

水利工程堤防防渗施工技术应用研究

方 雨¹ 张钟天² 缪宏伟³

1. 江苏江博建设有限公司 江苏 南京 211500

2. 镇江市水利建筑工程有限公司 江苏 镇江 212100

3. 徐州市水利工程建设有限公司 江苏 徐州 221000

摘 要：堤防渗漏是影响水利防洪工程安全稳定运行的常见病害，极易引发沉降、裂缝、管涌甚至滑坡等险情，严重威胁区域防洪安全。本文结合堤防工程实际工况，从地质、设计、施工、运行四个维度系统分析渗漏成因及工程危害，梳理垂直、水平及复合三类主流防渗施工技术的工艺特点与适用场景。围绕前期勘察、材料管控、主体施工、缺陷修补全流程，阐述防渗技术的具体应用要点，并配套完善施工质量控制与现场检测措施。研究可为中小型堤防防渗加固施工提供实操参考，助力提升堤防结构稳定性与防洪耐久性能。

关键词：水利工程；堤防防渗施工技术；具体应用；质量控制

引言：堤防是江河防洪体系的核心构筑物，长期暴露于复杂水文与自然环境中，普遍存在渗漏病害问题。受早期建设标准、施工条件及长期运行老化等因素影响，多数堤防存在隐蔽性渗水通道，逐渐诱发各类工程隐患，降低防洪调度保障能力。为有效解决堤防渗漏难题，提升工程施工规范化水平，规避渗漏引发的安全事故，本文结合现场施工经验，系统研究堤防防渗施工技术体系。通过剖析渗漏诱因、归纳施工工艺、明确质控要点，为堤防防渗治理、隐患整改和工程提质增效提供实际技术支撑。

1 水利工程堤防渗漏成因及危害分析

1.1 堤防渗漏主要成因

堤防渗漏的产生是多重因素共同作用的结果，主要可分为以下四个方面。（1）地质层面上，堤防建设区域土层结构复杂，存在砂土、粉土等透水性较强的土层，土层分布不均、压实度不足，极易形成渗水通道，为渗漏问题埋下天然隐患。（2）设计层面上，部分早期堤防工程设计标准偏低，防渗结构布局不合理、防渗层厚度不足，未结合现场水文地质条件优化方案，存在明显设计缺陷。（3）施工层面上，部分施工现场管控不严，土方填筑分层厚度超标、碾压工艺不规范，接缝处理、防渗材料铺设等关键工序施工不达标，导致堤身整体密实度不足。（4）运行层面上，堤防长期受河水浸泡、水流冲刷、水位反复涨落影响，加之暴雨、大风等自然天气侵蚀，堤体土体逐渐松散老化，最终引发渗漏问题。

1.2 堤防渗漏主要危害

堤防渗漏会直接破坏工程结构稳定性，引发各类安全险情。轻微渗漏会造成堤身土体流失，导致堤体不均

匀沉降，诱发堤面、堤坡裂缝等病害。若渗漏问题持续加剧，会逐步形成管涌、流土等渗透破坏现象，严重时引发堤身滑坡、塌陷，直接造成堤防破坏溃塌。长期渗漏会大幅削弱堤防挡水、防洪核心能力，降低堤防抵御洪水、暴雨灾害的性能，无法满足区域防洪排涝的工程需求。渗漏会加速堤防结构老化破损，大幅缩短工程使用寿命，增加后期维修加固成本，若险情处置不及时，还会威胁周边群众生命财产安全^[1]。

2 主流水利工程堤防防渗施工技术分类及原理

2.1 垂直防渗施工技术

垂直防渗技术核心是通过在堤身、堤基内部构筑竖向防渗墙体，阻断深层渗水通道，适配地基透水层较厚、渗漏隐患较深的堤防工况，主流施工工艺包含以下三类：（1）高压喷射注浆防渗技术。该技术依托高压注浆设备，将水泥浆液以高速射流冲击切割堤基土体，使浆液与原状土体充分拌合，固化后形成连续、均质的水泥土防渗墙。施工核心要点为严格控制喷射压力、提升速度和浆液水灰比，根据堤防地质情况调整喷射范围，确保墙体厚度均匀、搭接紧密，杜绝墙体裂缝、夹渣等缺陷，适用于粉质土、砂土地基堤防防渗施工。（2）混凝土防渗墙施工技术。采用造孔机械在堤防轴线位置开槽造孔，通过泥浆固壁防护槽壁稳定，再浇筑混凝土形成整体竖向防渗墙体。施工需重点把控造孔垂直度、槽段搭接精度，做好槽底清渣工作，保证混凝土浇筑连续性，避免出现断桩、墙体错位问题，该技术墙体强度高、防渗性能稳定，多用于大中型重点堤防加固工程。（3）深层搅拌桩防渗技术。利用深层搅拌设备将固化剂与原位土体强制搅拌混合，形成连续搭接的桩体防渗

幕墙。施工需精准控制搅拌深度、搅拌频次和固化剂掺量,保证桩体搭接宽度符合规范,杜绝桩间缝隙渗漏,施工噪音小、对堤体扰动小,适合中小型堤防及老旧堤防修补工程^[2]。

2.2 水平防渗施工技术

水平防渗技术主要应用于堤身浅层防渗及堤面防渗处理,通过在堤防表层、堤坡、堤脚铺设防渗结构,阻断浅层渗水、地表水入渗通道,施工工艺简洁、实操性强,核心施工技术要点如下:(1)土工膜防渗施工。选用高密度聚乙烯土工膜作为核心防渗材料,施工前平整堤坡基面,清除石块、杂草等尖锐杂物,避免刺破土工膜。铺设时保持膜体松弛适度,避免紧绷开裂,膜体搭接采用热熔焊接工艺,严格把控焊接宽度和密封性,铺设完成后及时覆土防护,防止紫外线老化破损。(2)黏土铺盖防渗施工。选取渗透性低、黏聚力强的优质黏土作为铺盖材料,分层摊铺、分层碾压,严格控制每层摊铺厚度和碾压密实度,确保铺盖整体连续无空洞、无裂缝。施工需避开雨天作业,做好铺盖衔接部位的夯实处理,适用于土质条件较好、浅层渗漏的堤防工程。

2.3 复合防渗施工技术

复合防渗技术结合垂直与水平防渗技术的优势,针对复杂地质、多重渗漏隐患的堤防工程,采用组合式防渗结构,弥补单一防渗技术的施工局限,适配性更强。

(1)垂直墙体+水平铺盖复合防渗。通过竖向防渗墙体阻断堤基深层渗水,搭配表层黏土铺盖或土工膜封堵浅层渗水通道,形成立体防渗体系。施工需把控两类结构的衔接节点处理,保证垂直墙体与水平铺盖紧密贴合,杜绝节点渗漏隐患。(2)搅拌桩+土工膜复合防渗。以深层搅拌桩幕墙作为基础防渗主体,表层铺设土工膜强化防渗效果,双重防护提升堤防整体防渗稳定性。施工重点把控桩体顶部平整度,确保土工膜铺设基面平整,衔接部位压实密封,有效规避单一工艺的防渗短板^[3]。

3 水利工程堤防防渗施工技术具体应用

3.1 施工前期勘察与专项方案编制应用

堤防防渗施工前期准备是保障施工精度、规避施工隐患的核心环节,所有施工参数、工艺选型均需依托现场实际工况确定,杜绝经验化施工,具体实操要点如下:(1)现场勘察与数据采集。施工前需采用地质钻探、原位测试、水文监测等方式,全面探明施工区域的土层分布、土体密实度、渗透系数及地下水位变化规律。重点排查堤基软弱夹层、砂层透镜体、土体裂隙等易渗漏隐患区域,精准记录堤防堤身高度、坡比、老旧破损位置等基础数据。同时结合区域汛期水位、降雨特

征,明确施工窗口期,避免汛期施工对防渗结构施工质量造成影响。(2)施工方案专项编制。基于勘察数据针对性编制防渗专项施工方案,结合堤防渗漏程度、地质条件匹配对应的垂直、水平或复合防渗工艺。明确施工机械设备选型、材料技术参数、施工工序、搭接尺寸、碾压标准等核心内容,细化特殊工况处理方案,例如软土地基加固、断层渗漏处理、雨天施工防护等。(3)施工技术交底与场地整理。施工前组织技术人员、施工班组开展分级技术交底,明确各岗位施工职责、工艺标准及质量要求。同步开展施工场地清理,平整作业平台,清除堤坡、堤基区域的杂草、碎石、淤泥及松散土体,修整堤坡坡度,保证施工场地平整坚实,满足机械设备作业及材料铺设施工条件。

3.2 防渗材料选型与预处理工艺应用

防渗材料的质量性能直接决定堤防防渗工程整体效果,材料选型需贴合工程地质与施工工艺要求,进场后严格落实预处理工序,杜绝不合格材料投入施工。(1)常规防渗材料选型。黏土材料优先选用黏粒含量高、渗透系数小、含水量适中的原生黏土,严禁掺杂砂土、碎石及杂质;水泥、粉煤灰等注浆材料需符合强度与安定性规范,根据地层条件确定浆液配比;土工膜选用高密度聚乙烯材质,重点检测厚度、拉伸强度、抗穿刺性能,杜绝老化、破损、厚薄不均的材料进场。(2)材料进场检验与存放。所有防渗材料进场时需附带出厂合格证与检测报告,现场随机抽样复检,各项指标达标后方可投入使用。黏土材料集中堆放并覆盖防护,避免雨水冲刷、含水量失衡;土工膜、防渗卷材避光存放,防止紫外线提前老化;水泥、外加剂等材料做好防潮、防雨储存管理。(3)材料预处理施工。黏土使用前进行晾晒、粉碎、过筛处理,严格控制土体含水量,适配碾压施工要求;注浆材料施工前根据现场地质调试水灰比、掺量参数,提前试配浆液,保证浆液流动性与固结强度达标;土工膜铺设前逐一检查板面完整性,修剪破损、褶皱部位,提前清理铺设基面尖锐杂物,避免施工过程中材料破损失效^[4]。

3.3 核心防渗施工工序实操应用要点

核心施工工序是堤防防渗施工的关键环节,需严格遵循标准化施工流程,针对不同防渗工艺把控施工细节,保障防渗结构连续完整、密实达标。(1)垂直防渗墙体施工。高压喷射注浆施工时,精准定位钻孔点位,控制钻孔深度与垂直度,按照设计参数调控喷射压力、提升速度与旋转速度,保证浆液与土体充分拌合,桩体搭接宽度满足规范要求,杜绝断桩、夹泥、空隙等缺陷。混凝土防渗墙

施工先开展槽孔造孔,采用泥浆固壁维持槽壁稳定,完成槽底清渣、孔壁检测后,连续浇筑混凝土,分段施工时做好槽段搭接处理,保证墙体整体连续性。(2)水平防渗结构施工。黏土铺盖施工采用分层摊铺、分层碾压工艺,每层摊铺厚度控制在规范范围内,碾压遵循先轻后重、先边后中的原则,逐段碾压密实,重点强化堤脚、坡边、结构衔接位置的碾压施工,杜绝漏压、欠压。土工膜施工采用整幅铺设、分段焊接方式,铺设过程适度松弛,避免紧绷受力撕裂,焊缝采用双道热熔焊接,完成后逐一检测焊缝密封性,铺设完成后及时覆土防护。(3)复合防渗结构施工。复杂堤防工况采用垂直防渗与水平防渗结合的施工方式,先完成深层垂直防渗墙体施工,阻断堤基深层渗水通道,再开展表层水平防渗铺设。重点把控垂直墙体与水平铺盖的衔接节点施工,对节点缝隙进行注浆、夯实密封处理,形成整体封闭的防渗体系,避免节点位置出现渗漏隐患。

3.4 施工收尾与缺陷修补工艺应用

施工收尾及缺陷修补是完善防渗工程质量、消除施工隐患的重要工序,需全面排查施工缺陷,针对性开展整改修复,保障工程施工质量闭环。(1)施工场地收尾整理。主体防渗施工完成后,及时清理施工现场废弃材料、施工残渣,修整堤身、堤坡外观,恢复堤防原有地形地貌。对碾压施工区域、铺设区域进行整体平整,保证堤面平顺、坡度规整,无坑洼、凸起等施工遗留问题。(2)常规缺陷排查与修补。全面排查防渗墙体裂缝、桩体搭接缝隙、土工膜焊缝漏点、黏土铺盖空洞等常见缺陷。细微裂缝采用水泥浆注浆填充处理,较大裂缝开槽清理后采用防渗砂浆封堵;土工膜微小漏点采用专用焊补材料修补,破损面积较大部位裁剪更换新膜并重新焊接。(3)完工初步核验养护。缺陷修补完成后,对防渗结构进行养护处理,水泥固结类防渗结构养护周期不少于规范标准,养护期间禁止碾压、撞击、泡水扰动。养护完成后开展初步质量核验,检查防渗结构厚度、密实度、连续性、衔接质量,各项指标达标后进入后续专项检测环节^[5]。

4 堤防防渗施工质量控制与检测技术

堤防防渗工程质量稳定是堤防安全运行的核心保障,施工全过程需落实标准化质量管控,搭配专项检测

技术排查施工隐患,具体管控与检测要点如下:(1)施工过程质量管控。严格落实工序旁站管控模式,重点把控防渗墙体成孔垂直度、浆液配比、碾压密实度等核心参数,规范槽段搭接、土工膜焊接、节点衔接等关键工序施工标准。落实分层验收制度,上道工序检测合格后方可开展下道工序施工,及时纠正施工偏差,杜绝欠压、漏焊、墙体夹渣等质量缺陷。(2)现场常规检测技术。施工期间采用现场取样、密实度检测、焊缝气密性试验等常规手段开展常态化检测。针对混凝土防渗墙、搅拌桩等结构,抽检墙体厚度、桩体搭接宽度;针对土工膜防渗结构,逐一排查焊缝完整性,对疑似漏点进行加压检测。(3)完工专项监测核验。工程完工后采用无损检测、渗透系数测试等技术开展整体核验,检测堤身及防渗结构整体密封性与稳定性。建立质量整改闭环机制,对检测发现的细微缺陷、渗漏隐患定点记录、专项修补,修补完成后二次复检。

结束语:本文通过分析堤防渗漏的形成机理与工程危害,明确了防渗施工治理的必要性,系统总结了各类堤防防渗技术的施工要点与适用工况。结合工程全施工流程,梳理了前期准备、材料管控、现场施工及缺陷修复的标准化操作方法,配套完善全过程质量控制与检测核验措施。研究表明,合理选配防渗工艺、严控施工细节、落实全过程检测,可有效解决堤防渗漏隐患。

参考文献

- [1]车书雨.水利工程堤防防渗施工技术应用研究[J].科技资讯,2026,24(4):133-135.
- [2]郭宏艳.水利工程堤防防渗施工技术应用研究[J/OL].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024,(9):0065-0068.
- [3]曾涛.水利工程堤防防渗施工技术应用研究[J/OL].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2023,(11):011-013.
- [4]诸炯森.水利工程中堤防防渗施工技术的应用[J].中国科技纵横,2026,(3):109-111.
- [5]刘泽亚.水利工程防渗处理施工技术与实践应用研究[J/OL].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026,(7):117-120.