

# 水利水电工程防渗施工技术研究

刘晶晶

黄河明珠水利水电建设有限公司 河南 三门峡 472000

**摘要:** 随着水利水电工程规模扩大, 防渗需求凸显。本文聚焦水利水电工程防渗施工技术展开研究。首先概述防渗施工技术相关内容, 接着详细阐述防渗墙、灌浆、复合土工膜、排水固结及智能化监测等关键技术。最后探讨其发展趋势, 包括新型防渗材料研发应用、智能化施工技术融入、环保型防渗技术推进以及防渗技术与工程数字化协同发展等方面, 旨在为提升水利水电工程防渗水平提供理论支持与实践参考, 保障工程安全稳定运行, 促进水利水电事业可持续发展。

**关键词:** 水利水电工程; 防渗施工; 关键技术; 发展趋势

引言: 水利水电工程作为国家重要的基础设施, 在防洪、灌溉、发电、供水等方面发挥着关键作用。然而, 渗漏问题一直是影响水利水电工程安全与稳定运行的突出难题, 不仅会造成水资源浪费, 还可能引发工程结构损坏, 威胁下游地区人民生命财产安全。防渗施工技术作为解决渗漏问题的核心手段, 其重要性不言而喻。随着科技的不断进步, 水利水电工程防渗施工技术也在持续创新与发展。深入研究这些技术, 把握其发展趋势, 对于提高工程质量、延长工程寿命、保障水资源合理利用具有至关重要的现实意义。

## 1 水利水电工程防渗施工技术的概述

(1) 水利水电工程防渗施工技术是保障工程安全稳定运行的关键所在。在水利水电工程中, 由于长期处于水环境中, 受到水的侵蚀、渗透压力等作用, 工程结构容易出现渗漏现象。渗漏不仅会导致水资源的无端浪费, 降低工程的经济效益, 更严重的是会引发工程结构的破坏, 如基础沉降、墙体裂缝等, 进而威胁整个工程的安全, 对下游地区的生命财产和生态环境造成巨大危害。因此, 防渗施工技术是防止渗漏发生、确保工程长期有效运行的重要保障。(2) 防渗施工技术具有多样性和针对性。根据不同的工程地质条件、水文情况以及工程结构特点, 需要采用不同的防渗施工方法。例如, 对于深厚覆盖层地基, 常采用防渗墙技术来阻断水流渗透通道; 对于混凝土坝体, 灌浆防渗技术则能有效填充裂缝, 提高坝体的防渗性能; 而在一些土石坝工程中, 复合土工膜防渗技术凭借其良好的防渗效果和施工便利性得到广泛应用。这些多样化的技术为解决不同工程中的防渗问题提供了丰富的选择。(3) 防渗施工技术是一个综合性的体系。它不仅涉及到具体的施工工艺和材料选择, 还与工程的设计、施工管理以及后期维护等环节紧

密相连。在施工过程中, 需要严格按照设计要求进行操作, 确保施工质量; 同时, 加强施工管理, 合理安排施工进度, 保证各工序之间的衔接顺畅<sup>[1]</sup>。

## 2 水利水电工程防渗施工的关键技术

### 2.1 防渗墙施工技术

(1) 成槽工艺选择与实施是防渗墙施工的关键起点。针对不同地质条件, 需精准匹配成槽方法。在坚硬岩层或密实砂砾层中, 冲击钻进法凭借冲击器的高频冲击破碎岩土, 配合泥浆护壁形成稳定槽孔, 能有效应对复杂地层; 而在软土或砂层中, 液压抓斗成槽法通过抓斗的张开与闭合动作, 快速挖掘土体, 施工效率高且槽壁垂直度易控制。成槽过程中, 需实时监测槽深、槽宽及垂直度, 确保槽孔几何尺寸符合设计要求, 为后续施工奠定基础。(2) 墙体材料配制与浇筑直接影响防渗墙性能。混凝土作为常用材料, 需严格把控其配合比, 通过调整水泥用量、砂率及外加剂掺量, 优化混凝土的流动性、和易性与抗渗性。浇筑时, 采用导管法自下而上连续浇筑, 控制导管埋深在1-6m之间, 避免混凝土离析或夹泥, 确保墙体结构密实。对于特殊工程需求, 还可采用塑性混凝土, 其弹性模量低、适应变形能力强, 能有效减少因地基沉降导致的墙体开裂风险。(3) 施工质量控制与检测贯穿防渗墙施工全过程。施工过程中, 需对泥浆性能、槽壁稳定性等关键指标进行动态监测, 及时调整施工参数。成墙后, 通过钻孔取芯、压水试验等方法检测墙体完整性、强度及渗透系数, 确保防渗墙满足设计防渗标准, 为水利水电工程长期稳定运行提供可靠保障。

### 2.2 灌浆防渗技术

(1) 灌浆材料的选择与配制是灌浆防渗的基础。根据工程地质条件、渗漏特性及防渗要求, 需精准挑选合

适的灌浆材料。水泥基灌浆材料具有强度高、耐久性好等优点，适用于岩体裂隙灌浆；化学灌浆材料如环氧树脂、聚氨酯等，具有黏度低、可灌性好、凝固时间可调等特点，能深入微细裂隙，有效封堵渗漏通道。配制时，需严格按照设计配合比，精确控制各组分用量，确保灌浆材料性能稳定，满足防参与加固双重需求。

(2) 灌浆工艺的合理运用至关重要。常见的灌浆方法有纯压式灌浆和循环式灌浆。纯压式灌浆适用于渗透系数较小、吸浆量不大的地层，通过高压将浆液直接压入裂隙；循环式灌浆则能在灌浆过程中使浆液在孔内循环流动，避免沉淀，适用于吸浆量大、地质条件复杂的地层。施工过程中，需根据实际情况灵活调整灌浆压力、灌浆速度等参数，确保浆液充分填充裂隙，形成连续的防渗帷幕。(3) 灌浆效果检测与质量控制不可或缺。灌浆结束后，采用压水试验、声波测试等方法检测灌浆区域的渗透系数、强度等指标，评估防渗效果。若检测结果不达标，需及时分析原因，采取补灌等措施进行处理。同时，建立完善的质量控制体系，对灌浆材料、施工工艺、检测结果等进行全程记录与监控，确保灌浆防渗施工质量可靠。

### 2.3 复合土工膜防渗技术

(1) 材料特性与选型是复合土工膜防渗技术的基础。复合土工膜由土工膜与土工织物通过热复合或粘结工艺组合而成，兼具土工膜的防渗性能和土工织物的加筋、反滤、保护功能。其土工膜部分通常采用聚乙烯(PE)、聚氯乙烯(PVC)等高分子材料，具有化学稳定性好、抗老化、耐腐蚀等特性；土工织物则多为聚酯纤维或聚丙烯纤维制成，能增强复合土工膜的抗拉强度、抗穿刺能力。选型时，需根据工程所处环境(如水温、水质、紫外线强度等)、防渗要求及地基条件，合理选择膜材类型、厚度和织物规格，确保材料性能满足工程需求。(2) 施工工艺的精准把控直接影响防渗效果。施工前，需对基面进行平整、压实处理，清除尖锐物，防止刺破复合土工膜；铺设时，应保持膜面平整，避免褶皱，相邻膜块间采用热熔焊接或胶粘连接，确保焊缝强度不低于母材强度；回填土方时，需分层对称填筑，控制填筑速度和压实度，防止土工膜因局部受力不均而损坏。(3) 质量检测与维护管理是保障长期防渗性能的关键。施工完成后，采用充气法、真空法等检测焊缝质量，对不合格部位及时修补；运行期间，定期检查土工膜表面状况，清理杂物，修复破损部位，防止渗漏扩大，确保复合土工膜防渗体系长期稳定运行。

### 2.4 排水固结技术

(1) 技术原理与核心目标是排水固结技术的基础。该技术基于土体在荷载作用下，孔隙水逐渐排出、孔隙体积减小，从而产生固结变形的原理。其核心目标是通过加速土体中水分的排出，使土体提前完成固结沉降，提高地基强度和稳定性，减少工程运营期间因地基沉降引发的渗漏及结构破坏风险，为水利水电工程防渗提供稳定的地基条件。(2) 排水系统的合理布置至关重要。排水系统通常由水平排水体和垂直排水体组成。水平排水体一般采用砂垫层，其厚度和宽度需根据土体渗透性和排水需求确定，确保能快速收集并排出孔隙水；垂直排水体常用塑料排水板或砂井，通过打设设备将其插入地基中，缩短排水路径，加速固结过程。布置时，需根据工程规模、地基不均匀性等因素，合理确定排水体的间距和深度，保证排水效果均匀有效。(3) 加载控制与效果监测不可或缺。加载过程需遵循“分级加载、循序渐进”的原则，根据地基固结程度和强度增长情况，逐步增加荷载，避免因加载过快导致地基失稳。同时，通过埋设孔隙水压力计、沉降板等监测设备，实时掌握地基固结过程中孔隙水压力消散和沉降发展情况，为调整加载速率和评估固结效果提供依据，确保排水固结技术达到预期防渗加固目标。

### 2.5 智能化监测技术

(1) 技术架构与功能定位是智能化监测技术的基础。该技术以传感器网络、数据传输系统与智能分析平台为核心架构，通过分布式布置高精度传感器，实时采集水利水电工程防渗体系的渗漏量、渗压、变形等关键参数，并依托无线通信或光纤网络将数据传输至云端或本地服务器。其功能定位在于实现防渗状态的动态感知与风险预警，突破传统人工监测的时效性与精度限制，为工程安全运行提供数据支撑。(2) 多源数据融合与智能分析是技术应用的关键环节。监测系统需整合土石坝渗流场、混凝土结构应力应变、地下水水位变化等多维度数据，通过机器学习算法构建渗漏预测模型，识别异常渗漏模式。例如，利用时序分析法挖掘渗压数据的周期性规律，结合深度学习模型对裂缝扩展趋势进行预判，实现从“被动监测”向“主动防控”的转变。同时，通过数字孪生技术构建工程虚拟模型，实时映射物理实体状态，辅助决策层制定针对性维护策略。(3) 自适应校准与长效运维机制保障技术可靠性。针对传感器受环境侵蚀、数据漂移等问题，需嵌入自诊断模块，定期评估设备健康状态，并通过远程校准技术修正测量误差。此外，建立基于区块链的数据存证系统，确保监测数据的不可篡改性可追溯性，为工程全生命周期管理提供可

信数据源<sup>[2]</sup>。

### 3 水利水电工程防渗施工技术的发展趋势

#### 3.1 新型防渗材料的研发与应用

新型防渗材料正朝着高性能、多功能化和长寿命方向发展。石墨烯改性材料通过纳米技术增强抗拉强度与耐久性，在极端环境下展现优异防渗性能；生物基聚合物如玉米淀粉衍生物加速研发，部分企业已实现小规模应用，未来或成降本突破口。自修复材料通过微胶囊修复体系或纳米颗粒填充裂缝，实现24小时内自动愈合，延长工程寿命至30年以上。复合型材料如土工膜与土工布结合、聚合物与水泥基复合，兼具防渗、抗裂、耐化学腐蚀等多重功能，适用于高水压、复杂地质条件。此外，光伏一体化防水材料需求激增，TPO等耐候性卷材占比提升至30%，推动材料向低碳化转型。

#### 3.2 智能化施工技术在防渗工程中的应用

智能化施工通过物联网、数字孪生与AI算法重构防渗工程全流程。高精度传感器实时监测渗压、变形等参数，结合5G通信实现数据低时延传输，AI算法分析裂缝扩展模式，提前6—12个月预测渗漏风险。自主巡检机器人集成视觉、激光雷达与红外传感器，在复杂地形下24小时不间断作业，缺陷识别准确率达99.5%。智能混凝土浇筑系统根据温度、湿度自动调整配比，减少裂缝风险；无人机巡检搭载热成像仪，快速定位渗漏点并生成修复方案。数字孪生平台构建工程全生命周期虚拟模型，支持故障预警、能耗优化与应急调度，技术指标达国际先进水平，推动施工从“被动响应”向“主动预防”转变。

#### 3.3 环保型防渗技术的发展

环保型防渗技术聚焦材料全生命周期碳足迹管控。水性涂料、无溶剂型卷材等环保材料供给比例显著增加，部分落后产能被淘汰；生物基橡胶卷材占比达15%，碳排放较传统产品减少40%。再生沥青利用率提升至20%，光伏一体化材料碳排放降低50%，推动行业向“生态友好”转型。施工环节采用低噪音、低排放设备，减少粉尘与废水污染；膨润土防水毯等自愈材料通过吸水膨胀修复微裂缝，降低维护成本与资源消耗。此外，生

态修复技术如人工湿地净化水质、基因编辑培育耐盐碱植物，与防渗工程协同提升生态系统自我修复能力，实现“工程防渗”与“生态保护”双赢。

#### 3.4 防渗技术与工程数字化协同发展

防渗技术与工程数字化深度融合，构建“设计-施工-运维”一体化生态。BIM技术实现防渗结构三维建模，结合AR技术辅助现场作业，误差率降至0.1%以下；区块链技术确保水权流转与防渗材料溯源数据不可篡改，提升供应链透明度。智能管理平台集成物联网监测数据，通过AI算法优化施工路径与材料配比，减少30%材料浪费；数字孪生模型模拟不同气候场景下的渗漏风险，动态调整防渗帷幕压力，提升工程安全性。此外，5G+边缘计算打破数据孤岛，实现全产业链信息互通，设计院、施工单位与运维方协同决策效率提升40%。未来，防渗工程将向“元宇宙”延伸，通过虚拟现实技术构建沉浸式施工环境，推动行业向高效、精准、可持续方向转型<sup>[3]</sup>。

#### 结束语

水利水电工程防渗施工技术是保障工程安全、稳定与长效运行的核心环节。随着新型材料研发、智能化技术渗透、环保理念深化及数字化协同推进，防渗技术正从单一功能向系统集成、从被动修复向主动防控、从资源消耗向绿色低碳加速转型。未来，需持续聚焦材料创新与多技术融合，强化全生命周期数字化管理，构建“技术-生态-经济”协同发展模式。唯有以科技创新为驱动，以可持续发展为导向，方能筑牢水利水电工程的“安全堤坝”，为全球水资源治理与生态文明建设提供坚实支撑，助力行业迈向更高水平的智能化、绿色化与韧性化新阶段。

#### 参考文献

- [1]郭俊利.水利水电建筑工程防渗堵漏的施工要点及施工技术探讨[J].工程技术研究,2020,5(03):273-274.
- [2]钟炳福.水利工程防渗处理施工技术的应用探讨[J].门窗,2021(15):193-194.
- [3]景翠翠.水利工程堤防防渗施工技术探讨[J].现代物业(中旬刊),2021(09):229.