

# 水处理厂污水处理设备的节能改造策略与实践

罗建华 李海钟 尹慧 耿保安 范淑蕾  
杭州南方赛珀工业设备有限公司 浙江 杭州 311107

**摘要:** 水处理厂污水处理设备的节能改造对降低运营成本、减少碳排放、提升处理效率及践行可持续发展具有重要意义。当前设备存在能耗偏高、技术应用滞后及管理粗放等问题。本文从设备选型优化、工艺流程改进、智能控制系统应用及能源回收利用四方面提出节能策略,并结合实践案例,为污水处理设备的节能改造提供理论与实践参考。

**关键词:** 水处理厂; 污水处理设备; 节能改造; 策略; 实践

引言: 随着污水处理需求的增长,水处理厂设备能耗占比逐年攀升,传统设备高能耗、低效率的运行模式已难以满足绿色发展要求。节能改造不仅能降低企业运营成本,更是实现“双碳”目标的关键举措。目前,污水处理设备普遍存在能耗指标不达标、先进技术应用不足、智能化管理缺失等问题。本文基于行业现状,系统分析节能改造的必要性,从设备、工艺、控制及能源回收维度提出策略,并通过实践案例验证其可行性,为水处理行业的节能降耗提供科学路径。

## 1 污水处理设备节能改造的必要性

### 1.1 降低运营成本

污水处理厂运营中,设备能耗与药剂消耗占总成本的主要部分。传统污水处理设备能效较低,运行过程中存在大量能源浪费,如提升泵长期处于满负荷运转,曝气系统供氧效率不足等,导致电费支出居高不下。同时,因设备性能局限,药剂投加缺乏精准控制,进一步增加运营成本。通过节能改造,采用高效节能设备、优化工艺流程,可显著降低电耗与药剂用量。

### 1.2 减少碳排放

污水处理过程是碳排放的重要来源之一,其中曝气系统、污泥处理设备因高能耗运行,产生大量二氧化碳等温室气体。此外,未经处理的污泥在厌氧环境下分解产生的甲烷,其温室效应是二氧化碳的数十倍。实施节能改造,通过选用低能耗设备、优化工艺参数,可降低设备运行能耗,减少碳排放。推广沼气回收利用技术,将污泥厌氧消化产生的沼气转化为清洁能源,替代化石燃料,进一步减少温室气体排放,助力实现“双碳”目标,推动行业绿色低碳发展。

### 1.3 提高处理效率

传统污水处理设备因技术落后、自动化程度低,易出现处理效率不稳定的问题。节能改造可引入先进技术与智能化管理手段,显著提升处理效能。例如,利用智

能控制系统实时监测水质与设备运行参数,动态调整曝气、加药等环节,确保处理工艺始终处于最佳状态;优化污泥处理工艺,提升污泥脱水效率,减少污泥后续处理难度。

## 1.4 符合可持续发展要求

在全球倡导可持续发展的背景下,污水处理行业亟需从粗放型向集约型转变。节能改造通过应用高效节能技术与资源循环利用模式,降低对能源与资源的依赖,减少环境负面影响。一方面,设备节能降耗可降低能源消耗,缓解资源紧张问题;另一方面,能源回收利用技术将污水处理过程产生的沼气、余热等转化为可用能源,实现资源循环利用<sup>[1]</sup>。

## 2 污水处理设备节能改造的现状分析

### 2.1 现有设备能耗问题

污水处理厂设备能耗问题突出,主要源于设备老化与选型不合理。大量水厂仍在使用高能耗的传统设备,如低效率离心式鼓风机、能耗超标的普通电机,这些设备运行时能量转换效率低,机械损耗大。同时,设备选型未充分考虑水质、水量波动,普遍存在“一刀切”式配置,导致设备长期处于非最优工况运行。例如提升泵常以固定频率运转,无法随进水流量变化调节功率。

### 2.2 技术应用不足

污水处理节能技术推广应用存在明显滞后。一方面,企业对新兴节能技术认知有限,对厌氧氨氧化、膜生物反应器(MBR)等高效低耗工艺缺乏深入了解,仍依赖传统活性污泥法等能耗较高的处理技术。另一方面,节能技术应用存在壁垒,如智能化控制技术虽能精准调节设备运行参数,但需较高的前期投入和技术支撑,部分中小规模水厂因资金、人才短缺难以承担。此外,新技术与现有系统的兼容性差,改造风险高,导致企业在技术升级时趋于保守,阻碍了行业整体节能技术水平的提升。

### 2.3 管理水平有待提高

污水处理厂运营管理模式粗放,难以实现设备节能增效。缺乏完善的能耗监测体系,无法对设备运行能耗进行实时、精准的计量与分析,导致管理者难以定位能耗异常点。同时,运行调度缺乏科学依据,设备启停、参数调节多依赖人工经验,未结合水质水量变化进行动态优化。此外,设备维护管理不到位,日常巡检流于形式,对设备磨损、老化等问题发现不及时,导致设备性能下降、能耗增加。加之缺乏专业的节能管理团队,员工节能意识薄弱,难以将节能理念贯穿于设备运行全过程<sup>[2]</sup>。

## 3 污水处理设备节能改造的策略

### 3.1 设备选型优化

#### 3.1.1 提升泵选型

提升泵作为污水处理流程中重要的动力设备,其选型直接影响能耗水平。传统提升泵多为定速运行,无法适应水质水量波动,导致长期高能耗运转。在节能改造中,应优先选用高效节能型提升泵,如采用变频调速技术的离心泵,可根据进水流量和液位变化自动调节转速,避免“大流量低扬程”或“小流量高扬程”等低效工况。同时,选择符合国家1级能效标准的泵设备,降低设备自身机械损耗;结合水泵特性曲线与实际工况需求,优化泵的型号与配置,确保其运行在高效区间,通过精准选型,可使提升泵系统能耗降低20%-30%,实现节能增效。

#### 3.1.2 曝气设备选型

曝气系统是污水处理能耗“大户”,其选型对节能至关重要。传统曝气设备如罗茨鼓风机,因风量调节能力差、运行效率低,易造成过度曝气。节能改造时,应采用新型高效曝气设备,如微孔曝气器配合变频离心风机,通过小气泡扩散增加氧气传质效率,减少曝气能耗;或选用磁悬浮鼓风机,利用无接触悬浮技术降低机械摩擦,相比传统风机能效提升30%以上。此外,结合智能控制系统,根据生化池溶解氧浓度实时调节曝气量,避免曝气不足或过量,实现按需供氧,使曝气系统整体能耗显著降低,同时保障微生物活性与污水处理效果。

#### 3.1.3 污泥处理设备选型

污泥处理环节的设备能耗占污水处理厂总能耗的10%-15%,传统污泥处理设备如带式压滤机,存在脱水效率低、能耗高的问题。节能改造应优先选择离心脱水机、板框压滤机等高效设备,离心脱水机通过高速旋转实现固液分离,处理量大且能耗较低;板框压滤机则可通过优化滤布材质和压力参数,提升污泥含固率,减少后续污泥处置能耗。同时,引入污泥厌氧消化工艺配套

设备,如高效搅拌器、沼气收集装置,提高污泥资源化利用率,将污泥处理过程中产生的沼气转化为能源,降低外部能源依赖,实现污泥处理环节的节能与资源回收双重目标。

### 3.2 工艺流程改进

#### 3.2.1 优化负荷匹配

污水处理厂进水水质、水量存在显著波动,传统工艺流程常出现设备负荷与实际处理需求不匹配的问题。在高峰时段,设备超负荷运行导致效率下降、能耗激增;低峰期则因处理量不足,设备处于低效运转状态。优化负荷匹配需结合历史数据与实时监测,构建动态负荷预测模型,提前调整设备运行参数与组合。例如,根据进水流量变化,灵活启停多组并联设备,或调节变频设备转速,使设备始终处于高效运行区间。同时,通过设置调节池等缓冲设施,均衡水质水量波动,避免设备频繁启停与过度耗能,确保污水处理系统在不同工况下均能实现节能高效运行。

#### 3.2.2 精准加药

传统污水处理加药环节依赖人工经验与固定投加模式,存在药剂过量投加或投加不足的问题。药剂过量不仅增加成本,还可能影响后续处理效果,造成污泥量增加、二次污染等问题;投加不足则导致污染物去除不达标。精准加药需依托高精度计量泵及在线监测设备,实时获取进水水质参数(如COD、氨氮浓度等),结合处理工艺需求,通过智能控制系统建立药剂投加模型,动态调节加药量。例如,采用基于模糊控制算法的加药系统,根据水质变化快速响应,实现药剂投加量与污染物去除需求的精准匹配,减少药剂浪费,降低处理成本,同时提升污水处理效率与水质达标率。

#### 3.2.3 污泥处理工艺优化

传统污泥处理工艺存在能耗高、资源化利用率低的问题。污泥浓缩、脱水环节效率不足,导致污泥含水率过高,增加后续处置难度与能耗;厌氧消化阶段产气效率低,能源回收效果差。优化污泥处理工艺需从多环节入手:在污泥浓缩阶段,采用重力浓缩与机械浓缩相结合的方式,提高浓缩效率;脱水环节选用高效离心脱水机或高压板框压滤机,降低污泥含水率。针对污泥厌氧消化,优化反应器设计,增加搅拌强度与温度控制,提升微生物活性,提高沼气产量;配套完善沼气收集与净化系统,将沼气用于发电或供热,实现污泥处理的减量化、稳定化、无害化与资源化,降低污泥处理整体能耗,提升污水处理厂的能源自给率。

### 3.3 智能控制系统应用

### 3.3.1 实时监测与数据分析

传统污水处理设备运行缺乏实时、精准的监测，设备工况、能耗数据无法及时获取，导致管理者难以发现潜在能耗问题。智能控制系统应用中，通过部署传感器网络，可实时采集设备运行参数（如流量、压力、溶解氧浓度、能耗值等），并将数据上传至中央控制系统。但当前部分污水处理厂数据采集存在盲区，数据传输延迟、准确性不足，且缺乏深度分析能力。多数企业仅能实现数据的简单存储与可视化展示，无法通过数据挖掘发现设备低效运行规律、能耗异常点，难以制定针对性节能策略，致使智能监测系统无法充分发挥优化设备运行、降低能耗的作用。

### 3.3.2 设备故障预警与应急处理

污水处理设备运行环境复杂，易因机械磨损、电气故障等突发问题影响处理效率与能耗。传统管理模式依赖人工巡检，故障发现滞后，应急响应效率低，设备带病运行会加剧能耗损失与处理效果下降。虽然部分企业引入智能控制系统用于故障预警，但实际应用中存在诸多问题。预警模型构建不完善，无法精准识别早期故障信号，误报、漏报频发；应急处理预案缺乏智能化联动机制，故障发生后，系统无法自动调整其他设备运行参数维持处理流程稳定，仍需人工介入协调，导致故障修复期间污水处理能耗激增、水质波动，影响整体运行效能与节能目标实现。

## 3.4 能源回收利用

### 3.4.1 沼气回收利用

在污水处理过程中，污泥厌氧消化会产生大量富含甲烷的沼气，但当前沼气回收利用存在诸多问题。部分污水处理厂因厌氧消化系统设计不合理，沼气收集率低，大量沼气未被有效收集而直接排放，既浪费能源又加剧温室效应。同时，沼气净化与储存技术不足，沼气温中含有的硫化氢、水分等杂质易腐蚀设备，导致后续利用设备（如沼气发电机）故障频发，缩短使用寿命。此外，沼气利用方式单一，多数仅用于厂区供热，缺乏对沼气发电并网、提纯制备生物天然气等高效利用途径的探索，能源转化效率低，未能充分发挥沼气作为清洁能源的价值，限制了污水处理厂能源自给能力的提升。

### 3.4.2 余热回收

污水处理厂的污泥厌氧消化、高温消毒等环节会产生大量余热，但余热回收利用率普遍较低。一方面，余

热产生与需求的时空不匹配问题突出，余热产生时段与厂区用热需求高峰不一致，缺乏有效的蓄热与调度系统，导致大量余热未被利用而直接散失。另一方面，余热回收技术应用不足，传统换热器效率低、成本高，难以适应污水处理厂复杂的水质与工况；且余热回收系统与厂区供热、发电等系统缺乏有效集成，余热无法高效转化为可用能源。此外，部分企业对余热回收重视程度不足，未将其纳入节能改造规划，造成能源的无端浪费，增加了污水处理厂对外部能源的依赖。

## 4 污水处理设备节能改造的实践案例

某日处理量达5万吨的城市污水处理厂，曾因设备老旧、工艺落后，能耗成本居高不下。在节能改造中，该厂采用系列措施：设备选型上，将提升泵更换为变频离心泵，曝气系统升级为微孔曝气器搭配磁悬浮鼓风机；工艺流程方面，搭建智能控制系统实现精准加药与负荷动态调节，并优化污泥处理工艺；同时，建设沼气回收发电系统与余热回收装置。改造后，污水处理单吨电耗从 $0.38\text{kW}\cdot\text{h}$ 降至 $0.26\text{kW}\cdot\text{h}$ ，药剂使用量减少18%，沼气年发电量达80万度，满足厂区15%的用电需求，余热回收用于厂区冬季供暖，年节约标煤约500吨，不仅显著降低运营成本，还大幅减少碳排放，成为行业节能改造的典型范例<sup>[3]</sup>。

## 结束语

污水处理设备的节能改造是推动水处理行业绿色转型的关键路径。通过设备选型优化、工艺流程改进、智能控制系统应用及能源回收利用等多维度策略的协同实施，不仅能有效降低运营成本、减少碳排放，更可提升处理效率，实现经济效益与环境效益的双赢。随着技术的不断革新与政策的持续推进，节能改造将成为水处理厂可持续发展的核心竞争力。未来，行业需进一步加强技术创新与实践探索，推动节能技术的深度应用，助力实现“双碳”目标，为建设资源节约型、环境友好型社会提供有力支撑。

## 参考文献

- [1]付喻珊.污水处理厂节能降耗技术研究及途径有效分析[J].资源节约与环保,2021(02):129-130.
- [2]吴彩虹.节能低碳技术在污水处理中的应用探讨[J].皮革制作与环保科技,2021,2(01):29-30+33.
- [3]任勇.污水处理厂污水处理节能技术[J].建材与装饰,2019(16):143-144.