

# 污水处理净化过程的三维细胞自动机动态模拟

乔俊飞, 郭迎春

(北京工业大学 电子信息与控制工程学院, 北京 100124)

**摘要:**针对污水处理过程的复杂性、不可重复性和不可再现性等特点,根据活性污泥的净化机理与动力学特性,在Mckinney等人建立的经典活性污泥法动力学模型的基础上,提出了一种模拟活性污泥净化过程的三维格子气细胞自动机模型.该模型的演化规则根据微生物的增殖规律和经典的动力学模型设计,模型通过模拟有机物和微生物的扩散、反应和沉降过程,反应了活性污泥的整个净化过程.对模型进行的仿真实验结果表明:该模型不仅可以复现污水净化过程,而且更直观地刻画了活性污泥法污水处理过程的动态演化行为,直接反映出活性污泥法系统的表现特征.

**关键词:**活性污泥;三维细胞自动机;污水处理;动态演化

**中图分类号:**TP273 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-4785(2010)05-0419-06

## Dynamic simulation of the sewage purification process based on three-dimensional cellular automata

QIAO Jun-fei, GUO Ying-chun

(College of Electronic and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

**Abstract:** Due to the complexity, non-repeatability, and non-reproducibility of the wastewater treatment process, and according to the purification mechanism and dynamics of activated sludge, a three-dimensional lattice gas cellular automata model based on the classic dynamic model of activated sludge which was created by Mckinney et al, was proposed to simulate the purification process of activated sludge. Rules concerning the evolution of the model were designed based on the proliferation laws of micro-organisms and the classic dynamic model. They reflected the purification process of wastewater by simulating the diffusion, reaction and settlement process of organic matter and microbes. The model simulation results show that the model can not only reproduce the sewage purification process, but also more intuitively describe the behavior of the dynamic evolution of the activated sludge wastewater treatment process, and directly reflect apparent characteristics of the activated sludge system.

**Keywords:** activated sludge; three-dimensional cellular automata; wastewater treatment; dynamic evolution

由于具有处理效果好、运行成本低等特点,污水的活性污泥法生物处理已成为污水处理的主要方法.活性污泥污水处理过程是一个复杂的生化反应过程,它是利用活性污泥的吸附和生化氧化作用来分解去除废水中的有机物质,从而使废水得到净化.该过程具有高度非线性、时变、不确定性和时滞等特点,因此传统的建模方法<sup>[1-3]</sup>很难直接反映出活性污泥法系统的表现特征,从而限制了人们对其生物机理的认识和研究.

细胞自动机(cellular automata, CA)模型是一种可以表现复杂系统行为的模拟方法<sup>[4]</sup>,它可以用一个简单的规则实现复杂物理现象,能十分方便地复现出复杂现象的动态演化过程.目前,细胞自动机在复杂系统建模领域得到了广泛的应用,如雪花结晶模拟<sup>[5]</sup>、森林火灾模拟<sup>[6]</sup>、人工生态系统的构建<sup>[7]</sup>、青霉素发酵模拟等<sup>[8]</sup>.针对污水处理过程特性和建模需要,提出了一种三维格子气细胞自动机模型来复现活性污泥净化废水的过程.

## 1 活性污泥净化过程与机理

### 1.1 活性污泥的净化反应过程

活性污泥法净化废水的过程实质是有机污染物作为营养物质被活性污泥微生物摄取、代谢与利用的过

收稿日期:2009-12-02.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60674066,60873043);国家“863”计划资助项目(2007AA04Z160,2009AA04Z155);教育部博士点基金资助项目(200800050004);北京市自然科学基金资助项目(4092010).

通信作者:乔俊飞. E-mail: junfeiq@bjut.edu.cn.

程. 这一过程主要包括吸附、氧化、沉淀3个阶段.

1) 吸附阶段. 活性污泥在表面上富集着大量的微生物, 其外部覆盖着多糖类的黏质层. 当废水与其接触时, 废水中的有机污染物通过活性污泥的吸附作用被去除.

2) 氧化阶段. 被吸附在活性污泥表面的有机污染物, 一部分被微生物氧化分解生成气体和水等无机物质, 并从中获取合成新细胞物质所需要的能量; 另一部分被微生物用于合成新细胞. 在曝气池的末端, 由于营养物质的匮乏, 微生物通过自身的细胞物质代谢来维持生命, 即微生物进行内源呼吸或自身氧化.

3) 沉降阶段. 当内源呼吸作用逐渐减弱, 微生物的减小量没有明显变化时, 停止曝气. 静置一段时间后, 活性污泥开始在重力作用下沉降.

## 1.2 间歇培养的活性污泥增长动力学

间歇培养方式, 即废水中的有机污染物一次投加到反应器中. 间歇培养的活性污泥微生物的生长过程包含对数增殖期、减速增殖期和內源呼吸期<sup>[9]</sup>.

一般地, 有机污染物量与活性污泥量的  $F/M$  比值  $> 2 \text{ kgBOD}/(\text{kgMLVSS} \cdot \text{d})$  时, 活性污泥微生物处于对数增长阶段, 表示为

$$\Delta X = K_1 X \Delta t. \quad (1)$$

式中:  $X$  是  $t$  时刻 (以  $\text{d}$  来计算) 活性污泥微生物浓度, 单位为  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $K_1$  是活性污泥微生物对数增长速率常数, 单位为  $\text{d}^{-1}$ ,  $K_1$  值约为  $2 \sim 7 \text{ d}^{-1}$ .

当  $F/M$  比值  $< 2 \text{ kgBOD}/(\text{kgMLVSS} \cdot \text{d})$  时, 活性污泥微生物处于减速增殖期阶段, 表示为

$$\Delta S = -K_2 X S \Delta t, \quad (2)$$

$$\Delta X = -Y_{\text{obs}} \Delta S. \quad (3)$$

式中:  $S$  是  $t$  时刻 (以  $\text{d}$  计) 底物浓度, 单位为  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $X$  是  $t$  时刻 (以  $\text{d}$  计) 活性污泥微生物浓度, 单位为  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $K_2$  是减速增长速率常数, 单位为  $\text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ , 活性污泥系统中约为  $0.003 \sim 0.02 \text{ mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ;  $Y_{\text{obs}}$  为表观产率系数, 即去除单位底物实际生成的微生物量, 生活污水一般取  $0.5 \sim 0.65$ .

当微生物的增长趋于稳定时, 进入內源呼吸阶段, 表示为

$$\Delta X = -K_d X \Delta t. \quad (4)$$

式中:  $K_d$  是活性污泥微生物衰减常数, 单位为  $\text{d}^{-1}$ , 活性污泥系统中平均为  $0.06 \text{ d}^{-1}$ .

## 2 三维细胞自动机的模型设计

本文提出的三维格子气细胞自动机的结构如图1所示. 该细胞由2部分组成, 一部分表示作用粒子

结点, 另一部分表示作用空间. 作用粒子结点由图1标出的7个结点组成, 其中白色标出的结点表示扩散结点, 黑色标出的结点表示静止结点; 作用空间表示粒子反应空间 (即水体), 由立方体组成的方形网络组成. 每个细胞的状态由7个结点的粒子状态表示.

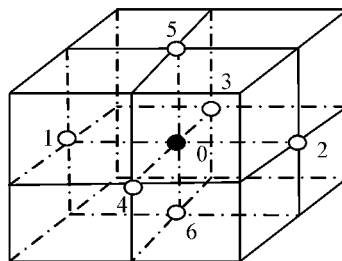


图1 细胞的结构

Fig. 1 Configuration of cellular automata

### 2.1 粒子状态选择

基于活性污泥的净化机理, 选用扩散结点粒子状态为有机污染物、吸附有机物、生成微生物、气体和水4种状态, 静止结点粒子状态为微生物、气体和水2种状态.

有机污染物的状态为2, 具有自由扩散功能; 吸附有机物的状态为4, 表示被细胞内的微生物粒子吸附, 是静止的; 生成微生物的状态是1, 表示吸附有机物被细胞内的微生物粒子合成自身物质, 由于该粒子没有经过驯化, 所以不具有吸附和代谢功能, 可自由扩散; 气体和水的状态是0, 表示吸附有机物被细胞内的微生物粒子分解代谢成气体和水; 微生物的状态是3, 表示该粒子是驯化好的微生物, 具有代谢和吸附的功能. 为了满足排他原理, 对于每个结点, 最多有1个粒子.

### 2.2 演化规则

为保证反应正常进行, 对污水处理系统有如下限制条件: 1) 曝气池中污水的营养源中的  $\text{BOD}:\text{N}:\text{P}=100:5:1$ , 符合微生物生长所需的营养物的比例; 2) 曝气池中溶解氧的浓度维持在  $3 \sim 4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 且均匀分布在曝气池中, 有利于微生物的生理活动正常反应; 3) 进水中无有毒物质, 并且系统运行温度控制在  $20 \sim 30^\circ\text{C}$ ,  $\text{PH}$  值在  $6.5 \sim 8.5$  之间; 4) 保证细菌代谢过程中酶的活性和营养物质的正常利用.

细胞自动机中每个细胞下一时刻的状态只依赖该时刻它的细胞状态, 因此其演化规则具有局部特性, 并对所有细胞是统一的, 并同时应用于每一个细胞.

用  $c_i$  标记结点状态,  $N_i(t, r)$  表示在  $t$  时刻, 细胞  $r$  内第  $i$  个结点的粒子状态,  $S(t, r)$  表示为当前时刻元胞  $r$  的状态. 则  $t$  时刻细胞  $r$  的状态表示为

$$S(r, t) = \sum_{i=0}^6 c_i N_i(t, r).$$

式中:  $i \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$  表示图 1 中元胞的 7 个结点;  $c_i$  取值为 0 或 1, 1 表示该结点存在粒子, 0 表示该结点不存在粒子. 当  $i \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$  时,  $N_i(t, r) \in \{0, 1, 2, 4\}$  表示该结点当前的粒子状态能够取气体和水、生成微生物、有机物、被吸附的有机物 4 种状态. 当  $i=0$  时,  $N_0(t, r) \in \{0, 3\}$  表示静止结点的粒子状态只能取气体和水、微生物 2 种状态. 在细胞自动机的模型中, 时间  $t$  被离散化, 且对于每个离散状态:

$$t = k\Delta T.$$

式中:  $k = \{0, 1, 2, \dots\}$  是离散时间序列,  $\Delta T$  为离散时间间隔.

细胞中每个相同状态的粒子具有相同的质量浓度, 粒子的变化影响微生物和有机物的浓度大小. 基于三维格子气细胞自动机设计了活性污泥法净化过程的演化规则, 演化规则主要包括 3 个部分:

1) 扩散过程. 如果  $t$  时刻,

$$S(r, t) = \sum_{i=1}^6 c_i N_i(t, r) + 0,$$

即静止结点没有微生物粒子, 则扩散结点的粒子作扩散运动, 此时, 该运动保持粒子数守恒, 且当扩散结点有吸附粒子时, 该粒子静止. 扩散运动主要分为 2 种情况.

a) 当扩散结点无吸附有机物粒子时, 粒子将在细胞内作自由扩散运动, 则  $t + \Delta T$  时刻该细胞的状态  $S(r, t + \Delta T)$  为

$$S(r, t + \Delta T) = c_1 N_2 + c_2 N_1 + c_3 N_4 + c_4 N_3 + c_5 N_6 + c_6 N_5.$$

b) 当扩散结点有吸附有机物粒子时, 该结点的吸附粒子静止. 如果其他扩散结点有粒子, 粒子将在其他格位之间作自由扩散运动.

2) 反应过程. 如果  $t$  时刻,

$$S(r, t) = \sum_{i=1}^6 c_i N_i(t, r) + 3,$$

即静止结点有被驯化好的微生物粒子, 该微生物粒子具有吸附、分解和合成该细胞内扩散结点有机物的功能, 同时也具有内源呼吸的功能. 微生物代谢是建立在吸附基础上的, 即有机物只有被微生物吸附了, 才有可能被分解代谢或合成代谢.

基于以上分析, 反应过程的演化规则主要分为以下 4 个规则.

a) 吸附规则. 当此时微生物的增长没有进入稳定期时 (即微生物增长长期增长量  $> 0.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), 有机污染物粒子将以概率  $P_0$  被微生物吸附. 由于

有机物被吸附与静止结点的微生物和扩散结点的有机物有关, 所以吸附概率与微生物和有机物的分布有关, 即

$$P_0 = -\frac{\Delta S}{SP},$$

$$P = P_{11}P_{22}.$$

式中:  $\Delta S$  表示  $\Delta T$  内有机物的浓度变化量, 单位为  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $S$  是  $t$  时刻有机物的浓度, 单位为  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $P$  表示  $t$  时刻有机物分布在微生物周围的概率;  $P_{11}$  表示  $t$  时刻每个格位微生物的占有概率;  $P_{22}$  表示  $t$  时刻每个格位上有机物的占有概率.

b) 分解代谢规则. 该过程为合成代谢提供能量. 当此时微生物的增长没有进入稳定期时, 且合成代谢没有能量时, 每个吸附有机物粒子将以概率  $P_1$  被微生物分解成气体、水和能量, 下一时刻该结点的状态变为 0. 由于每分解一个有机物粒子的能量, 可以供微生物合成 2 个微生物粒子 (基于 Mckinney 模型), 因此吸附有机物被分解与合成的概率比值为 1:2. 又由于分解代谢与合成代谢是建立在有机物被吸附的基础上, 且每一时刻只能发生 1 种反应, 所以微生物的代谢概率等于有机物上一时刻的吸附概率. 则分解概率  $P_1$  为上一时刻吸附概率的 1/3, 即

$$P_1 = \frac{P'_0}{3}.$$

式中:  $P'_0$  表示  $t - \Delta T$  时刻有机污染物的吸附概率.

c) 合成代谢规则. 该过程消耗能量, 为微生物增长阶段. 当此时微生物的增长没有进入稳定期时, 且细胞具有能量时, 每个吸附有机物粒子将以概率  $P_2$  被微生物合成自身物质, 下一时刻该结点的状态变为 1, 且合成概率  $P_2$  为上一时刻吸附概率的 2/3, 即

$$P_2 = \frac{2P'_0}{3}.$$

式中:  $P'_0$  表示  $t - \Delta T$  时刻有机污染物的吸附概率.

d) 内源呼吸规则. 当此时微生物的增长进入稳定期后, 进入内源呼吸阶段. 在此阶段, 每个生成微生物以概率  $P_3$  被活性污泥微生物内源呼吸氧化成气体、水和能量, 产生的能量用来维持生命活动, 此时生成的微生物将从 1 状态变为 0 状态. 由于内源呼吸掉的微生物是生成微生物, 所以内源呼吸概率与生成微生物的概率分布有关, 即

$$P_3 = \frac{-\Delta X}{\Delta X'P'},$$

$$P' = P_{11}P'_{22}.$$

式中:  $\Delta X$  表示  $\Delta T$  内微生物的浓度变化量, 单位为  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $\Delta X'$  表示  $t$  时刻生成微生物的浓度, 单位为  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $P'$  表示  $t$  时刻生成微生物分布在微生物周围

的概率;  $P_{1t}$  表示  $t$  时刻每个格位微生物的占有概率;  $P'_{2t}$  表示  $t$  时刻每个格位上生成微生物的占有概率。

将活性污泥增长动力学特性式(1)~(4)离散化后,可以得到氧化过程中不同微生物增长阶段的概率变化值。

3) 沉降过程. 当内源呼吸作用逐渐减弱,微生物的减小量没有明显变化时,停止曝气;静置一段时间后,微生物和被吸附的有机物由于受到重力的作用,进行沉降;没有被降解的有机物将仍然漂浮在水体中。

### 3 仿真实验

#### 3.1 实验设计

本文通过 VC++ 与 OpenGL 编程实现其动态可视化模拟. 该模拟过程主要展现了曝气期有机物的降解过程和微生物的增长过程,以及曝气后期污水的沉降过程. 现以某城市间歇培养的活性污泥污水处理作为实例,某日排污水量为  $15\,700\text{ m}^3$ ,原污水中混合液的污泥质量浓度为  $2\,500\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,进水的 BOD 浓度为  $200\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,反应器的容积为  $1\,500\text{ m}^3$ 。

经过对活性污泥净化机理的分析和部分实验的验证,选定  $\Delta T = 1/3\text{ h}$ ,初始微生物以  $3/5$  概率均匀分布在每个细胞的静止结点,有机物以  $1/2$  概率均匀

分布在每个细胞的扩散结点. 初始分布如图 2 所示,图中水体的容积为  $1\,500\text{ m}^3$ ,水箱的容积为整个曝气池的容积  $1\,728\text{ m}^3$ ,白色粒子表示有机物,黑色粒子表示微生物。

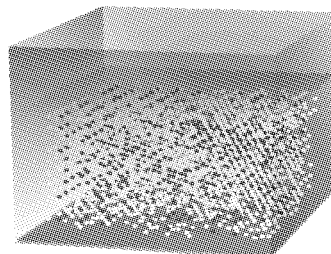


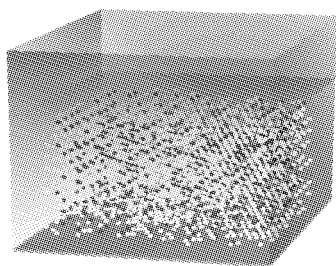
图2 初始反应池的分布

Fig.2 Distribution of the initial response pond

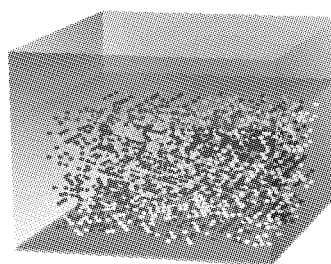
通过初始的设定和对活性污泥动力学特性的分析,可以得到初始污泥负荷  $F/M = 0.837\text{ kgBOD}/(\text{kgMLVSS} \cdot \text{d})$ ,吸附概率  $P_0 = 0.868$ ,分解概率  $P_1 = 0$ ,合成概率  $P_2 = 0$ ,内源呼吸概率  $P_3 = 0$ 。

#### 3.2 仿真结果及分析

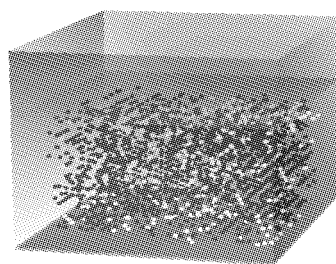
基于上述的演化规则与实验初始模型,以活性污泥的污水净化过程为研究对象,可以得到三维格子气细胞自动机的动态演化过程和曝气期微生物的增长曲线. 演化过程如图 3 所示,微生物增长曲线如图 4 所示。



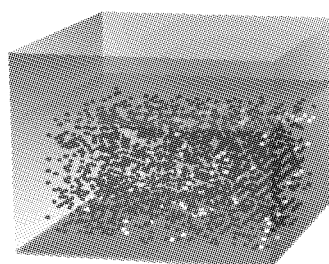
(a) 1/3 h



(b) 2/3 h



(c) 4/3 h



(d) 3 h

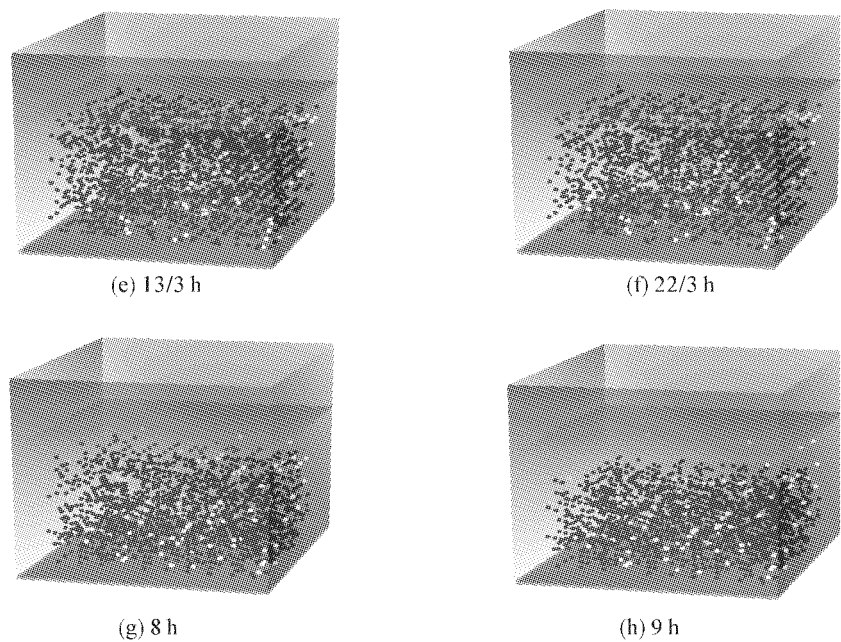


图 3 细胞自动机的演化过程  
Fig. 3 The evolution of cellular automata

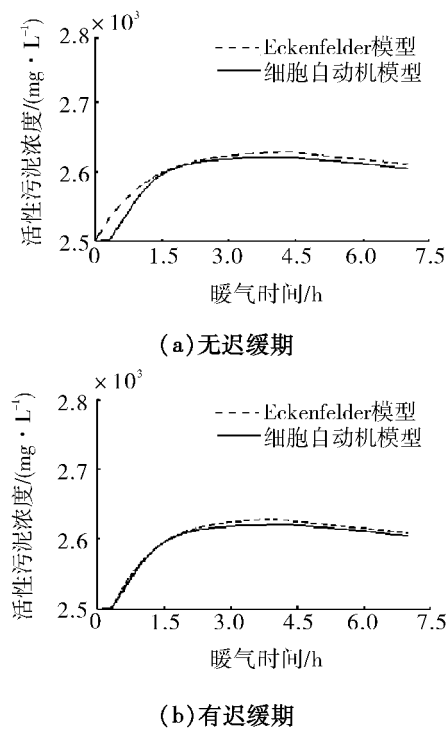


图 4 微生物的增殖曲线  
Fig. 4 The growth curve of microbe

1) 演化过程分析.

图 3 中,白色粒子表示有机污染物,黑色粒子表示微生物.该演化过程主要展示了有机污染物被活性污泥微生物摄取、代谢与利用的过程以及沉降过程.从图 3(a)中可以看出,微生物的量几乎没有变化,这表示该阶段微生物主要进行的是吸附反应.从图 3(a)~3(e)中可以看出,有机物在不断减少,微

生物在不断地增加.这表明微生物不断从其周围环境中摄取废水中的有机污染物作为营养加以摄取、吸收.被微生物摄入的有机物一部分被氧化分解成稳定的无机物质,另一部分被合成新细胞物质.从图 3(e)~3(f)中可以看出,微生物不断减少.这表明随着有机物浓度的不断减少和微生物浓度的不断增加,微生物的营养物质越来越少.活性污泥微生物由于得不到充足的营养物质,而开始大量地利用自身贮存的物质或衰亡菌体进行内源呼吸以维持生命活动.从图 3(f)~3(h)中可以看出,微生物和被吸附有机物开始沉降.这表明随着内源呼吸逐渐减弱,微生物的减小量没有明显变化,停止曝气,静置一段时间后,在重力的作用下微生物和被吸附有机物开始沉降.

2) 微生物增长曲线分析.

图 4 中,从实线可以看出,在初始阶段,活性污泥的量没有增加,表明此阶段主要以吸附为主,对应于图 3(a)的吸附阶段;随后进入了微生物的增值阶段,随着有机物浓度的减少,微生物的增值速率越来越小,对应于图 3(a)~3(d);之后微生物进入了稳定期与内源呼吸期,稳定期表明营养物质殆尽,微生物增值速率几乎为 0,对应于图 3(d)~3(e);内源呼吸期表明由于内源呼吸作用,活性污泥微生物量减少,对应于图 3(e)~3(f).

在 Eckenfelder 模型中,没有考虑初始迟缓期,所以图 4(a)虚线中微生物的增长从初始时刻开始.而在细胞自动机模型中,当有机物被吸附并代谢时,微

生物开始增长. 所以图 4(a) 实线中微生物的增殖曲线有个迟缓期, 即有机物初始吸附期. 如果考虑 Eckenfelder 模型初始与细胞自动机模型有相同的迟缓期, 可以得到图 4(b). 从图中可以看出, 细胞自动机的仿真曲线很好地模拟了活性污泥生长模式曲线的增殖期、稳定期和衰亡期, 与理论上 Eckenfelder 模型的模式曲线基本一致, 验证了其有效性.

#### 4 结束语

本文采用三维格子气细胞自动机模拟了间歇培养的活性污泥法曝气池内有机物与微生物之间的吸附、代谢、沉降过程. 该模型是以微生物和 BOD 有机物为研究对象, 从微观上模拟了微生物的增殖过程和有机物的降解过程.

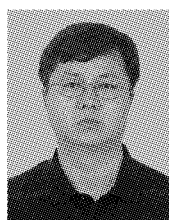
与传统方法相比, 本方法利用三维格子气细胞自动机模拟实现了活性污泥净化过程, 根据微生物的增殖规律和活性污泥的动力学特性确定了动态的概率演化规则, 建立接近真实世界的虚拟代谢过程的模拟模型, 更直观地刻画了活性污泥法污水处理过程的动态演化行为, 使得活性污泥系统微观的演化行为更为明晰和易于把握, 通过直观观测反应变化, 可以及时监测出水质 BOD, 便于实时指导控制的决策, 污水处理厂的设计和动态模拟.

本文的研究虽取得一定的进展, 但尚有许多方面有待进一步改进和深入研究. 细胞自动机在活性污泥法污水处理过程中的研究尚处于刚刚起步的阶段, 将其应用于污水处理过程的实际控制中还有待时日.

#### 参考文献:

- [1] 于广平, 范明哲, 王宏. 基于简化活性污泥数学模型的污水处理仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(23): 5366-5369.
- YU Guangping, FAN Mingzhe, WANG Hong. Activated sludge sewage treatment simulation based on simplified mathematical model[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(23): 5366-5369.
- [2] 丛秋梅, 柴天佑, 余文. 污水处理过程的递阶神经网络建模[J]. 控制理论与应用, 2009, 26(1): 8-14.
- CONG Qiumei, CHAI Tianyou, YU Wen. Modeling wastewater treatment plant via hierarchical neural networks[J]. Control Theory & Applications, 2009, 26(1): 8-14.
- [3] ZHAO Lijie, CHAI Tianyou, CONG Qiumei. Hybrid dynamic model of anoxic-aeration biological wastewater treatment plant[C]//Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation. Dalian, China, 2006: 4781-4785.
- [4] DURRETT R, LEVIN S A. Allelopathy in spatially distributed populations[J]. Journal of Theoretical Biology, 1997, 185(2): 165-171.
- [5] CHEN Ning, REITER C A. A cellular model for three-dimensional snow crystallization[J]. Computers & Graphics, 2007, 31(4): 668-677.
- [6] ALEXANDRIDIS A, VAKALIS D, SIETTOS C I, et al. A cellular automata model for forest fire spread prediction: the case of the wildfire that swept through Spetses Island in 1990[J]. Applied Mathematics and Computation, 2008, 204(1): 191-201.
- [7] 撒力, 熊范纶, 王儒敬, 等. 一个人工生态系统的构建[J]. 模式识别与人工智能, 2005, 18(3): 345-349.
- SA Li, XIONG Fanlun, WANG Rujing, et al. Construction of an artificial ecosystem[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2005, 18(3): 345-349.
- [8] YU Naigong, RUAN Xiaogang. Penicillin fermentation biomass growth model using cellular automata[C]//Proceedings of the Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation(WCICA 2004). Hangzhou, China, 2004: 216-220.
- [9] ECKENFELDER W W, CONOR D. Biological waste treatment[M]. New York: Pergamon Press, 1961: 31-33.

#### 作者简介:



乔俊飞, 男, 1968 年生, 教授、博士生导师、博士, 北京人工智能学会秘书长, 中国人工智能学会科普工作委员会秘书长, 《控制工程》期刊编委. 主要研究方向为智能控制理论、方法与应用. 曾获得北京市教育教学成果奖二等奖、

北京市科学技术奖三等奖, 被评为北京市优秀教师、北京市科技新星. 发表学术论文近 100 篇, 其中被 SCI/EI 检索 60 余篇.



郭迎春, 女, 1984 年生, 硕士研究生, 主要研究方向为智能信息处理与智能特征建模.