

# 堤防防渗结构对抗渗稳定性的影响研究

杨昊

岳阳市水利水电规划勘测设计院有限公司, 湖南岳阳, 414000;

**摘要:** 堤防防渗构造的适宜甄选与改良设计直接左右堤防抗渗稳固程度, 乃维系堤防工程安全运转的核心环节厘清各类防渗构造与抗渗稳固性的内在联系可为堤防工程防渗体系搭建提供关键依托剖析防渗构造的类型特质、构造参数及施工品质等核心要素对堤防抗渗稳固性的作用机理探寻不同防渗构造适配的工程地质与水文情境梳理提升防渗构造抗渗成效的靶向路径研究证实防渗构造的适配性改良可强化堤防抗渗禀赋削减渗透损毁隐患。

**关键词:** 堤防工程; 防渗结构; 抗渗稳定性; 防渗效能; 渗透破坏

**DOI:** 10.69979/3060-8767.26.03.030

## 引言

堤防作为防洪减灾体系重要组成部分, 抗渗稳定性直接关联流域内人民生命财产安全与社会经济稳定发展, 防渗失效引发的渗透破坏是堤防工程失事主要诱因, 此类灾害常造成难以估量损失, 防渗结构作为抵御渗透破坏关键屏障, 性能差异对堤防抗渗稳定性产生根本性影响, 明确二者作用规律, 解决不同工程条件下适配性问题, 对提升堤防安全防护水平具有重要现实意义, 聚焦防渗结构影响展开深入探讨, 厘清核心要素与作用机制, 可为堤防防渗设计优化提供科学依据。

## 1 堤防防渗结构的类型特征及适用条件分析

### 1.1 土质防渗体结构的特征及适用场景

土质防渗体以黏性土、壤土等本土材料为核心防渗介质, 兼具取材便捷、施工工艺简便、与堤身土体兼容性佳等特质, 依托土体低渗透系数阻断渗流通道, 经压实提升密度强化防渗效果, 抗冻抗裂性较强可适配堤身变形协调需求, 适用于土质堤坝广布、黏性土资源充裕的流域堤防, 中小型堤防防渗加固及地形复杂、大型施工机械难进入区域更能凸显施工灵活性, 地下水位较低、渗流平缓环境可充分发挥防渗效能保障堤身稳定<sup>[1]</sup>。

### 1.2 混凝土防渗体结构的特征及适用场景

混凝土防渗体涵盖防渗墙、防渗面板等形式, 核心特质为渗透系数极小、防渗成效优良、结构强度高且耐久性强, 通过在堤防关键防渗部位构建连续混凝土屏障阻隔渗流, 可承受较大水压力与土体侧压力抗冲刷能力突出, 施工需严控配合比与浇筑质量保障整体性和密封性, 适用于大型堤防工程、重要防洪枢纽核心防渗段, 及渗透系数大、水文地质条件复杂区域如砂卵石地基、强透水层分布区, 高水位、大渗透梯度环境下能有效抵御渗透破坏保障工程长期安全运转。

### 1.3 土工合成材料防渗体结构的特征及适用场景

土工合成材料防渗体以土工膜、复合土工膜等高分子材料为核心, 具备重量轻、防渗性能优异、施工效率高、适应性强等特质, 依托高分子材料低渗透性经膜体连续铺设形成完整防渗层, 借助土工布等配套材料增强与堤身土体摩擦阻力提升稳定性, 对施工基面平整度要求较高需做好拼接与锚固避免渗漏通道, 适用场景广泛含新旧堤防防渗加固、堤身裂缝修补及软土地基、盐碱地区等特殊地质堤防工程, 对施工周期有严格要求的应急防渗工程中优势尤为显著。

## 2 防渗结构核心要素对抗渗稳定性的影响机制

### 2.1 防渗体厚度与渗透系数的影响机制

防渗体厚度作为防渗成效的基础保障, 不足时会缩短渗流路径难以消解渗透压力, 加剧渗透破坏隐患, 合理增厚可延长渗流行程降低渗透坡降, 强化对渗流的阻滞效应提升堤防抗渗稳健性, 渗透系数作为防渗材料核心性能参数直接表征透水能力, 数值越小阻断渗流效能越强, 若渗透系数过大即便厚度达标也难以有效拦截渗流, 易诱发堤身渗漏、管涌等病害, 二者存在协同关联需结合工程渗流强度、地质条件等合理匹配, 方能充分释放防渗结构的抗渗效能<sup>[2]</sup>。

### 2.2 防渗结构衔接部位密封性的影响机制

防渗结构衔接部位涵盖防渗体与堤身土体、不同类型防渗体间及防渗体与基础的衔接区域, 这类区域是防渗体系的薄弱环节, 密封性直接关乎整体抗渗稳健性, 衔接处若存在缝隙或压实疏漏会形成优先渗流通道, 导致渗流在此集中渗透引发局部渗透压力陡增, 进而诱发言管涌、流土等渗透破坏, 长期水流冲刷与渗透作用下缝隙会持续扩张, 渗流通道逐步贯通最终造成防渗结构整体失效, 提升衔接密封性需优化衔接工艺、强化压实质

量管控、采用专用密封材料,确保衔接部位与防渗体主体形成整体防渗体系,阻断局部渗流通道保障整体抗渗性能。

### 2.3 防渗结构施工质量的影响机制

施工质量是防渗结构发挥抗渗效能的关键支撑,施工过程中的各类缺陷均会直接影响堤防抗渗稳健性,防渗体铺设或浇筑阶段若出现压实度欠缺、拼接松动、浇筑间断等问题,会使防渗体内形成孔隙、裂缝等隐患,这类隐患会成为渗流通道削弱防渗结构的阻断能力,施工基面清理不彻底残留的杂质、软弱夹层会影响防渗体与堤身的结合效果,弱化结构整体性,施工期间的天气状况、施工机械操作规范性也会干扰施工质量,雨天施工易导致土体含水量超标影响压实成效,机械碾压不均会造成防渗体密实度分布失衡,使局部形成抗渗薄弱区域。

## 3 堤防抗渗稳定性面临的核心问题及成因分析

### 3.1 防渗结构选型与工程条件不匹配问题

防渗结构选型与工程条件的适配偏差是诱发堤防抗渗稳健性不足的关键诱因,这类问题成因在于工程地质、水文条件勘察的完备性欠缺,或是对各类防渗结构适用特质的认知疏漏,砂卵石等强透水地基场景下采用土质防渗体时,因二者渗透系数差异微弱难以构建有效防渗屏障,易诱发地基渗透破坏,软土地基堤防工程中选用刚性较强的混凝土防渗面板,受软土地基不均匀沉降影响会导致面板开裂形成渗漏通道,部分工程单纯侧重防渗成效,选用造价高昂、施工繁琐的防渗结构却未充分考量工程规模、运行工况等要素,既推高工程成本,还可能因施工难度攀升影响施工品质,间接弱化堤防抗渗稳健性。

### 3.2 防渗体老化破损引发的渗透隐患问题

堤防工程在防洪和防止水土流失方面起着至关重要的作用,然而,随着堤防使用年限的延长和地质条件的变化,常出现渗漏和稳定性不足的问题,严重威胁着堤防的安全性和有效性。为解决这一问题,锥探灌浆技术作为一种高效的堤防加固方法,逐渐被广泛应用。该技术通过在堤防内部钻孔注浆,填充孔隙和裂隙,从而提高堤防的防渗性能和结构稳定性<sup>[3]</sup>。防渗体长期服役过程中,易受自然环境侵蚀、水流冲刷、土体变形等多重作用影响出现老化破损,进而诱发渗透隐患,土质防渗体经干湿交替、冻融循环作用,土体结构易松散、抗渗性能衰减,水流渗透还会携走细颗粒形成管涌通道,混凝土防渗体长期承载水压力易产生裂缝、剥蚀,钢筋锈蚀会加剧结构损坏,土工合成材料则受紫外线照

射、温度波动影响老化脆化,膜体拼接处可能因土体变形撕裂导致防渗功能失效。

### 3.3 极端水文条件下防渗结构失效问题

极端水文情形诸如特大洪水、持续高水位等,会大幅提升堤防防渗结构的承载负荷,易诱发防渗体系失效,持续高水位作用下堤身渗透压力急剧攀升,防渗体需承载更大水压,若防渗体厚度欠缺或存在质量瑕疵,渗流便会突破防渗屏障,诱发堤身渗漏、堤脚管涌等病害,特大洪水形成的强水流冲刷会直接损毁堤防迎水侧防渗构造,像混凝土防渗面板遭冲蚀、土工膜被撕裂,同时洪水导致堤身土体饱和软化,会弱化堤身稳定性,进一步加剧防渗结构破损,极端水文条件下的水位骤升骤降,还会促使堤身土体产生不均匀胀缩变形,破坏防渗体与堤身的衔接区域,形成渗漏通道,干扰堤防抗渗稳健性。

## 4 提升堤防抗渗稳定性的防渗结构优化对策

### 4.1 基于工程条件的防渗结构精准选型策略

防渗结构的工程适配性选型需依托全面的工程勘察工作,完整掌握工程地质禀赋、水文情势、堤防等级、运行工况等核心参数,针对差异化地质条件匹配适宜的防渗结构类型,黏性土资源充裕、渗流平缓区域优先采用土质防渗体,结合本土材料特性优化压实指标,强透水地基、高水位运行的大型堤防工程则选用混凝土防渗墙、复合土工膜等高效防渗构造保障防渗成效,软土地基堤防工程宜采用柔性优良的土工合成材料防渗体,适配地基不均匀沉降特征,综合权衡工程造价、施工周期、运维难度等要素构建多方案比选体系,确保所选结构既满足抗渗稳健性需求,又兼具经济合理性与技术实操性。

### 4.2 防渗结构破损修复与性能强化技术路径

应对防渗结构老化破损问题需建立常态化排查检测机制,精准定位破损区域并实施靶向修复与性能强化措施,土质防渗体的裂缝、管涌通道采用开挖回填夯实、注浆加固等技术手段,选用与原防渗体土质契合的材料恢复其完整性与密实度<sup>[4]</sup>。混凝土防渗体的裂缝、剥蚀等破损通过压力灌浆、粘贴碳纤维布、浇筑补强混凝土等方式修补,提升结构强度与防渗效能,土工合成材料防渗体的老化、撕裂问题需及时更换破损膜体,优化拼接工艺采用热熔焊接、专用密封胶等提升拼接密封性,同步增设保护层削弱自然环境对膜体的侵蚀,可在原有防渗结构基础上增设辅助防渗层构建复合防渗体系,进一步强化防渗成效。

### 4.3 适应极端工况的防渗结构优化设计方案

适应极端工况的防渗结构优化设计需充分考量极端水文条件的影响,提升结构承载能力与抗灾性能,防渗体厚度设计阶段结合极端洪水水位高度与渗透强度适当增厚,降低渗透坡降强化对渗流的阻滞作用,优化防渗结构构造设计在迎水侧增设抗冲刷保护层,选用浆砌石、混凝土预制块等抗冲性能优良的材料抵御极端水流冲刷破坏,强化防渗结构与堤身、基础的衔接设计采用柔性衔接方式,设置变形缝与密封装置适配极端工况下的土体变形,避免衔接区域形成渗漏通道,防渗结构设计中融入监测预警功能布设渗透压力、位移等监测设备,为极端工况下防渗结构安全管控提供数据支撑。

## 5 防渗结构优化应用的效果验证及实践保障

### 5.1 防渗结构优化方案的可行性验证方式

防渗结构优化方案的可行性验证需锚定工程实际工况,整合多元验证手段形成综合评估体系,保障方案的学术严谨性与工程适配性,室内试验可模拟差异化工况场景,测定优化后防渗材料的渗透系数、抗压强度、抗老化效能等核心指标,校验材料性能与设计标准的契合程度。现场小规模试验段施工可同步开展,实时追踪渗透压力、渗流量、位移等关键数据,解析优化方案的施工实操性与现场防渗成效,同类工程实践经验的借鉴对比不可或缺,通过对标已建工程方案的核心参数与运行表现,研判优化方案的可靠程度,数值模拟技术可用于推演极端工况下优化后防渗结构的受力特征与渗透规律,为方案可行性提供扎实的理论支撑,多维度验证手段的协同运用可全面覆盖方案验证的核心维度。

### 5.2 防渗工程施工过程的质量管控措施

防渗工程施工质量管控需贯穿施工全流程,搭建完备的质量管控架构确保施工成效符合设计预期,施工前期需严格核验施工方案的合理性,开展施工人员技术交底工作,明晰施工工艺核心要点与质量评判标准,施工原材料质量管控需筑牢防线,全面检测防渗材料各项性能参数,杜绝不合格材料流入施工环节,施工实施阶段需对防渗体铺设、压实、拼接、浇筑等关键工序实施全程旁站监管,动态监测压实度、拼接强度、浇筑厚度等施工参数,及时修正施工偏差保障工序质量。施工完成后采用注水试验、渗透试验等检测手段评估防渗结构防渗性能,对检测不达标部位落实靶向整改,质量追溯机制的建立可实现施工质量问题的精准溯源与有效纠偏,全方位管控举措形成施工质量保障闭环。

### 5.3 防渗结构长期运行的监测与维护体系

防渗结构长期运行的监测与维护体系是维系堤防抗渗稳健性的长效保障,需结合堤防工程特质与运行需求,构建全方位、多层次的监测网络体系,防渗结构衔接部位、迎水侧、堤脚等关键区域需布设渗透压力计、渗流量监测仪、位移传感器等监测设备<sup>[1]</sup>。实时捕捉防渗结构运行状态,精准识别渗透异常、结构变形等隐患信号,监测数据实时分析与预警机制的搭建可实现数据的深度解读,通过数据比对研判防渗结构运行态势,监测数据超出预警阈值时即刻触发预警并启动应急处置流程,定期开展人工排查与维护工作,清理防渗体表面杂物与植被,修复轻微破损部位,核查监测设备运行状况,保障监测体系稳定运转,通过系统性运维举措延长防渗结构使用寿命。

## 6 结语

本文围绕堤防防渗结构对抗渗稳定性的影响展开系统探讨,明确不同防渗结构类型特征与适用条件,厘清核心要素作用机制,剖析当前堤防抗渗稳定性核心问题及成因,提出针对性优化对策与实践保障措施,研究成果为堤防防渗结构选型、设计、施工与维护提供科学参考,对提升抗渗稳定性、保障工程安全运行具重要现实意义,后续需持续关注防渗结构长期运行特性,结合工程实践完善相关技术措施。

### 参考文献

- [1] 聂广捧月,李泽优,蔡媛.堤防防渗施工技术在水利工程中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(31):184-186.
- [2] 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.
- [3] 郭腾,呼磊.堤防防渗技术在水利工程中的应用与改进研究[J].散装水泥,2025,(04):118-120.
- [4] 杨建明.基于面波检测与数值模拟的堤防土体及防渗墙结构研究[J].水利科技与经济,2025,31(07):53-57+63.
- [5] 熊伟.水利工程建设中灌溉河道堤防防渗方案设计[J].湖南水利水电,2025,(03):89-91+99.

作者简介:杨昊,男(1992.11-),汉族,湖南岳阳,工程师,本科学历,主要研究水库、堤防、河道。