑料排水板、袋装砂井等。塑料排水板需选符合国家标准的产品,确保通水量、抗拉强度、抗弯曲性能达标,插入时避免断裂、扭曲或污染,插入深度达设计要求,外露长度满足与水平排水体连接需求;袋装砂井采用透水性好的编织袋,砂料含泥量不超过3%,直径与间距按设计确定,施工时保证砂井垂直,避免倾斜或缩颈。水平排水体通常为砂垫层,铺设在竖向排水体顶部,厚度一般为300-500mm,材料要求与换填垫层法中砂垫层一致,需与竖向排水体紧密连

接,确保排水通畅。(2)加压系统实施。根据工程实际,加压方式分堆载预压与真空预压两种。堆载预压需分级施加荷载,每级荷载施加后间隔一定时间,待地基沉降稳定再施加下一级,避免荷载施加过快导致地基失稳,堆载材料可用土、砂石等,高度与范围符合设计要求,同时做好堆载边坡防护,防止坍塌;真空预压需在砂垫层表面铺密封膜,膜需用抗老化、抗穿刺材料,铺设时保证完整无破损、褶皱,周边与基坑边坡或密封沟严密结合形成密封系统,真空度需稳定在80kPa以上,且逐步提升,避免骤升扰动地基。(3)施工过程监测。施工期间需实时监测地基沉降、水平位移及孔隙水压力。沉降监测通过设沉降观测点,用水准测量法定期观测,加载期间每天至少1次,沉降稳定后可降低频率;水平位移监测在基坑边坡或地基周边设位移观测桩,用全站仪或经纬仪观测,防止侧向滑动;孔隙水压力监测通过埋设孔隙水压力计,记录变化情况以判断地基固结程度,为荷载施加与进度调整提供依据,数据异常需立即停工,分析原因并整改。

3.3 振冲法

振冲法是利用振冲器产生的高频振动,对地基土进行振动密实或置换,形成复合地基以提高地基承载力、减少沉降的关键技术,按作用机理分为振冲密实法与振冲置换法,施工关键内容如下:(1)振冲器选择与调试。根据地基土类型、处理深度及设计要求选振冲器型号,功率、振动频率、振幅需与地基土特性匹配——松散砂土地基宜选大功率振冲器,增强密实效果;软黏土地基需选合适振动力的设备,避免过度扰动周边土体。施工前需全面调试振冲器,检查电机运行、振动系统稳定性及供水系统通畅性,确保各项性能符合要求,发现故障及时维修或更换。(2)施工参数确定。施工前需通过现场试验确定关键参数,包括振冲器提升速度、留振时间、加密电流、填料量等。振冲密实法中,提升速度一般控制在0.5-1.0m/min,留振时间根据土体密实度要求确定,通常为10-20s,加密电流需达设备额定电流的70%-80%;振冲置换法中,需按桩体直径与间距确定填料量,每次填料量不宜过多,避免“架桥”影响桩体密实度,提升速度与留振时间结合填料下沉情况调整,确保桩体连续均匀。(3)振冲施工操作。施工时按设计桩位放线,确保振冲器对准桩位。振冲器下沉过程中开启供水系统,用高压水辅助下沉,水压一般为0.2-0.5MPa,水量根据土层透水性调整,下沉速度需均匀,避免过快或过慢。达设计深度后开启振动系统留振,随后按确定速度缓慢提升振冲器,同时按需填入材料,填料需均匀投入

孔内,避免集中堆积。振冲置换法要重复下沉-提升-填料过程,直至桩体达设计密实度与高度;振冲密实法需按梅花形或正方形布桩,确保地基整体密实。

3.4 高压喷射注浆法

高压喷射注浆法是利用高压泵将水泥浆液或其他化学浆液通过喷射管喷射出高压射流,破坏地基土体并与土体混合形成固结体,实现地基加固或防渗的关键技术,按喷射方式分为旋喷、定喷、摆喷,施工关键环节如下:

(1)浆液制备与控制。浆液材料主要为水泥浆,水泥需选强度等级不低于32.5级的普通硅酸盐水泥,根据工程需求可掺粉煤灰、外加剂改善性能。浆液配合比需通过试验确定,水灰比一般为0.8-1.5,需按地基土含水量、渗透性调整,确保浆液流动性、稳定性与凝结硬化性能良好。浆液制备用机械搅拌,时间不少于2min,避免水泥结块,制备完成的浆液需在2h内使用,出现离析需重新搅拌均匀,严禁用过期或变质浆液。(2)钻孔施工。钻孔前按设计桩位放线,用地质钻机钻孔,直径需与喷射管匹配,一般为100-150mm。钻孔过程中控制垂直度,偏差不得超过1%,确保喷射管顺利下放至设计深度。钻孔深度需达设计要求,遇坚硬岩层或障碍物需采取调整参数、冲击钻进等措施处理,避免钻孔偏斜或坍塌。钻孔完成后清理孔内残渣与积水,确保孔壁完整,为后续喷射注浆创造条件。(3)喷射注浆操作。将喷射管下放至钻孔底部设计深度后,开启高压泵与旋转系统,按确定参数喷射注浆。喷射压力根据地基土类型确定,一般为20-40MPa,密实度高的土层需适当提高压力;喷射速度分提升速度与旋转速度,旋喷时提升速度一般为10-20cm/min、旋转速度为10-20r/min,摆喷时按设计调整摆动角度与速度,定喷时保持喷射管固定。喷射过程中需连续供浆,确保浆液均匀喷射,若断浆需立即停止提升,恢复供浆后向下回灌0.5-1.0m再继续,避免固结体断桩^[3]。

4 水利水电工程基础处理施工技术创新

4.1 新型材料在基础处理中的创新应用

针对传统材料强度不足、耐久性差、环保性弱等问题,行业逐步推广高性能土工合成材料、环保型灌浆材

料及复合固化剂。高性能土工合成材料具备抗拉强度高、抗老化性强、透水性可控等特点,可适配不同地质条件下的排水、防渗需求,减少对天然材料的依赖;环保型灌浆材料以低碱、低毒、可降解为核心优势,在满足地基加固强度要求的同时,降低对周边土壤与水体的污染;复合固化剂通过多元成分复配,能快速改善软土地基的物理力学性能,缩短固结周期,且施工适应性更强,可应对复杂地质下的基础处理需求,推动基础处理施工向绿色化、高效化转型。

4.2 智能化技术与基础处理施工的融合

BIM技术通过构建三维模型,实现基础处理施工方案的可视化模拟、施工进度动态管控及质量问题的追溯分析,减少施工方案设计偏差与现场返工;物联网技术结合传感器设备,可实时采集地基沉降、孔隙水压力、施工设备运行参数等数据,通过云端平台实现数据整合与分析,及时预警施工风险;自动化施工设备如智能振冲机、无人灌浆机组,能按预设参数自动完成施工操作,减少人为干预导致的质量波动,提升施工精度与效率,推动基础处理施工从“经验驱动”向“数据驱动”转变^[4]。

结束语:本文通过对水利水电工程基础处理施工技术的研究,明确了不同基础类型的特征与处理原则,剖析了施工中常见问题的成因与危害,阐述了四项关键技术操作要点,同时指出新型材料与智能化技术是未来创新方向。研究虽覆盖核心技术与创新点,但在复杂地质条件下技术适配性研究仍有不足。

参考文献

- [1] 郭勇,周晓龙,普贞全.水利水电工程基础处理施工技术研究[J].中国科技纵横,2024(23):113-115.
- [2] 薛志强.水利水电工程基础处理施工技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(11):203-206.
- [3] 廖威.水利水电工程基础处理施工技术研究[J].砖瓦,2020(5):176-177.
- [4] 靳青.水利水电工程基础处理施工技术研究策略[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(10):077-078.