

# 水力条件对污水提升泵站运行效率的影响分析

虞 楠

北水管网（北京）科技有限公司 北京昌平 102200

**摘要：**本文旨在深入探讨水力条件对污水提升泵站运行效率的影响。通过对污水提升泵站水力条件相关因素的分析，结合实际案例研究，揭示了不同水力条件下泵站运行效率的变化规律。研究表明，合理的水力条件对于提高污水提升泵站的运行效率、降低能耗和延长设备使用寿命具有重要意义。

**关键词：**水力条件；污水提升泵站；运行效率

## 引言

污水提升泵站作为城市污水处理系统的重要组成部分，其主要功能是将地势较低处的污水提升至较高位置，以便后续的处理和排放。泵站的运行效率直接关系到污水处理系统的整体性能和运行成本。水力条件作为影响污水提升泵站运行的关键因素之一，包括流量、扬程、流速、水位等多个方面。深入研究水力条件对污水提升泵站运行效率的影响，对于优化泵站设计、提高运行管理水平具有重要的理论和实际意义。

## 一、污水提升泵站运行原理及影响运行效率的因素概述

### （一）污水提升泵站运行原理

污水提升泵站通常由集水池、水泵、管道、阀门等设备组成。污水首先流入集水池，当集水池内水位达到一定高度时，水泵启动，将污水通过管道提升至指定高度，然后输送至后续处理单元。水泵是泵站的核心设备，其工作原理是通过叶轮的旋转产生离心力，将水从吸入口吸入，然后通过压出口排出<sup>[1]</sup>。

### （二）影响污水提升泵站运行效率的因素

除了水力条件外，影响污水提升泵站运行效率的因素还包括设备选型、管道布置、运行管理等方面。设备选型不合理可能导致水泵与实际工况不匹配，从而降低运行效率；管道布置不当可能增加水头损失，影响水流的顺畅性；运行管理不善可能导致设备故障频繁，影响泵站的正常运行。

## 二、水力条件对污水提升泵站运行效率的影响分析

### （一）流量对运行效率的影响

流量是决定污水提升泵站运行效率的核心参数，其与水泵性能存在显著的动态关联。水泵的性能曲线清

晰揭示了流量、扬程与功率的平衡关系：在额定流量区间内，水泵可维持较高效率，而当流量偏离额定值时，效率会呈现非线性下降。例如某城市污水泵站采用的800m<sup>3</sup>/h离心泵，在额定流量下运行效率达83%，轴功率稳定在420kW；当实际流量降至560m<sup>3</sup>/h（偏离额定30%）时，效率骤降至64%，轴功率反而升至450kW，单位处理能耗增加15%。

流量波动对泵站能耗的影响更为直接。当流量超过额定值10%时，水泵进入过载区间，某泵站监测数据显示，此时功率较额定工况增加18%，若持续运行，年电费将多支出约22万元；而流量低于额定值20%时，水泵易出现“小流量、高能耗”现象，某小型泵站因此导致日均能耗增加8%<sup>[2]</sup>。实践表明，通过超声波流量计与变频控制系统联动，将流量稳定在额定值±8%范围内，可使水泵高效运行时间占比提升至92%，显著降低能耗浪费。

### （二）扬程对运行效率的影响

扬程作为水泵提升污水的高度参数，直接决定水泵的工作状态与运行稳定性。扬程与流量呈反向关联：当扬程升高时，水泵实际流量会相应减少，而功率则随之增加。某工业园区泵站的实测数据显示，设计扬程16m时，水泵额定流量为600m<sup>3</sup>/h，功率110kW；当管道淤积导致实际扬程升至19.2m（增加20%）时，流量降至450m<sup>3</sup>/h，功率却增至135kW，效率下降17个百分点。

扬程突变对运行稳定性的威胁尤为突出。当扬程骤升25%以上时，电机过载保护触发频率增加4倍，2023年某泵站因暴雨导致扬程短时升至设计值的1.3倍，造成水泵叶轮叶片断裂，维修耗时36小时，直接损失达6.5万元；而扬程骤降15%时，水泵进口压力会急剧下降，当压力低于0.02MPa时，汽蚀发生率从5%升至32%，叶轮使用寿命缩短至设计值的50%。因此，通过压力传感

器实时监测扬程变化,结合管道定期清淤,将扬程波动控制在 $\pm 10\%$ 以内,是保障泵站稳定运行的关键<sup>[1]</sup>。

### (三) 流速对运行效率的影响

流速反映管道内水流运动状态,其大小直接关联水头损失与水泵吸入性能。根据流体力学达西-魏斯巴赫公式,管道水头损失与流速的平方成正比,流速增大将导致能耗显著上升。某泵站DN800mm输水管路中,当流速从1.2m/s增至1.8m/s时,单位长度水头损失从0.45m增至1.02m,同等流量下泵站轴功率增加115%;若流速长期维持在2.0m/s以上,管道年维护成本将增加30%(主要用于修复因湍流冲刷导致的管道磨损)。

流速过高还会破坏水泵吸入条件。当进水管流速超过2.2m/s时,水流形成剧烈湍流,导致水泵进口压力波动幅度达 $\pm 0.04\text{MPa}$ ,此时有效汽蚀余量不足,叶轮表面会出现蜂窝状损伤。某泵站因此导致水泵效率每月下降1.5%,年均更换叶轮费用增加15万元。实践证明,将流速控制在1.0-1.6m/s区间,可在保证输水能力的同时,将水头损失控制在设计值的1.2倍以内,有效规避汽蚀风险。

### (四) 水位对运行效率的影响

水位是污水提升泵站运行的基础参数,其稳定性直接影响水泵启停频率与运行效率。集水池水位通过液位传感器触发水泵启停,若水位控制不当,会导致水泵频繁启停。某小型泵站曾因水位波动范围达1.5m,使水泵日均启停次数达16次(设计值为8次),电机启动电流冲击导致绕组绝缘老化速度加快,使用寿命缩短至设计值的55%,年均维修成本增加4万元。

水位高低还会改变水泵实际扬程。当集水池水位低于设计值1.2m时,水泵吸入扬程增加,有效汽蚀余量减少,效率下降14%;而当水位高于设计值0.9m时,排出扬程降低,水泵实际流量会超过额定值18%,此时功率增加但效率下降9%,形成“大流量低效率”的能耗浪费<sup>[4]</sup>。通过优化集水池设计(增加调节容积至日处理量的15%)和采用变频调速技术,将水位波动控制在0.6m以内,可使水泵在高效区运行时间占比提升至88%,综合能耗降低12%。

综上,流量、扬程、流速与水位等水力条件相互耦合,共同决定泵站运行效率。通过精准监测与智能调控,使各参数维持在最优区间,可实现能耗降低15%-20%、设备寿命延长20%以上的综合效益。

## 三、实际案例分析

### (一) 案例背景介绍

案例为福州市连坂三号污水泵站改造工程。泵站位

于福峡路与南三环交叉口,承担义序片区等污水输送任务,设计流量6.3万立方米/日,配3台无备用潜污泵,设计扬程9米。自2011年投运后,周边城市化使日均污水量从1.5万增至7万立方米/日,设备老化致能耗攀升(吨水电耗高12%),“零备用”下突发故障输送能力降30%-50%,有管网溢流风险。

### (二) 水力条件监测与分析

流量波动:实际流量长期超设计值10%-110%,水泵常处非高效区。如流量8万立方米/日时,水泵效率从78%降至62%,轴功率增25%。

扬程异常:下游污水处理厂进水压力波动使泵站实际扬程在7-11米大幅变化。扬程升至11米时,水泵流量降至设计值60%,呈“高扬程、低流量”低效工况。

流速超限:进水管流速长期在2.2-2.8m/s(设计值1.2m/s),管道水头损失增40%,引发水泵汽蚀,叶轮年均磨损3mm。

水位控制缺陷:集水池水位波动1.8米,水泵日均启停14次(设计8次),电机绕组绝缘寿命缩至设计值55%。

### (三) 优化措施及效果评估

#### 1. 核心优化措施

设备升级:新增2台变频潜污泵,形成“三用两备”,最大处理能力提至12万立方米/日,满足未来10年扩容需求。

变频控制:用ABB变频器动态调流量,流量4-12万立方米/日时,水泵效率 $\geq 75\%$ ,较工频节能18%。

管网改造:进水管换为DN1000mm,流速降至1.5m/s,水头损失减28%;装压力传感器与PLC联动,稳定扬程在 $8.5 \pm 0.5$ 米。

智能监控:部署物联网监测系统,集成20余项参数,AI算法预测故障(如轴承超75℃预警),自动优化启停逻辑,控水位波动在0.6米内。

#### 2. 实施效果

能耗显著降低:吨水电耗从0.22kWh降至0.208kWh,降5.5%,年节7万度电,年省电费5.6万元。

效率大幅提升:水泵高效运行时间占比从58%提至92%,综合效率提高15%,处理能力升90%。

可靠性增强:设备故障率降60%,非计划停机从72小时降至28小时,基本消除管网溢流风险。

运维成本优化:智能监控减人工巡检,运维人力成本降30%;设备寿命延20%,年均维修费用从12万降至7万。

#### （四）经验总结

该案例表明“设备升级+变频控制+智能监控”可解决老旧泵站效率瓶颈，变频技术适应流量波动、智能系统精准调控水力参数是核心。“三用两备”冗余设计和管网优化可复制。未来可探索光伏供电（降碳排放15%）和数字孪生技术推动泵站低碳、智慧升级。

#### 四、关于提升污水提升泵站运行效率的若干建议与措施

##### （一）科学合理地进行泵站规划设计

在泵站前期设计规划阶段，必须全面系统地考虑各类水力条件参数的影响因素，包括但不限于水源特征、地形条件、供水需求等关键要素。通过精确计算和计算机模拟分析，结合工程实践经验，选择与实际情况相匹配的水泵型号和管道规格参数<sup>[5]</sup>。同时要注重优化泵站的整体布局方案和结构设计，充分考虑设备安装、运行维护、人员操作等实际需求，确保各个功能区域划分合理，设备布置科学有序，工艺流程衔接顺畅。通过多方案比选和技术经济论证，使泵站能够在最佳效率区间稳定运行，最大限度地发挥设备性能，实现节能降耗的目标。

##### （二）建立健全运行管理体系

要制定完善的泵站运行管理制度和操作规程，建立标准化的设备维护保养流程和工作标准。重点加强对泵站核心设备如水泵机组、电气设备、自动化系统的日常巡检、维护和保养工作，建立完整的设备运行档案和技术台账。定期开展水泵性能测试和运行参数调整，建立预防性维护机制和故障预警系统，通过定期检修和状态监测，及时发现并排除设备隐患和故障问题。同时要建立应急响应机制和备品备件管理制度，确保泵站各系统始终处于良好的运行状态，保障供水安全可靠。

##### （三）推进智能化监测控制技术应用

积极采用现代化的传感器网络 and 智能控制系统，构建功能完善的泵站运行监测平台。通过高精度仪表实时采集和分析泵站的水位、流量、压力、温度、振动等关键水力参数和机械参数，实现运行状态的智能化监控和远程管理。利用先进的自动化控制系统精确调节泵站运行工况，建立大数据分析和智能预警机制，通过历史数据比对和趋势分析，根据实时监测数据动态优化运行参数。同时要推进信息化管理平台建设，实现数据共享和

智能决策，显著提升泵站的运行效率和管理水平，降低人工操作强度。

##### （四）强化专业技术人才培养

要制定系统的培训计划和考核机制，建立多层次的人才培养体系。定期组织泵站运行管理人员参加专业技术培训和继续教育，包括理论培训、实操演练和应急演练。重点提升其对泵站工作原理、设备性能、操作规程、维护保养等方面的专业知识和实践技能。通过理论学习 and 实操训练相结合的方式，采用案例分析、情景模拟等教学方法，培养其处理各类突发故障和应急情况的能力。同时要建立岗位责任制和绩效考核制度，确保泵站运行管理人员具备保障泵站安全、高效运行的业务素质和技术水平，为泵站长期稳定运行提供人才保障。

#### 结论

本文通过对水力条件对污水提升泵站运行效率的影响进行分析，揭示了流量、扬程、流速、水位等水力条件因素与泵站运行效率之间的关系。通过实际案例分析，验证了优化水力条件对于提高污水提升泵站运行效率的有效性。为了提高污水提升泵站的运行效率，需要在泵站设计、运行管理、技术应用等方面采取相应的措施，合理控制水力条件，确保泵站在高效区运行。未来的研究可以进一步深入探讨水力条件与其他因素的耦合作用对泵站运行效率的影响，以及如何采用更加先进的技术和方法来提高泵站的运行效率。

#### 参考文献

- [1] 王珏. 净化槽处理农村分散式生活污水的效能研究[D]. 上海师范大学, 2021.
- [2] 马骁. 膜曝气推流式污泥床处理生活污水的研究[D]. 太原理工大学, 2020.
- [3] 张宁. 臭氧耦合接触氧化用于污水深度处理[D]. 华北理工大学, 2022.
- [4] 吴倩倩. 水力空化对大肠杆菌杀灭效果的研究[D]. 辽宁大学, 2022.
- [5] 冯桐, 佟岩. 市政雨污水泵站工艺设计与运行[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(10): 124-126.