

节能降耗

曝气流量控制系统用于污水处理厂的节能降耗

李建勇¹, 王建华², 范岳峰³, 周一军⁴

(1. 上海市城市排水市北运营公司, 上海 200331; 2. 上海桃浦工业区污水处理厂, 上海 200070; 3. 上海昊沧系统控制技术有限公司, 上海 200030; 4. 上海工业自动化仪表研究所, 上海 200235)

摘 要: 曝气流量控制系统(AVS)由生物处理过程建模模块、曝气流量配气模块和曝气流量控制模块三部分组成,以曝气流量为控制目标,实现对 DO 的控制。根据 AVS 在上海桃浦工业区污水处理厂的实际应用情况,认为采用 AVS 后基本实现了对 DO 的稳定控制,实现了节能曝气,以较低的曝气量满足工艺的要求。

关键词: 污水处理; 曝气; 优化控制; 节能降耗

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2007)12-0080-05

Application of Aeration Volume Control System to Energy-saving and Consumption-reducing in WWTP

LI Jian-yong¹, WANG Jian-hua², FAN Yue-feng³, ZHOU Yi-jun⁴

(1. Shanghai Northern Municipal Drainage Co. Ltd., Shanghai 200331, China; 2. Shanghai Taopu Industry District Wastewater Treatment Plant, Shanghai 200070, China; 3. Shanghai HC system Co. Ltd., Shanghai 200030, China; 4. Shanghai Institute of Process Automation Instrumentation, Shanghai 200235, China)

Abstract: The aeration volume control system consists of modules of biological treatment process modeling, aeration volume distributing and aeration volume controlling. This system aims at the control of aeration volume to realize the control of DO. Based on the practical operation of the aeration volume control system in Shanghai Taopu Wastewater Treatment Plant, it is considered that the stable control of DO has been basically realized, the energy-saving aeration has been reached, and the process requirement has been met using low aeration volume.

Key words: wastewater treatment; aeration; optimal control; energy-saving and consumption-reducing

1 污水厂概况

上海市桃浦工业区主要生产涂料、染料、橡胶、香料、油墨、色素等多种精细化工产品,其生活污水和工业废水经管道输送至区内污水处理厂(简称桃浦厂)进行处理,出水经祁连山路泵站输送至西干线,再经过石洞口污水厂处理后排入长江。

桃浦厂的处理流程如图 1 所示。近期处理规模

为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中工业废水约占 80%,生活污水约占 20%。

污水厂进、出水水质见表 1。

对桃浦厂历年的运行成本数据分析后发现,运行成本主要由动力费用、管理费用、维修费用、大修改造费用、人工费用等组成,其中动力费用占 45% 左右,而生物曝气所消耗的费用约占动力费的

35%。

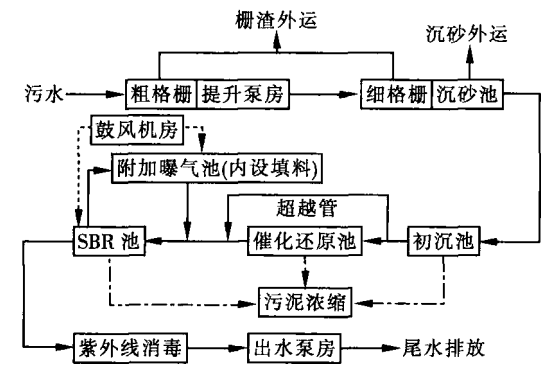


图 1 桃浦厂污水处理流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process of Taopu WWTP

表 1 进、出水水质及执行标准

Tab. 1 Influent and effluent quality and applicable regulations					
项目	pH	COD/ (mg · L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	SS/ (mg · L ⁻¹)	NH ₃ - N/ (mg · L ⁻¹)
设计进 水水质	6 ~ 9	800	350	100	
处理 标准	6 ~ 9	200	30	30	25 (30)
实际进 水水质	7.0 ~ 8.0	500 ~ 800	200 ~ 300	100 ~ 200	30
实际出 水水质	6.5 ~ 7.5	60 ~ 100	15 ~ 30	25 ~ 30	

曝气控制系统的优劣,对污水处理中有机物及氮的去除和运行成本将产生直接影响。优化系统模式,合理经济的控制与调节,可以作为系统优化和节能的切入点,成为降低运行费用的有效方法和途径。

2 试验装置与原理

曝气流量控制系统(AVS)的控制目标是:以节能为目标,按需供气,降低污水厂单位处理成本;稳定活性污泥的生物处理环境,提高活性污泥处理效率;稳定出水指标,抵御瞬时进水负荷冲击带来的排放压力;实现智能化操作,降低工作人员的劳动强度。

2.1 试验装置

曝气流量控制系统是一个集成系统,它由系统控制单元、带执行机构的曝气流量调节阀、热式气体流量计、压力变送器和液位计等组成。系统功能上由生物处理过程模型模块、曝气流量配气模块和曝气流量控制模块三部分组成。

该系统以曝气流量信号作为控制信号,以 DO 和进水 COD、BOD₅、氨氮信号作为辅助控制信号,经过生物处理过程建模模块和历史数据综合处理,得出系统需要的曝气量;同时根据实际的输气管道分布负载大小,经曝气流量配气模块处理,提供给鼓风机组控制系统目标供气量,使鼓风机组处于所要求的工况来供气,系统可根据实际负载状况自行调整溶解氧设定值的大小;曝气流量控制模块采用基本的就地控制回路,由电动流量调节阀、热式气体流量计和模型给定的瞬时设定流量组成回路,可快速、准确地根据实际的负荷波动调节空气供给量,从而减少生物反应池中 DO 值的波动,达到曝气的控制目标。

系统中曝气流量配气模块对流量调节性能和空气压力损失的关系进行了平衡。电动流量调节阀在全开的情況下压力损失比较小,但随着开度的减小压力损失会逐步上升。出于优化运行和节能的考虑,需要尽量使电动流量调节阀在大开度工况下工作,减少因压力损失造成的能源损耗,寻找最优阀门开度组合(最小的压力损失),并在此条件下给出鼓风机允许的最小输出压力。曝气控制系统的整体流量控制精度达 5%,振荡小。在生物反应池的空气总管处安装压力变送器,为检测管道漏损、阀门泄漏、曝气头堵塞等异常现象提供了分析工具。

曝气流量控制系统提供本地自动控制、人工强制控制和安全模式三种控制方式,并提供通讯接口,支持数据远传。本地自动控制是推荐控制方式,在污水处理工艺正常运行和曝气流量控制系统的热式气体流量计、溶氧仪、压力传感器工作正常情况下,具有最大的节气效能;人工强制控制用于污水处理工艺处于非正常运行条件时,例如污水负荷突然大幅度改变、污水中含有毒物质、生化反应池处于异常状态等,允许人工直接操作;安全模式是一种大余度的自动控制方式,用于污水处理工艺经常处于大扰动条件下,比如进水负荷较大范围地经常性变动、进入生化反应池的水量有较大的变化等,大余度控制的本质是提高系统抵抗大扰动的能力,提高安全运行系数。

2.2 控制原理

为了对曝气池的 DO 环境进行较为精确的控制,要对 DO 的动态平衡有充分的认识,其包含两个过程:一是氧扩散过程,在鼓风曝气系统中主要体现

为空气从曝气池底部的曝气头释放后,空气中的氧气从气相向液相转移。二是氧消耗过程,该过程综合了好氧处理过程的各个环节,包括有机碳去除、生物脱氮、生物除磷等,DO 的消耗是上述过程综合作用的结果^[1]。由于污水厂的进水水质和水量是变化的,在特定的时间段内其耗氧量也是变化的,只有使该时段内的供氧量和耗氧量平衡,才能保证处理环境的稳定,保证出水水质。

曝气流量控制过程包括两个主要部分:一是模型的设计过程,即通过对特定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一些特征参数和补偿参数。再通过仿真,检验这些特征参数的有效性。通过这个过程,基本可以获得污水厂的水平衡(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。同时需要考虑一些额外的环境因素:温度、pH 值、MLSS 组分等^[2]。二是在线控制过程,即通过建模过程中获得的特征参数和补偿参数,经模型计算得出当前需要的曝气量,按照该曝气量进行精确控制。在控制中需要 3 种类型的数据:对历史数据进行分析后获得的特征参数、由各种扰动带来的补偿参数,比如冬季和夏季温度的不同造成氧消耗特征明显不同,底物浓度的变化也会对氧消耗带来很大影响。在线数据又分为前置数据以及目标数据,前置数据是对一些可能造成扰动的输入进行提前测量,比如水量、水质、pH 值变化等,当曝气流量控制系统获得这些在线数据后会提前进行反操作,而不是等到 DO 发生变化后再进行调节;目标数据是 DO,系统会对 DO 值进行跟踪以确定控制效果。需要指出的是,曝气流量控制系统并非严格依赖 DO 进行控制,即使在 DO 仪损坏的情况下,按照模型中的历史数据及某些前置数据,仍然可以确保曝气池安全运行,只不过加大抵抗扰动的安全控制余度。

当进水水质、水量不变时,其他环境因素在短时间内可以认为是不变的,则曝气池需要的曝气量也是稳定的,此时曝气流量控制系统的控制方式是通过调节流量(调节阀门的开度)使曝气流量稳定。

当进水水质、水量突然增加时,曝气流量控制系统提前根据其增加的数量,使设定流量相应增加,提前克服水质、水量突然增加造成的 DO 降低。

夏季由于环境温度升高,生物活性大大加强,曝

气流量控制系统根据环境温度重新设定曝气量,使 DO 稳定。

当底物(污泥量)含量增加时,导致生物量增加,在均衡情况下会导致 DO 的下降,曝气流量控制系统根据底物含量的变化调高曝气量,使 DO 稳定。在这里需要指出的是,在线 MLSS 仪的读数通常不宜直接用于污泥回流的调节,因为 MLSS 的组分在某些情况下非常不稳定,比如雨污合流的污水厂,降雨时会带来大量的无机固体悬浮物。

当曝气头工况变差时,其氧扩散特性发生变化,需要通过加大曝气量来维持 DO 的平衡。曝气流量控制系统的设计过程会标定特定曝气池的氧扩散参数,可以根据实际情况在一定的时间间隔后标定。

2.3 控制回路

降低 DO 设定值的必要条件是能够稳定地控制 DO 值,如果无法控制 DO 的波动,则无法降低 DO 设定值,因为唯恐系统余度不够。曝气流量控制系统的控制回路如图 2 所示。

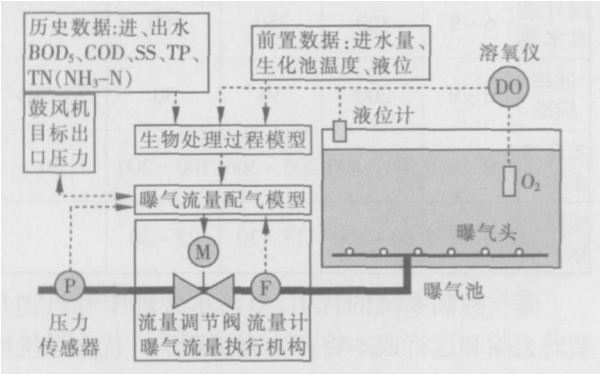


图 2 控制原理图
Fig. 2 Control diagram

3 试验方法

桃浦厂共有 3 组生化处理单元,每组分为 4 个槽,其中 2[#]、3[#]槽为常曝气区,1[#]、4[#]槽为轮换曝气区。本次试验确定以第 2 组作为试验池,以第 3 组作为对比池,处理量均为 2 × 10⁴ m³/d。试验池采用曝气流量控制系统进行控制,对比池沿用以前的控制模式,两组池子均独立计量常曝气区的曝气流量。

在试验池常曝气总管上安装一个 DN600 的流量调节阀,同时安装热式气体流量计和压力变送器。在对比池常曝气总管上安装热式气体流量计,试验池的安装布局如图 3 所示。

试验分 3 个阶段,第一阶段是建立模型,确定桃浦厂生化处理的特征参数;第二阶段是根据第一步

确定的模型进行调试, 根据现场数据对模型进行修正; 第三阶段为试运行, 用以验证控制的结果。

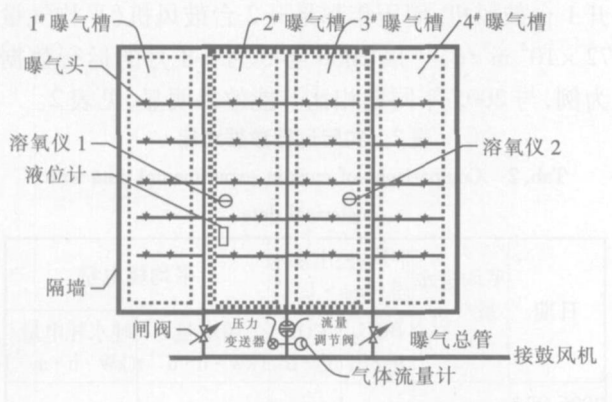


图 3 试验池的安装布局图

Fig. 3 Configuration of testing unit

历史数据沿用了桃浦厂历年的运行数据、化验室数据。

在线数据共采集了包括分析仪表信号、工艺信号等试验需要的 30 个在线数据, 以每 5 s 记录一次的方式, 将所有数据计入数据库, 每日记录的数据量约为 15 M。在线控制的数据采样率为 10 次/s, 以 PLC 的采样周期为准。

试验目的: ①在同等工况条件下, 确定试验池所需要的真实曝气量, 与对比池进行比较。②通过对曝气量的调节, 验证调节曝气池内 DO 值的方法, 降低 DO 的波动, 稳定生化环境。③确定采用曝气流量控制系统后的节气量, 为将来的节能改造进行技术储备。④检验采用曝气流量控制系统控制后的总出水情况, 确保出水水质达到排放标准。

4 试验过程

试验设备的安装从 2005 年 9 月 10 日开始, 于 11 月 29 日进行调试, 试运行自 2006 年 1 月开始。

4.1 建立模型

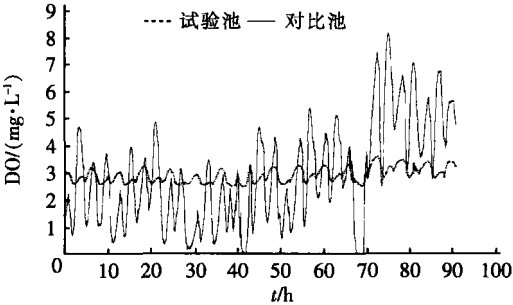
对桃浦厂历年的运行数据进行分析, 包括环境数据(季节因素、温度、大气压、水温、pH 值、曝气池体积等)和动力学数据(历史曝气量和进、出水流量, 进、出水 DO, 池中 DO 及其分布特征, MLSS, 进、出水 BOD₅、COD、SS、TN、TP 等)。结合运行中的工艺参数, 对上述数据进行统计分析, 可获得桃浦厂的模型基本构型及特征参数的取值范围。

4.2 调试与试运行

为了便于比较, 在调试前对试验池和对比池的曝气量以及 DO 进行了记录, 在线仪表于 2005 年 12

月 13 日—16 日以每秒采样一次的频率记录了近 50 h 的运行数据, 表明在曝气流量控制系统调试运行以前, 试验池和对比池的 DO 控制情况相似。

在调试中发现桃浦厂工艺交替时, 由于污泥流向发生变化对 DO 有很大的冲击, 这是由该工艺的特殊性所造成的。针对这种情况, 对模型进行了进一步修正, 使其能够提前抵御工艺交替带来的影响。



注: 数值来自桃浦厂 2006 年 4 月 5 日—9 日运行数据。

图 4 试验池和对比池在线 DO 值(调试后)

Fig. 4 On-line DO in testing unit and comparison unit (after debugging)

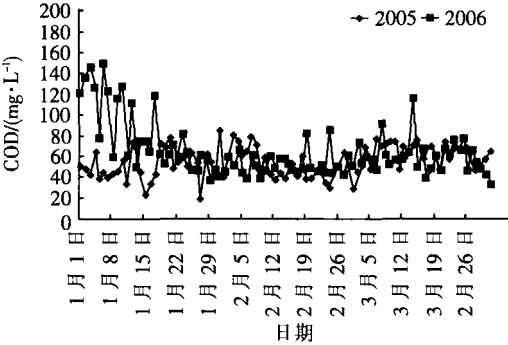


图 5 2006 年和 2005 年同期出水 COD 的比较

Fig. 5 Comparison of effluent COD in the first season of 2005 and 2006

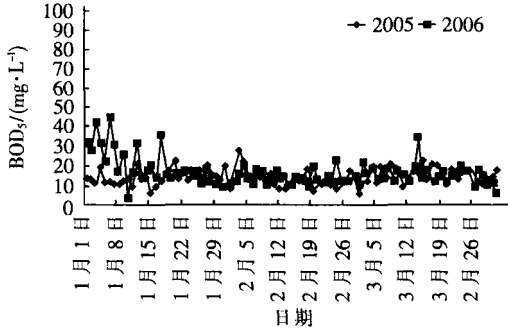


图 6 2006 年和 2005 年同期出水 BOD₅ 的比较

Fig. 6 Comparison of effluent BOD₅ in the first season of 2005 and 2006

在试运行期间, 经模型调节后试验池的曝气量

明显低于对比池,连续记录了 1 个月的曝气流量数据,发现试验池较对比池节约曝气量约 30.51%,而且试验池的 DO 控制效果也明显优于对比池。试验池在调试结束时已经能够比较稳定地控制 DO 的波动(见图 4),检测同期的出水水质也无明显变化(见图 5、6)。

5 不足之处及改进方法

① 桃浦厂的鼓风机为多级离心鼓风机,由于流量不可调节,所以无法实现在一个连续的范围内通过调节鼓风机实现曝气流量的连续可调。由于存在这样的限制,本次试验的节能效果存在一定的偶然性,并非每个污水厂对流量控制的结果都可以表现为对鼓风机整数性的调节。改进的方法是改造鼓风机,使其可以在一定范围内连续调节流量,从而真正地实现按需供气。

② 试运行的流量调节对象是 SBR 常曝气区的气量,未考虑两侧的间歇曝气流量调节,由于两侧曝气池气量不可控,导致了 DO 波动偏大。改进的方法是扩大调节的范围,将两侧曝气池的曝气流量纳入控制范围,从而减少两侧间歇曝气时对 DO 的影响。

③ 由于只对一组生物处理单元进行了部分控制,而流量不可调,多余的气量便分配到其余 2 个处理单元中,导致另外 2 组处理单元的曝气量过大,出现了污泥过度氧化现象。在试运行中是通过打开另外 2 组处理单元的泄气阀减少气量。改进的方法是将控制扩展到所有 3 组生物处理单元,实现最大程度的节气节能。

6 试验结果及分析

采用曝气流量控制系统以后,经过近 6 个月的试运行基本达到了预期的效果,具体如下:

① 基本实现了 DO 的稳定控制。在任意给定的 DO 设定值(试验中取 2.2、2.5、2.8、3.0 mg/L)下,32% 的时间内实现了 ± 0.2 mg/L 范围内的波动,在 67% 的时间内实现了在 ± 0.5 mg/L 范围内的波动。发生超出控制范围的情况几乎全都出现在 SBR 池的工艺轮换后 6~8 min 内,特别是沉淀池变为进水池时,由于底部污泥迅速搅拌,DO 下降迅速。

② 实现了节能曝气,以较低的曝气量满足工

艺上的要求。在实际运行中发现曝气量过大,建议桃浦厂少开 1 台鼓风机。自 2006 年 2 月起,试行只开 1 台鼓风机,而历年都是开 2 台鼓风机(平均气量 $72 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)。以 2006 年 3 月—8 月的运行数据为例,与 2005 年同期相比节能效果明显,见表 2。

表 2 实际运行数据对比

Tab. 2 Comparisons of current experimental data with historical data

日期	平均进水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	平均进、出水水质/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)		平均耗电量	
		BOD ₅ 进/出	COD 进/出	用电量/ ($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{d}^{-1}$)	吨水耗电量/ ($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$)
2006 年 3 月—8 月	56 296	191/14	445/52	12 307	0.25
2005 年 3 月—8 月	56 640	213/17	495/65	23 653	0.38

③ 由曝气流量控制系统进行控制的 2[#]生物处理单元在整个试运行期间表现出良好的运行状态,生物系统好氧段的过氧和缺氧情况大为改观,供氧和耗氧速率趋于平衡,系统对空气量的需求能稳定在一定范围并有较大幅度的降低,削峰填谷效果显著,DO 能较为稳定地控制在工艺允许的范围,氧的利用率和系统的耐冲击性都有所提高,动力费用有较大幅度的降低。

曝气流量控制系统为新厂建设和老厂节能改造提供了较为便捷的手段和途径,同时为污水处理工艺的多参数调节、控制寻找到一种理想工具和操作平台。

参考文献:

[1] 张统,方小军,张志仁. SBR 及其变法污水处理与回用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2003.

[2] Gustaf Olsson, Bob Newwll. 污水处理系统的建模、诊断和控制[M]. 高景峰等译. 北京:化学工业出版社,2005.

电话:(021)64398232
E-mail:jooh@vip.sina.com
通讯地址:200030 上海市凯旋路 2588 号 1005 室 上海
昊沧系统控制技术有限责任公司 范岳峰
收稿日期:2007-03-02