

文章编号: 1673 - 1212 (2009) 03 - 0081 - 06

倒置 A²/O 工艺出水指标预测和评价方法的研究

林海¹, 张薇薇¹, 甘一萍², 常江², 郝二成²

(1. 北京科技大学 环境工程系, 北京 100083; 2. 北京城市排水集团有限责任公司, 北京 100038)

摘要:研究了用一种简单的静态物理模型取代复杂的数学动态模型, 实现对实际污水处理效果的实时预测及评价的方法。应用国际水协 (WA) GPS - X 模拟软件中的 ASM2d 模型, 建立了不同进水水质和不同运行参数条件下倒置 A²/O 工艺出水 TSS、COD、TN、NH₄⁺ - N、TP 和溶解性磷酸盐浓度的数据库, 结果表明, 该数据库可以对倒置 A²/O 工艺出水指标进行预测。以预测的出水指标和实际出水指标之间的差值为指标因素, 采用专家打分法确定指标权重, 通过对指标的分级界定建立因素指标的隶属函数, 最后运用模糊综合评判的方法实现了对倒置 A²/O 工艺处理效果的评价, 建立了倒置 A²/O 工艺处理效果的数学模型。

关键词:倒置 A²/O 工艺; 数据建模; 模糊评价

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

Research on Effluent Indices Prediction and Evaluation of Activated Sludge in Anoxic - anaerobic - aerobic System

Lin Hai¹, Zhang Weiwei¹, Gan Yiping², Chang Jiang², Hao Ercheng²

(1. Department of Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

2. Beijing Drainage Group Co., Ltd, Beijing 100038, China)

Abstract: A simple static physical model which substituted the complex mathematics dynamic model was studied to implement real - time prediction and method evaluation of real wastewater. According to ASM2d model of GPS - X simulation software of WA, a database of TSS, COD, TN, NH₄⁺ - N, TP and soluble P concentration in effluent of activated sludge in anoxic - anaerobic - aerobic system was established on different conditions of influent quality and operation parameters. It was showed that the database could predict effluent indices of activated sludge in anoxic - anaerobic - aerobic system successfully. Taking the margin of effluent indices prediction and practical index as factors, indexes weight was determined by using the method of experts evaluation, and then membership functions of indices were established by hierarchical definition of indices. Finally, the evaluation on treatment effect of activated sludge in anoxic - anaerobic - aerobic system was implemented by the method of fuzzy comprehensive evaluation, then the mathematical model of activated sludge in anoxic - anaerobic - aerobic system was also established.

Key words: activated sludge in anoxic - anaerobic - aerobic system; data modeling; fuzzy evaluation

前言

数学模拟表面上是对污水处理过程进行数字化模拟, 实际上成熟的模拟技术对污水处理工艺方案、工艺流程设计、工艺运行优化、新工艺研发等而言均是一种高效的工具, 它们的辅助作用在诸多方面可以起到事半功倍的效果。近二十年来, 研究人员开

发出了一系列的数学模型, 如能够模拟 COD 的去除、硝化/反硝化的 UCTOLD 和 ASM1; 以及能够模拟 COD 的去除、硝化/反硝化和生物除磷的 UCTPHO 和 ASM2、ASM2d^[1]。现在, 应用数学模型已经成为污水处理厂设计和运行的一个标准实践。但是, 以往的数学模型均是首先需要确定污水的污染物组分比例以及一系列工艺运行参数, 这对于预测工艺出水污染物浓度和评价工艺处理效果进行在实际生产中的应用就显得非常繁琐。因此, 需要用一种简单的静态物理模型来取代复杂的数学动态模型, 以实现对实际生产效果的实时预测及评价。

收稿日期: 2008 - 11 - 20

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划重点项目 (2006BAC19B01)

作者简介: 林海 (1966 -), 男, 北京人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事教学与管理工作, 研究方向: 环境微生物、水处理等。

本文研究了应用国际水协 (WA) GPS - X 模拟软件的 ASM2d 模型,对不同进水水质及不同工艺运行参数的情况下的倒置 A²/O 工艺出水污染物浓度的预测结果,对于进水水质及其对应的预测结果进行数据建模。以预测与实际的污染物出水浓度的差为对象,运用模糊综合评判方法对工艺出水效果进行评价。

1 工艺及模拟软件简介

目前高碑店污水处理厂生物法去除营养物质的

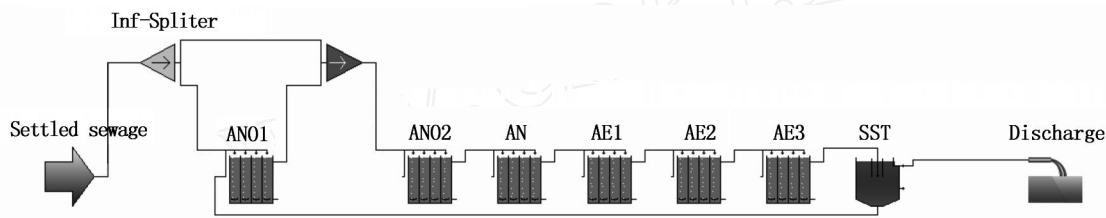


图 1 用 GPS - X 建立的高碑店污水处理厂一期工艺 (倒置 A²/O) 模型

该工艺模型的固定参数即为各反应池的物理参数以及每一污染物的组分浓度,在模型校正完成后,污水流分配比例以及自养菌生长速率也为固定参数,在试验过程中不再变动。除以上固定参数,其它对于工艺有影响的因素如:流量、污染物浓度、水温、溶解氧、排泥量、回流比、碱度、pH 值等均为可调参数,可在实验过程中根据具体要求进行调整^[4-5]。

2 数据建模

2.1 模拟试验

根据高碑店污水处理厂 2006 年 - 2007 年实际运行数据,对进水水质和运行参数取两周平均后确定以下进水水质和运行参数为试验条件及边界范

围。进水水质包括流量、水温、总悬浮物浓度、COD 浓度、总凯式氮浓度、氨氮浓度、溶解性磷酸盐浓度,运行参数包括进水分流比、污泥回流比、剩余污泥流量、碱度、溶解氧浓度。根据 2006 年 - 2007 年高碑店实际生产条件得知进水分流比为 0.5,碱度为 9.5 mole/m³,溶解氧为 2.5,其他参数则是根据周平均值确定,具体试验约束条件及其边界值如表 1 所示。表 1 中仅仅是根据实际运行所确定的参数范围,各个参数相互之间也是有关系的,如水温、流量均与季节有关,各污染物浓度之间存在的比例关系也是工艺特点所决定的^[6]。所以,跟据实际的运行情况,最终确定了 93 组进水水质进行模拟试验,表 2 列举了部分进水水质。

表 1 GPS - X 仿真模拟试验输入变量数值

参数名称	流量 /1 000m ³ d ⁻¹	水温 /℃	TN /mg L ⁻¹	溶解磷酸盐 /mg L ⁻¹	TSS /mg L ⁻¹	COD /mg L ⁻¹	剩余污泥量 /m ³ d ⁻¹	回流比 %
输入变量数值	250, 260, 270	16	48, 50	4. 2	124, 130	260, 256	4 000	80
	280, 290, 300	20	52, 55	4. 4	132, 104	252, 242	6 000	100
	310, 320, 330	24	58, 60	4. 8	140, 120	220, 240	8 000	120
	340, 350, 360		65	6. 2	134, 112	216, 254	9 000	
	370, 380, 390			5. 6		208	10 000	
	400, 410, 420			6				
	430, 440, 450							

表 2 GPS - X 仿真试验部分进水水质方案

试验编号	流量 /1 000m ³ d ⁻¹	水温 /℃	TN /mg L ⁻¹	溶解磷酸盐 /mg L ⁻¹	TSS /mg L ⁻¹	COD /mg L ⁻¹	剩余污泥量 /m ³ d ⁻¹	回流污泥量 /1 000m ³ d ⁻¹
1	250	20	65	4. 8	124	260	4 000	200
13	270	20	60	4. 2	120	256	9 000	324
32	340	16	50	4. 4	104	216	6 000	272
46	350	24	52	6	120	254	10 000	280
64	390	20	48	4. 4	112	208	6 000	312

根据主要污染物在工艺流程中的主要存在形态及分布,确定试验过程中需要监测的主要污染指标包括:TSS、COD、TN、TKN、NH₄⁺-N、NO_x⁻-N、TP、溶解性磷酸盐,表 3列举了部分预测结果^[6-7]。

表 3 GPS-X软件仿真试验二沉池出水记录

试验编号	TSS /mgL ⁻¹	COD /mgL ⁻¹	TN /mgL ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N /mgL ⁻¹	NO _x ⁻ -N /mgL ⁻¹	TP /mgL ⁻¹	溶解磷酸盐 /mgL ⁻¹	SRT/d
1	6.6	33.78	36.66	9.864	26.29	5.843	5.757	22.46
13	6.248	33.71	31.51	1.389	29.59	4.927	4.835	12.28
32	8.029	30.81	26.72	0.7125	25.44	5.008	4.888	15
46	7.73	34.85	24.89	0.3115	23.99	6.753	6.639	9.143
64	9.234	28.51	26.3	0.5141	25.24	5.142	5.016	14.96

2.2 建立数据库模型

高碑店污水处理厂倒置 A²/O 工艺仿真平台模拟实际工厂运行和数据集成,依据工厂实际的数据分析,按照生产流程以及后续应用的需要,建立数据库模型步骤如下^[8-10]:

- (1)建立基础数据表分别为:工艺进水水质参数数据表和工艺出水预测污染物浓度数据表。
- (2)以工艺进水水质参数数据表中的数据对象为查询条件,包括进水流量、水温、进水总氮浓度、进水溶解性磷酸盐浓度、进水总悬浮物浓度、进水 COD 浓度、剩余污泥量和污泥回流比。
- (3)以预测出水污染物浓度数据表为查询对象,包括出水总悬浮物浓度、出水 COD 浓度、出水总

- 氮浓度、出水氨氮浓度、出水硝态氮浓度、出水总磷浓度、出水溶解性磷酸盐浓度、污泥龄。
- (4)以试验编号为主键实现查询条件与查询对象的连接,对于查询条件的边界范围定义分别如下:进水流量 $Q_{in}/1\,000\,m^3\,d^{-1}$ [$Q_{in}-5, Q_{in}+5$],水温 /℃ [$t-2, t+2$],进水总氮浓度 /mgL⁻¹ [$S_{IN}-3, S_{IN}+3$],进水溶解性磷酸盐浓度 S_{POX}/mgL^{-1} [$S_{POX}-3, S_{POX}+3$],进水总悬浮物浓度 S_{SS}/mgL^{-1} [$S_{SS}-5, S_{SS}+5$],进水 COD 浓度 S_{COD}/mgL^{-1} [$S_{COD}-5, S_{COD}+5$],剩余污泥量 $Q_{was}/m^3\,d^{-1}$ [$Q_{was}-1\,000, Q_{was}+1\,000$],污泥回流比为 0.8、1.0、1.2三个选项。
- (5)实现模型的可视化,如图 2所示以第 1组的模拟试验为例进行工艺出水预测的结果显示。



图 2 工艺出水预测数据库模型查询界面

3 出水效果评价

3.1 建立因素集和判断集

对倒置 A²/O 工艺出水效果的评价,采用实际生产与预测出水污染物浓度对比的方式来评价,即把实际生产出水的出水污染物浓度值作为被评价对象,而相同条件下通过数据库模预测的出水污染物浓度值作为理论值。因此,把理论出水污染物浓度与实际之

差作为模糊评价的指标因素,可简单表示为:差值 = 理论出水浓度 - 实际出水浓度。即得评价模型的因素集: $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6\} = \{\text{COD 出水浓度差值}, \text{总氮出水浓度差值}, \text{氨氮出水浓度差值}, \text{总磷出水浓度差值}, \text{溶解性磷酸盐出水浓度差值}, \text{总悬浮出水浓度差值}\}$ 。以数据库模型查询的第 1 组模拟试验结果为例,假设在同样进水水质条件下,实际生产的工艺出水污染物浓度分别为 $S_{\text{COD}} = 37 \text{ mg/L}$ 、 $S_{\text{TN}} = 32 \text{ mg/L}$ 、 $S_{\text{NH}_3\text{-N}} = 9.0 \text{ mg/L}$ 、 $S_{\text{TP}} = 4.0 \text{ mg/L}$ 、 $S_{\text{POX}} = 3.7 \text{ mg/L}$ 、 $S_{\text{TSS}} = 7.2 \text{ mg/L}$,则因素集为 $U = \{-3.22, 4.66, 0.864, 1.843, 2.057, -0.6\}$ 。

对于理论出水污染物浓度与实际出水污染物浓度必然值存在一定差别,或出水污染物浓度低于理论值,也可能高于理论值。当差值为正,即实际出水浓度优于理论出水浓度,当差值为负,即实际出水浓度高于理论出水浓度。此可见差值越大,说明实际出水效果越好,因此,根据差值的大小将出水效果分为几个等级,这些等级就组成了判断集: $V = \{\text{很好}, \text{较好}, \text{较差}, \text{很差}\}$ 。

3.2 建立权重集

因素集 U 中的各个元素在模糊综合评价中的重要程度不同,因而要对各个因素 u_i 按其重要程度给出不同的权数 $a_i (i = 1, 2, \Lambda, n)$ 。由各权重数组成的因素权重集 A 是因素集 U 上的模糊子集,可表示为: $A = (a_1, a_2, \Lambda, a_n)$ 称为因素权重集,简称为权重集。通常各权数 a_i 应归一化和满足非负条件,其中权数 a_i 可视为各个因素 u_i 对“重要”的隶属度^[11]。

权重的确定是决定评价结果是否科学的关键环节,也是一个重要而困难的问题。确定指标权重的方法主要有专家打分法和层次分析法等^[12]。对于污水处理工艺来说,每个污染物指标的重要性是随着实际生产要求而改变的。与目前高碑店污水处理厂的实际生产要求相结合,采用专家打分法确定各因素

所占权重为:

$$A = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$$
$$= (0.2, 0.15, 0.2, 0.15, 0.2, 0.1)$$

3.3 确定指标隶属度

正确地确定隶属函数,是利用模糊集合恰如其分地定量表现模糊概念的基础。根据大量的生产数据统计、现场工艺运行经验和理论分析,对各个指标确定了分级界定标准,如表 4 所示。由于其中有些指标的边界存在模糊性,因此需要采用建立个性指标分级隶属函数的方法予以表示,以便更加确切地进行评价。

表 4 评价指标体系的评价分级界定值表					
指标名称	编码	单位	x_1	x_2	x_3
COD 出水浓度差值	e_1	mg/L	5	0	-2
总氮出水浓度差值	e_2	mg/L	5	0	-2
氨氮出水浓度差值	e_3	mg/L	1	0	-0.5
总磷出水浓度差值	e_4	mg/L	2	0	-0.5
溶解性磷酸盐出水浓度差值	e_5	mg/L	1	0	-0.5
总悬浮出水浓度差值	e_6	mg/L	5	0	-5

隶属函数的意义是表明某个指标是属于 $V = \{\text{很好}, \text{较好}, \text{较差}, \text{很差}\}$ 集合中的某个子集合。隶属函数的构成有:

- (1) 自变量: e_i 表示各个指标的实际数值。
- (2) 因变量: 隶属度 $f_a(e_i)$ 、 $f_b(e_i)$ 、 $f_c(e_i)$ 、 $f_d(e_i)$ 表示各个指标属于模糊子集合 a 、 b 、 c 的程度。 $f_a(e_i) = 1$, 说明 e_i 是集合 V 的“核心”,从属程度最高; $f_a(e_i) = 0$, 说明 e_i 基本不属于集合 V ,是最外围。

同时,为了确定隶属函数,还要确定各个指标的升势、降势临界值点,本文设定实际情况数值与隶属度是一次函数的关系,所有指标值即污染物出水浓度预测值与实际值的差值均越大越好,所以所有指标的隶属函数均为上线效果测度,隶属公式的通式如式 (1) 所示^[13]:

$$f = \begin{bmatrix} f_a(e_1) & f_a(e_2) & f_a(e_3) & f_a(e_4) & f_a(e_5) & f_a(e_6) \\ f_b(e_1) & f_b(e_2) & f_b(e_3) & f_b(e_4) & f_b(e_5) & f_b(e_6) \\ f_c(e_1) & f_c(e_2) & f_c(e_3) & f_c(e_4) & f_c(e_5) & f_c(e_6) \\ f_d(e_1) & f_d(e_2) & f_d(e_3) & f_d(e_4) & f_d(e_5) & f_d(e_6) \end{bmatrix}^T$$
$$\text{其中 } f_a(e_i) = \begin{cases} 0, & e_i < x_2 \\ \frac{e_i - x_2}{x_1 - x_2}, & x_2 \leq e_i < x_1, \\ 1, & e_i \geq x_1 \end{cases}$$
$$f_b(e_i) = \begin{cases} \frac{e_i - x_2}{x_1 - x_2}, & x_2 \leq e_i < x_1 \\ 0, & \text{其它} \\ \frac{e_i - x_3}{x_2 - x_3}, & x_3 \leq e_i < x_2 \end{cases}$$

(1)

$$f_c(e_i) = \begin{cases} \frac{x_1 - e_i}{x_1 - x_2}, & x_2 \leq e_i < x_1 \\ 0, & \text{其它} \\ \frac{x_2 - e_i}{x_2 - x_3}, & x_3 \leq e_i < x_2 \end{cases}$$

$$f_b(e_i) = \begin{cases} 0, & e_i \geq x_2 \\ \frac{x_2 - e_i}{x_2 - x_3}, & x_3 < e_i < x_2 \\ 1, & e_i \leq x_3 \end{cases}$$

式中 x_i 为分级界定值。

以第 1 组出水预测值为例, $U = \{-3.22, 4.66,$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \Lambda & r_{16} \\ r_{21} & r_{22} & \Lambda & r_{26} \\ \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda \\ r_{41} & r_{42} & \Lambda & r_{46} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_a(e_1) & f_a(e_2) & f_a(e_3) & f_a(e_4) & f_a(e_5) & f_a(e_6) \\ f_b(e_1) & f_b(e_2) & f_b(e_3) & f_b(e_4) & f_b(e_5) & f_b(e_6) \\ f_c(e_1) & f_c(e_2) & f_c(e_3) & f_c(e_4) & f_c(e_5) & f_c(e_6) \\ f_d(e_1) & f_d(e_2) & f_d(e_3) & f_d(e_4) & f_d(e_5) & f_d(e_6) \end{bmatrix}^T \quad (2)$$

通过模糊变换进行综合评判:

$$B = A \circ R = (b_1, b_2, b_3, b_4) = (0.2, 0.15, 0.2, 0.15, 0.2, 0.1) \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.932 & 0.932 & 0.068 & 0 \\ 0.864 & 0.864 & 0.136 & 0 \\ 0.922 & 0.922 & 0.078 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.88 & 0.03 & 0.33 \end{bmatrix}$$

$$= (y_1, y_2, y_3, y_4) = (0.6509, 0.5389, 0.04157, 0.233) \quad (3)$$

按最大隶属法选择, 去除效果应为 y_1, y_2, y_3, y_4 中的最大值对应的判断元素, 即倒置 A²/O 实际生产效果为“很好”。

4 结论

(1) 通过改变进水水质和工艺参数进行模拟试验, 运用数据建模的方法建立了高碑店污水处理厂倒置 A²/O 工艺出水预测模型, 实现了工艺出水污染物浓度的预测。

(2) 以工艺出水污染物模型预测浓度与实际生产浓度之差为指标因素, 通过模糊综合评价的方法建立了高碑店污水处理厂倒置 A²/O 工艺出水效果评价模型, 实现了工艺出水效果的评价。

(3) 污水处理厂的进水水质及工艺。参数均是根据实际生产需要在变化的, 就需要通过新的进水水质及工艺参数的条件下进行模拟试验得到预测出水污染物浓度, 以不断的补充数据库的数据内容, 这样数据库才能够更加充分、准确的发挥出水预测的作用。

0.864, 1.843, 2.057, -0.6}, 根据式 (1) 可得:

$$f = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.932 & 0.932 & 0.068 & 0 \\ 0.864 & 0.864 & 0.136 & 0 \\ 0.922 & 0.922 & 0.078 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.88 & 0.03 & 0.33 \end{bmatrix}$$

3.4 建立模糊综合评判模型

根据式 (1) 确定去除效果对判断集中各个离散值的隶属度得出评判集: $R = \{R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6\}$, 评价矩阵为式 (2):

(4) 生产出水的预测模型和出水效果的评价模型应用简捷, 对污水处理厂的日常生产具有一定的指导作用, 有助于工艺的调整和改进。数学模拟技术具有广阔的应用前景, 在进行工艺调整时可以节约中试的时间和资源, 为新工艺的研发、设计、运行都提供了便利。

参考文献:

- [1] 郝晓地, 甘一萍, 周军, 等. 数学模拟技术在污水处理工艺设计—优化—研发中的应用 [J]. 给水排水, 2004, 30 (5): 33 - 36
- [2] Schtze M, Butler D, Beck M B. Modelling, simulation and control of urban wastewater systems [M]. London: Springer, 2002
- [3] Hidromantis GPS - X Technical Reference [M]. Ontario: Hidromantis, Inc. 1995
- [4] 朱向东, 郝二成, 周军, 等. ASM2d 模型在北京高碑店污水处理厂的应用 [J]. 中国给水排水, 2007 (4).
- [5] 徐伟峰. 生物脱氮除磷 ASM2D 模拟及机理研究 [D]. 上海: 同济大学, 2006

- [6] 甘晓明, 邢绍文, 徐高田, 等. 倒置 A^2/O 污水处理工艺的特点及应用实例 [J]. 环境工程学报, 2007, 1 (6): 69 - 71.
- [7] 张代钧, 卢培利, 严晨敏, 等. 活性污泥 2 号模型用于城市污水处理厂脱氮除磷改造的研究 [J]. 环境科学学报, 2003, 23 (3): 332 - 337.
- [8] 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.
- [9] 周志广. 城市污水脱氮除磷过程模拟及工艺优化运

- 行研究 [D]. 上海: 同济大学, 2006.
- [10] 商敏儿. 活性污泥法污水处理过程仿真软件设计及在控制中的应用 [M]. 浙江: 浙江大学, 2002.
- [11] 卜全民. 环境质量模糊评价方法应用研究 [D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [12] 高浩中, 李东. 模糊评判法在市政工程方案优选中的应用 [J]. 市政技术, 2007, 25 (2): 96 - 99.
- [13] 高海勇. 模糊评价法在东湖水环境质量评价中的应用 [J]. 科技情报开发与经济, 2007, 17 (23): 159 - 161.

(上接第 77 页)

二氧化碳和水及细胞物质。

2.3.4 纤维过滤

纤维过滤过程中回转机具对纤维丝施以压榨, 使其纤维丝纵向之间孔隙变小, 水中的悬浮物均被阻挡留在纤维丝外, 过滤后得到清洁的处理水。当过滤器内被截留的悬浮污物 (杂质) 增多, 处理水量下降, 压力达到设定值时, 自动进入反冲洗过程; 反洗时让过滤器的压榨机具放松, 使过滤纤维的孔隙在舒张的状态下, 用压缩空气和处理水反冲洗, 将污物通过排放管排除, 然后又自动进入过滤程序, 从而实现去污存清的原理。

经上述多种方法的综合处理工艺处理后, 废水的 COD 总的去除率可达 98% 以上, 确保废水达标排放。并且该工艺污水处理耗时短、管理方便、不会产生二次污染。

3 结论

通过以上对该废水的实验研究得出了运行的最佳工艺, 即对该类制药废水的处理宜采用多种方法综合处理。首先, 进行预处理, 采用催化氧化去除废水中部分 TOC, 并提高废水的可生化性, 在这一阶段, 处理后出水的 TOC 去除率可达到 60% 左右, 可生化性也大大提高, BOD/COD 达到 0.5 左右。其次, 采用厌氧和好氧相接合工艺去除废水中 95% 以上的 COD。最后, 采用纤维过滤工艺进一步去除水

中剩余的 COD, 同时去除由于曝气而产生的悬浮物, 经该滤池过滤后即可去除 90% 的 SS。经上述工艺处理后的废水可达到排放标准的要求。经初步计算, 采用上述方法处理 1 t 该种制药废水只需运行费用 4.5 元, 仅占焚烧法运行费用的 1.5% (焚烧法处理 1 t 该废水需 300 元), 同时也可减少采用焚烧法而带来的空气污染问题。该工艺同时也为其他难降解有机废水的处理提供了有益的借鉴。

此外, 针对伏立康唑废水可生化性差的特点, 可以与其他可生化程度较高的废水, 如城市生活污水或其他的食品工业废水等共同处理, 开展废水的综合防治, 降低处理浓度和处理成本。同时, 在伏立康唑生产过程中, 应加强清洁生产工艺的研究, 提高原料的利用率以及中间产物和副产品的综合回收利用率。

参考文献:

- [1] 尉宇飞, 雷静, 傅德兴. 新一代三唑类抗真菌药物伏立康唑 [J]. 中国新药杂志, 2003, 12 (1): 27 - 29.
- [2] Zhou L, Randolph D, Glickman, et al. Determination of voriconazole in aqueous humor by liquid chromatography - electrospray ionization - mass spectrometry [J]. Journal of Chromatography B, 2002, 776: 213 - 220.
- [3] 买文宁, 杨明, 曾令斌. 抗生素废水处理工程的设计与运行 [J]. 给水排水, 2002, 28 (4): 42 - 45.