

# 堤防防渗施工技术在水利工程中的应用探析

王立武

河北省水利工程局集团有限公司 河北 石家庄 050021

**摘要:** 水利工程中堤防渗漏问题影响工程安全与效益。本文深入分析堤防渗漏成因,涵盖材料质量缺陷、结构设计不合理、地质条件复杂及施工管理不到位等方面。详细阐述多种堤防防渗施工技术,包括混凝土防渗墙、帷幕灌浆、高压喷射灌浆、劈裂灌浆及水平防渗技术。同时,针对技术应用提出优化策略,如科学选材、严格施工管理、适应环境条件及加强后期维护等,旨在为水利工程堤防防渗施工提供理论与实践指导,提升堤防防渗效果与工程整体质量。

**关键词:** 水利工程;堤防防渗;施工技术;渗漏成因;优化策略

引言:水利工程作为国家基础设施建设的关键部分,对保障民生、促进经济发展意义重大。堤防作为水利工程抵御洪水的重要屏障,其安全性直接关系到工程效益与人民生命财产安全。然而,在实际工程中,堤防渗漏问题时有发生,成为影响堤防稳定性的主要因素之一。堤防渗漏不仅会降低工程防洪能力,还可能引发一系列次生灾害,严重威胁周边地区安全。因此,深入研究堤防防渗施工技术,分析渗漏成因并探索有效应对策略,对于提高水利工程堤防质量、保障其安全稳定运行具有重要的现实意义。

## 1 水利工程中堤防渗漏成因分析

### 1.1 材料质量缺陷

在水利工程堤防建设中,材料质量缺陷是引发渗漏的常见因素。部分堤防工程为降低成本,选用质量不达标的水泥、砂石等原材料。水泥强度不足、安定性差,会影响混凝土结构的密实性;砂石含泥量过高、级配不合理,会降低混凝土的和易性与强度。此外,土工膜等防渗材料若厚度不均、抗拉强度不够,在施工及使用过程中易破损,无法有效阻隔水流。这些质量有缺陷的材料应用于堤防工程,会破坏其整体结构稳定性,为渗漏留下隐患,威胁工程安全<sup>[1]</sup>。

### 1.2 结构设计不合理

堤防结构设计不合理是导致渗漏的重要原因。一些堤防断面形式设计不当,坡度过陡或过缓,无法有效分散水流冲击力,易使堤身局部受力过大而出现裂缝,进而引发渗漏。排水设施设计不完善,如排水棱体尺寸不合理、反滤层设置不当,会导致排水不畅,堤身内部水位升高,增大渗透压力,造成渗漏。此外,防渗结构设计不合理,如防渗墙深度不足、厚度不够,不能有效截断渗流路径,也会使堤防出现渗漏现象,影响工程安全运行。

### 1.3 地质条件复杂

水利工程所在区域地质条件复杂多变,给堤防建设带来诸多挑战,也是引发渗漏的关键因素。部分堤基存在软弱土层、透水砂层等不良地质条件。软弱土层承载力低,在堤身荷载作用下易产生不均匀沉降,导致堤身开裂渗漏;透水砂层渗透性强,若未进行有效处理,水流会通过砂层渗透至堤身内部,形成渗漏通道。此外,地质构造运动产生的断层、裂隙等,也会为水流提供渗透路径,使堤防在复杂地质条件下出现渗漏问题,影响工程稳定性。

## 2 水利工程中堤防防渗施工的技术

### 2.1 混凝土防渗墙技术

混凝土防渗墙技术是水利工程堤防防渗施工中的核心手段之一,其应用广泛且效果显著。(1)该技术通过在松散透水层或土石坝中建造连续的混凝土墙体,有效截断渗流路径,保障堤防结构稳定。例如,在大治河排涝闸等工程中,混凝土防渗墙深度达44米,截水面积超过2100平方米,显著降低了渗透系数至 $2.7 \times 10^{-7} \sim 7 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ,较原始地层渗透性降低数万倍,防渗效率达95%以上。(2)混凝土防渗墙技术适应性强,可应对复杂地质条件。其施工参数灵活调整,如墙体厚度通常控制在600~1300mm之间,既能满足20米以上水头压力需求,又能适应深厚覆盖层或软土环境。(3)该技术施工工艺成熟,效率与质量兼备。采用液压抓斗、冲击钻等设备成槽,配合泥浆固壁技术,可实现日均成槽深度3~5米。清孔换浆标准严格,孔内淤积厚度需控制在10cm以内,确保墙体连续性。此外,通过接头管法、钻凿法等连接工艺,可实现多墙段无缝衔接,进一步提升防渗整体性<sup>[2]</sup>。

### 2.2 帷幕灌浆技术

(1)帷幕灌浆技术是通过向岩土体中的裂隙、孔隙注入浆液,形成一道连续且致密的防渗帷幕,以降低渗透

系数、减少渗流量并降低扬压力,从而保障水利工程地基的稳定性。该技术适用于各类岩土地基,尤其对裂隙发育、透水性强的地层效果显著,能有效截断渗流通道,将渗流量控制在设计允许范围内。(2)施工过程需严格把控关键参数。钻孔深度通常根据地质条件确定,一般需深入相对不透水层一定深度,孔距多控制在1.5-3米之间,通过分序加密(如三序孔施工)确保帷幕整体性。灌浆压力是核心指标,初始压力常设为0.1-0.3MPa,后续根据地层吸浆情况逐步提升至0.5-3MPa,确保浆液充分扩散。浆液水灰比按级配调整,从稀到浓逐步变化,以适应不同渗透性地层。(3)质量检测是保障效果的关键环节。采用压水试验检测帷幕透水性,检查孔数量不少于总孔数的10%,试验压力通常为0.8倍设计水头。检测结果显示,合格帷幕的透水率应低于设计标准(一般 $\leq 3-5Lu$ ),且不合格段分布不集中,确保防渗体系长期可靠运行。

### 2.3 高压喷射灌浆技术

(1)高压喷射灌浆技术是一种利用高压射流冲击破坏土体,并使浆液与土体颗粒强制混合形成防渗或加固结构的地基处理方法。其核心原理是通过高压设备(压力通常达20-50MPa)将浆液或水以高速射流形式冲击土体,使土体结构被破坏,同时浆液填充空隙并凝结硬化,形成具有一定强度和防渗性能的板墙或桩体。(2)该技术根据喷射形式和介质不同,可分为多种类型。按喷射形式分,有旋喷、定喷和摆喷三种:旋喷形成圆柱状凝结体,直径可达0.5-2.0m;定喷形成薄板状,厚度约0.3-0.8m;摆喷形成哑铃状,尺寸介于两者之间。按介质分,单管法仅喷射水泥浆,成桩直径较小;双管法同时喷射高压水和压缩空气,成桩直径增大;三管法再增加水泥浆喷射,成桩直径可达1.0-2.5m。(3)高压喷射灌浆技术具有显著优势。其施工设备简单,适应性强,可在砂土、粘土、淤泥等多种地层中应用。通过调整参数,可精确控制凝结体形状和尺寸,满足不同工程需求。且施工速度快,单孔成桩时间仅需几十分钟至数小时,效率远高于传统方法。

### 2.4 劈裂灌浆技术

(1)劈裂灌浆技术基于水力劈裂原理,通过在堤坝轴线方向钻孔并施加压力灌注泥浆,使坝体沿最小主应力面劈裂,形成垂直连续的防渗帷幕。该技术利用浆液自重与坝体互压作用填充裂隙,改善应力分布,适用于均质土坝及存在裂缝、弱应力区或生物洞穴的堤防加固。(2)施工采用单排布孔、分序钻灌工艺,孔距一般控制在6-10米,弯曲堤段需缩小至5米以内。造孔深度需超过隐患部位2-3米,泥墙设计厚度为5-20厘米,容重通常达

1.4-1.6吨/立方米。灌浆压力需根据现场试验确定,一般控制在0.1-1.0兆帕之间,遵循“少灌多复”原则,单孔复灌次数不少于5次,每次灌浆量控制在每米0.5-1立方米,确保浆脉逐层加厚。(3)该技术优势显著:浆脉厚度可自适应调整,坝体质量差时浆脉增厚、条数增加;施工无需释放坝体应力,避免新建防渗体与原结构的衔接问题;材料可就地取材,成本低且环保。形成的防渗帷幕渗透系数可达 $10^{-7}-10^{-8}$ 厘米/秒,有效降低浸润线,提升坝体稳定性。

### 2.5 水平防渗技术

(1)水平防渗技术是通过在堤防迎水侧或背水侧铺设水平防渗层,阻断渗流路径,降低堤防渗透风险的一种工程措施。其核心原理是利用防渗材料的低渗透性,形成连续的水平阻隔屏障,减少堤基或堤身的渗流量,从而保障堤防结构安全。该技术适用于堤基透水性强、渗流控制要求高的工程场景。(2)水平防渗层的材料选择与铺设方式是关键。常用材料包括土工膜(如HDPE膜,厚度0.5-2.0毫米)、复合土工膜(两布一膜,厚度0.3-1.0毫米)及黏土层(渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-6}$ 厘米/秒)。铺设时需确保连续性,土工膜搭接宽度不小于10厘米,焊接强度需达到母材强度的70%以上;黏土层需分层压实,每层厚度控制在20-30厘米,干密度不低于1.5克/立方厘米。(3)水平防渗技术具有施工简便、适应性强等优势。其可与其他防渗措施(如垂直防渗墙)联合使用,形成多维防渗体系。研究表明,合理设计的水平防渗层可使堤基渗流量减少80%以上,渗透坡降降低50%-70%,显著提升堤防抗渗能力<sup>[3]</sup>。

## 3 水利工程中堤防防渗施工技术应用的优化策略

### 3.1 科学选择防渗材料

科学选择防渗材料需综合考量工程需求与环境条件。首先,根据地质特性确定材料类型:对于透水性强的砂卵石地基,优先选用渗透系数低、抗拉强度高的土工膜(如HDPE膜,厚度 $\geq 1.5$ 毫米)或塑性混凝土(渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-6}$ 厘米/秒),其变形适应性强,可减少不均匀沉降导致的开裂;对于软土地基,采用水泥搅拌桩或化学灌浆材料,固结体强度需达1-5MPa,以增强地基承载力。其次,注重材料耐久性,如土工膜需具备抗紫外线、抗老化性能,设计寿命不低于20年;灌浆材料应低收缩,避免干缩裂缝。此外,推广环保材料,例如利用工业废渣(粉煤灰、矿渣)配制低热水泥灌浆料,既降低成本又减少环境负荷。

### 3.2 严格施工管理

严格施工管理需构建全流程质量控制体系。施工前,

完善技术交底制度,明确各工序操作标准(如灌浆压力允许偏差 $\pm 0.1\text{MPa}$ 、土工膜焊接强度 $\geq$ 母材70%);编制专项施工方案,针对关键工序(如防渗墙浇筑、帷幕灌浆)制定风险防控措施。施工中,实行“三检制”(班组自检、项目部复检、监理终检),重点监控参数(如混凝土防渗墙浇筑速度 $\leq 2\text{m/h}$ 、灌浆分段长度 $\leq 5\text{米}$ );采用信息化手段实时监测(如孔斜仪控制防渗墙垂直度偏差 $\leq 0.3\%$ 、流量计记录灌浆量),确保施工精度。同时,加强人员培训,要求操作人员持证上岗,定期开展技能考核与安全教育。

### 3.3 适应环境条件

适应环境条件需针对气候、地质、水文特征调整施工方案。在寒冷地区,选用低温早强型灌浆材料(如掺入早强剂的水泥基浆液, $-5^{\circ}\text{C}$ 环境下仍能正常凝固),并缩短分段长度( $\leq 3\text{米}$ )以减少热量散失;施工时段避开低温时段,浇筑后覆盖保温材料(如草帘、棉被)。在多雨地区,优化施工时序,优先完成露天作业(如土工膜铺设),并设置临时排水设施(如盲沟、集水井)防止积水浸泡;雨季施工时,增加防雨棚或调整作业面坡度( $\geq 2\%$ )加速排水。在地震活跃区,增强防渗结构韧性,如采用柔性接头连接防渗墙段(允许最大位移量达5厘米),或选用弹性模量低的塑性混凝土(2000-5000MPa,仅为普通混凝土的1/10)。针对特殊地质(如喀斯特地貌),提前进行超前钻探探明溶洞位置,预先灌注水泥砂浆填充,再实施防渗施工。通过环境适应性设计,提升防渗体系在复杂条件下的稳定性。

### 3.4 加强后期维护

加强后期维护需建立长效监测与修复机制。首先,制定定期巡查制度,明确巡查周期(如每月一次)与内容(防渗体表面、连接部位、排水设施),重点检查土工

膜破损、混凝土裂缝、排水沟堵塞等问题。其次,采用无损检测技术(如地质雷达探测墙体内部缺陷、红外热成像定位渗漏点)实现精准维护,减少对结构的二次破坏。对发现的问题及时处理:小面积土工膜破损采用补丁修补(补丁面积 $\geq$ 破损面积3倍);混凝土裂缝根据宽度采用表面封闭(宽度 $\leq 0.2\text{毫米}$ )或化学灌浆(宽度 $> 0.2\text{毫米}$ ,环氧树脂浆液粘结强度 $\geq 3\text{MPa}$ );排水设施堵塞需机械清淤(清淤深度 $\geq 0.5\text{米}$ )。此外,建立维护档案,记录检查时间、问题位置、处理措施及效果,为后续维修提供依据<sup>[4]</sup>。

### 结束语

堤防防渗施工技术作为水利工程安全的核心保障,其科学应用直接关系到堤防结构的稳定性与防洪效能。通过科学选择适配工程需求的防渗材料、严格把控施工全流程管理、动态适应复杂环境条件,并构建长效后期维护机制,可显著提升防渗体系的可靠性与耐久性。未来,随着新材料(如纳米改性灌浆材料)与智能化监测技术的融合应用,堤防防渗施工将向精准化、绿色化方向深化发展。唯有持续优化技术策略、强化全生命周期管理,方能筑牢水利工程“安全堤”,为经济社会可持续发展提供坚实支撑。

### 参考文献

- [1]刘丽丽.水利工程堤防防渗施工技术应用研究[J].建筑技术开发.2020.47(13):51-52.
- [2]廖大榜.水利工程堤防防渗施工技术应用研究[J].居舍.2020(18):55-56.
- [3]杨志.防渗加固技术在水利堤防工程中的具体应用[J].农家参谋.2020(09):149.
- [4]王广昌.水利工程施工中堤坝防渗加固技术的探讨[J].价值工程.2020.39(12):117-118.