

楼庄子水库泥沙淤积防控对水库设施安全生产的影响分析

阿合买提江·阿海提

头屯河流域水利管理中心

DOI:10.12238/hwr.v9i8.6530

[摘要] 本文以楼庄子水库为研究对象,系统分析了泥沙淤积的成因、现状及发展趋势,重点探讨了泥沙淤积对大坝、泄水与输水建筑物等关键设施安全运行的多种不利影响,包括结构稳定性下降、设备磨损加剧、调度能力受限等问题。在此基础上,从工程措施、非工程措施和综合治理机制三个方面提出了一系列防控策略与安全保障建议,旨在提升水库泥沙治理能力,保障设施长期安全稳定运行,支撑区域水安全与可持续发展。

[关键词] 楼庄子水库; 泥沙淤积; 水库安全; 设施运行

中图分类号: TV697.3 文献标识码: A

Analysis on the influence of sedimentation control on safety production of reservoir facilities in

Louzhuangzi Reservoir

Ahemaitijiang Ahaiti

Toutun River Basin Water Conservancy Management Center

[Abstract] This paper takes Louzhuangzi Reservoir as the research subject, systematically analyzing the causes, current status, and development trends of sediment deposition. It focuses on the multiple adverse effects of sedimentation on the safe operation of key facilities such as dams, spillways, and water conveyance structures, including reduced structural stability, increased equipment wear, and limited scheduling capacity. On this basis, a series of prevention and control strategies and safety assurance recommendations are proposed from three aspects: engineering measures, non-engineering measures, and comprehensive management mechanisms. The aim is to enhance the reservoir's sediment management capacity, ensure the long-term safe and stable operation of facilities, and support regional water security and sustainable development.

[Key words] Louzhuangzi Reservoir; sediment deposition; reservoir safety; facility operation

引言

水库作为调控水资源、防御洪涝灾害、提供清洁能源的重要基础设施,其安全运行与国家经济社会发展和生态环境保护密切相关。楼庄子水库位于多沙河流域,处于特殊的地理与气候环境中,泥沙来源丰富,淤积问题尤为严重。近年来,由于上游水土流失加剧和极端天气事件频发,入库沙量呈增加趋势,水库淤积速率加快,对长期安全生产构成了现实挑战。在此背景下,深入剖析泥沙淤积对楼庄子水库设施安全生产的具体影响机制,并据此提出系统性、前瞻性的防控对策,已成为水库管理工作中亟待解决的核心课题。本研究旨在通过全面探讨泥沙淤积与水库设施安全之间的内在联系,为楼庄子水库的科学管理、风险规避与可持续运行提供理论依据和实践参考。

1 水库泥沙淤积的成因与现状分析

1.1 泥沙来源与淤积机制

楼庄子水库泥沙淤积的形成是一个多因素共同作用的复杂

过程,其泥沙来源主要包括流域内地表侵蚀、河岸冲刷、沟壑发育以及人类活动如采矿、垦殖等所导致的水土流失。水库所在流域地质构造复杂,表层土质疏松,植被覆盖度有限,在强降雨或冰雪融水时期,地表径流携带大量悬浮颗粒物和推移质泥沙进入河道,最终在水库回水区域因流速骤降而逐渐沉降淤积。此外,流域内季节性洪水事件频发,洪峰流量大、含沙量高,进一步加剧了水库淤积的强度与速度。从淤积机制上看,主要包括重力沉降、絮凝作用、异重流输沙等多种形式,其中细颗粒泥沙以悬浮方式运移并缓慢沉积,而粗颗粒泥沙则多在库尾或三角洲前沿淤积,形成自上而下的淤积纵剖面^[1]。水库运行方式同样影响淤积分布,如汛期低水位排沙或蓄清排浑调度可在一定程度上减轻淤积,但若调度不当,反而可能引起淤积部位集中或泥沙侵入有效库容,从而对取水口、泄洪闸等关键部位造成不利影响。

1.2 当前淤积状况与监测数据

根据近年来的水下地形测量、遥感反演及现场采样数据,楼庄子水库目前已进入中度淤积状态,总淤积量约达到设计库容的20%,且年均淤积速率呈上升趋势。淤积空间分布呈现明显的不均匀性,主要集中于水库回水末端和三角洲前缘区域,该区域淤积厚度较大,已导致部分原设计调洪库容损失,汛期防洪压力相应增加。监测结果表明,库底高程普遍抬升,尤其在靠近大坝区域的淤积虽缓慢但持续发生,可能影响底孔泄流能力和电站进水口正常运行。泥沙颗粒组成以粉砂和黏土为主,中值粒径较小,反映出流域水土流失中以细颗粒物质为主的特性^[2]。同时,泥沙淤积还导致水库水温分层现象变化,进而影响水质分布与生态系统健康。长期观测资料显示,若不实施有效干预,预计在未来二十年内水库有效库容将进一步显著减少,严重制约其兴利功能的发挥,并对大坝、闸门等水工建筑物的基础稳定性构成潜在威胁。

1.3 淤积发展趋势预测

基于水文泥沙序列分析、流域土地利用变化模型及气候情景模拟,楼庄子水库泥沙淤积未来发展趋势不容乐观。在全球气候变化背景下,极端降雨事件发生概率增加,可能导致短期内高强度输沙过程增多,加速水库淤积。同时,上游地区经济开发活动如城镇化建设、道路工程等仍处于扩张阶段,地表扰动范围扩大,土壤侵蚀模数有望进一步提高,这意味着入库沙量在中期内难以自然减少。水库自身调度虽能在一定程度上调节淤积部位,但受制于防洪、供水和发电等多目标需求,优化调度空间有限。数值模拟预测表明,现有工况下水库三角洲淤积体将逐渐向前推进,可能堵塞部分取水设施,增加清淤难度和成本。更严重的是,持续淤积将使坝前淤沙高程上升,增加闸门启闭负荷,并对消能防冲设施造成磨损,长期来看甚至可能影响坝体应力分布和抗震稳定性。

2 泥沙淤积对水库设施安全生产的具体影响

2.1 对大坝及挡水建筑物的影响

泥沙淤积对楼庄子水库大坝及挡水建筑物的安全运行构成多重潜在威胁。首先,坝前区域泥沙逐年淤高,将增加作用在坝体上的泥沙压力,改变大坝原有的受力状态,可能引起坝基应力重分布,甚至导致不均匀沉降,影响坝体结构整体稳定性。对于土石坝而言,淤积物中的细颗粒可能随渗流进入坝体排水设施,造成排水滤层堵塞,抬高浸润线,加剧渗透变形风险,严重时可能引发管涌或滑坡。其次,泥沙淤积会使挡水建筑物如闸墩、翼墙的基础埋深相对减小,削弱其抗滑和抗倾覆稳定性,特别是在高水位或地震荷载作用下,结构失稳概率增大。此外,淤积物中化学物质的长期存在还可能对混凝土结构产生腐蚀作用,降低材料耐久性。汛期异重流携带的泥沙若在泄洪时通过底孔排放,高速含沙水流会对闸门槽、门叶及启闭机系统造成严重磨损与气蚀,缩短设备使用寿命,增加维修成本和故障风险^[3]。

2.2 对泄水与输水建筑物的影响

泄水建筑物和输水建筑物的正常功能发挥高度依赖于良好的水流条件,而泥沙淤积显著改变了库区流态与进口水力学环

境,进而威胁其安全生产。在泄水方面,库前淤积可能导致泄洪闸进口流速分布不均,形成漩涡或吸气漏斗,引起空化空蚀,破坏混凝土表面并引发振动,影响闸门精准控制。严重时,泥沙淤积甚至部分堵塞泄流孔口,降低水库应急泄洪能力,直接威胁大坝防洪安全。对于输水建筑物,取水口周边淤积会使进水条件恶化,增加拦污栅堵塞频率,加大清污难度和停机风险。更值得注意的是,细颗粒泥沙进入输水系统后,会磨损水泵叶片、阀门及管道内衬,导致效率下降和能耗上升,频繁检修不仅增加运行成本,还可能造成供水中断。在极端情况下,高含沙水流可导致水轮机过流部件严重磨损,降低发电效率与设备寿命,威胁电站稳定运行。

2.3 对水库调度与综合效益的影响

楼庄子水库的调度运行旨在统筹防洪、供水、发电和生态等多目标需求,但泥沙淤积通过减少有效库容、改变库区地形和影响设备可用性,严重制约了调度灵活性与综合效益的发挥。在防洪方面,淤积导致防洪库容萎缩,水库调蓄洪水能力下降,不得不提前预泄或加大下泄流量,增加下游防洪压力,也可能因汛限水位调整而减少兴利库容,形成调度矛盾。在兴利方面,可供分配的水资源量因淤积减少,干旱年份供水保证率降低,直接影响区域生活、工业及农业用水安全。电站运行因进水口淤积和水头损失增加,发电出力下降,经济效益受损^[4]。同时,泥沙淤积还可能改变水库水温与水质分布,影响下游水生生态及灌溉水质。此外,为缓解淤积影响,管理者往往需调整原有调度规则,如采取蓄清排浑方式,但这可能在短期内与发电、供水需求冲突,增加调度决策的复杂性。长期来看,水库综合效益的持续衰减不仅造成经济损失,还可能引发社会与生态问题,凸显出泥沙淤积防控对维持水库多目标安全运行的重要性。

3 楼庄子水库泥沙淤积防控策略与安全保障措施

3.1 工程性防控措施

为有效缓解楼庄子水库泥沙淤积问题,首要途径是采取一系列工程性防控措施,从泥沙来源、输移路径和沉积场所三个环节实施系统治理。在上游流域,应大力推进水土保持工程,包括修建谷坊、拦沙坝、梯田等坡面治理工程,减少侵蚀源头的泥沙产生量,同时结合植被恢复与生态修复,提高地表抗蚀能力,从根本上控制入库沙量。在水库库区及入库河口段,可建设排沙底孔、泄空冲沙设施或设计排沙隧洞,通过水力排沙方式将已淤泥沙排出库外,尤其在汛期利用洪峰流量进行集中冲沙,可显著恢复部分库容并减轻坝前淤积。对于重要设施如取水口和泄洪闸门前区域,可设置导流墙、拦沙坎等导沙工程,引导泥沙远离敏感部位,或采用机械清淤方式定期清除局部淤积,但需综合考虑清淤成本与泥沙处置途径。此外,优化大坝泄流建筑物设计,如采用孔板消能或旋流排沙技术,可增强排沙效率并减少磨损。这些工程措施需结合楼庄子水库具体地形、水文及运行条件进行个性化设计,并通过数学模型与物理模型试验验证其有效性,以确保其在技术可行、经济合理的前提下最大限度保障设施安全。

3.2 非工程性防控措施

除工程手段外,非工程性防控措施在楼庄子水库泥沙淤积管理中也扮演着关键角色,主要通过管理优化、政策调控与技术提升来实现长效安全保障。在水库调度方面,应制定并实施泥沙优化调度方案,根据来水来沙预报动态调整运行水位,例如在泥沙高负荷时期降低水位运行以促进排沙,或在保证防洪安全的前提下利用洪水资源进行冲沙,从而兼顾减淤与兴利目标。加强流域综合管理,通过政策引导限制上游不合理开发活动,严格执行水土保持法规,控制人为新增泥沙来源。同时,构建完善的水库泥沙监测体系,利用遥感、水下地形测绘和在线传感技术实时跟踪淤积分布与变化趋势,为管理决策提供数据支持。建立风险评估与预警机制,定期对水库设施进行安全检测与淤积影响评价,及时发现隐患并制定应急预案。此外,推动科技创新与应用,如研发新型耐磨材料用于易磨损部件、采用智能清淤装备提高清淤效率,并通过数字孪生技术模拟不同防控情景的效果,为科学决策提供支撑。这些非工程措施注重管理与技术的协同,能够有效提升水库应对泥沙淤积的韧性和长期安全运行能力。

3.3 综合治理与长效保障机制

楼庄子水库泥沙淤积问题的根本解决依赖于综合治理策略和长效保障机制的建立,需从系统规划、跨部门协作和持续投入等多维度构建完整的管理体系。首先,应编制水库泥沙治理专项规划,明确近期、中期和远期防控目标,将工程与非工程措施有机结合,并根据淤积监测结果动态调整实施方案。其次,加强流域管理机构的协调能力,推动水利、环保、林业、国土等多部门合作,统筹上游水土流失治理、水库清淤排沙和下游泥沙资源化利用,形成全流域泥沙调控链条。例如,淤积泥沙可用于造地、建材生产或生态修复,变废为宝,降低处置成本。同时,确保资金投入的稳定性和可持续性,将水库清淤和设施维护纳入常规预算,并探索市场化运作模式如PPP合作等,吸引社会资本参与。此外,重视人才培养与技术交流,提升管理队伍的专业素养,积极引进国内外先进治沙经验^[5]。最后,建立健全法规标准体系,明确水

库淤积防控责任主体和考核机制,保障各项措施落地见效。通过构建这样的综合治理与长效保障机制,楼庄子水库方能有效应对泥沙淤积挑战,确保水库设施长期安全稳定运行,持续发挥其综合效益。

4 结语

楼庄子水库泥沙淤积防控是保障水库设施安全生产不可或缺的重要环节,对实现水库可持续运行与综合效益最大化具有深远影响。本文系统分析了水库泥沙淤积的主要成因、当前状况及发展趋势,深入探讨了淤积对大坝、泄水输水建筑物以及水库调度与效益的多方面不利影响,进而从工程性措施、非工程性措施及综合治理机制三个层面提出了防控策略与安全保障建议。未来,楼庄子水库应继续加强科学研究与技术创新,不断提升泥沙淤积防控的精准性与有效性,从而为确保水库安全生产、支撑区域水安全与经济社会高质量发展奠定坚实基础。

【参考文献】

- [1] 谢金明,吴保生,刘孝盈.水库泥沙淤积管理综述[J].泥沙研究,2013(3):10.
- [2] 李永进.深圳水库泥沙淤积对水质的影响及其对策[J].中国农村水利水电,2002(11):3.
- [3] 马翠丽,张建,万占伟.水库泥沙淤积及其对工程运用的影响简[J].河南水利与南水北调,2017(4):3.
- [4] 陆杨,许慧,李国斌,等.泥沙淤积对不同类型水库功能影响评价[J].人民长江,2021,52(S02):5.
- [5] 周荣攀.水电站水库泥沙淤积对安全生产的影响及治理措施[J].水上安全,2024(21):91-93.

作者简介:

阿合买提江·阿海提(1978--),男,维吾尔族,新疆阿勒泰市人,本科,水利工程师,研究方向:提升水库管理水平、保障水库运行安全、预判泥沙对水库运行安全造成的危害等方面。