河道堤防渗漏检测与防渗处理技术研究

沈小林　王林酒
江苏省水利建设工程有限公司　江苏　扬州　225000

摘　要：河道堤防渗漏是威胁防洪安全的隐蔽性工程病害，由水位差驱动水体沿土体孔隙与裂隙渗透，易引发管涌、流土等次生灾害。本文系统梳理了堤防渗漏的成因与危害，重点分析了地球物理探测、智能监测等主流检测技术及综合物探应用策略，并对灌浆、防渗墙、接触面处理及高分子复合、微生物诱导等新型防渗技术进行了对比研究。研究表明，综合物探与多技术协同检测可有效提升隐患定位精度，因地制宜选择防渗方案是保障治理效果的关键。

关键词：河道堤防；渗漏检测；防渗处理

引言：河道堤防是保障流域防洪安全的核心工程，渗漏作为其最常见的隐蔽性病害，具有发现难、发展快、危害大的特点。一旦渗流通道持续扩展，可诱发管涌、流土乃至溃堤等严重后果，直接威胁沿岸居民生命财产安全。当前，传统人工巡检已难以满足堤防全域、全天候隐患排查需求，而防渗处理技术也面临施工扰动大、适应性弱等瓶颈。本文围绕渗漏检测与防渗处理两大核心环节，梳理主流技术原理与适用场景，探讨综合检测与多元防渗协同治理路径，为堤防安全运行提供技术参考。

1 河道堤防渗漏的成因与危害

1.1 渗漏的基本概念与机理

河道堤防渗漏是堤防工程运行中最常见的病害之一，特指河道水体在水位差、渗透压力作用下，通过堤防土体、结构缝隙及内部缺陷发生的水体渗透现象，区别于表面冲刷、坍塌等显性病害，属于隐蔽性工程隐患。其核心发生机理遵循达西渗透定律，河道上下游形成的水位高差产生持续渗透水力梯度，驱动水体顺着堤防内部孔隙、裂隙、空洞等透水通道持续迁移。天然堤防土体本身存在颗粒间隙，填筑施工遗留的分层缝隙、压实不足形成的疏松层，以及地基土层的透水夹层，均会构成基础渗透通道[1]。当水体持续渗入堤防内部，会逐步改变土体应力状态，初期仅出现微量渗水现象，随着渗透时长增加，水流不断冲刷土体颗粒，细小土粒被水流带走，导致渗透通道逐步扩大、贯通，最终引发集中渗漏、管涌、流土等次生破坏，直接威胁堤防整体结构稳定性和河道防洪安全。

1.2 渗漏的主要成因

河道堤防渗漏的形成是自然条件、施工质量、工程老化及外界扰动多重因素共同作用的结果。自然地质条件是基础诱因，部分堤防建设于砂质、粉质砂土地基之上，土体透水性强、密实度低，且地基存在土层不均匀、透水层交错分布问题，天然防渗性能极差，极易引发基底渗漏。施工建设缺陷是核心人为成因，堤防填筑过程中若分层压实工艺不达标、填筑土料含杂质、含水率控制不当，会造成堤身土体疏松、整体性差，同时堤身与岸坡、涵闸等构筑物接触面处理不规范，易形成结构性渗漏通道。工程长期老化加剧渗漏隐患，堤防常年经受河水浸泡、干湿交替、冻融风化作用，土体固结松弛、结构裂隙发育。另外，河道水流冲刷、暴雨侵袭、地下水位波动及人为开挖、生物洞穴扰动，会持续破坏堤防完整度，逐步扩大渗漏通道，诱发各类渗漏问题。

2 堤防渗漏检测技术

2.1 渗漏检测的技术标准与基本要求

堤防渗漏检测工作必须严格遵循水利工程检测相关的国家标准与行业规范，以精准排查渗漏隐患、定位渗漏通道、科学评估病害程度为核心目标，全力保障检测结果的科学性、精准性与全面性。首先，检测工作需满足严格的合规性要求，全程必须贴合《堤防工程安全评价规范》及《水利工程渗漏检测技术规程》等权威标准，明确检测范围、精度要求及数据采集标准，从源头上杜绝漏检与误检问题。其次，需落实针对性要求，应结合堤防的建设年限、结构类型、地质条件及运行工况，差异化制定专属检测方案，将堤身、堤基以及穿堤构筑物接触面等高危区域作为排查重中之重。同时，检测过程必须兼顾安全性与高效性，作业期间严禁破坏堤防原有结构，避免诱发二次病害，并需灵活适配汛期与非汛期的不同作业环境。另外，检测数据必须具备高

度的完整性与可追溯性，需精准记录渗漏位置、影响范围、渗流量及渗透路径等关键参数，从而为后续的防渗加固方案设计、工程维修养护提供可靠的数据支撑与科学依据，切实筑牢堤防安全防线。

2.2 地球物理探测技术

地球物理探测技术是堤防渗漏隐患排查的主流无损检测技术，依托土体物理参数差异实现隐蔽渗漏病害的精准探测，适配各类堤防工程检测场景。该技术核心原理是利用渗漏区域与完整堤体土体在电阻率、波速、极化率等物理特性的显著差异，通过专业设备采集、分析物理场变化数据，精准定位渗漏通道、空洞、疏松层等隐患位置[2]。其中高密度电法应用最为广泛，可通过阵列电极采集土体电阻率数据，清晰勾勒堤身内部透水区域分布特征，精准识别渗流通道；地质雷达技术依托电磁波反射原理，快速探测堤身浅层裂隙、空洞及集中渗漏区域，检测效率高、分辨率强；地震波探测技术则通过应力波传播规律，检测堤基深层渗漏隐患与土体松散病害。该类技术无需开挖堤防，无损无扰动、探测范围广，可实现堤防隐患全域排查，大幅提升渗漏检测的精准度与效率。

2.3 智能监测与新型检测技术

随着智慧水利建设推进，智能监测与新型检测技术逐步替代传统人工检测，实现堤防渗漏全天候、动态、精准监测，有效弥补传统检测滞后性、局限性的短板。该类技术主要依托物联网、传感器、大数据、远程传输等前沿技术体系，在堤防关键断面布设渗压传感器、沉降传感器、含水率传感器等智能设备，实时采集堤身渗透压力、土体含水率、沉降变形等核心数据。通过云端数据平台对监测数据进行实时分析、动态研判，可及时捕捉微小渗漏隐患，预判渗漏病害发展趋势，实现从“事后排查”向“事前预警”的转变。同时，无人机航拍、红外热成像新型检测技术，可快速筛查大范围堤防表面异常温差与渗水痕迹，精准锁定表层渗漏点位。智能监测系统可长期连续运行，数据自动存储、分析、预警，大幅降低人工巡检成本，提升堤防渗漏病害防控的智能化、精细化水平。

2.4 综合物探技术的应用策略

综合物探技术通过整合多种单一物探技术的优势，实现取长补短与互补验证，有效解决了单一检测技术精度不足、适用场景受限及误判率高的问题，已成为现阶段堤防渗漏精准检测的核心应用方案。在实际应用中，必须严格遵循“先全域普查、后精准详查”的核心策略。首先，采用探测效率高、覆盖范围广的地质雷达与高密度电法开展全域普查，快速划定堤防疑似渗漏隐患区域，锁定重点检测范围。随后，针对普查筛选出的高危区域，结合地震波探测、瞬变电磁法等技术开展精细化检测，以精准确定渗漏通道的埋深、走向、范围及病害的严重程度。同时，需紧密结合堤防的地质条件与运行工况来优化技术组合。例如，对于浅层隐患，优先搭配地质雷达与红外探测；而针对深层堤基渗漏隐患，则采用高密度电法与瞬变电磁法进行组合检测。通过这种多技术数据的交叉验证，能够最大程度消除单一技术带来的检测误差，全面提升渗漏隐患检测的准确性与可靠性，从而为后续的防渗治理工程提供坚实、精准的数据支撑。

3 堤防防渗处理技术

3.1 防渗处理方案的选择原则

堤防防渗处理方案选择需结合工程实际，遵循安全可靠、经济合理、适配性强、长效稳定的核心原则，保障防渗治理效果达标且工程性价比最优。首先坚持因地制宜原则，根据堤防渗漏类型、隐患位置、病害程度，结合堤身土体特性、地质条件、水文工况差异化选型，浅层表层渗漏优先采用简易封堵、表层加固技术，深层基底渗漏、大范围通道渗漏需采用灌浆、防渗墙等系统性加固技术[3]。其次遵循安全稳定性原则，所选方案不得破坏堤防原有结构，施工过程规避滑坡、塌陷等安全风险，治理后可有效阻断渗流通道，提升堤防整体防渗能力与结构稳定性。同时兼顾经济性与实用性，优先选用施工便捷、工期短、成本可控的成熟技术，杜绝过度施工与资源浪费。最后坚持长效性原则，充分考虑河道水位波动、气候环境变化等因素，保障防渗结构耐久性强、抗老化性能好，可长期抵御渗透破坏，满足堤防长期安全运行需求。

3.2 灌浆技术

灌浆技术是堤防渗漏治理的核心传统技术，凭借适用性广、加固防渗效果显著的优势，广泛应用于堤身、堤基渗漏及内部空洞、裂隙病害处理。其施工原理是通过专业灌浆设备，将水泥浆、水泥黏土浆等防渗浆液，通过钻孔加压注入堤防土体孔隙、裂隙及渗漏通道内部，依靠浆液填充、渗透、固结作用，封堵透水通道。浆液固结后会与周边土体紧密结合，形成整体性强、密实度高的防渗固结体，有效提升堤身、堤基的密实度与防渗性能，同时加固松散土体，增强堤防结构稳定性。常用灌浆方式包含静压灌浆、高压旋喷灌浆，静压灌浆适用于浅层、细微裂隙渗漏治理，施工工艺简单、成

本低廉；高压旋喷灌浆依托高压浆液切割土体，适配深层、大范围松散土体渗漏治理，固结体强度高、防渗效果好。该技术施工扰动小、加固深度大，可从根源上解决堤防内部隐蔽渗漏问题，工程应用成熟可靠。

3.3 防渗墙技术

防渗墙技术是堤防深层渗漏、堤基贯通性渗漏治理的关键技术，主要适用于病害严重、防渗要求高的重点堤防工程，可构建连续性、封闭式防渗屏障。该技术核心施工流程为通过成槽设备在堤防渗漏区域开挖连续槽孔，清理槽内杂物后，浇筑混凝土、塑性混凝土等防渗材料，形成贯穿堤身、穿透透水层的连续防渗墙体，彻底阻断上下游渗流通道。根据施工工艺可分为锯槽防渗墙、抓斗防渗墙、薄型防渗墙等类型，薄型防渗墙墙体厚度小、施工效率高、造价低，适配中小型堤防防渗治理；塑性混凝土防渗墙柔韧性强、变形适配性好，可适应土体不均匀沉降，不易出现开裂破损。防渗墙整体性、抗渗性、耐久性优异，能够从根本上解决堤基透水层、深层贯通性渗漏难题，大幅提升堤防汛期防洪抗渗能力，是重大堤防病害治理的核心工艺。

3.4 接触面处理技术

堤防接触面渗漏是极易被忽视的隐蔽病害，主要发生在堤身与岸坡、涵闸、管道、新旧堤体结合部位，接触面处理技术是针对性解决此类渗漏的专项工艺。由于不同结构、不同土体结合部位施工衔接难度大，易出现压实不足、粘结不紧密、缝隙残留等问题，形成专属渗漏通道，常规防渗技术难以彻底治理。该技术施工核心是先对接触面基层进行彻底处理，清理松散杂物、风化土层及残留缝隙，对凹凸不平区域进行平整打磨。随后采用界面剂涂刷、黏土回填夯实、接缝灌浆、止水带铺设等工艺，填充封堵接触面缝隙，强化不同结构的粘结整体性。针对老旧堤防构筑物接触面老化渗漏问题，可采用柔性防渗材料填充缝隙，适配结构轻微变形，避免二次开裂渗漏。该技术针对性解决结构性界面渗漏隐患，补齐堤防防渗薄弱环节，保障堤防整体防渗体系的完整性与连续性。

3.5 新型防渗技术

随着水利工程技术迭代升级，各类新型防渗技术逐步应用于堤防工程，弥补传统防渗技术施工周期长、造价高、适应性弱的短板，推动堤防防渗治理向高效、环保、长效方向发展。常见新型技术包含高分子复合防渗技术、微生物诱导碳酸钙防渗技术、柔性涂膜防渗技术等。高分子复合防渗技术采用高强度、高抗渗的高分子材料，通过喷涂、铺设方式形成柔性防渗层，适配堤身表层、坡面渗漏治理，施工便捷、防渗效果优异，且抗老化、耐腐蚀性能突出[4]。微生物防渗技术依托微生物代谢作用生成碳酸钙沉淀，填充土体孔隙、封堵渗流通道，环保无污染、适配性极强，可实现土体原位防渗加固。柔性涂膜防渗技术固化速度快、粘结性强，能够适应堤防土体轻微变形，不易开裂脱落。新型防渗技术兼具经济性、环保性与长效性，适配现代堤防精细化、绿色化防渗治理需求，应用前景广阔。

结束语

河道堤防渗漏检测与防渗处理是一项系统性工程，需将精准检测与科学治理紧密结合。地球物理探测与智能监测技术的融合应用，实现了从事后排查向事前预警的转变；灌浆、防渗墙等传统技术与高分子复合、微生物诱导等新型技术的协同选用，有效提升了防渗治理的针对性与长效性。未来应进一步推动物联网、大数据与堤防运维深度融合，构建智能化渗漏防控体系，同时加强新型环保防渗材料的工程适用性研究，为堤防长效安全运行提供持续技术支撑。

参考文献

[1] 石蓝星, 朱春光, 罗京蕾, 等. 高压喷射灌浆防渗墙在堤防渗漏处理中的应用 [J]. 水利技术监督,2025(5):309-312.

[2] 丰小华. 河道蓄水工程稳定性及防渗处理技术研究 [J]. 工程建设与设计，2022(8)：78-81.

[3] 张啸, 张昊. 水利工程河道堤防护岸施工技术研究 [J]. 流体测量与控制，2026，7(1):84-86.

[4] 赵湘琳. 防渗技术在水利河道施工中的运用 [J]. 工程管理，2023，4(11)：101-103.