

水利工程中水库堤坝防渗施工技术及防治方法

钱德治

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 石河子 832000

摘要: 本文聚焦水利工程中水库堤坝防渗问题,先分析渗漏成因与类型,指出地质、设计、施工等因素引发坝基、坝身、绕坝渗漏,危害堤坝安全与周边环境。接着阐述垂直、水平、化学灌浆等防渗施工技术体系及辅助技术。随后提出事前预防、事中监测应急、事后修复加固等防治方法与综合策略,通过全流程管控、优化技术组合等,实现全方位渗漏防控,保障水库堤坝安全稳定运行。

关键词: 水库堤坝; 防渗施工; 渗漏防治; 水利工程

引言: 在水利工程中,水库堤坝作为关键设施,其安全稳定至关重要。然而,渗漏问题却频繁威胁着堤坝的正常运行,不仅影响水库的蓄水、供水及发电等功能的发挥,还可能引发严重的安全事故,对周边生态环境和人民生命财产造成巨大损失。因此,深入研究水库堤坝防渗施工技术及防治方法,对于提升水利工程的质量与安全性,保障其长期稳定运行,具有极其重要的现实意义。

1 水库堤坝渗漏成因与类型分析

1.1 渗漏的主要成因

1.1.1 地质因素

地质条件是影响水库堤坝渗漏的核心自然因素,其对渗漏的影响具有先天性和不可逆性。水库坝址区域的地层结构直接决定渗漏风险高低,若坝址分布松散砂砾层、砂卵石层等透水性强的地层,且未进行针对性处理,水体易沿颗粒间隙渗透形成渗漏通道。断层、裂隙发育区域也是渗漏高发区,断层破碎带的透水性远强于完整地层,裂隙会随时间推移在水压力作用下逐渐扩张,形成贯通性渗漏路径。岩土体的水理性质也会影响渗漏,如岩土体的孔隙率、渗透系数越大,透水性越强,渗漏量越大。部分坝址区域存在岩溶地貌,溶洞、溶蚀裂隙会形成复杂的渗漏网络,大幅增加渗漏防控难度。

1.1.2 设计缺陷

设计环节的不合理之处是导致水库堤坝渗漏的重要人为因素,直接影响堤坝的防渗性能和整体稳定性。部分工程设计时,对坝址地质勘察不细致,未能全面掌握地层透水性、裂隙分布等关键信息,导致防渗设计方案与实际地质条件不匹配^[1]。另外,坝体结构设计不合理也会引发渗漏,如坝体防渗材料选型不当,采用的防渗膜、止水带等材料性能不符合工程要求;坝身与岸坡、坝基的衔接部位设计存在漏洞,未设置完善的止水构

造,形成渗漏薄弱环节。同时,部分设计忽略了水库运行过程中的水压力变化、泥沙淤积等因素,导致防渗系统长期运行后失效,引发渗漏问题。

1.1.3 施工问题

施工质量是保障堤坝防渗性能的关键,施工过程中的不规范操作会直接破坏防渗结构,埋下渗漏隐患。在坝基处理施工中,若基坑开挖坡度不合理、排水不及时,易导致基坑坍塌,破坏原有地层结构,形成渗漏通道;坝基压实度不足,岩土体孔隙率过大,透水性增强,无法满足防渗要求。坝体砌筑或浇筑施工时,砌筑砂浆强度不足、浇筑振捣不密实,会使坝体内部存在孔隙和裂缝,成为水体渗透的路径。防渗工程施工质量缺陷更为直接,如防渗墙浇筑时出现断桩、夹泥现象,防渗膜铺设时出现破损、搭接不严密,止水带安装错位、固定不牢固等,都会导致防渗系统出现漏洞。施工过程中对施工质量的管控不到位,未严格执行质量检验标准,使得不合格工序流入下一道,进一步加剧渗漏风险。

1.1.4 运行管理不当

水库堤坝运行管理的规范性直接影响防渗系统的使用寿命,管理不当会加速防渗结构失效,引发渗漏问题。部分水库缺乏完善的运行管理制度,对堤坝的日常巡查维护不到位,未能及时发现堤坝表面的裂缝、沉降、渗漏痕迹等隐患,导致小隐患逐渐发展为大渗漏。水库水位调度不合理也是重要诱因,频繁的水位升降会使坝体和坝基承受交替变化的水压力,加剧岩土体的渗透变形,同时导致坝体伸缩裂缝扩展,形成渗漏通道。水库泥沙淤积管理不善,淤积物长期挤压坝体,会破坏坝体防渗结构;对堤坝周边的植被破坏、人为开挖等行为管控不足,会改变坝址区域的水文地质条件,诱发渗漏。

1.2 渗漏类型及危害

水库堤坝渗漏类型根据渗漏位置和路径可分为坝基

渗漏、坝身渗漏、绕坝渗漏三类，不同类型渗漏对堤坝安全和周边环境均存在严重危害。坝基渗漏是水体通过坝基岩土体渗透，多由地质因素和设计施工缺陷引发，其危害主要表现为坝基扬压力增大，降低坝基承载力，长期渗漏易导致坝基岩土体渗透变形、管涌，甚至引发坝基失稳。坝身渗漏是水体沿坝体内部孔隙、裂缝渗透，常见于施工质量不佳或运行年限较长的堤坝，会导致坝体强度降低，出现坝身裂缝扩张、沉降变形，严重时引发坝体溃决。绕坝渗漏是水体沿坝体与岸坡衔接部位、岸坡岩土体渗透，易破坏岸坡稳定性，导致岸坡坍塌、滑坡，同时加剧坝体侧向压力，影响堤坝整体安全。渗漏会造成水资源大量浪费，降低水库蓄水能力和供水、发电效益；渗漏水体还可能携带泥沙，淤积水库下游河道，影响生态环境和水利设施正常运行。

2 水库堤坝防渗施工技术体系

2.1 垂直防渗技术

垂直防渗技术是通过在坝基或坝身设置垂直防渗屏障，阻断水体垂直渗透路径，是水库堤坝防渗的核心技术之一，应用广泛且效果显著。该技术适用于透水性强的坝基地层，如砂砾层、砂卵石层及断层破碎带等。常见的垂直防渗技术包括防渗墙技术、高压喷射注浆技术、深层搅拌桩技术等^[2]。防渗墙技术通过成槽机械开挖沟槽，浇筑混凝土、钢筋混凝土或铺设防渗膜，形成连续的垂直防渗墙体，具有防渗效果好、承载力高的特点，适用于深度较大的防渗工程。高压喷射注浆技术利用高压射流将水泥浆与地层岩土体混合搅拌，形成固结体，构成垂直防渗帷幕，施工灵活，对地层适应性强，可处理复杂地质条件下的渗漏问题。深层搅拌桩技术通过搅拌机械将水泥、石灰等固化剂与岩土体混合，形成柱状固结体，相互搭接形成防渗墙，适用于软土地基的防渗处理。垂直防渗技术的关键是确保防渗体连续完整，穿透透水层，与水平防渗系统有效衔接，形成全方位防渗体系。

2.2 水平防渗技术

水平防渗技术是在坝基表面或坝体内部铺设水平防渗层，阻断水体水平渗透，常与垂直防渗技术配合使用，形成立体防渗网络。该技术适用于坝基表层透水性强、地下水位较高的区域，核心是通过防渗材料的隔水作用，减少水体沿水平方向的渗透量。常见的水平防渗材料包括黏土、膨润土、土工膜、沥青混凝土等。黏土铺盖技术是传统的水平防渗方法，将优质黏土碾压密实形成防渗铺盖，具有取材方便、成本较低的优点，但对黏土质量要求高，施工周期较长。土工膜水平防渗技术

采用高分子土工膜作为防渗材料，具有透水性极低、抗老化、施工便捷的特点，适用于各类地层条件，是目前应用最广泛的水平防渗技术之一，铺设时需确保膜体完好、搭接严密，避免出现破损渗漏。沥青混凝土防渗层则适用于坝面水平防渗，具有强度高、抗渗性好、适应变形能力强的优势，可有效抵御水体侵蚀和温度变化带来的影响。

2.3 化学灌浆防渗技术

化学灌浆防渗技术是通过高压注浆设备将化学浆液注入地层裂隙、孔隙中，浆液凝固后形成固结体，堵塞渗漏通道，达到防渗目的，适用于处理细微裂隙、溶洞等复杂渗漏问题。该技术具有针对性强、防渗效果持久、施工对坝体结构破坏小的特点，可在堤坝运行期间进行补强防渗处理。常用的化学灌浆材料包括水泥浆、水泥-水玻璃双液浆、聚氨酯浆液、丙烯酸盐浆液等。水泥浆成本较低，适用于填充较大裂隙和孔隙；水泥-水玻璃双液浆凝固速度快，可快速阻断渗漏，适用于应急防渗处理；聚氨酯浆液具有良好的柔韧性和抗渗性，可适应地层变形，适用于细微裂隙的防渗；丙烯酸盐浆液毒性低、环保性好，适用于对环保要求较高的水库工程。化学灌浆的关键是精准定位渗漏通道，控制注浆压力、浆液浓度和注浆量，确保浆液均匀扩散并充分凝固。

2.4 其他辅助技术

除垂直防渗、水平防渗和化学灌浆技术外，水库堤坝防渗施工还需配套一系列辅助技术，以提升防渗效果，保障施工安全和工程质量。排水减压技术是重要的辅助防渗技术，通过在坝基、坝体设置排水设施，如排水孔、排水盲沟、反滤层等，降低坝基扬压力和渗透压力，减少渗漏量，同时防止岩土体渗透变形。反滤层技术通常与排水设施配合使用，采用不同粒径的砂砾石分层铺设，阻止细小颗粒随渗水流失，保护坝基和坝体岩土体结构稳定，避免管涌、流土等灾害发生。另外，坝体裂缝处理技术也是常见辅助技术，针对施工或运行中产生的坝体裂缝，采用嵌缝、贴补、灌浆等方法进行处理，防止裂缝扩展形成渗漏通道^[3]。同时，防渗材料的防护技术也不可或缺，通过在防渗层表面铺设保护层，抵御紫外线、水流冲刷、机械磨损等因素影响，延长防渗材料使用寿命，确保防渗系统长期稳定运行。

3 水库堤坝渗漏防治方法与优化策略

3.1 事前预防措施

事前预防是水库堤坝渗漏防治的第一道防线，核心是通过前期勘察、设计优化和施工管控，从源头降低渗漏风险。工程前期需开展全面细致的地质勘察工作，

采用钻探、物探等多种手段,精准掌握坝址区域地层结构、透水性、裂隙分布、岩溶发育等地质条件,为防渗设计提供可靠依据。设计阶段要结合勘察结果优化防渗方案,合理选择防渗材料和技术,确保防渗结构尺寸满足要求,加强坝体与坝基、岸坡衔接部位的止水设计,同时考虑水库运行过程中的各类影响因素,提升防渗系统的适应性和稳定性。施工阶段需严格执行施工规范和质量标准,加强对坝基处理、防渗工程、坝体砌筑等关键工序的质量管控,做好施工过程中的质量检测,及时发现并整改施工缺陷。建立完善的施工管理制度,加强施工人员培训,提升施工技术水平,也是事前预防的重要内容,从人员、设备、材料等多方面保障防渗施工质量。

3.2 事中监测与应急处理

事中监测与应急处理是及时发现渗漏隐患、防止渗漏问题扩大的关键环节,需建立全方位的监测体系和快速应急机制。监测体系应涵盖坝基、坝身、绕坝等关键部位,采用自动化监测与人工巡查相结合的方式,监测指标包括渗漏量、坝体沉降、水平位移、扬压力、裂缝变化等。通过实时监测数据的分析研判,及时捕捉渗漏隐患的早期信号,为应急处理提供数据支撑。针对监测发现的渗漏隐患,需制定科学的应急处理方案,根据渗漏类型和严重程度采取针对性措施。对于轻微渗漏,可采用嵌缝封堵、表面涂抹防渗材料等方法处理;对于中等渗漏,可采用化学灌浆、增设排水设施等方式控制渗漏量;对于严重渗漏,需立即启动应急响应,降低水库水位,采取临时防渗措施阻断渗漏通道,同时组织专业队伍开展抢修,防止渗漏引发堤坝失稳等重大灾害。

3.3 事后修复与加固技术

事后修复与加固技术是针对已发生渗漏的堤坝,通过针对性修复和加固处理,恢复并提升防渗性能,保障堤坝安全运行。修复前需全面排查渗漏位置、范围和成因,制定个性化的修复方案。对于坝基渗漏,可采用加深防渗墙、补充化学灌浆、增设水平防渗铺盖等技术进行加固;对于坝身渗漏,若存在裂缝,可采用灌浆填充、贴补加固等方法处理,若坝体防渗层破损,需重新铺设或修补防渗材料;对于绕坝渗漏,可通过加固岸坡、增设绕坝防渗帷幕、完善排水系统等方式控制渗漏。同时,结合堤坝运行年限和老化程度,可采用综合加固技术提升整体防渗能力,如在原有防渗系统基础上

增设复合防渗层,对坝体进行培厚加固,提升坝体稳定性和抗渗性。修复加固施工后,需进行严格的质量检测和试运行监测,确保修复效果达标,防止渗漏问题再次发生。

3.4 综合防治策略

水库堤坝渗漏防治需采用“预防为主、监测为辅、修复兜底、综合管控”的综合防治策略,实现全生命周期、全方位的渗漏防控。首先,构建全流程管控体系,将事前预防、事中监测、事后修复有机结合,贯穿工程勘察、设计、施工、运行、维护全过程,形成闭环管理。其次,结合工程实际优化技术组合,根据坝址地质条件、渗漏类型和工程特点,合理搭配垂直防渗、水平防渗、化学灌浆等核心技术与辅助技术,发挥技术协同效应,提升防渗效果^[4]。同时,强化智能化管控能力,引入物联网、大数据、人工智能等技术,升级监测系统,实现监测数据的实时采集、分析和预警,提升渗漏隐患识别的精准度和及时性。另外,建立健全长效管理机制,完善规章制度,加强人员培训,定期开展堤坝体检和防渗系统维护,加大资金投入,保障防治工作持续开展,确保水库堤坝长期安全稳定运行,发挥其防洪、供水、发电等综合效益。

结束语

水库堤坝防渗是一项系统且复杂的工作,贯穿水利工程全生命周期。通过全面剖析渗漏成因与类型,构建完善的防渗施工技术体系,并实施事前预防、事中监测应急、事后修复加固等综合防治策略,能有效降低渗漏风险,提升堤坝防渗性能。未来,随着技术不断进步,需持续优化防治技术,强化智能化管控,完善长效管理机制,确保水库堤坝安全,为水利事业发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]孔丽.水利工程中水库堤坝防渗施工技术及其防治方法[J].魅力中国,2025(18):256-258.
- [2]于振凯,姜苏君.水利工程中水库堤坝防渗施工技术及其防治方法解析[J].电脑采购,2025(5):99-101.
- [3]韦雄.水利工程中水库堤坝防渗施工技术及其防治方法[J].户外装备,2022(12):207-209.
- [4]梁朝高.水利工程中水库堤坝防渗施工技术及其防治方法[J].城镇建设,2023(18):181-183.