

# 水库泥沙淤积分析与排沙对策探讨

阿依努尔·肉孜

新疆维吾尔自治区塔里木河流域克孜尔水库管理中心 新疆 阿克苏 842000

**摘要:** 本文以新疆克孜尔水库作为分析对象, 基于水库历年水文泥沙监测数据、地形测量成果及清淤工程实践经验, 系统分析水库泥沙淤积的来源、时空分布特征与成因机制, 量化淤积对水库兴利库容、防洪能力及灌溉供水的影响。结合克孜尔水库2023年应急排沙与清淤工程实践, 从机械清淤、水力排沙减淤及优化调度及三个维度, 提出针对性的排沙减淤对策, 为多沙河流上水库的库容恢复与长期安全运行提供技术参考。实践表明, 克孜尔水库截止2023年累计淤积量达 $3.62 \times 10^8 \text{m}^3$ , 库容损失率超52%, 通过“机械清淤+低水位水力冲沙+优化调度”的组合措施, 2023年实现年排沙量1286万 $\text{m}^3$ 以上, 有效缓解淤积问题, 对同类水库具有重要借鉴意义。

**关键词:** 水库泥沙淤积; 排沙对策; 机械清淤; 水力排沙; 克孜尔水库

## 引言:

本文以克孜尔水库为典型案例, 通过梳理水库水沙条件、淤积过程及工程实践, 深入剖析泥沙淤积的关键影响因素, 构建“诊断-对策-验证”的研究框架, 探讨机械清淤与水力排沙结合、工程措施与调度优化协同的综合解决方案, 为多沙河流水库的淤积治理与可持续运行提供实践依据。

## 1 水库泥沙淤积分析——以克孜尔水库为例

### 1.1 水库概况与水沙条件

克孜尔水库位于新疆阿克苏地区拜城县境内, 地处渭干河干流木扎提河与支流黑孜河交汇处, 是一座以灌溉、防洪为主, 兼顾发电、水产养殖的大(I)型水利枢纽。工程总库容7.25亿 $\text{m}^3$  (除险加固后), 正常蓄水位1149.60m, 死水位1135.00m, 主要建筑物包括主坝、副坝、溢洪道、泄洪排沙涵洞 (进口底高程1117.0m) 及发电引水涵洞等。

水库入库水沙主要来源于哈尔克他乌山脉的木扎提河与黑孜河, 其中木扎提河由卡木斯浪河、台勒维丘克河及卡拉苏河汇合而成, 是水沙的主要贡献者。根据1992-2017年实测数据, 水库多年平均入库径流量26.2亿 $\text{m}^3$ , 多年平均含沙量 $4.38 \text{kg}/\text{m}^3$ , 多年平均悬移质输沙量 $1083 \times 10^4 \text{t}$ , 推移质输沙量 $55.12 \times 10^4 \text{t}$ 。水沙年内分配高度集中, 汛期 (6-9月) 水量占全年的58.3%, 而沙量占比高达89.3%, 且7-8月的几次沙峰过程贡献了汛期沙量的70%以上; 洪峰与沙峰历时短, 一般仅2-3天, 形成“短历时、高浓度”的输沙特征, 为泥沙快速淤积创造了条件。

### 1.2 泥沙淤积时空特征

#### 1.2.1 淤积总量与库容损失

克孜尔水库作为区域重要的水利枢纽工程, 自1991

年正式蓄水运行以来, 长期面临着严重的泥沙淤积问题。截至2023年, 水库累计淤积泥沙量已达 $3.62 \times 10^8 \text{m}^3$ , 这一数值占到总库容的50%左右, 直接导致水库剩余有效库容缩减至 $2.45 \times 10^8 \text{m}^3$ , 水利功能受到显著影响。在淤积分布上, 泥沙对关键库容的侵占尤为突出: 兴利库容侵占率高达42.8%, 严重制约了水库的供水、灌溉等核心效益发挥; 而汛限水位1145.75m以下的防洪库容损失更为严重, 达63.5%, 仅剩余9860万 $\text{m}^3$ , 大幅削弱了水库的防洪调蓄能力。受淤积影响, 水库在春灌关键期 (3-4月) 水位变化异常剧烈, 日最大降幅可达0.6m, 3日内累计降幅更是超过2.0m。这种短时间内的大幅水位波动, 使得坝体边坡承受的水压力急剧变化, 不仅破坏了坝坡周边的渗流稳定, 还易引发边坡失稳等安全隐患, 对水库大坝的长期稳定运行构成了严重威胁, 亟待采取有效的清淤减淤措施加以缓解。

#### 1.2.2 淤积空间分布

水库淤积呈现显著的区域差异: 木扎提河库段: 作为干流库段, 淤积主要集中于坝前11.8km范围内, 形成“三角洲-坝前淤积体”复合形态, 淤积物中值粒径小于0.5mm, 以粉土和粘土为主, 平均淤积厚度8-12m; 黑孜河库段: 支流库段淤积集中于入库口下游2.4km范围内, 由于水流挟沙能力减弱, 形成“拦沙底坎”, 导致干流木扎提河末端淤积加速, 甚至引发河道改道; 泄洪排沙建筑物周边: 泄洪排沙涵洞进口及导流明渠淤积严重, 2016年洪水后排沙渠完全淤平, 进口高程升至1142.9m, 出口高程1139.2m, 淤积厚度4.7-7.2m, 丧失排沙功能<sup>[1]</sup>。

#### 1.2.3 淤积时间变化规律

水库淤积速率随运行阶段与水沙条件波动: 1992-2001年为快速淤积期, 年均淤积量约1500万 $\text{m}^3$ , 主要因水库

初期运行调度以蓄水为主,排沙措施不足;2002年遭遇特大洪水,单年入库沙量达6159万t,淤积量突破3000万 $m^3$ ;2011年除险加固后,主坝加高3.6m,库容有所增加,但因下游灌溉需水增加,水库长期高水位运行,排沙机会减少,2012-2022年年均淤积量仍维持在800-1000万 $m^3$ 。

### 1.3 泥沙淤积成因机制

#### 1.3.1 自然因素:水沙时空匹配度高

渭干河流域降水集中于夏季,冰川融水与暴雨叠加形成短历时、大流量洪水,水流挟沙能力强;而水库库区地形复杂,木扎提河库段存在多处弯道与扩展段,黑孜河入库后水流扩散,两者均导致水流流速骤降,泥沙快速沉降。实测数据显示,汛期入库水流含沙量最高达300 $kg/m^3$ ,远超水库水流挟沙能力(约50 $kg/m^3$ ),必然引发淤积。

#### 1.3.2 工程因素:排沙设施功能衰减

水库重流排沙、低水位浑水排沙等措施,因库区地形限制与设施老化难以有效发挥作用:异重流在木扎提河弯道处能量损耗,无法抵达泄洪排沙涵洞;2016年洪水冲毁黑孜河导流顺坝,排沙渠淤塞,人工辅助排沙系统失效;泄洪排沙涵洞长期运行后,底板混凝土磨蚀、伸缩缝渗水,泄流能力下降,2023年检测显示涵洞底板磨损深度达5-10cm,钢筋外露,进一步限制排沙效率。

#### 1.3.3 调度因素:供需矛盾制约排沙时机

下游渭干河灌区灌溉需水与水库排沙存在时间冲突:春灌(3-4月)需水库维持高水位保障供水,无法低水位冲沙;夏灌(6-8月)虽为汛期,但棉花、玉米等作物需水关键期,水库需平衡供水与排沙,2013-2022年平均每年仅能开展1-2次低水位排沙,排沙比(出库沙量/入库沙量)仅14.5%,大量泥沙滞留库内。

## 2 水库排沙减淤对策探讨

### 2.1 机械清淤:打通排沙通道,辅助库容恢复

机械清淤是快速清除库内淤积、恢复排沙通道功能的关键措施,适用于淤积集中、水力难以冲刷的区域(如泄洪排沙涵洞进口、排沙渠)。克孜尔水库根据淤积特点,采用“挖泥船为主、挖掘机为辅”的清淤模式,具体实践如下:

#### 2.1.1 绞吸式挖泥船清淤

为保障水利工程安全运行与水资源合理调配,2023年6月,项目方专项购置专业绞吸式挖泥船,聚焦木扎提河至泄洪排沙涵洞的导流明渠淤塞难题,启动重点清淤疏通工程。该淤塞段长期累积的泥沙已影响河道行洪及输沙功能,此次施工以“精准清淤、高效输沙”为核心目标,明确开挖长度866米、开挖宽度35米、清淤深度8.5

米,累计完成清淤量达25.45万立方米。施工过程中,充分发挥绞吸式挖泥船的高效作业优势,通过专业泥浆输送管道将清挖的泥沙直接导入泄洪排沙涵洞,全程实现泥沙密闭输送、定向排放,成功打通“木扎提河-排沙洞”的顺畅输沙通道。工程的顺利完工,有效破解了导流明渠淤堵瓶颈,大幅提升河道行洪排沙能力,使得2023年水力冲沙效率显著提升至46.0 $kg/m^3$ ,为区域水利设施长效运行、防范汛期洪涝风险提供了坚实保障。

#### 2.1.2 排沙渠疏通与导流顺坝恢复

针对黑孜河排沙渠淤塞问题,采用“挖掘机挖装运+水力冲沙”组合方案:2023年5-7月低水位期间,开挖底宽10m、深度3m、长度900m的明槽,清淤3.91万 $m^3$ ,堆放于排沙渠左侧500m范围内;同时临时恢复导流顺坝,采用砂砾料填筑1840m长、3m高的坝体,填筑量3.39万 $m^3$ ,引导黑孜河水流进入排沙渠。该措施在2023年7月8日黑孜河116 $m^3/s$ 洪水期间,单日排沙量达34.68万t,验证了通道疏通的有效性。

#### 2.1.3 机械清淤方案优化

清淤时机选择在水库低水位期(5-7月,库水位1135-1140m),减少对灌溉供水的影响;清淤设备选型需结合淤积物特性,绞吸式挖泥船适用于深水细颗粒淤积(水深>2m),挖掘机适用于浅水区(水深<2m)或岩质边坡区域;清淤成本控制方面,克孜尔水库2023年机械清淤总投资68.73万元(排沙渠疏通)+210万元(导流明渠清淤),单位清淤成本约8.25元/ $m^3$ ,低于行业平均水平(10-15元/ $m^3$ ),水利冲沙技术的应用进一步提升了整体经济性,实现了清淤效果与成本控制的最优平衡。

### 2.2 水力排沙减淤:利用水动力,实现泥沙出库

水力排沙是多沙水库长期减淤的核心手段,通过优化水库运行方式,利用洪水或调度形成的水流动力,将库内淤积泥沙或入库泥沙排出库外。克孜尔水库结合水沙条件,形成“低水位冲沙+滞洪排沙+异重流排沙”的组合模式。

#### 2.2.1 低水位冲沙

为最大化提升水库排沙清淤效果,项目团队精准把握汛期水文规律,选取7-8月入库流量集中的关键时段,启动水库生态调度与冲沙作业。作业前,通过水文监测数据精准研判水流情势,科学将库水位调控至1135米(死水位以下),为溯源冲刷与沿程冲刷创造有利条件,依托天然水流势能强力清除坝前淤积体及排沙通道内累积泥沙,实现“以水冲沙、顺势清淤”的生态治理目标。2023年7月23日至8月4日期间,水库有序下泄水量1.92亿立方米,水流裹挟库区淤积泥沙高效下泄,经监测累计

排沙量达1801.24万吨(约合1286万立方米)。此次冲沙作业效率远超预期,不仅提前1天圆满完成1000万立方米的年度冲沙目标,更有效疏通了水库排沙通道,大幅提升库区行洪库容与调蓄能力,为保障水库枢纽安全稳定运行及汛期防洪减灾工作筑牢了坚实基础。

### 2.2.2 滞洪排沙

在汛期入库洪水来临前,将库水位降至1135m,空出部分库容迎汛,洪水入库后,利用入库流量大于泄流流量形成的滞洪壅水,保持库区水流流速,使细颗粒泥沙随水流排出。克孜尔水库2013-2014年主汛期采用该方式,两年出库总沙量达600万t,最高排沙比116.2%,实现“不落淤”冲沙效果;2024年计划在8月上旬洪水期应用该模式,预计可减少入库沙量淤积30%以上<sup>[2]</sup>。

### 3 优化调度:平衡供需,提升排沙效益

水库调度是协调灌溉、防洪与排沙的关键,需基于水沙预测,动态调整运行方式,在保障下游供水的同时,最大化排沙效果。克孜尔水库通过“预测-调度-监测”闭环管理,实现多目标协同。

#### 3.1 水沙预测与调度计划制定

基于渭干河流域水文站(托克逊站、黑孜站)实测数据,采用水文模型预测月、旬入库流量与沙量,结合下游灌区需水计划,制定排沙调度方案。2023年8月预测显示,上旬平均入库流量192m<sup>3</sup>/s,中旬186m<sup>3</sup>/s,据此计划8月5日起维持出库流量149m<sup>3</sup>/s,在满足灌溉的同时,至8月20日将库水位抬升至1143.96m,为后续排沙储备水位差。

#### 3.2 灌溉与排沙协同调度

采用“错峰供水+平原水库反调节”方式,减少排沙对灌溉的影响:排沙期(7-8月)缩短集中冲沙时间,将单次冲沙周期控制在10-15天;利用下游跃进水库平原水库蓄水,在克孜尔水库排沙期替代供水,保障灌区用水。2023年排沙期,下游灌区通过该方式,完成268.22万亩棉

花、72.62万亩复播玉米的灌溉任务,未出现缺水情况。

### 3.3 调度效果监测与反馈

建立“水位-流量-含沙量”实时监测系统,在泄洪排沙涵洞出口、下游河道设置监测断面,实时掌握排沙过程;排沙结束后,通过无人机航拍、多波束测深仪测量库区地形,评估淤积变化,调整下一年度调度方案。2023年排沙后监测显示,坝前淤积面高程下降0.8-1.2m,泄洪排沙涵洞进口淤积厚度减少3m,为今后调度优化提供依据。

## 4 结论与展望

克孜尔水库泥沙淤积问题突出,库容损失严重,淤积区域主要集中在干流坝前及支流入库口附近。这一现象受流域特殊水沙特性、排沙设施功能衰退,以及灌溉供水与排沙调度时间冲突等多重因素共同作用。实践证明,“机械清淤+水力排沙+优化调度”的组合治理模式效果显著,不仅有效缓解了淤积问题,还降低了清淤作业成本,同时实现了生态保护与经济收益的双重价值<sup>[3]</sup>。技术层面,需进一步优化异重流排沙相关技术参数,探索人工智能在水库调度中的应用,提升调度精准度;工程层面,加快推进排沙设施修复改造,构建“水库-下游河道”协同排沙体系,减少淤积连锁影响;政策层面,应建立水库淤积治理长效机制,完善泥沙资源化利用配套扶持政策,推动淤积治理从被动清淤向主动开发利用转型。

### 参考文献:

- [1]刘思海,侍克斌,张宏科,等.克孜尔水库泥沙淤积分析及排沙对策探讨[J].人民黄河,2018,40(07):18-21.
- [2]齐兵.白石水库排沙方案可行性分析[J].水利建设与管理,2014,34(12):51-52+50.
- [3]钱雪梅.新疆克孜尔水库泥沙淤积现状及水库排沙调度分析[J].水利科技与经济,2013,19(02):61-63.