

大坝基础处理技术研究

郭书臣

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要：大坝基础处理技术作为水利水电工程核心环节，系统涵盖地质勘探、地基开挖、灌浆加固、防渗处理及软弱地基改良等技术内容。通过剖析各技术体系的实施要点与质量控制方法，本文着重突出技术协同配合与动态监测机制的重要性。该技术体系旨在为工程提供科学可靠的基础处理方案，确保大坝安全运行与长期稳定性，进而有力支撑水利水电事业可持续发展进程。

关键词：大坝基础处理技术；地基开挖与清理；基础灌浆加固

引言：大坝基础处理是水利水电工程建设的核心环节，直接关系坝体稳定性与工程寿命。其技术体系涵盖地质勘探、基础加固、防渗处理等多个方面，需结合地质条件与工程需求制定针对性方案。通过科学的技术应用与严格的质量控制，可有效提升地基承载力、减少渗漏风险，为坝体施工与长期运行奠定坚实基础，是保障工程安全的关键技术支撑。

1 大坝基础处理技术概述

大坝基础处理技术是水利水电工程建设中的核心环节，其目标是确保坝体稳定、减少渗漏风险并延长工程寿命。该技术涵盖地质勘探、基础加固、防渗处理等多个方面，需结合工程实际条件与地质特性制定针对性方案。（1）地质勘探是基础处理的前提：通过钻探、物探等手段获取岩土层分布、承载力、渗透系数等关键参数，为后续设计提供科学依据。例如，在软弱地基区域需重点分析土体压缩性与抗剪强度，避免后期沉降不均导致结构损坏。（2）基础加固需因地制宜：针对不同地质条件采用不同方法。如砂卵石地基可采用振冲碎石桩增强承载力；岩石地基则需关注节理裂隙发育情况，必要时进行固结灌浆或锚固处理。加固方案需兼顾经济性与可行性，避免过度设计造成资源浪费。（3）防渗处理是技术关键：通过帷幕灌浆、混凝土防渗墙、土工膜铺设等措施形成连续防渗体系，有效阻断地下水渗透路径。防渗设计需考虑水头压力、地质渗透特性及环境因素，确保长期运行安全。大坝基础处理技术的创新发展需聚焦新材料应用、施工工艺优化及智能监测技术融合^[1]。例如，采用纳米改性灌浆材料可提升防渗效果；引入三维地质建模技术可实现施工过程的精准控制。通过持续技术迭代，可进一步保障大坝工程的安全性及耐久性，支撑水利水电事业的可持续发展。

2 大坝基础处理核心技术体系

2.1 地基开挖与清理技术

在大坝工程中，地基开挖与清理是基础处理的关键环节，直接影响坝体稳定性和安全性。该技术需结合地质条件与工程需求，科学制定开挖方案，确保基岩完整性。（1）精准开挖控制：采用先进测量技术，如三维激光扫描，实时监测开挖范围与深度，避免超挖或欠挖，保障基面平整度。通过动态调整爆破参数，减少对周边岩体的扰动，维持原始地质结构稳定性。（2）基面清理标准化：开挖后需彻底清除松散岩体、裂隙填充物及风化层。采用高压水冲洗、机械刷除等工艺，确保基面无浮渣、无杂物，满足设计要求的清洁度与粗糙度，为后续灌浆、锚固等工序提供优质界面。（3）质量检测与验收：运用地质雷达、声波检测等无损技术，对基面完整性、裂隙发育情况进行全面评估。通过钻孔取样、压水试验等手段，验证地基承载力与渗透性指标，确保各项参数符合设计标准，为坝体施工奠定坚实基础。该技术体系通过精细化操作与严格质量控制，有效保障大坝基础处理效果，提升工程整体安全性与耐久性，是现代水利工程不可或缺的核心技术之一。

2.2 基础灌浆加固技术

基础灌浆加固技术是大坝基础处理中的关键环节，通过向岩土体注入浆液实现加固与防渗效果。该技术需根据地质条件选择浆液类型与施工参数，确保浆液充分填充裂隙并形成有效固结体。（1）浆液配比需科学调控：以水泥基浆液为主，可掺入粉煤灰、膨润土等材料改善流动性与耐久性。某工程实践表明，当粉煤灰掺量控制在15%时，浆液结石率可提升5%至8%，同时成本降低约12%。（2）施工压力需动态调整：初期采用低压慢灌避免跑浆，后期逐步升至设计值。压力过高易导致地层劈裂，过低则影响填充效果。监测数据显示，合理压力区间内，单孔注浆量与地层渗透系数呈正相关，需

结合地质条件实时优化。(3)质量检测需多维度开展:采用钻孔取芯、压水试验、声波检测等手段验证加固效果。声波波速提升10%至20%可视为加固有效,压水试验透水率低于5Lu则满足防渗要求。基础灌浆加固技术的发展需关注新材料研发与工艺优化^[2]。例如,纳米硅酸盐改性浆液可提升早期强度;智能灌浆系统能实现压力、流量实时监控与自动调节。通过技术迭代,可进一步保障大坝基础稳定性,延长工程使用寿命,支撑水利水电工程安全运行。

2.3 基础防渗处理技术

大坝基础防渗处理技术是保障工程安全运行的核心环节,其核心在于通过科学方法构建可靠防渗体系,防止水体渗透引发结构破坏。该技术体系需结合地质条件与水文环境综合施策,形成系统化解决方案。(1)材料选择与优化:采用高性能防渗材料,如土工合成材料、水泥基复合材料等,通过材料性能测试与配比优化,提升防渗层的耐久性与适应性,适应不同地质条件下的防渗需求,确保材料与地质环境匹配。(2)施工工艺控制:严格把控施工流程细节,如高压喷射灌浆、深层搅拌桩等工艺的实施标准,确保防渗结构均匀密实,避免施工缺陷导致的渗漏风险。施工过程中注重环境协调,减少对周边生态的影响。(3)监测与维护机制:建立长期监测体系,通过渗压计、水位观测等手段实时监测防渗效果,结合定期维护与应急处理措施,及时发现并修复潜在渗漏问题。监测数据反馈指导维护策略调整,形成动态防护闭环。这些技术环节相互关联,形成完整的防渗处理体系。材料选择为基础提供物理保障,施工工艺确保结构可靠性,监测维护保障长期运行安全。三者协同作用,构建起大坝基础防渗的坚固防线,为大坝安全运行提供持久支撑,体现技术体系的专业性与系统性。

2.4 软弱地基改良处理技术

针对承载力不足或变形过大的软弱地基,大坝工程中发展出一系列成熟的改良处理技术,旨在提升地基土体的整体性与长期稳定性。这些技术根据土层分布与工程需求组合应用,三个关键方面构成了技术核心。(1)置换与垫层技术:将表层不良土体部分或全部挖除,换填砂石料等强度较高的材料,形成人工垫层。换填厚度通常根据计算确定,有时可达3至5米,能有效分散上部荷载并减少沉降量。(2)密实与排水技术:对于含水率较高的饱和软土,采用堆载预压或真空预压方法,结合塑料排水板加速孔隙水排出。排水板间距多设计为1.0至1.5米,处理深度可超过20米,使土体在荷载下固结,强度逐步增长。(3)胶结与加筋技术:通过深层搅拌、高

压旋喷等手段将水泥浆等固化剂注入土体,形成桩体或墙体。桩体直径常在0.5至0.8米之间,无侧限抗压强度提升可超过50%。此外,铺设土工合成材料也能改善土体的抗拉与抗剪性能^[3]。现场实施需配合严密监测,结合地基处理关键区域与工程实际需求,按规范科学布设沉降观测点,动态评估处理效果。各项技术的选择高度依赖详尽的勘察数据,通过综合改良,使原本软弱的土层能够满足大坝对地基的严格要求。

3 大坝基础处理质量控制与效果保障

3.1 基础处理前期勘察与设计把控

大坝基础处理的质量控制始于严谨的前期勘察与设计,这一阶段的工作深度直接决定了工程的安全性与经济性。通过多手段综合勘探与精细化分析,旨在全面掌握坝址地质条件,为后续处理提供精确依据。(1)多层次综合勘察技术应用:结合地面测绘、钻探与地球物理方法揭示地质结构。在典型坝址,勘探线间距通常控制在40至60米之间,重要构造部位加密至20米,单个钻孔取芯率不宜低于85%,以确保清晰识别岩体完整性等级与软弱夹层分布。(2)岩土力学参数的系统确定:基于原位测试与室内试验数据,统计分析关键力学指标。例如,为确定基础岩体变形模量,常需整合不少于15组压板试验结果,其离散系数若超过0.3则需分区评估,确保设计参数取值合理可靠。(3)处理方案的仿真分析与优化:依据地质模型与参数,运用数值模拟验证设计方案。通常需建立包含主要断层与裂隙的模型,设置超过4种荷载工况进行演算,预测基础变形趋势,确保处理后沉降量能满足低于20毫米的设计预期。这一过程强调地质与设计的动态反馈。勘察成果不断细化设计输入,而设计需求又指导勘察补充,通过迭代优化,从源头上为工程质量奠定坚实基础。

3.2 施工过程质量管控技术

施工过程质量管控是保障大坝基础处理效果的核心环节,需贯穿于施工全周期,确保每道工序符合技术标准。(1)材料进场严格把关:对水泥、骨料、添加剂等原材料进行逐批检验,核查其性能指标是否满足设计要求。例如,水泥需检测强度、凝结时间,骨料需控制粒径与含泥量,从源头杜绝劣质材料流入施工现场。(2)工艺执行全程监督:施工人员需严格按照操作规程作业,如灌浆压力、振捣频率、养护时间等参数需精准控制。通过现场巡查与视频监控相结合,及时发现并纠正偏移工艺标准的行为,确保施工动作规范统一。(3)实时监测动态调整:利用传感器、检测仪等设备对关键指标进行实时采集,如孔隙水压力、混凝土温度、沉降速率等。根据监测数据变

化趋势,及时调整施工参数或工艺流程,如发现异常沉降需立即暂停施工并分析原因,避免问题累积影响整体质量。质量管控还需注重人员培训与设备维护^[4]。定期开展技术交底与技能培训,提升施工人员专业素养;建立设备定期检修制度,确保机械设备始终处于良好运行状态。通过多维度的管控措施,可系统化提升施工质量,为工程长期安全运行奠定坚实基础。

3.3 基础处理效果检测与评估方法

基础处理效果检测与评估需构建科学全面的评价体系,确保处理措施达到设计预期,保障工程安全与耐久性。(1)物理检测直观验证:通过钻孔取芯直观观察岩土体结构密实度,压水试验精准测定渗透系数,声波透射检测分析波速变化。这些方法可直接反映加固体的完整性及防渗性能,为效果评估提供直观依据。(2)数值模拟反向验证:运用有限元软件建立高精度三维地质模型,模拟复杂工况下的应力分布与变形特征。通过对比模拟结果与设计目标,验证处理方案的合理性,并预测长期运行中的潜在风险。(3)长期监测动态反馈:科学布设沉降观测点、应力传感器及渗漏监测设备,定期采集数据并系统分析变化趋势。若发现沉降速率异常或应力集中现象,可及时采取补救措施,避免问题扩大影响工程安全。检测与评估还需注重多方法协同与结果互校,物理检测提供直接证据,数值模拟补充理论验证,长期监测实现动态跟踪。通过三者有机结合,可系统化评估处理效果,及时发现并解决问题,为工程长期安全运行提供坚实可靠保障。

3.4 基础长期稳定性维护技术

长期稳定性维护需构建长效机制,通过系统性措施延缓基础老化,保障大坝全生命周期安全。(1)定期巡检与状态评估:建立周期性巡检制度,重点检查基础表面裂缝、渗漏点及周边地质变化。通过人工精细化巡查与智能仪器监测结合,及时捕捉潜在风险信号,如裂缝扩展速率异常或局部湿度升高,为后续维护提供精准依据。(2)环境适应与动态调整:针对不同季节与气候条件,动态优

化针对性维护策略。例如,在冻融循环频繁区域,需加强基础表面防冻处理;在干湿交替地带,需注重排水系统维护,避免积水导致土体软化。(3)修复与加固技术迭代:针对老化或损伤部位,采用适应性修复技术。如微裂缝可采用环氧树脂注浆修补,局部沉降可通过微型桩加固。修复方案需兼顾技术可行性与经济合理性,避免过度干预影响整体结构。维护技术发展需融合新型功能材料与智能监测技术,生物活性材料可提升基础自修复能力;物联网传感器网络能实现实时状态监控与预警^[5]。通过持续技术革新,可系统化提升基础长期稳定性,为工程全生命周期安全运行提供持久可靠保障。

结束语:大坝基础处理技术的未来发展需聚焦新材料研发与智能技术融合。例如,高性能纤维混凝土、纳米改性灌浆材料可提升结构强度与耐久性;物联网传感器网络与大数据分析能实现施工全程实时监测与风险预警。通过技术迭代,可构建更精准的防渗体系、更高效的加固方案及更智能的维护系统,为工程全生命周期安全提供多重保障,推动水利水电事业向绿色、智能、可持续方向高质量发展。

参考文献

- [1]宋国锋,李海波,宁继勇.水利工程大坝基础处理施工技术分析[J].水上安全,2025(2):55-57.
- [2]李伟,孟豪.水利工程混凝土双曲拱坝的基础处理技术研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(1):098-101.
- [3]司利斌,郭雷.帷幕灌浆施工技术在水利工程大坝基础防渗加固处理中的应用研究[J].价值工程,2025,44(11):128-130.
- [4]朱杰.水库大坝基础渗漏处帷幕灌浆施工技术处理研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(3):058-061.
- [5]张王杰.水库大坝防渗处理技术方案研究——安徽桐城谷林水库为例[J].水上安全,2025(6):133-135.