

三沟式氧化沟曝气系统节能优化模拟

杨 跃^{1,2}, 张金松^{1,3}, 刘礼祥³, 徐子明¹

(1. 哈尔滨工业大学 深圳研究生院, 518055 广东 深圳, yangyueww@126.com; 2. 深圳市能源环保有限公司, 518052 广东 深圳;
3. 深圳市水务(集团)有限公司, 518030 广东 深圳)

摘 要: 以降曝气系统运行能耗为目的, 通过数学模拟方法提出三沟式氧化沟工艺曝气系统优化运行方案, 即正常运行工况下将中沟转刷开启台数由 5 台降至 4 台; 当水量增幅超过 25% 或污染物质量浓度增幅超过 50% 时增开曝气转刷至 5 台; 当水量负荷低于正常工况时, 将转刷开启台数降低至 3 台. 按照此方案运行 2 个月, 该污水厂不仅出水水质达标, 而且降低了污水处理能耗.

关键词: 三沟式氧化沟工艺; 曝气转刷; 模拟; 节能

中图分类号: X703

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2011)08-0076-04

Optimization simulation of aeration mode in a triple oxidation ditch wastewater treatment process

YANG Yue^{1,2}, ZHANG Jin-song^{1,3}, LIU Li-xiang³, XU Zi-ming¹

(1. Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School, 518055 Shenzhen, Guangdong, China, yangyueww@126.com;
2. Shenzhen Energy Environment Engineering Co. Ltd., 518052 Shenzhen, Guangdong, China; 3. Shenzhen Water (Group) Co. Ltd., 518030 Shenzhen, Guangdong, China)

Abstract: Based on mathematical simulation method, an optimization scheme of aeration system was proposed to save energy, which reduced the number of running aeration brush from 5 to 4 in the middle ditch under the normal operation condition. When the increasing degree of inflow was over 25% or the substrate concentration above 50%, the number of running aeration brush would be increased to 5. When the inflow were lower than normal condition, the number would be decreased to 3. With implementing this scheme for two months, the water quality of effluent could always meet the first class of B standard.

Key words: triple oxidation ditch process; aeration brush; simulation; energy saving

污水处理是能源密集型的综合技术^[1], 在为减轻环境负担、削减污染物排放、改善水环境提供有力保障的同时, 也面临着能源短缺、电力供应不足的困境^[2]. 优化能耗策略, 实现节能降耗, 是污水处理事业可持续发展的必由之路. 截至 2006 年, 我国具有能耗资料的 559 座城镇污水处理厂的平均电耗为 $0.290 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ^[3], 仅相当于发达国家 20 世纪初或更早期的污水处理能耗水平, 具有一定节能空间. 而在污水处理的各个能耗环节

中, 生物处理的曝气能耗所占比例最大, 通常占总处理能耗的 50% ~ 70%^[4-5], 因此, 曝气设备节能是实现污水处理工艺节能降耗的核心环节.

本文以某城市污水处理厂的三沟式氧化沟工艺为研究对象, 采用数学模拟方法, 以某污水处理仿真软件为平台, 研究其曝气转刷的运行状态对出水水质的影响效果, 提出曝气系统节能优化方案, 并通过实际工艺进行验证.

1 三沟式氧化沟工艺特征及能耗分析

1.1 工艺分析

三沟式氧化沟工艺是一种典型的交替运行式氧化沟工艺^[6], 保留了氧化沟工艺完全混合的特

收稿日期: 2010-03-10.

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAC19B06).

作者简介: 杨 跃(1981—), 女, 博士;

张金松(1963—), 男, 教授级高工, 博士生导师.

点,同时又具有序批式工艺的特征^[7],可在不设二沉池的条件下连续运行,脱氮除磷效果好^[8]. 图 1 为某城市污水处理厂三沟式氧化沟工艺简图,单座设计日处理量为 $6.25 \times 10^4 \text{ t}$,总停留时间为 15.2 h,污泥回流比为 $(50 \sim 100) \%$. 为强化生物除磷效果,氧化沟前置厌氧池并回流活性污泥,厌氧池前增设回流污泥浓缩池,以提高回流污泥浓度,减少进入厌氧池的硝酸盐质量浓度. 厌氧池设计污泥回流比 100%,经回流污泥浓缩池后为 50%.

作为一种交替式运行的污水处理工艺,三沟式氧化沟的运行过程具有周期性时序特征. 其运行周期为 8.0 h,上、下半周期运行模式完全对称,仅水流方向相反,时间均为 4.0 h. 中沟始终作为反应池,维持好氧曝气的运行状态,两边沟则交替作为反应池和沉淀池,先后处于缺氧、好氧、预沉淀和沉淀状态,每种状态持续的时间分别为 1.5、1.5、1.0 和 4.0 h. 进水在作为反应池的边沟与中沟之间切换.

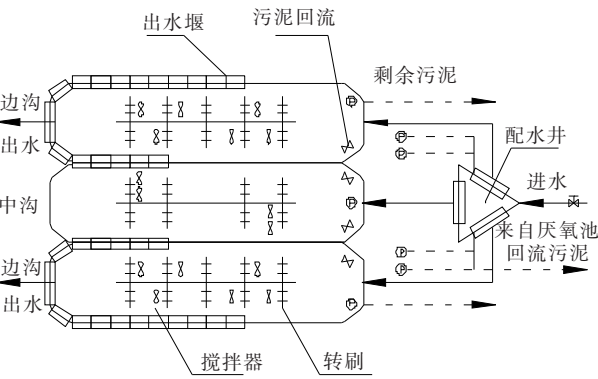


图 1 三沟式氧化沟工艺简图

1.2 能耗现状分析

为降低全厂综合处理能耗,2007 年起,该污水厂一期 A²/O 工艺采取满负荷稳定运行方式,二期三沟式氧化沟工艺则发挥水量调节作用. 由于水量波动较大,主要用电设备并未随水量变化进行相应调整,三沟式氧化沟工艺能耗相对较高,2007 年平均吨水单耗为 $0.293 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$,远高于一期 $0.187 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 的水平. 与此同时,该厂 2007 年进水水量比 2006 年有所提高,进水污染物质量浓度更是大幅提高,在二期主要耗电设备没有进行相应调整的情况下,负荷电耗仍维持在较低的水平. 上述分析表明,该厂三沟式氧化沟工艺仍具有一定的节能空间. 而氧化沟工艺的能耗中,曝气转刷能耗超过 80%,单台转刷日耗电量占氧化沟日总耗电量 5% 左右. 因此,合理控制转刷运行模式对三沟式氧化沟工艺节能降耗意义

重大. 由于边沟处于间歇曝气状态,中沟始终处于好氧曝气状态,因此,中沟转刷的调控对三沟式氧化沟节能贡献更大. 以中沟为主要研究对象,研究以节能为目标的曝气转刷运行方式.

2 反应器构建

利用三沟式氧化沟工艺时序对称性对其进行简化,仅模拟半个周期即可了解另外半周期的运行状况,进而了解整个周期的运行状况.

三沟式氧化沟工艺中 3 条沟具有不同特性,中沟主要为完全混合及推流特性. 优化前,中沟开启 5 台转刷,将中沟分割成 5 个串联的完全混合反应器(Continuous Stirred Tank Reactor,CSTR)以模拟其推流特性^[11];通过最低流速、截面积和进水量等数据设置内回流比,以模拟其完全混合特性. 作为沉淀池的边沟采用矩形理想沉淀池反应器模拟. 作为反应池的边沟主要特性为序批特性,采用序批式反应器(Sequencing Batch Reactor,SBR)进行模拟,其周期设置与三沟式氧化沟半周期时序一致. 各反应器体积均与三沟式氧化沟工艺设计值一致. 模拟流程图见图 2.

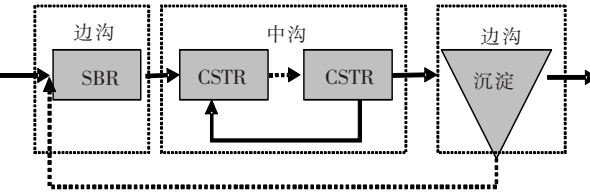


图 2 三沟式氧化沟反应器构建方式示意图

3 基于数学模拟的曝气系统节能方案

3.1 节能运行方案的提出

以活性污泥数学模型^[9-11]ASM2D 为模拟机理,以 GPS-X 软件^[12]为模拟平台搭建工艺流程图,采用龙格-库塔-费尔伯格法求解生化反应微分方程. 对各工艺参数敏感性进行分析并校正模型后,以该厂 2009 年 9~10 月实际原水水质平均值(COD 为 340 mg/L ,TN 为 31 mg/L , $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为 21 mg/L ,TP 为 4 mg/L ,pH 为 7.45)为模拟水质初值,令设计水量 $6.25 \times 10^4 \text{ t/d}$ 为 Q ,研究进水量从 $0.7Q$ 至 $1.3Q$ 的情况下,系统稳定运行 45 d 后,转刷开启台数对出水水质的影响,模拟结果平均值见图 3.

图 3 中的模拟结果显示,水量负荷不同,开启转刷台数不同,出水水质大不相同. 开启 5 台转

刷,在水量负荷增加 30% 的情况下,出水各项指标仍满足一级 B(GB18918—2002)标准要求,即 $COD \leq 60 \text{ mg/L}$, $TP \leq 1 \text{ mg/L}$, $TN \leq 20 \text{ mg/L}$, $NH_4^+ - N \leq 8 \text{ mg/L}$,因此,仍具有一定节能空间.开启 4 台转刷,在水量负荷增加 25% 的情况下,出水各项水质指标均能达标,但水量负荷增加 30% 时,出水总磷将超标.而开启 3 台转刷,当水量负荷低于设计值 Q 时,可以保证出水水质达标,但当水量负荷超过设计负荷时,由于曝气供氧能力不足,出水水质不能达标.总体来说,开启 4 台转刷可以承受一定的水量冲击负荷,使出水水质满足达标要求,且降低了曝气能耗.

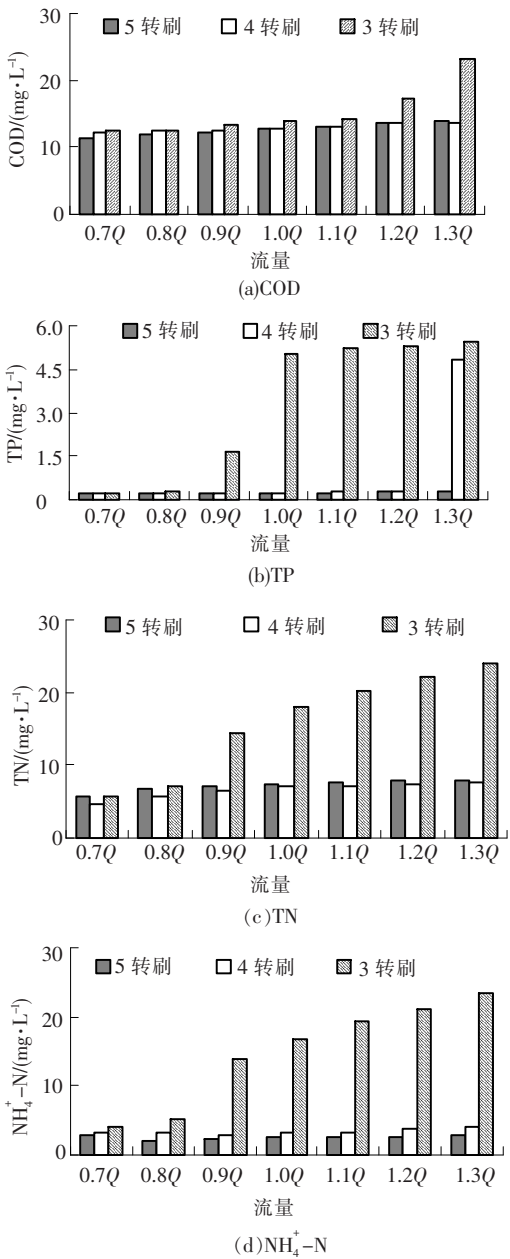


图 3 转刷开启台数对出水水质影响模拟结果

设置转刷开启数量为 4 台,在上述模拟水质初始值基础上,逐渐增加污染物质量浓度,并模拟

相应出水水质,模拟时间为 45 d,模拟结果平均值见表 1.

从表 1 中可以看出,当进水底物质量浓度增加 50% 时,出水的各项指标均能满足达标要求;当进水底物质量浓度增加 60% 时,由于曝气供氧能力不能满足硝化反应的顺利进行,出水氨氮超标.这说明 4 台转刷的曝气供氧能力可以承受一定的水质冲击负荷,当进水底物质量浓度增加时,开启 4 台转刷基本可以满足出水达标的要求.

表 1 开启 4 台转刷出水水质随进水水质变化模拟结果

进水质量浓度 增加幅度/%	出水污染物质量浓度/(mg·L ⁻¹)			
	COD	TN	NH ₄ ⁺ - N	TP
10	12.70	9.28	4.34	0.25
20	13.39	9.76	4.79	0.26
30	14.07	10.39	5.36	0.28
40	14.78	11.57	6.68	0.33
50	15.43	12.44	7.63	0.37
60	15.99	13.04	8.40	0.40

从上述模拟结果的分析可知,降低曝气转刷开启台数至 4 台,即可满足出水水质标准要求,又可以降低曝气能耗,且减少工作转刷的数量,相当于增加备用设备数量,也在一定程度上提高了生产的安全性,增加了对曝气设备调节的空间.通过模拟曝气转刷运行工况对出水水质的影响情况,确定了曝气系统的节能运行方案,即在正常运行工况下,将中沟转刷开启台数由 5 台降至 4 台;如遇突发水量、水质冲击负荷(水量增幅超过 25% 或污染物质量浓度增幅超过 50%)时,应增开曝气转刷以保证出水水质;在水量负荷低于设计值时,可考虑将转刷开启台数降至 3 台,以适应水量的波动,达到节能的目的.

3.2 曝气转刷节能运行方案的验证

2009 年 12 月起,该厂三沟式氧化沟曝气系统采用上述节能模式运行.表 2 为 2009 年 12 月及 2010 年 1 月该厂在节能方案下运行实际出水水质的平均值.

表 2 转刷节能运行模式下出水水质		mg·L ⁻¹			
时间		COD	TN	NH ₄ ⁺ - N	TP
2009 年 12 月	进水	494.52	42.98	25.72	6.21
	出水	15.67	6.52	1.91	0.33
2009 年 1 月	进水	618.28	48.36	26.31	7.57
	出水	19.69	9.18	3.55	0.32

从表 2 可以看出,按照曝气系统节能方案运行,可以获得较好的处理效果.尤其是在 2010 年 1

月进水底物质量浓度较高的情况下,出水水质仍能保证达标,证明了该方案的合理性和可行性. 通过对曝气系统采取适当的节能措施,以及配合相关精确控制及辅助节能措施,2009 年该厂三沟式氧化沟工艺的吨水能耗已降至 $0.224\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$,比 2008 年下降 14%,取得了较好的节能效果.

4 结 论

1)在正常运行工况下,将中沟转刷开启台数由 5 台降至 4 台,既可满足出水水质标准要求,又可以降低曝气能耗. 如遇突发水量、水质冲击负荷(水量增幅超过 25% 或污染物质量浓度增幅超过 50%)时,可通过增开曝气转刷的办法保证出水水质;在水量负荷低于设计值时,可考虑将转刷开启台数降至 3 台,以适应水量的波动,达到节能的目的.

2)将曝气系统节能方案应用于实际运行,不仅可以获得较好的出水水质,而且可实现能耗降低的目的. 通过采取节能降耗措施,该厂三沟式氧化沟工艺 2009 年的吨水单耗已降至 $0.224\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$,比 2008 年下降超过 14%,节能效果显著.

参考文献:

[1] 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.

[2] 朱五星,舒锦琼. 城市污水处理厂能量优化策略研究[J]. 给水排水,2005,31(12): 31 – 33.

[3] 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 with 定量识别[J]. 给水排水,

2008,34(10): 42 – 45.

[4] FERRER J, RODRIGO M A, SECO A, *et al.* Energy saving in the aeration processs by fuzzy logic control [J]. Wat Sci Technol,1998,38(3): 209 – 217.

[5] 周雹. 活性污泥工艺简明原理及设计计算[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.

[6] YANG Yue, ZHANG Jinsong, LIU Lixiang, *et al.* Simulation of triple oxidation ditch wastewater treatment process [C]//Proceedings of the Second International Symposium on Aqua Science, Water Resource, and Low Carbon Energy. Sanya: AIP Conf Proc, 2010: 153 – 156.

[7] 叶峰,任振华. 改进型三沟式氧化沟脱氮除磷机理及工程实例[J]. 净水技术,2006,17(6): 64 – 67.

[8] XIE B, DAI X C, XU Y T. Cause and pre – alarm control of bulking and fomaing by Microthrix Parvicella: a case study in triple oxidation ditch at a wastewater treatment plant[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007,143(1/2):184 – 191.

[9] ILENIA I, VALENTINA I, STEFANO M L, *et al.* A modified activated sluged model no. 3(ASM3) with two – step nitrification – denitrification [J]. Environment Modeling & Software, 2007,22:847 – 861.

[10] HENZE M, GUJER W, MION T, *et al.* Activated sludge model No. 2D, ASM2D [J]. Wat Sci Tech, 1999,39(1): 165 – 182.

[11] CLERCQ de B, COEN F, VANDERHAEGEN B, *et al.* Calibrating simple models for mixing and flow propagation in waste water treatment plants[J]. Water Science and Technology, 1999,39(4): 61 – 69.

[12] Hidromantis. GPS – X technical reference[M]. Ontario: Hidromantis Inc, 1995.

(编辑 刘 彤)