

岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏

杨博

广东有象工程勘察设计咨询有限公司，广东 清远 511500

DOI:10.61369/ETQM.2025120028

摘要：阐述岩溶发育特征对水库坝基稳定性影响，介绍岩溶地区水库病害及成因，强调除险加固及防渗堵漏需综合考虑多种因素，包括确立技术标准与原则，对比工法适用条件，介绍新型材料、立体防渗体系等，还提及经济和社会效益等。

关键词：岩溶地区；水库；除险加固

Reinforcement and Anti-Seepage Plugging of Reservoirs in Karst Areas

Yang Bo

Guangdong Youxiang Engineering Investigation, Design and Consulting Co., LTD, Qingyuan, Guangdong 511500

Abstract : In this paper, the stability of karst development characteristics of reservoir dam foundation, the introduction of reservoir in karst region and cause of these diseases, and emphasize and consolidate and plugging need to consider many factors, including establishing technical standards and principles, contrast method applicable conditions, introduce new materials, three-dimensional seepage control system, etc., also referred to economic and social benefits such as.

Keywords : karst region; reservoir; reinforcement

引言

岩溶地区水库的除险加固及防渗堵漏工程具有极高的复杂性和关键性。随着我国水利工程建设的持续发展，相关工程标准也在不断完善。2019年颁布的《水利工程建设标准强制性条文》对工程质量与安全提出了更为严格的要求。岩溶地区的地质条件复杂多变，溶洞和裂隙等岩溶现象对水库坝基的稳定性构成了显著影响，渗漏、管涌、塌陷等地质病害问题也较为突出。因此，在进行岩溶地区水库的除险加固及防渗堵漏工作时，需要综合考虑多种因素，包括技术标准的制定、不同工法的适用条件、新型材料的应用以及立体防渗体系的构建等。还需运用精准探测技术、开发调控系统，并进行经济性分析和社会生态效益评估，以确保水库的安全稳定运行。

一、岩溶地区水库病害特征分析

(一) 岩溶地质条件对工程的影响机制

岩溶地区的地质条件对水库工程的影响主要体现在以下几个方面。溶洞和裂隙等岩溶现象对水库坝基的稳定性具有显著影响。溶洞的存在可能导致坝基承载力不均匀，局部出现软弱区域，从而增加坝基沉降和滑动的风险^[1]。裂隙则为地下水的流动提供了通道，加速了岩溶作用的发展，进一步削弱了坝基的稳定性。地下水对结构物具有侵蚀作用。在岩溶地区，地下水通常富含溶解的矿物质，具有一定的腐蚀性。当水流经结构物时，会对混凝土和金属等材料产生化学侵蚀，降低结构物的强度和耐久性。地下水的流动还可能携带泥沙等颗粒物质，对结构物造成冲刷磨损，影响其正常使用。

(二) 典型病害类型及成因诊断

岩溶地区水库常见的病害类型包括渗漏、管涌和塌陷。渗漏是由于库水通过岩溶通道和裂隙等向库外渗漏，导致水库蓄水量减少。管涌则是在一定水力条件下，库底或坝体中的细小颗粒被

水流带出，形成孔洞，进而影响坝体稳定性。塌陷是由于岩溶地区地下溶洞等地质结构不稳定，在水库蓄水等荷载作用下，可能发生地面塌陷，危及水库安全。这些病害的成因与地质构造密切相关。岩溶地区的地质构造，如溶洞、溶蚀裂隙等，为病害的发生提供了通道和条件。渗漏可能是由于溶洞的连通性，使得库水能够通过溶洞系统渗出。管涌可能是因为坝基下的岩溶通道使得水流冲刷力增强，带走细颗粒。塌陷更是由于地下溶洞等结构无法承受上部荷载而引发^[2]。

二、除险加固工程设计体系

(一) 加固设计原则与标准体系

在岩溶地区水库的除险加固及防渗堵漏设计中，需确立科学合理的技术标准与原则。对于岩溶地基处理，应依据相关地质勘查结果，确定符合实际情况的技术标准，确保处理后的地基能够满足水库运行要求^[3]。在加固方案选择上，要制定差异化准则，充分考虑不同岩溶地貌、地质构造以及水库的具体情况，选择最

适宜的加固方法，以提高工程的针对性和有效性。明确抗渗性与结构稳定性控制指标至关重要。抗渗性指标需根据水库的功能、水位等因素确定，保证水库的防渗性能；结构稳定性指标则要综合考虑地基承载能力、坝体结构等，确保水库在运行过程中安全可靠。

(二) 复合加固技术集成应用

岩溶地区水库的除险加固及防渗堵漏需综合考虑多种因素，对比分析不同组合工法的适用条件至关重要。灌浆固结技术适用于填充岩溶洞穴和裂隙，提高岩体的整体性和强度^[4]。钢筋混凝土板墙可用于加固水库坝体，增强其抗渗和承载能力。预应力锚索则在稳定边坡和加固坝体结构方面具有独特优势。通过对这些工法适用条件的深入研究，构建多工况加固技术矩阵。该矩阵能够根据岩溶地区水库的不同病害情况，如溶洞发育程度、坝体渗漏位置和程度等，准确匹配相应的加固技术组合，从而实现高效、精准的除险加固及防渗堵漏，保障水库的安全运行。

三、防渗堵漏关键技术体系

(一) 防渗材料优选与结构设计

1. 新型防渗材料性能比较

纳米改性水泥和弹性聚氨酯是岩溶地区水库防渗堵漏的新型材料。纳米改性水泥通过纳米颗粒填充和改性，提高水泥致密性和抗渗性。其抗渗耐久性可从渗透系数、抗化学侵蚀能力等方面评估。弹性聚氨酯具有良好的弹性和密封性能，能适应岩溶地区复杂的地质变形，抗渗耐久性关键指标是长期防水效果和抗老化性能。建立材料-地质适配性选择模型对合理选用防渗材料至关重要，需综合考虑材料性能和地质条件，如岩溶洞穴分布、地下水流动情况等，确保材料在特定地质环境下发挥最佳防渗效果^[5]。

2. 立体防渗体系构建

在岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏中，构建立体防渗体系至关重要。设计垂直防渗墙与水平铺盖协同的立体防护系统是关键举措。垂直防渗墙可截断地下水水流通道，深度和墙体材料需根据地质条件合理设计^[6]。水平铺盖在水库底部形成防渗层，增强整体防渗效果。要优化帷幕灌浆深度与孔距参数配置。帷幕灌浆深度应深入岩溶发育层以下，封堵渗漏通道，合理孔距配置保证灌浆效果均匀完整，提高防渗堵漏效率和质量，保障水库安全运行。

(二) 动态施工工艺控制

1. 岩溶通道精准探测技术

在岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏工作中，岩溶通道精准探测技术至关重要。应用地质雷达与示踪剂联合探测技术可实现隐伏渗漏通道的三维可视化定位^[7]。地质雷达通过发射高频电磁波，根据介质对电磁波反射特性差异探测地下结构，获取岩溶通道的位置和形态信息。示踪剂可追踪地下水流动路径，明确渗漏通道走向。两者结合，宏观把握岩溶通道分布，微观确定精确路径，为防渗堵漏工作提供准确依据，提高工程效果和质量。

2. 自适应注浆工艺优化

岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏是一项复杂的工程，需要综合考虑多种因素。基于实时监测的压力-流量调控系统的开发至关重要^[8]。通过实时监测压力和流量数据，可以精准地调控注浆过程，确保浆液在岩溶空腔中的填充效果。同时，制定岩溶空腔分级填充策略也是关键。根据岩溶空腔的大小、形状以及连通性等特征，将其分为不同级别，然后针对各级别制定相应的填充方案。在注浆过程中，根据实时监测数据和分级填充策略，自适应地调整注浆参数，如注浆压力、注浆速度和浆液配比等。这样可以实现更高效、更精准的防渗堵漏效果，提高水库除险加固工程的质量和安全性。

四、工程应用与效果验证

(一) 典型工程案例分析

1. 西南某岩溶水库治理实践

西南某岩溶水库治理实践中，针对复杂岩溶网络条件，采取了一系列综合治理方案。首先对水库的地质条件进行了详细勘察，确定了岩溶发育的程度和分布范围^[9]。在此基础上，设计了包括帷幕灌浆、封堵溶洞等多种措施相结合的防渗堵漏方案。在实施过程中，严格控制施工质量，确保各项措施的有效性。例如，帷幕灌浆施工时，合理确定灌浆参数，保证灌浆效果。经过治理后，水库的渗漏问题得到了明显改善，水库的蓄水量和安全性都得到了提高，验证了综合治理方案的可行性和有效性，为岩溶地区其他水库的除险加固和防渗堵漏提供了有益的参考。

2. 效果对比研究

在岩溶地区某水库除险加固及防渗堵漏工程中，对治理前后的渗漏量进行了监测数据对比。治理前，水库渗漏情况较为严重，渗漏量较大，对水库的正常蓄水和运行造成了不利影响。经过除险加固及防渗堵漏措施的实施，如采用了帷幕灌浆、封堵溶洞等技术手段^[10]，渗漏量得到了显著控制。监测数据显示，治理后的渗漏量相较于治理前大幅减少，达到了预期的治理效果。这不仅验证了所采取的技术措施的有效性，也证明了设计参数的合理性，为岩溶地区类似水库的除险加固及防渗堵漏工程提供了有益的参考和借鉴。

(二) 全寿命周期效益评估

1. 经济性分析模型

岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏的经济性分析需构建全周期成本核算体系。该体系涵盖初期投入与长期维护费用。初期投入包括工程材料、设备采购、施工人力成本等。长期维护费用涉及定期检查、渗漏修复材料及人工、设备更新等方面。通过详细记录各项费用，结合水库的使用年限、预期效益等因素，建立数学模型。此模型可用于评估不同加固及防渗堵漏方案的经济性，为决策者提供科学依据，选择最优方案，确保在满足工程质量和效果的前提下，实现成本的合理控制和效益的最大化。

2. 社会生态效益评价

岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏工程具有显著的社会生态

效益。在区域供水安全方面，工程有效减少了水库渗漏，提高了水资源的存储和利用效率，确保了稳定的供水，满足了居民生活和工农业生产的用水需求。从生态保护角度来看，减少渗漏避免了水资源浪费，有利于维持区域地下水位稳定，保护了周边的湿地、河流等生态系统。同时，稳定的水资源供应也为水生生物提供了适宜的生存环境，促进了生物多样性的发展。通过综合评估相关参数，如水资源利用量的提升幅度、生态系统指标的改善情况等，可以量化工程治理对区域供水安全与生态保护的贡献度。

（三）技术标准优化建议

1. 现行规范适应性研究

岩溶地区地质条件复杂，现行水利工程规范在该地区存在一定适应性短板。在水库除险加固及防渗堵漏方面，规范中通用的一些设计参数和施工工艺标准难以完全适用于岩溶地区特殊的地质结构。例如，岩溶地区的溶洞、裂隙发育情况差异较大，现行规范对不同规模和形态的岩溶洞穴处理缺乏针对性指导。同时，在防渗材料的选择和施工要求上，没有充分考虑岩溶地区地下水的特殊化学成分及流动特性对防渗效果的影响。这些适应性问题可能导致工程设计不合理，施工效果不佳，影响水库的除险加固及防渗堵漏质量，增加工程运行风险和后期维护成本。

2. 地方标准构建路径

针对岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏，技术标准优化至关

重要。应充分考虑区域地质特征，如岩溶地貌的发育程度、地下溶洞和裂隙的分布等。建议增加对不同岩溶地质条件下适用的加固和防渗技术的详细规范，明确施工材料的性能指标要求。对于防渗堵漏材料，应规定其在岩溶环境中的抗侵蚀性和耐久性标准。同时，构建地方标准路径需结合当地实际情况，联合地质、水利等多领域专家进行深入调研。以典型岩溶地区水库工程为案例，总结成功经验和存在问题，为地方标准的制定提供实践依据，确保技术标准能够有效指导岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏工作。

五、总结

岩溶地区水库除险加固及防渗堵漏面临诸多挑战，相关治理技术体系至关重要。通过材料创新，可采用更适合岩溶地质条件的新型材料，提高水库的稳定性和防渗性能。工艺优化能使施工过程更加科学高效，确保工程质量。标准提升则为工程建设提供了更严格的规范和准则，保障工程的安全性和可靠性。此外，将BIM技术融入全生命周期管理是未来的发展方向。BIM技术可实现对水库从规划、设计到施工、运营维护等各个阶段的全面数字化管理，提高管理效率和决策科学性，有助于更好地应对岩溶地区水库的复杂情况，实现水库的长期安全稳定运行。

参考文献

- [1] 张喜良.吕家埠水库除险加固及后期运行管理建议 [D].山东科技大学, 2022.
- [2] 宋彦伸.连云港市小型水库除险加固方案比选与分析 [D].扬州大学, 2021.
- [3] 尹婷.G水库除险加固项目成本控制研究 [D].南京理工大学, 2021.
- [4] 代运.岩溶地区深基坑支护方法研究及稳定性分析 [D].贵州大学, 2021.
- [5] 阮俞理.广西澄碧河岩溶流域环境变化对径流及水库防洪风险影响研究 [D].广西大学, 2022.
- [6] 付钊龙.翁坑水库除险加固工程防渗方案研究 [J].水利科技与经济, 2022, 28(02): 40-43.
- [7] 郑延鹏.混凝土防渗墙在水库除险加固应用与分析 [J].水利科学与寒区工程, 2022, 5(04): 115-118.
- [8] 董红哲.水库除险加固防渗处理研究 -- 以塘坑坞水库为例 [J].科学技术创新, 2022, (25): 131-134.
- [9] 杨奎.防渗处理设计在水库除险加固工程中的应用 [J].黑龙江水利科技, 2022, 50(02): 158-160.
- [10] 王志江.上蒋水库大坝除险加固工程防渗效果分析 [J].黑龙江水利科技, 2021, 49(04): 89-92.