

防渗截渗技术在水利工程堤防加固处理中的应用研究

郑明军 付令远

石首市堤防管理总段

DOI:10.12238/hwr.v9i6.6455

[摘要] 随着我国水利工程建设的不断推进,堤防工程作为保障人民生命财产安全的重要基础设施,其稳定性与安全性日益受到重视。其中,渗漏问题是影响堤防结构稳定性的关键因素之一。本文围绕防渗截渗技术在水利工程堤防加固处理中的实际应用展开深入探讨,分析了堤防渗漏问题产生的原因及其主要出险类型,并结合具体施工方案设计,系统阐述了防渗截渗技术的关键应用要点。通过对施工参数、布孔方式、注浆量计算、钻孔工艺及材料选择等方面的详细说明,进一步揭示了该技术在提升堤防抗渗性能方面的有效性和可行性。同时,文中对施工过程中可能出现的技术难题如冒浆不止等进行了针对性分析,并提出了相应的解决措施。最后,通过质量测试与试验验证了防渗截渗技术的实际效果,为类似水利工程提供理论支持与实践参考。

[关键词] 防渗截渗; 堤防加固; 渗漏治理; 注浆技术; 水利工程

中图分类号: TV 文献标识码: A

Research on the application of seepage prevention and seepage interception technology in the reinforcement treatment of embankments of water conservancy projects

Mingjun Zheng Lingyuan Fu

Shishou City Embankment Management General Section

[Abstract] With the continuous advancement of water conservancy project construction in our country, the stability and safety of embankment project, as an important infrastructure to ensure the safety of people's lives and property, have been paid more and more attention. Among them, the problem of leakage is one of the key factors affecting the stability of the embankment structure. This paper focuses on the practical application of seepage prevention and seepage interception technology in the reinforcement treatment of water conservancy engineering embankments, analyzes the causes of embankment leakage problems and its main types of risks, and systematically expounds the key application points of seepage prevention and seepage interception technology in combination with the specific construction scheme design. Through the detailed description of construction parameters, hole distribution methods, grouting amount calculation, drilling process and material selection, the effectiveness and feasibility of the technology in improving the impermeability of embankment are further revealed. At the same time, the technical problems that may occur in the construction process, such as more than slurry, are analyzed, and corresponding solutions are proposed. Finally, the practical effect of seepage prevention and seepage interception technology is verified through quality tests and experiments, which provides theoretical support and practical reference for similar water conservancy projects.

[Key words] seepage prevention and seepage interception; embankment reinforcement; leakage control; grouting technology; hydraulic engineering

引言

在我国广袤的江河流域中,堤防工程承担着抵御洪水侵袭、保护农业生产与居民生活安全的重要使命。然而,由于自然条件复杂、地质构造多变以及施工质量控制不严等原因,堤防结构常面临不同程度的渗漏风险。这种风险不仅削弱了堤防的整体承

载能力,还可能引发管涌、滑坡等严重事故,威胁公共安全。近年来,随着现代工程技术的发展,防渗截渗技术作为一种高效、经济且适用性强的解决方案,在堤防加固工程中得到了广泛应用。该技术通过在堤基或堤身设置防渗体,有效阻断渗流路径,从而提高堤防的抗渗能力和结构稳定性。本文旨在系统梳理防

渗截渗技术的应用流程, 结合工程实例深入剖析其关键技术环节, 力求为今后相关工程的设计与实施提供科学依据和实践经验。

1 水利工程堤防渗漏问题的原因

堤防渗漏问题的发生往往源于多种因素的综合作用。首先, 地质条件是影响堤防稳定性的重要基础。部分区域土层松散、透水性较强, 尤其是在砂层、粉土层等地质条件下, 极易形成渗透通道。其次, 堤身填筑质量不达标也是导致渗漏的主要原因之一。施工过程中若压实度不足、含水量控制不当或分层不合理, 都会造成堤体内部出现空隙, 进而成为渗流的潜在路径。此外, 堤防长期运行过程中受水流冲刷、冻融循环及植物根系侵蚀等因素影响, 也会加剧结构老化与裂缝扩展, 进一步降低其防渗性能。再者, 设计阶段对地基处理不够充分, 未根据实际地质情况合理布置排水系统或防渗设施, 也容易造成后期运营阶段出现渗漏隐患。因此, 全面识别并分析堤防渗漏成因, 是开展后续加固工作的前提与基础。

2 出险种类及堤坝施工方案的设计

2.1 出险种类

在堤防运行过程中, 常见的出险类型主要包括以下几类: 一是管涌, 即地下水在压力作用下沿堤基或堤身薄弱部位向上渗透, 携带细颗粒土壤形成空洞, 最终导致局部塌陷; 二是滑坡, 通常发生在堤坡较陡、土体饱和或地震扰动等情况下, 表现为整体或局部失稳滑动; 三是漫顶, 当洪水位超过堤顶高程时, 水流溢出堤顶造成破坏; 四是裂缝, 包括纵向裂缝、横向裂缝和龟裂等, 裂缝的存在为渗流提供了通道, 易诱发更严重的结构性破坏。此外, 还有诸如背水坡渗水、集中渗漏等问题, 这些现象虽表现形式各异, 但都直接或间接与堤防的防渗能力密切相关。因此, 在进行堤防加固处理时, 必须针对不同类型的出险情况进行分类施策, 制定具有针对性的防治方案。

2.2 防渗加固方案设计

防渗加固方案的设计应以提升堤防整体抗渗能力为核心目标, 综合考虑工程所处的地形地貌、水文地质条件、既有结构状况及施工环境等因素。首先, 在设计前期需进行详细的地质勘察, 明确地层分布、地下水位变化规律及潜在渗流路径。在此基础上, 确定是否采用垂直防渗墙、帷幕灌浆、高压旋喷桩或深层搅拌桩等技术手段。对于存在管涌风险的堤段, 可优先选用高压旋喷法形成连续防渗帷幕; 而对于堤身裂缝较多或土质较差的情况, 则宜采用深层搅拌法改善土体结构性能。同时, 还需结合现场实际情况优化布孔间距、深度及注浆参数, 确保防渗体的完整性与连续性。此外, 在设计方案中应预留足够的排水减压措施, 防止因防渗后水头压力升高而导致新的安全隐患。整个设计过程应注重技术可行性和经济合理性之间的平衡, 力求实现最优加固效果。

3 防渗截渗技术在水利工程堤防加固处理中的应用要点

3.1 施工参数确定

施工参数的合理设定直接影响防渗截渗技术的实施效果。

在实际操作中, 需依据地质勘探结果及设计要求, 综合确定钻孔深度、直径、倾角等基本参数。例如, 在采用高压旋喷注浆法时, 钻孔深度应穿透潜在渗流带至相对不透水层以下一定距离, 以确保形成有效的防渗屏障。同时, 钻孔直径的选择需兼顾注浆效率与成本控制, 一般控制在100~150mm之间较为适宜。倾角方面, 若地层倾斜明显或存在软弱夹层, 应适当调整钻孔角度, 避免钻具偏移或成孔困难。此外, 还需结合注浆泵的压力、流量及浆液配比等参数, 制定合理的施工控制标准, 确保每道工序均能精准执行。

3.2 布孔方式

布孔方式的选择关系到防渗体的连续性与密实度。目前常用的布孔形式有单排孔、双排孔及梅花形布孔等。单排孔适用于地层均一、渗漏范围较小的堤段, 操作简便且成本较低; 双排孔则适用于地层复杂或多层结构的情况, 通过前后排交错布置, 增强防渗体的重叠覆盖效果; 梅花形布孔则多用于要求较高防渗等级的工程中, 能够有效减少孔间盲区, 提高整体防渗性能。在具体实施过程中, 布孔间距应根据土层渗透系数、注浆扩散半径及设备能力等因素综合确定, 通常控制在1.0~1.5m范围内。此外, 还需注意布孔方向与水流方向的关系, 尽量使注浆方向与渗流方向相反, 以增强拦截效果。

3.3 注浆量计算

注浆量的准确计算是确保防渗体质量的关键环节。注浆总量通常由单位体积注浆率与加固体积共同决定。单位注浆率可根据土层类别、孔隙率及渗透性等参数估算, 常用范围为80~200kg/m³。加固体积则由钻孔深度、孔径及布孔密度确定。在实际施工中, 还需考虑浆液损耗、扩散不均匀等因素, 适当增加一定的富裕量。此外, 应根据不同地层特性调整注浆策略, 如在砂层中采用多次注浆法, 逐步填充孔隙, 而在黏性土层中则可一次完成注浆作业。精确的注浆量控制不仅能保证防渗体的强度与密实度, 还能有效降低施工成本, 提高资源利用率。

3.4 施工设备选择

施工设备的选择应与所采用的防渗截渗技术相匹配。目前常用的设备包括地质钻机、高压注浆泵、搅拌机及喷射装置等。地质钻机主要用于完成钻孔作业, 其选型应考虑钻进深度、钻孔直径及地层硬度等因素。高压注浆泵则负责将浆液输送至指定位置, 其工作压力应满足设计要求, 通常不低于20MPa。搅拌机用于制备浆液, 需具备良好的混合均匀性与计量精度。喷射装置则根据注浆方式的不同分为旋喷、定喷与摆喷三种类型, 分别适用于不同施工场景。设备的合理配置不仅能提高施工效率, 还能保障施工质量, 因此在项目实施前应进行充分的设备选型与调试。

3.5 保证施工材料质量

施工材料的质量直接影响防渗体的耐久性与稳定性。常用的注浆材料包括普通硅酸盐水泥、膨润土、粉煤灰及添加剂等。水泥作为主要胶凝材料, 其标号应不低于P.0 42.5, 以确保早期强度与后期耐久性。膨润土可用于改善浆液流动性与保水性, 尤其适用于砂层等高渗透性地层。粉煤灰则可替代部分水泥,

降低成本并提高浆液的充填性能。此外,还可根据需要添加缓凝剂、早强剂或膨胀剂等外加剂,以调节浆液性能。所有材料在进场前应进行严格检验,确保其物理化学指标符合规范要求。

3.6 钻孔

钻孔是防渗截渗施工的第一步,其质量直接影响后续注浆效果。钻孔过程中应严格按照设计参数操作,保持钻杆垂直,避免偏斜。钻进速度应根据地层情况灵活调整,在坚硬岩层中可适当加快,在松软地层中则应放缓以防塌孔。钻孔完成后应及时清孔,清除孔内残留岩屑与泥浆,确保孔壁清洁。清孔方法可采用清水冲洗或空气吹扫,视地层条件而定。此外,还需做好孔口防护措施,防止异物落入孔内影响注浆质量。

3.7 搬运与搅拌

浆液的搬运与搅拌过程需确保其均匀性与稳定性。搅拌应在专用搅拌站内进行,按设计比例准确称量各组分材料。搅拌时间应控制在3~5分钟,直至浆液呈均匀状态无结块为止。搅拌完成后,浆液应尽快输送至施工现场,避免长时间静置导致离析。运输过程中应采用密封容器,防止水分蒸发或杂质混入。现场应设有临时储浆罐,以便随时调配使用。同时,应定期检测浆液稠度与流动度,确保其符合施工要求。

3.8 喷射注浆

喷射注浆是防渗截渗技术的核心工序之一,其效果直接影响防渗体的形成质量。喷射方式可分为旋喷、定喷与摆喷三种,分别适用于不同地层条件。旋喷适用于均质地层,通过旋转喷嘴使浆液均匀扩散;定喷适用于薄层结构,喷嘴固定方向进行定点喷射;摆喷则适用于复杂地层,喷嘴作往复摆动扩大加固范围。喷射过程中应严格控制喷射压力、提钻速度与浆液流量,确保浆液充分填充孔隙并形成致密结构。喷射结束后应及时清洗管道,防止堵塞。

3.9 复喷

复喷是指在完成首次高压喷射注浆后,针对某些特定钻孔或区域进行的再次或多次喷射作业。该操作通常应用于首次注浆效果不理想、地层复杂或多孔性较强的区域。其目的是通过重复喷射进一步填充土体中的空隙和未被充分加固的部位,提升防渗体的整体密实度与连续性。实施复喷时,应根据首次注浆后的地质反馈和现场返浆情况判断是否需要,并选择合适的间隔时间,一般控制在首次注浆结束后的6~12小时内,以确保前次浆液处于初凝状态但尚未完全硬化,有利于新旧浆液的良好结合。在具体操作中,需调整喷射压力、提钻速度及喷嘴角度等参数,使其更适应当前地层条件。例如,在砂层中适当提高压力可增强浆液渗透能力,在黏性土中则宜降低提钻速度以延长作用时间。同时,施工人员应密切观察返浆量和颜色变化,以此判断浆液填充程度,防止无效注浆。

3.10 冒浆不止

冒浆不止是注浆施工过程中常见且影响较大的问题之一,表现为浆液从非目标位置大量溢出,如地面裂缝、邻近钻孔或堤

坡薄弱点等。这种现象不仅造成材料浪费,还可能引发局部隆起或破坏原有结构稳定性。冒浆的主要成因包括地层渗透性过高导致浆液快速流失、注浆压力设置过大超出地层承载能力以及布孔间距不合理形成连通通道等。为有效应对冒浆问题,首先应在施工前对地层情况进行详细分析,合理设定注浆压力上限,避免超压注入。其次,可在冒浆点附近预先布置导流孔或安装回浆管,将多余浆液引导至集浆槽回收再利用,减少资源浪费并保护周边环境。此外,采用分段注浆方式也是一种有效的控制手段,即先完成浅层加固后再逐步深入,避免一次性加压带来的地层扰动。若冒浆持续发生且难以控制,应立即暂停注浆,查明原因并重新评估布孔方案和注浆参数,必要时调整施工顺序或更换工艺方法,确保后续作业安全可控。

3.11 质量测试与试验

质量测试与试验是防渗截渗施工完成后不可或缺的重要环节,直接关系到工程整体性能的验证与验收。常用的检测方法包括取芯法、注水试验、雷达探测和荷载试验等。其中,取芯法通过钻取防渗墙体样本,直观观察其内部结构、均匀性和固结状态,并测定抗压强度与渗透系数。注水试验则是在封闭条件下向钻孔内注水,记录水位下降速率,计算地层渗透系数,从而评估防渗效果。雷达探测适用于大面积区域的快速检测,能够发现墙体内部是否存在空洞、夹泥或断裂等缺陷,具有非破坏性和高效性的特点。荷载试验主要用于模拟实际运行状态下防渗体所承受的水压力,检验其变形协调能力和承载稳定性。每项测试均需严格按照规范操作,记录原始数据并进行综合分析,最终形成完整的质量评估报告。对于检测中发现的不合格区域,应及时制定补强措施,如局部补注浆或增加防渗帷幕厚度,确保整体工程质量满足设计标准。

4 结语

防渗截渗技术作为堤防加固工程中的核心技术手段,已在诸多工程项目中展现出良好的应用效果。通过科学的施工参数设定、合理的布孔方式、精确的注浆量控制以及严格的施工质量管理,能够有效提升堤防的抗渗性能与结构稳定性。在实际应用过程中,应根据工程地质条件、渗漏类型及施工环境等因素灵活调整技术方案,确保施工过程的安全性与有效性。同时,质量测试与试验作为最后一道防线,必须严格执行,确保每一项技术措施都能发挥应有的作用。防渗截渗技术的成功实施,不仅有助于延长堤防使用寿命,也为保障人民生命财产安全提供了坚实支撑。

[参考文献]

- [1]金国磊,吴华欢,尹上,等.水利工程中截渗墙施工技术要点及管理措施分析[J].工程与建设,2023(5).
- [2]戴敏.缸瓦沙围外江堤防防潮减灾能力提升建设管理实践[J].水利技术监督,2023(9).

作者简介:

郑明军(1978--),男,汉族,湖北石首人,本科,研究方向:水利水电。