

水利工程基础处理和防渗工程探讨

王海伟 周天成

山东大禹水务建设集团有限公司, 中国·山东 济南 250109

摘要: 本文围绕水利工程基础处理与防渗工程展开探讨, 首先阐述二者对工程安全与功能发挥的重要性, 明确其作为工程结构安全核心防线的地位。系统分析深层搅拌、重锤夯实等基础处理技术, 及高压喷射灌浆、土坝劈裂灌浆等防渗施工技术的原理、适用场景与应用优势。结合我国水利工程建设现状, 指出工程面临的基础老化、防渗失效、技术适配性不足等问题。研究表明, 科学选择基础处理与防渗技术、强化施工质量管控, 是解决水利工程渗漏与地基不稳问题的关键。本文成果可为水利工程设计、施工与运维提供实践参考, 助力提升水利工程整体建设水平与长期运行稳定性。

关键词: 水利工程; 基础处理技术; 防渗工程; 防渗技术

Discussion on foundation treatment and anti-seepage engineering of hydraulic engineering

Wang Haiwei, Zhou Tiancheng

Shandong Dayu Water Construction Group Co., Ltd, China Shandong Jinan 250109

Abstract: This article focuses on the discussion of basic treatment and anti-seepage engineering in hydraulic engineering. Firstly, it elaborates on the importance of both for engineering safety and functional performance, and clarifies their position as the core defense line for engineering structural safety. Systematically analyze the principles, applicable scenarios, and application advantages of basic treatment technologies such as deep mixing and heavy hammer compaction, as well as anti-seepage construction technologies such as high-pressure jet grouting and earth dam splitting grouting. Based on the current situation of water conservancy engineering construction in China, this paper points out the problems faced by the project, such as foundation aging, anti-seepage failure, and insufficient technical adaptability. Research has shown that scientific selection of basic treatment and anti-seepage technologies, as well as strengthening construction quality control, are key to solving the problems of leakage and unstable foundations in hydraulic engineering. The results of this article can provide practical reference for the design, construction, and operation of water conservancy projects, and help improve the overall construction level and long-term operational stability of water conservancy projects.

Keywords: Water conservancy engineering; Basic processing technology; Anti-seepage engineering; Anti-seepage technology

0 引言

水利工程作为保障国家水安全、支撑农业生产与社会经济发展的核心基础设施, 其运行稳定性直接关系到民生福祉与生态平衡。随着我国水资源供需矛盾加剧及极端水文事件频发, 水利工程面临的运行压力持续增大, 而基础处理与防渗工程作为水利工程建设的关键环节, 直接决定工程的承载能力、抗渗性能与使用寿命。当前, 我国既有水利工程中, 部分建于上世纪的设施因基础老化、防渗失效出现坝体渗漏、地基沉降等问题, 新增工程又需应对复杂地质条件与生态保护要求, 传统技术已难以完全适配新

需求。因此, 系统探讨水利工程基础处理与防渗工程的技术要点、应用场景及现存问题, 优化技术方案与管理模式, 对提升水利工程质量、降低运维成本、保障工程长期安全运行具有重要现实意义, 也为推动我国水利事业高质量发展提供技术支撑。

1 水利工程基础处理与防渗工程的重要性

水利工程基础处理与防渗工程在水利工程建设中占据着举足轻重的地位。它们不仅是确保工程结构稳定、功能完善的基石, 更是实现水资源高效利用、保护生态环境的关键所在。水利工程作为调控水资源、保障民生与社会经

济发展的关键基础设施,其运行安全性与长期稳定性直接依赖于基础处理和防渗工程的质量,二者共同构成工程结构安全的核心防线,缺一不可。从工程力学角度分析,水利工程基础承担着上部结构传递的全部荷载,若基础存在不均匀沉降、岩土体强度不足或地质缺陷,易导致坝体、闸室等主体结构产生裂缝、位移甚至失稳,引发溃坝、渗漏等重大安全事故,不仅会造成巨大的经济损失,更会威胁下游居民生命财产安全。而防渗工程作为抵御水体渗透破坏的关键环节,其有效性直接决定工程水资源利用效率与结构耐久性。当坝基、坝体或岸坡存在渗透通道时,水体长期渗流会引发管涌、流土等渗透变形问题,逐步侵蚀工程结构完整性,缩短工程使用寿命,同时造成水资源的大量浪费,削弱工程防洪、灌溉、供水等核心功能的发挥。从全生命周期视角看,高质量的基础处理与防渗工程能显著降低工程运维阶段的修补成本,减少因工程故障导致的社会民生影响,保障水利工程长期稳定发挥生态调节、灾害防控等综合效益,是实现水利工程可持续发展的前提条件,对维护区域水资源安全与生态平衡具有不可替代的战略意义。

2 目前我国水利工程建设现状分析

我国水利工程建设成果斐然,在防洪、灌溉、供水等领域成效显著。然而,当前水利工程建设仍面临诸多挑战。极端水文事件因气候变化频发,旱涝急转情况增多,给工程规划、设计与运行带来难题。众多兴建于上世纪60-70年代的水利工程,运行多年后出现老化,面临设备损坏、坝体渗漏、白蚁侵蚀等问题,小型水利工程尤为严重,且维修养护资金缺口大。在管理体制机制方面,水网工程等投资主体多元,涉及不同流域与行政区划,权属和管理职责划分困难,多部门协同管理时,管理侧重点与标准不一。部分水利工程在建设时环境影响评估不足,对生态破坏预估不充分,导致水域生态失衡、生物多样性减少;资金投入不稳定,大型项目常因资金短缺进展受阻;一些工程技术水平落后,缺乏创新,影响质量与效率;项目管理也不规范,部门协调不畅、职责不清,影响工程进度与质量。

3 水利工程基础处理技术

3.1 深层搅拌技术

深层搅拌技术作为地基处理的关键手段,借助特制搅拌机,将水泥、石灰等固化剂与地基深处软土强制搅拌融合,引发一系列复杂物理化学反应,促使软土硬结,进而形成具备整体性、水稳定性及较高强度的桩体或复合地基。该技术的原理基于水泥水解与水化反应,生成氢氧化

钙等多种水化物,这些物质与土颗粒发生离子交换和团粒化,随后产生硬凝反应,大幅提升水泥土强度,同时碳酸化反应也进一步强化其强度。在施工流程方面,施工前需详细勘察地基土物理力学指标,像含水量、孔隙比等,以此确定固化剂的精准掺量,通常在土重的7% - 15%区间。为保障搅拌均匀性,避免出现断桩、夹泥等质量隐患,常采取多次复搅工艺。深层搅拌技术广泛适用于淤泥、淤泥质土、粉土等软土地基,在水利堤坝、泵站等对地基稳定性要求严苛的工程中表现卓越。

3.2 重锤夯实技术

重锤夯实技术是利用起重机械将一定重量的重锤提升至特定高度后自由下落,凭借重锤反复冲击地基表层土体,使土体颗粒相互挤压密实,孔隙体积不断减小,从而有效提高地基表层承载力、降低压缩性的浅层基础处理技术。施工前的准备工作至关重要,需对施工区域开展详细地质勘探,精准掌握土层结构、地下水位、土壤性质等关键地质资料,据此选用适配的重锤夯实机。要准备好必要的填土材料和辅助材料,为施工顺利推进奠定基础。施工方案设计阶段,需依据地基承载力要求,精心规划夯击点布置图,夯击点间距一般设定在1.5 - 2.5米,不过具体数值需结合地质条件精细调整。通过试夯确定每个夯击点的夯击次数,必要时可适当增加夯击次数以契合设计要求。施工时遵循从边缘到中心的顺序,保障夯实效果均匀一致。施工过程中,要安排专业人员实时监测地基沉降,严格把控施工质量。该技术主要适用于地下水位较低的碎石土、砂土、粘性土及杂填土等地基,在水利工程中,常用于堤坝护坡基础、小型泵站场地平整后的地基加固。

3.3 碎石桩处理技术

碎石桩处理技术是借助振动沉管桩机、冲击钻机等专业设备,在地基中精准形成桩孔,接着向孔内分层填入粒径通常为20 - 50mm的碎石,并通过振动、挤压等方式使其密实,最终形成碎石桩体,利用桩体的置换、排水及挤密作用,全面改善地基性能的复合地基处理技术。施工前,需依据地基土的液化等级,精确确定桩径、桩长及桩间距。施工时,振动沉管桩机或冲击钻机就位后,启动设备成孔,达到设计深度后,开始分层填入碎石。在填碎石过程中,通过设备的振动或冲击,使碎石不断挤密周围土体,同时控制碎石充盈系数不低于1.05,全力确保桩体密实度。碎石桩处理技术在松散砂土、粉土、粘性土及素填土等地基处理中应用广泛,在水利工程里,多用于堤坝地基抗液化处理、蓄水池地基加固等重要场景。

3.4 土方开挖与回填技术

土方开挖与回填技术是水利工程基础处理的基础性技术,贯穿地基清理、基坑开挖、基础回填等关键环节,其施工质量对基础结构的稳定性与耐久性起着决定性作用。土方开挖前,需深入研究工程地质勘察报告,明确土层分布、地下水位、岩土强度等参数,据此制定科学的开挖方案。采用分层开挖方式,每层开挖深度严格控制在不超过2m,对于深度超过5m的基坑,必须设置可靠的边坡支护。开挖过程中,利用先进监测设备实时监测基坑边坡位移,要求日均位移量不超过0.5mm,同时密切监控地下水位,确保其始终控制在开挖面以下0.5m,严禁超挖,超挖深度绝不能超过100mm。土方回填时,严格选用符合要求的填料,如级配砂石、粉质粘土,精确控制含水量在最优含水量 $\pm 2\%$ 范围内。采用分层回填方式,每层厚度控制在200-300mm,选用合适的压实机械,分层压实,确保压实度不低于95%。回填完成后,运用专业检测手段检测回填土的干密度与压实度,只有满足基础承载要求,才能为水利工程主体结构施工提供稳定可靠的作业面。

4 水利工程防渗处理施工技术

4.1 高压喷射灌浆技术

高压喷射灌浆技术是通过高压泵将水泥浆、水泥黏土浆等浆液加压至20-40MPa,经特制喷嘴形成高速喷射流,冲击切割地基土体,使浆液与切碎的土颗粒在原位强制混合,待浆液凝固后形成连续、密实的防渗体,从而阻断水体渗透通道的防渗技术。施工流程需严格把控:先采用地质钻机钻孔至设计防渗深度,确保孔壁垂直;再将喷射管缓慢下至孔底,启动高压喷射系统,按0.1-0.3m/min的提升速度和10-20r/min的旋转速度同步操作,根据工程防渗需求可灵活形成旋喷桩、摆喷墙或定喷板。该技术对地层适应性强,可用于砂层、粘性土、卵砾石层等多种地质条件,在水利堤坝坝基防渗、基坑周边止水帷幕施工中应用广泛。其核心优势在于防渗体渗透系数极低,整体性好,且施工无需大规模开挖,对周边既有结构扰动小,能有效解决深层地基防渗难题,为水利工程长期抗渗稳定提供保障。

4.2 土坝坝体劈裂灌浆技术

土坝坝体劈裂灌浆技术是利用土坝自身重量产生的侧向压力与灌浆压力协同作用,将坝体沿坝轴线方向劈裂形成宽度均匀连续裂缝,随后向裂缝内分层灌注水泥黏土浆,浆液在裂缝内扩散、凝固后形成完整防渗帷幕,同时浆液会渗透填充坝体内部孔隙,进一步提升坝体密实度的

专项防渗技术。施工前需通过现场压水试验确定坝体劈裂压力,避免压力过高导致坝体失稳;灌浆过程中需严格控制浆液浓度,遵循“少灌多复”原则,确保浆液充分填充裂缝。该技术专门针对土坝坝体渗漏问题,尤其适用于运行多年、坝体存在干缩裂缝或孔隙率较大的老旧土坝修复。其特点是灌浆材料成本低,与坝体土兼容性好,可在防渗的同时增强坝体整体性,延长土坝使用寿命,保障水库、河道土坝的防洪防渗安全。

4.3 灌浆技术

灌浆技术是通过钻孔将特定浆液注入地基岩土体或混凝土结构的裂缝、孔隙中,浆液在空隙内发生物理化学反应,待凝固后填充空隙,形成密实、低渗透的防渗体,从而降低工程渗透系数的通用防渗处理技术。按浆液类型可分为两类:水泥灌浆适用于裂隙岩体、中粗砂层等地层,常用42.5级普通硅酸盐水泥,水灰比控制在0.6-1.0;化学灌浆适用于细微裂隙或混凝土结构缝防渗,具有流动性好、固化速度快的特点。施工时需先根据地质勘察数据确定灌浆孔布置形式、孔深及灌浆压力,采用分段灌浆或循环灌浆工艺,通过压力监测确保浆液均匀扩散,避免出现漏灌或超灌现象。该技术在水利工程中应用广泛,可用于闸室地基防渗加固、隧洞衬砌裂缝修补、渡槽混凝土结构防渗处理等场景,其核心优势是适应性强,有效封堵渗透通道,显著提升工程抗渗能力。

4.4 防渗墙技术

防渗墙技术是通过专用成槽设备在地基或坝体中开挖连续槽孔,槽内采用泥浆护壁,随后向槽内浇筑混凝土、塑性混凝土或铺设复合土工膜,待混凝土凝固或土工膜固定后形成连续垂直防渗墙体,阻断水平和垂直方向渗流的关键防渗技术。防渗墙设计参数需严格把控:墙体厚度通常为0.3-1.2m,渗透系数要求小于 10^{-7} cm/s,槽孔垂直度偏差控制在1/500以内,墙体连接采用接头管法或双轮铣对接法,防止接缝渗漏。该技术适用于深厚覆盖层地基、土石坝坝体及坝基防渗,在大型水利枢纽工程中应用广泛。其突出特点是防渗效果可靠,墙体整体性强,能承受较高水头压力,且使用寿命长,可有效抵御长期渗流侵蚀,为水利工程结构安全提供坚实的防渗保障。

5 结语

综上,水利工程基础处理与防渗工程是决定工程质量与使用寿命的核心要素,对保障水利工程安全运行、发挥防洪减灾与水资源调控功能至关重要。本文通过对关键技术 with 现存问题的分析,明确了不同地质条件下基础处理与

防渗技术的适配策略,为工程实践提供了理论与技术支撑。未来,随着新材料、新技术的发展,需进一步推动基础处理与防渗技术的创新应用,强化生态保护与工程建设的协同,以应对气候变化与复杂地质条件带来的挑战,持续提升我国水利工程建设的科学性与可持续性,为国家水安全战略的实现奠定坚实基础。

参考文献:

[1] 张广财,冯海源.试论农村小型水利工程防渗技术[J].农村经济与科技,2023(20):70-72.

[2] 邓莉珊.水利工程中堤坝防渗加固技术的实践探析[J].农家致富顾问,2022(08):256.

[3] 周彪.水利工程基础处理和防渗工程探讨[J].越野世界,2023,16(7):134.

[4] 高淑英.试论水利工程防渗处理施工技术应用[J].水利建设与管理,2023(12).

[5] 秦晓东.水利工程防渗处理施工技术的应用分析[J].中国水运(下半月),2023,22(02):98-99+102.