水库除险加固工程施工技术研究

于　民
库伦旗水库事务中心　内蒙古　通辽　028000

摘　要：水库运行中易出现结构险情、渗漏险情等。本文围绕水库除险加固工程展开研究，阐述常见险情及成因，介绍坝体加固、防渗处理、护坡修复、溢洪道和输水洞加固等关键施工技术，从质量管理体系建立、施工过程质量控制、质量检验与验收等方面探讨施工质量控制要点，为保障水库安全运行、提升加固工程质量提供参考。

关键词：水库除险加固；施工技术；险情成因；质量控制

引言：水库在防洪、灌溉、供水等方面作用重大，但长期运行易出现多种险情，如坝体裂缝、坝基渗漏、护坡破坏等，严重威胁其安全与功能发挥。这些险情成因复杂，涉及地质、设计、施工及运行维护等多方面。对水库除险加固工程施工技术展开研究，有助于解决现有病害问题，提升水库结构安全性与耐久性，确保其持续稳定运行，对保障人民生命财产安全意义深远。

1 水库常见险情及成因分析

1.1 结构险情

坝体裂缝按走向可分为横向、纵向、水平裂缝等。横向裂缝因坝体沿轴线不均匀沉降产生，各段沉降不同步，拉应力超过材料强度而开裂。纵向裂缝与坝体长度平行，由温度变化引发，夏胀冬缩反复作用使表层开裂[1]。水平裂缝分布在坝体内部，与施工分层相关，结合面处理不当易沿薄弱面分离。裂缝削弱坝体整体性，雨水或库水渗入会加剧内部侵蚀，降低承载能力。坝基渗漏途径包括绕坝渗漏和坝基管涌。绕坝渗漏发生在坝体与两岸山体结合部，岩层裂隙或断层为水流提供通道。坝基管涌因土层存在透水层，水流带走细颗粒形成渗流通道。地质条件决定透水性，库水位升高时渗透压力增大，渗漏量增加。持续渗漏会掏空坝体底部，引发失稳，影响坝基承载力。护坡破坏形式有滑坡、塌陷、冲刷。水流冲刷使库水位变动区护坡块体被掀起或冲走。寒冷地区冻融作用明显，水结冰膨胀、融化后缝隙扩大，导致结构松散。施工质量差也会引发破坏，砌筑不密实或块体强度不足难以抵御外力。护坡破坏使坝体失去保护，土料直接受冲刷，扩大破坏范围。

1.2 渗漏险情

接触渗漏多发生在坝体与坝基坝体与岸坡等的接触面。接触面处理不当是主要原因，施工时未将坝基表面浮土清理干净，或坝体与岸坡结合处未夯实，形成渗漏通道。材料性能差异也会引发接触渗漏，坝体材料与坝基岩土体透水性不同，水流易沿接触面流动。接触渗漏会带走接触面附近的细颗粒，使缝隙逐渐扩大，渗漏量增加，长期作用会削弱坝体与基础的连接强度，影响坝体稳定性。绕坝渗漏的路径沿坝体两侧山体延伸，山体地质构造是重要影响因素，岩层存在节理裂隙或破碎带，为渗流提供通道。水库水位变化也会影响绕坝渗漏，水位上升时渗透范围扩大，渗漏量增加。绕坝渗漏会导致山体内部岩土体饱和，降低山体稳定性，同时可能引发滑坡等地质灾害，渗漏水流会浸泡坝体岸坡，影响坝体与山体结合部位的结构安全。

2 水库除险加固工程关键施工技术

2.1 坝体加固技术

2.1.1 灌浆加固

灌浆材料选择需结合工程地质条件和加固需求。水泥浆强度高来源广泛，适用于裂隙较宽的岩层或土体，能通过渗透填充缝隙形成整体结构。化学浆流动性好，可注入细微裂隙，在复杂地质条件下发挥作用，但成本较高且需考虑环境适应性。选择时需评估渗漏通道大小、地质结构稳定性及施工环境，确保材料性能与工程需求匹配。灌浆工艺需遵循规范流程。钻孔按设计深度和间距进行，孔径与灌浆设备匹配。洗孔清除孔内岩屑和杂质，保证灌浆通道畅通。压水试验了解岩层透水特性，为确定灌浆压力提供参考。灌浆时控制压力大小，压力不足难以填充缝隙，压力过大会导致岩层变形或裂隙扩大。灌浆顺序从外围向中心推进，逐步封闭渗漏通道，确保灌浆材料均匀扩散。

2.1.2 土工合成材料加固

土工合成材料类型多样，土工膜具有良好的防渗性能，可阻断坝体渗水路径，适用于坝体表面或内部防渗处理[2]。土工格栅强度高，能分散坝体应力，增强坝体整体性，常用于坝体填土的加筋加固。不同材料的特性决定其功能，需根据加固目标选择合适类型。施工方法需

注重细节控制。土工合成材料铺设前清理坝体表面，去除尖锐杂物避免刺破材料。铺设时保持平整，避免褶皱影响受力效果。连接部位采用焊接或粘结方式处理，确保接缝严密牢固。固定采用锚杆或沙袋压载，防止材料在施工过程中移位，保证加固效果稳定。

2.1.3 坝体培厚加固

坝体培厚适用于坝体断面不足或稳定性较差的情况，通过在坝体上游或下游侧增加坝体厚度，提高整体抗滑稳定性和抗渗能力。培厚材料选用与原坝体土料性质相近的土料，避免因材料差异产生不均匀沉降。施工前需清理原坝体表面的杂草、浮土及松散层，使新老坝体结合紧密。分层填筑时控制铺土厚度和压实度，采用碾压设备逐层压实，压实度需达到设计标准。新坝体与原坝体结合部位需开挖台阶，台阶高度和宽度按设计要求设置，增强两者的整体性。培厚过程中同步设置排水设施，如贴坡排水或褥垫排水，防止新填土体内积水影响坝体稳定性。

2.2 防渗处理技术

2.2.1 混凝土防渗墙

防渗墙设计需综合考虑坝体渗漏情况和地质条件。厚度根据防渗要求和受力情况确定，确保能有效阻挡渗流。深度穿透透水层到达相对不透水层，形成完整的防渗屏障。墙体材料选择满足强度和抗渗性能，适应地基变形特性。设计参数与坝体结构相协调，避免因差异沉降导致墙体开裂。施工工艺需严格把控各环节。造孔保证孔壁稳定，采用泥浆护壁防止塌孔。清孔彻底清除孔底沉渣，避免影响混凝土与地基的结合。混凝土浇筑连续进行，采用导管法浇筑，确保混凝土密实无蜂窝。施工设备选型匹配孔深和孔径要求，保证施工效率和质量。质量控制重点关注混凝土强度和抗渗性，防止出现裂缝或渗漏通道。

2.2.2 高压喷射灌浆防渗

喷射方式选择依据防渗需求和地质条件。旋喷形成柱状固结体，适用于加固单个渗漏点或形成连续防渗墙。定喷形成板状结构，适用于线性防渗工程。摆喷结合旋喷和定喷特点，可调整喷射角度，适应复杂地质构造。选择时考虑渗漏范围和岩层结构，确保喷射形成的防渗体符合设计要求。施工参数控制直接影响防渗效果。喷射压力根据土层密实度调整，密实土层需提高压力以保证浆液扩散范围。提升速度与旋转速度配合，速度过快导致固结体不连续，过慢可能造成材料浪费。参数控制结合现场试验，根据地层反馈及时调整，确保形成的防渗体强度均匀、渗透系数满足要求。

2.3 护坡修复技术

2.3.1 砌石护坡修复

石料选择与加工满足质量要求。石料强度符合设计标准，质地坚硬不易风化。规格统一，便于砌筑排列。加工时修整边角，使其贴合紧密。表面平整，减少水流冲刷时的阻力。砌筑工艺保证结构稳定[3]。干砌适用于流速较小的区域，石块之间相互咬合，缝隙可自然排水。浆砌适用于水流冲击较大的部位，采用水泥砂浆砌筑，增强整体性。砌筑顺序从下往上逐层进行，每层石块错缝排列。勾缝饱满严密，采用与砌筑砂浆同强度的材料，防止水流渗入护坡内部。

2.3.2 混凝土护坡修复

混凝土配合比设计兼顾强度和耐久性。根据护坡受力情况确定强度等级，加入适量掺合料提高抗裂性能。配合比考虑施工和易性，便于浇筑振捣。适应环境条件，在寒冷地区增加抗冻成分，在侵蚀环境中提高抗腐蚀能力。浇筑与养护保证混凝土质量。分层浇筑时振捣密实，避免气泡和蜂窝麻面。浇筑完成后及时覆盖保湿，养护期内保持表面湿润，防止混凝土因失水产生裂缝。养护时间满足强度增长要求，确保混凝土达到设计强度后再承受外力作用。

2.3.3 生态护坡修复

生态护坡适用于景观要求较高或边坡稳定性较好的区域，结合植被和工程材料形成复合护坡结构。采用土工格室或生态袋作为载体，内填种植土和草种，既能固坡又能恢复生态环境。土工格室展开后铺设在修整好的坡面上，固定后填充土壤并播种，植被生长后根系与格室共同作用，增强护坡稳定性。生态袋堆叠时错缝排列，袋内填充混合土料，确保植被成活率。生态护坡需设置排水孔，避免坡面积水影响植被生长和边坡稳定。施工后定期浇水养护，促进植被生长，形成可持续的生态防护系统。

2.4 溢洪道和输水洞加固技术

2.4.1 溢洪道加固

结构修复针对不同病害采取措施。裂缝修补采用压力注浆填充，表面涂抹防护材料防止进一步侵蚀。磨损部位采用高强度混凝土或耐磨材料修补，恢复表面平整度。修复时清理病害部位，确保修补材料与原结构结合牢固。水流条件改善优化结构设计。调整溢流堰型减少水流紊乱，降低局部冲刷。增设消能设施如消力池、尾槛等，消耗水流能量，减轻对下游的冲击。措施与原有结构协调，避免因改动引发新的水流问题，确保溢洪道泄流顺畅安全。

2.4.2 输水洞加固

内衬修复根据洞体状况选择方法。钢管内衬适用于洞径较小的情况，能承受较大内水压力。混凝土内衬适用于洞体结构较好的情况，通过浇筑形成整体防渗层。施工时保证内衬与原洞壁紧密结合，避免出现空隙导致水流冲刷。闸门及启闭机维修保障运行灵活。防腐处理采用涂刷涂料或金属镀层，防止部件锈蚀。零部件更换选用匹配型号，确保与原有设备兼容。维修后进行试运行，检查闸门启闭是否顺畅，密封性能是否良好，保证输水洞调控功能正常。

3 水库除险加固工程施工质量控制

3.1 质量管理体系建立

质量方针与目标制定需结合工程实际，明确施工单位质量控制核心方向。质量方针体现对工程质量的重视，强调以可靠技术和规范施工保障加固效果，为施工全程提供质量准则[4]。质量目标需具体，如确保各分部工程质量达标、关键工序合格率符合规定标准等，使施工人员有清晰方向，各项控制措施围绕目标开展。质量管理组织机构需覆盖工程各环节，形成层级分明的体系。设置专门质量管理部门，配备相应人员，明确各部门职责。施工班组设兼职质量员，负责日常质量监督与反馈。管理层定期召开质量会议，协调解决问题，确保管理指令有效传达至各环节，形成全员参与格局。质量管理制度涵盖施工全过程，质量检查制度规定检查时间、内容和方式，确保定期全面排查；质量验收制度明确验收条件和要求，仅允许达标工程部分通过；质量奖惩制度将质量表现与奖惩挂钩，规范施工人员行为，增强质量意识。

3.2 施工过程质量控制

原材料与构配件质量控制从采购环节把关，选择信誉良好的供应商，要求提供质量证明文件。进场时对水泥、砂石、钢材等原材料进行外观检查和性能测试，不合格材料不得使用。闸门、启闭机等构配件需核对规格型号，检查运行性能，确保与设计匹配。储存时根据材料特性采取防护措施，防止水泥受潮、钢材锈蚀，保证使用时状态良好。施工工序质量控制严格执行三检制度，自检由施工人员检查自身完成的工序，及时发现表面缺陷和尺寸偏差；互检由相邻工序人员相互检查，从不同角度排查问题，避免疏漏；专检由质量管理人员专业检查，运用专业工具深入检测。上道工序未经检验或不合格，不得进入下道工序，防止质量问题累积。施工工艺质量控制以规范为依据，针对灌浆、混凝土浇筑等关键工艺，制定详细实施细则，明确操作步骤和要点。施工前培训操作人员，使其熟悉流程和要求。施工中实时监控工艺参数，如灌浆压力、混凝土坍落度等，发现偏离及时调整，确保工艺稳定，保证质量均匀。

3.3 质量检验与验收

检验项目与方法根据工程特点确定，针对坝体混凝土强度、防渗墙抗渗性能等关键指标设置项目。无损检测适用于结构内部质量检查，如超声波检测可判断混凝土内部是否有空洞或裂缝[5]。强度试验通过取样制块，实验室压力测试确定材料实际强度是否达标。外观检查关注结构表面平整度、裂缝分布等，全面评估质量状况。验收标准与程序符合行业规范，分部工程验收由施工单位自检合格后申请，监理单位组织人员对照设计文件和标准验收，检查工序衔接和整体质量。单位工程验收在各分部合格基础上进行，全面核查功能实现和结构安全，审查施工技术资料的完整性和准确性。验收中发现的问题需明确整改要求和期限，整改完成并复验合格后方可通过，确保工程质量满足使用要求。

结束语

水库除险加固工程是保障水库安全运行的重要举措。通过对常见险情及成因的分析，精准选择关键施工技术，并建立完善的质量管理体系，严格把控施工过程质量，做好质量检验与验收工作，能够有效消除水库隐患，提升水库的防洪、灌溉等综合功能，为地区的经济发展和社会稳定提供坚实的保障，实现水库的长期安全运行。

参考文献

[1]何柯森.小型水库除险加固工程施工技术研究[J].房地产导刊,2023(10):116-117,120.

[2]粟安静.水库除险加固工程中灌浆施工处理技术研究[J].工程与建设,2024,38(2):403-405.

[3]胡关保.水库除险加固工程中防渗墙施工技术的应用研究[J].中国水运,2023,23(12):85-86.

[4]张晓丽.水库除险加固工程的水工建筑物地基处理技术研究[J].水上安全,2025(5):82-84.

[5]李龙.水库除险加固工程大坝帷幕灌浆施工技术问题与解决方案的研究[J].水上安全,2024(22):148-150.