

泵站前池淤积规律及清淤周期建议

胡文静

湖南建投水利水电有限公司 湖南 长沙 410000

【摘要】：泵站前池淤积会破坏水流形态、降低输水效率，明确其淤积规律并确定合理清淤周期是保障泵站安全稳定运行的关键。淤积规律受来水来沙特性、前池结构设计、运行工况等多重因素共同作用，呈现出特定的时空分布特征与演化趋势。合理清淤周期的确定需结合淤积规律，综合考量淤积危害程度与清淤成本效益。通过系统探究淤积形成机制与演化规律，可提出科学的清淤周期建议，为泵站前池淤积防控提供可靠支撑。

【关键词】：泵站前池；淤积规律；清淤周期；水流形态；运行保障

DOI:10.12417/2811-0528.26.06.026

泵站作为水利工程输水系统的核心枢纽，其运行效率与安全直接关系到水资源调配成效与区域水利保障能力。前池作为泵站进水系统的重要组成部分，承担着平顺水流、均匀分流的关键作用，然而淤积问题却长期困扰其功能发挥。淤积的持续累积会改变前池内部水流结构，引发漩涡、回流等不良流态，不仅增加水头损失，还可能导致水泵汽蚀、振动等故障，严重时甚至影响泵站正常供水。深入探究前池淤积规律，精准把握淤积演化特征，进而确定合理的清淤周期，对缓解淤积危害、提升泵站运行稳定性具有重要现实意义，为后续相关研究与工程实践提供必要的基础支撑。

1 泵站前池淤积形成机制与影响因素分析

泵站前池淤积核心形成机制与水流动力条件变化紧密相关。水流从引渠进入前池后，断面骤扩导致流速显著降低，挟沙能力减弱，超量泥沙颗粒沉降形成淤积层；前池内回流、漩涡等不良流态会进一步加剧淤积，回流区流速趋近于零促使泥沙滞留，漩涡则带动底部泥沙旋转聚集形成局部凸起^[1]。同时，泥沙物理特性影响淤积分布，粗颗粒泥沙因重力沉降快，易在入口区域淤积，细颗粒泥沙则漂移至后部弱动力区缓慢沉降。影响淤积的关键环境因素包括来水来沙特性与气象水文条件。来水来沙特性决定淤积规模，汛期径流量大、来沙多，淤积加快；枯水期则进程放缓，流域植被覆盖、土壤类型通过影响水土流失间接改变含沙量。暴雨、洪水等极端天气会短期提升输沙能力，引发集中淤积；气温冻融作用破坏岩土结构，增加泥沙流失量间接影响淤积。

2 泵站前池淤积规律的时空演化特征探究

2.1 泵站前池淤积的空间分布特征

泵站前池淤积的空间分布呈现出显著的不均匀性，不同区域的淤积厚度与淤积物质组成存在明显差异。靠近前池入口的区域，由于水流从引渠进入后流速骤降，大量粗颗粒泥沙率先

沉降，形成淤积厚度较大的区域，且淤积物质以砾石、粗砂为主。前池中部区域水流相对平稳，淤积厚度相对均匀，淤积物质多为中砂、细砂。前池后部靠近水泵吸水口的区域，受水泵吸水水流的影响，水流动力条件复杂，易形成局部回流，导致泥沙在此处聚集，形成局部淤积高地或淤积坑洼。前池的转角、边壁等部位也因水流绕流作用，流速降低，泥沙易淤积，形成沿边壁分布的淤积带。

2.2 泵站前池淤积的时间演化规律

泵站前池淤积的时间演化规律呈现出阶段性与周期性的特征。在淤积初期，由于池底较为平整，水流动力条件相对稳定，泥沙沉降速度较快，淤积厚度增长迅速。随着淤积层的逐渐形成，池底高程升高，水流断面减小，流速有所提升，泥沙沉降速度放缓，淤积厚度增长速率逐渐降低，进入淤积缓慢增长阶段^[2]。当淤积层达到一定厚度后，水流动力条件与泥沙沉降达到动态平衡，淤积厚度趋于稳定，进入淤积稳定阶段。同时，淤积过程还随季节变化呈现周期性波动，汛期来沙量大，淤积速度加快；枯水期来沙量小，淤积速度减缓，甚至在强水流作用下出现轻微冲刷现象，形成“淤积-冲刷”的周期性循环。

2.3 不同工况下淤积规律的差异化表现

不同工况下泵站前池淤积规律存在显著的差异化表现。在额定工况下，泵站抽水流量稳定，前池内水流流速分布均匀，淤积过程相对平稳，呈现出匀速增长的特征，淤积空间分布也较为规律。在低流量工况下，池内水流流速普遍偏低，泥沙携带能力弱，淤积速度明显加快，且淤积范围更广，易在整个前池区域形成均匀的厚层淤积。在间歇运行工况下，泵站开机与停机交替进行，池内水流动力条件频繁变化，开机时水流流速提升，可能对池底淤积产生轻微冲刷；停机时水流流速骤降，泥沙大量沉降，导致淤积厚度呈现出“冲刷-淤积”的波动增长特征。在调峰供水等变流量工况下，水流流速的频繁变化会

加剧不良流态的产生，使淤积分布更加不均匀。

3 泵站前池淤积危害的多维度评估

3.1 淤积对泵站输水效率的影响评估

淤积对泵站输水效率的影响主要体现在水头损失增加与过流能力下降两个方面。随着前池淤积厚度的增加，池底高程升高，过流断面面积减小，水流通过前池时的阻力增大，导致水头损失显著增加。为保证相同的输水流量，泵站需要消耗更多的能源来克服额外的水头损失，直接降低了输水效率。同时，淤积形成的不规则地形会破坏水流的平顺性，引发回流、漩涡等不良流态，进一步加剧水头损失。淤积物若堵塞水泵吸水口或进水管路，会直接减小进水流速，降低水泵的吸水能力，导致泵站的实际输水流量下降，无法满足设计输水要求，严重影响泵站的输水效能发挥。

3.2 淤积对泵站设备安全的潜在威胁

淤积对泵站设备安全存在多方面的潜在威胁，首要威胁是导致水泵汽蚀与振动。前池淤积后，吸水口附近水流流速分布不均，局部区域易形成负压区，引发水泵汽蚀现象，汽蚀会对水泵叶轮、蜗壳等部件造成侵蚀破坏，降低水泵的使用寿命。同时，淤积物的不均匀分布会导致水流对水泵叶轮的冲击力不平衡，引发水泵振动，长期振动不仅会损坏水泵轴承、密封等部件，还可能传导至泵站其他结构，引发结构共振^[3]。淤积物中可能夹杂石块、杂物等坚硬物质，这些物质被吸入水泵后，会直接撞击叶轮，造成叶轮变形、损坏，甚至导致水泵停机故障，严重威胁泵站设备的安全稳定运行。

3.3 淤积对区域水利系统功能的连锁影响

淤积对区域水利系统功能的连锁影响体现在供水保障、防洪排涝等多个方面。在供水系统中，泵站前池淤积导致输水效率下降、输水流量不足，无法满足区域工农业生产及居民生活的用水需求，可能引发水资源短缺问题。在防洪排涝系统中，若泵站承担排涝任务，前池淤积会降低泵站的排涝能力，当遭遇暴雨洪水时，无法及时排出区域内的积水，可能加剧洪涝灾害损失。淤积物中的污染物可能随水流扩散，影响水体质量，对流域内的生态环境造成破坏。同时，淤积导致的泵站运行故障可能引发水利系统的连锁反应，影响整个水利网络的调度运行，降低区域水利系统的综合功能。

4 泵站前池清淤周期的确定方法与影响因素

4.1 清淤周期确定的核心原则与核心指标

清淤周期确定的核心原则是在保障泵站安全稳定运行的前提下，实现清淤成本与运行效益的平衡。核心原则要求清淤周期既不能过长，避免淤积过度引发输水效率下降、设备损坏

等问题；也不能过短，防止频繁清淤导致清淤成本过高，造成资源浪费。清淤周期确定的核心指标包括淤积厚度阈值、输水效率下降幅度、水泵运行参数变化范围等。淤积厚度阈值是指当淤积厚度达到某一数值时，会对泵站运行产生显著不利影响，此时需启动清淤工作；输水效率下降幅度指标是指当输水效率下降超过规定范围时，需进行清淤；水泵运行参数变化范围指标则通过监测水泵的扬程、功率、振动等参数变化，判断是否需要清淤。

4.2 基于淤积规律的清淤周期计算方法

基于淤积规律的清淤周期计算方法以淤积演化的时间特征为核心，结合核心指标确定清淤周期。首先通过分析淤积的时间演化规律，明确淤积厚度随时间的增长函数，建立淤积厚度与运行时间的量化关系。然后根据确定的淤积厚度阈值，代入增长函数中，计算出达到淤积厚度阈值所需的时间，初步确定清淤周期的基准值。同时，结合输水效率下降幅度、水泵运行参数变化等指标，对基准清淤周期进行修正^[4]。当计算得出的基准清淤周期内，输水效率下降幅度未超过规定范围，可适当延长清淤周期；若输水效率下降幅度提前超过规定范围，则需缩短清淤周期。还需考虑不同季节淤积速度的差异，对清淤周期进行季节性调整，确保清淤工作的针对性与合理性。

4.3 影响清淤周期的动态调整因素分析

影响清淤周期的动态调整因素包括来水来沙条件的变化、泵站运行工况的调整、工程维护措施的实施等。来水来沙条件的动态变化是影响清淤周期的关键因素，若某一时期流域内降水增多，径流量增大，来沙量大幅增加，前池淤积速度加快，此时需缩短清淤周期；反之，若来水来沙量减少，淤积速度减缓，可适当延长清淤周期。泵站运行工况的调整也会影响清淤周期，当泵站因供水需求增加而提高抽水流量时，池内水流流速提升，淤积速度可能减缓，清淤周期可相应延长；若降低抽水流量，淤积速度加快，需缩短清淤周期。工程维护措施的实施，如引渠清淤、前池防护工程的建设等，会改变淤积形成的条件，降低淤积速度，从而延长清淤周期。见表1：

表1 国内典型泵站前池年度清淤工程量与费用统计表

序号	泵站名称	所在地区	年均清淤方量 (万 m ³)	单位清淤成本 (元/m ³)	年度清淤费用 (万元)
1	南水北调东线某泵站	江苏省	4.2	18.5	777
2	黄河引水某泵站	山东省	6.0	21.0	1260

3	灌区提升泵站	河南省	3.5	16.8	588
4	城市供水泵站	安徽省	2.1	19.6	412

(注:续表1)

数据来源:数据整理自《2023年中国水利统计年鉴》《江苏省水利工程运行管理年度报告(2022—2023)》及《山东省大型泵站运行维护情况通报》,部分数值为同类型泵站统计均值。

5 泵站前池淤积防控与清淤优化实施策略

5.1 基于淤积规律的前池淤积源头防控措施

基于淤积规律的前池淤积源头防控措施以减少进入前池的泥沙量、优化水流动力条件为核心。在流域层面,通过实施水土保持工程,如植树造林、修建梯田、加固边坡等,减少流域内的水土流失,从源头降低来水的含沙量。在引渠入口处设置拦沙设施,如拦沙坝、沉沙池等,拦截大颗粒泥沙,防止其进入前池。同时,优化前池的水流动力条件,通过改造前池结构,如设置导流墙、调整前池断面形状等,引导水流平稳过渡,减少回流、漩涡等不良流态,提升水流携带泥沙的能力,减少泥沙沉降淤积。合理规划泵站的运行工况,避免长期低流量运行,通过稳定水流流速,抑制泥沙淤积。

5.2 适配清淤周期的清淤技术选择与应用

适配清淤周期的清淤技术选择需结合淤积物质组成、淤积厚度、清淤周期要求等因素,选择高效、经济的清淤技术。对于淤积厚度较大、淤积物质以粗颗粒泥沙为主的情况,可选择机械清淤技术,如挖掘机清淤、吸砂泵清淤等,该类技术清淤

效率高,能够快速清除大量淤积物,适配较短的清淤周期^[5]。对于淤积厚度较小、淤积物质以细颗粒泥沙为主的情况,可选择水力冲淤技术,利用高压水流冲击淤积层,使泥沙随水流排出,该类技术操作简便、成本较低,适配较长的清淤周期。

5.3 清淤效果评估与周期动态优化机制

清淤效果评估与周期动态优化机制是保障清淤工作有效性与合理性的重要支撑。清淤效果评估需从淤积清除程度、输水效率恢复情况、水泵运行参数稳定性等方面开展,通过监测清淤前后前池的淤积厚度、水流流态、输水流量、水头损失等指标,判断清淤工作是否达到预期效果。若清淤后淤积清除不彻底,输水效率未恢复至规定水平,需分析原因,调整清淤技术或缩短清淤周期。周期动态优化机制以清淤效果评估结果为基础,结合来水来沙条件、泵站运行工况的动态变化,对清淤周期进行实时调整。通过建立清淤效果与清淤周期的关联模型,根据评估结果反馈优化清淤周期参数,确保清淤周期始终适配淤积规律与泵站运行需求,实现淤积防控与运行效益的最大化。

6 结语

本文围绕泵站前池淤积规律及清淤周期展开系统探究,明确了淤积形成机制与时空演化特征,评估了淤积带来的多维度危害,提出了清淤周期的确定方法与动态调整依据,构建了淤积防控与清淤优化实施策略。研究表明,淤积规律受多重因素综合影响,清淤周期的确定需紧密结合淤积演化特征与泵站运行需求。相关探究成果可为泵站前池淤积治理提供科学支撑,助力提升泵站运行稳定性与水利系统综合效能,为水资源高效利用提供保障。

参考文献:

- [1] 孙圣杰.多机组侧向进水泵站前池流态调控及运行策略分析[D].扬州大学,2025.
- [2] 鲍永昊.多泥沙正向进水泵站淤积及水泵叶片磨蚀特性研究[D].扬州大学,2025.
- [3] 高术人,吴家梅.引黄提水泵站前池导流墙结构优化研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(08):75-78.
- [4] 奚斌,宋梓豪,裘华锋,等.连续单侧大扩散角泵站前池流场流态优化[J/OL].中国农村水利水电,1-14[2026-01-07].
- [5] 王海东,许栋,冉启华,等.基于伴随方法的多沙泵站前池流态优化探索[J].水利学报,2025,56(07):898-908.