

城市污水处理厂鼓风机房节能潜力分析

杨 敏¹ 孙永利¹ 郑兴灿¹ 李鹏峰¹ 韦启信² 隋克俭¹

(1 国家城市给水排水工程技术研究中心, 天津 300074; 2 河海大学环境学院, 南京 210098)

摘要 在城市污水处理厂能耗结构中, 鼓风机房权重约为 50%, 并且由于技术和管理水平的限制, 鼓风机房存在着严重的电能浪费问题。以某采用改良 A²/O 工艺的城市污水处理厂工程为例, 通过鼓风机房单位水量电耗与生物系统单位水量需氧量的比较, 对 2009 年 12 个月鼓风机房的节能潜力进行了分析。结果表明, 鼓风机房单位水量电耗和好氧池需氧量随月份的变化趋势并不一致, 其年均节能潜力为 62%; 仅通过鼓风机房的节能, 污水处理厂的年均节能潜力就能达到 27.2%, 污水处理单耗就能由 0.219 kW·h/m³ 降低到 0.159 kW·h/m³, 可节约运行费用 110.885 8 万元/a。

关键词 污水处理厂 鼓风机房 节能潜力 单位水量电耗 单位水量需氧量

Energy-saving potential analysis for the air blower room of the urban wastewater treatment plant

Yang Min¹, Sun Yongli¹, Zheng Xingcan¹, Li Pengfeng¹, Wei Qixin², Sui Kejian¹

(1. National Engineering Research Center for Urban Water and Wastewater, Tianjin 300074, China; 2. Environmental College of Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In energy consumption structure of the urban wastewater treatment plant, the air blower room with a rough ratio of 50%. The problem of serious electricity waste exists in the air blower room because of restriction of technology and management level. Taking some urban wastewater treatment plant with modified A²/O process as an example, energy-saving potential of the air blower room in the year of 2009 was analyzed by comparing electricity consumption for a ton of wastewater of air blower room with oxygen demand for a ton of wastewater of biological system. The results showed that: the variation trend with months of electricity consumption for a ton of wastewater of air blower room and oxygen demand for a ton of wastewater of biological system was inconsistent, and the air blower room energy-saving potential was 62% on average in a year; only by energy-saving of the air blower room, average energy-saving potential of the wastewater treatment plant could come to 27.2% in a year, electricity consumption for treating a ton of wastewater could be reduced from the original 0.219 kW·h/m³ to 0.159 kW·h/m³, and at the same time 110.885 8 million CNY of operation cost can be saved in a year.

Keywords: Wastewater treatment plant; Air blower room; Energy-saving potential; Electricity consumption for a ton of wastewater; Oxygen demand for a ton of wastewater

0 引言

城市污水处理是高能耗行业之一, 由于技术和管理水平的限制, 我国城市污水处理行业普遍存在

国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2009AA063802)。

着严重的电能浪费问题, 单位污水的处理电耗较高。据统计, 2006 年我国 559 座城镇污水处理厂的平均单位电耗为 0.29 kW·h/m³^[1], 明显高于 1999 年美国污水处理厂的 0.2 kW·h/m³^[2]。污水处理厂的电耗节点主要包括提升泵房、鼓风机房、推进及搅拌



设备和内外回流泵,其中的鼓风机房是主要的电耗节点,其电耗一般约为污水处理厂总电耗的50%^[3~5]。再者,一直以来我国城市污水处理厂鼓风机房的运行方式比较粗放,并未根据进水水质水量的变化而对鼓风机的供气量进行实时的精确调整,从而导致鼓风机房可能存在着一定的电能浪费。目前国内的相关研究主要是基于精确曝气技术的鼓风机房节能的研究^[5~9],而基于鼓风机房单位水量电耗和生物池需氧量比较的鼓风机房节能潜力分析的研究很少。

因此,本文结合某采用改良A²/O工艺的城市污水处理厂的三期工程实例,通过鼓风机房实际单位水量电耗和好氧池理论单位水量需氧量的比较,对其鼓风机房的节能潜力进行分析,以期为我国城市污水处理厂的运行管理和节能降耗提供理论基础和参数支持。

1 某城市污水处理厂三期工程概况

某城市污水处理厂位于太湖流域,出水执行《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/71072—2007)的要求,于2008年9月完成了三期工程的提标改造,改造后运行两年多来,出水水质良好,能稳定达到要求。三期工程处理规模为10万m³/d,分为4组,每组的处理水量为2.5万m³/d,现有处理工艺为改良A²/O工艺,工艺流程见图1。

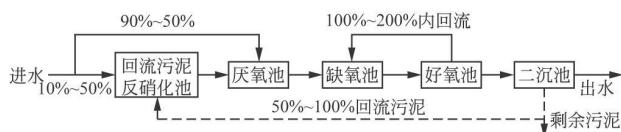


图1 改良A²/O工艺流程

其中的好氧池投加悬浮填料,以强化低温季节系统硝化效果,好氧池沿程分为非填料好氧段、填料好氧段和非填料好氧段,其体积比为1:2:1,填料填充率为50%。好氧池的总需氧量由鼓风机房4台相同的多级低速离心鼓风机提供,其中3用1备,功率为250 kW,风压为7 mH₂O,鼓风机的风量通过入风口处的自动蝶阀调节。

2 鼓风机房单位水量电耗及好氧池单位水量需氧量

2.1 鼓风机房的单位水量电耗

根据2009年1~12月鼓风机房的电耗进行了分析,结果见表1。

表1 2009年1~12月鼓风机房电耗分析

月份	月均耗电量 /kW·h/d	月均进水量 /m ³ /d	单位水量电耗 /kW·h/m ³
1	8 263	64 512	0.128
2	9 550	81 219	0.118
3	10 931	86 656	0.126
4	11 050	87 994	0.126
5	10 937	90 937	0.120
6	11 039	97 667	0.113
7	9 000	99 998	0.090
8	7 439	97 343	0.076
9	6 841	83 739	0.082
10	6 425	76 558	0.084
11	4 170	87 994	0.047
12	3 314	82 794	0.040

2.2 好氧池的单位水量需氧量

生物段的相关进、出水水质是计算好氧池单位水量需氧量的基础。因此,对2009年1~12月生物段的相关进出水水质进行了统计,结果见表2。

好氧池的需氧量是有机物生物氧化和氨氮硝化所需的氧气量之和,其计算公式^[10]如下:

$$\text{需氧量} = \text{去除含碳污染物的需氧量} - \text{反硝化回收的氧量} - \text{剩余污泥氧当量} + \text{硝化需氧量} \quad (1)$$

$$\text{去除含碳污染物的需氧量} = Q(\text{COD}_{\text{进}} - \text{COD}_{\text{出}}) \quad (2)$$

$$\text{反硝化回收的氧量} = 2.86Q[(\text{TN}_{\text{进}} - \text{TN}_{\text{出}}) -$$

$$10\% Y_{\text{H}}(\text{BOD}_{5\text{进}} - \text{BOD}_{5\text{出}})] \quad (3)$$

$$\text{剩余污泥氧当量} = 1.42Qf Y_{\text{H}}(\text{BOD}_{5\text{进}} - \text{BOD}_{5\text{出}}) \quad (4)$$

$$\text{硝化需氧量} = 4.57Q(\text{TKN}_{\text{进}} - \text{NH}_3-\text{N}_{\text{出}}) \quad (5)$$

式中 Q ——进水流量, m³/d;

Y_{H} ——污泥产率系数, kgSS/kgBOD₅;

f ——污泥活性, 即MLVSS/MLSS。

假定 Y_{H} 为0.5 kgSS/kgBOD₅, f 为0.5, BOD₅出为10 mg/L, TKN_进=TN_进, 根据式(1)~(5)对2009年1~12月好氧池的单位水量需氧量进行了计算,

表 2 2009 年 1~12 月生物段相关进、出水水质

月份	进水 CODCr / mg/L	出水 CODCr / mg/L	进水 BOD5 / mg/L	进水 TN / mg/L	出水 TN / mg/L	出水 NH3-N / mg/L
1	219	39	134	48	17	3.5
2	239	35	154	48	16	3.2
3	277	35	166	52	14	1.6
4	305	32	185	54	12	0.8
5	311	27	172	53	14	0.3
6	219	26	129	43	14	0.4
7	153	28	108	31	12	0.5
8	141	25	76	29	11	0.4
9	171	27	105	40	13	0.4
10	203	26	109	44	17	0.4
11	199	25	104	40	15	1.1
12	248	33	125	45	16	1.5

表 3 2009 年 1~12 月好氧月均单位水量需氧量

月份	单位水量需氧量 / g/m³	月份	单位水量需氧量 / g/m³
1	268	7	189
2	287	8	181
3	331	9	228
4	359	10	278
5	379	11	260
6	280	12	306

结果见表 3。

3 鼓风机房的节能潜力分析

对 2009 年 1~12 月鼓风机房的单位水量电耗与好氧池的单位水量需氧量进行了对比, 结果见图 2。

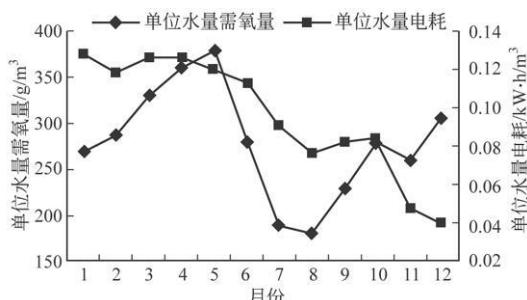


图 2 单位水量电耗与需氧量对比

由图 2 可见, 单位水量电耗与单位水量需氧量随时间的变化趋势并不一致, 单位水量需氧量的最低点出现在 8 月, 而单位水量电耗的最低点却出现在 12 月, 另外, 因三期工程 2009 年全年的出水水质都是达标的, 这说明虽然 12 月的单位水量电耗最低, 但是 12 月鼓风机房的供气量也是能满足好氧池对氧气的需求量的, 因此单位水量需氧量小于 12 月单位水量需氧量的月份都明显存在着一定的曝气过量现象, 从而导致相应月份鼓风机房能耗节点的电能浪费, 而单位水量需氧量高于 12 月单位水量需氧量的月份也可能存在着一定的曝气过量现象。

一般来说, 鼓风机的输入功率计算公式^[11]为:

$$N = Q P_t / \eta \quad (6)$$

式中 N ——轴功率, kW;

Q ——风量, m^3/s ;

P_t ——风压, Pa;

η ——效率。

在风压和效率一定的条件下, 功率和风量是成正比的。对该城市污水处理厂三期工程的鼓风机房来说, 由于其鼓风机风量的调整不是通过调节风压的方式, 而是通过调节入风口处的自动蝶阀的方式, 并且鼓风机始终都在较高的效率下运行, 所以可以认为风机的风压和效率都是相对固定的, 从而风机的电耗和风量是成正比的。

因此, 以 2009 年 12 月为基准, 对 2009 年 1~12 月鼓风机房的节能潜力进行分析, 结果见表 4, 其中 $0.04 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 为 12 月的单位水量电耗, $306 \text{ g}/\text{m}^3$ 为 12 月的单位水量需氧量。

由表 4 可见, 2009 年 1~11 月鼓风机房存在着较大的节能空间, 其中 11 月鼓风机房的节能潜力最小, 为 27.7%, 1 月鼓风机房的节能潜力最大, 为 72.6%, 计算可得 2009 年 1~12 月鼓风机房的年平均节能潜力为 62%。

一般来说, 在城市污水处理厂的能耗结构中, 鼓风机房能耗节点的权重约为 50%。有研究^[4]表明, 北京某污水处理厂 2006 年的电耗结构中, 鼓风机房的电耗权重为 43%~48%。对于该城市污水处理厂三期工程来说, 2009 年的年均单位水量电耗为 $0.219 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$, 鼓风机房的年均单位水量电

表 4 2009年 1~12月鼓风机房的节能潜力分析

月份	单位水量需氧量 / 306	0.04 × (单位水量需氧量 / 306) / kW · h / m³	节能量 / kW · h / m³	节能潜力 / %
1	0.88	0.035	0.093	72.6
2	0.94	0.038	0.08	68.2
3	1.08	0.043	0.083	65.7
4	1.17	0.047	0.079	62.8
5	1.24	0.05	0.07	58.7
6	0.92	0.037	0.076	67.6
7	0.62	0.025	0.065	72.5
8	0.59	0.024	0.052	68.9
9	0.75	0.03	0.052	63.7
10	0.91	0.036	0.048	56.7
11	0.85	0.034	0.013	27.7
12	1	0.04	0	0

耗为 $0.096 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{m}^3$, 其年均权重为 43.8%。所以在仅考虑通过鼓风机房能耗节点节能的条件下, 该工程的节能潜力就能达到 27.2%, 污水处理单耗可由目前的 $0.219 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{m}^3$ 降低到 $0.159 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{m}^3$, 从而节省电能 $2174.232 \text{ kW} \cdot \text{h/a}$, 按单价 0.51 元/(kW · h) 将其折算成电费则为 110.8858 万元/a, 经济效益显著。可见, 该城市污水处理厂三期工程鼓风机房具有较大的节能潜力, 如果应用精确曝气技术和提高运行管理水平, 既能实现节能降耗, 又能取得良好的经济效益。

4 结论与建议

(1) 通过鼓风机房的单位水量电耗与好氧池需氧量的比较发现, 鼓风机房的单位水量电耗和好氧池的单位水量需氧量随时间的变化趋势并不一致, 鼓风机房能耗节点存在着一定的节能潜力。

(2) 鼓风机房节能潜力分析表明, 鼓风机房的年均节能潜力为 62%, 仅通过鼓风机房能耗节点的节能, 污水处理厂的节能潜力就达到 27.2%, 污水处理单耗就能由原来的 $0.219 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{m}^3$ 降低到 $0.159 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{m}^3$, 从而节省电能 $2174.232 \text{ kW} \cdot \text{h/a}$, 折合为电费则为 110.8858 万元/a。

(3) 建议我国城市污水处理厂能尽快应用精确

曝气新技术, 使生物池需氧量和鼓风机房供气量基本一致, 从而实现鼓风机房节能和运行成本降低的目标。

参考文献

- 1 杨凌波, 曾思育, 鞠宇平, 等. 我国城市污水处理厂能耗规律的统计分析与定量识别. 给水排水, 2008, 34(10): 42~54
- 2 孟德良, 刘建广. 污水处理厂的能耗与能量的回收利用. 给水排水, 2002, 28(4): 18~20
- 3 张辰, 李春光. 浅谈城市污水处理厂的技术改造. 中国给水排水, 2004, 20(4): 20~23
- 4 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. 环境工程学报, 2009, 3(1): 35~38
- 5 马勇, 彭永臻, 王淑莹. 缺氧-好氧生物脱氮工艺曝气量在线控制策略分析. 环境科学, 2008, 29(9): 2501~2506
- 6 赵冬泉, 佟庆远, 李宁, 等. 基于节能的鼓风曝气系统溶解氧稳定智能控制方法. 给水排水, 2008, 34(7): 116~119
- 7 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. 中国给水排水, 2007, 23(12): 80~84
- 8 夏文辉, 刘芬, 周霞. 污水处理厂曝气控制研究. 给水排水, 2009, 35(1): 121~125
- 9 李金国, 焦建文, 刘杰, 等. 扬州六圩污水厂的工艺改进及优化控制设计. 中国给水排水, 2009, 25(22): 25~30
- 10 上海市政工程设计研究总院. GB 50014—2006 室外排水设计规范. 北京: 中国计划出版社, 2006
- 11 龙天渝. 流体力学. 重庆: 重庆大学出版社, 2007

& 通讯处: 300074 天津河西区气象台路 99 号

E-mail: 707180297@99.com

收稿日期: 2010-12-08

修回日期: 2011-03-30

德州市第三水厂应急供水管道工程

山东省德州市第三水厂应急供水管道工程全长 5.5 km, 以恒升供水管道岔河第二切换站为起点, 穿岔河大堤, 经岔河滩地引入三水厂水库。整个工程将引 2 根直径 0.8 m 的管道, 沿岔河右岸滩地至三水厂。管道末端设切换站一处, 通过管道之间切换, 应急情况下可以向三水厂供水, 供水规模为 5 万~10 万 m^3 / d 。整条管道沿途穿越京沪铁路, 南外环大桥、于官屯大桥、新河路大桥 3 座公路桥, 岔河大堤和滩地, 电厂管道, 热力管道, 国防光缆等。工程总投资 3500 万元。