

水库除险加固施工关键技术研究

胡新刚，董明明

江苏淮阴水利建设有限公司，江苏 淮安 223001

DOI:10.61369/ETQM.2026070016

摘 要： 水库加固改造工程对于保障水库的安全稳定运行有着重要的作用意义，在水库经过长时间使用以及自然灾害的影响之后，很多水库出现了结构上的隐患以及危险状况。为了加强水库安全稳固性，在加固的过程中采用了新材料新工艺以及新技术等方法，使得加固效果更好，施工速度更快。对于加固过程中合理有效的进度安排规划、及时准确的风险评估以及经济效益分析，保证了水库加固工程的安全顺利进行，低消耗成本。这些新技术和管理手段的应用对水库加固工程起到了强大的技术支持作用，提高了水库的安全度以及抗灾救灾的能力水平。

关 键 词： 水库除险加固；施工技术；隐患排查；安全保障；工程优化

Research on Key Technologies for Risk Elimination and Reinforcement Construction of Reservoirs

Hu Xingang, Dong Mingming

Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223001

Abstract： Reservoir reinforcement and renovation projects play a vital role in ensuring the safe and stable operation of water storage facilities. After prolonged use and exposure to natural disasters, many reservoirs have developed structural vulnerabilities and hazardous conditions. To enhance reservoir stability, modern techniques such as innovative materials, advanced construction methods, and cutting-edge technologies are employed during reinforcement processes, achieving superior results and accelerated project timelines. Effective scheduling strategies, timely risk assessments, and economic benefit analyses during reinforcement operations ensure safe implementation while minimizing costs. The application of these technological innovations and management approaches provides robust technical support for reservoir reinforcement projects, significantly improving structural safety and disaster resilience capabilities.

Keywords： reservoir reinforcement; construction technology; hazard identification; safety assurance; engineering optimization

引言

水库是重要的水利设施之一，在蓄水防洪、灌溉、供水等方面发挥着重要作用，水库的安全问题不容忽视。但是由于修建时间长加之外界环境的变化，很多水库出现了不同程度的安全威胁问题，需要及时对其进行除险加固处理。传统的加固措施存在操作困难，材料选择困难等问题，怎样在保证安全的前提下提高工作效率并减少开支成为了行业内亟待破解难题。近年来，在新材料的应用、智能化及环保施工手段等方面的发展使得水库加固工程有了新的进步，本文将围绕这一课题展开探讨，研究新型加固材料的应用、智能加固设备的应用以及绿色施工等手段的应用对水库加固的作用及带来的好处。

一、水库除险加固的技术需求与挑战

（一）水库现状隐患分析与评估

水库是重要的水利工程设施，它的安全关系着下游地区防洪抗灾的安全问题和当地的生态环境保护，随着其运行年限越来越多，很多水闸因为设计问题，施工质量以及自然原因的影响逐渐出现了安全隐患，要想精准找到这些安全隐患就必须借助一些先进的检测方式，常用的检测方式有水库渗漏试验、水库沉

降观测、水库结构强度计算和地质勘查等方法。其中水库渗漏试验是采用电阻率法或者红外热成像的方式来实现对水库大坝及其底板渗漏状况的检测，在其渗漏点处能够形成清晰的热图像并且会伴随着电阻降低的现象发生；水库沉降观测是在库区坝体上安置好精密水准仪后并结合 GPS 定位的方式来进行实时监控，精度可以控制在毫米之内，主要查看是否存在不均匀沉降的问题。进行隐患问题量测可以精确的把握到水库现在的危险程度以便拟定加固措施时作为参考依据^[1]。

（二）水库除险加固的目标与任务

水库的除险加固的根本目的就是保障水库的安全，在恶劣气候条件下或者突发性自然灾害的情况下不会出现溃坝的风险，从而保障人民群众的生命财产安全。依照《水库大坝安全管理条例》，水库除险加固项目必须在不损伤原有结构的前提下增强大坝的安全稳定性和抗御地震的能力。针对不同风险采取相应的加固措施，比如如果是因为水库大坝本身存在的裂缝问题导致漏水，则需通过灌浆、灌水泥等方式加固大坝；如果是由于水库底部有渗水现象造成的，则可以使用新型防水材料对大坝进行二次防水处理避免流水造成地基冲刷。

（三）技术创新在加固工程中的应用

伴随着水库除险加固项目的需要越来越多，先进科技工程慢慢应用于水库除险加固现场，大大提高了施工的安全系数以及施工效率，近几年来智能科技的应用也普及在了对水库加固的过程中，在水库加固过程中的使用传感器，无人机等智能设备来进行实时监控水库加固工程施工的情况及安全性，可以迅速抓取施工现场的变化信息并且以毫米计算单位，通过对云端的数据进行分析便可以掌握水库施工时的状态及问题，做好相应的警告工作。新技术的应用让水库加固项目更为精准、快捷的同时也节省了后期长期使用的费用开支，使水库更好的运行下去^[2]。

二、水库加固施工的关键技术

（一）防渗技术的创新与应用

水库渗漏是一个威胁到水库安全稳定运行的重要缺陷因素，所以对防渗技术的研究与使用也是加固水库的关键。最近几年来自高效防渗材料的开发以及施工方法的革新让防渗效率得到了很大的提升，在过去的一些传统的防渗材料例如水泥砂浆、沥青基材料等等由于施工繁杂以及容易产生渗漏等问题而逐渐被淘汰。现在比较常见的两种新型防渗材料就是聚氨酯基防渗材料及高分子复合膜材料，这两种都是因为良好的柔韧性和防水性而被广泛应用在水库施工加固方面。例如像聚氨酯防渗材料而言就可以达到5-7MPa的抗渗强度，同时还有很好的防水、防紫外线作用，非常适合用来对水库底部及坝体上的裂痕进行修补^[3]。

（二）结构加固与抗震技术

水库所在地的地质情况复杂多样，加强抗震力也是水库加固工作中的重要一环。根据不同的地质情况进行合适的抗震加固方法可以增强水库自身的抗震能力。目前常用的加固方法有加固混

凝土大坝、加强抗震支撑装置等，另外还可以利用土工合成材料来增强大坝的稳定性。其中对于坝体本身的加固一般采用碳纤维复合材料，CFRP由于具有较高的强度，较小的质量以及较长的使用寿命，逐渐代替传统的钢筋来进行加固，抗拉强度可以达到3500MPa，大大提升了水库大坝自身的抗震力。根据不同的地质环境例如地震地区或者是不同的土壤类型使用相应的抗震支撑系统可以保证水库处于地震状态时能保持住自己的结构稳固。尤其是对于地震频发地区的水库，则应加强其抗震能力，可防止水库受到破坏从而保证其长久的安全使用^[4]。

（三）加固施工过程中的质量控制与风险管理

加固施工的质量把控和风险管控是保证整个项目能够顺利开展的重要因素。质量监管系统一般包含对原材料的质量把关，对施工工艺的技术把控以及对施工人员进行技术培训等内容，非常高的检测试验方法，比如激光扫描仪和高分辨率应变仪，在监控大坝及其周围地形变化上可以精确到毫米级别，这样使得在施工当中发生任何一点的变化都可以第一时间察觉；而风险管理则是通过风险分析和应急预案相结合的方式开展，通过对现场的风险源进行辨识和分析，采取有效措施来防范风险，同时建立应急处置方案以应对突发状况的发生。比如针对可能出现的大坝滑移等隐患采取自动检测的方式，在重要节点上进行人工排查，保证隐患排查措施有效；严格执行工程质量把控，加大隐患排查力度等可以最大程度减少工程施工的安全隐患，提升水库加固工程的质量安全水平。

三、水库加固工程中的新材料与施工方法

（一）新型复合材料的研究与应用

在水库大坝加固工程中，采用新型复合材料由于力学性能好被大量应用到其中。碳纤维增强复合材料（CFRP）强度高、重量轻的特点使得它的抗拉强度高达3000 ~ 3500 MPa，而且它的密度只有钢材的四分之一左右，主要用来对混凝土坝体梁、柱等受弯、受剪部位进行加固，增加结构整体承载能力以及耐久性的功能。玻璃纤维增强复合材料（GFRP）耐腐蚀性好、热膨胀系数小的特点适合应用于暴露在水环境中承受较大荷载作用下的构件进行加固。高性能混凝土（HPC）也是坝体补强的重要组成部分，它的抗压强度可以达到28天以后达到80 ~ 120MPa以上，优良的抗渗性能与抗冻融性能极大地加强了坝体的耐久性^[5]。如表1所示。

表1 复合材料性能对比表

材料类型	抗压 / 抗拉强度	抗腐蚀性	适用部位	主要特性
CFRP	抗拉可达3000-3500 MPa	高	混凝土构件	轻质高强、耐疲劳
GFRP	中高	高	暴露水环境构件	抗腐蚀、热膨胀小
HPC	抗压80-120 MPa	优	坝体整体	抗渗抗冻强
复合土工膜	N/A	优	防渗层	柔韧性好、施工便捷

（二）智能化监测技术的应用

智能化检测手段提高了水库加高工程的安全及精确度。应用不同类型的传感器建立监测系统可以随时获取到水位高度、渗透压力以及大坝变形等相关监测参数，监测结果能够达到以毫米甚至更微小单位来计算的程度。比如 GNSS接收器及精密水准仪对

大坝沉降及位移进行观测，全站仪与裂缝计观察裂缝变化情况等等；而基于云平台并融合大数据技术的数字孪生技术则可以在模拟环境中还原出工程建造过程及其结构反应状况以便于进行风险预测以及调度计划的制定等工作；最后监测信息汇总在智能化平台上集中处理分析从而给施工质量管理、隐患排查以及决策参考

都提供了量化依据使得工程加高作业更加安全可靠^[6]。

（三）绿色施工技术的引入

绿色建筑技术是为了减缓水库加固工程对环境的影响，节约自然资源。运用低碳建筑材料、再生建筑材料以及生态混凝土等方式可以在一定程度上减少施工过程中碳排放量并且可以增加施工工地周边环境质量。绿色施工的手段有合理安排机械设备使用来节约能源损耗；建立雨水回收利用设施来减少资源消耗以及施工场地水土流失防治措施等。现场建有沉淀池与绿化隔离带，可以有效的将施工产生的泥沙和废物阻止在库区边缘区域之外，起到对水质保护的作用。

四、水库加固施工的优化与管理策略

（一）施工进度优化与施工组织

水库加固工程的复杂程度对精细化管控施工进度以及统筹好人力物力的要求很高，合理的施工进度规划不仅仅只是对施工活动进行有序部署，还包含对人员、机器、物资等资源的合理调配。一方面，制定详尽的施工计划并明确划分每一项具体工作任务；另一方面，根据各项工作的先后关系来组织施工环节。比如在加固大坝时，首先要完成土建基坑挖掘然后才是基坑支撑支护，再后面才是混凝土浇筑及结构加固工作。如此则可以避免互相影响降低施工效率。另一方面借助信息化手段如 BIM 等平台实现可视化的施工监督管理，及时了解整体进度以及材料消耗状况，而 BIM 系统可以帮助我们做到精确地展示出每一步具体的施工步骤，合理化调整施工路线及时段安排，达到提前预警的作用，使我们的施工时间得到节约。对于资源调配来说，采用精密的机械管理系统能使施工机械设备利用率超过 95%，减少设备闲置时间及运行费用^[7]。如图 1 所示。

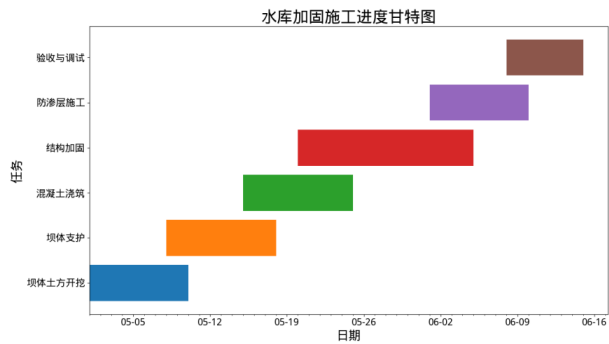


图 1 水库加固施工进度甘特图

参考文献

[1] 李倩, 陈淑珺. 水库除险加固对水库安全运行的影响及其改进措施 [J]. 陕西水利, 2025, (08): 174-176.
[2] 李阳. 高压旋喷桩灌浆技术应用于南王水库大坝病害治理 [J]. 小水电, 2024 (05): 77-80.
[3] 刘清燕, 刘振. 水库土石坝防渗加固处理技术研究 [J]. 黑龙江水利科技, 2020, 48 (09): 172-174.
[4] 周腾, 赵一琦. 基于新材料的水利工程建筑施工加固防渗技术 [J]. 科技与创新, 2025, (24): 155-157.
[5] 张荣军. 水库大坝灌浆加固施工方案研究 [J]. 水上安全, 2025, (09): 158-160.
[6] 张景娇, 韩湘湖. 水库抗震加固技术的研究与应用 [J]. 水上安全, 2024 年 (11 期) 第 40 到 42 页.
[7] 顾娟. 水库堤坝加固施工技术优化与风险管理研究 [J]. 黑龙江水利科技, 2025, 53 (12): 23-26.
[8] 徐福亮. 裂缝处理技术在水库圩堤除险加固中的创新与应用研究 [J]. 水上安全, 2025, (22): 196-198.

（二）施工安全与应急管理

对于水库加固工程施工而言，面对复杂的施工场地以及较高难度的技术水平，施工安全是重中之重。只有保障了施工人员的安全才能更好的进行水库加固工程，所以必须要做好施工安全管理制度，建立健全应急救援体系。在对大坝进行加固的过程中，会涉及到大量的土石方、混凝土灌注、高空作业等等危险的操作活动，所以在施工过程中必须要针对这些危险活动制定相应的安全规则，保护施工人员的生命安全；另外还要设置一些预警装置进行实时观测，比如安装传感器以及温度计等设备，随时观察大坝的状态，防止出现由于施工导致的坝体位移或者裂缝等情况。施工现场必须配置应急救援器材，例如自动消防系统、移动救援设施，并且要经常组织应急救援演习，保证在突发情况下能够快速做出反应处理问题。例如，在 2018 年某水库加固项目中就使用了比较新的地质灾害预警系统，当施工中有潜在的地震时可以及时的采取加固措施来防止更大的事故发生。

（三）经济性分析与成本控制

堤坝加固工程建设的成本构成主要包括原材料费、劳务费、机械租赁费等各项内容。为了保证工程经济效益，在对各个方面的成本进行全面细致的研究的基础上对其进行科学管理。对于材料的选择来说应该选择一些性价比较高的复合型材料以及绿色建筑材料，例如：聚氨酯防水材料以及自密实混凝土等材料既可以提升工程质量又能够节省材料费用。对于人员支出来来说应该运用一些自动化的机械设备，比如：机械化挖土技术及混凝土泵送技术等等都可以有效地减少人力成本同时提升了工作效率；与此同时现场设备的使用效率也是一个很重要的方面，在现场应用设备管理系统来进行设备分配，可以达到节约资金的目的，避免了重复购入和浪费租赁等现象的发生。从而节省了设备购置和运行开销^[8]。

五、结语

水坝加固新技术的应用与完善使工程建设速度提升、安全系数增加。使用新材料、监控设备以及绿色节能工艺使得坝体加固工程既增加了强度又降低了对自然环境的压力，在此基础上加强细化管理和严格预算管控也为项目实施打下了基础。今后水坝加固工程将会更加重视技术整合以及可持续性发展来保证大坝长久的安全稳定。