

基于 ASM 1 的城市污水厂优化诊断与改造

蓝梅^{1,2}, 李雯², 吴宏举², 王闯³, 顾国维⁴

(1 清华大学 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084 2 河北工程大学
城市建设学院, 河北 邯郸 056038 3 上海市城投总公司, 上海 200120 4 同济大学
污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 为满足新的污水排放标准, 同时考虑降低运行成本、节省基建费用等因素, 通过国际水协推出的活性污泥数学模型 ASM 1 建立适用于污水厂实际运行状况的水质模型, 对上海市长桥污水处理厂进行了工艺优化诊断, 并提出了改造方案, 确保工艺运行经济、高效, 出水水质能够稳定达标。

关键词: 污水处理厂; 工艺优化诊断; 活性污泥数学模型; 改造

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2009)12-0065-04

ASM 1-based Optimized Diagnosis and Reconstruction of Wastewater Treatment Plant

LAN Mei^{1,2}, LI Wen², WU Hong-jun², WANG Chuang³, GU Guo-wei⁴

(1 State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, Tsinghua University, Beijing 100084 China; 2 School of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Handan 056038 China; 3 Shanghai Chengtong Corporation, Shanghai 200120 China; 4 State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, Tongji University, Shanghai 200092 China)

Abstract In order to meet the new wastewater discharge standard, and reduce the operating cost and capital cost, the activated sludge model No. 1 (ASM 1) developed by the International Water Association was adopted to establish the water quality model suitable for the actual operation of Shanghai Changqiao WWTP. The process optimization and diagnosis of the WWTP was carried out, and the reconstruction scheme was proposed to ensure that the process operation is economic and efficient, and the effluent quality can achieve the discharge standard.

Key words WWTP; process optimization and diagnosis; activated sludge mathematic model; reconstruction

1 长桥污水厂概况

上海市长桥污水处理厂始建于 1989 年, 地处黄浦江水源保护区, 占地面积约为 4.47 hm^2 , 服务面积约为 494 km^2 , 服务人口达 15.7 万人。一期处理量为 $2.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 二期为 $4.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

该厂采用改良 A/O 工艺。初沉池直径为 22 m, 池深为 4 m; 缺氧池长为 36 m, 宽为 8 m, 池深为 7 m; 好氧池长为 36 m, 宽为 16 m, 池深为 7 m。生物反应池的 HRT 为 7.2 h, 其中缺氧池为 2.4 h, 好氧池为 4.8 h, 污泥浓度为 3500 mg/L , 固体平均停留

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50138010)

时间为 20 d 污泥回流比为 100%。二沉池直径为 30 m, 池深为 4 m, 有效水深为 3.5 m, 设计停留时间为 2.5 h。

2 优化诊断改造的分析步骤

针对长桥污水处理厂的实际情况, 确定以下 5 个分析步骤。

① 对各构筑物单元、设备运行状况进行评估和分析(包括对现有仪器、设备运行情况及土建工程的检查和评价)。尽可能收集大量详实的历史运行资料和各处理构筑物现有运行数据参数, 例如日流量、总进出水水质、污染物浓度、溶解氧、设备运行操作参数的范围和精度等。根据污水厂优化改造目标, 考虑当前技术发展水平, 对现有设施提出评估和建议, 为污水厂改(扩)建工艺设计和最佳工艺运行方案的选择做准备。

② 收集数据。对污水厂工艺流程中的各个构筑物单元进行现场取样分析, 以获得该厂建模所需要的一些基本运行参数, 主要测定指标有: COD(总量、易生物降解、缓慢生物降解、可溶解惰性)、SS、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_x^- - \text{N}$ 、TN、耗氧速率(OUR)等。其中 A/O 池是核心工艺, 为测定重点。

③ 模拟初始条件的确定。包括处理系统的工艺参数、活性污泥模型的初值、进水组分划分的初值。

④ 活性污泥模型的建立和校正。以国际水协推出的活性污泥 1 号模型(ASM 1)为基础, 利用前面工作所获得的数据, 建立符合该厂实际的工艺模型。

主要过程分为以下 4 步:

a 初步模拟。输入进水的稳态数据, 运行模拟程序求解反应系统出水的模拟值。

b 结果分析。比较模拟值和实测值, 确定是否需对参数进行调整。

c 参数调整。若模拟结果不理想则参照灵敏度单因素和多因素分析结果, 对关键参数进行适当调整。

d 结果验证。利用校正后的参数值进行动态模拟分析, 验证参数的有效性。如果模拟结果仍不理想则重新进行调整, 直至达到最佳效果。

⑤ 通过已校正好的活性污泥模型来模拟设计条件下各种工艺的处理效果, 并依据经济、高效、稳定、可靠的原则, 提出最优工艺方案。

3 实际模拟方案

3.1 污水厂常规监测数据的稳态模拟与校正

首先围绕长桥污水厂出水水质对其核心工艺模型的参数灵敏度进行单因素和多因素分析, 在此基础上再对 b_H 、 k_h 、 K_{OH} 、 b_A 、 Y_H 、 K_{OA} 等参数依次进行调整, 然后将 7 月份逐日进水 COD 按所测定组分的平均比例进行划分, 模拟出水指标, 对参数进一步校正。

校正后的模型用于对长桥污水厂 8 月、9 月、11 月份的数据进行月稳态模拟。对 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 的模拟值与实测值之误差基本在 10% 之内。但对 $\text{NO}_x^- - \text{N}$ 的模拟结果相对误差较大(为 94.1% ~ 137.6%), 一方面是由于出水 $\text{NO}_x^- - \text{N}$ 指标绝对值很低, 虽然误差的绝对值较小, 但是相对误差较大; 另一方面, 假定系统的二沉池为理想沉淀池, 在其中不发生任何生化反应, 而实际活性污泥混合液在二沉池中有一定的停留时间, 可能会发生一些反硝化反应, 从而造成实际出水 $\text{NO}_x^- - \text{N}$ 低于模拟值。

3.2 污水厂常规监测数据的月动态模拟

首先对长桥污水厂进水 COD 组分进行划分, 模型参数采用经过稳态校正和温度校正后的参数值, 得到了 8 月、9 月、11 月份的日均出水 COD、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_x^- - \text{N}$ 的模拟结果, 并与实测结果进行比较。

结果表明: COD 模拟值与实测值基本吻合; 对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 的模拟除个别点外, 基本与实测值一致; 个别点 $\text{NO}_x^- - \text{N}$ 的模拟值与实测值有一定出入, 这是由于实测 $\text{NO}_x^- - \text{N}$ 受环境因素影响而会产生一定的变化, 而模拟结果只受进水条件和模型参数的影响, 但模拟结果和实测值的变化趋势基本相同。

3.3 对污水厂改造的初步建议

根据 GB 18918—2002 的基本控制项目最高允许排放浓度标准可知, 长桥污水厂出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 TN 不达标。

a 考虑到出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度较高, 有可能存在硝化时间过短、硝化不充分的问题。为此, 可以适当增大好氧池的体积, 增加污水在好氧池中的水力停留时间。以 11 月份的模型组分平均值输入程序, 模拟出水指标, 结果见图 1。

从图 1 可以看出, 增加好氧池容积后, 出水 COD 略有下降, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 大幅下降, $\text{NO}_x^- - \text{N}$

略有上升。当好氧池的容积增大为原容积的1.5倍时,硝化作用得以充分发挥,所以建议将好氧池容积增加0.5倍。

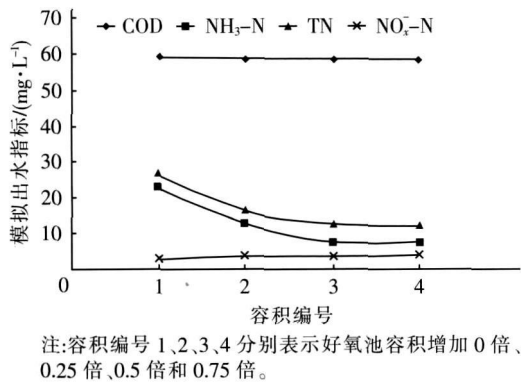


图1 好氧池容积改变对出水指标的影响

Fig 1 Effect of change in aerobic tank volume on effluent quality

b 考虑到出水 TN 约为 23 mg/L, 还有约 7~10 mg/L 的有机氮没有得到降解。模拟改变缺氧池的容积, 考察改变污水在缺氧池中的停留时间是否会对缺氧水解作用有一定的影响。

将 9 月份的模型组分平均值输入程序, 模拟出水指标, 结果见图 2。

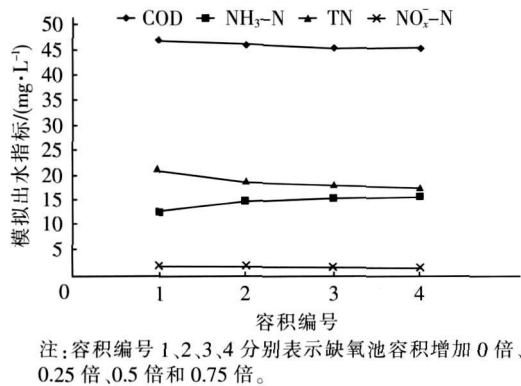


图2 缺氧池容积改变对出水指标的影响

Fig 2 Effect of change in anoxic tank volume on effluent quality

从图 2 可以看出, 增加缺氧池容积后, 出水 COD、NO₃⁻-N 略有下降, NH₃-N 有所升高, TN 有一定的下降。这说明增加缺氧池容积, 即增加污水在缺氧池中的停留时间可以提高反硝化脱氮能力, 同时加强了颗粒性有机氮的水解, 使出水 NO₃⁻-N 和 TN 有所下降, 且当容积增大到原缺氧池容积的 1.2 倍以后, 再增加容积对出水 NO₃⁻-N、TN 影响

不大。

c 缺氧—好氧工艺存在两个回流, 即硝化液内回流和污泥外回流。下面分别考察这两种回流对出水指标的影响。首先改变内回流比例, 得到如图 3 所示的模拟结果。

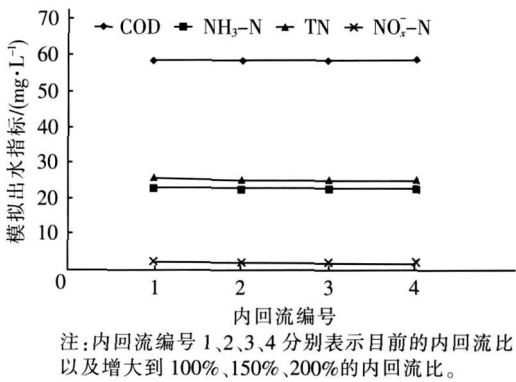


图3 内回流量对出水指标的影响

Fig 3 Effect of internal return on effluent quality

图 3 表明, 增大内回流量对出水指标有一定的影响, NH₃-N 略有上升, TN 和 NO₃⁻-N 略有下降。但就长桥污水厂而言, 通过增大回流量来降低出水 NO₃⁻-N 的空间有限, 因此内回流比例取 100% 即可。

d 分析污泥外回流比例对出水指标的影响, 得到如图 4 所示的模拟结果。

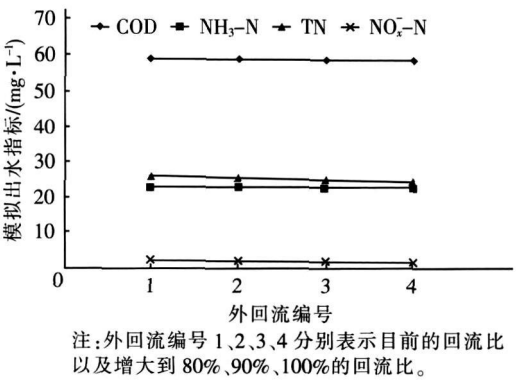


图4 外回流量对出水指标的影响

Fig 4 Effect of external return on effluent quality

图 4 表明, 增大污泥回流量对出水指标的影响与增大内回流量的影响类似。对长桥污水厂而言, 在出水 NO₃⁻-N 较低的情况下, 通过增大回流量而降低出水 NO₃⁻-N 的空间有限, 将回流比取为 80% 即可。

在上述工艺条件下重新对 8 月、9 月、11 月的出水进行模拟 (结果见表 1), 出水 TN 和 NH₃-N 指标

均达到排放标准。

表 1 稳态模拟出水实测值与模拟值的对比

Tab 1 Comparison between observed value and simulated value
mg•L⁻¹

出水指标		改造前模拟值	改造后模拟值
8月	COD	48.77	48.62
	TN	21.54	14.5
	NH ₃ -N	16.83	4.3
	NO _x ⁻ -N	1.96	2.04
9月	COD	46.64	46.43
	TN	21.09	15.3
	NH ₃ -N	12.69	2.8
	NO _x ⁻ -N	1.89	1.96
11月	COD	58.7	57.7
	TN	26.11	16.4
	NH ₃ -N	23.01	7.4
	NO _x ⁻ -N	2.78	2.96

4 结语

通过以上的分析,初步建议长桥厂在今后的工艺改造中可考虑适当增大缺氧池容积(为目前的1.25倍)和好氧池容积(为目前的1.5倍),将内回流比定为100%,污泥回流比定为80%。

长桥污水厂在2007年达标改造工程中采用了倒置A/A/O工艺,通过对现有构筑物减量与增建新处理构筑物,适当增加硝化、反硝化区容积并设置厌氧除磷区,处理后尾水采用紫外线进行消毒,使出水

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标准。同时,将污水处理过程中产生的污泥经浓缩后采用机械脱水后外运。生化处理过程中产生的臭气经收集后,采用生物滤池进行集中脱臭处理。本模型的模拟确实为污水厂硝化反硝化容积、内回流与外回流比的合理确定提供了科学依据。

参考文献:

[1] Vanrolleghem Peter A, Gucci Inse, Brita Petersen, *et al*. A comprehensive model calibration procedure for activated sludge models[J]. Water Environment Federation, 2003, (9): 1-28

[2] Henze M, Gujer W, Mino T, *et al*. Activated Sludge Models ASM 1, ASM 2, ASM 2d and ASM 3, Scientific and Technical Report No. 9[R]. London: IWA Publishing, 2002

[3] 施汉昌,刁惠芳,刘恒,等. 污水处理厂运行模拟、预测软件的应用[J]. 中国给水排水, 2001, 17(10): 61-63

[4] 孙德荣,吴星五. 活性污泥数学模型的发展及运用[J]. 中国给水排水, 2003, 19(2): 40-43

电话: 13483009591
E-mail: wnm1973@netease.com
收稿日期: 2008-11-21

(上接第64页)

表 2 水质监测结果

Tab 2 Monitoring result of wastewater quality

指标	pH	Cl ⁻ / (mg•L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ / (mg•L ⁻¹)	PO ₄ ³⁻ / (mg•L ⁻¹)	COD / (mg•L ⁻¹)
进水(平均)	5.0~6.7	78	19	55.4	108
出水(平均)	6.2~7.9	0.38	0.79	0.43	59.8

5 技术经济分析

该工程改造投资总费用为37.6万元,其中旧设施改造费为4.9万元,新增设施费为28.5万元,其他费用(调试、税金等)为4.2万元。本工程只有药剂配制及分析化验需少量自来水,用水量约5m³/d。该设施运行时,只需投加碱和少量的絮凝剂,运行费用为1.7元/m³。

6 结论

该改造项目投资少,基本利用原有建(构)筑

物,无需新增占地面积,运行稳定可靠,操作方便,易于管理,运行费用低。废水处理效果好,出水清澈,部分用于设备反冲洗,具有较好的环境效益和经济效益。

参考文献:

[1] 吴少杰,朱泮民,郭继民,等. 微电解法处理含铬废水操作条件优化研究[J]. 河南城建高等专科学校学报, 2002, 11(1): 25-28

[2] 代秀兰. 微电解技术处理含铬电镀废水研究及其应用[J]. 工业水处理, 2005, 25(1): 69-71

电话: 13996007309
E-mail: xhdeng70@163.com
收稿日期: 2009-02-09