

防渗技术在水利工程施工中的应用

吕明昊 冯 丹

黄河勘测规划设计研究院有限公司 河南 郑州 450000

摘 要：防渗技术是水利工程施工中的关键环节，旨在防止水体通过结构缝隙渗漏，确保工程安全与稳定。本文综述了防渗技术的基本概念、分类及其在水利工程中的重要性。通过分析常见的渗漏问题及其原因，探讨了灌浆防渗技术、防渗墙技术及其他防渗技术的具体应用。针对地形地质条件复杂性和施工技术局限性等挑战，提出了加强技术研发、完善施工规范、加强工程监测与维护等对策。本文旨在为水利工程施工中的防渗技术应用提供理论支持和实践指导。

关键词：防渗技术；水利工程施工；应用

引言：水利工程作为国民经济的重要基础设施，其安全性与稳定性直接关系到人民群众的生命财产安全及水资源的有效利用。防渗技术作为水利工程中的核心环节，对于防止水体渗漏、保障工程结构安全具有重要意义。随着科技的不断进步和工程实践的深入，防渗技术得到了快速发展和应用。本文旨在探讨防渗技术在水利工程施工中的应用，分析各类防渗技术的优缺点，以期为水利工程的规划、设计与施工提供科学依据和技术支持。

1 水利工程防渗技术概述

1.1 防渗技术的定义与分类

1.1.1 防渗技术的基本概念

防渗技术，指的是在水利工程中为防止水体通过结构体的缝隙、裂缝或薄弱部位渗漏而采取的一系列技术措施。这些技术旨在构建一个连续、致密的防渗层或防渗结构体，以有效隔绝水体，确保水利工程的正常运行和长期稳定性。

1.1.2 根据施工材料和工艺的不同，对防渗技术进行分类

根据施工所采用的材料和工艺，防渗技术可以分为多种类型：（1）土工合成材料防渗。利用土工布、土工膜等土工合成材料，通过铺设、焊接等方式形成连续的防渗层。这类材料具有良好的柔韧性、耐腐蚀性以及较高的防渗性能，广泛应用于堤防、水库等水利工程的防渗处理。（2）混凝土防渗。通过浇筑高性能混凝土或防水混凝土，形成致密的防渗结构体。混凝土防渗具有强度高、耐久性好、施工简便等优点，是坝体、渠道等水利工程中常用的防渗手段。（3）化学注浆防渗。利用化学注浆材料，通过注浆设备将其注入到需要防渗的部位，形成固化的防渗结构体。这种方法适用于处理裂缝、孔隙等局部渗漏问题，具有灵活、高效的特点。（4）复合防渗

技术。结合多种防渗技术的优点，形成复合防渗体系。例如，可以在混凝土防渗墙的基础上，再铺设一层土工合成材料，以提高防渗效果和工程耐久性。

1.2 防渗技术在水利工程中的重要性

（1）防止水体渗漏，保障工程安全。防渗技术是确保水利工程安全稳定运行的关键。通过有效阻止水体渗漏，可以显著降低坝体、堤防等结构的水力侵蚀风险，避免工程失事，从而保障下游人民生命财产安全。（2）提高水资源的利用效率。防渗技术的应用可以减少水资源在运输、存储过程中的渗漏损失，提高水资源的利用效率。这对于缓解水资源短缺问题、促进水资源可持续利用具有重要意义。（3）延长水利工程的使用寿命。通过减少渗漏，可以延缓工程结构的老龄化进程，减少维修次数和费用，从而延长水利工程的使用寿命。这对于降低工程全生命周期成本、提高工程经济效益具有显著作用。

2 水利工程施工中常见的渗漏问题及其原因

2.1 渗漏问题的分类

渗漏问题可以根据渗漏的部位和性质进行划分，这有助于我们更精确地定位问题并采取相应的解决措施。

2.1.1 按渗漏部位分类

（1）坝体渗漏：坝体是水利工程中重要的挡水建筑物，坝体渗漏通常发生在坝体内部或坝体与基础的接触面。这可能是由于坝体材料的选择不当、施工质量不达标或地基处理不善导致的。坝体渗漏不仅会造成水资源的浪费，还可能对坝体的稳定性和安全性构成威胁。（2）堤防渗漏：堤防作为防洪体系的重要组成部分，其渗漏问题同样不容忽视。堤防渗漏可能源于堤身材料的透水性、裂缝、动物洞穴或人为破坏等因素。堤防渗漏会导致洪水期间水位上升，增加防洪压力，甚至可能引发堤防决口等严重后果^[1]。

2.1.2 按渗漏性质分类

(1) 压力渗漏: 当水体在压力作用下通过结构体的缝隙或裂缝时, 会发生压力渗漏。这种渗漏通常发生在承受较高水压的结构体中, 如坝体、隧道等。压力渗漏可能导致结构体内部的破坏和稳定性的丧失。(2) 裂缝渗漏: 裂缝是结构体中最常见的渗漏通道之一。裂缝渗漏可能是由于施工过程中的温度变化、材料收缩、地基沉降或地震等因素引起的。裂缝渗漏不仅会造成水资源的流失, 还可能加速结构体的老化和破坏。

2.2 渗漏问题的原因分析

渗漏问题的产生是多方面因素共同作用的结果。以下是对渗漏问题原因的详细分析: (1) 设计缺陷与施工质量问题。设计不合理或施工质量不达标是导致渗漏问题的主要原因之一。例如, 设计时未充分考虑地质条件、水文条件以及结构体的受力特性, 或施工过程中未按规范操作、材料质量不达标等, 都可能导致结构体出现渗漏。(2) 工程老化与自然因素。随着时间的推移, 工程结构会因老化、磨损或腐蚀而出现渗漏。此外, 地质变动、极端天气(如暴雨、洪水、地震)等自然因素也可能对工程结构造成损害, 从而引发渗漏。这些因素往往难以预测和控制, 因此需要我们加强监测和维护工作。(3) 人为因素。人为因素也是导致渗漏问题的重要原因之一。例如, 管理不善、维护不到位、违规操作等都可能加剧渗漏问题的发生。此外, 人类活动如开挖、爆破等也可能对水利工程造成损害, 引发渗漏问题。因此, 我们需要加强监管和管理工作, 确保水利工程的正常运行和安全稳定。

3 防渗技术在水利工程施工中的具体应用

3.1 灌浆防渗技术

(1) 高压喷射灌浆技术及其特点。高压喷射灌浆技术利用高压设备将水泥浆等灌浆材料以高速喷射的形式注入到地基或坝体中, 形成连续的防渗体。该技术具有施工效率高、适用范围广、防渗效果好等特点。高压喷射灌浆能形成紧密的防渗层, 有效阻止水体渗漏, 同时增强地基承载力, 提高工程稳定性。然而, 该技术对地质条件有一定要求, 不适用于含有大量卵石或漂石的地层。(2) 帷幕灌浆防渗技术及其施工工艺。帷幕灌浆防渗技术通过在坝基或坝体周围钻孔, 然后向孔内注入水泥浆等灌浆材料, 形成一道连续的帷幕状防渗屏障。帷幕灌浆的施工工艺包括钻孔、冲洗、压水试验、灌浆和封孔等步骤。该技术能够显著提高坝基的防渗性能, 减少坝体渗漏, 保障工程安全。帷幕灌浆适用于各种地质条件, 特别是软弱地基和断层破碎带的防渗处理^[2]。

(3) 卵砾石层帷幕灌浆技术的应用与限制。在卵砾石层等复杂地层中进行帷幕灌浆时, 由于地层透水性强、颗粒大小不一, 使得灌浆难度增加。为此, 需采用特殊的灌浆工艺和灌浆材料, 如水泥-水玻璃双液浆等。尽管卵砾石层帷幕灌浆技术能够形成有效的防渗层, 但施工成本高、工艺复杂, 且对地层条件敏感, 限制了其广泛应用。

3.2 防渗墙技术

(1) 防渗墙的分类与选材。防渗墙按材料可分为混凝土防渗墙、塑性混凝土防渗墙、粘土防渗墙等; 按结构形式可分为悬挂式防渗墙、地下连续墙等。选材时应根据工程的地质条件、水文条件、施工条件以及防渗要求等因素综合考虑。例如, 在软弱地基中, 可采用混凝土防渗墙以提高防渗性能; 在渗透性较强的地层中, 可采用粘土防渗墙以降低工程造价。(2) 混凝土防渗墙的施工方法与适用场景。混凝土防渗墙的施工方法主要包括槽孔开挖、钢筋绑扎、混凝土浇筑等步骤。该技术具有防渗效果好、施工速度快、适用范围广等特点。适用于各种坝型、堤防和渠道等工程的防渗处理。特别是在深水位、高水头、复杂地质条件下, 混凝土防渗墙能够形成可靠的防渗屏障, 保障工程安全。(3) 自凝灰浆防渗墙、水泥土搅拌桩防渗墙等新型技术。自凝灰浆防渗墙利用自凝灰浆作为防渗材料, 具有流动性好、凝结时间可调、防渗性能优异等特点。在施工过程中, 自凝灰浆通过特制的灌浆管注入到预定的地层中, 随着浆液的扩散和渗透, 逐渐形成一个连续、致密的防渗层。该技术适用于各种复杂地质条件, 特别是在地下水位较高、地层透水性强的工程中表现出色。水泥土搅拌桩防渗墙则是利用水泥土作为防渗材料, 通过搅拌机械将水泥和土进行充分混合, 形成具有一定强度和防渗性能的水泥土桩体。这些桩体在地下连续排列, 形成一道有效的防渗屏障。水泥土搅拌桩防渗墙具有施工简便、成本低廉、防渗效果好等优点, 特别适用于堤防、渠道等工程的防渗加固^[3]。

3.3 其他防渗技术

(1) 土坝坝体劈裂灌浆技术的原理与应用。土坝坝体劈裂灌浆技术是利用灌浆压力将坝体沿轴线方向劈开, 形成一道垂直或近平行的裂缝, 然后向裂缝中注入灌浆材料, 形成连续的防渗层。该技术主要适用于均质土坝或心墙土坝的防渗加固。通过劈裂灌浆, 可以提高坝体的整体性和防渗性能, 增强坝体的抗滑稳定性。(2) 垂直铺塑防渗施工技术的特点与实施步骤。垂直铺塑防渗施工技术是利用专门的铺塑机械, 在坝体或堤防的迎水面开挖一条垂直的槽孔, 然后在槽孔中铺设土工

膜或复合土工膜等防渗材料,最后回填土料形成一道连续的防渗屏障。该技术具有施工速度快、防渗效果好、成本低廉等优点。实施步骤包括槽孔开挖、防渗材料铺设、回填土料等^[4]。(3)抓斗法、锯槽法、链斗法等成墙工艺。抓斗法、锯槽法、链斗法等是构建防渗墙时常用的成墙工艺。抓斗法是利用抓斗机械在地下挖掘连续的槽孔,然后回填防渗材料形成防渗墙。锯槽法则是利用锯槽机械在地下切割出连续的槽孔,再注入防渗材料。链斗法则是通过链斗机械在地下挖掘出连续的梯形槽孔,然后回填防渗材料。这些成墙工艺具有施工效率高、适用范围广等特点,可根据具体工程条件选择适合的工艺。

4 防渗技术在水利工程施工中的挑战与对策

4.1 技术挑战

(1)地形地质条件的复杂性对防渗技术的影响。水利工程往往建设在复杂多变的地形地质条件下,这些条件对防渗技术的应用提出了严峻挑战。例如,岩溶发育、断层破碎带、软弱夹层等不良地质条件,可能导致防渗层难以形成或形成后易于破坏。此外,河流、湖泊等水体的侵蚀作用也可能对防渗层造成损害。因此,在设计和施工过程中,必须充分考虑地形地质条件的影响,选择合适的防渗技术和材料。(2)施工技术与设备的局限性。现有的防渗施工技术与设备在某些方面存在局限性,难以满足所有工程的需求。例如,某些地区的地下水位较高,传统的防渗施工方法难以有效控制地下水渗漏;在复杂地层中,钻孔、灌浆等施工操作可能面临困难,影响施工进度和质量。此外,随着水利工程规模的扩大和要求的提高,对防渗技术和设备的要求也越来越高,现有技术可能难以达到理想的效果。

4.2 对策与建议

(1)加强技术研发,提高防渗技术的适应性和效率。针对地形地质条件的复杂性和施工技术与设备的局限性,我们应该加强技术研发,提高防渗技术的适应性和效率。一方面,可以研发新型防渗材料和施工工艺,以适应不同地形地质条件的需求。例如,开发具有高抗渗性、耐侵蚀性的新型灌浆材料,提高灌浆防渗层的耐久性;研发能够适应高地下水位和复杂地层的施工方法,如采用化学灌浆、高压旋喷等先进技术。另一方

面,可以优化现有防渗技术的组合和应用方式,提高防渗效率和效果。例如,结合帷幕灌浆和防渗墙技术,形成多道防渗屏障,提高整体防渗性能。(2)完善施工规范与标准,提升施工质量。为了提高防渗工程的施工质量,我们需要完善施工规范与标准。一方面,可以制定针对不同地形地质条件和防渗技术的施工指南和技术规程,明确施工过程中的关键控制点和验收标准。另一方面,可以加强对施工人员的培训和管理,提高他们的专业技能和责任意识,确保施工操作符合规范和要求。同时,还可以建立施工质量监督和检查机制,对施工过程进行实时监控和定期检查,及时发现并纠正施工中的问题。(3)加强工程监测与维护,及时发现并处理渗漏问题。防渗工程建成后,需要加强工程监测与维护工作。一方面,可以安装监测设备对防渗层的渗漏情况进行实时监测和分析,及时发现潜在的渗漏隐患。另一方面,可以定期对防渗层进行检查和维护,如清理杂物、修补裂缝等,确保防渗层的完整性和有效性。此外,还可以建立渗漏应急处理机制,一旦发生渗漏问题能够迅速响应并采取有效措施进行处理。

结束语

综上所述,防渗技术在水利工程施工中发挥着至关重要的作用,不仅关乎工程的安全性、稳定性和耐久性,还直接影响到水资源的有效利用和管理。随着技术的不断进步和创新,防渗手段日益丰富多样,能够满足不同地质、气候条件下的防渗需求。未来,我们应持续加强防渗技术的研究与应用,不断提升防渗效果,为保障水利工程的长期安全运行和促进水资源的可持续利用贡献力量。

参考文献

- [1]蔡兴浩.水利水电工程防渗施工技术探讨[J].工程技术研究,2023,(10):87-88.
- [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,(06):56-57.
- [3]赵勇.防渗漏技术在农田水利渠道施工中的应用分析[J].科技创新与生产力,2025,(09):79-80.
- [4]曹梦辉.水利工程中提防防渗施工技术的应用研究[J].水上安全,2025,(07):71-72.