

计算机模拟在污水处理厂改建设计中的应用

蒋卫刚 顾国维 俞国平

(同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘要 根据国际水质协会的活性污泥 1 号模型, 结合 Takacs 的二沉池模型, 应用 Delphi 编译软件, 在 Windows 平台上自行开发了污水处理模拟系统; 通过对上海市某采用 A/O 工艺的污水处理厂的模拟, 确定了模型的参数并对模型进行了校正。根据模拟结果对污水处理工艺提出改建的设计方案: 没有内回流, A/O 两段等体积的运行方式。

关键词 污水处理厂 计算机模拟 活性污泥 1 号模型(ASM1)

Application of computerized simulation for wastewater treatment plant reconstruction

Jiang Wei-gang, Gu Guo-wei, Yu Guo-ping

(School of Environmental science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: With the help of Delphi Compiler under Windows, developed a computerized simulating system of activated sludge process, which combined the activated sludge model 1 (ASM1) and the Takacs's (model of secondary sedimentation tank). Based on the developed simulating system, illustrated the computer simulating method by simulating one A/O process wastewater treatment plant in Shanghai and some advices to innovate the process are suggested that no inner circumfluence and the volume of anaerobic and oxidative process are equivalent.

Keywords: Wastewater treatment plant; Computerized simulation; ASM1

随着国家新的城镇污水处理厂污染物排放标准(GB18918-2002)的实施, 不少城市污水处理厂要进行改造。本文根据国际水质协会的研究成果(活性污泥 1 号模型 ASM1^[1])结合 Takacs 的二沉池模型^[2], 应用 Delphi 编译软件, 在 Windows 平台上自行开发污水处理模拟系统, 将上海市某污水处理厂作为研究对象, 着重说明了以数学模型为基础的计算机模拟方法在污水处理厂设计中的应用。

1 污水厂工艺概况

该污水处理厂处理的污水为周围居民区的生活污水及少量的工业废水, 处理流量为 5.5 万 m³/d 左右, 进水 COD 约为 300 mg/L, BOD 约为 150 mg/L,

SS 约为 100 mg/L, TN 约为 45 mg/L, NH₃-N 约为 30 mg/L, pH 约为 7.5, 且比较稳定。设计时未考虑脱氮, 曝气池等分为 4 个廊道, 其中第一廊道为再生段, 后三个为吸附段, 吸附段采用多点进水方式, 污泥负荷 0.3 kgBOD/(kgMLSS·d), 水力停留时间约 5.6 h; 辐流式二沉池表面负荷为 1 m³/(m²·h), 水力停留时间约 2.5 h, 回流污泥含水率 98%; 污泥回流比为 60%; 污泥平均停留时间为 8 d 左右。主要工艺流程见图 1。

2 数据的收集和处理

收集污水处理厂一整年运行的检测结果报表,

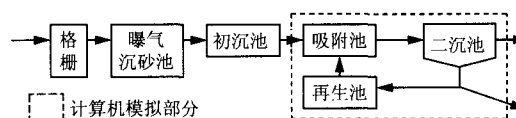


图 1 污水处理厂的工艺流程

国家自然科学基金重点项目(50138010)及上海市 2001~2003 年度重点学科建设的资助项目。

其记录的是日平均数据(每2 h一个水样,12个水样的混合结果),包括进出水COD、BOD、SS,以及曝气池中MLSS浓度等常规指标。去掉污水厂检修期和几个数据不完整的几个月数据,利用其中连续正常运行的春、夏、冬三季的数据。根据日进水流量资料(流量变化很小,最大值约为日平均流量的115%)和进水COD每隔2 h的连续取样测量值(在上午8:00左右达到最大,约为日平均的140%),为了简化问题,故对每日进水流量和初沉池出水COD作如下的处理:

$$Q(t) = \bar{Q} + 0.15\bar{Q} \times \sin(2\pi t) + R_Q$$

$$(|R_Q| \leq 0.04\bar{Q}) \quad (1)$$

$$C_{\text{COD}}(t) = \bar{C}_{\text{COD}} + 0.4\bar{C}_{\text{COD}} \times \sin(2\pi t) + R_{\text{COD}}$$

$$(|R_{\text{COD}}| \leq 0.1\bar{C}_{\text{COD}}) \quad (2)$$

式中 $Q(t)$ ——每日进水量, m^3/d ;

$\bar{Q}$ ——日平均进水量, m^3/d ;

$C_{\text{COD}}(t)$ ——初沉池出水COD浓度, mg/L ;

$\bar{C}_{\text{COD}}$ ——初沉池日平均出水COD浓度, mg/L ;

t ——时间系数,取值范围 $[0,1]$;

R_Q, R_{COD} ——对应于流量和COD的随机量。

3 模型参数的确定

根据ASM1模型,COD划分为微生物(异养菌 X_{BH} 和自养菌 X_{BA})、可降解有机物(颗粒性可降解 X_{S} 和溶解性可降解 S_{S})和惰性有机物质(颗粒性惰性 X_{I} 和溶解性惰性 S_{I})三大类共6种组分。通过初沉池出水试验,其中微生物组分基本为零^[3];可降解有机底物 $X_{\text{S}} + S_{\text{S}} \approx 1.71\text{BOD}$ ^[4],分别约占65%,35%;惰性物质 $X_{\text{I}} + S_{\text{I}} = \text{COD} - 1.71\text{BOD}$,各自约占37%,63%。由于 $S_{\text{I}}, S_{\text{S}}$ 对出水COD模拟非常敏感^[5],在参数校核过程中有必要进行组分划分的校核。

ASM1包括的5个化学计量参数和14个动力学参数中,对出水模拟最敏感的为 $Y_{\text{H}}, \mu_{\text{H}}, K_{\text{S}}, b_{\text{H}}$ ^[5],其值采用国际水协推荐的呼吸计量法测得: Y_{H} 为0.71, μ_{H} 为5.7, K_{S} 为19, b_{H} 为0.44,其余15个参数先采用国际水协推荐的默认值(20℃)^[1],在参数校核过程中再进行适当调整。

利用吸附和再生池MLSS浓度数据,通过物料平衡方程求得回流污泥浓度,然后对二沉池进行单独模拟,以确定二沉池模型中的5个参数。

4 模型的校正

利用春季的1个月(运行状况良好、出水稳定)数据进行参数校核^[6],并定义下面的偏差函数作为参数调整的目标函数:

$$J = \sum_{t=1}^{30} \left[\left(\frac{C_{\text{COD, mea}, t} - C_{\text{COD, sim}, t}}{C_{\text{COD, mea}, t}} \right)^2 + \left(\frac{C_{\text{BOD, mea}, t} - C_{\text{BOD, sim}, t}}{C_{\text{BOD, mea}, t}} \right)^2 + \left(\frac{C_{\text{SS, mea}, t} - C_{\text{SS, sim}, t}}{C_{\text{SS, mea}, t}} \right)^2 \right] \quad (3)$$

式中 $C_{\text{COD, mea}, t}$ ——第 t 天出水COD的测量日平均值, mg/L ;

$C_{\text{BOD, mea}, t}$ ——第 t 天出水BOD的测量日平均值, mg/L ;

$C_{\text{SS, mea}, t}$ ——第 t 天出水SS的测量日平均值, mg/L ;

$C_{\text{COD, sim}, t}$ ——第 t 天出水COD的模拟日平均值, mg/L ;

$C_{\text{BOD, sim}, t}$ ——第 t 天出水BOD的模拟日平均值, mg/L ;

$C_{\text{SS, sim}, t}$ ——第 t 天出水SS的模拟日平均值, mg/L 。

显然, J 值越小,表明模拟结果越优。通过对模拟结果与实际测量值之间的判断(J 值指标),逐步调整模型中的各个参数,直到模拟结果令人满意为止(各项出水指标的模拟平均值与实测值相对误差小于5%)。如果模拟值和实际值之间差距非常大,即无论怎么调整参数都不能得到满意的模拟结果,则必须重新检验收集的数据,重新确定工艺的实际运行工况。污水处理厂运行的计算机模拟流程图见图2。

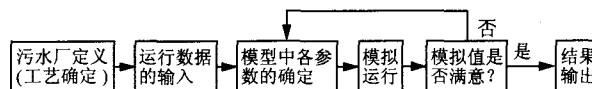


图2 计算机模拟流程

5 污水处理厂运行模拟结果

利用校正后的模型参数,对春、夏、冬三季进行模拟。图3和图4分别是冬、夏两季的模拟结果与实际测量值。夏季日平均相对误差:BOD为3.7%,COD为1.6%;冬季日平均相对误差:BOD为2.9%,COD为1.2%。结果是相当令人满意的。

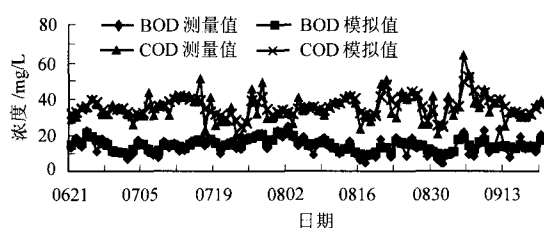


图3 污水处理厂夏季出水实测值和模拟结果

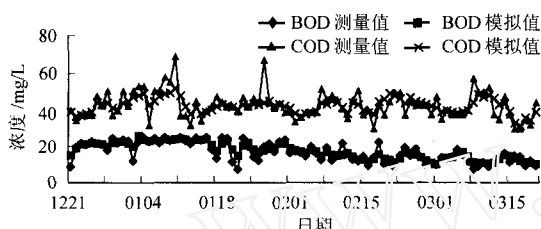


图4 污水处理厂冬季出水实测值和模拟结果

6 改造工艺分析

由于原先的设计并未考虑到氮的去除,出水氨氮往往不能符合新的排放二级标准,故改建的工艺中必须包含硝化与反硝化过程。在原构筑物基础上,提出了如下改建的A/O工艺:将曝气池的4个廊道分成两段,一段进行厌氧反硝化,另一段进行好氧硝化。由于进水的碱度通常在400 mg/L左右,对达到出水标准所必须的硝化过程已经足够^[7],因此不需要另外投加石灰。

下面用计算机模拟方法,对这种方案在不同工况下的运行作一分析。基本参数:进水流量5.5万m³/d,初沉池出水COD为200 mg/L,BOD为100 mg/L,SS为100 mg/L,TN为45 mg/L,NH₃-N为30 mg/L,污泥回流量3.2万m³/d,固体停留时间SRT为8 d,内循环量5.5万m³/d,O池DO为2 mg/L。

首先,考虑到原来的污泥回流量比较大,是否可以取消内循环呢?表1是在有无内回流的情况下对A,O两段取不同体积比时模拟运行的出水结果,其中排泥量是根据SRT计算的。从表1可知,在脱氮要求不高的情况下,内回流是可以取消的;同时,A,O两段不同的体积比对出水TN和氨氮的影响最大,这与实际吻合:A段体积增大,则反硝化的时间相对增加,从而出水TN就减少;而硝化的时间相对减少,出水氨氮就增加。当体积比 $V_A:V_O=3:1$ 时,由于进水在好氧池停留时间太短而导致颗粒性可降解组分 X_S 发生累积,运行没法达到稳定状态,

表1 有无内循环和不同体积比的A/O工艺出水水质模拟

内回流	$V_A:V_O$	COD /mg/L	BOD /mg/L	SS /mg/L	TN /mg/L	NH ₃ -N /mg/L	回流 MLSS /mg/L	排泥量 /m ³ /d
100%	1:3	48.5	17.4	20.7	33.0	<1	8 221	306
	2:2	48.9	17.7	20.7	28.2	2.5	8 247	307
无	1:3	48.5	17.4	20.6	32.9	<1	8 194	306
	2:2	49.0	17.7	20.6	29.0	2.5	8 225	308

表2 不同污泥回流比的A/O工艺出水水质模拟

回流比	COD /mg/L	BOD /mg/L	SS /mg/L	TN /mg/L	NH ₃ -N /mg/L	回流 MLSS /mg/L	排泥量 /m ³ /d
0.3	48.1	18.1	20.6	31.5	3.3	12 600	195
0.4	48.4	17.9	20.5	30.2	3.1	10 400	241
0.5	48.7	17.8	20.6	29.4	2.8	9 050	282
0.6	49.0	17.7	20.7	29.0	2.5	8 225	308
0.7	49.2	17.7	20.9	28.7	2.4	7 482	344
0.8	49.4	17.6	21.0	28.4	2.2	6 455	371

即在此工况下无法保证出水达标。

根据表1的模拟结果,若采用A,O两段体积相同的工况运行,则能减少曝气量,节省污水处理厂的运行费用,表2和图5、6是采用A,O等体积及内回流为零时得到的模拟结果。

表2是不同的污泥回流比对出水的影响模拟。从表2中不难看出,不同的回流比对COD,BOD,SS影响不大,对TN,氨氮虽有一定的影响,但出水氨氮都小于4 mg/L,远小于出水标准。回流比对回流污泥MLSS浓度有很大的影响,因为当回流比减少时,就使得二沉池的表面负荷减小,水力停留时间相对增加,于是二沉池就起到了污泥浓缩的作用,因此,回流污泥MLSS浓度增加。从理论上讲,若能保证污泥良好的沉降性能,则可以通过减少污泥回流来使得二沉池排泥浓度增大,从而减少每天的排泥量,这对污水处理厂节约污泥处理成本具有实际意义。而目前国内的大部分污水处理厂(活性污泥法)的回流污泥浓度一般在6 000~9 000 mg/L,如何提高二沉池的泥水分离和污泥浓缩能力是需要解决的问题。

图5是在20℃下SRT对出水水质的影响,SRT越小,出水COD,TN也就越低,当SRT在2~6 d时变化最明显,而大于6 d时,基本没有影响;当SRT小于3 d时,因为反应器内基本上不发生硝化反应^[4],所以出水TN和氨氮很高。实际运行时不建议采用很大的SRT(污泥中主要为微生物的内源代谢产物,往往会发生污泥上浮),模拟结果是在污

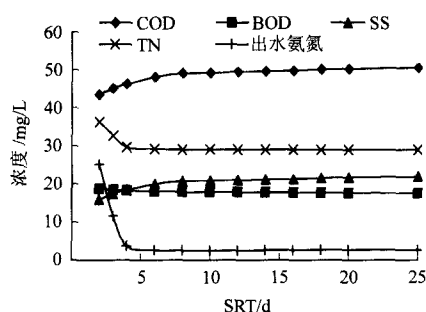


图5 SRT变化对出水水质的影响

泥沉淀性能良好以及二沉池的分离性能较强的基础之上得出的。为了保证冬季出水也能达标,建议SRT采用8~10 d。

图6是一天内负荷变化(流量和COD同步的最坏情况下)对工艺运行模拟的瞬时结果。其中流量的最大值是日平均流量的160%,COD的最大值是日平均的150%。由图可以看出,出水COD和SS受到的影响较大,特别是当流量接近最大值时,出水SS的瞬时值超标。同时可以看到回流污泥的浓度变化,该变化是根据SRT连续排泥方式模拟得到。在模拟过程中还就间歇排泥、连续排泥分别进行了模拟,发现,两种排泥方式对工艺运行的出水基本没有什么影响。由此,从优化的角度考虑,若根据模拟结果,当二沉池的浓度在一天中达到较高时进行排泥,这必将大大减少每天的排泥量,从而降低污水处理厂的污泥处理成本。

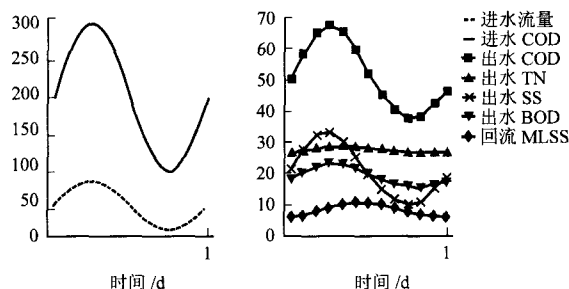


图6 负荷的影响(流量/ $10^3\text{m}^3/\text{d}$,回流MLSS/g/L,其他/mg/L)

7 结论

在本例中,始终围绕着出水水质达标这一目标,对不同的工况进行了模拟分析,尤其是SRT和DO这两个对污水处理厂运行非常重要的参数,通过模拟结果的比较,得到了相对较优的改建设计方案:没有内回流、A/O两段等体积的运行方式。

限于篇幅,本文未就参数改变时,各反应器中的

物质浓度的变化进行讨论,这对整个污水处理系统实现智能控制也是至关重要的。

目前,计算机模拟虽还不能完全用于处理系统的设计,但是可以根据所确定的设计参数,对日变化及参数变化的影响进行分析,根据计算机模拟的结果来选择较优的设计参数或运行工艺。

参考文献

- 1 国际水质协会废水生物处理设计与运行数学模型课题组著. 活性污泥数学模型. 张亚雷, 李咏梅译. 上海: 同济大学出版社, 2000
- 2 Takacs I, Patry G G, Nolasco D. A dynamic model of the clarification thickening process. Water Sci Tech, 1991, 25(1): 1263~1271
- 3 甘利军. 活性污泥1号模型水质特性参数研究.[学位论文]. 上海: 同济大学环境科学与工程学院, 2003
- 4 C P Leslie Grady Jr, Glen T Daigger, Henry C Lim 著. 废水生物处理. 张锡辉, 刘勇弟译. 第二版. 北京: 化学工业出版社, 2003
- 5 陈晓龙. 活性污泥2号模型的应用与校正.[学位论文]. 上海: 同济大学环境科学与工程学院, 2003
- 6 J J W Hulsbeek, J Kruit, P J Roeleveld, M C M Van Loosdrecht. A practical protocol for dynamic modeling of activated sludge systems. Water Sci Tech, 2002, 45(6): 127~136
- 7 Mogens Henze, Poul Harrenoes, 等著. 污水生物与化学处理技术. 国家城市给水排水工程技术研究中心译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999

★电话:(021)65985709

E-mail: weigangjiang@hotmail.com

收稿日期:2003-7-4

北京拟定中水回用参考价

北京市正在为单体建筑小区的中水回用制定一个合理定价,此举将解决已建中水回用设备单体建筑对外供水的难题,并为北京市每年节省25%到30%的水资源。

根据北京市政府2001年有关文件,建筑面积在5万 m^2 以上的单体建筑都必须建立相应的中水回用设备,目前全市已建成带中水设备的单体建筑250个,大部分集中在饭店、院校和部分居民小区。据介绍,理想的单体建筑中水回用模式是,开发商为独立的单体建筑自设一个中水处理站或在2到3家单体建筑间建立一个规模稍大的中水处理站,由当地物业部门将辖区内生活污水送进中水处理站,然后将处理完毕的再生水统一对外供应,这些再生水可为居民提供冲厕之用或为绿地浇灌提供水源,辖区内业主则通过出售中水来获取相应利润。

目前,建议价暂时拟定为“不超过居民生活用水价格的80%”,即每 m^3 售价在1.6元到1.8元之间,统一定价将由市发改委统一公布。

(水工)