

水利水电工程防渗技术研究

吴子全

四川森嵘建设工程股份有限公司 四川 成都 610091

摘要：水利水电工程作为国家基础设施的重要组成部分，在水资源调配、防洪、发电等方面发挥着关键作用。本文聚焦水利水电工程防渗技术展开研究。阐述了工程渗漏在结构安全、水资源浪费、环境问题等方面的危害，并从地质、设计、施工、运行管理等多角度剖析渗漏原因。主要介绍了灌浆防渗技术、防渗墙技术、土工合成材料防渗及其他防渗技术，分析其原理与应用场景。最后提出提升防渗技术应用的策略，涵盖优化技术选择、强化施工质量控制、完善运行维护管理等方面，旨在为水利水电工程防渗工作提供全面且实用的参考，保障工程安全稳定运行。

关键词：水利水电工程；防渗技术；策略

引言

水利水电工程渗漏问题一直是困扰工程安全与效益的难题。渗漏威胁工程结构安全，导致巨大经济损失，还会造成水资源浪费，引发一系列环境问题。随着水利水电工程建设规模的不断扩大和复杂程度的日益提高，对防渗技术提出了更高要求。深入研究水利水电工程防渗技术，分析渗漏原因并提出有效应对策略，对于保障工程安全、提高水资源利用效率、维护生态环境平衡具有至关重要的意义。

1 水利水电工程渗漏的危害及渗漏原因

1.1 水利水电工程渗漏的危害

水利水电工程渗漏带来的危害是下列多维度的，不仅直接威胁工程结构安全，还会造成水资源浪费，引发严重的环境问题。（1）在结构安全层面，持续的渗漏会不断侵蚀工程基础，降低地基的承载力。如土石坝工程因长期渗漏，致使坝体下游坡脚出现集中渗漏点，带走坝体内部的细颗粒，形成管涌通道，最终导致坝坡失稳、滑坡，造成重大经济损失和人员伤亡。渗漏还会加速混凝土结构的老化和腐蚀，降低建筑物的耐久性，缩短工程的使用寿命。（2）水资源浪费。水利水电工程作为水资源调配和利用的关键设施，渗漏导致大量水资源流失。（3）渗漏还会引发一系列环境问题。渗漏的水体可能携带污染物，渗入周边土壤和地下水中，导致土壤盐碱化、地下水水质恶化，破坏周边生态平衡。渗漏可能改变区域水文地质条件，引发地面沉降、塌陷等地质灾害，威胁周边居民的生命财产安全和基础设施稳定。

1.2 水利水电工程渗漏的原因

水利水电工程渗漏的原因复杂，涉及地质、设计、施工和运行管理等多个方面。（1）地质因素。工程所在地的地质条件对防渗效果起着决定性作用。如果工程

处于断层、裂隙发育或岩溶地区，地下水容易沿着这些通道渗漏。在岩溶地区建设的水利工程，溶洞和溶蚀裂隙为地下水提供了良好的运移通道，增加了防渗难度。地基土的透水性、压缩性等特性也会影响工程的防渗性能。（2）设计缺陷。在设计阶段，如果对地质勘察资料分析不全面，未能准确把握工程区域的地质条件，就可能导致防渗方案不合理。防渗结构的厚度、材料选择不当，或止水设施设计不完善，都可能在工程运行后出现渗漏问题。设计人员对工程运行过程中的水力条件变化考虑不足，也会影响防渗设计的可靠性。（3）施工质量问题。在施工过程中，材料质量不合格、施工工艺不规范等都会留下渗漏隐患。如混凝土浇筑过程中振捣不密实，会形成蜂窝、麻面等缺陷，成为渗漏通道；防渗材料的搭接长度不足、焊接质量不达标，也会降低防渗效果。施工过程中对隐蔽工程的质量控制不严，容易导致后期渗漏问题难以发现和处理。（4）运行管理不善。工程运行后，如果缺乏定期的维护和检查，不能及时发现和处理渗漏隐患，小的渗漏问题可能逐渐扩大。不合理的运行调度，如水位骤升骤降，会增加坝体和地基的渗透压力，加速渗漏的发展。对工程周边环境变化的监测不足，未能及时采取防护措施，也可能因外部因素导致工程渗漏^[1]。

2 水利水电工程主要防渗技术

2.1 灌浆防渗技术

灌浆防渗技术通过向地层或结构物缝隙中注入浆液，填充孔隙、封堵渗漏通道，从而提高土体或岩体的密实度与抗渗性。以下技术凭借其较强的适应性和良好的防渗效果，在水利水电工程中应用广泛（1）高压喷射灌浆。高压喷射灌浆技术是利用高压设备，将水泥浆液等以高速射流形式喷射入地层，通过射流的冲击力、切

削力破坏土体结构,同时使浆液与土体充分混合,待浆液凝固后形成具有一定强度和抗渗性的防渗体。该技术适用于处理粉土、砂土、粘性土等多种地层。在沿海地区的水闸防渗工程中,由于地基为松散砂层,采用高压喷射灌浆技术形成连续的防渗板墙,有效阻断了地下水的渗漏,保障了水闸的安全运行。高压喷射灌浆施工技术灵活,可根据工程需求调整喷射方式(旋喷、定喷、摆喷)和喷射参数,以满足不同的防渗要求。(2)坝体劈裂灌浆。坝体劈裂灌浆是依据坝体应力分布规律,在坝体中布置灌浆孔,通过压力将泥浆注入坝体,使坝体沿坝轴线方向劈开,形成连续的泥浆防渗墙。该技术特别适用于处理均质土坝和宽心墙坝的渗漏问题,能够有效提高坝体的防渗性能和稳定性。在老旧土坝防渗加固工程中,坝体存在多处渗漏点,采用坝体劈裂灌浆技术后,不仅封堵了渗漏通道,还对坝体进行了压实加密,增强了坝体的整体强度。(3)其他灌浆技术。帷幕灌浆通过在地基中形成一道连续的防渗帷幕,截断地下水的渗流路径,常用于大坝基础的防渗处理;固结灌浆则是对岩石地基进行加固,提高地基的整体性和强度,减少渗漏量。这些灌浆技术在实际工程中,常根据地质条件和工程需求组合使用,以达到最佳的防渗效果。

2.2 防渗墙技术

防渗墙技术是在工程地基或坝体中建造一道连续的墙体,以阻隔地下水的渗漏,具有防渗效果好、适用范围广等特点,具体技术如下:(1)混凝土防渗墙。混凝土防渗墙是利用专用的成槽设备,在地基中开挖出一定深度的槽孔,然后在槽内浇筑混凝土形成墙体。其凭借自身高强度和高抗渗性,成为水利水电工程中常见的防渗措施。施工工艺上,多头深层搅拌法通过多轴搅拌头将水泥浆与土体充分搅拌混合,形成连续的防渗墙,适用于软土地基;锯槽法利用锯槽机切割土体,同时浇筑混凝土,成墙效率高,墙体质量好。在某大型水库大坝防渗工程中,采用混凝土防渗墙技术,有效解决了深厚覆盖层的渗漏问题。(2)塑性混凝土防渗墙。塑性混凝土防渗墙由水泥、膨润土、细骨料等材料组成,具有良好的塑性和适应变形能力。相较于普通混凝土,塑性混凝土的弹性模量较低,能够更好地适应地基的不均匀沉降,避免墙体开裂导致渗漏。在地震多发地区或地基条件复杂的水利工程中,塑性混凝土防渗墙发挥着重要作用,可有效保障工程的长期安全运行。(3)其他防渗墙形式。钢板桩防渗墙具有强度高、施工速度快的特点,常用于临时工程或应急抢险工程的防渗;土工膜防渗墙则是将土工膜铺设在槽内,与土体结合形成防渗体,具

有成本低、施工简便的优势^[2]。

2.3 土工合成材料防渗技术

土工合成材料防渗技术利用土工合成材料的防渗特性,阻止水分渗透,在水利水电工程中应用日益广泛,具体材料如下:(1)土工膜。土工膜通常由高分子聚合物制成,具有极低的渗透性,能够有效阻隔水分。在铺设过程中,需注意地基的平整处理,避免尖锐物刺破土工膜。同时,严格控制焊接质量,确保土工膜的接缝紧密,防止渗漏。在小型水库的库底防渗工程中,土工膜以其施工便捷、防渗效果好的特点,大幅减少了水库的渗漏量。(2)复合土工膜。复合土工膜是将土工织物和土工膜复合而成,结合了两者的优点。土工织物不仅能够保护土工膜,防止其受到外力破坏,还能增强与土体的摩擦力,提高稳定性;而土工膜则发挥防渗作用。

2.4 其他防渗技术

除主流防渗技术外,排水固结法与化学防渗技术凭借独特优势,在特定工程场景中发挥着不可替代的作用。(1)排水固结法。主要针对软弱土层和饱和土层的防渗加固。其核心原理是通过在地基中埋设砂井、塑料排水板等竖向排水体,配合水平向的砂垫层,构建高效排水通道。同时施加堆载预压、真空预压等荷载,使土体孔隙中的水分在压力差作用下,通过排水体快速排出。随着水分排出,土体颗粒重新排列,孔隙比减小,从而实现土体固结,强度提升的同时渗透性大幅降低。如在大型围海造地工程中,海堤地基为深厚淤泥质软土,采用塑料排水板结合真空预压的排水固结法施工。经过数月处理,地基土的含水量显著下降,抗剪强度提高近40%,有效防止了海水渗透,保障了海堤长期稳定。(2)化学防渗技术。则聚焦于细微裂缝和特殊地质渗漏难题。该技术选用环氧树脂、聚氨酯等化学材料,这些材料具有良好的流动性和渗透性。施工时,通过压力灌注或低压渗透的方式,使化学材料渗入地层孔隙或结构裂缝深处。材料在与空气、水分接触后,发生聚合、固化等化学反应,形成高强度、低渗透性的固结体,如同为渗漏通道打上“化学补丁”。在某水电站混凝土坝体裂缝处理中,因坝体长期受水流冲刷产生细微裂缝,采用环氧树脂化学灌浆处理^[3]。该材料快速填充裂缝,固化后与混凝土紧密粘结,不仅阻断了渗漏路径,还增强了坝体结构完整性,防渗加固效果显著。

3 提升水利水电工程防渗技术应用的策略

3.1 优化技术选择策略

在实际工程中,需综合考虑地质条件、工程需求、成本效益等多方面因素,制定最优的防渗技术方案,具

体策略如下：（1）深入开展地质勘察工作。详细准确的地质勘察报告能够清晰呈现工程区域的地质结构、岩土特性、地下水分布等信息。如在岩溶发育地区，应优先考虑采用灌浆防渗技术，通过高压喷射灌浆或帷幕灌浆填充溶洞和裂隙；而在软弱地基上，则可选择防渗墙技术，利用混凝土防渗墙或塑性混凝土防渗墙的高强度和抗渗性，阻隔地下水。而对于临时性的渠道防渗工程，则可采用施工便捷、成本较低的土工合成材料防渗技术。（2）建立技术评估与比选机制。组织专家团队对多种备选防渗技术进行综合评估，从技术可行性、施工难度、工程成本、环境影响等维度进行量化打分，对比分析各技术方案的优缺点，最终确定最适合工程实际的防渗技术。

3.2 强化施工质量控制策略

施工过程中的任何质量缺陷都可能导致渗漏隐患，因此需从以下方面入手，全面强化施工质量控制。（1）材料质量。建立严格的材料采购和检验制度，对进入施工现场的水泥、土工膜、灌浆材料等进行严格的质量检测，确保材料性能符合设计要求。对土工膜的厚度、拉伸强度、渗透系数等指标进行抽检，对水泥的强度、凝结时间等参数进行试验，杜绝不合格材料用于工程。加强材料的存储管理，防止材料受潮、老化或损坏。（2）规范施工工艺。制定详细的施工操作规程，明确各道工序的技术要求和质量标准。以混凝土防渗墙施工为例，在成槽过程中，严格控制槽孔的垂直度和深度，确保槽壁稳定；在混凝土浇筑环节，采用导管法浇筑，控制浇筑速度和混凝土的塌落度，保证墙体的连续性和密实度。引入先进的施工设备和技术，提高施工精度和效率。采用自动化灌浆设备精确控制灌浆压力和流量，保证灌浆效果。（3）加强施工人员培训和管理。定期组织施工人员进行技术培训，提高其专业技能和质量意识。通过理论讲解、现场示范和案例分析等方式，使施工人员熟悉防渗技术的施工要点和质量控制方法。建立质量责任制度，将质量责任落实到个人，对施工过程中的质量问题进行严格追责，确保施工质量得到有效保障。

3.3 完善运行维护管理策略

工程运行后，需建立常态化的监测机制，及时发现并处理渗漏隐患，延长防渗设施的使用寿命，具体策略如下：（1）构建全面的监测网络。在工程关键部位布置渗压计、水位传感器、位移监测设备等，实时监测渗流量、渗透压力、坝体位移等参数。通过信息化管理平台对监测数据进行收集、分析和处理，及时掌握防渗设施的运行状态。一旦发现数据异常，立即启动预警机制，组织专业人员进行现场排查，确定渗漏原因和位置。

（2）制定科学的维护计划。根据监测结果和工程实际情况，定期对防渗设施进行检查和维护。如对土工膜防渗层进行表面清理，修补破损部位；对灌浆防渗区域进行复查，必要时进行补灌处理。加强对工程周边环境的管理，防止外部因素对防渗设施造成破坏。如禁止在工程保护区内进行过度开采、违规建设等活动，避免影响工程的稳定性和防渗效果。（3）建立应急处理机制。制定渗漏突发事件应急预案，明确应急响应流程和各部门职责。储备必要的应急物资和设备，定期组织应急演练，提高应对渗漏突发事件的能力。在发生渗漏险情时，能够迅速启动应急预案，采取有效的抢险措施^[4]。

结束语

水利水电工程防渗技术是保障工程安全稳定运行的核心要素。通过深入剖析渗漏危害与成因，全面介绍各类防渗技术，并提出针对性的技术应用提升策略，为工程防渗工作提供了清晰的方向。在实际工程中，需综合考虑地质条件、工程需求等多方面因素，科学选择防渗技术，严格把控施工质量，完善运行维护管理。

参考文献

- [1]殷华芳.水利水电工程防渗技术研究[J].工程技术发展,2021,2(6):18-20.
- [2]王庆珑.水利水电工程防渗技术研究[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2022(10):197-198.
- [3]张俊琦.水利水电工程防渗技术研究[J].空中美语,2021(10):55-56.
- [4]赵娜.水利水电工程防渗技术研究[J].世界家苑,2021(9):133-134.