

水利工程施工中新型防渗技术应用效果评估

张志坚

长江河湖建设有限公司, 湖北 武汉 430074

[摘要]通过引入创新型防渗技术优化水利工程关键施工环节,采用高分子复合防渗膜、膨润土防水毯及纳米材料注浆工艺,显著提升防渗结构的整体密封性与稳定性,施工过程中结合地质勘查数据实施分层分区设计,确保防渗材料与地基条件的适配性,并依托智能监测系统实时追踪渗漏动态,实现精准控制与动态调整,与传统防渗方法相比,新技术在缩短施工周期、增强防渗效能、降低维护频率等方面优势显著,尤其在高压水环境及复杂地质条件下表现出良好的适应性与经济性,为提升水利工程运行安全性和延长服役周期提供了坚实的技术保障。

[关键词]新型防渗技术; 高分子复合膜; 纳米注浆; 渗漏监测; 水利工程施工

DOI: 10.33142/hst.v8i8.17364

中图分类号: TV44

文献标识码: A

Evaluation of the Application Effect of New Anti-seepage Technology in Water Conservancy Engineering Construction

ZHANG Zhijian

Changjiang River and Lake Construction Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430074, China

Abstract: By introducing innovative anti-seepage technology to optimize the key construction links of water conservancy projects, using polymer composite anti-seepage membranes, bentonite waterproof blankets, and nano material grouting technology, the overall sealing and stability of anti-seepage structures are significantly improved. During the construction process, geological exploration data is combined to implement layered and zoning design to ensure the adaptability of anti-seepage materials to foundation conditions. With the support of intelligent monitoring systems, real-time tracking of leakage dynamics is achieved to achieve precise control and dynamic adjustment. Compared with traditional anti-seepage methods, the new technology has significant advantages in shortening the construction period, enhancing anti-seepage efficiency, and reducing maintenance frequency. Especially in high water pressure environments and complex geological conditions, it shows good adaptability and economy, providing solid technical support for improving the safety of water conservancy project operation and extending the service life.

Keywords: new anti-seepage technology; polymer composite membrane; nano grouting; leakage monitoring; hydraulic engineering construction

引言

随着水利工程建设规模的持续扩大与运行环境的复杂化,传统防渗技术逐渐难以满足现代工程对安全耐久性的严苛要求,新型防渗技术的不断创新与应用,为解决渗漏风险、提升工程质量开辟了新路径,通过先进材料体系与智能监测手段的有机融合,不仅优化了施工工艺,更在增强防渗性能、适应复杂地质条件等方面展现出显著突破,成为推动水利工程技术升级的核心方向之一。

1 新型防渗技术的原理与分类

1.1 高分子复合材料防渗原理

高分子复合防渗材料以聚乙烯(PE)、聚氯乙烯(PVC)等高分子聚合物为基体,复合无纺布或编织布增强层,构成柔韧的复合膜结构,其防渗核心在于高分子链段紧密排列形成的致密网络,通过物理阻隔显著削弱水分子扩散能力,同时兼具优异的耐腐蚀、抗老化及延展特性,在水利工程应用中,通常将其铺设于渠道、堤坝或水库基底,借助热熔焊接或专用胶黏剂实现接缝密封,构建连续完整的

防渗屏障,这种技术凭借施工简便、适应性强的特点,尤其适用于大面积、地形复杂的防渗区域。

1.2 膨润土防水毯(GCL)防渗机制

膨润土防水毯由天然钠基膨润土颗粒夹置于两层土工织物间,经针刺或黏结工艺复合而成。其防渗效能源于膨润土遇水后产生的膨胀特性:当接触水分,膨润土颗粒迅速吸水膨胀数倍,形成具有极低渗透性的凝胶体,有效阻断水流通路,相较于传统黏土防渗层,膨润土防水毯具有厚度薄、渗透系数低、运输铺设便捷等优势,特别适用于地基承载能力有限或工期紧张的工程场景。

1.3 纳米注浆技术的渗透封堵原理

纳米注浆技术采用粒径处于几十至几百纳米量级的高活性材料,通过高压灌注方式渗入地基裂隙或孔隙,这些纳米材料凭借极小粒径与高表面活性,能够快速扩散至细微结构缺陷处,在水化反应与膨胀作用下形成致密结晶,从微观层面封堵渗透路径,纳米颗粒的强渗透能力使其可深入传统材料难以抵达的微小缝隙,并通过固化反应生成

不透水的阻隔层,显著提升结构防渗性能,该技术特别适用于老旧水利工程渗漏修复,以及喀斯特地貌、断层破碎带等特殊地质条件下的防渗加固,具备施工扰动小、修复精度高、可控性强的显著优势。

1.4 新型防渗技术的系统分类

基于水利工程实际应用场景,新型防渗技术可系统划分为材料革新类、结构优化类与智能监测集成类三大体系,材料革新类聚焦高性能防渗材料研发,涵盖高分子复合膜、膨润土防水毯、纳米注浆材料等;结构优化类通过复合防渗层设计、反滤-排水系统协同构建等手段,提升防渗结构整体性能;智能监测集成类则依托传感器网络与物联网技术,实现渗压、水位、结构变形等关键参数的实时监测与风险预警,多种技术协同应用,形成“主动预防+被动治理”的全链条防渗方案,充分体现现代水利工程对高效、安全、可持续防渗体系的创新追求。

2 防渗技术在水利工程中的施工工艺与应用实例

2.1 高分子复合防渗膜施工工艺与工程应用

高分子复合防渗膜施工遵循“基面预处理-膜体铺设-接缝焊接-防护层施工”的标准化流程,施工前需对基面进行平整处理,清除尖锐物并确保干燥,防止膜材破损;铺设时合理控制膜体张力,预留热胀冷缩空间,采用热熔焊接技术实现接缝的气密与水密;最后覆盖防护层,隔绝紫外线与外力破坏,该工艺技术成熟、适用性强,适合大面积连续作业,但对施工组织协调与复杂环境应对能力要求较高。在大型灌区输水渠道、水库坝基及人工湖防渗工程中,高分子复合膜技术得到广泛应用。通过创新的热合连接工艺与边缘锚固设计,技术实现了长距离连续防渗,有效降低水体渗漏损耗,显著提升工程运行安全性与水资源利用效率,特别适用于复杂地质条件下对防渗性能要求严格的水利工程项目。

2.2 膨润土防水毯在复杂地基条件下的应用

膨润土防水毯施工主要包括毯体展铺、边缘搭接、压实固定与覆盖保护环节,铺设时需顺应地形走势,搭接宽度控制在15~30cm,采用黏结剂或热处理强化密封效果;基层平整是施工质量的关键,需避免凸起物刺穿毯体,且铺设后应及时覆土,防止膨润土提前水化。

三峡库区支流整治工程中,在淤泥质软基、岩溶发育等复杂地质区域,膨润土防水毯成功替代传统黏土防渗层,大幅减少土石方工程量与运输成本,缩短工期,同时凭借其良好的柔韧性与可塑性,显著提升非规则区域的防渗效果,展现出优异的经济性与地质适应性。

2.3 纳米注浆防渗加固在老旧工程中的修复实践

纳米注浆防渗修复分为渗漏检测定位、钻孔布点、浆液配制、高压灌注与养护固化五个阶段,施工前需精准定位渗漏点,科学布设注浆孔网;灌注过程中实时监测压力与流量参数,严格控制注浆速率,避免土体扰动;养护期内(24~72h)纳米材料完成水化反应,形成致密防渗结晶层。

某南方城市涵洞改造工程中,纳米注浆技术被应用于

老旧混凝土衬砌渗漏修复,该技术无需开挖、对周边环境扰动小,尤其在夜间限时施工条件下,实现了高效精准的防渗加固,为城市水利设施更新提供了创新技术方案。

2.4 防渗技术集成应用的典型工程案例

现代水利工程正加速向多技术融合的集成化防渗体系转型,通过材料特性互补、结构功能协同与信息化技术深度融合,全面提升工程防渗效能,以渠道防渗工程为例,在渠道底部采用高分子复合膜构建核心防渗屏障,利用其优异的隔水性能与抗穿刺能力阻断水体下渗;两侧边坡则根据地质条件选用膨润土防水毯或纳米注浆技术进行加固,前者凭借遇水膨胀特性适应边坡变形,后者通过纳米材料的高渗透封堵能力强化薄弱区域。

在西北某大型跨区域引水工程中,项目团队面临裂隙岩层发育、承压水压力高、干旱气候加速材料老化等多重挑战,针对复杂工况,创新性地集成“高分子复合膜+纳米注浆+智能感知系统”技术方案:采用高分子复合膜铺设主防渗层,形成第一道隔水防线;对裂隙发育区域实施纳米注浆加固,填充细微渗水通道;同步构建智能监测网络,实时采集渗压、位移、温湿度等数据。

3 防渗效果评估指标体系与性能对比分析

3.1 防渗效果评估的核心技术指标体系

科学评估防渗技术效果需构建涵盖多维度的量化指标体系,核心参数包括渗透系数、接缝密封性能、水头损失率、防渗层完整性及服役寿命等,渗透系数作为衡量材料抗渗性能的关键指标,其数值越小表明材料阻水能力越强;接缝密封性能直接影响防渗层的整体密闭性,尤其对高分子复合膜等拼接类材料的施工质量起决定性作用;水头损失率通过监测输水过程中的水位变化,间接反映渗漏程度,是工程运行阶段的重要监测依据。

此外,耐久性评估指标体系还需纳入机械强度、化学稳定性、抗老化性能等参数,实际工程中,通常采用实验室模拟试验与现场原位测试相结合的方式,系统采集不同工况下的性能数据,建立动态监测模型,为防渗技术选型、施工质量控制及运维决策提供科学依据。

3.2 不同防渗材料性能对比分析

当前水利工程应用的新型防渗材料各具技术优势与适用场景,以高分子复合膜、膨润土防水毯和纳米注浆材料为例,其物理力学性能、施工适应性及耐久性存在显著差异。如表1所示。

表1 三种主流材料的典型性能对比

指标项目	高分子复合膜	膨润土防水毯	纳米注浆材料
渗透系数 (cm/s)	10-9~10-11	10-7~10-9	≤10-11
施工便捷性	高	中	中-高
材料柔性	强	强	弱
对地基适应性	中-强	强	强
使用寿命	20~30 年	10~15 年	≥30 年(视注浆材)

从数据表可知,高分子膜呈现出极低的渗透系数和不错的柔性,适配铺设类相关工程;在地基与形状适应方面,膨润土毯表现十分突出;在封堵深层裂隙与实现长期耐久性上,纳米注浆优势突出。

3.3 渗漏监测与评估技术手段

现代水利工程多配备渗漏监测系统以动态评估防渗效果,常见技术包含静力水压监测、土体含水率传感、渗流计量及光纤分布式温度传感(DTS)等。以大型水库坝体为例,通过多点布置渗压计与温度传感装置,可实时追踪坝基渗流变化趋势并对潜在薄弱区域及时处置,数据驱动的动态评估模式促使防渗效果评估从“事后分析”转向“全周期监控”,为工程高标准运行提供有力支撑。

3.4 防渗技术经济性与效能比对

评估防渗技术的经济性与效能需综合考量材料采购成本、施工周期、人工投入、维护频率及长期运行可靠性,高分子复合膜材料成本适中且施工便捷、周期较短,适用于大面积工程,但对地基平整度与铺设工艺要求较高,增加了现场管理成本;膨润土防水毯对复杂地形适应性强、施工灵活,但若未及时覆土保护,易因预先吸水导致性能下降;纳米注浆技术初期投资较高且需专业设备施工,却在处理深层渗漏与老旧结构修复中优势显著,后期维护需求低,生命周期效益更优。

“经济性-效能”双坐标分析法常被用于实现防渗方案优化配置,该方法以单位面积年均维护成本与渗漏削减量为核心指标构建评估矩阵,对多种方案进行可视化对比,既有助于量化不同技术的投入产出比,又能兼顾短期建设目标与长期运维效益,确保防渗技术在实际工程中同时达成经济合理性与技术先进性。

4 提升防渗技术应用成效的优化路径与发展趋势

4.1 完善施工标准与质量控制体系

防渗效果的可靠性不仅依赖材料性能,更需施工环节的规范化与标准化,提升施工成效需从基层处理、材料铺设、接缝处理至复合结构压实保护的全流程建立统一的施工技术标准与操作规范,对施工关键节点设定验收指标并强化过程质量控制与责任追溯机制,为防渗层长期稳定运行奠定基础。同时,应加强施工人员技术培训与现场质量监督,引入第三方检测机制对渗透系数、密封质量等核心指标进行实测核验。

4.2 推进防渗材料智能化与绿色化发展

材料性能提升是防渗技术进步的核心驱动力,未来研发应聚焦智能响应型与环保型绿色防渗材料,如具备自愈功能的高分子膜可在微裂缝出现后自动封堵渗水通道,含感知功能的复合材料可实现渗漏实时预警,显著提升安全水平。

材料绿色化亦成为重要趋势,通过引入可降解高分子、生物基原料及低碳制造工艺,可减少对环境的负面影响并

提升防渗系统生态友好性,新型防渗材料研发需兼顾功能多样化、环境适应性与可持续性,助力构建绿色高效的水利防护体系。

4.3 构建防渗系统智能监测与信息反馈机制

防渗层运行状态的实时监测与反馈是实现长效防控的关键,需推动基于物联网与传感技术的防渗信息系统建设,布设渗压传感器、变形监测器与温湿感应元件,实现防渗系统的可视化、数据化与远程监控管理。

借助大数据分析 with 人工智能算法建立防渗风险评估模型,可对渗漏趋势进行预测预警并辅助维修决策制定与技术选型,同时将监测结果纳入工程运维管理平台,实现防渗结构状态全生命周期跟踪,为防渗技术成效评估与优化提供科学依据和数据支撑。

4.4 探索多技术融合与区域化定制策略

针对不同地质、水文与气候条件,应推动“高分子膜+膨润土毯+注浆技术”等多种防渗技术融合使用,依据地形地质差异实施分区分层差异化设计,提升整体系统综合防渗能力。此外,防渗技术需向区域化、精细化方向发展,结合水利工程所在区域的生态环境敏感性、经济承受能力与运行管理模式,制定适配性强的个性化解决方案,构建多维一体、因地制宜的防渗应用策略,将成为未来水利工程建设高质量发展的重要支撑路径。

5 结语

新型防渗技术在水利工程施工中的应用突破了传统工艺局限性,在提升工程安全性、耐久性与生态友好性方面成效显著,通过多类型高性能材料集成应用,配合智能监测与系统化管理,实现了防渗结构的精准构建与高效运行,实践表明,科学选型、规范施工、持续监测与区域适配是保障防渗效果的关键环节,未来,需持续推动技术融合创新与标准体系建设,完善防渗系统全生命周期管理,为水利工程高质量发展提供坚实技术支撑。

【参考文献】

- [1]陈昱奇,苗芳野.农田水利工程施工中渗水原因及防渗技术[J].新农业,2024(12):68-69.
- [2]刘铭瑞.水利工程施工中的混凝土防渗墙施工技术[J].建材发展导向,2025,23(6):55-57.
- [3]徐毅峰,梁汶汉.水利工程防渗技术的前沿探讨与工程实践[J].城市建设理论研究(电子版),2025(4):202-204.
- [4]王小莉,李亚荣.防渗技术在水利工程施工中的应用分析[J].水上安全,2025(6):157-159.
- [5]李联河.水利工程施工中渗水原因及防渗技术研究[J].水上安全,2024(23):169-171.

作者简介:张志坚(1987.8—),男,毕业院校:河海大学,学历:本科,所学专业:港口航道与海岸工程,当前就职单位:长江河湖建设有限公司,职务:项目副经理,职称级别:中级。