



造纸厂污水处理全流程节能策略

康志辉

(岳阳林纸股份有限公司岳阳分公司, 湖南岳阳 414002)

[摘要] 造纸工业是一个高能耗、高水耗、高污染的行业。在当前国家能源紧缺、造纸业市场竞争激烈的局势下,降低能源费用支出、提升市场竞争力,关系到每个造纸厂的生存与发展。由于处理水量大、废水需氧量高等原因,造纸厂污水处理的能耗费用在工业废水处理中居于前列。选取造纸行业内有代表性的污水处理厂,通过分析污水特点及工艺流程,并进一步分析能耗结构,寻找污水处理厂节能降耗的方法。经过分析,电耗占污水处理总能耗的 60%~90%,好氧处理工序的能耗在所有工序中最高,各工序的主要耗能设备是泵与风机。从工艺设计、设备配置、工艺运行、日常管理等方面提出节能策略,以期做好全流程的节能降耗工作。本研究旨在为新扩建污水处理厂在设计、运行环节提供节能策略,实现污水处理厂可持续发展。

[关键词] 能源;节能;污水处理;运行策略;制浆造纸废水

[中图分类号] X703.1;X793 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1005-829X(2022)10-0182-05

Energy-saving strategies for the whole process of sewage treatment in paper mills

KANG Zhihui

(Yueyang Branch of Yueyang Forestry and Paper Co., Ltd., Yueyang 414002, China)

Abstract: Paper industry has high energy consumption, high water consumption and high pollution characteristics. Under the current situation of national energy shortage and fierce competition in the paper industry market, how to reduce energy costs and improve market competitiveness is related to the survival and development of each paper mill. Due to the large amount of treated water and the high oxygen demand of wastewater, the energy consumption cost of water pollution control ranks in the forefront of industrial wastewater treatment. Taking the representative sewage treatment plant in the paper industry as the research objects, the characteristics of sewage, technological process and energy consumption structure were analyzed, so as to find the ways to save energy and reduce consumption in sewage treatment plants. After analysis, the power consumption accounted for 60%–90% of the total energy consumption of sewage treatment, the energy consumption of aerobic treatment process was the highest among all processes, and the main energy consuming equipment of each process were pump and fan. This study put forward energy-saving strategies from the aspects of process design, equipment configuration, process operation, daily management, etc., in order to do a good job of energy saving and consumption reduction in the whole process. The aim of this study was to provide energy-saving strategies for the design and operation of new and expanded sewage treatment plants, so as to realize the sustainable development of sewage treatment plants.

Key words: energy; energy saving; sewage treatment; operation strategy; pulp and paper making wastewater

污水处理厂在水污染治理过程中发挥着核心作用,随着国家对污染物排放要求越来越严格,水污染治理费用逐年增加。污水处理厂的能耗费用占运行成本的 40% 左右,过高的能耗严重阻碍了污水处理厂的建设

和运营,以致许多污水处理厂难以持续发展。降低能

耗、实现污水处理可持续发展是行业发展的趋势。对制浆造纸厂来说,污水处理成本关系到浆、纸产品的单位成本。污水处理能耗水平高,意味着成本高,单位产品成本分摊费用多,不利于市场竞争。因此,在当前国家要求控制碳排放的背景下,保障污

水处理厂稳定达标运行、推进节能工作具有深远的意义。本研究选取造纸行业内有代表性的污水处理厂,对其污水处理流程及能耗进行分析,从工艺设计、设备配置、运行管理等方面提出节能策略,以期同为类型污水处理厂节能减排提供指导和借鉴。

1 污水处理厂现状

1.1 污水处理流程

造纸厂污水具有以下特征:(1)制浆造纸厂由于水耗高,废水体量大;(2)不同产品的废水水质差异大,如化机浆和化学浆废水剪度高、COD高、可生

性不高,而废纸浆和造纸废水悬浮物多、部分废水容易结垢;(3)污泥产量大。

根据《制浆造纸工业污染防治可行技术指南》(HJ 2302—2018),造纸厂污水处理普遍采用厌氧+好氧+深度处理的组合工艺。厌氧处理可采用升流式、全混式厌氧反应器,好氧处理可选用氧化沟、带选择区的全混曝气装置等,深度处理可选用混凝沉淀(气浮)、高级氧化处理等工艺。污泥一般在收集后加药调理,再根据干度要求选择带式、螺旋或板框压滤机进行脱水处理。典型的造纸厂污水处理工艺流程见图1。

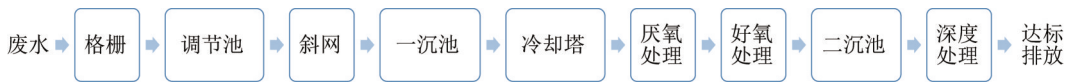


图1 造纸厂污水处理典型工艺流程

Fig. 1 Typical process flow of sewage treatment in paper mill

1.2 能耗分析

污水处理的能耗主要包含电、燃料及药剂等,其中电耗占总能耗的60%~90%^[1]。影响污水处理电

耗的因素很多,如上游排放的废水类型、处理规模、工艺类型、出水标准、设备配置以及运行维护管理水平等。具体见表1和表2。

表1 部分造纸厂污水处理电耗情况

Table 1 Power consumption of sewage treatment in some paper mills

造纸厂	废水类型	设计规模/ (万 m ³ ·d ⁻¹)	处理工艺	COD 出水要求/ (mg·L ⁻¹)	执行标准	吨水电耗/ (kW·h·m ⁻³)
湖南某造纸厂	制浆+造纸	10.0	厌氧+全混射流曝气+流化床 Fenton	≤40	《地表水环境质量标准》 (GB 3838—2002)	1.412
山东某造纸厂	制浆+造纸	6.0	厌氧+氧化沟+传统 Fenton	≤40	《地表水环境质量标准》 (GB 3838—2002)	2.291
湖南某制浆厂	制浆	3.5	氧化沟+气浮	≤500	《污水排入城镇下水道水质标准》 (GB/T 31962—2015)	1.034
宁夏某造纸厂	造纸	4.5	Blolak+絮凝沉淀	≤60	《制浆造纸工业水污染物排放标准》 (GB 3544—2008)	2.341
广东某造纸厂	造纸	1.0	氧化沟+滤池	≤60	《制浆造纸工业水污染物排放标准》 (GB 3544—2008)	1.837

表2 某造纸厂污水处理各工序电耗情况

Table 2 Power consumption of sewage treatment processes in a paper mill

工序	工艺特征	电耗/ (kW·h·m ⁻³)	电耗占比/%
厌氧处理	IC厌氧反应器	0.249	17.6
好氧处理	全混式射流曝气	0.902	63.9
深度处理	流化床 Fenton	0.230	16.3
污泥处理	高压隔膜压滤机	0.031	2.2
各工序综合电耗		1.412	100

根据表1和表2数据可以看出,制浆造纸厂污水处理电耗高,且普遍高于我国污水处理厂的能耗均值0.317 kW·h/m³^[2];在几个工序中,污水处理能耗远大于污泥处理能耗,其中好氧处理工序的能耗超

过其他工序之和。进一步分析,各工序的主要耗能设备是泵(提升泵、循环泵等)与风机(鼓风机、冷却塔风机)。此外,造纸行业大规模推进节水,实际污水处理量、COD与原始设计条件相比发生大幅变化,吨水处理能耗高也很突出。

综上,可以从工艺设计、设备配置开始,结合日常的运行维护、精细管理,做好全流程的节能工作。

2 设计改造节能策略

2.1 工艺设计

2.1.1 工艺选择

污水处理厂在建设之初,需要根据水质、水量情况以及出水排放要求选择合适的工艺。

对于 COD 超过 3 000 mg/L 的污水处理厂,优先选用厌氧反应器削减后续处理工序的负荷。厌氧处理可改善污水的可生化性,将污水中的 COD 转化为富含甲烷的沼气,1 kg COD 大约可产生 0.42 m³ 沼气,1 m³ 沼气的热值接近 1 kg 标准煤的热值,后续可通过对沼气掺烧、发电或提纯为天然气进行资源化利用。某造纸厂废水经厌氧处理后日产沼气约 4 万 m³,回收的能量供应其厌氧处理工序绰绰有余。

对于 COD 出水要求较高的污水处理厂,深度处理以往采用传统 Fenton 工艺较多,运行过程中存在成本高、污泥量大的问题,选用流化床 Fenton 工艺可以解决该问题。此外,选用高密度加炭沉淀池可弥补 Fenton 出水含盐量升高、污泥难脱水的问题,同时加炭的污泥在脱水后热值升高,有利于掺烧处置。

2.1.2 平面布局

完成工艺选型后,污水处理厂各构筑物在平面布局时应根据工艺流程合理布局,并为远期项目做好预留与规划,使能耗最低。对于大中型污水处理厂,选用多组并联布局的方式,可以减少检修时系统停机的问题,同时也可以解决水量变化大时吨水处理能耗高的问题。如某造纸厂因制浆生产线停止,实际污水处理水量不足设计水量的 1/3,系统运行时存在“大马拉小车”现场,吨水处理能耗高;若设计时采用分组布置,仅需停运一组即可。

污水提升泵是污水处理最常见的耗能设备,污水处理厂可充分利用现有地形的高低差异,合理布置管道,通过降低污水提升高度减小泵用扬程、功率,从而节约能耗。结合构筑物高程布置,减少重复提升次数,保障污水通过重力流的方式流经后续工序。

2.2 设备配置

泵、风机是污水处理厂的耗能大户,其节能可以从设备本身、系统布置、运行方式三方面着手。

2.2.1 泵选型

泵的电耗占污水处理厂电耗的 25% 左右,是节能重点。在选型时容易出现选型不合理,主要表现在安全裕量过大、不注意满足泵的汽蚀性能要求、配套动力不合适等。因此,选泵需根据现场工况合理选择。泵的有效功率与泵的扬程成正比,通过精确计算选择匹配的扬程,节能效果显著。此外,根据性能曲线,泵在最高效率点时经济性最佳,一般要求常用工况点的效率不小于最高效率的 92%。选用高效

泵并在泵的高效区间运行,能耗将显著降低。

污水量往往是波动的,夏季温度高,系统水耗高,排水量大;生产食品纸与文化纸水耗差别也较大。泵一般根据最大流量选取,大部分时间无法高效运行。在运行管理上,通过对泵用电机进行变频调速,可以扩大泵的有效工作范围;或者将泵的配置大小搭配成梯度,根据水量大小投运相应泵。对于离心泵,流量变化较大的可以更换匹配的新泵。在一定范围内也可以采用切削叶轮的方式,改造后的泵流量降低、电流减少、轴功率下降,从而实现节能。

2.2.2 鼓风机选型

鼓风机能耗高有两方面的问题,一是风机选型不匹配,二是调节手段落后,管网布置欠合理。鼓风机选型应满足最大负荷时的需求,一般同时并联运行不超过 3 台,并采取变频搭配工频的运行方式;超过 3 台时应应对供气管网进行分区,从而减少并联损耗。选用鼓风机时,应根据污水处理规模、工艺特点来选择高效设备,罗茨鼓风机存在运行效率低、噪声大、维护费用高的缺点,适用于中小型污水处理厂;磁悬浮风机相比罗茨风机可节能 20% 以上^[3],且可以自动调速并精准曝气,缺点是投资大、维修困难,选购需要考虑预算及售后服务时间。某造纸厂原来使用 2 台共 400 kW 的罗茨风机,运行时能耗高、噪声大,改造为 1 台 300 kW 的磁悬浮风机后即满足工艺要求。

2.2.3 曝气器选型

曝气系统是污水处理最主要的耗能环节,合理选择曝气设备将有利于运维过程中的能耗管控。若将城镇污水处理厂普遍使用的微孔曝气盘用在 Ca²⁺ 含量较高的造纸废水处理环节,曝气头容易发生堵塞、结垢而增加能耗。同样的原因,造纸废水处理也不宜选用 MBR 工艺,膜组件的频繁清洗将影响该工艺的正常使用。建议使用不易堵塞的表曝或射流曝气。

2.2.4 污泥处理选型

污泥处理时,带式压滤机运行稳定,能耗低,泥饼含水率约 80%;板框压滤机能耗高,泥饼含水率约 60%。因此,需要根据后续污泥处置措施选择合适的压滤方式。

除做好以上节能措施外,选用列入《节能节水专用设备企业所得税优惠目录》且性能参数符合要求的电机、风机、水泵、变频器等,将为企业带来税收回报。

3 运行节能策略

(1)调节池。调节池的作用是调节水量、均衡水质,进入后续工序的水质、水量越稳定,污水处理厂的运行成本越低。该区域的耗能设备主要是提升泵,泵在使用过程中存在的问题主要有:(a)达不到规定的使用要求,泵的性能保持性差、可靠性和平均寿命低,电机出力保持性差;(b)附件及管网系统故障,表现在三阀失灵、管路系统结垢、吸入管路漏气等;(c)安装不规范,基础不牢固,泵吸入、压出管路的附加压力过大。有针对性地解决这些问题可以降低电耗。

(2)一沉池。一沉池的能耗占比不高,主要要做好污泥泵的运行管理,根据污泥浓度设定污泥泵运行周期;污泥浓度可以根据刮泥机扭矩监测调整,避免污泥泵频繁开停。

(3)冷却塔。冷却塔根据水量、水温采取部分冷却、部分自流的方式运行,待冷却的废水提升至冷却塔冷却后,与自流的水在后续工序混合至合适温度。由于造纸废水中悬浮物较多,蜂窝填料易堵塞、木片填料内部不易清洗,从而影响冷却效率。冷却塔填料可选用改良的立体弹性填料,并定期组织工艺清洗,初沉效果不佳时应提高清洗频次。有条件的区域可以采取换热的方式对高温废水进行冷却并回收废水中的余热,如化机浆废水温度常年在70℃左右,对1 000 m³废水换热后,温度每变化1℃理论上可节约标准煤143.5 kg,这对一个日处理水量达上万吨的污水处理厂来说节能效果非常可观。

(4)厌氧处理。厌氧处理应重点关注废水中Ca²⁺浓度变化。使用废纸造纸的工厂,废水中Ca²⁺浓度普遍偏高。当Ca²⁺质量浓度高于400 mg/L时,输送泵泵腔、管道、池罐壁容易结垢,厌氧颗粒污泥容易钙化,最终影响系统运行效率。某造纸厂废水中Ca²⁺质量浓度为600~1 200 mg/L,不到2 a的时间D=300 mm的管道竟结垢至仅剩约100 mm的流道,同时叶轮结垢严重,流量达不到设计要求,能耗升高。这些情况需要在预处理阶段通过pH调节、投加阻垢药剂等手段来处理,严重的需要定期更换叶轮、管道。

(5)曝气池。曝气池可从工艺运行和设备维护两方面优化。工艺运行方面,应根据来水水质、水量变化控制曝气池中的污泥浓度及溶解氧,污泥浓度高时需氧量增加,污泥浓度低时氧利用率提高,通过调整污泥浓度、污泥龄可以管控鼓风量的需求;曝气

池溶解氧一般控制在1~3 mg/L,过高的溶解氧既浪费能源,又会造成污泥自身氧化而出现工艺异常;将溶解氧在线监测参数与鼓风机运行频率进行连锁控制并自动调节,将大幅削减能耗。设备维护方面,曝气池的射流泵及配套的鼓风机是污水处理厂能耗的大头,需定期检查射流泵叶轮是否有汽蚀、结垢现象,发现问题及时处理;曝气头也应定期检查,结垢、堵塞时应及时疏通;对于Ca²⁺浓度高的废水,预处理阶段应采取措施提前除钙。

(6)二沉池。二沉池应根据出水要求并结合曝气池运行,在满足工艺运行的情况下选择较低的回流比,控制回流污泥泵低流量运行。由于污泥龄过长时活性污泥的耗氧量增加,对COD去除效率提高不大,可以根据工艺运行情况,通过调整剩余污泥排放的方式对活性污泥的污泥龄进行控制,污泥龄按低限运行,这样既可以保证污水达标,又节约了电耗。

(7)深度处理。深度处理采用Fenton工艺的比较多,节能主要可从减少化学品投加量和污泥量着手。Fenton加药量与来水COD等指标直接相关,传统COD检测费时长,为保证出水达标排放,普遍存在化学品投加过量的问题;投加过多硫酸亚铁不仅药剂成本增加,同时也带来更高的污泥量,残余的亚铁甚至还可导致出水返色。通过引入TOC或UV₂₅₄检测,建立检测值与水中COD的关系,通过实时显示的检测值投加化学品可以有效减少化学品使用量。此外,改良型流化床Fenton比传统Fenton可减少15%以上的化学品消耗、30%以上的污泥产量。

(8)污泥处理。污泥处理存在的问题表现在絮凝剂选型不当、投加量过大、压榨时间长等。选择合适的絮凝剂有利于节能运行,一般絮凝效果越好,节能效果越好;絮凝效果不佳时,滤布容易堵塞,压榨时间增加。定期通过简单易行的烧杯试验、污泥比阻测定试验,选择合适的药剂及投加量,可以改善污泥浓缩、调理效果。压滤机滤布应定期清洗,且达到一定使用周期后应及时更换新滤布,这将大幅缩短污泥压榨时间、改善污泥脱水效果,从而有效降低污泥处理能耗。

4 管理节能策略

(1)组织员工学习国家、行业相关的节能规范与要求,并因地制宜地制定相应的节能管理制度。鼓励员工在节能方面献计献策,并对节能有贡献的个人或团队进行奖励。

(2)根据《重点用能单位能源计量审查规范》(JJF 1356)要求,建立能源计量体系,加强对能源的计量管理,并安排专人负责管理。

(3)建立能耗统计体系,对重点耗能工序、重点耗能设备进行跟踪,做好日常能耗数据统计、分析,与行业内先进企业进行对标,深度挖掘重点环节的节能降耗潜力。

(4)组织员工学习工艺流程及运行现状,掌握工艺、设备特点,定期做好设备设施的巡检,及时做好工艺清洗、检修维护,从而降低能耗。

(5)盘点设备节能性能数据、设备和系统的能量分布,讨论潜在的节能措施并提供详细的节能建议^[4]。

5 结语

污水处理厂的能耗贯穿了污水处理设计、施工、运行的全过程。选用节能型的工艺、设备是节能的前提,在设计过程中对平面布局、高程布置等做好把控是节能的关键,做好日常运行维护是节能的最终体现。污水处理厂在做好环保达标的前提下,还应加强节能管理,深度挖掘系统节能潜力。在节能过程中,整个系统的水耗、药耗等指标也将同步得到优化,且企业的管理水平得到进一步提升。实施节能策略不仅能减少能源费用支出,还可享受税收方面的优惠,为企业带来更多的经济效益,助力企业在市

场竞争中处于优势,并对创建可持续发展社会具有重大意义。

参考文献

- [1] 秦怀东,邵文卿.污水处理厂泵站与曝气系统的节能途径[J].山西煤炭,2000,20(4):24-26.
QIN Huaidong, SHAO Wenqing. Save energy methods of pump station and aeration system of sewage treatment plant[J]. Shanxi Coal, 2000, 20(4): 24-26.
- [2] 张羽就,席佳锐,陈玲,等.中国城镇污水处理厂能耗统计与基准分析[J].中国给水排水,2021,37(8):8-17.
ZHANG Yujiu, XI Jiarui, CHEN Ling, et al. Energy consumption statistics and benchmarking analysis of urban wastewater treatment plants (WWTPs) in China[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(8): 8-17.
- [3] 徐豪,陈赓,顾琳,等.磁悬浮风机在水厂预处理工艺中的应用与研究[J].供水技术,2022,16(2):36-39.
XU Hao, CHEN Yi, GU Lin, et al. Application and research of maglev blower in pretreatment process of waterworks[J]. Water Technology, 2022, 16(2): 36-39.
- [4] 李云,蒋进元,白璐,等.污水处理厂能耗评估与优化现状[J].工业水处理,2018,38(9):1-4.
LI Yun, JIANG Jinyuan, BAI Lu, et al. Present situation of the energy consumption evaluation and optimization in wastewater treatment plants[J]. Industrial Water Treatment, 2018, 38(9): 1-4.

[作者简介] 康志辉(1983—),高工。电话:13975057325, E-mail: 93347802@qq.com。

[收稿日期] 2022-08-14(修改稿)

·水处理知识讲座·

活性炭在水处理中有何作用?

活性炭被广泛应用于生活用水及食品工业、化工、电力等工业用水的净化、脱氯、除油和去臭等。一般在除盐水处理过程中,于阳离子交换器的前面(也有少数在后面)设置活性炭过滤器。由于活性炭的比表面积很大,其表面又布满了平均直径为2~3 nm的微孔,因此活性炭具有很高的吸附能力。此外,活性炭表面有大量的羟基和羧基等官能团,可以对各种性质的有机物进行化学吸附以及静电

引力作用,因此活性炭可以去除水中对阴离子交换剂有害的腐殖酸、富维酸、木质磺酸等有机物质,还可以去除像余氯一类对阳离子交换剂有害的物质,从而提高了除盐水处理能力。通常,活性炭能够去除63%~86%的胶体物质、50%左右的铁以及47%~60%的有机物质。

(摘自《工业水处理技术问答及常用数据》)