

节能环保技术在污水处理中的应用研究

郝叶玲

华电水务朔州有限公司, 山西 朔州 036000

[摘要]污水处理业属于耗能大户,其运行需要消耗大量的电力以及产生二氧化碳等温室气体,在“双碳”政策背景下,节能减排技术的应用愈发得到关注。对节能环保技术应用于污水处理的价值进行综述,对高效节能技术和环境友好型处理技术、资源回收利用技术以及智慧控制技术四个方面进行阐述。结论认为高效节能曝气技术和变频调速技术有助于减少污水处理系统的能耗水平;低能耗的生物法与膜技术相结合能够提高出水质量;资源化利用和节水减排技术提高了物质利用率。基于物联网加大数据的智慧监管系统让污水处理系统变得更加智能化,多技术相互兼容以及系统整合使得污水处理厂可以达到节能减排和低碳环保的要求。

[关键词]节能环保;污水处理;智慧管控

DOI: 10.33142/hst.v9i6.20080

中图分类号: X703

文献标识码: A

Research on the Application of Energy-saving and Environmental Protection Technologies in Wastewater Treatment

HAO Yeling

Huadian Water Shuozhou Co., Ltd., Shuozhou, Shanxi, 036000, China

Abstract: The sewage treatment industry is a major energy consumer, and its operation requires a large amount of electricity and generates greenhouse gases such as carbon dioxide. Under the background of the "dual carbon" policy, the application of energy-saving and emission reduction technologies has received increasing attention. Summarize the value of applying energy-saving and environmental protection technologies to sewage treatment, and elaborate on four aspects: high-efficiency energy-saving technologies, environmentally friendly treatment technologies, resource recycling and utilization technologies, and intelligent control technologies. The conclusion is that efficient and energy-saving aeration technology and variable frequency speed regulation technology can help reduce the energy consumption level of sewage treatment systems; The combination of low-energy biological methods and membrane technology can improve the quality of effluent; Resource utilization and water-saving and emission reduction technologies have improved material utilization efficiency. The intelligent supervision system based on the Internet of Things and increased data makes the sewage treatment system more intelligent. The compatibility of multiple technologies and system integration enable sewage treatment plants to meet the requirements of energy-saving, emission reduction, and low-carbon environmental protection.

Keywords: energy-saving and environmental protection; wastewater treatment; smart control

引言

城镇污水处理是维持水质安全的有效手段,但是对污水进行处理的过程也是一个耗电及产生大量二氧化碳的过程,相关资料显示我国城镇污水处理每年要消耗掉大概200多亿度的电量,而且伴随着排放要求的提高以及污水处理率的增长,这个数量还在不断增加当中,在这个过程中所产生的碳排放、二次污染等问题也逐渐增多起来。所以怎么样能够在保证城镇污水处理效果的同时做到节能

减排就成了如今最被大家关心的问题。所谓的节能环保技术就是指为了达到节能减碳目的而形成的一种综合性技术手段,在其中包含了高效节能设备、低碳绿色工艺流程、污染物净化处理技术还有废物循环再利用等技术内容。近年来,该类技术应用于污水处理领域。城市污水处理厂能耗分析及节能措施研究提出了污水处理厂主要能耗部分有提升泵耗损、曝气耗损以及污泥脱水耗损,利用比能耗分析法可测算出处理方法和处理规模影响能耗大

小的情况。由曝气系统节能改造到变频控制的应用,再到膜法深度处理、污泥资源化等技术的研究,节能环保技术正助力污水处理行业朝着低碳型、资源化、智慧化方向发展,接下来将围绕应用前景、关键技术以及系统集成等方面对该类技术的研发和应用进行总结。

1 节能环保技术在污水处理中的应用价值

节能环保技术用于污水处理的意义可以从经济、环保和社会三个方面来考虑。就经济效益而言,污水处理厂能耗以电力消耗为主,电耗可占其运行费用 60%~80%,运用高效的节能鼓风机技术和变频节能技术等方法可以大幅度节约单位污水处理电耗。研究表明,在污水处理厂用电当中最大的一块就是鼓风机装置,通过减少鼓风机气量使得溶氧保持在 2~3mg/L 左右,就能大大地节省电能消耗;另一方面对于水泵与风机采用变频调节方式可以达到 20%~40%的节电量,从而减少运营支出。在环境保护方面:节能环保技术能够降低污水处理过程中产生的二次污染。传统污水处理工艺在处理污染物的同时会生成大量的剩余污泥以及温室气体,污泥减量技术可以降低不必要的污泥转移造成的环境风险,低碳生物处理技术可以在源头上使碳排放强度下降;污水处理温室气体核算模型研究结果表明,电消耗及甲烷产气是污水处理过程中的主要温室气体来源,在典型的 AAO 工艺中有 93.09%的比例,所以,采用节电技术降低电耗和通过回收利用沼气降低甲烷的排放都可以达到降低温室气体的效果,而且从社会效益方面来说,节能降碳等环保技术的应用有利于推动节能减排及绿色能源利用技术的进步与发展,从而给我国达成“双碳”目标提供强大的技术支持。而中水回用、污泥资源化等技术的应用使得污水处理由原来的“达标排放”转变为“资源回收”,这可以有效解决我国水资源短缺及资源约束等问题。

2 高效节能技术在污水处理中的应用

2.1 高效节能曝气技术

曝气装置是污水处理厂最大的电力消耗部分,一般约占全厂用电量的 50%~70%左右。高效的节能曝气方法就是要增加氧的转移率以及降低供氧功率。微孔曝气法是现在最常用的一种节能曝气手段。有关曝气系统的节能机理的研究表明:气泡大小与氧的传递速度有直接相关性,增大气泡的细度可以大幅提升气液交界面的接触面积并延长大气泡在水中的滞留时间进而提升氧气传递率。而微孔曝气装置可以使气泡直径达到 1~3mm 左右,其氧气利用率可以达到 20%~30%左右,相比传统的穿孔管曝气提高了 1~2 倍。此外,纯氧曝气就是用高纯度的氧气代替空

气来进行曝气的方法,它的氧转移效率高达 40%~60%。这种技术可以用于高浓度有机废水的处理,在某些条件下有很好的节能作用,而精确曝气控制系统是利用在线检测溶液中的溶解氧值,配合模糊 PID 控制器来自动调整曝气大小使得生化池中溶解氧恒定在预定值内,防止过度曝气带来的能量损耗。

2.2 变频调速与电机节能技术

污水处理厂中的水泵、风机、搅拌机等大型设备连续运转,通过使用变频器可以调节其运转速度以满足不同生产情况下的需要,达到按需供给的效果。变频器的应用也是污水处理厂对水泵进行节能的一种方法,除此之外还有水泵最佳配置控制、切割叶轮以及防腐蚀处理等多种方式。污水提升泵站中应用变频控制可以使水泵一直工作在高效区间内,减少频繁启动停顿所造成的损害;而应用于曝气鼓风机上,变频控制比起导叶调节和排风阀调节更省电。对泵与鼓风机进行合理优化搭配并且选择变频调速水泵也是降低污水提升环节能耗的方法之一,从而达到温室气体间接减排的效果。对于一个日处理量为 10 万吨的污水处理厂来说,在对其提升水泵及鼓风机进行变频改造之后每年可以节约电量 150 万 kwh,并且节能效果在 25%以上。

3 环保型处理与污染控制技术应用

3.1 低碳生物处理技术

低碳生物处理工艺主张在有机物分解时削减额外的能量及化学药品的使用量,从根本上减轻处理过程中对环境造成的碳负荷。而厌氧生物处理工艺不需要充氧并且能够产生沼气能量,属于典型的低碳工艺,污水处理厂能够进行甲烷产能回收利用的工艺,把产生的 CH_4 燃烧所释放出的能量纳入到系统的供能体系之中,既可以节约耗电量又可以减少温室气体排放量。对于高浓度有机废水而言,升流式厌氧污泥床、厌氧颗粒污泥膨胀床已经实现了工业化应用。生物接触氧化法兼有活性污泥法与生物膜法的特点。利用砾质球填料生物接触氧化法来净化生活废水,在进水 COD 浓度为 400mg/L、DO 值在 4~8mg/L 之间以及水力停留时间为 12h 的情况下,可使出水 COD 去除率大于 90%,并且该系统没有任何污泥排放出来,达到了污泥零排放的目的。其一次性建设成本及运行成本都较传统的活性污泥法要低,有很好的经济效益。

3.2 膜分离与深度处理技术

膜分离法是以选择性的透膜作为分离介质来达到净化水质的效果。它可以很好地去除污水里的悬浮物、胶体、细菌以及一些大的颗粒状物质。膜技术在污水处理方面的应用主要有超滤、微过滤、纳滤和反渗透。其中,超滤膜

可以用来去除 $0.01\sim 0.1\mu\text{m}$ 之间的胶体及病毒；而纳滤膜可以截留大部分的离子及有机物；反渗透膜则可以去除绝大部分的离子。大小不同的膜可以根据需要选择不同的膜孔径，以此适应不同的出水指标。膜生物反应器就是将膜分离技术和传统生物处理结合在一起的一种新型的技术，它用膜组件取代传统的二沉池，做到了水力停留时间和污泥龄完全分开的效果。它的出水效果良好，可以直接作为工业冷却用水，也可以作为城市绿化补水使用。膜技术是近来兴起的一种新型水处理方法，在污水处理及再利用中占有重要地位。但是膜污染依然是阻碍其应用的关键环节，需要与合理有效的滤膜清洗、前处理方法等相结合。

4 污泥与水资源回收利用技术

4.1 污泥减量化与稳定化技术

污泥处置是污水处理厂耗能与花费的大头之一，而污泥减量则是为了减少污泥的量进而减轻其后处理负担的一种方法，而污泥低温干燥技术就是利用热泵除湿的方式对污泥进行处理使得其含水率从 $97\%\sim 98.5\%$ 降到 $30\%\sim 40\%$ ，某污水处理厂采取离心脱水+低温干化的流程把处理过的污泥送到发电站用于掺烧从而达到减量化、稳定化、无害化以及资源化的目的。此工艺包括脱水系统、干化系统、储存运输、冷却循环、除臭五大部分，可以调控最终的含水率。污泥热水解技术是在高温高压条件下使污泥絮状物结构以及微生物细胞壁遭到破坏，从而使污泥脱水能力增强，利于之后的厌氧消化过程。此工艺可以降低污泥量达 50% 以上，而且提高沼气产量 $20\%\sim 30\%$ 。

4.2 污泥资源化利用技术

污泥含有大量的有机物及氮、磷等养分，有很高的利用价值。表 1 总结了主要的污泥资源化的几种方法及其特点、使用条件。

厌氧消化是最成熟的一种污泥资源化处理方式，可以将污泥中的有机物转化为沼气，沼渣脱水之后可以用来做土壤改良剂、肥料等；好氧堆肥适合高有机质污泥，在调节好碳氮比、水分和通气量的情况下，能产生出合格的产品有机肥；热解炭化是在无氧状态下使污泥变为生物炭，

用作吸附材料或者土壤改良等。

4.3 中水回用与循环利用技术

中水回用是缓解水资源匮乏的问题之一。将污水经过处理达到中水回用的标准，可以用于农田灌溉，工业散热，市政公用，补给景观用水等方面。深度处理是保证中水回用水质的关键步骤，在钞票纸厂废水中加入臭氧-生物活性炭法进行深度处理之后，COD 由 77.2mg/L 变为 28.8mg/L ，SS 由 18.8mg/L 变为 4.5mg/L ，已经符合中水回用要求了。此方法使用了臭氧去除水中的难溶解有机物，再有生物活性炭去除并降解水中污染物，从而实现中水回用水质安全。煤矿等行业建立起来的循环经济系统有着很好的借鉴价值。煤炭开采及采掘时都会产生一定数量的污水，建设节约型、环保型水循环系统，能够做到污水处理的同时也能回收利用资源，根据不同的水质进行不同用途的分类使用，对废水进行充分的净化再利用。从而使企业用水量大大减少。

5 智慧管控与系统集成优化

5.1 基于物联网的能耗监测系统

物联网技术给污水处理厂能源监控提供数据支持。以安装智能感测装置的方式，在主要耗电设备处安装相应的智能传感器随时获取耗电量、耗水量、水质、设备运行状态等相关信息构建起一个完整的能源检测系统。污水智能监管理论框架包含水务数据中心、物联感知层以及监督管理平台三个组成部分^[1]。它可以全程覆盖从污水提升、曝气到污泥处理整个过程中的能耗情况，找到耗能量较大的部位以及非正常状况，供后续改善节约之参考使用。另外，收集起来的数据还可以用于纵向比较和横向参照。不同的污水处理量对应的能耗标准不一样，“物联网”监测体系可以据此制定分等级的能耗评判机制。城市污水处理厂能耗分析及节能措施的研究表明，基于比能耗的方法对工艺与规模影响进行量化计算有助于提出有针对性的节能策略，在此基础之上，无线传感器网络技术大大节约了建设投资和后期运维的成本，让小型污水处理厂也能够使用智能化能耗监测装置。

表 1 主要污泥资源化利用技术对比

技术路线	主要产物	能耗水平	投资成本	适用规模	技术成熟度
厌氧消化	沼气、沼渣	低	中	大型污水厂 (>5 万吨/日)	成熟
好氧堆肥	有机肥	低	低	中小型	成熟
热解炭化	生物炭	高	高	各类	发展中
焚烧供热	热能、灰渣	高	高	大型	成熟
建材利用	砖、陶粒	中	中	各类	发展中

5.2 大数据与人工智能优化控制技术

大数据以及 AI 算法可以从大量的运行数据里面找出其中隐藏的一些规律,从而可以对污水处理进行智能化控制。神经网络的用水量预测模型可以在事先预测到来水负荷的变化以便于对提升泵及曝气系统实施前馈控制。模糊 PID 控制算法已经应用于曝气溶解氧调节上并且相比传统 PID 有更快的响应时间和更小的超调量之优势^[2]。智慧水务管理系统运用大数据,人工智能,物联网等多项信息技术来创建一个标准化的信息管理体系。通过对机器学习来进行工艺参数调整,则可以使能耗下降 5%~15%左右。对于溶解氧,污泥浓度,内回流比等一系列变量间存在强耦合现象的传统控制方案很难达到最优解。利用深度强化学习控制算法,在保证出水水质的基础上,可以实时调节曝气量以及碳源投加量从而达到节能减排两全其美的目的。AI 最优控制从根源上避免了无谓的能量浪费的同时也降低了碳排放。

5.3 多技术耦合的系统集成优化

单个技术节能效益低,而多个技术融合在一起组成的集成系统可以提高污水厂整体的节能减排能力。系统集成优化包括上下级集成和跨级集成:上下级集成指的是做到感知层、传输层以及应用层的全方位覆盖,做到数据获取-分析-控制的全流程一体化;跨级集成是指节能技术、环保技术、资源回收技术和智能化管理系统之间的相互配合使用。如把变频调控与曝气调节相结合并用 AI 智能进行调配,从而使得节能效果达到最大化^[3]。搭建智慧监测、水务设施 GIS 一张图、运营管理等功能模块的智慧化监管平台,可以实现全链条智能化管理,让污水处理厂由原有的单纯能耗管理转变为对能量、材料、环境的整体调控,数字孪生技术通过生成准确的仿真模型,可以在电子平台

上完成工艺调整计划测试,规避实际操作中的安全问题及耗时风险,联合多种技术还需要考虑各个产品之间的通讯规约是否匹配的问题,使用通用的数据交换接口是进行系统整合的基础条件,边缘计算技术的应用让一些数据分析工作转移到设备本身,降低数据传送时延并且减轻了数据中心的压力,增强系统的即时性和稳定性。

6 结语

节能减排技术在我国污水治理方面的应用已经由单纯的单体节能向整体系统的优化转变。高效的节能曝气装置以及变频调节方法都有效地减少了污水处理的单位费用;低碳生物法处理技术和膜过滤技术的应用提高了污水处理的效果;污泥的资源化再利用及中水的循环利用拓宽了资源回收利用的方法;基于物联网大数据的信息管理系统也为污水处理厂的精细化治理提供了保障。现有的节能环保技术推广还存在投资过大、技术整合困难、人才缺乏等问题。今后要加大产学研合作力度,减少技术创新壁垒;建立节能环保鼓励措施,吸引更多资本注入。完善智慧型污水处理标准体系,引导行业健康发展。“双碳”理念下的绿色环保技术应用于污水处理将有更大的市场空间。

[参考文献]

- [1]代小霞,周广健,张艳群.节能环保技术在污水处理中的实施探析[J].清洗世界,2023,39(8):46-48.
- [2]宋涛,兰玲,贺亚.城市污水处理厂能耗分析及节能措施研究[J].节能与环保,2023(3):90-92.
- [3]沙书勇.某污水厂污泥低温干化处理工艺设计及运行总结[J].广州化工,2023,51(2):190-192.

作者简介:郝叶玲(1980—),女,汉族,山西省朔州市人,本科,江西理工大学毕业,现就职于华电水务朔州有限公司,从事环保安全、环境水质监测工作。