

水利取水工程防淤减淤技术方案比选研究

万明生

山东省菏泽市牡丹区李村镇水管站

DOI:10.32629/hwr.v10i4.6941

[摘要] 水利取水工程中的泥沙淤积会直接影响取水效率与工程运行安全,各类防淤减淤技术路径经综合对比筛选后,确立水动力调控与工程措施协同推进的优化方案。依托实际工程实例,分析结构布置、运行模式及泥沙输移特征,界定各类技术的应用场景与实际作用。导流、防冲及排沙措施搭配运用,可减少淤积问题出现概率,保障取水工程稳定运行,提升项目整体运营的经济收益与安全水平。

[关键词] 水利取水工程; 防淤减淤; 泥沙输移; 技术比选; 水动力调控

中图分类号: TV5 **文献标识码:** A

Research on the Comparison of Anti-siltation and Sediment Reduction Technology Schemes for Water Conservancy Water Intake Projects

Mingsheng Wan

Water Conservancy Management Station of Licun Town, Mudan District, Heze City, Shandong Province

[Abstract] Sedimentation in water conservancy water intake projects can directly affect the water intake efficiency and the operational safety of the project. After comprehensive comparison and screening of various anti-siltation and sediment reduction technology paths, an optimized scheme of coordinated advancement of hydrodynamic regulation and engineering measures has been established. Based on actual engineering examples, the structural layout, operation mode, and sediment transport characteristics are analyzed to define the application scenarios and practical effects of various technologies. The combined use of diversion, anti-scouring, and sediment discharge measures can reduce the probability of sedimentation problems, ensure the stable operation of water intake projects, and enhance the economic benefits and safety level of the overall project operation.

[Key words] Water Conservancy Water Intake Project; Anti-siltation and Sediment Reduction; Sediment Transport; Technology Comparison; Hydrodynamic Regulation

引言

水利取水工程在供水、灌溉及生态调控中占据重要地位,并且泥沙淤积长期影响运行效率与使用寿命。而分析防淤减淤技术的适应性与效果,可提升工程整体性能与运行安全水平,基于此,本文从多维度对比典型技术措施并梳理,从而为优化取水工程防淤体系提供参考。

1 取水工程泥沙淤积特征与影响机理

1.1 来沙条件与水动力特征分析

来沙条件是影响取水工程防淤减淤成效的基础因素,河道上游流域地貌、降雨强度、植被覆盖状况及人类开发活动,直接影响入河泥沙来源与颗粒级配。含沙量较高河段,悬移质与推移质常同时存在,洪水期来沙集中、颗粒组成复杂,易在取水口附近形成局部淤积。工程布置忽视多年平均含沙量、洪峰含沙过程及枯丰水期来沙差异,后续运行易出现进水不畅、渠首泥沙沉

降加剧等问题。含沙量时空分布不均,导致取水口不同工况下承受差异较大的泥沙负荷,影响水流结构与泥沙输移状态。洪峰阶段高含沙水流进入口门区域,易形成快速淤积,枯水期流速减缓则加剧细颗粒沉降,形成持续性淤堵。缺乏针对性设计与调控措施,长期运行会降低取水能力,增加维护成本。

水动力特征直接控制泥沙输移、沉降与再起过程,取水口附近流速分布不均、紊动增强、水流转向频繁,常会诱发回流区与低速滞流区,改变泥沙运动轨迹。弯道段、分叉口及水位涨落明显区域,主流摆动和横向环流现象更突出,取水工程受影响后,口门前沿易形成不稳定冲淤格局。技术方案比选需综合分析流量过程线、流速场、含沙浓度及冲淤平衡关系,提高防淤措施针对性。流量过程线反映来水变化规律,是判断不同时段水沙组合特征的依据;流速场分布直接影响泥沙输移路径与沉降位置。含沙浓度变化决定泥沙来源强度及淤积潜势,冲淤平衡关系

体现河床演变趋势与工程适应能力。耦合分析多项参数,可识别关键控制因素,避免措施选择偏离实际需求,提升整体防淤减淤效果。

1.2 淤积形态与空间分布规律

取水工程泥沙淤积不均匀分布特征,空间差异表现较为明显,口门前沿、引渠转弯段、前池及闸墩附近,常因流速骤降或流态调整形成条带状、扇形或堆丘状淤积体。细颗粒泥沙多在平缓水域沉降,粗颗粒易滞留于局部冲淤转换区域^[1]。河段出现主槽摆动或汉道分流时,淤积中心会产生周期性变化,取水口前泥沙堆积具备动态迁移特征,对清淤工作与设施运行提出更高要求。主流线位置持续调整,会改变近岸流速分布与泥沙输移路径,原有淤积区逐步转移或扩展,形成不稳定冲淤格局。该条件下固定式清淤或单一排沙设施无法长期适配环境变化,局部淤堵问题易反复出现。工程运行阶段需结合实时水沙监测数据,灵活调整排沙与调度策略,维持取水口前良好水流条件。

淤积空间分布规律同工程边界条件与水流组织方式关联密切。前池过宽、引渠纵坡偏缓、进水角设置不合理,会加快水流动能衰减,泥沙易在口门内外形成连续沉积带。通航、泄洪或调水运行方式改变后,局部水面比降与流向调整会直接改变淤积范围。实际工程中,多数取水口前淤深增加,本质受近岸流场畸变与口门附近泥沙交换失衡影响。把握淤积形态演变规律,可合理确定导流、排沙及清淤设施的布设位置。

1.3 淤积对取水效率与结构安全的影响

泥沙淤积对取水效率的影响具有持续性和累积性,口门前沿形成淤积体,过水断面会被压缩,进水流态趋于紊乱,实际引水流量难以达到设计指标。前池泥沙沉降加重,抬高水位损失,还可能造成泵站吸水条件恶化、闸门启闭阻力增加及输水渠道挟沙能力下降。灌溉和供水工程中,取水能力波动直接影响供水稳定性,枯水期尤为明显,严重时需频繁停机清淤维持基本运行。

结构安全层面,淤积问题不只是泥沙堆积,还会诱发一系列附属风险。局部淤堵可能改变水流冲刷方向,使边墙、墩台和护底结构承受异常水压力及淘刷作用,引发基础裸露、护砌失稳等病害。含沙水流长期作用于金属构件和过流部件,加剧磨蚀损伤,缩短设备服役周期。部分工程淤积抬高河床后,过流能力下降,洪水期更易出现壅水和回水顶托现象,防淤减淤技术方案比选关系运行效能,也关系工程整体安全。

2 防淤减淤关键技术路径比选

2.1 导流与分水工程措施对比

导流与分水工程措施可重塑取水口周边流场结构,减少高含沙水体直接进入口门的情况。导流堤、顺坝、丁坝及潜坝可调整主流走向,管控近岸流速分布,优化取水作业的基础条件。主槽稳定且河势平顺的河段内,导流堤可归置主流方向,在口门前形成合适的进水状态,缓解横向紊动造成的泥沙堆积问题。分水闸、分流墩可调节水沙分配关系,推动清水优先进入渠道,浑水向外侧下泄,从源头控制取水过程中的含沙数值。

各类工程措施的适用场景与应用效果存在显著区别。导流类措施侧重河道边界条件整治,优化河道整体水流路径,项目建设投入偏高,对河床演变态势与岸坡稳定程度有相应标准。分水类设施管控局部流量分配,完成取水口前水沙物质筛分,适配引水比例需严格管控的渠首工程。方案比选需结合河势变化频次、设计流量参数、水位波动幅度与施工实施难度展开研判,不单独依托单项减淤成效确定方案。弯道或游荡性河段内,单一导流方式无法维持长效作业状态,导流与分水设施协同布设可提升工程实施的整体可行性。

2.2 防冲与排沙设施配置方式

防冲与排沙设施是取水工程防淤减淤体系的关键组成部分,其配置方式直接关系泥沙能否及时排离工程敏感区域。护底、护岸、消力池及防冲槽等设施,通常布设于取水口周边关键部位,承担稳定局部河床、抑制异常冲刷和维持建筑物基础安全的任务^[2]。排沙廊道、冲沙闸、排沙底孔及沉沙池,侧重构建高效泥沙外排通道,让已进入工程控制范围的泥沙得以及时输移排出。高含沙河流中,若仅强调结构防护而忽略科学排沙组织,泥沙极易在前池、引渠及闸前区域长期滞留堆积,导致防淤系统整体效能显著下降。

设施配置需依据泥沙粒径组成、水流流速条件及建筑物实际布置形式优化调整。颗粒较粗的推移质泥沙更适合通过底部专用排沙设施快速导出,细颗粒悬移质则需配合沉沙池或扩散段降低水体含沙强度后再行妥善处理。防冲设施布设位置需紧贴易受局部淘刷影响的关键部位,避免因水流收缩、跌落或转折形成的冲击力造成基础冲坑扩大。排沙设施的高程设定、孔口尺度大小及启闭控制方式,需与设计水位和运行流量精准协调,才能保证足够的冲沙动力与能力。防冲与排沙并非彼此独立的两类技术手段,只有在结构保护与泥沙出路同步规划设计的条件下,取水工程才能长期维持稳定可靠的运行状态。

2.3 运行调度与水动力调控策略

运行调度与水动力调控策略,是防淤减淤工作从静态工程布设向动态管理模式转型的核心体现,打破了单纯依赖固定设施的局限。取水工程投入实际运行后,河道来流流量、水体含沙量及水位变化条件始终处于动态波动中,仅依靠固定构筑物难以适配各类复杂多变的水沙组合工况。优化闸门启闭的具体流程、分时段精准管控引水流量大小、合理调节取排水比例、科学借助洪峰过境的水情条件,能够主动改变口门前的流速分布格局与水流紊动状态,有效减轻泥沙在低流速区域的沉积速率与堆积量。前池与引渠等淤积高发区域,采用短时集中冲沙搭配阶段性加大流量的调度方式,其减淤作用明显优于长期维持单一运行模式,同时更能契合工程运行的经济性管控要求,降低运营成本。

水动力调控的核心关键,在于搭建与河道泥沙输移规律及特征相适配的动态作业机制,实现水沙协同调控。高含沙时段可适当缩减取水规模与强度,避开浑水集中涌入引水渠道的高峰期,减少泥沙带量;清水来临阶段则加大引水力度,充分提升

供水系统的整体运行效益与供水稳定性。对于闸坝联合运行的工程而言,上下游水位差值会直接影响口门处的水流状态,调度操作不合理极易造成回流现象加剧、泥沙倒灌问题出现,或是局部停滞水域范围扩大,进而加重淤积。技术方案比选过程中,需将实时水沙监测数据、数值模拟分析结果与现场实际运行经验有机融合,构建具备可调、可控、可反馈的闭环管理模式。

3 组合优化与工程应用效果分析

3.1 多措施协同配置原则

取水工程防淤减淤不能停留在单项措施叠加,需围绕水沙运动全过程科学协同配置。导流、分水、防冲、排沙及运行调控各有侧重,空间布置和功能分工形成闭合链条,才能真正提升减淤效果。口门外侧通过合理布置的导流设施稳定主流线,削弱紊流扩散对近岸泥沙输移的干扰;口门内侧借助专用排沙设施和前池整治工程控制泥沙沉降范围。实际工程布置过程中,需兼顾进水流态、流速梯度和局部冲淤平衡,避免某一环节强化后在另一位置形成新的淤积集中区。

防淤减淤协同配置的关键,是处理好工程尺度、运行方式与河道演变的匹配关系。泥沙含量较高的河段适合采用“外部导控+内部排导”的组合模式,泥沙含量较低但水位季节变幅较大的河段,需强化调度控制与局部护底措施。各类防淤减淤设施选型不能脱离取水流量、口门高程和河床稳定性单独判断,需结合多年冲淤资料、设计频率洪水过程及典型来沙年变化趋势校核。

3.2 典型工程应用效果评价

典型工程应用效果评价需依托运行数据、冲淤观测及经济指标展开综合分析。防淤减淤方案的实际效用需结合多项核心指标判定,不可仅关注短期清淤量的变动情况,取水含沙量、口门前沿淤积厚度、前池过水能力与设备运行状态均需纳入考量。导流堤搭配排沙闸的工程应用中,主流归置效果提升、口门周边低速滞水区域缩减,可直观反映流场优化的实际作用。沉沙池与调度冲沙结合的工程应用中,需核查泥沙沉降区域的集聚状态、排沙作业的流畅程度以及清淤周期的延长情况。

各类方案在工程实践中展现出不同的应用成效,其表现受河型条件、泥沙组分与现场管理水平直接影响。山区河流水流速度快、推移质占比偏高,结构类排导举措可快速发挥作用;平原河网水流态势平缓、细颗粒泥沙占比偏高,刚性工程措施无法实现淤积的长效管控,运行调度可发挥更大价值。边坡稳定状

态、护底磨损程度、闸门启闭稳定度等指标需在评价中同步关注,避免局部减淤成效引发新的结构安全隐患。技术成效、运行投入与维护难度需整合分析,以此客观判定方案适用性,为后续方案优化提供详实的参考依据。

3.3 综合技术方案的适用条件与实施要点

综合技术方案的适用条件,取决于取水工程所在河段的来水来沙实际特征、河床边界具体条件以及供水保障核心要求。含沙量大、河势变化频繁、口门附近主流摆动明显的取水工程,需采用导流、排沙、防冲和调度联动的复合型技术方案,增强系统整体适应能力。河道断面较稳定、泥沙来源相对集中的区域,优先配置局部导流和定向排沙设施,提升工程布设针对性。泵站式取水工程,需重点分析吸水构筑物前缘流态、进水池停留时间及泥沙再悬浮具体条件,避免局部静水区扩大导致泥沙持续沉积。

技术方案实施过程中,落地重点在于参数精准控制、施工科学组织和运行全面配套的统一。导流建筑物轴线布置、高程控制及防冲设施埋深,需与设计水位、设计流速和冲刷深度精准衔接,防止施工完成后出现流场偏移或局部结构失稳。排沙设施启用时机、冲沙历时和流量阈值,通过实测资料与计算成果共同确定,避免排沙不足或无效耗水现象出现。

4 结语

本文聚焦水利取水工程防淤减淤相关问题,依托泥沙淤积机理,针对导流分水、防冲排沙、运行调控等技术路径开展分析比对,形成多类措施协同布置的优化方向。结合典型工程应用成效开展综合研判,确定各类技术方案的应用场景与实施关键。研究内容可提升取水工程运行稳定程度,减少淤积带来的运行风险,为工程安全与综合效益的协同发展提供实践参考。

[参考文献]

- [1] 庞文博. 纵向平行平板布设对泥沙沉降速率及分布的影响研究[D]. 西安理工大学, 2024.
- [2] 王海东. 多泥沙河流各类泵站前池的数值模拟与试验研究[D]. 宁夏大学, 2023.

作者简介:

万明生(1973--),男,汉族,山东省菏泽市人,本科,农田水利工程。