

北京某大型城市污水处理厂节能降耗途径和效果分析

孙 慧^{1,2}, 王佳伟³, 吕竹明^{1,2}, 吕泽瑜^{1,2}, 蒋 彬^{1,2}, 陈 晨^{1,2},
刘小杏³, 于 斓³

(1. 轻工业环境保护研究所, 北京 100089; 2. 中国轻工业清洁生产中心, 北京 100012;

3. 北京城市排水集团有限责任公司, 北京 100124)

摘 要: 城镇污水处理厂作为公共事业的重要支撑,其绿色运行成为建设“两型社会”的必要条件。同时,污水处理又是资源、能源相对集中的行业,节能降耗显得尤为重要。对北京某大型污水处理厂的节能降耗改造进行研究,结果表明,通过更新变频进水泵,除砂、曝气、排泥等系统的优化运行和化学除磷系统的精确控制,节能降耗效益显著,电力消耗降低5.47%,除磷剂硫酸铝消耗降低28.4%,絮凝剂聚丙烯酰胺消耗降低7.3%。仅从电耗和药剂消耗成本考虑,单位污水处理量的成本可降低0.041元/m³。同时电力等能源消耗的降低,从源头可有效减少温室气体的排放;除磷药剂的使用量减少,也可降低化学污泥的产生量。该污水处理厂节能降耗改造途径可为其他污水处理厂的运行提供借鉴。

关键词: 城市污水处理厂; 节能; 降耗

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)16-0031-04

Analysis of Approaches and Effects of Energy Saving and Consumption Reduction in a Large Scale Wastewater Treatment Plant in Beijing

SUN Hui^{1,2}, WANG Jia-wei³, LÜ Zhu-ming^{1,2}, LÜ Ze-yu^{1,2}, JIANG Bin^{1,2},
CHEN Chen^{1,2}, LIU Xiao-xing³, YU Lan³

(1. Environmental Protection Research Institute of Light Industry, Beijing 100089, China; 2. China Cleaner Production Center of Light Industry, Beijing 100012, China; 3. Beijing Drainage Group Ltd., Beijing 100124, China)

Abstract: As an important support of public utilities, the green operation of urban wastewater treatment plants have become a necessary condition for the construction of the resource-saving and environment-friendly society. At the same time, wastewater treatment has considered as a relatively concentrated resource and energy industry. So energy saving and consumption reduction would be particularly important. The research on energy saving and consumption reduction in a large Beijing wastewater treatment plant was conducted. The results showed that the significant benefits of saving energy and consumption reduction were achieved by upgrading the variable frequency feed pump, the optimized operation of the desilting, aeration, sludge treatment system and the precise control of chemical phosphorus removal. And the power consumption was reduced by 5.47%, aluminum sulfate flocculant consumption was reduced by 28.4%, flocculant polyacrylamide consumption was reduced by 7.3%.

Only from the cost of electricity and drug consumption, the cost per unit of wastewater treatment could be reduced by 0.041 yuan/m³. Meanwhile, the reduction of energy consumption, such as electricity, could effectively reduce greenhouse gas emissions from the source. Reducing the use of phosphorus removal agents could also reduce the production of chemical sludge. The way of saving energy and reducing consumption in the wastewater treatment plant could be used to provide reference for the operation of other municipal wastewater treatment plants in Beijing or other places in the country.

Key words: urban sewage treatment plant; energy saving; consumption reduction

随着国家节能减排工作的深入,以及企业降低成本、实现可持续发展、提高竞争力的自身需求,企业有必要实施节能降耗改造,实现企业的经济效益、环境效益和社会效益^[1-3]。以北京某大型城市污水厂为例,对其近两年采取的节能降耗工作和成效进行研究,以期对其他污水厂的绿色运行提供借鉴。

1 北京某污水处理厂概况

1.1 污水水质

该污水处理厂主要处理周边区域的生活污水,2014年—2016年进水水质见表1。三年进水B/C比分别为0.45、0.45、0.44,进水的可生化性较好,COD、BOD₅、TN年平均浓度逐年上升。依据北京市《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012),该污水处理厂2015年12月31日起需执行更为严格的表1中B标准(如COD排放限值由之前的60 mg/L降低为30 mg/L,TP排放限值由之前的1.0 mg/L降低为0.3 mg/L),给污水的达标处理带来新的挑战。

表1 进水水质(年平均浓度)

Tab.1 Influent quality(annual average concentration)

项目	COD	BOD ₅	TN	TP	氨氮
2014年	341	154	48	5.8	35
2015年	353	160	53	6.2	39
2016年	418	182	57	6.0	31

1.2 污水处理工艺及污泥处理工艺

该污水厂污水、污泥处理工艺流程见图1、2。

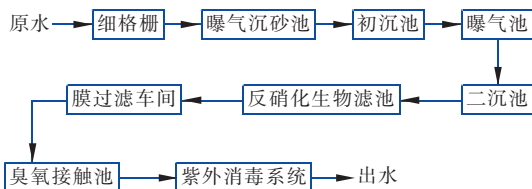


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

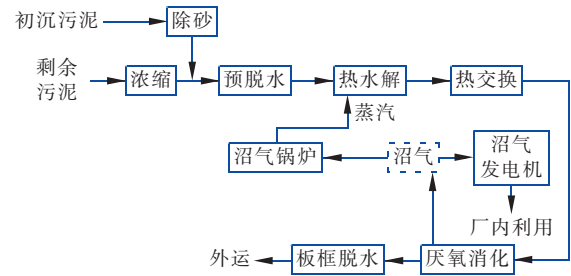


图2 污泥处理工艺流程

Fig.2 Flow chart of sludge treatment process

2 资源、能源消耗情况及潜力分析

该污水处理厂的年处理水量为 3.3×10^8 m³,使用的原辅料主要有除磷剂硫酸铝、絮凝剂聚丙烯酰胺等。主要的资源和能源消耗见表2。

表2 主要的资源和能源消耗情况

Tab.2 Major resources and energy consumption

项目	用途	消耗量
除磷剂(硫酸铝)	化学除磷	23 546 t/a
絮凝剂(聚丙烯酰胺)	污泥脱水	285 t/a
电力	运营	$7\ 680 \times 10^4$ kW · h/a
蒸汽	污泥消化循环加热、脱水机房热风	2.1×10^4 t/a

分析以上资源和能源消耗成本:资源(原辅料)占比28.4%;能源(电力、蒸汽)占比71.6%。分析能源使用结构,电力和蒸汽的使用量折合 1.2×10^4 t标煤,其中电力占比为77.5%。通过对全厂的用电情况进行分析,主要的耗电环节为鼓风机,占全厂总用电量的54.42%;其次为进水泵,占比为20.93%。因此,可从降低除磷剂、絮凝剂的消耗,降低鼓风机系统、进水泵电耗等方面入手,实现全厂的节能降耗。

3 节能降耗措施

① 更新变频进水泵

进水泵报废周期为15年,但改造前累计运行已

达到 20 年。根据自有企业资产管理(EAM)系统以来的统计数据,进水泵的效率逐年减低。同时由于电机运行时间较长,运行温度偏高,电机效率降低,实际电单耗也在逐年上升。改造时,更新原有进水泵,新的进水泵为变频进水泵,并配有高效电机。此次水泵的更新将有效控制泵坑液位及抽升流量的稳定,降低水泵做功扬程及功率,节约水泵运行电耗;同时确保水泵运行稳定及抽升流量的相对恒定,有利于后续污水处理工艺的安全稳定运行,提高节能减排的可靠性。

② 除砂系统优化运行

改造前,初沉池进水渠道及池组内积砂情况严重,每年花费大量资金和精力对其进行停水清砂维护,同时初沉池排泥泵长期输送含砂污泥磨损严重。主要原因有:a.每天污水处理厂来水量波动较大,曝气沉砂池气水比调控不及时,池内沉砂效果不佳;b.通过吸砂泵吸出的含砂废水由于砂水分离设备水力停留时间短等问题不能将砂与水分离,大量砂通过下水道回流至泵房,系统内砂越积越多。改造时,将曝气管上的阀门更换为电动菱形阀,并增加气体流量计,实现阀门控制与污水流量联动,实现自动控制,即曝气沉砂池供气量随进水量波动而进行调节,提高沉砂效率,有效减少沉砂清理工作量和降低含砂污泥对排泥泵的磨损。

③ 曝气系统精细化运行

改造前,受进水量波动的影响,曝气池溶解氧波动十分剧烈,溶解氧大幅波动给工艺控制带来很大的困难。该污水处理厂采用的污水处理工艺需要曝气池末端溶解氧维持在稳定的低值,否则既会增加能耗,还会影响脱氮除磷的效果,增加运行成本。溶解氧为人工测定,不能及时、精确地跟踪判断曝气池的供氧状况,为了实现出水达标只能放大工艺参数来满足高负荷时段的处理要求,造成了能耗较高。针对溶解氧不能随水量负荷精确控制的缺点,开发了一套软件,并安装液位计和在线溶解氧仪。在原有 PLC 控制系统的基础上,通过新开发的软件依据进水量和在线溶解氧仪提供的溶解氧量计算需气量,分时段调整鼓风机的开启程度,实现鼓风机气量的有效控制,从而实现曝气系统的精细化运行。该技术方案的优势是,以进水量前馈控制为主,在线溶解氧监测反馈为辅,运行可靠性较高,运行调控及时,有保障。

④ 初沉池排泥系统精确化控制

改造前,该污水处理厂初沉池排泥控制都是通过运行人员观察初沉池出水及池面厌氧状况来调整排泥时间和排泥量。这种运行控制方式对初沉池的泥位和排泥浓度没有进行有效监控,导致排入污泥浓缩系统的污泥浓度变化幅度非常大,不利于污泥浓缩系统及后续消化、脱水的运行,同时也会造成污泥泵的电耗浪费。改造时,在初沉池安装污泥界面计和污泥浓度计,实现对初沉池沉降污泥及排泥浓度的有效监控,给运行调控人员提供有效的实时污泥泥位和排泥浓度监控数据,提高污泥排放效率,实现稳定的高浓度污泥排放,提高后续污泥浓缩、消化和脱水系统的工作效率及稳定性。污泥浓度的提高和浓缩系统的稳定运行,能进一步降低污泥浓缩后的含水率。污泥浓缩含水率降低后,可提高污泥消化池的利用效率,通过污泥消化可分解掉 45% 左右的有机物,这些有机物将产生沼气,一部分通过沼气锅炉产生蒸汽,另一部分进行发电。

⑤ 化学除磷系统精细化运行

改造前,化学除磷系统中硫酸铝加药泵未实现自控,由人工操作,不能及时根据实际运行情况调整药剂投加量,为保证出水 TP 达标,会过多投加药剂,造成药剂的浪费,且增加了化学污泥产生量。改造后,在原先 PLC 系统控制的基础上,增加化学除磷药剂投加自控系统。在运行时,根据进水流量和出水磷浓度自动调整药剂投加量,在保证出水水质达标的前提下,减少药剂投加量,同时减少了化学污泥产生量,并降低药剂投加泵电耗。

4 实际运行效果分析

在上述各项改造完成并稳定运行一年后,根据同期运行效果对比,对各项改造方案的环境效益和经济效益进行汇总,结果见表 3。该污水厂改造总投资为 1 465 万元,节约成本 1 353 万元/a,投资回收比为 1.08,13 个月即可收回投资成本,经济效益明显。

通过上述效益分析,仅从电耗和药剂消耗成本考虑,单位污水处理量的成本降低 0.041 元/m³。若是再加上人工成本、运行维护成本等,成本降低更多。对改造前后电力、硫酸铝、聚丙烯酰胺的使用情况进行分析,结果表明电力消耗降低 5.47%,硫酸铝消耗降低 28.4%,絮凝剂消耗降低 7.3%,节能降耗效益显著。

表3 效益汇总

Tab.3 Benefit summary

项 目	改造金额/万元	节能降耗效益	经济效益
进水泵更新	600	节电 $40 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h/a}$	节省电费 32 万元/a
除砂系统优化运行	220	减少初沉池清砂 $280 \text{ m}^3/\text{a}$, 并有效减少泵组磨损	减少清砂费用 12 万元
曝气系统精细化运行	105	节约用电 $380 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h/a}$	节约电费 304 万元/a
化学除磷系统精细化运行	190	节约硫酸铝 $6\,700 \text{ t/a}$, 减少化学污泥产生量 $2\,600 \text{ t/a}$	节约硫酸铝费用 245 万元/a
初沉池排泥系统精确控制	350	节约絮凝剂 20 t/a , 年产生的沼气的量增加 $420 \times 10^4 \text{ m}^3$, 这些沼气全部用于发电, 发电量增加了 $840 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h/a}$ (1 m^3 的沼气可发电 $2 \text{ kW} \cdot \text{h}$)	节约絮凝剂费用 88 万元/a, 节约电费 672 万元/a

该污水处理厂通过以上措施实现了一定程度的节能降耗, 但仍有进一步提升的空间: ①可通过处理工艺流程的变化, 开发内部碳源, 进一步降低药剂的消耗; ②建议建设更完备的能源管控中心, 将全厂所有的用能系统和设备都纳入其中, 加强监管, 同时加强设备的维护保养, 提高设备的使用效率; ③污水处理厂有着大面积的处理水池, 可在屋顶、池面上加装太阳能光伏板, 建立分布式光伏电站, 降低企业的外购用电。

5 结语

① 污水处理作为资源和能源相对集中的行业, 降低其资源、能源消耗很有必要。污水处理厂消耗的资源主要有除磷剂、絮凝剂、碳源等, 能源主要有电力、蒸汽等。通过更新变频进水泵, 对除砂、曝气、排泥等系统进行优化控制, 能大大降低污水处理厂的能耗水平, 同时对化学除磷系统精确控制, 可降低除磷药剂消耗水平, 这些均提高了污水处理厂的经济效益。电力等能源消耗的降低, 从源头可有效减少温室气体的排放; 除磷药剂使用量的减少, 也可降低化学污泥的产生量, 因此也取得了一定的环境效益。

② 污水处理行业的设备众多, 提高设备的自动化控制水平, 并加强人员的操作水平, 实现污水处理过程中的智能化控制, 将有效提高污水处理厂的绿色水平。

③ 从实现国家节能减排和可持续发展及绿色发展目标出发, 污水处理厂的节能降耗具有重大的意义。

参考文献:

- [1] 郭付新. 城市污水处理节能降耗途径探析[J]. 绿色科技, 2017(4): 113-114.

Guo Fuxin. Analysis on energy saving and consumption reducing methods of urban sewage treatment[J]. Journal of Green Science and Technology, 2017(4): 113-114 (in Chinese).

- [2] 刘礼祥, 张金松, 施汉昌, 等. 城市污水处理厂全流程节能降耗优化运行策略[J]. 中国给水排水, 2009, 25(16): 11-15.

Liu Lixiang, Zhang Jinsong, Shi Hanchang, et al. Operation strategy for optimization of energy saving and consumption reduction of WWTP-wide process [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(16): 11-15 (in Chinese).

- [3] 高伟明. 城镇污水处理厂能耗分析及节能降耗对策[J]. 低碳世界, 2017(3): 22-23.

Gao Weiming. Energy consumption analysis and energy saving and consumption reduction measures of urban sewage treatment plant [J]. Low Carbon World, 2017(3): 22-23 (in Chinese).



作者简介: 孙慧(1984-), 女, 江苏海安人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为环境政策技术标准、污染防治、清洁生产等。

E-mail: hhsunhui@163.com

收稿日期: 2018-10-15