

城市污水处理厂能耗分析及节能途径

常江¹, 杨岸明^{1,2}, 甘萍¹, 孟春霖¹, 彭永臻², 张树军¹, 应起锋¹

(1 北京城市排水集团有限责任公司, 北京 100063; 2 北京工业大学 北京市水质科学

和水环境恢复工程重点实验室, 北京 100124)

摘要: 城市污水处理是能源密集的高能耗产业之一, 我国能源供需矛盾日趋尖锐, 在保障污水处理量和尾水达标排放的前提下, 提高能源利用率, 对缓解我国当前的能源危机具有重要意义。以北京某污水厂(采用典型 A²/O 工艺)为例, 通过对一级处理、二级处理、污泥处理等各单元能耗及各设备能耗分布的分析, 提出了各处理单元及设备的节能潜力及相应的节能途径及方案。

关键词: 污水处理厂; 能耗; 水泵; 鼓风机

中图分类号: X703.1 文献标识码: B 文章编号: 1000-4602(2011)04-0033-04

Energy Consumption Analysis and Energy Saving Solutions in WWTP

CHANG Jiang¹, YANG Anming^{1,2}, GAN Yiping¹, MENG Chunlin¹,

PENG Yongzhen², ZHANG Shujun¹, YING Qifeng¹

(1. Beijing Drainage Group Co. Ltd., Beijing 100063 China; 2 Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environmental Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124 China)

Abstract Municipal sewage treatment is one of the high energy consumption and energy-intensive industries. Nowadays, the energy supply and demand contradictions have become increasingly acute in China. It is important to relieve the current energy crisis by improving the energy utilization efficiency on the premise of meeting the sewage treatment capacity and the sewage discharge standard. The energy consumption distributions of various units and equipment in primary treatment, secondary treatment and sludge treatment and so on in a sewage treatment plant using typical A²/O process were analyzed. The energy saving potential, methods and solutions of the treatment units and equipment were proposed.

Key words WWTP; energy consumption; pump; blower

随着城市化进程的不断加快和环境保护要求的逐渐提高, 城市污水处理厂数量越来越多, 污水处理率也越来越高。但是污水处理属能耗密集型行业, 其消耗的能源主要包括电、燃料及药剂等, 能耗占总能耗的 60% ~ 90%^[1]。高能耗一方面导致污水处理成本升高, 在一定程度上加剧了我国当前的能源危机, 另一方面高能耗造成的高处理成本, 致使一些

中小型污水处理厂难以正常运行, 污水处理厂的减排效益得不到正常发挥。因此在典型污水处理厂能耗分析的基础上, 对污水处理厂的运行进行优化管理, 节约能源费用, 降低处理成本是保障污水处理厂正常运行的必要手段。

目前国内污水处理行业对于污水处理厂能耗的调查分析还非常有限, 通过对北京某污水处理厂全

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAC19B00); 北京市教委科技创新平台 (PXM 2008-014204-050843)

流程的能耗调查,分析污水处理系统各处理单元的能耗分布情况及各处理单元设备的节能潜力,提出相应的节能途径及方案,对污水处理厂节能降耗具有一定的指导意义。

1 样本厂的基本情况

样本污水处理厂规模为 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 采用 A^2/O 处理工艺,污泥处理采用厌氧消化方式,处理出水经加氯消毒后排放。出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 排放标准,污水处理工艺流程见图 1。

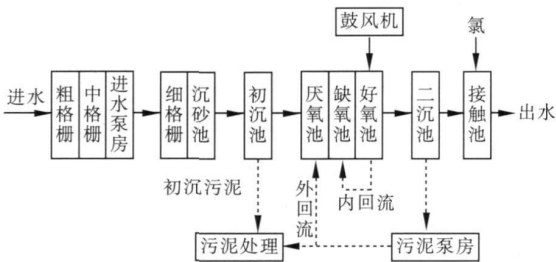


图 1 样本厂污水处理工艺流程

Fig 1 Flow chart of wastewater treatment plant

2 能耗分布及节能途径分析

2.1 各单元能耗分布分析

对样本污水处理厂各单元能耗进行了分析。结果表明,二级处理单元能耗最大,占整个污水厂总能耗的 68.96%;其次是预处理单元,能耗占总能耗的 20.52%;污泥处理单元与锅炉、照明等其他部分所占总能耗的比例分别为 6.66%与 3.86%。由此可知,预处理与二级处理单元占总能耗的比例为 89.48%,节能潜力最大,污泥处理单元次之。因此,节能应从这几个处理单元考虑,对其主要设备的运行状态及运行方法进行挖掘,从而实现整个污水处理系统的节能。

2.2 预处理单元能耗分析及对策

预处理单元各设备能耗分布见表 1,可知进水泵占预处理单元能耗的 94.91%,占全厂总能耗的 19.48%,是预处理单元最大的耗能设备,是该单元节能的关键设备。

污水提升泵的节能应综合考虑整个提升系统,主要包括污水提升泵的节能;正确科学地选择水泵,使其在高效率下工作;合理利用地形,通过减小污水的提升高度来降低水泵的轴功率;定期对水泵进行维护,减少摩擦也可以降低电耗等。

表 1 预处理单元各设备能耗分布

Tab 1 Electrical energy consumption of different equipment in pretreatment processes

项 目	装机功率 /kW	耗电量 / (kW·h·d ⁻¹)	占预处理 比例 /%	占总电耗 的比例 /%
粗格栅	5.5	60	0.14	0.03
中格栅	8.8	211.2	0.51	0.10
细格栅	16.4	393.6	0.94	0.19
进水泵	1 650	39 600	94.91	19.48
旋流沉砂池	30.2	724.8	1.74	0.36
初沉池刮泥机	20.56	446.08	1.07	0.22
初沉污泥泵	12	288	0.69	0.14

① 合理选择进水泵

污水提升泵的节能应综合考虑整个提升系统,必须将水泵系统和管道系统结合起来,根据系统的特性来选择合适的水泵。由于污水量往往随着季节、天气、用水时间等不断变化,因此选择的水泵必须满足系统输送最大流量的需求。但从经济的角度考虑,采用最大流量选取的水泵实际上全速运转的时间不超过 10%,大部分时间内水泵处于低效运转。为了使水泵处于高效工作状态,应根据管道系统的特性曲线选择合适的水泵。

② 合理选择电机

水泵电机不能将所有输入的能量转变成机械能,电机输出的机械能与使用电能的比值称为电机效率。电机效率一般为 70%~96%,电机在低负荷下工作一般效率较低。

选择与水泵负荷相匹配动力的电机对于保持电机的高效运转非常重要。通常选择大功率的电机来满足额外负荷的需求,而大功率的电机在低负荷下的工作效率都比较低。由于无功电流的增加,功率因数下降,电机在负荷 $\geq 75\%$ 的条件下工作其效率比较高,而在 50% 的负荷下工作其效率较低。

最近几年高效率的电机有了新的发展,但价格比较昂贵,费用比标准电机高 15%~25%。通常,由于其运行费用较低,在电机投入运行后,该部分投资的回收期很短,一般几个月或者数年就可回收增加的成本。因此,在污水处理厂新建设计或升级改造工程中,应优先选用高效电机^[2]。

③ 合理降低水泵的扬程

进水泵的电耗计算公式如下:

$$W = \frac{\rho g Q H}{1\,000 \eta_1 \cdot \eta_2} \cdot t$$

(1)

式中 W ——电机实际电耗, $\text{kW} \cdot \text{h}$
 ρ ——污水的密度, 取 $1\,000\text{ kg/m}^3$
 g ——重力加速度, 取 9.81 m/s^2
 Q ——污水泵的实际流量, m^3/s
 H ——污水泵的实际工作扬程
 η_1 ——水泵的效率
 η_2 ——电机的效率
 t ——水泵运行时间, h

由式 (1) 可见, 污水进水泵在稳定运行时, 其电耗取决于进水泵的实际工作扬程 H , 与污水处理全流程的水头损失有直接关系。系统的水头损失包括静水头和动水头。静水头是液体被提升的高度, 动水头是管道和管道附件必须克服的摩擦损失, 摩擦损失与流量成正比, 如果流量增加 1 倍, 动力损失则增加 4 倍。

降低污水提升高度可减小静水头, 污水厂在设计时应尽量利用自然地势, 减小跌流的落差。大型市政污水处理厂在提升泵房前一般不设调节池。由于污水处理厂的进水量往往随时间、季节波动, 进而导致污水泵房集水池水位不稳定。通过对污水泵的合理调控实现提升过程的最优控制, 有效利用污水收集管网的调蓄能力, 提高泵前池的液位, 可以降低水泵静水头, 从而降低水泵的运行能耗。泵前池液位不宜过高, 否则可能会造成污水溢流。降低动水头主要考虑减小系统的沿程损失和局部损失, 污水处理厂各个构筑物总体布置尽量紧凑, 尽量减少弯头和阀门的用量, 连接管路尽量短, 保持管道齐平和清洁, 选用阻力系数小的管材。

④ 定期维护及检修

定期对系统进行检修, 消除阀门、管线、水泵内的结垢, 保证管线不渗漏; 定期维护皮带、齿轮、轴承和过滤器, 防震和隔热也是水泵节能的有效措施。水泵像其他机械设备一样, 随运行时间的延长磨损不断加大, 流量和泵扬程也会有所下降, 及时维护与检修尽管增加了额外的检修费用, 但检修后通过消除水泵结构的表面粗糙度可提高水泵的效率, 使水泵保持高效工作^[3]。

2.3 二级处理单元能耗分析及对策

二级处理单元的能耗主要集中在鼓风机、搅拌器和内外回流泵上 (见表 2), 鼓风机占二级处理单元电耗的 75.13%, 占总运行电耗的 51.81%, 是厂最大的耗能处理单元, 因而对于二级处理单元及

全厂的节能重点应该在鼓风机的节能降耗上。

表 2 二级处理单元各设备能耗分布

Tah 2 Electrical energy consumption of different equipment in secondary treatment processes

项 目	装机功率 /kW	耗电量 /(kW · h · d ⁻¹)	占二级处理电耗比例 %	占总电耗的比例 %
搅拌器	796	19 104	13.63	9.40
内回流污泥泵	160	3 840	2.74	1.89
外回流污泥泵	432	10 368	7.39	5.10
剩余污泥泵	24	576	0.41	0.28
鼓风机	4 389	105 336	75.13	51.81
二沉池刮泥机	41.12	892.16	0.64	0.44
加药泵	3.7	88.8	0.06	0.04

曝气系统对于整个污水生物处理系统非常重要, 直接关系到曝气池中的溶解氧浓度以及污水的处理效果。目前, 由于污水厂每日进水高峰和谷底流量相差较大, 造成供气在进水高峰时不足而低谷时过量的现象。同时也造成曝气池内溶解氧波动过大, 不同处理单元气量分配不均衡, 影响活性污泥的处理效率, 从而有可能造成出水指标不稳定或在某些条件下超标。鼓风机房最有效的节能措施就是减小鼓风机的风量, 而减小风量与曝气方式、曝气头的类型及效率、曝气池中溶解氧浓度及风量的调控方式等相关, 因此鼓风机的节能应从整个曝气系统考虑。

① 鼓风机的合理选择

鼓风机选型时, 首先应具有充足的压力, 鼓风机向曝气池充氧, 必须克服管路阻力、曝气池液位高程及曝气头堵塞、水位变化等带来的额外阻力。风机流量是风机选型的关键参数, 在小流量范围内, 一般罗茨鼓风机的成本最低, 性价比较好; 在中流量范围内, 多级离心风机成本比罗茨鼓风机稍高, 但是其能耗低、效率高, 性价比较好; 在大流量范围内, 单级离心风机成本最低, 能耗也最低^[4]。在风机选型时应综合考虑风量、压力、经济性等参数, 尽量采用高效鼓风机。

② 曝气量的精确控制

目前绝大部分污水处理厂的曝气调节方式由人工调节曝气立管的阀门开度, 控制精度不高而且劳动强度较大。精确曝气流量控制系统是一套集成的智能控制系统, 为曝气系统提供自动化、精确化的曝气解决方案。

精确曝气控制系统采用生物处理模型计算当前

的曝气需要量,并按照该气量进行精确控制,曝气控制系统会连续检测曝气量,及时检测系统中压力的微小变化,控制系统及时进行调整。因此,建立基于生物反应动力学的数学模型,预测不同进水负荷条件下生物处理系统包括需气量在内的状态参数。并通过对示范污水厂的历史运行数据或在线运行数据进行分析处理,确定该污水厂生物处理过程的特征参数和补偿参数。采用仿真和试验的方法,检验这些特征参数的有效性。最后,在综合的环境因素(温度、pH 值、MLSS)条件下,经试验确定示范污水厂的水平衡(包含污水负荷)、泥(底物)平衡、气(曝气)平衡过程的稳态值及其扰动特征^[5]。

2.4 污泥处理单元能耗分析及对策

污泥处理单元各设备能耗分布见表 3。

表 3 污泥处理单元各设备能耗分布

Tab 3 Electrical energy consumption of different equipment in sludge treatment processes

项 目	装机功率 /kW	耗电量 / (kW·h·d ⁻¹)	占污泥处理 电耗比例 / %	占总电耗 的比例 / %
污泥浓缩机	71.28	1 711	12.65	0.84
污泥进泥泵	414.5	8 460	62.56	4.16
絮凝剂制备装置	16.8	403.2	2.98	0.20
加药泵	8.8	176	1.30	0.09
带式脱水机	24	384	2.84	0.19
冲洗水泵	44	704	5.21	0.35
无轴螺旋输送机	70.2	1 685	12.46	0.83

污泥处理单元的能耗主要集中在污泥进泥泵和污泥浓缩脱水机上,污泥进泥泵占污泥处理单元电耗的 62.56%,占总运行电耗的 4.16%,因而对于污

泥处理单元的节能重点应该在污泥进泥泵及污泥浓缩机的节能降耗上。对于进泥泵的节能,可参考进水泵的节能措施。

3 结论

调研污水处理厂中二级处理单元、预处理单元、污泥处理单元占总能耗的比例分别为 68.96%、20.52%、6.66%,节能潜力较大。其中,鼓风机、进水泵与污泥进泥泵为各单元中节能潜力最大的设备,污水厂的节能应该从上述单元与设备中挖掘并进行优化配置,在综合考虑设计、运行维护费用、投资费用的的基础上实现节能。

参考文献:

[1] 黄浩华,张杰,文湘华,等. 城市污水处理厂 A²/O 工艺的节能降耗途径研究 [J]. 环境工程学报, 2009, 3 (1): 35- 38

[2] 徐晓宇,李春光. 污水处理厂运行的节能降耗技术进展 [J]. 给水排水, 2009, 35(12): 47- 50

[3] Kaya D, Yagnur E A, Yigit K S *et al*. Energy efficiency in pumps [J]. Energy Convers Manage, 2008, 49(6): 1662- 1673

[4] 段立文,黄志雄. 浅析污水处理厂风机选型 [J]. 环境技术, 2005, 23(1): 46- 48

[5] 李建勇,王建华,范岳峰,等. 曝气流量控制系统用于污水处理厂的节能降耗 [J]. 中国给水排水, 2007, 23 (12): 80- 84

E-mail amyang@ sina. com
收稿日期: 2010- 03- 18

提高水源利用效率
减少生态环境污染
促进持续稳定发展