

# 生物反应器填埋场有机物预测模型及其参数不确定性分析

霍守亮<sup>1</sup>, 樊石磊<sup>1,2</sup>, 席北斗<sup>1</sup>, 吕 鑫<sup>2</sup>

(1. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 2. 北京工业大学 建筑工程学院, 北京 100022)

**摘 要:** 为准确预测填埋场渗滤液有机污染物浓度, 为填埋场的运行管理提供决策依据, 以减少环境污染风险, 根据质量守恒和有机物降解动力学原理, 建立了填埋场中渗滤液有机物浓度动态变化模型, 采用四阶经典 Runge-Kutta 算法对模型进行了求解, 通过室内模拟实验对模型中参数进行了率定, 并对模拟结果进行了效率评价和 T 检验, 两填埋柱模拟效率系数分别为 0.776 6 和 0.919 3, 表明了实测值和模拟值具有较好的一致性. T 检验的结果表明: 模拟值和实测值没有显著性差异. 鉴于获取数据的限制, 对模型参数进行了敏感性分析, 3 个关键参数的敏感性指数依次为  $\bar{k}_1 > \bar{k}_a > \bar{k}_{sg}$ , 同时运用 Monte Carlo 方法对模型参数进行了不确定性分析, 从而使模型能更加全面合理地模拟复杂多变的填埋过程.

**关键词:** 生物反应器填埋场; 敏感性分析; 参数不确定性

中图分类号: X 703

文献标识码: A

文章编号: 0254 - 0037(2008)10 - 1098 - 07

垃圾填埋场被越来越多地强调作为生物反应器运行, 以加快垃圾的降解和稳定化, 增加填埋场的有效容量, 提高气体产率, 对渗滤液进行原位处理, 减少填埋费用<sup>[1-3]</sup>. 填埋场的数学模拟可以预测渗滤液污染物浓度和产气量, 为完善填埋场的运行管理提供决策依据, 从而减少环境污染风险. 国外对于生物反应器填埋场中污染物的降解模型化进行了大量研究<sup>[4-14]</sup>, 但国外的大多数模型考虑的参数太多, 在应用时无法获得足够的参数, 难以应用于实际工程的设计和运行管理. 国内一些研究者也开展了相关研究<sup>[15-18]</sup>. 由于填埋场内部是一个极其复杂的物理和生物化学系统, 反应过程十分复杂且不规律, 实际的变化过程很难描述, 另外, 填埋场代表性数据的缺乏、任何可用的数据都有很大程度的不确定性, 这些问题给建立合理有效的填埋模型带来了很大困难<sup>[4-5]</sup>.

本文综合考虑填埋场内部污染物在固、液和气相的动态转化, 利用质量守恒和污染物降解动力学原理, 建立了填埋场中固相和液相有机污染物浓度动态变化模型, 并利用模拟试验结果进行了模型参数率定, 对模拟结果进行了效率评价, 对模型参数进行了敏感性分析和不确定性分析, 希望为生物反应器填埋场有机物浓度变化的预测以及生物反应器填埋场工程的设计和运行提供参考依据.

## 1 模型的建立与求解

填埋场中垃圾降解主要是微生物的作用过程, 假设填埋场内部的反应都符合一级反应动力学, 根据质量守恒和填埋场中有机物的降解动力学原理, 得到填埋场内固液相有机污染物浓度随时间变化的方程组. 其中, 液相的方程组为

$$\begin{aligned} \frac{V_l dc_1}{dt} &= Q_0 c_0 + (rQ)c_1 + R_{sl} - R_1 - (1-r)Qc_1 = \\ & Qc_0 + (rQ)c_1 + \bar{k}_{sl}M_s - \bar{k}_1M_1 - (1-r)Qc_1 = \end{aligned}$$

收稿日期: 2007-06-28.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2005CB724203).

作者简介: 霍守亮(1981-), 男, 安徽霍邱人, 助理研究员; 吕 鑫(1952-), 男, 江苏南京人, 教授.

$$Qc_0 + (rQ)c_1 + \bar{k}_{al}(V_s c_s) - \bar{k}_l(V_1 c_1) - (1-r)Qc_1 \tag{1}$$

固相的方程组为

$$\begin{aligned} \frac{V_s dc_s}{dt} = & -R_{sl} - R_{sg} + R_{ls} = -\bar{k}_{sl}M_s - \bar{k}_{sg}M_s + \bar{k}_{ls}M_l = \\ & -\bar{k}_{sl}(V_s c_s) - \bar{k}_{sg}(V_s c_s) + \bar{k}_{ls}(V_1 c_1) \end{aligned} \tag{2}$$

式中,  $Q$  主要是降雨通过填埋场表面覆盖层进入填埋体的水量, 它的量主要依靠填埋当地的降雨量、蒸发量以及填埋场表面的覆盖类型;  $Q_0$  为单位时间进入填埋场内部的水量, 降雨的污染物浓度  $c_0$  可以认为是 0;  $V_1$  为填埋场系统液相体积;  $c_1$  为任一时间渗滤液中污染物的浓度;  $V_s$  为填埋反应器中固体废物的净体积;  $c_s$  为任一时间固相中污染物的浓度;  $r$  为渗滤液回灌率, 其值在 0~1;  $R_{sl}$  为有机物从固相向液相的迁移速率(mg/d);  $R_{ls}$  为有机物从液相向固相的迁移速率(mg/d);  $M_s$  为固相中有机物总量(mg);  $k_{s,i}$  为固相第  $i$  组分从固相向液相每天的迁移速率( $d^{-1}$ );  $M_{s,i}$  为固相第  $i$  组分有机物的量(mg);  $\bar{k}_{sl}$  为有机物从固相向液相每天的平均迁移速率常数;  $\bar{k}_{ls}$  为有机物从液相向固相每天的平均迁移速率常数, 平衡时  $\bar{k}_{sl} = \bar{k}_{ls}$ ;  $M_l$  为液相中有机物的总量(mg);  $R_{sg}$  为固相直接完全降解的速率( $mg \cdot d^{-1}$ );  $\bar{k}_{sg}$  为固相直接完全降解的每天平均速率常数;  $R_l$  为液相中有机物的降解速率(mg/d);  $M_l$  为液相中有机物降解的总量(mg);  $\bar{k}_l$  为液相中有机物的降解每天平均速率常数.

整理后得

$$\begin{aligned} \frac{dc_1}{dt} = & \frac{Q_0 c_0}{V_1} + \frac{(rQ)c_1}{V_1} + \bar{k}_{al}c_s(V_s/V_1) - \bar{k}_l c_1 - \frac{(1-r)Qc_1}{V_1} \\ \frac{dc_s}{dt} = & -\bar{k}_{sl}c_s - \bar{k}_{sg}c_s + \bar{k}_{ls}c_1(V_1/V_s) \end{aligned} \tag{3}$$

利用四阶经典 Runge-Kutta 算法对上述方程组进行求解, 用 Matlab 编程, 计算出回灌型生物反应器填埋场内部的渗滤液中有有机物浓度的动态变化.

## 2 模型参数的率定

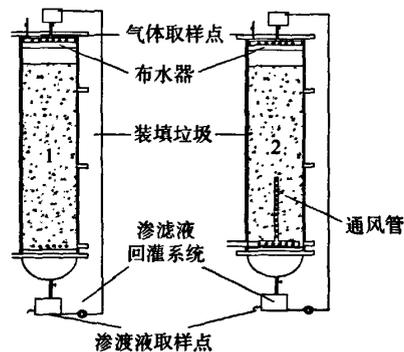
### 2.1 实验装置与方法

实验采用 2 个模拟填埋柱(见图 1), 1 号柱为简单渗滤液回灌, 2 号柱内模拟准好氧填埋过程, 具体实验方法见文献[19-20].

### 2.2 模型参数确定

通过填埋模拟试验数据, 优化模型的参数, 最后确定的参数见表 1, 模拟结果如图 2 和图 3 所示.

通过模拟结果可以看出, 各反应器的渗滤液  $BOD_5$  和模拟结果吻合较好, 表明该模型可以比较精确地预测填埋场渗滤液可降解有机物的浓度, 可为填埋场的设计以及渗滤液处理工艺提供参数依据.



1 号柱: 渗滤液简单回灌; 2 号柱: 回灌型准好氧填埋柱

图 1 模拟填埋实验装置图

Fig. 1 Schematic diagram for simulated anaerobic and semi-aerobic reactors

表 1 优化的模型参数

Table 1 Optimized parameters used in simulation

参数	$V_1/m^3$	$Q_0/(m^3 \cdot a^{-1})$	$C_0/(mg \cdot L^{-1})$	$V_s/m^3$	$\Delta t/d$	$\bar{k}_b$	$\bar{k}_l$	$\bar{k}_{sg}$	$r$
1 号柱	0.009 4	0.018 7	0	0.017 3	1	0.95	5	0.5	1
2 号柱	0.009 4	0.018 7	0	0.017 3	1	1.6	13.5	1.72	1

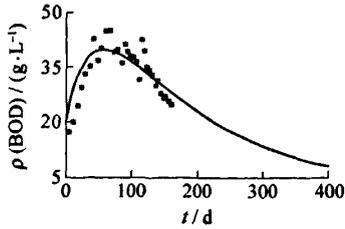
图2 1号柱渗滤液 BOD<sub>5</sub> 预测结果

Fig.2 The results of BOD<sub>5</sub> simulation in the leachate of column 1

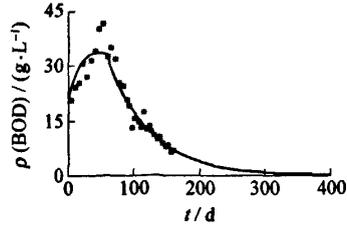
图3 2号柱渗滤液 BOD<sub>5</sub> 预测结果

Fig.3 The results of BOD<sub>5</sub> simulation in the leachate of column 2

### 2.3 模拟结果分析

本文中选用 Nash 和 Sutcliffe 于 1970 年提出的效率系数  $R^2$  和  $T$  检验来对模型模拟的结果进行效率评价。其中,效率系数  $R^2$  的计算公式为

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_{mea,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{mea,i} - \bar{Q}_{mea})^2} \quad (4)$$

$$T = \frac{\bar{Q}_{sim} - \bar{Q}_{mea}}{S_w \sqrt{\frac{2}{n}}} \quad (5)$$

$$S_w = \sqrt{\frac{1}{n+n-2} \left[ \sum_{i=1}^n (Q_{sim} - \bar{Q}_{sim})^2 + \sum_{i=1}^n (Q_{mea} - \bar{Q}_{mea})^2 \right]} \quad (6)$$

式中,  $Q_{sim,i}$  和  $Q_{mea,i}$  分别为模拟值和实测值;  $\bar{Q}_{sim}$  为模拟值平均值;  $\bar{Q}_{mea}$  为实测平均值;  $n$  为样本个数。当模拟值和实测值相等时,  $R^2=1$  表示非常吻合; 当  $R^2 < 1$  时, 其值越小表明吻合程度越低。

$T$  为检验统计量; 显著性水平  $\alpha$  取值 0.05; 当模拟值和实测值求出的检验统计量  $T$  小于在显著性水平为 0.05 条件下的  $t$  双尾临界值时, 则认为模拟值和实测值无显著性差异。

通过上述方法对两填埋柱的模拟结果进行分析, 模拟结果和实测值数据的  $R^2$  和  $T$  值如表 2 所示。两填埋柱模拟效率系数分别为 0.776 6 和 0.919 3, 表明了实测值和模拟值具有较好的一致性。从  $T$  检验的结果来看, 在  $\alpha = 0.05$  的显著性水平下, 两填埋柱检验统计量  $T$  远小于  $t$  分布临界值, 说明模拟值和实测值之间不存在显著性差异。

表 2 模型模拟的效率评价

Table 2 Efficiency assessment of model simulation

分析参数	1号柱	2号柱
$R^2$ 效率系数	0.776 6	0.919 3
$T$ 检验统计量	0.178 7	0.051 4
$t$ 分布临界值	2.039 51	2.039 51

### 3 模型参数敏感性分析

为了对模型的适用性进行评估, 建立了参数输入和模型输出的响应关系, 评估由参数输入波动引起的模型输出的变化率, 决定哪些参数对模型输出起关键性的作用, 本文对参数的敏感性进行了分析, 计算出各参数的敏感性指数。敏感性指数的计算采用文献[21]的方法。

敏感性分析的模型参数变化和敏感性指数见表 3。模拟结果见图 4~图 9。结果表明: 3 个关键参数的敏感性指数排序是  $k_1 > k_{ls} > k_{wg}$ , 液相有机物降解的速率常数的变化对模型的模拟结果影响最大, 固相有机物向液相有机物的溶出速率常数的影响次之, 而固相直接降解速率常数对模型的模拟结果影响最小。

表3 敏感性分析的模型参数变化

Table 3 Parameter change for sensitivity analysis

不变的模型参数	1号柱		2号柱	
	变化的模型参数	敏感性指数	变化的模型参数	敏感性指数
$\bar{k}_1, \bar{k}_{sg}$	$\bar{k}_b(0.45, 0.95, 1.45 \text{ d}^{-1})$	$I(\bar{k}_b) = 0.5649$	$\bar{k}_b(1.2, 1.6, 2.0 \text{ d}^{-1})$	$I(\bar{k}_b) = 0.5729$
$\bar{k}_b, \bar{k}_{sg}$	$\bar{k}_1(3.0, 5.0, 7.0 \text{ d}^{-1})$	$I(\bar{k}_1) = 2.0189$	$\bar{k}_1(10, 13.5, 17 \text{ d}^{-1})$	$I(\bar{k}_1) = 1.5748$
$\bar{k}_b, \bar{k}_1$	$\bar{k}_{sg}(0.25, 0.5, 0.75 \text{ d}^{-1})$	$I(\bar{k}_{sg}) = 0.3756$	$\bar{k}_{sg}(1.44, 1.72, 2.0 \text{ d}^{-1})$	$I(\bar{k}_{sg}) = 0.5005$

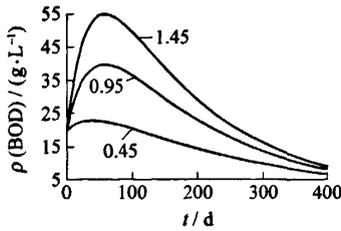


图4 1号柱不同 $\bar{k}_b$ 值下渗滤液 $BOD_5$ 模拟值的敏感性分析  
Fig.4 Sensitivity analysis of  $BOD_5$  simulation of column 1 in the leachate at different  $\bar{k}_b$  values

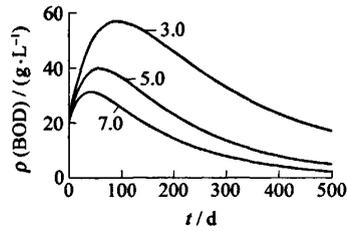


图5 1号柱不同 $\bar{k}_1$ 值下渗滤液 $BOD_5$ 模拟值的敏感性分析  
Fig.5 Sensitivity analysis of  $BOD_5$  simulation of column 1 in the leachate at different  $\bar{k}_1$  values

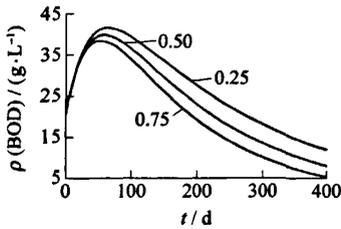


图6 1号柱不同 $\bar{k}_{sg}$ 值下渗滤液 $BOD_5$ 模拟值的敏感性分析  
Fig.6 Sensitivity analysis of  $BOD_5$  simulation of column 1 in the leachate at different  $\bar{k}_{sg}$  values

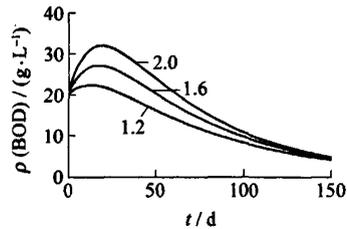


图7 2号柱不同 $\bar{k}_b$ 值下渗滤液 $BOD_5$ 模拟值的敏感性分析  
Fig.7 Sensitivity analysis of  $BOD_5$  simulation column 2 in the leachate at different  $\bar{k}_b$  values

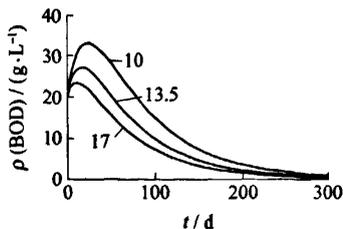


图8 2号柱不同 $\bar{k}_1$ 值下渗滤液 $BOD_5$ 模拟值的敏感性分析  
Fig.8 Sensitivity analysis of  $BOD_5$  simulation column 2 in the leachate at different  $\bar{k}_1$  values

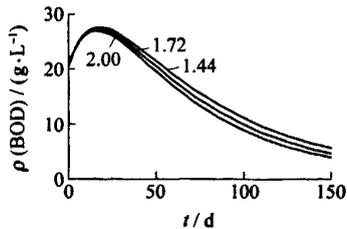


图9 2号柱不同 $\bar{k}_{sg}$ 值下渗滤液 $BOD_5$ 模拟值的敏感性分析  
Fig.9 Sensitivity analysis of  $BOD_5$  simulation column 2 in the leachate at different  $\bar{k}_{sg}$  values

## 4 模型参数不确定性分析

### 4.1 不确定性分析方法

在模型预测过程中,模型的复杂结构和相关参数的识别之间会存在一些不稳定现象,这就出现了数据的不确定性问题.本模型中的3个污染物降解参数  $\bar{k}_b$ 、 $\bar{k}_1$ 、 $\bar{k}_{ng}$  是填埋过程中许多复杂成份转化的平均速率,所以降解速率并不是一个稳定的值,同时,填埋过程是一个多组分的复杂系统,填埋内部物质降解过程也存在很大的不确定性.本文应用 Monte Carlo 方法对污染物降解参数  $\bar{k}_b$ 、 $\bar{k}_1$ 、 $\bar{k}_{ng}$  不确定性进行了分析.

Monte Carlo 方法是多次连续的运行模型,每次参数的输入值都不同,每次的参数取值都是在参数值限定的范围内随机抽取,被抽中数值的概率符合一定的概率密度函数.把多次运算结果收集起来,并将收集的运算结果用统计学方法进行处理,从而使参数值的不确定性对模拟结果的影响得到量化.

### 4.2 不确定性分析结果

参数的限定范围是以优化的模型参数值为基础,各参数值上下浮动 50%,参数随机抽取数值的概率密度在参数的限定范围内符合均匀分布.应用 Matlab 编程在参数的取值范围内产生符合均匀分布的随机数,并用 Monte Carlo 方法抽取 1000 次随机数作为参数的输入值,运行模型 1000 次,模拟结果求均值.同时求出参数平均值和标准偏差 standard deviation(std dev),在参数平均值的基础上加减一个标准偏差进行模拟,参数的取值范围见表 4.模拟结果见图 10~15.

表 4 Monte Carlo 模拟的参数表

编号	参数	$\bar{k}_b$	$\bar{k}_1$	$\bar{k}_{ng}$
1号柱	最小值	0.475	2.5	0.5
	最大值	1.425	7.5	1.5
	均值	0.957	4.985	1.006
2号柱	最小值	0.8	6.75	0.86
	最大值	2.4	20.25	2.58
	均值	1.588	13.508	1.715

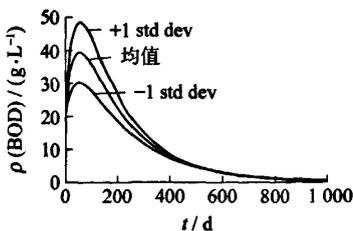


图 10 1号柱不同  $\bar{k}_b$  的不确定分析

Fig. 10 Uncertainty analysis of column 1 of  $\bar{k}_b$

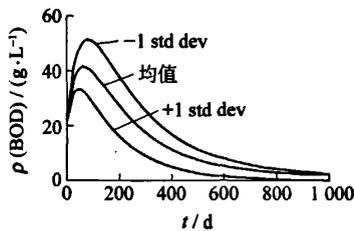


图 11 1号柱  $\bar{k}_1$  的不确定性分析

Fig. 11 Uncertainty analysis of column 1 of  $\bar{k}_1$

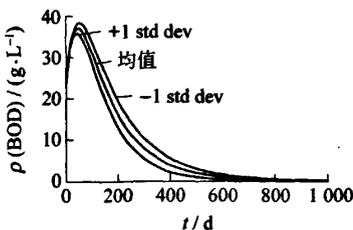


图 12 1号柱  $\bar{k}_{ng}$  的不确定性

Fig. 12 Uncertainty analysis of column 1 of  $\bar{k}_{ng}$

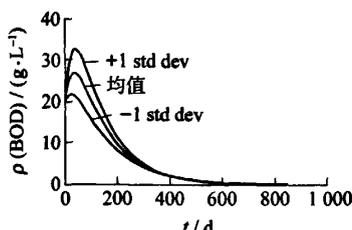
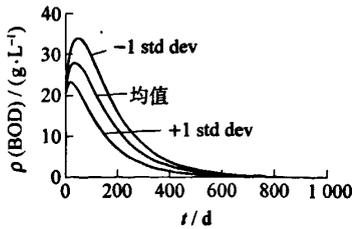
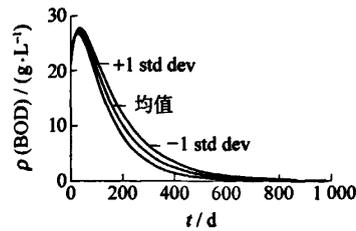


图 13 2号柱  $\bar{k}_b$  的不确定性分析

Fig. 13 Uncertainty analysis of column 2 of  $\bar{k}_b$

不确定性分析结果表明:参数的不确定性对模型的输出结果影响非常明显,  $\bar{k}_b$  对模拟结果的峰值区

图 14 2号柱  $\bar{k}_1$  的不确定性分析Fig. 14 Uncertainty analysis of column 2 of  $\bar{k}_1$ 图 15 2号柱  $\bar{k}_{ng}$  的不确定性分析Fig. 15 Uncertainty analysis of column 2 of  $\bar{k}_{ng}$ 

域影响最灵敏,对后期的影响不灵敏, $\bar{k}_1$ 对模拟结果的影响始终比较灵敏, $\bar{k}_{ng}$ 对模拟后期有轻微的影响。这个结果可为填埋场封场后的运行管理提供决策依据,在填埋的不同阶段,采取措施加速有机物的降解。

## 5 结束语

本文建立了填埋场中渗滤液有机物浓度动态变化模型,通过试验数据对模型中的参数进行了率定,用效率系数法和 T 检验 2 种方法对模拟结果进行检验,结果表明:实测值和模拟值具有较好的一致性,没有显著性差异。对模型的参数进行了敏感性分析,为在填埋过程中找到污染物降解关键因素提供了条件。采用 Monte Carlo 方法对参数的不确定性进行了分析,从而使模型能更加全面合理地模拟复杂多变的填埋过程。

### 参考文献:

- [1] MEHTA R, BARLAZ M A, YAZDANI R, et al. Refuse decomposition in the presence and absence of leachate recirculation [J]. *J Environ Eng*, 2002, 128(3): 228-236.
- [2] POHLAND F G, KIM J C. Microbially mediated attenuation potential of landfill bioreactor systems[J]. *Water Sci Technol*, 2000, 41(3): 247-254.
- [3] REINHART D R, MCCREANOR P T, TOWNSEND T. The bioreactor landfill: its status and future[J]. *Waste Manage Res*, 2002, 20(2): 172-186.
- [4] ZACHAROF A I, BUTLER A P. Stochastic modelling of landfill leachate and biogas production incorporating waste heterogeneity[J]. *Waste Manage*, 2004, 24: 453-462.
- [5] ZACHAROF A I, BUTLER A P. Stochastic modelling of landfill processes incorporating waste heterogeneity and data uncertainty[J]. *Waste Manage*, 2004, 24: 241-250.
- [6] BOU-ZEID E, EL-FADEL M. Parametric sensitivity analysis of leachate transport simulations at landfills[J]. *Waste Manage*, 2004, 24: 681-689.
- [7] EL-FADEL M, FINDIKAKIS A N, LECKIE J O. Numerical modelling of generation and transport of gas and heat in landfills I. model formulation[J]. *Waste Manage Res*, 1996, 14: 483-504.
- [8] EL-FADEL M, FINDIKAKIS A N, LECKIE J O. Numerical modelling of generation and transport of gas and heat in sanitary landfills: II. model application[J]. *Waste Manage Res*, 1996, 14: 537-551.
- [9] EL-FADEL M, FINDIKAKIS A N, LECKIE J O. Numerical modelling of generation and transport of gas and heat in landfills 3. sensitivity analysis [J]. *Waste Manage Res*, 1997, 15: 87-102.
- [10] EL-FADEL M, FINDIKAKIS A N, LECKIE J O. Environmental impacts of solid waste landfilling[J]. *Journal of Environ Manage*, 1997, 50: 1-25.
- [11] EL-FADEL M, FINDIKAKIS A N, LECKIE J O. Modelling leachate generation and transport in solid waste landfills[J]. *Environ Technol*, 1997, 18: 669-686.
- [12] EL-FADEL M, KHOURY R. Modelling settlement in MSW landfills: a critical review [J]. *Critical Reviews on Environ Sci Technol*, 2000, 30(3): 327-361.
- [13] RICHEN T, USTOHALOVA V. Modeling of thermal mass transfer in porous media with applications to the organic phase transition in landfills [J]. *Computational Mater Sci*, 2005, 32: 498-508.
- [14] HAARSTRICK A, HEMPEL D C, OSTERMANN L, et al. Modelling of the biodegradation of organic matter in municipal

- landfills [J]. Waste Manage Res, 2001, 19: 320-331.
- [15] 王昊, 赵勇胜, 韦庆. 固体废弃物渗滤液组分动态变化预测[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6): 256-257.  
WANG Hao, ZHAO Yong-sheng, WEI Qing. Prediction of leachate component variation in municipal solid waste landfill [J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2003, 16(6): 256-257. (in Chinese)
- [16] 罗春泳, 胡亚元, 陈云敏, 等. 垃圾填埋场渗滤液回灌效果的理论研究[J]. 中国给水排水, 2003, 19(2): 5-8.  
LUO Chun-yong, HU Ya-yuan, CHEN Yun-ming, et al. Theoretical study on the effect of leachate recirculation from refuse landfill[J]. China Water & Wastewater, 2003, 19(2): 5-8. (in Chinese)
- [17] 王洪涛, 殷勇. 渗滤液回灌条件下生化反应器填埋场水分运移数值模拟[J]. 环境科学, 2003, 24(2): 66-72.  
WANG Hong-tao, YIN Yong. Numerical simulation of moisture movement in landfill bioreactors under the condition of leachate recirculation [J]. Environmental Sciences, 2003, 24(2): 66-72. (in Chinese)
- [18] 蒋建国, 毕志清, 王伟, 等. 填埋场渗滤液水质变化预测模型实验研究[J]. 环境科学, 2002, 23(5): 92-95.  
JIANG Jian-guo, BI Zhi-qing, WANG Wei, et al. Experimental study on prediction model for leachate quality variation in MSW landfills[J]. Environmental Sciences, 2002, 23(5): 92-95. (in Chinese)
- [19] 霍守亮, 席北斗, 樊石磊, 等. 回灌型准好氧填埋场脱氮特性及加速稳定化研究 [J]. 环境工程学报, 2008, 2(2): 253-259.  
HUO Shou-liang, XI Bei-dou, FAN Shi-lei, et al. Nitrogen removal and acceleration the stabilization of waste in recirculated semi-aerobic bioreactor landfills[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2008, 2(2): 253-259. (in Chinese)
- [20] 霍守亮, 席北斗, 樊石磊, 等. 生物反应器填埋场有机物变化模型研究. 环境科学研究, 2007, 20(5): 110-114.  
HUO Shou-liang, XI Bei-dou, FAN Shi-lei, et al. A mathematical model simulating organic variation in bioreactor landfill [J]. Research of Environmental Sciences, 2007, 20(5): 110-114. (in Chinese)
- [21] LENHART T, ECKHARDT K, FOHRER N, et al. Comparison of two different approaches of sensitivity analysis[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2002, 27: 645-654.

## Mathematical Model Simulating Organic Variation and Uncertainty Analysis in the Bioreactor Landfill

HUO Shou-liang<sup>1</sup>, FAN Shi-lei<sup>2</sup>, XI Bei-dou<sup>1</sup>, LÜ Jian<sup>2</sup>

(1. China Research Academy of Environmental Science, Beijing 100012, China; 2. College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

**Abstract:** The objective of this work is to develop a numerical model to stimulate organic variation accurately in the leachate, to provide support for landfill management, and to minimize the risks of environmental pollution. A mathematical model simulating organic variation in the leachate of bioreactor landfill was presented and demonstrated based on mass balance of contaminants and degradation kinetics. The model was solved numerically using a fourth-order Runge-Kutta algorithm and the model parameters were validated by monitoring data. Efficiency assessment and T test were performed for simulating results, and the efficiency coefficients were respectively 0.776 6 and 0.919 3 for column 1 and column 2. T test result showed that the simulating results and monitoring data have no marked difference. Given the limitations in data capture, a sensitivity analysis was performed, highlighting the model's response to changes in input variables. The sensitivity index of  $k_1$  was more than that of  $k_{1s}$ , and it was the least for  $k_{sg}$ . Moreover, illustrative examples of the model's output are presented to demonstrate effects of data uncertainty on organic concentration by Monte Carlo method. Thus, the numerical model presented in paper can stimulate the organic variation accurately and comprehensively in the complexly changeable landfill.

**Key words:** bioreactor landfill; sensitivity analysis; parameter uncertainty

(责任编辑 苗艳玲)