

# 水利工程施工中防渗技术的应用

曹坤宇

山东省水利勘测设计院有限公司 山东 济南 250013

**摘要:** 本文分析常见水利工程防渗问题类型,包括坝体、坝基、接触及绕坝渗漏,探讨地质条件、施工、设计等成因。阐述垂直与水平防渗技术的原理、应用场景及施工要点,剖析地质、施工工艺、材料质量对应用效果的影响,展望新材料、新工艺及智能化监测的发展趋势,为防渗工程提供参考。

**关键词:** 水利工程; 防渗技术; 渗漏问题; 施工工艺; 发展趋势

引言: 水利工程防渗技术对保障工程安全与运行效率至关重要。工程中各类渗漏问题严重威胁结构稳定,影响使用寿命。随着工程复杂度提升,对防渗技术的要求不断提高。本文从渗漏成因、技术应用、影响因素及趋势等方面展开分析,以完善水利工程防渗技术的应用体系。

## 1 常见水利工程防渗问题及成因分析

### 1.1 渗漏问题类型

水利工程中的渗漏问题呈现多种类型,不同类型对工程安全和运行效率的影响各有差异。坝体渗漏表现为水体从坝体内部或表面渗出,可能导致坝体结构强度逐渐降低,影响整体稳定性。这类渗漏多与坝体材料密实度不足或后期产生裂缝有关,渗漏路径随时间推移可能不断扩大<sup>[1]</sup>。坝基渗漏发生在坝体与基础接触部位或基础内部,水体通过地基土层或岩石缝隙流动,带走地基中的细小颗粒,造成地基淘刷。长期存在的坝基渗漏会使坝体沉降不均匀,增加结构失稳风险。接触渗漏出现在坝体与岸坡、建筑物连接的接触面,因施工时结合不够紧密形成渗漏通道。水流沿接触面渗透时,可能冲刷周边材料,扩大渗漏范围,破坏工程结构的整体性。绕坝渗漏则是水体绕过坝体两端岸坡渗向下游,常因岸坡岩土体透水性强或防渗处理不彻底引发。这类渗漏会削弱岸坡稳定性,严重时可能导致岸坡滑塌,威胁坝体安全。

### 1.2 渗漏成因剖析

#### 1.2.1 地质条件因素

地质条件是引发渗漏的天然基础因素。土层孔隙率大的区域,土体颗粒间空隙较多,透水性强,水体易沿孔隙渗透。这类土层在水利工程建设前若未进行有效处理,会成为渗漏的潜在通道。岩石裂隙发育的地质构造中,裂隙相互连通形成网络状通道,水体可通过这些裂隙快速渗透。尤其在断层破碎带或风化岩层区域,裂隙发育更为密集,渗漏风险显著提高,对工程防渗构成天

然挑战。

#### 1.2.2 施工因素

施工过程中的多种因素可能导致渗漏问题。建筑材料质量不佳直接影响防渗效果,如混凝土强度不足、砂石料级配不合理等,会使结构本身存在透水缺陷,为后期渗漏埋下隐患。施工工艺不规范也会引发渗漏,例如混凝土浇筑时振捣不密实,形成蜂窝麻面;接缝处理不符合要求,导致连接部位出现缝隙。这些工艺缺陷会直接降低工程的防渗能力。施工质量控制不严使不合格工序被忽视,如防渗层铺设厚度不足、压实度未达到设计标准等。质量控制的疏漏会让局部防渗薄弱环节未能及时整改,在工程运行中逐渐发展为渗漏点。

#### 1.2.3 设计因素

设计环节的不足是引发渗漏的重要原因。防渗设计不合理体现在对工程区域水文地质条件考虑不全面,选用的防渗材料或结构形式与实际需求不匹配,无法有效阻挡水体渗透。结构布局存在缺陷会导致防渗体系不完整,例如防渗体布置范围不足,未能覆盖可能发生渗漏的关键区域;或结构衔接处设计不当,形成防渗盲区。这类设计缺陷使工程在投入运行后难以应对复杂的渗水情况,增加渗漏发生的可能性。

## 2 防渗技术在水利工程中的具体应用

### 2.1 垂直防渗技术

#### 2.1.1 混凝土防渗墙

原理是通过专用设备在地下成槽,浇筑混凝土形成连续墙体阻挡渗流。这种墙体可切断坝体或坝基中的透水通道,依靠混凝土的密实性和整体性抵抗水流渗透压力。应用场景适用于各类土石坝、围堰等工程的坝体或坝基防渗。在深厚覆盖层坝基处理中,能有效解决地基渗漏问题;对于已建工程的防渗加固,可在原坝体或坝基中施工形成新的防渗屏障。施工要点中,导墙施工需为成槽设备提供稳定的工作平台,控制导墙的尺寸和垂

直度,使其能精准引导成槽方向,同时承受成槽设备的重量和施工荷载。槽孔开挖需根据地质条件选择合适的成槽方法,钻劈法适用于较坚硬的地层,抓取法多用于松散土层,开挖过程中需保持槽孔的连续性和垂直度。泥浆护壁使用优质泥浆保持槽壁稳定,防止坍塌,泥浆的黏度和比重需根据地层特性调整,确保在成槽期间能有效护壁。墙体材料浇筑采用直升导管法等确保混凝土浇筑质量,导管需埋入混凝土一定深度,避免出现断桩或夹层,保证墙体的防渗性能。

### 2.1.2 帷幕灌浆

原理是将浆液灌入岩土体的裂隙或孔隙中,形成连续的防渗帷幕。浆液在压力作用下填充岩土体中的空隙,经凝固后与岩土体结合成整体,阻断渗流路径。应用场景常用于坝基、两岸山体等部位的防渗处理。在坝基防渗中,可降低坝基渗透压力,减少渗漏量;对于两岸山体,能阻止绕坝渗流,保护岸坡稳定<sup>[2]</sup>。施工要点包括钻孔按设计要求布置钻孔,控制钻孔深度、角度和孔径,确保钻孔能准确到达预定防渗范围。洗孔需清除孔内岩屑和杂质,保证灌浆质量,可采用高压水冲洗或压缩空气吹扫等方式。压水试验测定岩土体的透水性,为灌浆参数调整提供依据,通过试验了解岩土体的吸水能力,确定合适的灌浆压力和浆液浓度。灌浆采用纯压式或循环式灌浆方法,纯压式适用于裂隙发育的岩层,循环式多用于孔隙较大的地层,根据地质条件调整浆液配比和灌浆压力,确保浆液能充分填充空隙。

### 2.1.3 高压喷射灌浆

原理是利用高压喷射流冲击破坏土体,使浆液与土颗粒混合形成防渗体。高压水流或浆液喷射时产生的冲击力切割、搅拌土体,浆液在喷射范围内与土体充分混合,凝固后形成具有一定强度和防渗性能的固结体。应用场景适用于处理砂土、粉土、黏性土等土层以及砂砾石地层。在堤坝防渗加固、基坑止水等工程中应用广泛,尤其适用于地质条件复杂且常规防渗技术难以施工的区域。施工要点中,钻孔需将喷射管下放至设计深度,确保钻孔垂直度,为后续喷射作业提供精准导向。下喷射管要检查喷射管是否畅通,密封装置是否可靠,避免因管路堵塞或泄漏影响喷射效果。高压喷射按设计参数进行旋转、提升喷射作业,控制喷射压力和流量,不同地层需调整喷射参数,保证浆液与土体的混合效果。静压充填对喷射形成的孔洞进行静压充填浆液,提高防渗效果,使固结体更加密实,减少内部空隙。

## 2.2 水平防渗技术

### 2.2.1 黏土铺盖

原理是在坝体上游或透水地基上铺设一层黏土,延长渗径,降低渗流坡降。黏土的低透水性使水流渗透路径延长,渗流速度减缓,从而减少渗漏量。应用场景适用于地基透水性较强且坝体高度较低的工程。在中小型水库、池塘等工程中应用较多,能适应地基变形,施工简便且成本较低。施工要点包含黏土料选择与处理,选择塑性指数较高、含水量适宜的黏土料,进行晾晒、粉碎、过筛等处理,去除杂质和硬块,保证黏土的均匀性。铺盖铺设需分层铺设黏土,控制每层厚度和压实度,采用碾压设备进行压实,确保黏土密实度达到设计要求。边坡修整对铺盖边坡进行修整,保证坡面平整,设置排水设施,防止雨水在铺盖表面积聚,避免黏土因浸泡而降低防渗性能。

### 2.2.2 土工膜防渗

原理是利用土工膜的不透水性,阻止水流渗透。土工膜具有良好的抗渗性能和柔韧性,能适应地基变形,通过铺设形成连续的防渗层。应用场景广泛应用于各类水利工程的防渗,如渠道、水库、堤防等。在渠道防渗中,可减少输水损失;用于水库库盆防渗,能有效防止库水渗漏。施工要点中,土工膜选择与检验需根据工程要求选择合适的土工膜类型和规格,进行质量检验,确保其厚度、抗拉伸强度和抗渗性能符合设计标准。基面处理要清理基面杂物,保证基面平整、坚实,无尖锐物体,避免土工膜被刺破。土工膜铺设按设计要求铺设土工膜,注意铺设方向和搭接宽度,避免褶皱和破损,铺设过程中需拉紧土工膜,使其与基面紧密贴合。土工膜连接采用热熔焊接、胶粘剂粘接等方法连接土工膜,确保连接质量,焊接接缝需均匀牢固,粘接接缝要保证黏结强度。保护层施工在土工膜上铺设保护层,如砂垫层、混凝土板等,防止土工膜受损,保护层能抵御外界环境的破坏,延长土工膜的使用寿命。

## 3 防渗技术应用效果的影响因素

### 3.1 地质条件

地质条件是影响防渗技术应用效果的基础因素,直接决定技术选择的适配性。土层性质中,颗粒组成决定土体密实度,渗透系数反映透水能力,二者共同作用于防渗技术的实际效果。颗粒细腻的黏土层透水性弱,适合采用简单铺盖技术;颗粒粗大的砂砾层透水性强,需采用帷幕灌浆等强化措施<sup>[3]</sup>。软土具有高压缩性,易因变形破坏防渗结构;砂土流动性强,可能随渗流移动导致防渗层失效,这类特殊土层处理时需针对性调整技术参数,提高防渗体系的适应性。岩石特性方面,裂隙发育程度影响灌浆材料的扩散范围,裂隙密集且连通性好的

区域需增加灌浆孔密度；风化程度深的岩石强度低，可能影响防渗体与岩体的结合强度。岩溶地区存在溶洞和暗河，防渗处理需先填充溶洞再实施常规防渗技术，否则水流易沿岩溶通道绕过防渗体，降低整体效果。

### 3.2 施工工艺

施工工艺的精细程度直接关系防渗效果的稳定性。施工设备性能影响作业精度，性能优良的设备能保证成槽垂直度、灌浆压力等参数的稳定性，减少人为操作误差。设备选型需与地质条件匹配，坚硬岩层需选用大功率钻孔设备，软土地层则需配备轻便灵活的施工机械，设备规模与工程需求不符合会导致效率低下或资源浪费。施工人员技术水平体现在对工艺细节的把控能力，熟悉设备操作原理的人员能及时调整参数应对地质变化，经验丰富的作业者可预判施工中可能出现的问题并提前处理。加强施工人员培训能使其掌握新材料新设备的应用要点，增强质量意识，避免因操作不当造成防渗体出现缝隙或强度不足等缺陷。

### 3.3 材料质量

材料质量是防渗技术发挥作用的核心保障。防渗材料性能决定防渗体的基本功能，混凝土的抗渗等级影响墙体阻水能力，灌浆材料的凝结时间和强度关系裂隙填充效果，土工膜的耐候性决定其长期防渗性能。材料需通过严格质量检验，确保物理力学指标符合工程要求，性能不达标材料会导致防渗体提前失效。材料储存与运输过程需保持适宜条件，混凝土原材料需避免受潮结块，灌浆材料需防止高温变质，土工膜需避免阳光直射和机械损伤。储存环境潮湿会降低水泥活性，运输过程中的挤压可能造成土工膜破损，这些问题都会直接影响材料在施工中的性能表现，削弱防渗技术的应用效果。

## 4 水利工程施工防渗技术的发展趋势

### 4.1 新材料研发与应用

新材料研发聚焦性能提升与环境适配，推动防渗技术升级<sup>[4]</sup>。高性能防渗材料在强度和抗渗性上突破传统材料局限，通过优化分子结构或复合改性增强物理性能，纳米材料改性的土工膜能提升抗老化能力，高性能混凝土可减少孔隙率，降低渗透系数，延长防渗体使用寿命。这类材料能适应更复杂的地质和水文条件，在高压或腐蚀性环境中保持稳定防渗效果。环保型防渗材料注重生态兼容性，采用天然原料或可降解成分生产，天然植物纤维防渗材料利用植物纤维的致密结构实现阻水功能，废弃后可自然降解，生物基土工膜以可再生资源为原料，减少

生产过程中的污染。推广这类材料能降低工程对周边生态系统的影响，使防渗工程与自然环境更协调。

### 4.2 新工艺探索与创新

新工艺创新朝着智能化与集成化方向发展。智能化施工工艺将自动化控制技术融入施工环节，自动化灌浆设备能根据地质反馈实时调整压力和浆液配比，智能监测系统同步采集施工参数，避免人为操作偏差。这类工艺通过精准控制提高防渗体均匀性，减少质量波动。集成化防渗技术将不同技术优势结合，形成互补体系。混凝土防渗墙与帷幕灌浆结合，墙体阻挡表层水流，灌浆填充深层裂隙，增强整体防渗能力；土工膜与黏土铺盖结合，膜体阻断集中渗流，黏土层分散渗透压力。技术集成能应对多层次渗漏风险，提升工程防渗的系统性和可靠性。

### 4.3 施工监测与质量控制智能化

施工监测与质量控制借助现代技术实现精准化管理。实时监测技术通过分布式光纤感知防渗体内部应力变化，无线传感器网络捕捉渗流数据，这些技术能连续追踪施工全过程，及时发现局部渗漏或结构异常，为现场调整提供依据。大数据分析将监测数据转化为决策依据，通过建立数学模型分析参数关联，预判可能出现的质量问题，指导工艺参数优化。质量评估模型综合材料性能、施工参数和监测结果，量化防渗效果，使质量控制从经验判断转向数据驱动，提高防渗工程的科学性和精准度。

### 结束语

水利工程施工防渗技术对保障工程安全与稳定运行起着关键作用。从常见渗漏问题成因分析，到多种防渗技术的具体应用，再到影响应用效果的因素探讨，明确了防渗技术发展的方向。新材料、新工艺以及施工监测与质量控制的智能化，将为水利工程防渗提供更有力的支持，推动水利工程事业持续发展。

### 参考文献

- [1]沈培,张婷婷.水利工程施工中防渗技术的应用[J].模型世界,2025(10):152-154.
- [2]张佳林.水利工程施工中防渗技术的应用探究[J].工程管理,2025,6(2):200-202.
- [3]马腾,张诗臣.水利工程施工中防渗技术的应用与优化研究[J].电脑校园,2024(11):145-147.
- [4]崔佳佳.水利工程施工中防渗技术的应用探究[J].城市情报,2024(2):192-193.