

Research on leakage problem and prevention and control technology

Biao Gong

Leye County Water Resources Bureau, Baise, Guangxi, 533000, China

Abstract

Water conservancy project is an important part of national infrastructure construction, and leakage problem, as the most common disease type, has become an important hidden danger threatening engineering safety; structural leakage caused by construction defects and material aging, foundation leakage caused by geological conditions, and crack leakage caused by external load are the most common types of leakage. This paper discusses the adverse effects of leakage on engineering structure durability, foundation soil stability and water resources utilization efficiency, mainly expounds the application of polymer anti-seepage material, grouting and seepage control technology innovation and intelligent monitoring and early warning system based on optical fiber sensing research progress, puts forward new optimization direction for engineering seepage control ability.

Keywords

water conservancy project; leakage problem; seepage control measures

水利工程常见问题及防控技术研究

龚彪

乐业县水利局, 中国 · 广西 百色 533000

摘要

水利工程是国家基础设施建设的重要组成部分, 而渗漏问题作为其最普遍的病害类型, 已成为威胁工程安全的重要隐患; 施工缺陷与材料老化引起的结构渗漏、地质条件导致的基础渗漏、外部荷载造成的裂缝渗漏是最常见的渗漏类型。本文系统探讨了渗漏对工程结构耐久性、地基土体稳定性和水资源利用效率的不利影响, 重点阐述了高分子防渗材料的应用、灌浆防渗技术的创新以及基于光纤传感的智能化监测预警系统研究进展, 为工程防渗能力提出了新的优化方向。

关键词

水利工程; 渗漏问题; 防控措施

1 引言

随着社会经济快速发展, 中国水利工程建设规模不断扩大, 工程安全运行面临着严峻挑战。渗漏作为水利工程最普遍的病害类型, 不仅影响工程功能发挥, 更可能诱发严重的安全事故。统计数据显示, 近年来因渗漏引发的水利工程事故呈上升趋势, 已成为威胁工程安全的重要隐患。本文在深入分析水利工程渗漏成因的基础上, 系统探讨渗漏对工程结构和运行安全的危害, 重点阐述新型防渗材料、灌浆技术和监测预警等关键技术的创新发展, 以期为提高水利工程防渗能力、保障工程安全运行提供理论指导和技术支持。

2 水利工程常见的渗漏问题分析

2.1 施工缺陷与材料老化引起的结构渗漏

水利工程建设过程中的施工质量控制与材料选用直接

影响工程整体性能。施工管理不到位、技术工艺不规范等因素导致工程结构存在众多隐蔽的施工缺陷, 主要包括混凝土密实度不足、冷缝处理不当、止水施工不严密等。这些施工缺陷为渗漏埋下隐患, 在水利工程投入使用后, 持续的渗流水压力作用使缺陷不断扩大, 最终造成结构开裂渗漏。水工建筑材料在长期服役过程中发生的老化退化问题更加严重, 如混凝土碳化深度不断增加、钢筋锈蚀程度持续加重、结构裂缝逐步扩展、混凝土强度显著降低等。材料性能劣化导致原本致密的结构逐渐疏松多孔, 成为渗漏事故的高发区域。大坝坝体、溢洪道面板、输水隧洞衬砌等关键部位出现的结构渗漏, 直接危及工程安全稳定运行。施工缺陷与材料老化的双重作用, 使得水利工程结构渗漏问题日益突出, 成为工程维护的重大难题。结构渗漏不仅降低了工程使用性能, 还可能引发连锁反应, 导致工程功能丧失, 严重制约工程效益的发挥^[1]。

2.2 地质条件与施工工艺导致的基础渗漏

水利工程基础所处的地质环境存在诸多不利因素, 岩

【作者简介】龚彪 (1993-), 男, 中国广西百色人, 本科, 助理工程师, 从事水利工程研究。

溶发育、构造破碎带分布广泛等复杂地质条件，给基础防渗带来极大挑战。渗透性强的砂砾层、裂隙发育的岩体为渗流提供了天然通道，在上部建筑物自重及外荷载作用下，基础渗漏问题逐步显现。基础渗漏还表现为局部渗漏量过大、渗流通道持续扩展、渗透压力持续升高等现象。岩溶塌陷、管涌等渗透破坏现象更为严重，直接威胁着枢纽工程的整体稳定性。地质条件的复杂性增加了基础防渗设计与施工难度，如砂砾石地基防渗墙施工中常见槽壁坍塌、接头渗漏等问题；溶洞发育区进行帷幕灌浆时则面临着灌浆效果差、封闭不完全等难题。地基岩土体的非均质性导致渗流路径复杂多变，渗漏问题难以准确预测和有效控制。基础渗漏还可能导致地基承载力下降、地表沉降加剧、边坡稳定性降低等次生灾害，造成的工程事故频发，已成为制约水利工程安全运行的重要因素。

2.3 外部荷载与温度变化造成的裂缝渗漏

水利工程在运行过程中不可避免地受到各种复杂外部荷载的影响，包括地震、爆破、不均匀沉降等。当作用于结构的荷载超过自身承载能力时，极易引发裂缝的产生与扩展。裂缝贯穿结构后，在持续的渗流水压力作用下不断发展，最终形成严重的渗漏通道。自然环境中的昼夜温差与季节性温度波动导致混凝土内外温度梯度显著，温度应力的反复作用引起表面和内部裂缝的产生。大体积混凝土结构、高边坡支护结构等构筑物对温度裂缝特别敏感，一旦出现贯通性裂缝，将直接威胁工程安全。外部荷载引起的结构变形还可能导致止水带断裂、接缝开裂等问题，进一步加剧渗漏。混凝土坝、堆石坝、边坡防护等建筑物的裂缝渗漏已成为安全运行的主要风险因素。复杂的荷载条件和温度变化使得裂缝发展规律难以掌控，大幅增加了渗漏防治难度，严重影响工程运行安全和使用寿命^[2]。

3 渗漏对水利工程的危害

3.1 渗漏引发的工程结构耐久性降低分析

长期渗漏是导致水利工程结构性能退化的主要诱因。渗流水对混凝土的化学侵蚀作用会引起水化产物分解、骨料溶蚀等一系列破坏，使混凝土强度降低、孔隙率增大，最终导致结构耐久性大幅下降。对于钢筋混凝土结构，渗漏水还会加速钢筋锈蚀进程，锈胀引起保护层开裂、剥落，严重削弱结构的整体性和承载能力。同时，渗漏引发的湿润环境亦为混凝土碱集料反应、冻融侵蚀等劣化机理提供了条件。在渗漏—劣化的恶性循环作用下，建筑结构承受各种不利因素侵袭的能力逐渐丧失，最终导致工程使用寿命难以保证。因此，揭示渗漏引发结构耐久性降低的内在机制，对指导工程结构的优化设计与长效维护具有重要意义。

3.2 渗透冲刷造成的地基土体破坏机理

渗流水对建筑结构的影响不仅限于直接的消极作用，更在于其渗透作用对地基土体的潜在破坏。当渗透水动力超

过土颗粒的抗冲刷能力时，细颗粒土壤会被水流携带并迁移，导致土体孔隙率显著增大，密实度和强度随之大幅降低；而当渗透坡降突破土体的临界值时，将诱发流土、管涌等一系列严重的渗透破坏现象，进一步削弱地基土体的承载能力。地基土体强度的丧失，直接威胁到上部结构的稳定性，导致不均匀沉降、倾斜等病害频发，严重威胁工程的整体安全。特别是在地基存在溶洞、采空区等不良地质条件的情况下，渗透冲刷造成的破坏尤为显著；渗流水的长期冲刷不仅会使溶洞范围不断扩大，还会导致采空区顶板失稳坍塌，进而引发地基的整体失效。因此，深入揭示渗透冲刷引起地基土体破坏的演化机理，对于科学指导水利工程基础防渗设计与加固处理，确保工程长期安全稳定运行具有深远意义^[3]。

3.3 渗漏导致的水资源浪费与经济损失

渗漏问题所造成的水资源浪费现象不容忽视，它已成为制约水资源高效利用的关键因素之一。据统计，中国每年因水利工程渗漏而损失的水量惊人，高达数百亿立方米，这无疑进一步加剧了中国水资源供需紧张的矛盾。渠道、水库等重要的输配水建筑物存在的大量漏损问题，不仅直接影响了灌区农田的灌溉保证率，给农业生产带来了严重的负面影响；而且城市供水管网的跑冒滴漏现象也时常发生，可能引发区域性的供水短缺，严重威胁到居民的正常生活用水。水资源的无谓浪费，同时也意味着巨大的经济损失：一方面，渗漏问题导致水利工程的实际供水能力难以达到设计标准，大大降低了工程的投资效益；另一方面，渗漏所造成的损害又需要投入大量的人力物力进行修复加固，使得工程的维护成本居高不下。因此，加强渗漏控制不仅关系到水利工程效益的充分发挥，更关乎水资源的高效利用和可持续发展；水利工程渗漏防控已成为当前推动水利事业高质量发展的关键议题。

4 水利工程中的渗控措施技术

4.1 新型防渗材料在工程结构中的应用

材料科学技术的快速发展为水利工程防渗领域带来革新性突破，新型防渗材料不断涌现，为解决结构渗漏问题开辟新途径。高分子防渗材料凭借优异的柔韧性、耐久性和自愈合能力，在工程应用中展现出独特价值。通过在聚合物基体中添加纳米粘土、纤维、橡胶等功能性填料，显著提升了材料的抗渗性能和抗老化性能。首先，这类新型防渗材料可应用于混凝土表面涂层施工，构建防渗屏障；其次，在结构接缝密封处理中发挥重要作用，增强整体性能；最后，在大体积灌浆工程中展现特殊优势，提高防渗效果。智能响应型防渗材料的研发成果丰硕，形状记忆聚合物、自修复混凝土等新型材料能对裂缝、孔洞等渗漏隐患做出主动响应，通过可逆相变或化学反应实现自主修复。在极端气候条件下，防渗材料的耐候性和适应性得到充分验证，表现出优异的抗老化性能。新型防渗材料在工程实践中表现出极强的适应性，

既可用于新建工程设计阶段的防渗布置,也可应用于既有工程病害的修复加固,推动水利工程防渗技术不断革新。防渗材料在极端气候、复杂地质等恶劣环境中的长期服役性能评价成为研究重点,通过材料性能优化、结构设计创新和环境适应性研究,实现防渗系统的全面提升^[4]。

4.2 灌浆防渗技术在地基加固中的创新

灌浆防渗作为水利工程基础加固的关键技术,面临着日益严峻的工程地质挑战。传统水泥基灌浆材料应用广泛但存在耐久性差、易老化等固有缺陷,难以完全适应现代工程建设需求。一方面,新型灌浆材料体系不断完善,超细水泥基灌浆材料凭借颗粒细、比表面积大、渗透性强等特点,能有效填充细小裂隙,提升灌浆效果;化学灌浆材料如聚氨酯、环氧树脂与水泥基材料复配使用,既增强凝固体强度又提升抗冲刷性能;生物灌浆技术通过微生物诱导碳酸钙沉淀,同时改善土体抗渗能力和力学性能。另一方面,灌浆工艺创新持续突破,振动灌浆技术有效减小灌浆盲区,真空灌浆工艺提高灌浆密实度,电动化学灌浆方法增强渗透效果。针对岩溶发育区、砂卵石层等特殊地质条件,新型灌浆材料展现出优异的适应性,成功解决传统灌浆难以应对的工程难题。在深部软土地基处理中,创新灌浆工艺的应用显著提高了加固效果,为类似工程积累宝贵经验。灌浆新材料与新工艺深度融合,不断拓展防渗加固技术的应用领域,为破解地质条件复杂的工程防渗难题提供有力支撑。通过加强灌浆防渗机理研究,完善技术规范标准体系,加快创新成果转化应用,实现灌浆防渗技术的持续发展与突破^[5]。

4.3 渗漏监测预警系统的智能化研究

渗控固然重要,而渗漏的实时监测预警更是水利工程安全运行的重要保障。传统人工巡检与定期监测模式难以全面掌控工程渗漏状态,亟需建立智能化的监测预警体系。近年来,光纤传感、物联网等先进技术的引入,为实现渗漏的实时动态监测提供了新手段。通过在关键部位布设光纤传感器阵列,可连续获取渗流水压力、流量等渗漏特征参数。结合大数据分析平台,海量监测数据的传输、存储、处理逐步实现自动化。监测信息的可视化综合展示,为工程管理人员直观研判渗漏险情提供了数据支撑。此外,基于多源异构数

据融合的渗漏智能诊断、预警模型也成为研究热点。借助人工智能算法,实现渗漏数据的特征提取、模式识别与趋势预测,为渗漏风险的超前研判、处置决策提供科学依据。未来,随着新一代信息技术的不断突破,渗漏监测预警系统必将向全方位感知、全过程分析、全时段预警的智慧化方向发展。同时,如何在复杂工况下保障监测数据的准确性、可靠性,提高监测设备的稳定性、耐久性,降低监测系统的建设、运维成本,也是今后研究需着重攻克现实难题。只有监测手段与分析模型的持续创新,才能为水利工程渗控体系建设提供有力的技术支撑^[6]。

5 结语

水利工程渗漏防控事关工程安全运行和水资源高效利用,随着工程规模扩大和服役年限增长,渗漏问题日益凸显。材料劣化、地质条件和外部荷载等多重因素导致渗漏问题复杂多样。新型防渗材料的研发应用、灌浆技术的持续创新和监测预警系统的智能升级,为防渗技术体系发展注入新动力。加强材料性能优化、工艺创新和监测手段研发,深化渗漏机理研究,完善标准规范体系,建立全过程质量控制,推进新技术工程化应用。在工程建设理念、技术手段和管理模式等方面协同发力,必将有效提升水利工程防渗能力,确保工程长期安全运行。

参考文献

- [1] 邓建君,郭园园.水利工程常见渗漏问题及渗控措施技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(27):202-204.
- [2] 杨秀海,吕天成.水利工程常见渗漏问题及渗控措施技术分析[J].西部探矿工程,2024,36(02):6-9.
- [3] 王凤香.水利渠道渗漏的维护及防控措施研究[J].大众标准化,2022,(14):19-21.
- [4] 刘若华.水利工程常见渗漏原因及防渗技术探讨[J].地下水,2021,43(01):216-217.
- [5] 张翔.水利工程施工中防渗技术要点研究[J].住宅与房地产,2019,(34):161.
- [6] 郑璐.水利工程质量检测常见问题及预控措施探析[J].现代物业(中旬刊),2018,(02):53.