

中小型水库除险加固技术及其应用实践

黄世强

桂林市青狮潭水库灌区管理站

摘要：中小型水库作为区域水资源系统的重要组成部分，承担着灌溉、供水、防洪等关键职能，但它们的安全状况常受限于旧有设计和长期运维问题。本研究聚焦于中小型水库常用的除险加固技术，结合金陵水库案例探讨具体技术在主坝加固、溢洪道加固等方面的应用实践，以期展示加固技术在实际操作中的效果，为相关领域的研究者和工程师提供有益参考。

关键词：中小型水库；除险加固；技术；应用

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.05.074

引言：水库作为水资源管理和利用的关键构成部分，能够确保水安全、促进区域发展。由于设计和建设年代的限制，部分中小型水库存在安全隐患，亟须有效的除险加固措施。随着工程技术的发展，新的加固技术不断涌现，为提升水库安全性提供了更多可能性。本研究以金陵水库为案例，重点关注中小型水库的除险加固技术，旨在通过技术创新和工程实践提升水库的安全性和功能性。

一、中小型水库除险常用加固技术

（一）高压喷射灌浆技术

高压喷射灌浆技术主要用于增强坝体或地基的稳定性和防渗能力，其技术核心在于通过高压设备将灌浆材料注入水库坝体的裂缝或者地基的松散地层中，以此来填充空隙，提高土体的密实度和强度。在实际操作中，灌浆材料的选择通常包括水泥浆、化学浆或其混合物，这些材料在灌入后能迅速凝固，有效地封堵渗水路径，增强土层的整体性能。为确保高压喷射灌浆技术的有效性，需确定灌浆压力^[1]。理想地灌浆压力范围应控制在15-30MPa。如果压力过低，灌浆材料可能无法充分渗透到裂缝或松散层中；而压力过高，则可能导致新的裂缝产生或原有裂缝扩大，反而损害坝体结构。针对灌浆材料的流动性而言，其通常以流动度来衡量，理想的流动度应在250—350mm之间。流动度过低的灌浆材料可能无法顺利进入细小裂缝，而流动度过高的材料则可能在灌入过程中分离或流失，影响灌浆的质量和效果。

（二）砼防渗墙施工技术

砼防渗墙施工技术旨在于水库坝体或基础上建立混凝土防渗墙，以有效阻止水流的渗透，从而保护坝体结构的安全。在施工过程中，防渗墙厚度应在0.5—1.2m之间，此厚度范围能够有效平衡材料成本和防渗效

果。在选择防渗墙的具体厚度时，需要考虑水库的大小、水压以及预期的使用寿命等因素。例如，对于承受较高水压或位于复杂地质条件下的水库，可能需要选择靠近1.2米这一上限的厚度，以确保足够的防渗能力和结构强度。针对防渗墙的混凝土强度等级而言，通常要求混凝土强度等级不低于C25。C25等级的混凝土具有较高的抗压强度，能够承受长期的水压和环境侵蚀，保证防渗墙的稳定性和耐用性。防渗墙的施工技术还包括墙体的设计、混凝土浇筑、养护以及质量控制等多个环节，在混凝土浇筑过程中，需要确保混凝土的均匀性和浇筑密度，避免产生空洞或裂缝^[2]。在养护阶段，则需要控制好温度和湿度，以促进混凝土的逐渐硬化和强度发展。

（三）冲抓套井回填黏土防渗墙施工技术

冲抓套井回填黏土防渗墙施工技术通过冲抓技术在水库坝体或其周边形成套井，然后在这些套井内部回填高质量的黏土，从而形成均质且高密度的防渗墙体。在施工过程中，冲抓技术利用高压水流或机械挖掘设备在地下形成圆形或方形的空腔，这些空腔即为套井^[3]。套井的尺寸和深度取决于水库的具体条件，通常情况下，套井的直径范围在1—2m之间，深度则根据防渗要求和地质条件来确定。在回填黏土环节，黏土的密度和含水率是两个至关重要的参数。理想情况下，黏土回填层的密度应达到1.6g/cm³以上，从而确保黏土层具有足够的强度和防渗性能。同时，黏土的含水率应控制在15%至20%之间，这一含水率范围有助于黏土在回填后能够良好地紧实和固结，从而形成高效的防渗屏障。

二、中小型水库除险加固技术应用实践

（一）工程案例简述

金陵水库位于广西壮族自治区桂林市临桂区天华村委，自1957年12月动工，于1958年4月竣工，成为该区域的水利支柱。这一重要水利工程坐落于桃花江支流金龟河上游，扮演着向青狮潭水库灌区西干渠输送生命之水的角色。除此之外，金陵水库在防洪、水产养殖、水土保持以及小流域气候调节等方面发挥着不可或缺的作用。工程的主体结构包括坚固的大坝、有效的溢洪道以及专业的放水和泄洪隧洞，广西壮族自治区水利厅于2020年7月对其进行安全鉴定，鉴定其为三类坝，这一鉴定凸显了其在安全性方面的特定需求。2021年2月，水利部大坝安全管理中心对此前的鉴定结果进行了

细致复审，并同意大坝的为三类坝鉴定结果。基于这一审查结果，在广西壮族自治区发展和改革委员会的大力支持下，金陵水库于2022年迎来关键性的除险加固工程，旨在削弱潜在风险，确保水库的长期安全与稳固。

（二）案例水库现存问题

1. 大坝未达到规范要求

金陵水库主坝为均质土坝，其坝体在填土过程中未能达到防渗的标准要求，导致填土压实度不符合规定，使得坝体结构脆弱，并出现了流土渗透变形。此外，坝基部分受到了强风化基岩和基岩面接触带的中等透水性的不利影响，导致了明显的渗漏问题。此种渗漏容易影响坝体稳定性，同时可能导致水资源损失。在主坝的内、外坡方面，内坡护坡因局部破损暴露了坝体的脆弱点，而外坡排水棱体由于长期缺乏维护，部分区域已经出现破损和坍塌，无疑加剧了坝体的稳定风险。金陵水库原设计中的副坝距离主坝3.5公里，位于库尾柘村附近山坳。此副坝位于207.40米的鞍部高程，已高出溢洪道底坎的205.90米标准高程。由于周边移民问题未得到妥善解决，副坝一直未得到建设，在一定程度上影响了整个水库系统的防洪和调节能力。

2. 溢洪道无法满足规范

金陵水库的溢洪道采用的是开敞式无坎宽顶堰设计，但实际堰顶高程仅为205.90米，低于设计要求的207米，这一差距直接影响了溢洪道的泄洪能力和安全保障水平。深入分析可知，水库进水渠的结构问题已经对其功能产生了负面影响。具体而言，进水渠的底板和两侧边墙缺乏必要的衬砌处理，导致底板上杂草大量生长，阻碍了水流的正常流动。更加严重的是，控制段底板上的混凝土衬砌由于长期未得到适当维护，目前已出现严重破损，原有混凝土衬砌几乎已全部脱落。此外，左侧边墙的浆砌石衬砌也表现出明显的开裂和砂浆脱落等老化迹象，墙顶高程208.75米未能达到设计洪水位209.39米的标准，则进一步削弱了其抵御洪水的能力。除上述存在问题外，泄槽段底板和边墙未衬砌、两侧岸坡被树木和杂草覆盖，等问题影响了结构的完整性，同时可能在泄洪时阻碍水流。更为严重的是，泄槽后段穿越了公路和耕地，泄洪时可能对公路交通和路基安全构成威胁。溢洪道末端虽与南场水库相接，但南场水库缺乏有效的消能和防冲设施。该水库的放水隧洞和两座非常溢洪道尚未完全建成，两座非常溢洪道都未进行开挖，其底板和边坡还保持着土坡状态。上述因素共同导致了溢洪道在泄洪能力上的不足，对水库的安全运行和周边环境的保护构成威胁。

3. 输水隧洞存在漏水点

在金陵水库隧洞内部距离闸门约1.0米的右边墙附

近存在两处严重漏水点，其规模较大，形似大拇指大小的射水状。在隧洞左边墙约100米处的位置，同样存有混凝土开裂和小空洞漏水现象，暴露出隧洞结构的脆弱性。在隧洞的出口部分，边坡高陡且由破碎、松散的岩石构成，表面岩石的不稳定性使得整个边坡成为不稳定边坡，对隧洞的稳固性构成威胁，同时可能对周边环境和人员安全造成严重影响。在隧洞工程材料的选择方面，进口拦污栅侧墙、竖井、隧洞出口底板、消力池底板等关键部位均采用了C20级别的混凝土，这一强度等级未能达到规范要求，暴露出在材料选择和施工过程中的严重疏忽。

（三）案例水库除险加固技术应用

1. 加固主坝，提高坝体稳定性

（1）坝顶加固。金陵水库的主坝加固工程旨在提升大坝的稳定性和安全性，该过程首先需对大坝坝顶进行彻底处理，全面清除坝顶表层土。清除工作完成后，需夯填黏土，从而提升大坝整体质量、减少水分渗透。夯填工作需精确控制，以确保坝顶高程最终达到209.70m。夯填黏土后，需其上部铺设一层水泥碎石稳定层，从而为坝顶提供坚固的、抗冲刷的保护层，进一步减少水侵蚀的可能性。稳定层的厚度需严格控制在20cm，以确保足够的强度和耐久性，以及整体结构的承重能力。稳定层完成后，坝顶的下一个加固措施是铺设沥青混凝土路面层。沥青混凝土能够提供额外防水层，同时为坝顶提供坚硬的行走表面。该路面层的厚度可设定为10cm，以确保足够的耐用性及防护能力，同时使得加固后的路面高程达到210.00m。考虑到大坝的安全和维护需求，可在坝顶新建防护栏杆。栏杆顶部高程设定为211.00米，为工作人员提供必要的安全保障，同时不妨碍大坝的正常运行和维护工作。

（2）大坝主体加固。金陵水库大坝主体加固首要步骤是建设塑性混凝土防渗墙，防渗墙的轴线长度需达到144米，最大墙深为24.67米，其位置需设定在坝轴线的上游侧，此布局有助于最大限度地减少水的渗透，确保坝体的安全。防渗墙厚度需控制在0.6m，抗渗等级和允许比降分别定为W4和 $[J]=70$ ，便于确保防渗墙的效果和坝体的整体安全。在加固工作中，坝基和坝肩的帷幕灌浆防渗处理区域主要涵盖从岩土分界线以下1.0米至正常高水位（207.0米）线间的区域，有助于确保防渗全面覆盖。灌浆工作沿坝体中心线从桩号0-61.5米延伸至桩号0+150.0米，总计覆盖长度达到211.5米，能够形成完整且连续的防渗屏障。灌浆孔的间距控制在1.5米，从而保证帷幕的连续性和有效性。两侧坝肩均灌至101u线以下，能够形成封闭防渗体系，有效提升大坝防渗性能。针对穿坝老放水涵而言，虽然已封堵穿坝涵

管,但近期检查发现涵管仍存在渗漏问题。因此,对放水涵管全段实施泵送C20混凝土封堵处理,有效防止水的进一步渗透。放水涵管的出口处需设立排水反滤层,该层外部需进一步加固500mm厚的干砌块石压坡,从而增强封堵效果、提升整体稳定性。

(3)上、下游坝坡加固。金陵水库上游坝坡长期放水导致的淤泥堆积达3米深,因此可在坝脚采用干抛石方法进行挤压处理,在稳固淤泥的同时加强坝脚稳定。抛石高程可设定为193.00m,以保证最佳防护效果。在移除坝坡上的损坏混凝土和杂石之后,需进行精确地坝坡压实和平整作业。这一系列铺设工作分几个步骤进行:首先需铺设一层0.2m厚的粗砂垫层,随后需铺设厚度相同的级配碎石垫层,最终覆盖上直径为0.6m的C20混凝土预制护坡块,从而增强坝坡稳定性,同时有效防止水侵蚀。对于下游坝坡的加固则重点在于新建排水沟,由于长期雨水冲刷造成的损坏,新建的排水沟可顺应地势设置0.3m×0.3m的C20混凝土结构,在转弯处增大断面以增强排水能力、减少侵蚀。此外,下游坡面可使用草皮护坡,在稳固坝坡的同时维护生态平衡、提升环境质量。

(4)排水棱体加固。金陵水库主坝的排水棱体加固旨在增强大坝的排水效率和稳定性,此环节加固工作始于对现存的干砌石排水棱体进行全面拆除,同时保护周围的环境和结构不受损害。拆除后,需对暴露的基面进行夯实处理,此过程中使用的夯实设备和技术旨在实现对基面的均匀压实,以保证基础的稳定性和均匀性。夯实完成之后,需在基面上铺设500mm厚的反滤层,用于阻挡细小颗粒流失的同时允许水流顺畅通过,从而保护下方结构并维持排水效率。完成反滤层铺设后,需进行新干砌石排水棱体的建设。新的排水棱体采用精选石料,确保其结构的强度和耐久性。

2. 加固溢洪道,确保安全运行

金陵水库溢洪道加固工程的第一步为强化进水渠结构,为提升进水渠的结构稳定性和耐用性,需对两侧边墙进行重点加固。具体加固工作可采用C25级混凝土制成的仰斜式挡墙,此类挡墙结构具备卓越的侧向压力承受能力,能够保障了边墙在水流冲击下的坚固稳定。为进一步增强渠底的耐久性和抵抗冲刷能力,渠底可铺设了0.3m厚的C25级混凝土层,此种双重加固措施能够提高渠道防渗性能,同时显著提升其整体结构的抗损耐力。

工程的第二阶段专注于控制段的改造,原先设计为开敞式无坎宽顶堰的结构,为适应更高标准的调洪需求,将被改建成为一个功能更加先进的泄洪闸。这一改建的核心在于将底板高程从205.90m降低至204.50m,并

增加两孔泄洪闸,每孔宽度为5m,总计提供10m的溢流净宽。此外,闸门顶部高程被设定在207.30m,超出正常蓄水位0.3m,从而确保足够的泄洪能力,以应对极端水文情况。第三阶段则主要加固泄槽段,在这一环节中,泄槽段的两侧边墙需采用了与进水渠相同材质和设计的C25级混凝土仰斜式挡墙。对于底板,则选择了强度更高的C30级钢筋混凝土,厚度达到0.5m。此种高强度的底板设计能够有效防止长期水流的侵蚀和损伤,大幅提升泄槽段的稳定性和耐久性。工程的最后一个环节是新建消力池和出水渠,此环节设计需重点减少水流冲击能量,从而保护下游河床免受侵蚀。

3. 加固输水设施,增强设施效率

金陵水库的输水设施加固工程旨在确保输水系统的稳定性和安全性,这一工程涉及四个关键环节。其中,针对竖井后渐变段与圆洞连接部位存在的射流渗漏而言,此部分衬砌混凝土与围岩之间存在渗漏通道,可采取围岩固结灌浆方法。具体需使用具有高强度和快速固化特性的灌浆材料,如聚氨酯或环氧树脂基灌浆材料,进行精确灌浆。此种材料可以迅速渗透到裂缝中,并在短时间内固化,有效封堵渗漏通道,从而增强围岩的整体稳定性。在隧洞衬砌加固环节,需对隧洞衬砌进行回填灌浆处理,使用的灌浆材料需要有良好的流动性和黏结性,可选用硅酸盐水泥基灌浆材料。随后需要对灌浆固化后的衬砌表面安装钢板衬砌,所选用的钢板材质应为Q345钢等高强度耐腐蚀钢材,厚度大约在8—10mm之间。钢板安装后,需进行接触灌浆,使用的灌浆材料需具备良好的黏结力和耐久性。最后,需通过膨胀螺栓将钢板固定,膨胀螺栓型号可选用M16或M20,以确保钢板与原衬砌部位紧密结合,提升衬砌的整体稳定性。

结束语

综上所述,本研究对中小型水库常用的除险加固技术进行了深入探讨,通过金陵水库案例分析揭示了这些技术在主坝加固、溢洪道加固和输水设施加固中的具体应用,证明其在实际工程中的实用性和有效性。展望未来,随着技术的进一步发展和应用,中小型水库的安全性和功能性将得到更加显著的提升,为区域的水资源管理和可持续发展做出更大贡献。

参考文献

- [1]马明福.水利工程中小型水库除险加固施工技术的问题研究[J].魅力中国,2021(42):0172-0174.
- [2]王月.中小型水库土石坝除险加固施工技术实践应用研究[J].技术与市场,2022,29(6):2.
- [3]程衍旺.水利工程中小型水库除险加固设计研究[J].价值工程,2021,40(21):3.