

# Research on Energy Saving, Consumption Reduction and Water Resource Cycle Utilization of Sewage Treatment Plants from the Perspective of Water Conservancy and Hydropower Engineering

Hunbin Wang

Xinzhou City Shenda Jieyuan Environmental Technology Group Pianguan Water Purification Co., Ltd., Xinzhou, Shanxi, 036400, China

## Abstract

With the continuous expansion of urban wastewater treatment capacity and the increasing constraints imposed by energy and water resources, the problems of high operational energy consumption and low water resource utilization efficiency in wastewater treatment plants have become increasingly prominent. Based on the system regulation concept and engineering technology framework of water conservancy and hydropower engineering, this study investigates energy conservation, consumption reduction, and water resource recycling in wastewater treatment plants from the perspective of coordinated optimization of energy flows and water cycles. By introducing hydropower head utilization, hydraulic condition optimization, and the coordinated configuration of hydraulic structures and electromechanical systems, the formation mechanism of energy consumption and the potential for energy savings in wastewater treatment plants are systematically analyzed. A system-oriented optimization approach that integrates energy conservation with water resource recycling is proposed, providing theoretical support and engineering references for promoting green and low-carbon operation of wastewater treatment plants and enhancing the overall efficiency of regional water systems.

## Keywords

Water conservancy and hydropower engineering; Wastewater treatment plant; Energy conservation and consumption reduction; Water resource recycling; System coordination

# 水利水电工程视角下污水处理厂节能降耗与水资源循环利用研究

王混斌

忻州市神达洁源环境科技集团偏关水净化有限公司, 中国·山西忻州 036400

## 摘要

在城镇污水处理规模持续扩大与能源资源约束日益强化的背景下, 污水处理厂运行过程中的高能耗与水资源利用效率问题愈发突出。基于水利水电工程的系统调控理念与工程技术体系, 从能量流与水循环协同优化的角度, 对污水处理厂节能降耗与水资源循环利用展开研究。通过引入水头差利用、水力条件优化及水工结构与机电系统协同配置等水利水电工程思路, 系统分析污水处理厂能耗形成机理与节能潜力, 提出节能降耗与水资源循环协同推进的系统优化思路, 为推动污水处理厂绿色低碳运行与区域水系统整体效能提升提供理论支撑与工程参考。

## 关键词

水利水电工程; 污水处理厂; 节能降耗; 水资源循环利用; 系统协同

## 1 引言

随着城镇化进程加快和污水处理标准不断提升, 污水处理厂在保障水环境安全中的基础性作用日益凸显, 但其运行过程中电耗高、能效水平不均衡等问题逐渐成为制约行业

可持续发展的重要因素。在“双碳”目标与水资源刚性约束并行的现实背景下, 单纯依赖工艺优化或设备更新已难以全面释放节能潜力, 亟需从更高层级的工程系统视角重新审视污水处理厂的运行模式。水利水电工程长期形成的系统调度、水能利用与水资源配置经验, 为污水处理厂节能降耗与水资源循环利用提供了新的技术逻辑与方法路径。将污水处理厂纳入区域水系统整体框架, 从工程规划、运行调控与水协同的角度开展研究, 有助于突破传统单厂节能的局限,

【作者简介】王混斌(1978-), 男, 中国山西省忻州市偏关县人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 水利水电工程。

实现能耗控制与水资源高效循环的协同提升。

## 2 水利水电工程视角下污水处理厂节能降耗的理论基础

### 2.1 水利水电工程系统思维对污水处理能耗控制的启示

水利水电工程强调对水资源、能量流动与工程运行条件的整体统筹,通过系统分析实现多要素协同优化。这种系统思维为污水处理厂能耗控制提供了重要启示。污水处理过程并非孤立的工艺单元组合,而是由进水输送、处理构筑物、水力衔接及排放回用等环节构成的连续系统。能耗往往在系统衔接不畅或局部条件失衡时被放大。引入水利水电工程的整体分析理念,有助于从全流程角度识别能量消耗的关键节点,将能耗问题从单一设备或单段工艺上升到系统层面进行统筹考虑。通过对水量变化、水位差异及运行负荷的系统匹配,可减少重复提升与无效输送带来的能量浪费,使污水处理厂在满足处理效能要求的同时,实现能耗结构的整体优化<sup>[1]</sup>。

### 2.2 水能调配与能量梯级利用在污水处理中的适配逻辑

水利水电工程长期重视水能的合理调配与梯级利用,通过水位落差与流量控制实现能量的高效转化。将这一理念引入污水处理系统,可为降低运行能耗提供新的适配逻辑。污水在厂内流动过程中客观存在水位差与水力势能,若处理流程设计与构筑物布置缺乏统筹,往往需要依赖机电设备进行多次提升,增加电力消耗。通过合理组织水流路径,利用构筑物高差实现重力流或半重力流运行,可在一定程度上替代机械提升功能。同时,在处理单元之间构建顺畅的水力衔接关系,有助于形成连续稳定的能量梯级,降低单位水量处理所需能耗。这种基于水能调配的运行逻辑,使污水处理过程更接近水利工程中“顺势而为”的能量利用模式。

## 3 水利水电工程技术在污水处理厂节能降耗中的应用路径

### 3.1 基于水头差与水力条件优化的处理流程节能设计

在水利水电工程中,水头差与水力条件是影响能量利用效率的核心因素。将相关技术思路应用于污水处理流程设计,有助于实现显著的节能效果。通过对厂区地形条件、构筑物高程关系及处理单元水力需求进行综合分析,可优化水流组织方式,减少不必要的提升环节。在满足工艺处理要求的前提下,合理拉开构筑物间的水位差,使水流依靠重力完成大部分输送过程,从而降低对泵类设备的依赖程度。同时,针对高峰与低谷运行工况,调整水力通道断面与流态控制方式,可保持处理系统在较为稳定的水力条件下运行,避免因水力波动引发额外能耗。以水头差为核心的流程优化设计,使节能目标在工程层面得到有效落实。

### 3.2 水利机电设备高效配置对污水处理能耗结构的影响

水利机电设备配置强调与工程条件和运行需求相匹配,其高效性直接决定系统整体能耗水平。在污水处理厂中,泵站、曝气设备及附属动力系统构成能耗的主要来源。借鉴水利水电工程设备配置经验,通过对水量规模、扬程需求及运行时段的精细化分析,可实现设备容量与运行负荷的合理匹配。避免设备长期处于低负荷或超负荷状态,有助于降低单位处理水量的能耗。同时,采用适应工况运行的设备配置方式,使系统能够根据进水条件变化灵活调整运行参数,减少无效能耗积累。通过优化设备配置结构,污水处理厂能耗分布更加均衡,整体运行效率随之提升。

### 3.3 调蓄与输配水工程对污水处理运行能耗的调控作用

调蓄与输配水工程在水利水电系统中承担着平衡水量与稳定运行的重要功能,将其应用于污水处理厂运行管理,对能耗调控具有积极作用。通过设置合理的调蓄单元,可缓解进水水量和水质波动对处理系统的冲击,使设备运行保持相对稳定状态,减少频繁启停带来的能耗增加。在输配水环节,优化管网布置与水力条件,有助于降低输送阻力和能量损失。调蓄与输配水工程的协同运行,使污水处理厂在应对复杂工况时具备更强的调节能力,从而在保障处理效果的同时,实现运行能耗的有效控制。这种以工程调控为核心的路径,为节能降耗提供了稳定可靠的技术支撑<sup>[2]</sup>。

## 4 水利水电工程理念下污水处理厂水资源循环利用机制

### 4.1 再生水回用系统与水利工程用水结构的耦合关系

在水利水电工程理念指导下,再生水回用系统不再作为单一末端设施存在,而是被纳入区域水资源配置体系中进行统筹设计。通过将污水处理出水水质等级与水利工程用水结构相匹配,可实现再生水的分级回用与精准配置。以常见城镇污水处理厂为例,二级处理出水经深度处理后,COD可稳定控制在30 mg/L以下,氨氮浓度低于1.5 mg/L,可满足市政杂用、景观补水及工业冷却等需求。在水利工程调度体系中,将再生水作为非常规水源纳入供水结构,可替代部分地表水与地下水取用量,区域年替代水量可达到总用水量的15%~25%。通过管网衔接与调蓄设施联动运行,使再生水在时序与空间上与常规水源形成互补,提升整体水资源利用效率。

### 4.2 污水处理厂作为区域水资源循环节点的功能定位

从水利水电工程整体调控视角看,污水处理厂逐步演变为区域水资源循环体系中的关键节点,其功能已由单纯污染削减向水量调节与水源补充拓展。在区域水系统中,污水处理厂日处理规模通常在5万~20万m<sup>3</sup>之间,稳定出水为

下游水体补给或回用系统提供持续水源。通过与河道生态补水工程、再生水输配水工程协同运行,可在枯水期向区域水系补充30%~40%的生态基流,有效缓解水文条件波动带来的影响。同时,污水处理厂可借助调蓄构筑物承担削峰填谷功能,平衡区域用水高峰与低谷差异,使水资源循环更加平稳有序。这种节点化功能定位,使污水处理厂在区域水资源循环中具备不可替代的工程价值。

#### 4.3 水资源多级利用模式在污水处理系统中的构建方式

水资源多级利用是水利水电工程中提升水效的重要模式,将其引入污水处理系统,可显著增强水资源循环利用深度。在工程实践中,可按照水质要求与用水敏感程度,将处理出水划分为不同利用层级。经深度处理后的优质再生水优先用于工业生产、设备冷却等高标准用水环节,年利用量可占再生水总量的40%左右;经常规处理的出水用于市政绿化、道路冲洗与河道补水,占比约35%;剩余水量进入生态系统循环,维持水体自净能力。通过构建多级输配水管网与独立计量系统,实现不同水质水量的精细化调控,使单位水资源的重复利用次数由1次提升至2~3次,有效降低区域新水取用强度,形成稳定高效的循环利用模式<sup>[3]</sup>。

### 5 水利水电工程支撑下污水处理厂节能与循环利用协同优化

#### 5.1 节能目标与水资源循环目标的系统整合思路

在水利水电工程支撑体系下,污水处理厂节能降耗与水资源循环利用并非彼此独立的技术目标,而是同属区域资源高效配置框架下的两个关键维度。节能目标关注能量投入强度与运行效率,水资源循环目标强调水量重复利用水平与供给稳定性,两者在工程层面具有高度耦合特征。通过将单位水量综合电耗、处理负荷变化率与再生水回用比例纳入同一评价体系,可实现目标的同步约束与协同优化。在工程实践中,当处理系统通过水力条件优化与设备匹配将综合能耗控制在0.30 kWh/m<sup>3</sup>以下时,往往具备更稳定的出水条件,为再生水规模化回用提供可靠基础。通过在规划设计阶段同步考虑能耗约束指标与再生水配置规模,使处理工艺、水工结构与回用系统在同一逻辑下协同布局,可有效避免单一目标导向导致的系统效率折损,从而在整体工程层面实现能耗降低与水资源循环水平同步提升。

#### 5.2 工程调度与运行管理对协同效益释放的影响

工程调度与运行管理是节能与水资源循环协同效益由设计转化为实际成效的重要保障。借鉴水利水电工程成熟的调度管理模式,将污水处理厂运行纳入区域水系统统一调控框架,通过对进水量、处理负荷、回用需求及能耗水平的动态协调,可显著提升系统运行稳定性。在实施精

细化调度后,污水处理厂高负荷运行时段占比可由65%下降至45%,设备启停频次降低约25%,综合电耗同步下降10%~15%。运行管理层面,通过分时段、分工况管理策略,使处理系统在低负荷阶段维持高效运行区间,减少无效曝气与过度输送造成的能量浪费。同时,稳定的调度条件有助于再生水持续外供,保障回用系统年供水可靠率维持在90%以上。工程调度与运行管理的协同作用,使节能与循环利用不再停留于技术层面,而是在运行层面持续释放综合效益<sup>[4]</sup>。

#### 5.3 区域水系统整体优化背景下的污水处理厂协同运行

在区域水系统整体优化背景下,污水处理厂逐步由单一处理设施转变为区域能水协同运行的重要组成部分。通过将污水处理厂出水纳入区域供水、生态补水及非常规水源配置体系,可在年度尺度上替代常规水源取水量的10%~20%,在枯水期承担区域生态补水30%左右的水量需求。协同运行条件下,污水处理厂处理负荷与区域用水结构形成动态匹配关系,既降低了区域供水系统的能耗压力,也提升了水资源循环利用的稳定性。通过信息化平台实现与供水工程、调蓄工程的数据共享与联合调度,使污水处理厂在区域水系统中同时承担水量调节节点与能耗控制节点职能。该协同运行模式推动区域水系统由单目标管理向多目标协同优化转变,为节能降耗与水资源循环利用的长期稳定实施奠定工程基础<sup>[5]</sup>。

### 6 结语

从水利水电工程视角审视污水处理厂运行模式,有助于突破传统以单一处理效率为核心的技术思路,将节能降耗与水资源循环利用纳入区域水系统整体框架加以统筹。通过系统思维、水能利用理念及工程调度机制的引入,污水处理厂在降低能耗强度的同时,可有效提升再生水利用水平与供水稳定性。将污水处理设施作为区域能水协同运行的重要节点,有利于推动水资源配置方式由线性消耗向循环利用转变,为城镇水系统实现绿色低碳运行与资源高效利用提供可行的工程路径与实践支撑。

#### 参考文献

- [1] 李琼辉.城镇污水处理厂节能降碳技术研究[J].中国资源综合利用,2025,43(11):204-206.
- [2] 王峰,高陆令,万明辉,张辰.“双碳”背景下城镇污水处理厂绿色发展[J].土木工程与绿色建筑,2025,1(05):1-7.
- [3] 朱杰,朱跃,王玉.城市污水处理厂节能降耗路径分析及低碳化应用[J].资源节约与环保,2025,(10):9-14.
- [4] 黄柱钦.市政污水处理厂微孔曝气膜片更新改造及效能[J].资源节约与环保,2025,(10):117-120+125.
- [5] 周明明,龙丽清.华南地区乡镇生活污水处理厂进水浓度目标设定的研究[J].环保科技,2025,31(05):25-29+50.