

水利工程堤防防渗施工技术及质量控制

柴弘¹ 曾贤锋²

1.内蒙古河套灌区水利发展中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

2.巴彦淖尔市水利事业服务中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

【摘要】：堤防是水利工程防洪减灾的核心设施，防渗性能直接决定工程安全与长效运行。当前水利工程堤防防渗施工存在材料选型适配不足、施工工艺不规范、质量管控体系不完善、监测与维护滞后等突出问题，本文系统阐述针对性技术优化方法，涵盖防渗材料优选组合、施工工艺标准化改进、新技术集成应用，明确全过程材料管控、关键工序管控、验收标准落实等质量控制措施，结合典型工程实践提炼实操要点，补充环境安全保障与长效运维策略，为提升堤防防渗可靠性、降低渗漏险情、延长工程使用寿命提供理论支撑与实践指导。

【关键词】：水利工程；堤防防渗；施工技术；质量控制；长效运维

DOI:10.12417/2811-0528.26.13.021

引言

水利工程是保障水资源合理调配、抵御洪涝灾害的重要基础设施，堤防作为其中关键组成部分，承担着挡水、防渗的核心功能，其防渗效果直接关系到沿岸人民生命财产安全与区域经济社会稳定。我国各类堤防工程在长期运行及施工过程中，受地质条件复杂、材料选型不当、施工工艺不规范、质量管控不严等因素影响，渗漏、管涌、滑坡等险情频发，严重降低堤防防洪能力，缩短工程使用寿命。分析堤防防渗施工现存问题，探索科学合理的技术优化路径与质量控制措施，完善长效运维体系，对提升水利工程堤防防渗水平、保障工程安全稳定运行具有重要的现实意义与应用价值。

1 水利工程堤防防渗施工现存主要问题

1.1 防渗材料选型与适配性问题

堤防防渗材料选型常脱离工程地质与水文工况，适配性不足引发渗漏隐患。松散砂性堤基与软黏土堤身对材料抗渗、抗变形要求差异显著，高密度聚乙烯、聚氯乙烯土工膜、水泥土等材料选型却普遍一刀切，未结合堤身土质、水位变幅与渗透压力开展匹配性论证。部分工程为控制成本选用低规格土工膜，抗拉强度、耐老化性不达标，渗透系数难以稳定控制在 10^{-13} m/s 设计阈值；水泥土配比随意，未按1:5~1:7标准控制，防渗体渗透系数高于 10^{-7} m/s，无法形成有效阻渗屏障^[1]。黄河流域早期堤防材料选型粗放、且堤基处理不规范，汛期管涌、散浸频发，印证材料适配缺陷直接威胁堤防安全。

1.2 防渗施工工艺应用不规范问题

土工膜铺设基面清理不彻底，褶皱气泡未消除，搭接宽度不足，热焊接温度与速度失控，焊缝强度低于母材90%标准；

喷射混凝土未控制30~50mm厚度与C25强度等级，密实度不足形成渗水通道；防渗墙施工钻孔垂直度偏差超标，浆液配比失衡，桩间连接薄弱，深层透水地层难以形成连续防渗体。部分工程沿用传统工艺，未针对深厚砂层、软基优化，黄河流域部分堤段早期水泥土防渗墙成墙浅、连续性差，无法阻断深层渗流，工艺不规范成为渗漏主因。

1.3 施工质量管控体系不完善问题

质量管控体系碎片化，难以保障施工质量。材料进场仅核查合格证，未按批次抽检抗拉强度、渗透系数等关键指标；施工过程中日常巡查与现场检查不够细致、监督力度不足，对焊接质量、混凝土厚度、防渗墙垂直度等关键参数实时监控不足；验收阶段简化水密性、渗透系数检测，未执行第三方独立核验收。管控责任划分模糊，施工、监理、业主协同机制不健全，缺乏数字化监控手段，人工记录误差大、追溯性差，工艺偏差、材料缺陷等问题无法及时整改，质量隐患持续累积。

1.4 防渗效果监测与长效维护问题

防渗效果监测与长效维护机制滞后，无法保障长期稳定运行。施工后仅开展短期验收检测，未建立孔隙水压力、渗流量、变形沉降的长期监测体系，传感器布设不足、数据采集间断，难以识别早期渗漏与结构劣化^[2]。维护工作重抢险、轻预防，缺乏定期检测与老化评估，土工膜老化破损、防渗墙裂缝等问题得不到及时处置，监测数据未联动预警，异常情况响应滞后，小隐患演变为管涌、滑坡等渗漏与失稳问题。部分堤防运行多年未开展防渗体系复检，材料老化与结构损伤持续加剧，降低工程使用寿命与防洪能力。

2 水利工程堤防防渗施工技术优化方法

2.1 针对性防渗材料优选与组合应用

基于地质工况精准优选材料,推行复合组合应用提升防渗性能。砂性透水堤基优先选用抗拉强度 $\geq 25\text{MPa}$ 、伸长率 600% 的高密度聚乙烯土工膜,渗透系数达 10^{-13}m/s ,配合土工布增强抗穿刺能力;软黏土堤身采用水泥与细粒土 1:5~1:7 配比的水泥土,渗透系数控制在 10^{-7}m/s 以下;高水位差险段采用土工膜-水泥土复合结构,发挥膜材高抗渗与土体稳定性协同优势。推广自愈合智能材料、可降解环保膜等新型材料,适配生态敏感区需求,淮河姜唐湖行洪区堤防工程中,复合防渗材料应用使渗漏量降至 5% 以下,验证材料组合的有效性。

2.2 主流防渗施工工艺改进与标准化

优化主流工艺并推行标准化作业,解决施工不规范难题。土工膜施工执行“基面精平→分层铺设→热熔焊接→充气检测→保护层覆盖”流程,控制焊接温度 280-350℃、速度 1.5-2.5m/min,焊缝强度达标率 100%;喷射混凝土采用高压均匀喷射工艺,管控厚度 30~50mm、强度 $\geq \text{C25}$,提升表面密实度;防渗墙施工采用 TRD 等厚工法与多头小直径成墙技术,成墙深度达 30 米以上,墙体连续均匀,渗透系数 $\leq 10^{-7}\text{m/s}$ 。洞庭湖堤防加固工程推行工艺标准化,解决深厚透水地层防渗难题,工艺改进后险情发生率显著下降(见图 1)。

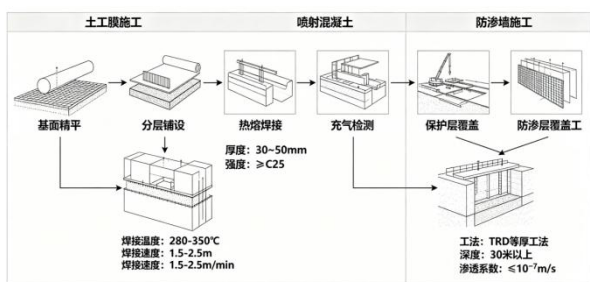


图 1 主流防渗施工工艺改进与标准化

2.3 新型防渗技术集成与实践应用

集成新型技术提升施工智能化与防渗可靠性^[3]。融合物联网传感器、无人机遥感、大数据分析,实现施工参数动态调控与质量实时监控,推广塑性混凝土防渗墙、集束高喷灌浆、生物矿化自修复技术,适配复杂地质与生态环保要求。黄河下游堤防荆隆宫堤段布设塑性混凝土防渗墙,墙厚 0.4m、最大成墙深度 42.5m,直抵不透水层,阻断堤基渗漏通道。黄河东平湖围坝堤段面对砂卵石与深厚砂层地质,应用集束高喷防渗墙技术,抑制堤基渗漏与管涌风险。新型技术集成提升黄河流域堤防防渗可靠性与长效性。

3 水利工程堤防防渗施工质量控制措施

3.1 全过程材料质量管控措施

构建全流程材料管控体系,从源头保障防渗质量,为堤防防渗施工筑牢坚实基础。建立严格的材料准入清单,明确土工膜、水泥、土工布等防渗材料的质量标准,材料进场时核查产品合格证、出厂检测报告,杜绝不合格材料流入施工现场。进场材料按批次抽样检测,重点检测土工膜的抗拉强度、延伸率、耐老化性及渗透系数,水泥的凝结时间、抗压强度等关键指标,检测不合格材料立即清退出场,严禁投入使用。设立专用仓储区域,防渗膜避光、防潮存放,避免日晒雨淋导致材料老化破损,水泥等粉状材料密封存放,防止受潮结块和化学污染。施工过程中实行动态抽检制度,对焊接用膜材、水泥土浆液进行二次检测,确保材料性能符合设计要求。执行材料追溯制度,建立采购、检测、使用全链条台账,实现每一批材料流向可查、责任可究,从根本上杜绝以次充好现象,保障防渗材料质量稳定可靠。

3.2 关键工序施工质量控制措施

聚焦核心工序精准管控,细化管控流程,确保施工工艺严格执行到位,保障防渗工程施工质量^[4]。基面处理是防渗施工的基础环节,需彻底清除地表尖锐杂物、杂草及腐殖土,对软土地基进行深层搅拌加固,压实度 $\geq 93\%$,同时将基面阴阳角修成圆弧状,避免土工膜铺设时因应力集中出现破损。土工膜铺设需根据堤身坡度预留充足变形余量,搭接宽度 $\geq 10\text{cm}$,焊缝采用热熔焊接工艺,焊接后及时充气检测,确保无渗漏、无虚焊。喷射混凝土采用分段分层作业,精准控制喷射角度和速度,管控混凝土厚度 30~50mm、强度 $\geq \text{C25}$,减少回弹量,提升表面密实度。防渗墙施工时,实时监测钻孔垂直度、浆液配比与成墙厚度,及时调整施工参数,杜绝桩间缝隙产生。实施工序旁站监理与“三检制”,上道工序验收不合格严禁进入下道工序,对焊接强度、混凝土厚度等关键参数实时采集、超限预警,确保每一道工序质量符合设计标准。

3.3 质量验收与评定标准落实措施

严格落实质量验收与评定标准,规范验收流程,确保防渗工程达标交付,为后期运维提供可靠依据。执行“过程验收+竣工验收”双轨制,过程验收贯穿施工全过程,重点覆盖土工膜焊缝强度、喷射混凝土厚度、防渗墙完整性等关键指标,每完成一道工序立即组织验收,发现问题及时整改,形成验收记录存档。竣工验收阶段,全面开展水密性试验、渗透系数检测等专项检测,确保防渗层渗透系数符合设计要求,无渗漏隐患。统一验收评定量化标准,明确土工膜焊缝强度 \geq 母材 90%、防渗墙渗透系数 $\leq 10^{-7}\text{m/s}$ 等核心阈值,避免验收过程中标准

模糊、判定随意。引入第三方独立检测机构,全程参与验收工作,确保检测数据真实可靠,杜绝虚假验收、违规验收。验收合格后,将所有验收资料、检测报告、施工记录完整归档,建立规范的工程档案,为后期防渗工程的维护、检修和质量追溯提供有力支撑,确保防渗工程质量可控、达标交付。

4 水利工程堤防防渗技术实践与保障策略

4.1 典型工程防渗施工实践要点

结合国内典型堤防工程实践,提炼差异化施工要点,为不同地质工况下的防渗施工提供实操指导,提升施工科学性与可靠性。黄河流域堤防多为砂性土地质,透水性强,施工采用“HDPE土工膜+水泥土搅拌桩”复合防渗方案,重点严控基面压实质量,确保压实度达标,规范土工膜铺设与焊接工艺,避免焊缝渗漏,有效阻断砂层渗透路径。洞庭湖区地质复杂,软土、砂卵石地层集中且透水性不均,应用TRD等厚工法防渗墙、塑性混凝土防渗墙技术,确保防渗墙深度穿透透土层,形成连续完整的防渗屏障,解决深层渗流问题^[5]。淮河行洪区水位变幅大、渗透压力高,采用深层防渗墙与高压旋喷灌浆组合技术,适配高水位差工况,提升堤防抗渗能力。济南黄河堤防工程通过土工膜标准化铺设与水泥土精准配比,将渗透量控制在5%以下;洞庭湖、姜唐湖等工程坚持“一堤一策”,根据堤段地质条件优化技术方案,有效降低渗漏险情发生率,充分验证差异化实践的可行性与可靠性。

4.2 施工现场环境与安全保障

落实施工现场环境与安全管控措施,秉持绿色施工、安全施工理念,实现施工效率、环境保护与人员安全的有机平衡。环保管控上,建立防渗材料专项存放制度,土工膜、水泥等材料分类存放,设置防泄漏围挡,防止水泥、浆液泄漏污染周边水体和土壤;合理规划施工流程,采用低噪声施工设备,将施工噪声控制在<85dB(A),施工粉尘采取洒水降尘、设置遮挡屏障等措施,确保粉尘浓度<0.15mg/m³,推广可降解防渗材料,减少施工生态污染。安全管控上,高空作业、重型机械操

作等高危环节,作业人员全程配备护栏、安全带等防护设施,重型施工设备定期检修维护,确保设备检查合格率≥95%。组织全员安全培训,确保培训合格率100%,强化作业人员安全意识与操作规范;制定地质灾害、渗漏险情等应急预案,明确应急处置流程,确保应急响应时间≤5分钟。定期排查软基、松散土层等地质隐患,及时落实加固措施,防范施工过程中坍塌、管涌等安全事故。

4.3 防渗工程长效运行维护策略

构建全生命周期运维体系,完善长效运行维护策略,保障堤防防渗工程长期稳定发挥作用,延长工程使用寿命。在堤防关键部位布设孔隙水压力传感器、渗流量监测装置、沉降传感器,搭建智能化监测网络,实现防渗层渗漏情况、结构变形等数据的实时采集、传输与分析,数据异常立即发出预警,为隐患处置争取时间。定期开展防渗体系全面检测,涵盖渗透系数复检、防渗材料老化评估、结构完整性排查,详细记录检测结果,建立完善运维档案,实现运维工作可追溯。推行预防性养护模式,定期修补土工膜破损部位、封堵防渗墙裂缝,及时处置轻微隐患,避免小隐患演变为重大险情;明确运维责任制,划分责任区域,确定巡检频次与养护标准,规范应急处置流程,确保运维工作常态化、规范化。结合堤防运行年限与材料老化情况,动态优化运维方案,完善“监测-预警-处置-评估”闭环管理机制,切实保障堤防防渗工程长期稳定运行,提升水利工程防洪抗灾能力。

5 结语

水利工程堤防防渗施工是一项系统性、综合性工程,质量直接关乎防洪减灾成效与工程长效价值。本文全面剖析当前堤防防渗施工在材料、工艺、管控、运维等方面的主要问题,提出针对性技术优化方法与质量控制措施,结合典型工程实践明确实操要点与保障策略,形成“问题分析—技术优化—质量管控—实践保障”的完整体系。实践表明,精准优选防渗材料、规范施工工艺、健全质量管控体系、完善长效运维机制,可有效解决堤防渗漏隐患,提升防渗可靠性。

参考文献:

- [1] 毛文立.堤防防渗施工技术在水利工程中的应用探析[J].珠江水运,2025,(16):141-143.
- [2] 周伯豪.堤防工程防渗施工技术的应用研究[J].水上安全,2025,(16):136-138.
- [3] 徐勇,卢国庆.水利工程堤防防渗施工技术的应用研究[J].水上安全,2025,(13):175-177.
- [4] 刘勇勇.水利工程施工中堤防防渗技术的研究[J].石化技术,2025,32(06):353-354.
- [5] 格日乐,方伟.水利工程中堤防防渗施工技术分析与应用[J].大众标准化,2025,(05):59-61.