

堤防加固防渗施工质量缺陷防治与检测技术分析

胡海龙

内蒙古自治区通辽市扎鲁特旗堤防灌区管护中心 内蒙古 通辽 029100

摘 要:本研究聚焦堤防加固防渗工程全流程质量管控需求,系统梳理了堤身土体、防渗结构、衔接部位三类高发质量缺陷的表现特征,从材料管控、工艺操作、环境管控三个维度解析缺陷形成的核心诱因,针对性提出全流程材料精细化管控、工序标准化施工、隐蔽工程专项管控的缺陷防治技术体系,整合常规无损检测、钻孔渗透检测、智能化探测三类技术构建多维度质量检测方案,可为堤防防渗工程消除隐蔽隐患、提升结构耐久性提供实操性技术支撑。

关键词:堤防加固;防渗施工;质量缺陷;缺陷防治;工程检测技术

引言:堤防作为流域防洪减灾体系的核心屏障,其防渗性能直接决定区域水安全保障能力。当前大量已建堤防受早期建设标准局限、长期水流侵蚀等因素影响,渗漏、管涌等病害频发,而加固施工阶段的质量缺陷管控与精准检测,是从源头遏制病害发展、提升堤防服役寿命的关键环节。传统管控模式存在缺陷识别滞后、隐蔽隐患排查不彻底等短板,难以适配精细化水利工程建设要求,亟需构建覆盖缺陷识别、成因分析、防治管控、精准检测的完整技术体系,为堤防防渗加固工程质量提升提供系统性技术支撑。

1 堤防加固防渗施工常见质量缺陷类型

1.1 堤身土体质量缺陷

堤身土体是堤防防渗的基础载体,土体施工质量直接决定堤体基础防渗能力与结构稳定性。当前施工中,堤身土体常见质量缺陷主要包括压实度不足、土体分层不均匀、内部裂隙与空洞等。土体压实度不足是最普遍的缺陷问题,多发生于土方填筑环节,填筑分层厚度超标、碾压作业频次不足、碾压设备参数不匹配、局部区域漏压等问题,会导致土体孔隙率偏大,密实度达不到施工标准,在长期水压力作用下极易发生渗透变形,形成渗水通道。土体分层不均匀主要表现为分层填筑土料粒径、含水率差异较大,土层界面粘结性、整体性较差,形成结构性薄弱面。同时,土体含水率失衡、分层碾压衔接处理不规范,会使成型堤身产生干缩裂隙、沉降裂隙,漏压、欠压区域易形成内部隐蔽空洞,成为水体渗透的主要路径^[1]。

1.2 防渗结构施工缺陷

防渗墙、灌浆帷幕、防渗膜是堤防防渗体系的核心组成结构,其施工缺陷是引发堤防渗漏问题的主要诱

因。防渗墙施工过程中,易出现墙体厚度不均、墙体夹泥、墙体断桩、混凝土密实度不足等缺陷,导致防渗墙连续性、整体性受损,无法形成封闭的防渗屏障。灌浆帷幕施工中,钻孔孔位偏移、灌浆压力把控不当、浆液灌注不饱满、浆液扩散范围不均、冒浆漏浆等问题频发,造成帷幕存在局部薄弱区域,无法形成完整、连续的防渗整体。防渗膜铺设施工阶段,膜体划伤破损、搭接宽度不达标、焊缝虚焊漏焊、膜下基底杂物清理不彻底等缺陷,会直接导致防渗层失效,水体可通过破损位置、搭接缝隙渗入堤身内部,引发堤体渗漏病害。

1.3 结构衔接部位缺陷

堤防防渗加固工程存在大量新旧结构衔接、不同工艺结构对接节点,此类节点构造复杂、施工难度大,是隐蔽质量缺陷的高发区域。防渗墙与堤身土体、灌浆孔与周边土体、防渗膜与堤顶堤坡的衔接位置,极易出现结合不紧密、局部缝隙、分层脱空等问题。新旧防渗结构搭接施工时,界面处理不细致、填充不密实,会形成隐蔽性渗透通道。这类缺陷隐蔽性极强,常规表层质检难以排查,在长期水流冲刷与渗透作用下会持续扩张,逐步破坏堤防防渗体系,最终引发大范围渗漏、土体掏空等安全问题。

2 堤防加固防渗施工质量缺陷成因分析

2.1 施工材料管控不规范

施工原材料与成品材料的性能质量,是保障堤防防渗施工质量的基础,材料管控不规范是质量缺陷产生的核心源头因素。填筑土料进场前未完成筛分、含水率检测及杂质清理,土料中混杂碎石、杂草、淤泥等杂物,粒径与含水率不达标,会直接造成土体填筑不均匀、压实度不足等问题。灌浆所用水泥、外加剂等原材料性能

不达标,浆液配比随意调整、搅拌不均匀,会导致浆液流动性、凝结固化性能不符合施工要求,引发灌浆不饱满、固结体开裂、帷幕密实度不足等缺陷。防渗膜、止水条等成品防渗材料进场未开展外观与性能检测,材料本身存在老化、破损、韧性不足等问题,施工后易出现结构失效、局部渗漏。此外,材料存储、转运过程防护不到位,土料淋雨结块、水泥受潮变质、防渗膜磨损划伤,也会间接诱发各类施工质量缺陷^[2]。

2.2 施工工艺操作偏差

各工序施工工艺执行不标准、现场精细化操作水平不足,是质量缺陷产生的主要人为因素。土方填筑施工中,未严格管控分层填筑厚度、碾压行驶速度与碾压遍数,堤防边角、衔接死角等机械作业盲区,人工夯实补强不到位,造成堤身土体压实度不均衡。防渗墙成槽施工时,槽壁清理不彻底、护壁泥浆比重失控,混凝土浇筑过程中导管埋深不合理、浇筑作业中断,极易引发墙体夹泥、断桩、内部疏松等问题。灌浆施工钻孔精度不足,灌浆压力、速率、终止时长未按标准把控,易出现局部漏灌、浆液扩散不均,无法形成完整防渗帷幕。防渗膜铺设时,基底平整清理不到位,焊接温度、焊接速度参数把控失衡,搭接施工不规范,易造成焊缝粘结不密实、膜体破损,形成永久性防渗漏洞。

2.3 现场施工环境与管控因素

堤防防渗加固以露天施工为主,自然环境条件对施工质量影响显著。高湿降雨环境下开展土方填筑、混凝土浇筑、防渗膜焊接作业,会导致土体含水率超标、混凝土固结质量下降、焊缝粘结失效;高温干燥环境易引发填筑土体、混凝土防渗结构出现干缩开裂问题。同时,施工现场全过程质量管控机制不完善,工序交接质检、隐蔽工程质检流于形式,无法及时发现并整改细微施工缺陷。施工操作人员专业素养参差不齐,对施工工艺标准、操作要点掌握不熟练,现场存在违规操作、随意调整施工参数的行为,进一步加剧了质量缺陷的产生与扩散。

3 堤防加固防渗施工质量缺陷防治技术措施

3.1 落实全流程施工材料精细化管控

针对材料因素引发的堤防加固防渗施工质量缺陷,需建立覆盖进场验收、存储管护、现场使用全环节的精细化管控体系,从源头把控施工质量。(1)所有原材料、成品材料进场后,同步开展外观完整性核查与关键性能指标抽检,核对批次溯源信息与出厂质量证明文件,对不符合设计要求的不合格材料直接清退,杜绝

流入作业面。(2)填筑土料提前开展专项试验检测,确定对应压实工艺下的最优含水率与最大干密度,完成土料中杂质清理与超径颗粒筛分,通过翻晒或补水调控含水率,保障土料性能均匀稳定,满足后续填筑压实要求。(3)灌浆浆液严格按照前期试验确定的配比精准配置,对水泥、掺合料、外加剂等组分逐一计量,全程保持充分搅拌,在规定时间内投入使用,杜绝静置超时、离析变质的浆液用于施工。防渗膜、止水材料进场后重点核查厚度、拉伸性能与外观完整性,存储阶段落实防晒、防潮、防磨损防护措施,转运及施工过程全程规避尖锐物体划伤、重物撞击。同时建立常态化施工过程材料抽检机制,按固定周期对在用材料开展性能复检,确保全施工周期材料指标持续满足质量要求^[3]。

3.2 规范各工序标准化施工工艺

围绕堤防防渗加固全流程核心工序,需严格落实标准化施工工艺管控要求,从操作层面消除工艺偏差引发的各类质量缺陷。(1)土方填筑作业需明确分层铺料厚度控制阈值,严格按照预先验证的碾压遍数、行走速度等参数开展作业,机械碾压覆盖不到的边角、与原有堤身衔接段等盲区,采用人工夯实设备进行补强处理,每完成一层作业后按规范点位布设要求开展压实度检测,检测结果达标后方可推进下一层填筑,从工序层面杜绝漏压、欠压、压实度分布不均等问题。(2)防渗墙施工阶段需精准控制成槽垂直度与槽段平面位置偏差,严格执行适配地层条件的槽壁护壁工艺,成槽完成后彻底清理槽底淤积沉渣,混凝土浇筑过程保持连续作业状态,稳定管控导管埋置深度与上升速率,避免出现断桩、夹泥、墙体密实度不足等质量问题。灌浆施工需精准定位钻孔点位,严格把控灌浆压力、注入速率与终孔判定标准,对前期灌浆后仍存在透水异常的薄弱区域按要求开展复灌补灌,保障灌浆帷幕连续密实。防渗膜铺设前完成基底整平处理,彻底剔除表层尖锐杂物,按设计要求控制搭接宽度与焊接设备参数,施工完成后逐段排查焊缝质量,及时处置虚焊、漏焊、膜体破损等缺陷。

3.3 强化衔接部位与隐蔽工程管控

聚焦堤防加固防渗工程中缺陷高发的衔接节点与隐蔽工程,需落实专项管控措施,全面消除常规巡检难以覆盖的隐蔽性质量隐患。(1)各类新旧结构衔接作业启动前,先对原有堤体表层开展全面清理与凿毛处理,彻底去除表层松散土体、浮浆与杂物,保证新旧结构结合面粗糙洁净,有效提升界面粘结密实度,避免出现界面剥离问题。针对防渗结构与堤身土体之间的衔接缝隙,采用分层夯实、低压慢灌注浆补强等工艺逐段填

充密实,从根源杜绝界面脱空、缝隙渗漏等典型质量缺陷。(2)建立隐蔽工程专项管控机制,对土方填筑分层、帷幕灌浆成孔与灌注、防渗膜铺设、新旧结构衔接等所有隐蔽工序,安排专职质量管理人员实施全过程旁站跟踪并留存完整影像与文字记录,每道隐蔽工序完成后需经施工班组自检、项目部复检、监理单位终验三级验收合格,方可开展后续覆盖作业。同时优化施工组织方案,规避不适宜的恶劣天气开展敏感工序作业,根据现场实时温湿度、降水情况动态调整施工工艺,高温时段对新完成的混凝土、填筑层做好保湿养护,雨天全面暂停土方填筑、露天防渗浇筑等受水敏感受影响的作业,降低环境因素对施工质量的干扰。

4 堤防加固防渗施工检测技术应用

4.1 常规无损检测技术

无损检测技术无需破坏堤防结构本体,可实现快速、大面积质量排查,适用于施工常态化质量检测。超声波检测技术主要用于检测混凝土防渗墙内部密实度、裂隙、空洞等缺陷,依托超声波在结构内部的传播波形、速度变化,精准判定缺陷的位置、尺寸与埋深,检测便捷、精度较高。回弹检测技术可快速测定混凝土防渗结构表层强度,通过回弹数值判定混凝土浇筑固结质量,排查强度不足、表层疏松等施工缺陷。红外热成像检测技术利用不同介质的温度差异,快速识别堤身内部空洞、防渗层破损、结构脱空等隐蔽缺陷,适合堤防整体防渗质量普查,可高效识别肉眼无法观测的内部隐患^[4]。

4.2 钻孔检测与渗透检测技术

钻孔检测属于高精度抽样检测技术,主要用于验证堤防核心部位施工质量。通过对重点区域钻孔取样,可直观观测土体分层状态、浆液固结效果、防渗墙内部完整性,结合室内试验精准检测土体密实度、渗透系数等核心指标,判定施工质量是否达标。渗透检测技术以堤防防渗性能为核心检测指标,通过现场注水、压水试验,精准测定堤身与防渗结构的渗透量、渗透系数,判断防渗体系是否存在渗漏通道、灌浆帷幕是否连续封闭,精准定位防渗薄弱区域,为缺陷整改提供精准的数

据支撑,是验证堤防防渗施工质量的核心技术手段。

4.3 智能化探测检测技术

智能化探测技术依托高精度传感与成像技术,可实现堤防施工质量全方位、无死角检测,有效弥补传统检测技术的局限性。地质雷达探测技术通过高频电磁波扫描堤体内部,成像清晰呈现土体均匀性、内部裂隙、空洞、防渗层破损等缺陷,可实现非接触式全覆盖检测,适配堤防大面积质量排查作业。高密度电法探测技术基于土体电阻率差异原理,精准识别堤身内部渗漏通道、土体疏松、结构脱空等病害,完整呈现防渗体系内部结构状态,精准定位隐蔽缺陷。此类智能化技术可实时采集、分析检测数据,成像直观、结果精准,能够实现施工全过程动态质量监测,全面提升堤防防渗施工质量检测的全面性与准确性^[5]。

结束语

堤防加固防渗施工质量缺陷的防治与检测,是贯穿工程全生命周期的系统性工作,并非单一技术措施即可实现全面管控。只有将前端材料精细化管控、过程工艺标准化落地、隐蔽工程专项核查与后端多维度精准检测深度融合,才能构建闭环式质量管控体系,从根源上减少各类隐蔽渗漏隐患。未来随着智能化探测技术的迭代升级,堤防防渗质量管控将进一步向实时化、全域化方向发展,持续提升堤防工程的本质安全水平,为流域防洪安全筑牢坚实屏障。

参考文献

- [1] 王其敏. 水利堤防加固中防渗墙施工技术应用研究[J]. 现代工程科技, 2026, 5(6): 49-52.
- [2] 高万珍. 水利水电工程防渗结构施工质量保障措施[J]. 科技与创新, 2026, (11): 146-148.
- [3] 李渊俊. 黄水坝水库除险加固施工技术优化及质量管控研究[J]. 河南水利与南水北调, 2026, 55(4): 44-46.
- [4] 占红英. 水利工程施工中堤坝渗漏的成因分析及防渗加固技术应用[J]. 安家, 2026, (8): 0190-0192.
- [5] 朱琳琳, 楚启明. 灌区河道堤防施工管理与质量控制策略[J]. 农村科学实验, 2026, (7): 97-99.