

# 污水处理厂电气设计和节能策略

卢文峰, 卢 阳

(桂润环境科技股份有限公司, 广西南宁 530000)

**摘要** 我国城市化进程不断加快, 人们的环保意识也不断提高, 污水处理厂在现代城市中发挥着越来越重要的作用。电气设计和节能策略作为污水处理厂建设和运营中的关键环节, 对于保障污水处理厂的稳定运行、降低能耗和提高能源利用效率具有重要意义。本文以此为出发点, 综合探究污水处理厂电气设计和节能策略, 旨在为提升污水处理厂生产管理效益提供借鉴。

**关键词** 污水处理厂; 电气设计; 节能策略

**中图分类号**: TM92

**文献标志码**: A

**文章编号**: 2097-3365(2024)05-0061-03

近些年, 我国城镇污水处理事业迅猛发展, 但面临污水排放量增加和处理要求提高的挑战。为此, 《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》提出, 需解决设施发展不均衡问题, 增强处理效能, 推进资源化利用, 并提升运维水平。同时, 因污水处理能耗高, 新建、改扩建再生水产能将加大能源压力, 故建议构建基于物联网的能效管理平台, 以科学管理能源, 实现节能减排<sup>[1]</sup>。

## 1 污水处理厂能耗特征

### 1.1 污水处理厂基本信息

为深入了解我国典型城镇污水处理厂的能耗状况及主要电耗分布, 笔者对多个地区的代表性污水处理厂进行实地考察。经过筛选, 选择 7 座持续稳定运行超过两年且负荷率不低于 80% 的污水厂作为研究对象, 并对其进行了区域性的电量消耗监测。污水厂基本情况详见表 1。

表 1 污水处理厂基本情况

污水处理 厂编号	处理规模 (m <sup>3</sup> /d)	二级生物 处理工艺
污水厂 1	12.3	A <sup>2</sup> /O 除磷脱氮工艺
污水厂 2	17.2	氧化沟工艺
污水厂 3	12.8	SBR 工艺
污水厂 4	17.5	A <sup>2</sup> /O 除磷工艺
污水厂 5	4.9	A <sup>2</sup> /O 除氮工艺
污水厂 6	14.4	普通曝气法
污水厂 7	20.7	A-B 法 (二段曝气法)

### 1.2 污水厂处理单元能耗特征分析

针对 7 座严格执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 出水标准的污水厂, 进行为期一年的详尽电耗记录研究。这些污水厂根据其工艺流程被细致地划分为一级处理、二级处理、深度处理、污泥处理及再生水五个关键功能分区, 每个分区均独立安装电量统计装置。

研究数据揭示, 2021 年间, 7 座污水厂的吨水电耗平均值稳定维持在 0.2 ~ 0.45 kW·h/m<sup>3</sup> 的范围内。在处理工艺为 A2O 的 5 座污水厂中, 观察到吨水电耗与处理规模之间存在显著的统计学相关性。具体来说, 处理规模较小的 E 厂, 其吨水电耗为 0.43 kW·h/m<sup>3</sup>, 而处理规模超过 10 万 m<sup>3</sup>/d 的污水厂则表现出更低的吨水电耗, 平均值低于 0.3 kW·h/m<sup>3</sup>。

在电耗分布方面, 数据显示二级处理段占据了总电耗的显著比例, 高达 50% ~ 65%, 主要归因于该阶段涉及的多个能耗密集型操作, 包括生物反应和混合搅拌等。一级处理和深度处理段电耗占比分别为 19% 和 16%。此外, 部分污水厂的再生水处理段电耗占比超过 5%, 与该过程中所需的加药量、加药量控制精度以及膜处理技术等复杂操作有关。

为了深入了解污水处理厂的能耗分布, 本次研究选取具有代表性的 A 厂, 对其全流程主要设备进行了为期一年的用电计量统计。通过系统分析各设备的耗电量, 发现不同处理段和设备的电耗存在显著差异。在一级处理段, 进水提升泵是主要的耗电设备, 其能耗占据了该段总能耗的绝大部分。进入二级处理段, 风机、推进器和回流泵成为能耗主力, 其中鼓风机的能耗尤为突出, 占该单元电耗的 59%, 占全厂工艺总电

耗的43%，体现出鼓风机在二级处理中的重要能耗地位。深度处理段的二次提升泵也表现出一定的能耗，但相较于前两个处理段，其占比相对较低。在污泥处理段，污泥脱水机是主要的能耗设备。而再生水段则主要依靠提升泵进行水的提升和输送。对A厂各单元和设备电耗的详细统计结果表明，二级处理单元和污水提升能耗较大，二者合计占整个污水处理厂总能耗的80%左右。一级处理电耗比例达到20%，其中进水提升泵电耗占该单元电耗的85%，凸显了其在该段能耗中的主导地位。

## 2 节能降耗途径分析

### 2.1 设备选型及优化

在我国，为满足较大流量需求，许多城镇污水处理厂，尤其是早期建设的那些，常常存在设备选型偏大、配置单调及恒速运行等不合理的配置问题，导致能耗的不必要增加，影响污水厂的整体能效。数据显示，设备配置的不合理可使能耗增加高达20%以上，这显然与节能减排的目标背道而驰。因此，提高设备配置水平、合理进行设备选型成为降低污水厂能耗的关键。通过精确评估流量需求，科学选择设备型号和配置，以及引入变速运行等节能技术，污水厂可以满足处理需求，还能显著降低能耗，实现经济效益和环境效益的双赢<sup>[2]</sup>。

### 2.2 错峰用电

为应对我国城市电力供应中出现的用电高峰时段负荷超载、电网峰谷差大等挑战，国家层面已推出相关政策进行宏观调控。具体而言，各省市结合本地用

电负荷的实际情况，实施差异化的电价策略，如设置峰、平、谷三档或尖、峰、平、谷四档电价，以经济手段引导用电行为，其中收费标准随用电时段的紧张程度依次递减。在对城镇污水处理厂的调研中发现，部分先进的污水厂在保证出水水质稳定达标的同时，积极响应国家的电力调峰填谷政策，通过科学运行管理，在电网负荷较低的时段增加自身运行负荷，充分利用低谷电力资源。在用电高峰期，则通过减少设备运行数量或降低设备运行频率减轻电网压力。这种策略的实施，有效地将电网高峰时段的部分负荷转移至低谷时段，降低电网的峰谷负荷差，对于缓解城市电力供应紧张局面也起到了积极作用。从经济角度看，这种运行模式的调整还有助于降低污水处理厂的运行成本，提高其经济效益。更重要的是，这一做法符合社会资源优化配置的原则，通过市场机制和科技创新，高效、合理地利用电力资源<sup>[3]</sup>。（见图1）

某厂作为一座设计规模达到20万 m<sup>3</sup>/d的污水处理厂，其水量变化系数设计值为1.3，运行负荷保持在80%的水平。该厂采用氧化沟工艺进行污水处理，严格遵守《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）一级A排放标准，确保出水水质达标。在能耗方面，某厂的平均吨水电耗为0.24 kW·h/m<sup>3</sup>，表现出较高的能源利用效率。

针对城市电力需求的特点，某厂所在地区将用电时段划分为峰期、平期和谷期，每个时段各为8小时。根据图1的数据分析，某厂在峰期的用电量相对稳定，月均约为40万 kW·h，占总用电量的25.7%；平期用电量均衡，占总电量的30.6%；而主要电耗集中在谷期，

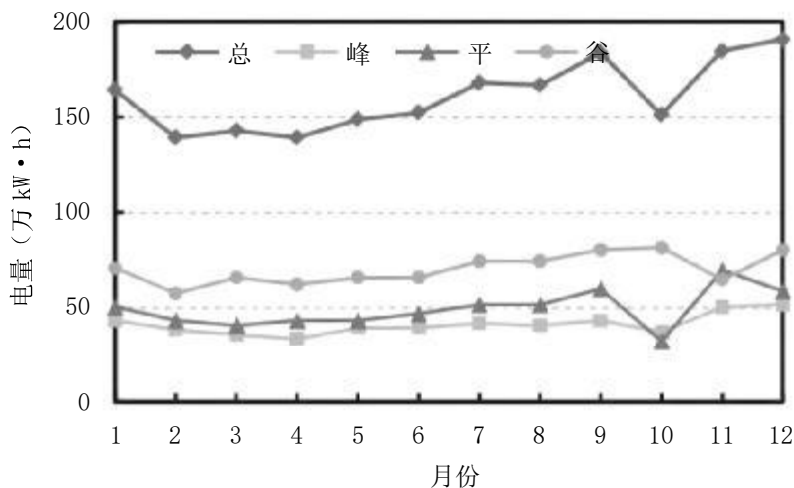


图1 某厂峰平谷用电情况

占总电量的 43.7%。这一用电模式充分利用了电网负荷较低的谷期时段,降低了运行成本。

根据某厂所在城市的电费收费标准,大工业用电电费峰值为 1.0167 元 /kW·h (6—8 月为 1.0788 元 /kW·h),平值为 0.675 元 /kW·h,谷值为 0.4203 元 /kW·h。通过实施错峰用电策略,某厂在保障生产稳定的同时,有效节约电费。据统计,某厂每年可节省电费约 100 万元,为企业的可持续发展提供了有力支持。

在污水处理过程中,某厂注重各功能分区的电耗控制。二级处理段作为能耗占比最大的部分,主要涉及生物反应、混合搅拌等能耗密集型操作。为降低这部分能耗,某厂采取优化曝气系统、调整污泥回流比等多种措施。

此外,一级处理和深度处理段也占有一定的电耗比例,合理配置设备、调整运行参数等方式,有效控制全厂能耗<sup>[4]</sup>。

### 3 污水处理厂节能技术

#### 3.1 进水提升泵房

在污水处理系统中,水泵作为核心组件,其运行效率对系统整体能耗有着显著影响。为了提升水泵的运行效率并降低能耗,变频技术的应用显得尤为重要,旨在精准调控水泵电机转速,根据实际需求调整水泵的流量和扬程,避免不必要的能耗<sup>[5]</sup>。

为了更深入地理解水泵的能耗特性,引入水泵轴功率的计算公式至关重要:  $N = \rho QH / \eta$ 。在这个公式中,  $N$  代表水泵的轴功率;  $\rho$  代表流体密度;  $Q$  代表水泵的实际流量;  $H$  代表有效扬程;  $\eta$  则代表水泵的运行效率。根据这一公式发现,在水泵安装并运行后,流体密度  $\rho$  和水泵运行效率  $\eta$  通常可视为恒定值。因此,水泵的轴功率  $N$  主要与实际流量  $Q$  和有效扬程  $H$  呈现正比例关系。在不改变实际流量  $Q$  的条件下,降低水泵的运行有效扬程  $H$  会导致其轴功率  $N$  的相应减小,表明提升水泵前水位的方式有效降低水泵的能耗。因为水位的提升能够降低水泵的吸水扬程,进而减少其运行负荷和能耗,既简单又经济。

#### 3.2 高效滤池设计

为确保处理后出水水质符合国家一级 A 排放标准,在改造工程中可以引入高效滤池环节,使沉淀池出水在经由中间水池提升至高效滤池后,通过消毒处理即能达到严格的排放标准<sup>[6]</sup>。

在污水厂的污水处理工艺中,共设有 15 个独立的池体单元。为正常运行各单元并强化使用效率,建议采取定期冲洗策略。具体而言,每个池体每天会进行两次冲洗,每次冲洗时间严格控制在 15 分钟内。分析近几年运行数据,每年池体的可运行总天数约为 230 天。以 2022 年为例,实际运行天数仅为 125 天。基于这些数据计算出该处理单元的节能效率达到显著的 45.7%。

节能优化策略体现出污水厂对环保和能源效率的重视,也带来实实在在的经济效益。精确监测和灵活调整处理流程,能够在保证出水水质达标的同时,有效降低电能消耗,实现环保与经济效益的双赢。随着技术的进步和环保要求的提高,污水厂将不断探索和引入更先进的节能技术和方法。例如考虑采用更高效的滤池技术、优化冲洗策略或引入智能控制系统等,进一步提升节能效率和出水水质。

### 4 结束语

在污水处理厂的电气设计与节能策略中,深刻认识到平衡处理效率与能源消耗的重要性。高效设计电气工程能够进一步保证污水处理厂安全稳定运行能力,优化能源配置,提高设备使用效率。另外,节能策略的实施显著降低了运营成本,减少了资源浪费,为污水处理厂的可持续发展注入了新动力。

### 参考文献:

- [1] Seguel Suazo Karina, Dobbeleers Thomas, Dries Jan. Bacterial community and filamentous population of industrial wastewater treatment plants in Belgium[J]. Applied microbiology and biotechnology, 2024, 108(01): 11-16.
- [2] Soni Kuldeep, Kothamasi David, Chandra Ram. Municipal wastewater treatment plant showing a potential reservoir for clinically relevant MDR bacterial strains co-occurrence of ESBL genes and integron-integrase genes[J]. Journal of Environmental Management, 2024(12): 38-39.
- [3] 李慷, 焦晨晓. 基于智能化技术的地下污水处理厂电气设计优化研究[J]. 中国设备工程, 2023(24): 35-37.
- [4] 徐世良. 城镇污水处理厂改扩建工程的电气设计分析: 以白诸镇镇级水质净化中心为例[J]. 低碳世界, 2021, 11(09): 148-149.
- [5] 王兆泰, 姚天宇, 马楠, 等. 城镇污水处理厂电气设计节能优化解析[J]. 城市道桥与防洪, 2020(11): 24, 204-206.
- [6] 石勇. 降低城市污水厂电气能耗的对策研究[J]. 科技风, 2020(07): 149.