

水利水电工程施工中防渗技术探究

张宏超 许 广

内蒙古方圆土木工程质量检测有限公司 内蒙古 赤峰 024000

摘要: 水利水电工程按其作用不同可分为很多类,每个种类有不同的施工方法,因此存在的问题也有一定的差异,但所有的水利水电工程都会面临一个问题——渗漏。渗漏问题一旦出现,轻则导致漏水,影响周围环境;重则破坏坝体,危害人们的生命财产安全。对于这种情况,如何利用已有技术手段解决水利水电工程的渗漏问题,成为社会各界思考的问题,需要相关部门不断努力。本文对水利水电工程施工中的防渗技术进行了分析,列举出造成渗漏的原因和防渗技术的具体应用,并提出防渗技术的施工要点,希望对我国水利水电事业的发展有帮助。

关键词: 水利水电工程; 施工; 防渗技术

与以往的水利水电工程相比,水利防渗工程属于地下工程,具有极其显著的复杂性和不确定性因素。因此,结构变形和渗漏现象时有发生。这些数据都可以直接表明,在水利水电工程的施工过程中,运用防渗漏技术能够有效规避所出现质量问题的概率。一旦水利水电工程施工中出现裂缝问题,将很有可能危及工程的正常运行,甚至会对周围的生态环境、人员安全造成相当程度的破坏,不利于区域性经济建设的发展。水利水电工程是一项利国利民的基础性工程,不仅促进了社会的发展,也满足了人们的多项需求,因此,保障水利水电工程施工质量是其建设过程中最应关注的问题,其中,防渗技术是决定水利水电工程施工质量的关键因素。

1 水利水电工程施工中渗漏的原因

水利水电工程施工中出现渗漏问题,主要原因可归纳为以下几类:

1.1 施工工艺缺陷。基础处理不当: 坝基帷幕灌浆深度不足或孔距过大,断层、破碎带未彻底处理,导致扬压力升高或深层渗漏。**结构衔接问题:** 混凝土坝与基岩接触不良产生接触渗流;新老防渗体(如扩建工程中心墙)衔接不严密,形成渗水通道。**压实与密实度不足:** 土料碾压不实、填料含杂质或土块未粉碎、分层碾压形成水平透水层,导致压实度不均和渗漏隐患。**变形缝处理失误:** 止水带安装偏移、焊接不严密或密封材料嵌填质量差,使变形缝成为渗漏高发区。

1.2 材料与结构问题。混凝土质量缺陷: 配合比不当、振捣不密实导致蜂窝空洞;温度应力、干缩或超载引发裂缝(贯穿缝、深层缝),形成渗水路径。**材料性能不足:** 选用透水性强的砂土或劣质止水材料(如高腐蚀环境误用橡胶),耐久性差加速老化渗漏。**结构设计不合理:** 排水系统缺失、反滤层失效或边坡坡度过陡,

导致渗水无法有效排出。

1.3 环境与外力影响。水文地质因素: 地下水位上升、长期高水位浸泡抬升浸润线,超出堤身抗渗能力;冻胀作用使土壤膨胀挤压混凝土结构。**生物破坏:** 蚁穴、鼠洞等生物活动在隐蔽处形成贯通的渗流通道。**化学腐蚀:** 农业化肥残留物长期积聚腐蚀渠道衬砌材料。**自然外力:** 地震、滑坡导致结构开裂,或极端天气(如持续暴雨)加剧渗漏风险。

1.4 管理与维护疏漏。后期养护缺失: 施工后缺乏专人维护,未及时处理初期渗漏,导致问题恶化;排水设施堵塞未清理。**监管不到位:** 施工中未严格执行质量标准,如机械设备不达标、偷工减料或分层接缝处理草率。

2 水利水电工程防渗技术定义分类

水利水电工程中的防渗技术,是通过人工干预措施阻断或减少水体在坝体、坝基、库区及输水渠道等结构中的渗透,保障工程安全稳定与水资源高效利用的关键技术体系。其核心目标是降低浸润线、控制渗流量、防止渗透变形(如流土、管涌),并减少水资源损失。

2.1 按功能与应用部位分类。坝体防渗,心墙/斜墙防渗体: 采用黏土、混凝土等低透水性材料在坝体中部(心墙)或上游面(斜墙)构筑连续屏障,黏土心墙顶厚 $\geq 3\text{m}$,底部厚度 \geq 作用水头的 $1/4$ 。**防渗墙:** 在坝体内浇筑混凝土或塑性混凝土连续墙,深度可达 158m (如西藏旁多坝)。**坝基与库区防渗,库区防渗:** 针对蓄水后库水通过岩体裂隙、溶洞向库外渗漏,分为暂时性渗漏(饱和岩体孔隙)和永久性渗漏(漏出库外)。**帷幕灌浆:** 向基岩裂隙注入浆液形成阻水幕,常用于坝基加固。**截水墙:** 嵌入基岩的垂直防渗结构,阻断深层渗流。**渠道防渗,衬砌防渗:** 采用混凝土、塑料薄膜、砌石等材料衬砌渠床,减少渗漏损失 $50\%\sim 90\%$ 。

压实法/化学法：通过机械压实渠床土壤或掺入化学材料增强其抗渗性。

2.2 按技术形态分类。防渗墙技术（主流技术），结构形式，槽孔型：分段开挖槽孔后浇筑混凝土成墙，应用最广。桩柱型：钻孔灌注混凝土桩并搭接成墙。混合型：结合槽孔与桩柱特点。成槽方法，钻劈法/钻抓法：适用于深厚覆盖层。射水法/锯槽法：高效建造薄墙（厚0.2~0.3m）。材料类型，钢筋混凝土墙：高强度抗渗，但弹性模量高易裂。塑性混凝土墙：柔性强，适应变形。自凝灰浆墙：简化施工流程。灌浆技术，帷幕灌浆：形成基岩防渗带。高压旋喷灌浆：通过旋喷桩构建防渗体。新型材料技术，聚脲涂层：喷涂成型，无缝防渗且耐腐蚀，适用于库盆、管道。多头深层搅拌水泥土墙：造价低、无污染，适用于黏土、砂土地层。

2.3 典型技术参数与选择原则。防渗墙深度：松散覆盖层中可达40m（锯槽法），基岩嵌固深度需依据岩性确定（如玄武岩中最大36.29m）。槽孔精度：孔斜率需 $\leq 4\%$ 。选择依据：需综合地质条件（透水性、地层结构）、渗漏风险等级及成本效益比，例如薄墙适用于低流速渠道，塑性混凝土墙适用于变形较大坝体。

3 水利水电工程物理防渗技术

水利水电工程中的物理防渗技术通过构建物理屏障阻断水的渗透路径，其核心原理是利用材料的低渗透性形成连续隔离层，减少或消除水体在结构中的渗漏。

3.1 物理防渗技术原理。屏障阻隔原理，通过致密材料（如混凝土、土工膜）形成连续物理屏障，阻断水体通过孔隙、裂隙的迁移路径。典型应用：防渗墙嵌入地基截断深层渗流通道，土工膜覆盖库区隔离水体与土壤。结构适配原理，柔性材料（如聚脲、膨润土毯）适应地基变形，避免因结构位移产生裂缝导致渗漏失效。

3.2 物理防渗特性。传统刚性材料，混凝土类，普通混凝土：渗透系数 $\leq 10^{-7}\text{cm/s}$ ，通过浇筑形成防渗墙或衬砌层，适用于坝体、渠道。塑性混凝土：掺膨润土提升柔韧性，弹性模量 $\leq 1000\text{MPa}$ ，适应坝体变形。黏土与沥青类，压实黏土：天然低透水性（渗透系数 $10^{-6}\sim 10^{-7}\text{cm/s}$ ），用于心墙防渗体。沥青混凝土：高温拌和碾压成型，渗透系数 $\leq 10^{-8}\text{cm/s}$ ，兼具柔性与抗渗性，适用于土石坝面板。合成柔性材料，土工膜系列，HDPE土工膜：高分子聚合物材质，渗透系数 $\leq 10^{-12}\text{cm/s}$ ，抗拉强度 $\geq 27\text{MPa}$ ，用于库盆、渠道衬砌。复合土工膜：HDPE膜与土工布复合，增强抗穿刺能力，适用于复杂地形防渗。特种涂层与卷材，聚脲涂层：喷涂后快速固化形成无缝弹性层，伸长率 $\geq 300\%$ ，耐紫外线，用于

渡槽、管道防渗。膨润土防水毯：钠基膨润土遇水膨胀形成胶体密封层，自适应填充裂隙，适用于河道、人工湖。混合结构材料，混凝土+土工膜复合层：渠道衬砌中先浇筑混凝土基层，再铺设土工膜，双重防渗且抗冲刷，关键参数与选型依据如表1。

表1 物理防渗参数与选型

材料类型	渗透系数(cm/s)	抗拉强度	适用场景
HDPE土工膜	$\leq 10^{-12}$	$\geq 27\text{MPa}$	库盆、垃圾填埋场
沥青混凝土	$\leq 10^{-8}$	抗压 $\geq 5\text{MPa}$	土石坝面板、渠道
膨润土防水毯	遇水膨胀后 $\leq 10^{-9}$	断裂强度 $\geq 10\text{kN/m}$	河道、人工湖
聚脲涂层	$\leq 10^{-14}$	拉伸强度 $\geq 20\text{MPa}$	输水管道、渡槽

3.3 质量控制与创新。接头与材料优化，接头管法提升连续墙完整性，塑性混凝土增强墙体柔韧性与变形适应性。智能监控，结合物联网传感与北斗系统，实现渗漏点精准定位（精度达0.5mm）及变形预警。寒区技术改良，XPS保温板与防冻胀混凝土复合结构，配合变形缝设计，有效抵御冻融破坏。

4 水利水电工程化学防渗技术

水利水电工程中的化学防渗技术通过化学反应生成堵塞物质或改变材料孔隙结构，阻断水的渗透路径，其核心原理与材料应用如下：

4.1 化学防渗技术原理。渗透结晶原理，活性化学物质（如硅酸根离子）随水渗入混凝土孔隙，与游离钙离子反应生成不溶性结晶（如硅酸钙凝胶），填充并封闭毛细孔道，提升结构密实度。结晶反应持续进行，具备自愈能力，可修复后期微裂缝。凝胶固化原理，化学灌浆材料注入裂隙后发生聚合反应（如丙烯酸酯单体交联），形成弹性凝胶体阻断渗流通道，适用于动水环境堵漏。通过控制催化剂比例调节凝胶时间（数秒至数小时），适应不同渗漏速度。膜分离阻渗原理，反渗透膜（如聚酰胺复合膜）利用选择性渗透机制，在压力驱动下阻挡水分子通过，实现高效水质净化与渗流控制。

4.2 主流化学防渗材料分类。水泥基渗透结晶材料（CCCW），成分：水泥基料+活性化学物质（含硅酸盐催化剂）。特性：与混凝土相容性好，结晶深度达30cm以上，抗压强度 $\geq 20\text{MPa}$ ，渗透系数 $\leq 10^{-10}\text{cm/s}$ 。应用：大坝裂缝修复、输水隧洞内衬防渗。化学灌浆材料，无机类，水玻璃-氯化钙浆液，瞬时胶凝固化，抗压强度 $\geq 15\text{MPa}$ ，地基涌水快速封堵。有机高分子类，丙烯酸酯灌浆材料，形成弹性凝胶体，伸长率 $\geq 200\%$ ，变形缝防渗。环氧树脂类，改性环氧浆液，粘结强度高（

≥ 5MPa), 耐化学腐蚀结构裂缝加固。复合型化学防渗膜, 反渗透膜: 聚酰胺复合薄膜, 脱盐率 ≥ 99%, 用于高纯度水质处理系统。化学改性土工膜: HDPE膜表面涂覆抗紫外线涂层, 延长户外使用寿命。技术选型要点, 裂缝特征适配: 细微裂缝 (< 0.2mm) 首选水泥基渗透结晶材料, 利用自愈性修复; 活动裂缝(如伸缩缝)需用柔性灌浆材料(丙烯酸盐类)适应变形。渗漏环境要求: 强酸/碱环境选用环氧树脂浆液防腐; 饮用水工程禁用有毒材料(如早期丙烯酰胺单体)。施工工艺控制: 渗透结晶材料需基面预湿, 保证活性物质迁移深度; 灌浆压力需低于结构承压极限, 防止二次损伤。化学防渗需与物理屏障技术(如防渗墙)协同使用, 以实现长效防渗目标。

5 水利水电工程生物防渗技术

5.1 生物防渗技术原理。根系-土壤协同加固原理, 植被根系(如乔木芦苇)穿透土壤形成三维网状结构, 增加土壤孔隙连通性与抗剪强度, 降低渗透速率。根系分泌物(多糖类黏结物)胶结土粒, 减少孔隙率, 提升表层土壤抗冲刷能力。微生物诱导矿化原理, 特定细菌(如巴氏芽孢杆菌)代谢产生脲酶催化尿素水解, 生成碳酸钙沉淀填充裂隙, 渗透系数可降至 10^{-7} cm/s量级。植被覆盖减渗原理, 地表植被(草皮、灌木)拦截降雨径流, 减缓水流对坡面的侵蚀, 间接降低渗漏风险。

5.2 生物防渗材料分类与特性。植物类材料, 深根型乔木, 杨树/柳树: 根系深度3-5m, 通过根固作用稳定岸坡, 适用于库区消落带防护。湿生草本植物, 芦苇/香蒲: 密集须根形成天然滤层, 截留泥沙减少孔隙, 用于河道护坡。草皮植被: 狗牙根、高羊茅等快速覆盖地表, 减少雨水入渗, 渗透系数降幅达30-50%。秸秆覆盖

层, 麦秆/稻草: 铺设于渠床表面, 短期分解改善土壤团粒结构, 成本低廉但耐久性差。微生物诱导材料, 巴氏芽孢杆菌+营养液: 注入地基裂隙后生成碳酸钙结晶, 填充孔径 > 0.05mm的渗漏通道。真菌菌丝网络: 丝状真菌分泌疏水性蛋白强化土体, 适用于砂质土层防渗加固。复合生物材料, 植物纤维土工毯: 椰壳纤维或秸秆编织成毯, 内置草种, 兼具即时覆盖与长期根系固土功能。技术应用要点, 深根乔木, 库岸/堤防护坡3-5年, 初期防渗效果弱。微生物矿化剂, 地基微裂隙修复, 7-30天, 仅适用于特定pH环境。草皮植被, 渠道表土防护, 2-3个月, 需持续维护。实施原则: 协同应用: 与物理防渗(如土工膜)结合, 植被覆盖保护膜材, 延长使用寿命; 生态适配: 选择本土植物确保存活率(如芦苇适应水位变动区); 监测维护: 定期检测根系发育状态与土壤含根量(理想含根量 > 0.8kg/m³)。

综上所述, 渗漏本质是水头差作用下液体通过岩土体空隙或结构缝隙流动的结果, 其成因多源于施工工艺缺陷、材料结构性弱点、环境侵蚀及管理疏漏的综合作用。需针对性采取防渗墙技术、灌浆加固、优化排水系统等措施, 并从设计、施工到养护全流程管控风险。

参考文献

- [1]杨辛.防渗技术在水利水电工程施工中的应用价值研究[J].四川水泥,2021,09:301-302.
- [2]黄兵.防渗技术在水利水电工程施工中的应用[J].珠江水运,2021,19:40-41.
- [3]李娟.试析水利水电工程施工中防渗技术的运用[J].居舍,2021,07:72-73.
- [4]梁宇.水利工程施工中防渗技术分析[J].四川水泥, 2020(5): 266.