

# 防渗技术在水利工程施工中的应用

冯 勇 程 赛 戴荣涛

江苏省水利建设工程有限公司 江苏 扬州 225000

**摘要：**防渗技术作为水利工程安全运行的核心保障，其材料选择、施工工艺及质量控制直接影响工程防渗效果与使用寿命。本文系统梳理了水利工程中常用的防渗材料，分析了土工膜防渗、混凝土防渗墙、高压喷射灌浆及复合防渗等典型施工工艺的技术要点，并结合堤坝、水库、渠道与泵站等工程中的具体应用，提出了防渗技术应用的质量控制策略。旨在提升防渗施工质量，为水利工程防渗体系建设提供技术支持。

**关键词：**水利工程；防渗技术；应用；质量控制

引言：水利工程作为国民经济基础设施的重要组成部分，其防渗性能直接关系工程安全与效益。当前防渗技术施工涉及材料选用、工艺控制、质量检测等复杂环节，需通过标准化作业与动态监测确保工程质量。本文基于工程实践，系统分析防渗材料性能、施工工艺流程及质量控制方法，旨在为水利工程防渗体系优化提供技术参考，推动行业技术进步。

## 1 水利工程中的常见防渗材料

防渗材料作为防渗技术的核心载体，其性能直接影响工程防渗效果与使用寿命。根据材料类型与结构形式，水利工程常用防渗材料可分为以下三类：（1）土工合成材料。土工膜：以HDPE、LDPE、PVC等高分子聚合物为原料，通过吹塑、压延等工艺制成柔性防渗膜，渗透系数 $\leq 10^{-11}$  cm/s，耐化学腐蚀，施工便捷，广泛应用于堤坝、水库、渠道等工程的防渗处理。复合土工膜：由土工膜与土工布（无纺布或编织布）复合而成，兼具防渗与排水功能，土工布可保护土工膜免受机械损伤，增强材料与土体的摩擦力，提升整体稳定性。膨润土防水毯（GCL）：天然钠基膨润土颗粒与土工织物复合，遇水后膨润土膨胀形成致密胶体，实现自愈性防渗，适用于垃圾填埋场、尾矿库等工程的防渗处理。

（2）混凝土类材料。普通混凝土：通过优化配合比设计提高密实性与抗渗性，需通过成槽、浇筑等工艺施工，适用于坝基、渠道等垂直防渗。塑性混凝土：掺入膨润土降低弹性模量，增强与土体变形协调能力，常用于软土地基防渗。自密实混凝土：调整流变性能实现自动填充模板，无需振捣，适用于复杂结构或狭窄空间的防渗施工。（3）其他新型材料。水泥基渗透结晶型防水材料：以水泥、石英砂和活性化学物质为基材，通过渗透结晶反应在混凝土内部形成致密结晶体，提升抗渗性与自修复能力<sup>[1]</sup>。纳米改性材料：掺入纳米粒子（如纳米二

氧化硅、纳米碳酸钙）改善材料微观结构，提高力学性能与耐久性。

## 2 常见防渗施工工艺流程

### 2.1 土工膜防渗施工工艺

土工膜防渗施工需遵循“基面处理-铺设焊接-质量检测”的标准化流程。施工前需彻底清理基面，移除尖锐物、杂草等可能损伤土工膜的杂物，并铺设土工布作为垫层，避免土工膜直接接触基面导致磨损。铺设时采用人工或机械辅助，需预留 $\geq 15$ cm的搭接宽度，搭接处采用热熔焊接或专用胶粘剂粘接，确保焊接质量。焊接完成后，通过真空法或电火花法检测焊接质量，重点检查漏焊、虚焊等缺陷；最后对防渗层进行充气试验，验证其密封性，确保防渗层无漏气点。

### 2.2 混凝土防渗墙施工工艺

混凝土防渗墙施工以“成槽-浇筑-接缝处理”为核心流程。成槽阶段需根据地质条件选择适宜的成槽方法：抓斗成槽适用于土质较软地层，冲击钻成槽适用于岩层较硬区域，回转钻成槽则适用于复杂地质条件。成槽过程中需严格控制槽壁垂直度和槽底沉渣厚度，确保槽壁稳定。浇筑阶段采用导管法水下浇筑，混凝土需连续、均匀上升，浇筑过程中实时监测混凝土面高程，防止夹泥或断桩。接缝处理是防渗墙整体性的关键，相邻槽段采用接头管法或钻凿法连接，对施工冷缝进行高压喷射灌浆补强，确保防渗墙无渗漏通道。

### 2.3 高压喷射灌浆防渗工艺

高压喷射灌浆工艺通过“钻孔定位-高压喷射-质量检测”实现深层防渗。钻孔阶段需根据设计要求布置灌浆孔，采用地质钻机钻孔，孔深需穿透防渗层以下的软弱层，确保灌浆效果。高压喷射阶段通过高压泵将水泥浆液以20-40MPa的压力喷入地层，同时旋转和提升喷管，形成连续的固结体。喷射参数需根据地层特性动态调

整,确保固结体直径和强度满足设计要求。质量检测阶段采用钻孔取芯、压水试验等方法,检测固结体的强度和渗透系数,确保防渗效果达标。

#### 2.4 复合防渗施工工艺

复合防渗工艺通过“多层结构施工-界面处理”实现防渗性能的协同提升。多层结构施工时,先铺设土工膜作为柔性防渗层,再覆盖混凝土保护层或砂砾石垫层作为刚性保护层,形成“柔性防渗+刚性保护”的复合结构。界面处理是复合防渗的关键,需在土工膜与混凝土接触面涂刷界面剂,增强两者之间的粘结力;对复合结构进行整体质量检测,重点检查脱层、开裂等缺陷,确保复合防渗层无渗漏风险<sup>[2]</sup>。复合防渗工艺兼具土工膜的柔韧性和混凝土的耐久性,适用于复杂地质条件或高防渗要求的工程。

### 3 防渗技术在水利工程中的具体应用

#### 3.1 防渗技术在堤坝工程中的应用

堤坝工程是防洪体系的核心组成部分,其防渗性能直接关系到区域防洪安全。针对堤坝工程的防渗需求,需从以下材料选择、施工工艺及监测维护三方面综合施策。(1)堤坝防渗材料选择。堤坝防渗材料需兼顾抗渗性、耐久性与适应性。对于均质土堤,可通过掺入膨润土或高分子聚合物改善土体抗渗性;对于复合堤坝,常采用土工膜(如HDPE膜)与混凝土防渗墙组合的复合防渗结构。土工膜需满足渗透系数 $\leq 10^{-11}$  cm/s的要求,混凝土防渗墙需通过高压喷射灌浆或抓斗成槽工艺施工,确保墙体连续性。(2)堤坝防渗施工工艺优化。以土工膜防渗为例,基面需平整无尖锐物,土工膜搭接宽度 $\geq 15$  cm,采用热熔焊接或胶粘剂粘接,焊接质量通过真空法或电火花法检测。混凝土防渗墙施工需控制槽壁垂直度(偏差 $\leq 1/300$ ),采用导管法水下浇筑,确保混凝土连续均匀上升。(3)堤坝防渗监测与维护。堤坝防渗体系需建立长期监测机制,重点监测渗漏量、浸润线高度及防渗层变形。通过埋设渗压计、测压管等设备,实时掌握防渗层运行状态。对渗漏异常点位,可采用高压化学灌浆或土工膜补强等措施进行修复,确保堤坝安全。

#### 3.2 在水库工程中的应用

水库工程防渗需兼顾坝体、坝基及库周区域的防渗需求,其技术策略需结合工程地质条件与运行特点进行优化,防渗技术具体应用如下:(1)坝体防渗技术。坝体防渗以垂直防渗为主,常采用混凝土防渗墙或高压喷射灌浆工艺。对于深厚覆盖层坝基,可采用悬挂式防渗墙与帷幕灌浆结合的防渗体系,通过悬挂式防渗墙截断浅层渗流,帷幕灌浆封闭深层渗流通道。施工时需控制

灌浆压力,防止坝体抬动或劈裂。(2)坝基防渗技术。坝基防渗需根据地质条件选择适宜的防渗形式。对于砂卵石地基,可采用混凝土防渗墙或高压旋喷桩;对于岩溶地基,需进行溶洞探测与处理,采用水泥砂浆或化学灌浆填充溶腔,再结合帷幕灌浆形成封闭防渗体系。坝基防渗施工需严格遵循“先帷幕、后排水”的原则,确保防渗效果。(3)库周防渗技术。库周防渗以土工膜防渗为主,需结合库周地形与植被条件进行优化。对于陡坡区域,可采用锚固式土工膜防渗结构,通过锚杆将土工膜固定于基岩;对于平缓区域,可采用土工膜与砂砾石垫层复合的防渗结构。库周防渗施工需设置排水系统,及时排除地表径流,防止雨水冲刷导致防渗层破坏。

#### 3.3 在渠道与泵站工程中的应用

渠道与泵站工程防渗需兼顾输水效率与设备运行安全,其技术策略需结合工程特点与运行需求进行定制化设计,防渗技术的应用如下:(1)渠道防渗技术。渠道防渗以减少输水损失为目标,常采用混凝土衬砌、土工膜防渗或沥青混凝土防渗等工艺。混凝土衬砌需设置伸缩缝,缝宽 $\leq 2$  cm,采用沥青杉板或橡胶止水带填塞;土工膜防渗需设置排水层,防止膜下积水导致冻胀破坏;沥青混凝土防渗需控制施工温度,确保沥青与骨料充分粘结。渠道防渗施工需定期检查防渗层完整性,对裂缝、脱空等缺陷及时修复。(2)泵站防渗技术。泵站防渗需重点保护泵房基础与进出水池,防止地下水渗流导致设备损坏。泵房基础防渗可采用高压喷射灌浆或水泥搅拌桩工艺,形成连续的防渗帷幕;进出水池防渗需设置防渗墙或防渗膜,防止池水渗漏。泵站防渗施工需考虑设备运行振动对防渗层的影响,采用柔性连接或减震措施降低振动传递。(3)渠道与泵站联合防渗技术。对于大型输水工程,需采用渠道与泵站联合防渗技术,通过优化渠道纵坡、设置泵站调节池等措施,减少输水压力波动对防渗层的影响<sup>[3]</sup>。联合防渗施工需建立信息化监测系统,实时掌握渠道水位、泵站运行参数及防渗层应力状态,为防渗体系优化提供数据支持。

### 4 防渗技术施工质量控制

#### 4.1 施工过程质量控制要点

防渗技术施工过程质量控制需贯穿基面处理、防渗层施工及接缝处理等关键环节,通过标准化作业与动态监测确保施工质量,具体要点如下:(1)基面处理与验收。基面处理是防渗层施工的基础,需确保基面平整、清洁、无尖锐物。土方基面需采用20t振动压路机压实,压实度 $\geq 95\%$ ,表面高差 $\leq 2$  cm;岩面基面需清除浮石、松散层,采用高压水枪冲洗后涂抹界面剂,增强防

渗层与基面粘结力。基面验收需检查平整度、清洁度及界面处理效果,对不合格区域需返工处理,确保基面质量满足防渗层施工要求。(2)防渗层施工控制。防渗层施工需严格控制工艺参数与操作规范。土工膜铺设需预留 $\geq 15\text{cm}$ 搭接宽度,采用热熔焊接或胶粘剂粘接,焊接温度需控制在 $280\text{-}320^{\circ}\text{C}$ ,焊接速度 $\leq 0.2\text{m}/\text{min}$ ,焊接质量通过真空法或电火花法检测,漏焊率 $\leq 1\%$ ;混凝土防渗墙需采用导管法水下浇筑,导管理深控制在 $2\text{-}6\text{m}$ ,浇筑速度 $\geq 20\text{m}^3/\text{h}$ ,浇筑过程中需实时监测混凝土面高程,防止夹泥或断桩;高压喷射灌浆需控制浆液压力、提升速度及旋转速度,形成连续的固结体。(3)接缝处理与验收。接缝处理是需采用可靠工艺确保接缝质量。土工膜接缝需采用双缝焊接,焊缝宽度 $\geq 10\text{mm}$ ,焊缝强度 $\geq$ 母材强度的 $80\%$ ;混凝土防渗墙相邻槽段需采用接头管法或钻凿法连接,接缝处需进行高压喷射灌浆补强,确保接缝无渗漏通道;复合防渗结构需在土工膜与混凝土接触面涂刷界面剂,增强粘结力,接缝处理完成后需进行充气试验或压水试验,验证接缝密封性。

#### 4.2 质量检测与评价方法

质量检测与评价是防渗技术施工质量控制的重要环节,需通过以下科学方法验证防渗层性能,确保工程防渗效果。(1)防渗层性能检测。土工膜防渗层需进行焊接质量检测、膜下真空度检测及渗透试验。焊接质量检测采用真空法或电火花法,检测焊缝的密封性;膜下真空度检测需在防渗层铺设完成后进行,真空度 $\geq 0.08\text{MPa}$ 时持续 $15$ 分钟无泄漏;渗透试验需在防渗层施工完成后进行,采用双环法或试坑法,渗透系数需 $\leq 10^{-7}\text{cm}/\text{s}$ 。混凝土防渗墙需进行混凝土强度检测、墙体完整性检测及渗透试验。混凝土强度检测采用回弹法或钻芯法,强度需满足设计要求;墙体完整性检测采用超声波法或地质雷达法,检测墙体连续性;渗透试验采用压水试验,渗透系数需 $\leq 10^{-6}\text{cm}/\text{s}$ 。(2)接缝质量检测。接缝质量检测

需针对不同防渗结构采用针对性方法。土工膜接缝需进行剥离试验或剪切试验,检测焊缝强度;混凝土防渗墙接缝需进行声波检测或钻孔取芯,检测接缝密实性;复合防渗结构接缝需进行拉拔试验,检测界面粘结力。检测结果需与设计要求进行对比,对不合格接缝需进行返工处理,确保接缝质量满足防渗要求。(3)防渗效果评价。防渗效果评价需结合工程运行数据进行综合分析<sup>[4]</sup>。堤坝工程需监测渗漏量、浸润线高度及防渗层变形,渗漏量需 $\leq$ 设计允许值,浸润线高度需低于设计警戒线;水库工程需监测库水位、坝体位移及防渗墙应力,库水位变化需与设计调度方案一致,坝体位移需控制在允许范围内;渠道与泵站工程需监测输水效率、防渗层完整性及设备运行状态,输水效率需 $\geq$ 设计值,防渗层无破损,设备运行正常。评价结果需形成书面报告,为工程维护与管理提供依据。

结束语:防渗技术施工质量控制是保障水利工程安全运行的关键环节,需从材料选用、工艺控制、质量检测等维度构建全流程管理体系。通过优化土工合成材料、混凝土类材料及新型防渗材料的性能参数,结合土工膜防渗、混凝土防渗墙、高压喷射灌浆及复合防渗等工艺的标准化作业,可显著提升工程防渗效果。基面处理、防渗层施工及接缝处理等环节的动态监测与质量检测,为防渗体系优化提供了科学依据。

#### 参考文献

- [1]黄小明. 防渗技术在水利工程施工中的应用[J]. 珠江水运,2021(19):40-41.
- [2]吴昊. 防渗技术在水利工程施工中的应用[J]. 百科论坛电子杂志,2020(14):13-14.
- [3]沈向东. 防渗技术在水利工程施工中的应用[J]. 价值工程,2021,40(18):138-139.
- [4]陈光辉. 防渗技术在水利工程施工中的应用研究[J]. 数码设计,2022(20):119-121.