堤防工程防渗加固技术应用及效果分析

何太彬

中国水利水电第五工程局有限公司　四川　成都　610000

摘　要：堤防工程渗漏病害威胁其安全运行，主要分为堤身、堤基、堤岸及接触渗漏，成因涵盖地质、设计、施工与运行管理。防渗加固技术体系包括垂直、水平及辅助防渗技术，各有适用场景。防渗加固效果评价方法有现场试验、数值模拟与长期监测。技术选择需因地制宜、经济合理、技术可行且长效稳定，施工要严控质量，还需建立长效维护机制，保障堤防长期安全稳定。

关键词：堤防工程；防渗加固；垂直防渗；水平防渗

引言：堤防工程作为防洪体系的关键屏障，其安全稳定运行直接关系到人民群众生命财产安全与社会经济发展。然而，受地质条件复杂、设计施工缺陷及运行管理不善等因素影响，堤防工程渗漏病害频发，严重威胁堤防安全。深入分析堤防工程渗漏病害类型与成因，构建科学合理的防渗加固技术体系，并建立有效的效果评价方法与优化策略，对提升堤防工程防洪能力、保障区域防洪安全具有重要意义。

1 堤防工程渗漏病害类型与成因

1.1 渗漏病害分类

堤防工程渗漏病害是威胁堤防安全运行的主要隐患，根据渗漏发生的部位、形态及危害程度，可分为四大类。一是堤身渗漏，主要发生在堤防主体结构内部，多表现为堤身湿润、渗水溢出，若不及时处理，易导致堤身软化、沉降，甚至引发滑坡。二是堤基渗漏，源于堤防基础土层渗透性强，渗水从堤基穿过，长期作用下会造成地基淘刷、管涌，严重时导致堤防溃决。三是堤岸渗漏，发生在堤防与岸坡结合部位，因结合不紧密、岸坡岩土体渗透系数差异大，形成渗水通道，加剧岸坡坍塌风险[1]。四是接触渗漏，出现在堤防与涵闸、穿堤管道等建筑物的结合处，由于施工衔接不当，存在缝隙或薄弱环节，成为渗水集中通道，易引发建筑物周边土体破坏，影响堤防整体稳定性。各类渗漏病害相互关联，若单一病害未及时管控，可能诱发复合型隐患，增加治理难度。

1.2 成因分析

堤防工程渗漏病害的成因复杂，主要可归纳为地质条件、设计因素、施工质量及运行管理四大类。从地质条件来看，堤防选址若穿越砂层、砂砾石层等强透水地层，或地基存在软弱夹层、裂隙发育，会天然形成渗漏通道，为渗漏发生提供基础条件。设计层面，若防渗设计标准偏低，未结合实际地质条件选择合适的防渗方案，或堤身断面设计不合理、防渗结构不完善，会导致堤防抗渗能力不足。施工质量是关键诱因，施工中堤身填土压实度不够、分层碾压不规范，或涵闸、穿堤建筑物施工时衔接不严密、回填土质量不达标，会留下渗漏隐患。长期运行管理不到位，堤防表面出现裂缝、破损后未及时修复，雨水冲刷、地下水浸泡加剧土体渗透，以及人为破坏堤防结构等，都会诱发或加重渗漏病害，严重威胁堤防防洪安全。

2 堤防工程防渗加固技术体系

2.1 垂直防渗技术

垂直防渗技术是通过在堤防堤身或堤基设置垂直防渗屏障，阻断渗水垂直渗透通道，是目前堤防防渗加固中应用最广泛的核心技术之一。该技术主要适用于堤基渗透性强、存在深层透水层的场景，核心目标是切断渗水路径，降低渗透压力。常用的垂直防渗技术包括高压喷射灌浆法、水泥土搅拌桩法、混凝土防渗墙法及帷幕灌浆法。高压喷射灌浆法通过高压喷射设备将水泥浆与土体混合，形成连续的防渗帷幕，施工效率高、适应范围广，可用于各类土层；水泥土搅拌桩法利用搅拌设备将水泥与土体充分搅拌，形成水泥土桩墙，造价较低、施工便捷，适合中浅层防渗；混凝土防渗墙法通过浇筑连续的混凝土墙体，防渗效果可靠、耐久性强，适用于深层强透水地基；帷幕灌浆法通过向地层注入浆液，填充裂隙和孔隙，形成防渗帷幕，适合岩石地基或深层砂砾石地基。实际应用中需结合地质条件、防渗要求及造价，选择合适的垂直防渗技术[2]。

2.2 水平防渗技术

水平防渗技术是在堤防堤身或堤基设置水平方向的防渗层，阻滞渗水横向渗透，主要适用于堤身填土渗透性强、堤基浅层存在透水层的情况，与垂直防渗技术配合使用可形成全方位防渗体系。常用的水平防渗技术主要有铺设土工膜防渗、换填防渗层及复合土工膜防渗。土工膜防渗通过铺设高密度聚乙烯土工膜等材料，利用其不透水特性阻断渗水，施工简便、重量轻、防渗效果好，适用于堤身表面或浅层防渗；换填防渗层是将堤防或堤基中的强透水土层挖除，换填黏土、壤土等弱透水材料，分层压实形成防渗层，施工工艺成熟、可靠性高，但工程量较大，适合浅层透水层处理；复合土工膜防渗结合了土工膜和土工织物的优点，兼具防渗和排水功能，可有效防止渗水破坏，同时增强土体整体性，适用于复杂地质条件下的水平防渗。水平防渗技术的关键是保证防渗层的连续性和完整性，避免出现破损、搭接不严等问题。

2.3 辅助防渗技术

辅助防渗技术是配合垂直、水平防渗技术使用，弥补主防渗体系不足，提升整体防渗效果的补充技术，主要用于处理局部渗漏隐患、优化防渗体系，降低渗漏风险。常用的辅助防渗技术包括排水减压技术、护坡防护技术及裂缝修补技术。排水减压技术通过设置排水井、排水盲沟等设施，排出堤身或堤基内的渗水，降低渗透压力，减少管涌、流土等病害，常用的有深井排水、轻型井点排水等，适用于渗透压力较大的区域；护坡防护技术通过在堤防迎水坡、背水坡铺设护坡材料，如块石、混凝土预制块、生态袋等，防止雨水冲刷、波浪侵蚀导致堤防表面破损，避免形成渗漏通道，同时保护堤身结构完整性；裂缝修补技术针对堤防运行中出现的干缩裂缝、沉降裂缝等，采用灌浆、嵌缝、贴补等方式进行修补，及时封堵渗漏通道，防止裂缝进一步发展。辅助防渗技术虽不作为核心防渗手段，但对提升防渗体系的稳定性和耐久性具有重要作用。

3 防渗加固效果评价方法

3.1 现场试验法

现场试验法是通过在堤防防渗加固现场开展针对性试验，直接检测防渗效果的直观方法，具有真实性强、数据可靠的特点，是防渗加固效果评价的核心方法之一。该方法主要通过现场取样、原位测试等方式，检测堤防的渗透系数、压实度、防渗层连续性等关键指标，判断防渗加固是否达到设计要求。常用的现场试验包括注水试验、抽水试验、压水试验及现场剪切试验。注水试验主要用于检测堤身或堤基的渗透系数，通过向试坑或钻孔注水，测量渗水量，计算渗透参数；抽水试验适用于深层堤基防渗效果检测，通过抽取地下水，观测水位变化，评价防渗帷幕的阻水效果；压水试验主要用于混凝土防渗墙、帷幕灌浆等垂直防渗工程，通过向钻孔内加压注水，检测防渗体的透水率；现场剪切试验用于检测堤身填土及防渗层的抗剪强度，判断其稳定性。现场试验需结合工程实际，合理布置试验点位，确保试验数据的代表性和准确性。

3.2 数值模拟法

数值模拟法是利用专业数值模拟软件，结合堤防工程的地质条件、防渗加固方案，构建三维或二维数值模型，模拟防渗加固后的渗流场、应力场分布，进而评价防渗效果的间接方法，适用于大型堤防工程或复杂地质条件下的效果评价。该方法的核心是通过输入地层参数、防渗结构参数、边界条件等，模拟渗水在堤身、堤基中的渗透路径、渗透速度及渗透压力，对比加固前后的渗流特性，判断防渗加固措施的有效性[3]。常用的数值模拟软件有 Geo-Studio、ANSYS、FLAC3D 等，可实现渗流分析、稳定性分析等功能。数值模拟法具有高效、经济、可预测性强的优点，可提前预判防渗加固效果，为优化加固方案提供理论依据。但该方法依赖于地质参数的准确性，需结合现场试验数据校准模型参数，确保模拟结果的可靠性，避免因参数偏差导致评价结果失真。

3.3 长期监测法

长期监测法是通过在堤防防渗加固工程现场布设监测设备，长期跟踪监测渗流、沉降、位移等指标的变化，全面评价防渗加固效果及工程长期稳定性的方法，是防渗加固效果评价的重要补充，也是工程运维管理的重要依据。监测内容主要包括渗流量监测、渗透压力监测、堤身沉降监测、水平位移监测及裂缝监测等。渗流量监测通过安装渗流量计量设备，实时监测堤身、堤基的渗水量变化，判断防渗体系是否存在破损；渗透压力监测通过布设测压管、孔隙水压力计，监测不同深度的渗透压力，防止渗透压力过高引发管涌、滑坡；沉降和水平位移监测用于监测堤身及防渗结构的变形情况，避免因变形过大导致防渗层破损；裂缝监测通过裂缝计等设备，跟踪裂缝的发展趋势，及时发现隐患。长期监测需建立完善的监测体系，定期整理分析监测数据，形成监测报告，为工程维护和效果评价提供持续的数据支撑。

4 堤防工程防渗加固技术优化建议

4.1 技术选择原则

堤防工程防渗加固技术的选择需遵循因地制宜、经济合理、技术可行、长效稳定的核心原则，结合工程实际情况，科学选择适配的加固技术，确保防渗效果和工程安全性。首先，因地制宜原则，需全面勘察堤防的地质条件、渗漏类型及危害程度，结合当地气候、水文条件，选择适合的防渗技术，如深层强透水地基优先选择垂直防渗技术，浅层透水堤身可采用水平防渗技术，复杂地质条件可采用垂直与水平防渗结合的方式。其次，经济合理原则，在保证防渗效果的前提下，优先选择造价低、施工便捷、运维成本低的技术，避免过度设计，实现技术与经济的平衡。再次，技术可行原则，选择的技术需符合当前施工工艺水平，具备成熟的施工经验和技术标准，确保施工顺利开展，避免因技术不成熟导致施工质量隐患。最后，长效稳定原则，选择的防渗技术需具备良好的耐久性和抗老化能力，能够适应长期运行环境，减少后期维护工作量，确保堤防长期安全稳定运行。

4.2 施工质量控制要点

施工质量是堤防防渗加固工程效果的核心保障，必须从施工准备、施工过程、竣工验收三个阶段进行全方位、全流程的严格把控，杜绝任何质量隐患。在施工准备阶段，要全面细致地核查地质勘察资料，依据实际情况优化施工方案。精心挑选具备专业资质、信誉良好的施工队伍，严格选用合格的施工材料，像防渗土工膜、水泥、砂石等，材料进场前必须进行严格的质量检测，不合格材料坚决禁止入场使用。同时，认真做好施工场地的平整工作，对施工设备进行全面调试，保证施工场地达到开工条件，为后续施工奠定坚实基础。施工过程中，针对不同的防渗技术制定专项且细致的质量控制措施。例如，垂直防渗的灌浆施工，要精准控制灌浆压力、浆液浓度以及灌浆的连续性；水平防渗的土工膜铺设，要确保搭接宽度符合标准、压实度达标，防止出现破损、搭接不严等问题。另外，加强现场监理力度，对关键工序、重点部位安排专人进行全程旁站监督，一旦发现质量问题，立即要求整改。竣工验收阶段，要严格按照设计标准和规范要求，开展现场检测和资料核查工作，重点检测防渗效果、施工质量等关键指标，只有验收合格后，工程方可投入使用，切实保障工程质量符合要求。

4.3 长效维护机制

建立堤防工程防渗加固长效维护机制，是保障防渗加固效果、延长工程使用寿命、防范后期渗漏隐患的重要举措，需从日常巡查、定期检测、隐患整改、运维管理四个方面构建完善的维护体系。日常巡查方面，安排专业人员定期对堤防及防渗设施进行巡查，重点排查堤身裂缝、破损、渗漏点，以及涵闸、穿堤建筑物结合处的隐患，建立巡查台账，及时记录发现的问题[4]。定期检测方面，结合长期监测数据，每 1-3 年开展一次全面检测，重点检测防渗层完整性、渗透系数、堤身稳定性等指标，对比分析检测数据，预判工程运行状态。隐患整改方面，对巡查和检测中发现的隐患，制定专项整改方案，明确整改时限、责任人和整改措施，确保隐患及时整改到位，避免隐患扩大。运维管理方面，建立健全运维管理制度，明确管理责任，加强运维人员专业培训，提升运维能力；合理安排运维资金，保障维护工作有序开展，同时加强宣传教育，杜绝人为破坏堤防及防渗设施，确保堤防工程长期稳定运行。

结束语

堤防工程防渗加固是保障防洪安全的关键举措。通过明确渗漏病害类型与成因，构建多元防渗加固技术体系，采用科学效果评价方法，并遵循合理技术选择原则、严控施工质量、建立长效维护机制，可有效提升堤防防渗能力，降低渗漏风险。未来，需持续探索创新技术与优化策略，以适应不断变化的工程需求，为堤防工程长期安全稳定运行提供坚实保障。

参考文献

[1] 罗江琴. 德江县堤防防渗加固技术及应用效果分析 [J]. 水利科技与经济，2026，32(2):96-100,140.

[2] 陈尚芬. 防渗加固技术在水库堤防工程施工中的应用 [J]. 建筑与装饰，2024(18)：133-135.

[3] 李聪磊. 深层搅拌桩防渗墙在堤防加固中的应用及防渗效果分析 [J]. 江淮水利科技,2024(5):21-25.

[4] 廖强. 堤防防渗加固中垂直铺塑截渗技术的应用 [J]. 河南水利与南水北调,2023,52(4):121-122.