

# 水利水电工程防渗施工技术研究

李 祥 刘占琴

陕西省泾河工程局 陕西 咸阳 713800

**摘 要:** 水利水电工程防渗施工对保障工程安全意义重大。本文分类阐述刚性、柔性、复合及特殊地质条件下防渗施工技术,分析核心材料性能与适配性,明确主要施工工艺关键技术要点。针对当前防渗施工存在的问题,提出技术参数优化、设备适配升级、过程质量控制优化及与绿色施工融合优化等路径,为提升水利水电工程防渗施工质量与效果提供理论支持与实践指导。

**关键词:** 水利水电工程; 防渗施工技术; 材料性能; 施工工艺; 技术优化

引言: 水利水电工程作为基础设施建设的关键部分,在防洪、灌溉、发电等方面发挥着不可替代的作用。防渗施工是水利水电工程建设中的核心环节,其质量直接关系到工程的整体稳定性与耐久性。一旦出现渗漏问题,不仅会影响工程的正常运行,还可能引发安全事故,造成巨大的经济损失。当前,水利水电工程防渗施工技术不断发展,但面对复杂的地质条件和多样的工程需求,仍存在诸多挑战。深入研究防渗施工技术,对提高工程建设质量、保障工程安全运行具有重要现实意义。

## 1 水利水电工程防渗施工技术分类

### 1.1 刚性防渗施工技术

刚性防渗技术以混凝土、水泥基材料为核心,通过构建高强度、低渗透性的结构体实现防渗功能。地下连续墙技术通过机械成槽后浇筑混凝土形成连续墙体,适用于深厚覆盖层或地质条件复杂的区域,能够有效截断地下水渗透通道<sup>[1]</sup>。高压喷射灌浆技术利用高压水流切割土体,同时注入水泥浆液形成防渗体,旋喷、定喷等不同喷射形式。可适应砂层、卵石层等多种地层需求,在防渗工程中应用广泛。塑性混凝土防渗墙通过优化材料配比调控弹性模量,兼顾优良抗渗性能与结构变形适配性,特别适用于地基沉降较大的工程场景,可有效规避因不均匀沉降引发的防渗失效问题。

### 1.2 柔性防渗施工技术

柔性防渗技术以土工合成材料为主体,依托材料自身物理特性实现防渗功能。土工膜防渗技术采用高密度聚乙烯等高分子材料形成致密阻隔层,铺设时需严格控制基层平整度与接缝焊接质量,确保形成连续完整的防渗体系,适用于水库、堤防等工程的防渗处理。黏土铺盖技术利用天然黏土的压实特性,通过分层碾压形成低渗透层,需根据土料塑性指数与渗透系数选择合适铺盖厚度,常用于水库底板或堤防背水侧的防渗处理。沥青

混凝土防渗技术通过高温浇筑形成柔性防水层,兼具抗渗性与耐久性,在寒冷地区水利工程中应用效果显著,可有效抵抗低温环境下的冻融破坏。

### 1.3 复合防渗施工技术

复合防渗技术通过多材料协同作用提升防渗效果。垂直与水平组合防渗将地下连续墙与土工膜结合,形成立体防渗网络,上部土工膜阻断地表渗流,下部防渗墙截断深层渗透通道,实现防渗体系的双重保障。多材料复合层通过混凝土、土工布、膨润土防水毯等材料叠加,利用各层材料特性互补,膨润土遇水膨胀特性可填补混凝土裂缝,土工布增强结构整体性,形成多道防渗屏障。界面处理技术通过设置过渡层或粘结剂,解决不同材料间结合强度问题,确保复合体系长期稳定性,避免因材料脱节导致的渗漏风险。

### 1.4 特殊地质条件下防渗技术

针对喀斯特地貌、断层破碎带等特殊地质条件,需采用针对性防渗措施。溶洞处理技术通过注浆填充或混凝土塞封堵溶蚀通道,超前钻探与物探技术可精准定位溶洞空间分布,为后续防渗施工提供依据。断层带防渗采用多排帷幕灌浆,加密灌浆孔布置并降低灌浆压力,防止浆液沿断层面流失,确保防渗帷幕的连续性。深厚覆盖层防渗结合振动沉模与高压喷射灌浆,形成上下衔接的防渗墙结构,解决传统技术难以穿透厚层砂砾石的问题,提升防渗体系的可靠性。

## 2 防渗施工核心材料性能与适配性

### 2.1 刚性防渗材料性能参数与特性

刚性防渗材料以混凝土、水泥基灌浆料为主,核心性能参数包括抗压强度、抗渗等级、弹性模量及耐久性。普通混凝土抗压强度通常在20-40MPa之间,抗渗等级可达P8-P12,能够承受较大的水压力和土压力,保证结构的安全稳定,适用于地下连续墙、防渗墙等结构体。塑

性混凝土通过掺入黏土、膨润土等材料降低弹性模量至1000-5000MPa,在保持抗渗性能的同时提升结构变形能力,适应地基不均匀沉降场景。水泥基灌浆料需控制凝结时间与流动性,早期强度发展快的特点使其适用于高压喷射灌浆等快速施工场景,浆液扩散半径与地层渗透率需匹配以确保防渗效果。

## 2.2 柔性防渗材料性能参数与特性

柔性防渗材料以土工膜、黏土及沥青混凝土为代表,核心性能聚焦于渗透系数、拉伸强度与延展性。高密度聚乙烯土工膜渗透系数低于 $1 \times 10^{-12}$ cm/s,拉伸强度可达20MPa以上,延展率超过300%,适用于大面积水平防渗工程。天然黏土需满足塑性指数大于15、渗透系数低于 $1 \times 10^{-7}$ cm/s的要求,压实度需达到95%以上以形成有效防渗层。沥青混凝土通过调整沥青含量与骨料级配,可实现柔性与抗渗性的平衡,软化点高于60°C的特性使其在温差较大环境中保持稳定性。

## 2.3 复合防渗材料的组分协同效应

复合防渗材料通过多组分协同作用提升综合性能。混凝土与土工布复合时,土工布可增强混凝土抗裂性,其纤维结构能分散应力集中,减少裂缝扩展;混凝土为土工布提供刚性支撑,避免铺设过程中发生位移<sup>[2]</sup>。膨润土防水毯与土工膜复合时,膨润土遇水膨胀特性可填补土工膜接缝缺陷,形成自愈合防渗层,渗透系数降低至 $1 \times 10^{-10}$ cm/s以下。多材料界面通过粘结剂或过渡层处理,可解决不同材料热膨胀系数差异问题,确保复合体系长期协同工作。

## 2.4 防渗材料环境适应性与耐久性

防渗材料需适应温度、湿度及化学腐蚀等环境因素。寒冷地区需选用低温韧性好的沥青混凝土,其脆化点低于-25°C,避免冻融循环导致开裂。酸性地下水环境中,水泥基材料需掺入耐腐蚀外加剂,降低钙离子溶出速率,延长结构寿命。土工膜在紫外线照射下易老化,需添加炭黑等抗老化剂,或采用覆盖层保护措施。黏土防渗层在干湿交替环境中易产生收缩裂缝,需控制含水率波动范围,或掺入纤维材料增强抗裂性。材料耐久性评估需结合加速老化试验与长期监测数据,为工程全生命周期防渗提供依据。

## 3 主要防渗施工工艺关键技术要点

### 3.1 刚性防渗结构施工工艺要点

刚性防渗结构施工需严格把控成槽、浇筑与养护环节。地下连续墙成槽时,需根据地层特性选择液压抓斗或铣槽机,砂层中需控制成槽速度避免塌孔,黏土层中可适当加快进度。槽段清孔需采用泥浆置换法,确保孔

底沉渣厚度小于10厘米,泥浆比重控制在1.15-1.25之间。混凝土浇筑采用导管法,导管理深保持在2-6米,浇筑面需高出设计标高50厘米以上,防止混凝土收缩导致顶部缺陷。塑性混凝土浇筑时需控制坍落度在18-22厘米,通过分层振捣确保材料均匀性,避免因骨料沉降影响抗渗性能。

### 3.2 柔性防渗层铺设施工工艺要点

柔性防渗层铺设需关注基层处理与材料搭接。土工膜铺设前需对基面进行整平,清除尖锐物与杂草,局部凹凸差不超过5厘米,防止膜体被刺破。膜体展开需沿主导风向进行,减少风力影响下的褶皱,铺设温度宜在5-35°C之间,避免低温导致材料脆化。接缝焊接采用双轨热熔焊机,焊接速度控制在1.5-2米/分钟,焊接前需进行试焊确定最佳温度与压力参数,焊接后通过真空检测或电火花检测确保密封性<sup>[3]</sup>。黏土铺盖施工需分层碾压,每层厚度控制在20-30厘米,压实度需达到95%以上,含水率控制在最优含水率 $\pm 2\%$ 范围内,避免干缩裂缝产生。

### 3.3 复合防渗体系构建施工工艺要点

复合防渗体系施工需协调多材料施工顺序与界面处理。混凝土与土工膜复合时,先完成混凝土结构施工,待强度达到设计值70%后进行膜体铺设,膜体与混凝土间设置黏结层或过渡层,增强界面结合力。膨润土防水毯与土工膜复合时,先铺设膨润土毯,其边缘搭接宽度不小于15厘米,通过钠基膨润土粉填充搭接缝,再覆盖土工膜形成双重防护。多材料界面处理需采用专用粘结剂或机械连接方式,确保不同材料变形同步,避免因位移差异导致脱节。

### 3.4 防渗施工接缝处理关键技术

接缝处理是防渗体系薄弱环节,需根据材料特性选择处理方式。刚性结构接缝采用高压注浆或止水钢板,注浆材料需具备快凝、高强特性,注浆压力控制在0.5-1.0MPa,确保浆液填充密实。柔性材料接缝通过焊接或粘结实现,土工膜接缝强度需达到母材强度的80%以上,焊接后进行充气检测,压力保持0.15MPa且30秒内无压降视为合格。复合结构接缝需分段处理,先完成下层材料接缝,再施工上层材料,通过覆盖层或密封胶封闭接缝边缘,形成连续防渗屏障。

## 4 水利水电工程防渗施工技术优化路径

### 4.1 防渗施工技术参数优化

防渗施工技术参数的精准性直接影响工程防渗效能。针对不同地质条件与工程需求,需对关键参数进行动态调整与优化。例如,高压喷射灌浆技术中,喷射压力、提升速度、旋转角度等参数需根据地层颗粒级配与渗透系数

综合确定<sup>[4]</sup>。地层颗粒较粗时,适当提高喷射压力可增强浆液扩散范围;渗透系数较大区域,需降低提升速度以延长浆液凝固时间,确保防渗体连续性。混凝土防渗墙施工中,泥浆性能参数优化同样关键,比重、黏度、含砂量等指标需实时监测调整,避免槽壁坍塌或混凝土浇筑缺陷。参数优化需建立在地质勘察数据与施工监测反馈基础上,通过数值模拟与现场试验相结合的方式,形成适应具体工程条件的参数控制体系。

#### 4.2 防渗施工设备适配与升级方向

施工设备性能是防渗技术实施效率的保障。当前设备升级方向集中于智能化与精准化控制。成槽机械方面,液压抓斗与铣槽机的自动化控制系统可实现槽孔垂直度实时监测与自动纠偏,将垂直度偏差控制在0.3%以内。灌浆设备中,智能灌浆记录仪的应用使浆液流量、压力、密度等参数实现数字化采集与远程监控,避免人工记录误差。土工膜铺设设备正朝着全自动化方向发展,自动焊接机与无损检测装置的集成应用,可同步完成铺设、焊接与质量检测工序,提升施工效率。设备升级需兼顾通用性与专用性,针对特殊地质条件开发定制化设备,如岩溶地区灌浆使用的高压旋喷钻机,需具备大扭矩、高转速特性以适应复杂地层钻进需求。

#### 4.3 防渗施工过程质量控制技术优化

过程质量控制需构建全链条监控体系。施工前,通过BIM技术建立三维地质模型,模拟防渗结构施工过程,提前识别潜在质量风险点。施工中,引入物联网技术,在关键工序布设传感器,实时采集温度、湿度、应力等数据,通过云端分析平台实现质量异常预警。例如,混凝土防渗墙浇筑时,埋设温度传感器可动态监测混凝土水化热变化,指导养护措施调整。质量检测环节,无损检测技术应用范围持续扩大,地质雷达可快速扫描防渗体完整性,超声波检测仪能精准定位内部缺陷。质量控制需强化数据驱动决策,建立施工参数-质量指标-工程性能的关联模型,实现质量问题的溯源分析与精准处置。

#### 4.4 防渗技术与绿色施工融合优化

绿色施工理念推动防渗技术向资源节约与环境友好方向转型。材料选择上,研发可降解土工膜与低碳混凝土,减少工程全生命周期碳排放。例如,生物基土工膜以淀粉等可再生资源为原料,使用后可在自然环境中降解。施工工艺方面,推广干法施工与循环用水技术,高压喷射灌浆采用干粉砂浆替代传统湿拌工艺,可降低30%用水量。废弃物处理环节,建立防渗材料回收再利用体系,将破损土工膜清洗粉碎后作为再生骨料,用于低等级道路铺设<sup>[5]</sup>。绿色施工需贯穿防渗技术全周期,从设计阶段优化结构形式减少材料用量,到施工阶段控制扬尘与噪声污染,最终实现防渗功能与生态保护的协同发展。

#### 结束语

水利水电工程防渗施工技术研究涵盖多方面内容,从技术分类到材料性能,再到施工工艺要点与技术优化路径,每个环节都紧密相连。通过对这些内容的深入探讨,明确了不同防渗技术的适用场景与优势,掌握了核心材料的性能特点与适配要求,把握了主要施工工艺的关键技术要点。所提出的技术优化路径,为解决当前防渗施工中存在的问题提供了方向。在实际工程中,应综合运用这些技术与优化措施,不断提升防渗施工质量,确保水利水电工程长期稳定运行。

#### 参考文献

- [1]王锦明.水利水电工程防渗施工技术分析[J].建筑与施工,2025,4(5):28-29.
- [2]余鑫.水利水电工程防渗施工技术分析[J].中国住宅设施,2024(12):50-52.
- [3]乔云贵.水利水电工程防渗施工技术分析[J].水上安全,2024(5):169-171.
- [4]刘圣娟.水利水电工程防渗施工技术分析[J].中国科技投资,2023(1):152-154.
- [5]蔡兴浩.水利水电工程防渗施工技术探讨[J].工程技术研究,2023,8(24):86-88.