

# 工艺优化诊断技术用于污水厂的改造

George Lee<sup>1</sup>, Jim Goodley<sup>1</sup>, 尚爱安<sup>2</sup>, 徐鸿德<sup>2</sup>, 朱石清<sup>3</sup>,  
唐建国<sup>3</sup>, 周 骅<sup>4</sup>, 张善发<sup>4</sup>, 高允础<sup>5</sup>, 姚 彬<sup>5</sup>

(1. BioChem Technology Inc, PA19406 USA; 2 美商生化科技公司 上海代表处, 上海 200336; 3 上海市水务局, 上海 200003; 4 上海市城投总公司 排水公司, 上海 200070; 5 上海松江区水务局, 上海 201600)

**摘 要:** 随着污水排放标准不断提高, 污水厂需改造处理工艺以满足稳定达标排放的要求, 同时还需进行工艺优化以降低运行成本、节省基建费用和运行费用。对上海市曲阳、松江污水厂现有处理工艺做了优化诊断, 主要采用系统分析方法通过现场考察、大规模数据收集、利用国际水协活性污泥模型 (ASM2D) 等工具, 建立了符合污水厂实际运行状况的水质模型, 全面评价了两厂目前的工艺状况和瓶颈所在, 对几种可能的工艺改造方案进行了定量模拟预测, 提出了能确保达标的改造设计工艺和优化方案。该项目为老厂工艺改造提供了一套完整的技术方案和工作流程, 使老厂改造工艺具有脱氮除磷功能, 出水水质能稳定达标, 并预计工艺诊断优化成果的具体实施可为污水厂节省一次性基建费用 10% ~ 30% 和运行费用 15% ~ 40%。

**关键词:** 污水处理厂; 工艺优化诊断; 活性污泥模型; 过程控制系统; 脱氮除磷; 运行成本

中图分类号: X703.1 文献标识码: C 文章编号: 1000 - 4602(2006)02 - 0026 - 05

## Process Optimization and Diagnosis Technology for Reconstruction of Wastewater Treatment Plant

George Lee<sup>1</sup>, Jim Goodley<sup>1</sup>, SHANG Ai-an<sup>2</sup>, XU Hong-de<sup>2</sup>, ZHU Shi-qing<sup>3</sup>,  
TANG Jian-guo<sup>3</sup>, ZHOU Hua<sup>4</sup>, ZHANG Shan-fa<sup>4</sup>, GAO Yun-chu<sup>5</sup>, YAO Bin<sup>5</sup>

(1. BioChem Technology Inc, PA19406 USA; 2 BioChem Technology Inc, Shanghai Rep Office, Shanghai 200336, China; 3 Shanghai Water Authority, Shanghai 200003, China; 4 Shanghai Chengtou Corporation, Shanghai 200070, China; 5 Shanghai Songjiang District Water Authority, Shanghai 201600, China)

**Abstract:** With the upgrading of wastewater discharge standard, the treatment process of wastewater treatment plant (WWTP) needs to be upgraded to meet the discharge standard and the process optimization also need to reduce the operating cost and capital cost. The optimization and diagnosis were made on the existing treatment process in Shanghai Quyang and Songjiang WWTP. By means of the systematic analysis method, field investigation, large-scale data collection and utilization of the activated sludge model issued by the International Water Association, the water quality model was established ac-

基金项目: 美国贸易发展署 TDA 资助项目

according to the actual operation in WWTP, and the present operating status was assessed comprehensively and bottle neck of the two plants was found. After making the quantitative simulation forecasting on some potential process upgrading plans, the design for the process upgrading and optimization plan was proposed to meet the wastewater discharge standard. It provided a whole set of technical scheme and operating flow sheet for nitrogen and phosphorus removal and effluent up to standard. It is expected that implementation of process optimization and diagnosis technology can reduce the one-time capital cost and operating cost respectively by 10% - 30% and 15% - 40%.

**Key words:** wastewater treatment plant; process optimization and diagnosis; activated sludge model; process control system; nitrogen and phosphorus removal; operating cost

国家环保总局在 2002 年 12 月 27 日发布了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002),并于 2003 年 7 月 1 日正式实施。同已颁布的《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)相比,新标准对城镇污水厂的尾水排放,尤其是对出水氮、磷指标要求非常严格。这不仅对污水厂的工艺设计提出了挑战,且对目前污水处理厂的工艺运行提出了更高要求,因此污水厂面临进行工艺优化及达标改造以满足新的排放标准的问题。

城市污水厂工艺模型的发展,尤其是活性污泥模型的发展为污水厂工艺优化改造、工艺设计提供了一个很好的平台。利用成熟的活性污泥模型可以对各种污水处理工艺方案进行比较,对现有的运行工艺进行优化,指导污水厂的运行,从而能达到预期的排放目标并可以节省曝气量,降低运行能耗费用。活性污泥模型由国际水协 IWA 开发,分为 ASM1、ASM2、ASM2D 及 ASM3,其中 ASM2D 是目前最为完善、最为复杂的模型,可以用于模拟生物反应池的脱氮除磷工艺,非常适合目前新的排放标准要求。但是任何模型的模拟都必须以丰富、详实、全面的数据为基础,因此使用系统的取样及分析方法来确定工艺参数显得非常重要。

2004 年 5 月—11 月,美商生化科技公司承担美国贸易发展署和上海水务局的合作项目《上海市水务局曲阳和松江污水处理厂改造工艺优化项目可行性研究》,对该项目研究过程和部分成果的介绍有助于推动中国的污水处理厂工艺优化改造的进行,期望通过工艺优化诊断技术和 ASM2D 的应用,为老厂改造提供更为合理的工艺方案和工艺过程控制系统。

## 1 污水厂介绍

上海市目前正在运行的城市污水处理厂有 30

多座,市区的污水厂一般建于 20 世纪 90 年代前,大都面临着为满足新标准而进行工艺优化和达标改造的问题。曲阳污水厂位于上海市中心城区,建于 1984 年,设计处理能力为  $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,采用传统活性污泥工艺,曝气系统采用鼓风曝气(曝气池内设穿孔管)。曲阳污水厂经过改造后出水应达到 GB 18918—2002 的二级标准。

松江污水厂位于郊县,一期于 1985 年建成投产,设计处理能力为  $2.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,二期于 2000 年 4 月建成投产,设计处理能力为  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,采用 A/O 工艺。二期的工艺诊断优化、改造设计的排放标准为 GB 18918—2002 的一级 A 标准。由于活性污泥工艺是大多数污水处理厂的核心工艺,因此技术评估重点在于活性污泥工艺。

## 2 优化诊断步骤

在曲阳、松江污水厂采取的系统分析步骤几乎相同,主要分成 5 个阶段:

### 污水厂设备评估和分析

该阶段的工作是对两座污水厂设备的现有运行操作、在线仪器设备和土建工程的检查和评价,收集所有可以获得的处理过程参数,如日流量、污染物浓度、设备操作参数设定的范围和精度等。该阶段工作的关键是根据污水厂扩建升级改造的目标和目前技术发展的状况,对现有的设施提出评估和建议。

### 数据收集

该阶段的工作主要是通过对两座污水厂的现场取样分析,获得污水厂的一些基本运行参数,主要工作内容集中在活性污泥处理工艺部分,现场分析的水质指标有 COD(总量、可溶性)、BOD<sub>5</sub>(总量、可溶性)、TN(总量、可溶性)、TKN(总量、可溶性)、SS、VSS、NH<sub>3</sub>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N、TP、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P、VFA、碱度等,另外还包括对污泥活性的分析,如耗

氧速率 (OUR、SOUR)、硝化速率 (NR、SNR、NUR、SNUR)、反硝化速率 (DNR、SDNR)、磷的释放及吸收情况等。

采用的数据收集分析手段包括:

a 安装在线仪表,获得实时的进水水质数据,包括在线氨氮和硝酸盐分析仪、在线 DO 和 SS 分析仪,分析周期持续 5 个月。

b 进行日常的取样分析,在污水处理单元的各个断面取混合样,分析以上提及的各种水质指标,主要的取样断面有总进水、格栅、沉砂池、沉淀池、生物反应池各个点、二沉池出水、浓缩池出水、污泥脱水滤液等。分析周期持续 1 个月。

c 进行密集取样分析,主要指进行瞬时样品的分析,大约每 2~3 h 取一次样,然后立即分析,未能及时分析的样品需立即放入冰箱保存。分析样品的取样断面同日常取样分析点,分析水质指标同上,持续时间为 3 d。

d 采用 ABAM (Advanced Biological Activity Meter) 测定活性污泥的性能。ABAM 是美商生化科技公司专有的活性污泥性能分析工具,由一个电脑操控的控制箱和反应器组成,如图 1 所示。通过 ABAM 可以定量描述污水厂的运行状况,确定活性污泥降解污染物的各种基本参数,如异养菌  $\mu_{\max}$ 、硝化速率 NR、磷的释放及吸收等。

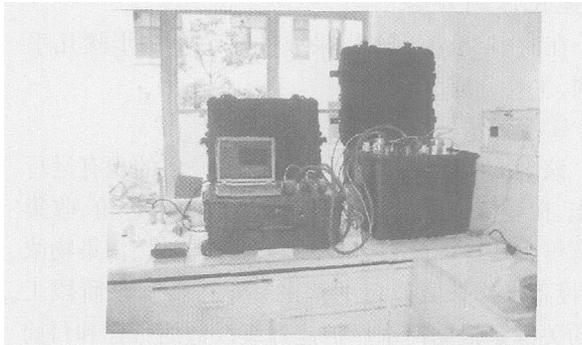


图 1 高级微生物活性测定仪 (ABAM)

Fig 1 Advanced biological activity meter

e 对污水厂历史运行数据进行分析和调查

数据收集部分是污水厂进行系统评价的基石,数据的真实可靠性直接影响建模的成功与否。美商生化科技公司通过数十年的经验来确定污水取样分析断面和分析水质指标,利用大量的人工及先进的仪器分析工作来获得可靠详实的数据。在曲阳 松江污水厂共获得和分析了  $2.5 \times 10^4$  个数据,并建立

了数据库,如此大规模的数据收集在中国尚属首次。

活性污泥工艺模型的建立和校正

利用在上一阶段获得的数据来设计两座污水厂的工艺模型,该计算机模型的基础为国际水质协会推荐的活性污泥模型 (ASM2D)。然后,利用收集的数据 (包括在线仪器、集中取样、实验室分析、历史数据) 对设计的工艺模型进行校正,另外反应计量学、污泥产率及氨氮同化速率等整合在建立的 ASM2D 模型中。

方案评估及改造建议

利用阶段 3 中已校正好的活性污泥工艺模型来评估设计条件下各种工艺的处理效果,筛选出最佳的处理工艺及其最佳运行条件,并考虑到处理工艺的效率、稳定性、可靠性、运行费用及将来需求等因素,提出设计工艺及改造建议方案。

技术总结和报告

根据历史数据、实时数据的分析总结以及模型模拟等结果,提交最终的技术总结报告。

### 3 研究成果

#### 3.1 进水污染物浓度变化因子

根据安装在污水厂进水端的在线仪器长达 5 个月的分析结果,得到进水污染物浓度变化因子,如图 2 所示 (以曲阳污水厂的进水氨氮为例)。

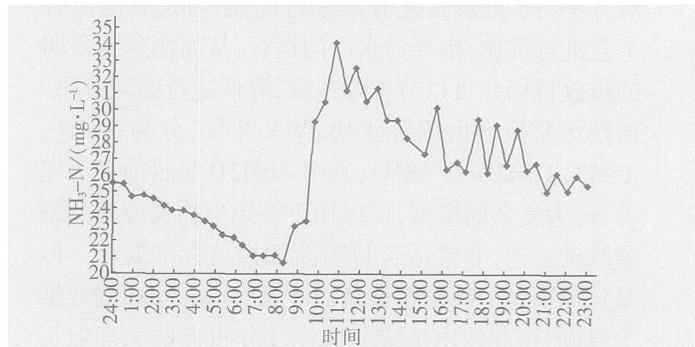


图 2 曲阳污水厂 NH<sub>3</sub>-N 浓度日变化情况

Fig 2 Variation of ammonia nitrogen concentration per day in Quyang WWTW

可以看出,曲阳污水厂的进水氨氮浓度在一天内是不断变化的且趋势非常明显,在早晨 8:00—9:00 存在一个低谷,而在中午 12:00 左右达到峰值。可见,进水污染物浓度的剧烈变化对污水厂的工艺设计、运行及自控系统都提出了很大的挑战。

另外,从与松江污水厂的对比看出,不同污水厂的进水污染物浓度变化情况是不一致的,因此针对特定的污水厂进行升级改造时必须考虑进水污染物浓度 (负荷) 的变化情况。

3.2 模型建立及校正

首先应根据工艺设计的目的选择合适的模型,然后根据污水厂现有的设施构建一个虚拟污水厂,定义其物理特性。污水厂的处理核心通常为活性污泥工艺,因此本模型的建立以活性污泥模型为主,不包括格栅、沉砂池、初沉池及消毒等设施。另外,建立的工艺模型中还包括原有一个一维、十层、无反应的二沉池模型。

模型建立后,必须利用污水厂的原始数据进行校正,该项目的校正时间长达 34 d。部分模拟结果如图 3 所示(以曲阳污水厂为例)。

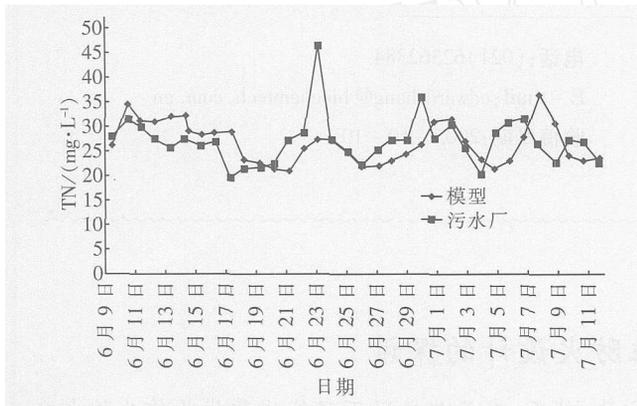


图 3 曲阳污水厂模型的 TN 校正结果

Fig 3 TN modification results of model of Quyang WWTP

TN 的模型预测结果同实际出水 TN 浓度相当一致,其他水质指标如氨氮、硝态氮、COD、TP、BOD<sub>5</sub> 及 SS 的模拟结果也非常一致。

另外对松江厂的模型也进行了校正。

3.3 设计方案预测

在模型校正成功的基础上,进行设计方案预测。对曲阳污水厂三种可能的设计处理工艺进行了预测,包括 A<sup>2</sup>/O 工艺、五段 Bardenpho 工艺以及正在设计的硝化滤池工艺;而对松江污水厂,则选择了 A<sup>2</sup>/O 工艺、五段 Bardenpho 工艺和五段 Bardenpho + 甲醇工艺进行模拟预测。每个模拟工艺预测又分为不同的运行条件,如回流量、温度、进水量等条件。表 1 是对曲阳污水厂的硝化滤池工艺的部分模拟结果。

就曲阳污水厂的模拟结果来看,在三种工艺中硝化滤池工艺的处理效果最佳,而且污水厂处理能力可增加 20%,即设计处理能力可由 7.5 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d 提高到 9 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d(曲阳污水厂有三组活性污泥处理设施)。

松江污水厂的情况则相反,模拟结果表明,为了达到新的排放标准,处理能力应减少 1 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。这是由冬季水温低、硝化速率及反硝化速率下降造成的。另外,在松江污水厂的模拟过程中发现,工业废水对处理效果影响很大。

表 1 曲阳污水厂硝化滤池设计工艺的模拟结果

Tab 1 Model simulation results for nitrification filter in Quyang WWTP

mg · L<sup>-1</sup>

模型条件	出水水质	COD	CBOD <sub>5</sub>	TSS	TKN	NH <sub>3</sub> - N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N	TP	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> - P
模型 1 <sup>#</sup> 2 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d, 12, R = 0%	平均值	39.1	4.9	9.5	28.5	26.9	0	0.9	0.2
	标准偏差	5.1	0.2	0.3	4	3.9	0	0.1	0.1
模型 2 <sup>#</sup> 2 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d, 25, R = 0%	平均值	38.7	3.9	9.2	2.8	1.2	15.4	1.8	1.2
	标准偏差	5.1	0.1	0.3	1.6	1.5	2	1.1	1.1
模型 3 <sup>#</sup> 3 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d, 12, R = 0%	平均值	43.8	7.7	13.8	28.4	26.5	0	1	0.1
	标准偏差	5.6	0.3	0.6	4.4	4.2	0	0.1	0
模型 4 <sup>#</sup> 3 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d, 25, R = 0%	平均值	44.1	7.9	13.8	28.4	26.5	0	1.1	0.2
	标准偏差	5.6	0.3	0.6	4.3	4.1	0	0.1	0.1
模型 5 <sup>#</sup> 2 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d, 25, R = 100%	平均值	38.5	3.9	9.2	7.9	6.4	9.6	1.3	0.7
	标准偏差	5	0.1	0.3	3.2	3	1.3	0.5	0.5
模型 6 <sup>#</sup> 2 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d, 25, R = 200%	平均值	38.8	4	9.2	8.5	7.1	8.9	0.9	0.6
	标准偏差	5	0.1	0.3	3.2	3.1	1.3	0.5	0.5
模型 7 <sup>#</sup> 2 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d, 12, R = 0%, 无缺氧区	平均值	38.9	4.6	9.5	28.6	26.9	1.8	1	0.4
	标准偏差	5.1	0.2	0.3	4	3.9	0.1	0.1	0.1

3.4 污泥性能比较

曲阳污水厂和松江污水厂服务区域的差异,导致进水水质、水量差异,从而导致活性污泥降解性能的差异。用 ABAM 对两厂污泥的沉降性能进行分析,得知曲阳、松江污水厂污泥的硝化速率 (NR, 25

) 分别是 4.05、1.57 mgNH<sub>3</sub> - N / (gSS · h), 而耗氧速率 (OUR, 25) 分别是 28.8、14.8 mgO<sub>2</sub> / (gSS · h)。可以看出,不同污水厂的活性污泥降解性能存在明显的差异,尤其是存在较多工业废水的情况下降解性能更差。这说明在污水厂设计时,必须测

定相关的重要参数,不然会造成很大的误差。

### 3.5 节省运行费用

通过所提供的工艺优化方案计算,实施工艺过程控制系统可降低能耗,节省运行费用 15% ~ 25%,依照 0.65 元/(kW·h)计算,两厂每年可节省运行费用分别为:

曲阳厂大约可节省 60 万元/a;

松江厂大约可节省 80 万元/a。

## 4 优化诊断成果的执行和实现

美商生化科技公司拥有一套商业化的生物工艺智能优化控制系统 BDS (Bio-process Intelligent Optimization System),该系统的核心是活性污泥模型,配备专有的在线仪表与污水厂中央控制系统(SCADA)接口,能将污水厂进、出水的实时水质数据输入

该实时模型进行模拟,然后输出污水厂处理工艺的各个控制目标参数,包括 DO、内回流比、外回流及排泥量等。以污水厂工艺优化诊断的结果为基础建立开发的 BDS 系统,能很好地对设计工艺的处理效果进行模拟,反馈给中央控制系统,提供最佳的控制参数,从而达到既满足尾水的排放目标,又能达到节省能耗、降低运行费用的目的。

致谢:本项目得到了国家商务司、上海市水务局、松江区水务局、曲阳污水厂、松江污水厂的大力支持和协助,在此一并表示感谢。

电话: (021) 62362384

E-mail: edwardshang@biochemtech.com.cn

收稿日期: 2005 - 10 - 10

· 技术交流 ·

## 对多层建筑开口部位防火设计的探讨

作为防火分区的间隔物,采用防火墙是最为简洁的方法,然而,在某些情况下只能用替代物作为防火分隔,其耐火极限  $>4\text{h}$ 。在设计中,防火墙替代作法主要有: 在开口部位设置水幕系统、防火卷帘及开式水幕系统。水幕系统分为防火分隔水幕和防护冷却水幕两种,在需要设置防火分隔而无法设置的开口部位,应采用防火分隔水幕,但其用水量很大,大量的水用于阻断烟火而不是扑灭火灾,这种作法很不经济。防火卷帘与加密喷头联合使用。此类型通常用于防火卷帘满足不了防火墙耐火极限要求的情况,常用做法是在喷淋系统或临近消火栓系统上接出的喷淋支管上布置加密喷头对防火卷帘进行冷却。但是喷淋系统保证的工作时间仅为 1 h,而喷头又不能起到灭火作用,如果喷头是在喷淋系统或消火栓系统中接出而又未考虑此类用水量,势必将影响整个消防系统的灭火。再者,在临近消火栓立管上接出支管布置加密喷头的做法虽简单,但存在着很大的缺陷,而且也不宜控制管理。在开口部位设置特级防火卷帘。这是非常实用的一种做法,在《高层建筑给水排水设计规范》的修订说明中有着详细的阐述。如果在《建筑给水排水设计规划》(简称《建规》)中能够有所说明,对指导设计将会产生更为积极的意义。

针对层间开口部位防火设计中的问题,《建规》第 5.1.2 规定“建筑物内如设有上下层连通的走马廊、自动扶梯等开口部位时,应按上、下连通层作为一个防火分区。但当其设有火灾自动报警系统和自动喷水灭火系统时,防火分区可不加限制”。尽管此条是考虑到设置防火分隔的困难以及环境的可使用性而采取的弥补措施,但由于火灾发生时,其增加的补救措施仅起到报警和灭火作用,并不能阻止烟气和热气流的蔓延。如果不考虑防火分区的划分,烟和热气流在烟筒效应的作用下数秒之内可窜至几十层楼,火灾初期室内气温很快达到 250。另外,实际着火房间中  $\text{O}_2$  的最低浓度只有 3% 左右,再加上建筑中各类高分子合成材料的大量使用,烟气中存在的悬浮颗粒更加剧了对人体的侵害,使人被烧死或熏死。因此,应加强初期火灾的预防并尽可能阻断火势的蔓延以降低火灾事故的发生,这也是各级部门需要引起重视的问题。

(石家庄市建筑设计院 刘晓海 刘振华)