

水利工程中病险水库加固工程技术的应用探讨

文 / 支钰智 临沂市水利工程保障中心

谢文栋 临沂市水利工程保障中心

摘要: 水库是水利工程中重要的基础设施,主要用于蓄水、防洪、灌溉、发电等多种用途。随着我国社会经济的快速发展,水资源的利用需求日益增加,水库的安全运行显得尤为重要。然而,由于一些水库建造时间较早,设计标准较低,加上多年运行过程中遭受自然灾害和环境影响,部分水库出现了不同程度的病险问题,威胁着周边地区的安全和社会经济的可持续发展。因此,病险水库的加固与改造成为当前水利工程中的一个重要课题。本文将探讨病险水库加固工程的技术应用,以提高水库的运行安全性和延长其使用寿命。

关键词: 水利工程; 病险水库; 加固工程; 技术应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.02.076

引言

我国水库数量众多,分布广泛,尤其是在20世纪50至70年代,随着大规模水利建设的推进,许多水库相继建成。然而,由于当时技术水平、设计规范及材料质量等方面的限制,部分水库在运行过程中暴露出结构老化、渗漏、溃坝等安全隐患。此外,自然灾害频发,如暴雨、洪水、地震等,也对水库的安全运行构成了严重威胁。据统计,目前我国仍有大量病险水库存在不同程度的隐患,亟待进行科学的加固改造。近年来,随着我国水利工程技术的进步,病险水库的加固技术得到了显著提升。包括坝体加固、渗漏处理、防洪能力提升、溢洪道扩建等多种技术手段在实际工程中得到了广泛应用。这些技术不仅能够有效提高水库的安全性,还能延长其使用寿命,优化水资源调度管理,为我国水资源的可持续利用提供了坚实保障。因此,研究和总结病险水库加固工程中的技术应用具有重要的现实意义。

一、病险水库的定义

病险水库的定义主要是指由于工程建设时间较早、设计标准低或长时间运行缺乏维护管理,导致水库结构存在明显安全隐患,可能对下游地区造成重大损失的水库。通常,这些水库在运行过程中会出现坝体渗漏、坝基失稳、溢洪道损坏等问题,严重时甚至会有溃坝的风险。根据我国相关标准,水库是否为病险水库通常是通过安全评估来判定,评估内容包括坝体的抗滑稳定性、渗流安全、泄洪能力以及水库整体的耐久性等因素。具体来说,当坝体或其他关键部位的稳定系数小于国家规定的安全标准,或者溢洪道无法满足设计洪水标准时,该水库就被列为病险水库。病险水库不仅影响水库自身的功能,如供水、灌溉、防洪和发电,还会对下游居民的生命财产安全构成威胁。根据统计数据显示,病险水库在我国数量庞大,尤其是中小型水库,由于历史建设资金不足、技术条件有限,成为病险水库的重灾区。

二、我国病险水库的现状分析

我国病险水库的现状问题较为突出,尤其是中小型水库存在较多安全隐患。根据相关统计数据显示,我国

现有的水库总数超过9.8万座,其中大部分是20世纪50年代至70年代修建的,很多水库由于当时的技术水平和设计标准较低,运行至今已出现不同程度的老化、损坏。许多水库的坝体由于年久失修,存在渗漏、变形等现象,严重威胁到水库的整体结构安全。此外,部分水库的溢洪道泄洪能力不足,在极端天气条件下,可能会导致洪水无法及时排泄,从而增加水库溃坝的风险。尤其是在中西部山区,由于地形复杂,病险水库数量较多,安全隐患较大。

在气候变化和极端天气事件频发的背景下,病险水库的安全问题更加严峻。近年来频繁发生的暴雨、洪水等自然灾害,给本已脆弱的水库安全带来了更大的压力。根据数据,约三分之一的水库存在不同程度的病险问题,其中以土坝、土石坝类型居多。这些水库大多分布在农村地区,维护资金和技术支持匮乏,加剧了安全隐患。部分地区对病险水库的管理也存在不足,定期检查、维护和加固措施未能到位,导致一些隐患未能及时发现并处理。为了确保下游居民的安全和区域经济的稳定发展,近年来国家逐步加大了对病险水库的治理力度,实施了大规模的水库除险加固工程,但整体任务仍然繁重,亟须继续加强技术创新和资金投入。

三、病险水库的主要危害

病险水库的主要危害体现在多个方面,对区域安全、经济发展和生态环境构成了严重威胁。其最直接的危害是对下游居民生命财产安全的巨大威胁。病险水库由于坝体渗漏、坝基失稳、溢洪道泄洪能力不足等问题,在遇到强降雨或洪水等极端天气时,极易发生溃坝事故,导致下游洪水泛滥。这样的灾害一旦发生,不仅会造成大量房屋、农田的破坏,直接影响当地居民的生活与生产,还可能造成严重的人员伤亡,形成难以估量的社会和经济损失。我国历史上多次发生的溃坝事故已证明,病险水库对防洪安全构成了巨大隐患。

病险水库还对农业灌溉和农村供水构成潜在威胁。很多水库是当地农业生产的主要水源,尤其在中西部农村地区,水库的水资源直接影响到农田的灌溉和农村生

活用水的供应。一旦水库功能受损，灌溉无法正常进行，农作物的生长将受到影响，导致农业减产甚至绝收，进而影响农民的收入。此外，供水中断将严重影响农村居民的日常生活，尤其在旱季时更为明显。

病险水库对生态环境也有不可忽视的危害。水库一旦溃坝或发生泄洪事故，周围的自然生态系统将受到破坏。洪水冲击可能导致河流生态失衡，破坏水生生物的栖息环境，同时冲走大量泥沙和污染物，进一步影响下游水质和生态。长此以往，区域的生态系统可能面临严重退化，甚至威胁到生物多样性。

四、病险水库加固工程技术分析

(一) 水库坝体加固技术

1. 坝体防渗技术

坝体防渗技术是病险水库加固工程中至关重要的环节，旨在解决坝体渗漏问题，增强坝体的稳定性，确保水库的安全运行。常见的防渗技术包括帷幕灌浆、黏土心墙防渗、沥青混凝土防渗和土工膜防渗等多种方法。

帷幕灌浆技术通常用于土坝和土石坝的坝体或坝基，主要通过向坝体或坝基中钻孔，向孔内注入水泥浆液，形成帷幕体，阻止水渗透。灌浆帷幕的厚度和深度根据坝体的具体情况而定，通常帷幕厚度控制在0.5至1米之间，深度可以达到几十米，以确保坝基的防渗效果。

黏土心墙防渗是通过在坝体中设置黏土心墙，利用黏土的低渗透性阻挡渗流。心墙的厚度通常设计为坝体高度的1/10左右，渗透系数一般要求低于 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ，能够有效减少水库内部渗漏风险。

沥青混凝土防渗主要用于一些较高的土石坝，通过铺设沥青混凝土层，形成坚固的防渗屏障。这种方法适用于高水头、较大变形条件的水库，沥青混凝土厚度通常在50至100厘米，能够承受较大的水压和变形。

土工膜防渗则是一种现代化的防渗技术，常用于中小型水库。土工膜通常由聚乙烯或聚丙烯材料制成，厚度为1.5至3毫米，铺设在坝体或库底，具有极低的渗透系数，渗透系数可达到 $1 \times 10^{-12} \text{cm/s}$ 。这种防渗材料不仅施工方便，成本较低，而且能够有效减少渗漏风险，提高坝体的安全性。

这些防渗技术根据水库的具体情况进行选择和组合，确保坝体的防渗性能，保障水库的长期安全运行。

2. 坝体加固技术

坝体加固技术是病险水库除险过程中关键的一环，旨在提高坝体的整体稳定性和抗震能力，防止因结构老化、沉降、滑坡等问题导致坝体失稳或溃坝。常见的加固技术包括加高培厚、重力坝体加固、坝肩加固、反滤排水结构设置等多种方法。

加高培厚技术主要用于土坝和土石坝，通过在原有坝体上增加填筑材料，提升坝体的抗滑稳定性和抗洪能力。一般情况下，土坝的加厚层需要根据坝体的高度和坝坡坡度设计，增加的厚度通常为坝体高度的5%

至15%。对于较高的水库大坝，通过加高坝顶和加固坝脚，能够显著提高水库的防洪能力和抗震能力。施工过程中采用良好压实性能的材料如黏土或砂砾，以提高坝体的密实度和稳定性。

重力坝加固技术多应用于混凝土重力坝或溢洪道的结构性加固。通过在坝体下游侧增设混凝土或钢筋混凝土结构，使得坝体自身重量增加，从而提升其抵抗水压力的能力。此类加固方案通常适用于高水头或坝体发生较大变形的水库，通常加固厚度控制在坝体高度的1%至5%范围内，能够有效增强坝体的抗滑能力。

对于坝肩的加固，常采用削坡和抗滑桩等方法来增强坝肩的稳定性，尤其是在地质条件较差或坝肩倾斜较大的情况下。抗滑桩技术通过在坝体两侧钻孔，埋入钢筋混凝土桩，以提高坡体的抗滑能力和稳定性。抗滑桩直径通常为1至1.5米，长度根据地质条件确定，通常在10至20米左右，能够有效防止坝体滑动。

反滤排水结构是坝体加固的一个重要组成部分，特别是对于渗漏问题较严重的坝体。通过设置反滤层和排水层，能够有效控制坝体内的渗流，减轻水压，防止内部水渗透对坝体稳定性造成影响。反滤层通常由多层不同粒径的材料组成，排水系统则通过设置排水管道或排水井，将渗透水及时排出。

通过这些加固技术的综合应用，能够有效提升坝体的抗渗能力、抗滑稳定性和整体安全性，保障病险水库的长期运行安全。

(二) 溢洪道改造技术

溢洪道改造技术在病险水库加固工程中至关重要，主要目的是提高水库的泄洪能力，确保在极端降雨条件下能够迅速、安全地排出洪水，避免水库因溢洪道能力不足而导致溃坝事故。常见的溢洪道改造技术包括拓宽溢洪道、增加控制结构、改造泄槽断面以及改进消能设施等。

拓宽溢洪道是最常见的改造方式之一，通过扩大溢洪道的宽度或加深溢流槽，能够大幅度提升泄洪能力。通常，溢洪道的改造宽度依据设计洪水量和溢洪标准确定。对于中小型水库，溢洪道宽度一般需要增加1至5米，深度增加0.5至2米，从而确保在洪水高峰期能安全泄洪。

增加控制结构也是一种有效的改造手段，特别是对于没有控制结构的自由溢流道。通过在溢洪道入口处增加闸门或控制堰，可以调节水库的泄洪量，避免洪峰期出现过大的水流冲击下游。在这类改造中，常采用钢筋混凝土闸门，闸门的高度和宽度根据设计洪峰的标准计算，通常控制高度为溢洪道高度的0.8倍，确保能够及时开启并迅速泄洪。

泄槽断面的改造通常是在原有溢洪道基础上通过优化其形状，减少水流的阻力，提高泄洪效率。例如将矩形断面改为梯形或弧形断面，能够有效加速水流的排放。在具体实施中，泄槽断面的形状设计需根据水库的地形和水文条件来确定，通常泄槽坡度控制在1:10到

1:5之间,以保证泄洪过程中水流的稳定性和安全性。

改进消能设施是溢洪道改造的重要组成部分,目的是减少泄洪过程中水流的冲击力,防止下游河道和坝基受到过大的侵蚀。常用的消能设施包括消力池、消力墩和消能坎等结构。在改造过程中,消能设施的设置需要根据溢洪道的泄流量和水流速度来设计,通常消力池的深度为溢洪道水深的1至1.5倍,消能墩的高度为水流深度的0.5倍左右,确保水流的动能能够有效耗散。

(三) 护岸及进水口加固技术

护岸及进水口加固技术是病险水库整治工程中不可或缺的重要部分,其主要目的是防止水流对水库岸坡和进水口的侵蚀破坏,保障水库的结构安全和水源供应的稳定性。在长期运行中,水库的岸坡经常受到水流冲刷和自然侵蚀,特别是在洪水期间,岸坡容易发生坍塌,进水口也可能因淤积或结构损坏影响水库的正常运作。加固技术的应用可以有效解决这些问题。

护岸加固技术通常包括浆砌石护坡、钢筋混凝土护岸、生态护岸等多种方式。浆砌石护坡是一种常见的传统护岸方法,适用于中小型水库,其加固效果良好且成本较低。护坡的厚度通常根据水库规模确定,厚度一般为0.3至0.5米,坡度控制在1:2至1:3之间,确保坡体能够承受水流冲击和侵蚀。钢筋混凝土护岸则多用于大中型水库或水流较为剧烈的河段,通过在岸坡表面铺设混凝土板块,有效增强抗冲刷能力,混凝土厚度通常为0.2至0.4米,能够承受较大的水流压力。

生态护岸是一种新型的加固技术,通过在岸坡上种植植被或使用土工格栅、植生袋等材料,既可以起到加固的作用,又能保护环境,增强岸坡的生态功能。生态护岸技术通常适用于水流较为平缓的区域,尤其是在环境保护要求较高的水库应用广泛。土工格栅或植生袋的规格一般为50至100厘米,能有效防止土壤流失,提升岸坡稳定性。

进水口加固技术的应用主要体现在防止进水口结构损坏和淤积堵塞。钢筋混凝土结构广泛应用于进水口加固,通过增强进水口的抗压和抗冲击能力来确保水库水源供应的稳定性。进水口的加固通常涉及清淤、扩容以及结构加固等措施,特别是在进水口容易被泥沙淤积的水库中,定期清淤和疏通进水口是确保其正常运行的重要步骤。加固后的进水口结构能够有效抵抗水流冲击,减少泥沙堆积,确保水库长期稳定运行。

(四) 库底及库岸稳定性处理技术

库底及库岸稳定性处理技术是病险水库加固中必不可少的技术手段,主要用于解决库底沉陷和库岸滑坡等问题,以确保水库的长期安全稳定运行。由于库底和库岸的地质条件复杂,长期受到水流冲刷、渗透及地质运动的影响,容易出现土体不稳定、沉陷或滑坡的情况,这对水库的整体安全构成重大威胁。通过合理的处理技术,可以有效增强库底和库岸的稳定性,避免灾害的发生。

库底稳定性处理技术通常采用压密注浆和反滤排水

的方式。压密注浆技术通过在库底或坝基的薄弱区域钻孔,然后注入水泥浆、黏土或化学材料,填充孔隙、裂隙,从而增强地基的强度,减少沉降。库底注浆的深度和间距根据地质条件和沉陷程度设计,通常深度在10至30米之间,间距为5至10米,以确保地基均匀加固,提高库底的承载力和抗渗性能。

反滤排水技术主要用于控制库底的渗漏和减轻水压力。在库底铺设反滤层,由粗砂、碎石等多种材料构成,可以有效排除渗水,减少水压对库底的影响。反滤层的厚度一般为50至100厘米,能够显著提高库底的稳定性,防止因水压过大引发的沉陷或变形。

库岸的稳定性处理技术则以削坡和抗滑桩为主。削坡技术适用于坡度过陡或土质疏松的库岸,通过降低坡度来减少滑坡的可能性。坡度通常被设计为1:2至1:3的比例,以确保坡面稳定。在地质条件复杂的地区,还可以采用抗滑桩加固技术,通过在库岸不稳定地段钻孔,埋入钢筋混凝土桩,增强岸坡的抗滑能力。抗滑桩的直径一般为1至1.5米,深度根据库岸的滑坡深度设计,通常在10至20米之间。这些库底和库岸的加固技术综合应用,能够有效防止沉陷、滑坡等地质灾害的发生,提高水库的安全系数,确保水库在不同运行条件下的长期稳定性。

结束语

病险水库加固工程技术的应用在我国水利工程建设中具有重要意义。通过对坝体防渗、坝体加固、溢洪道改造、护岸及进水口加固、库底与库岸稳定性处理等技术的综合运用,极大提升了水库的安全性和运行稳定性。这些技术不仅有效解决了水库存在的结构性问题,还增强了水库抵御自然灾害的能力,保障了下游地区的防洪安全、供水稳定和生态环境的保护。尽管我国在病险水库的整治和加固方面取得了显著进展,但随着气候变化和极端天气事件的增加,水库安全形势依然严峻,技术创新和管理提升仍是未来的发展重点。

参考文献

- [1] 魏曼. 基于多目标决策的病险水库大坝加固施工方案优化研究[J]. 水利科技与经济, 2023, 29(10): 145-149.
- [2] 王海荣. 小型水库病险除险加固工程施工管理分析[J]. 低碳世界, 2023, 13(4): 133-135.
- [3] 陈登贤, 许英姿. 柳州市病险水库除险加固现状及推进措施[J]. 价值工程, 2022, 41(32): 44-46.
- [4] 田文利. 小型病险水库除险加固主要工程问题及对策研究: 以沅陵县为例[J]. 河南科技, 2023, 42(3): 61-64.
- [5] 郭亚光, 李明江, 于海. 小型病险水库除险加固项目建设管理存在的问题及建议[J]. 水利技术监督, 2023(7): 75-76, 108.
- [6] 吴晨. 某小型水库病险隐患分析及采取的对策[J]. 地下水, 2022, 44(6): 269-272.