

两种氧化塘数学模式的研究*

胡西城 何增耀

(浙江农业大学, 杭州, 310029)

摘 要

本文对完全混合流模式的修正式和类Michaelis-Menton方程模式两种氧化塘数学模式进行了研究。研究表明,这两种模式在模型好氧塘中有很好的适用性;这两种模式中的参数的讨论对于认识有机污染物在氧化塘中的降解及其微生物与污染物的相互作用有一定意义。

关键词: 氧化塘, 数学模式, 完全混合流模式, Michaelis-Menton方程模式

目前,越来越多的国家采用氧化塘技术处理城镇生活污水和工业废水。在我国,氧化塘也已经成为防治水污染,实现污水资源化的一条重要技术途径。随着氧化塘处理技术的发展,描述氧化塘运行规律的数学模式愈来愈引起人们的重视。但是由于影响氧化塘运行因素的复杂性,以前提出的各种氧化塘的数学模式都存在着一一定的局限性。因此,氧化塘数学模式的深入和多样化的研究,仍然是一项重要工作。本文将讨论氧化塘运行规律的两种数学模式,以期氧化塘数学模式的研究提供更多的思维方法。

数 学 模 式

1. 完全混合流模式的修正

完全混合流模式是化学反应器中的一种理想模式。这种模式可以根据物料平衡的关系导出,在进出塘体的水流量恒定和塘内水体完全混合的条件下,污染物质存在着以下平衡关系:

单位时间进入单位塘 = 单位时间从单位塘体中 + 单位时间在单位塘体中
体中污染物质数量 流出剩余污染物质数量 去除污染物质的数量
用符号表示,即为:

$$Q \cdot S_0 = Q \cdot S_e + V \cdot r$$

式中, Q 为进出塘的水体积流量; S_0 为进水中污染物质的浓度; S_e 为出水中污染物质的浓度; V 为塘体积; r 为污染物质的去除速率。一般认为,污染物在水体中的去除为一级反应,即 $r = kS_e$ 。又因为水体在塘中的停留时间 $t = V/Q$, 所以有:

$$S_e/S_0 = \frac{1}{1 + kt}$$

* 浙江省自然科学基金资助课题。

或: $(S_0 - S_e)/t = kS_0$

这就是完全混合流模式。Marais和Shaw首先建议在氧化塘的设计中使用这种模式^[1]。但是许多研究表明, 污染物质在氧化塘内不可能是完全混合的, 其主要表现为由完全混合流模式计算所得的底物去除速率常数 k 不稳定, 波动范围较大^[2,3]。可是这种模式中经验参数少、模式形式简单, 而且完全混合流模式是液流反应器模式中效率最低的一种, 用它来估计氧化塘的设计参数, 至少可以保证氧化塘实际运行有较好的效果, 所以该模式在氧化塘的研究中至今仍广泛地得到应用^[4]。因此, 氧化塘的完全混合流模式的修正较之摒弃更具有意义。

分析完全混合流模式可以看出, 当 $t \rightarrow \infty$ 时, $S_e = 0$, 即 $(S_0 - S_e)/t$ 对 S_0 作图, 得一通过原点的直线。但实际情况并非如此, Mcfarlane和Melcer研究污水在厌氧塘中净化时^[5], 发现由于进水中大量无法去除的 S^2- 等物质存在, 用这种模式描述COD的去除是不恰当的。用完全混合流模式描述厌氧塘中COD的去除时应该进行修正, 即去除速率 $r = k(S_0 - S_x)$, 其中, S_x 为不能在厌氧塘中去除的物质的COD。这样修正后的完全混合流模式为:

$$(S_0 - S_e)/t = k(S_0 - S_x)$$

2. 类Michaelis-Menton方程模式

氧化塘设计的重要参数之一是底物去除速率常数 k , 它通常是通过模拟实验或氧化塘的实际监测的数据应用动力学模式计算而得的。虽然从概念上讲, k 作为速率常数是不应该随负荷、水力停留时间和水力学模式而变, 但是研究表明^[6-8], k 是负荷、温度、水力停留时间和水力学模式的函数。而且由各种动力学模式得到的速率常数 k 不稳定, 变化幅度较大^[2]。因此, 用 k 作为表示氧化塘动力学特征的设计参数就显得不甚合适。

Suschkka曾指出, 在活性污泥法中底物的去除与有机负荷相关, 并研究证明底物的去除速率取决于活性污泥的负荷, 而不是底物浓度^[9]。Poh-Eng Lim等将这一方法引入到氧化塘的动力学研究^[10], 认为氧化塘中底物的去除速率也应是负荷的函数, 即:

$$(S_0 - S_e)/t = f(L)$$

式中, L 为氧化塘的负荷, 而 $f(L)$ 可以用与Michaelis-Menton方程相似的方程表示, 即 $f(L) = WL/(K + L)$, 并令 $S_R = (S_0 - S_e)/t$, 则有:

$$S_R = WL/(K + L)$$

式中, W 为底物最大去除速率, 即负荷 L 足够大时的底物去除速率; K 为底物去除速率为 $W/2$ 时的负荷。这是一个与酶催化反应的Michaelis-Menton方程非常相似的方程。将该式变换, 得:

$$1/S_R = 1/W + \frac{K}{W} \cdot \frac{1}{L}$$

将 $1/S_R$ 对 $1/L$ 作图可得一直线, 由直线斜率和截距可求出 W 和 K 。由于 W 和 K 不依赖于负荷和水力停留时间, 所以可以用来表征氧化塘的动力学特征。

实 验 部 分

1. 合成污水

本试验采用两种合成污水, 其污水组成如表 1 所示。

表 1 合成污水的组成¹⁾ (单位: g)
Table 1 Composition of synthetic wastewater

编号	蛋白胨	牛肉浸膏	尿 素	KCl	MgSO ₄	CaCl ₂	Na ₂ HPO ₄	FeCl ₃ ·6H ₂ O
1 ²⁾	5.526	3.158	0.947	2.368	2.368	1.695	1.476	0.004
2 ³⁾	蔗 糖							
	7.008							

1) 表中物质溶于杭州市自来水, 并稀释至 1 L, 使用时进行稀释;

2) 污水的 BOD₅/COD=0.75, COD:N:P=100:38.6:5.6;

3) 污水的 BOD₅/COD=0.87, COD:N:P=100:5.5:4.0

2. 模型氧化塘的运行条件

本试验采用聚氯乙烯板制成的 94×21×20cm 矩形模型好氧塘若干只, 各塘沿长度方向在不同位置用隔板隔开, 在水流量一定时, 污水由进口至隔板理论水力停留时间不同。试验时从隔板处取样分析。模型好氧塘采用日光灯为日照光源, 模拟水面照度 8000 lux, 光照时数 9h/d。

3. 分析测试

合成污水在好氧塘中的水力停留时间以及 BOD₅ 和 COD 值如表 2 所示。

表 2 合成污水在好氧塘中的水力停留时间和 BOD₅, COD
Table 2 Hydraulic detention time of synthetic wastewater in laboratory ponds and BOD₅, COD in effluent

合成污水 1 (15℃)	水力停留时间(d)	0	0.59	1.18	1.91	3.09	3.82
	BOD ₅	211	131	96	71	52	47
	COD	283	—	156	136	119	114
合成污水 2 (20℃)	水力停留时间(d)	0	0.94	1.53	2.41	3.06	
	BOD ₅	235	121	93	65	62	

结 果 与 讨 论

1. 完全混合流模式的修正

在本试验条件下, 完全混合流模式的修正式在描述 BOD 和 COD 净化规律上都有很好的相关性 (见表 3 和图 1), 这种模式不仅适用于厌氧塘, 对好氧塘同样适用。

完全混合流模式的修正式表明, 在一定的运行条件下, 氧化塘对污水的净化有一定

表 3 完全混合流模式修正式的拟合

Table 3 Regression equations of the correction equation of completely mixed flow model

	直 线 回 归 方 程	相关系数	k	S_x	$\frac{(S_0 - S_x)}{S_0} (\%)$
合成污水1(BOD ₅)	$(S_0 - S_e)/t = 1.08S_e - 5.67$	0.999	1.08	5.2	97.5
合成污水1(COD)	$(S_0 - S_e)/t = 1.49S_e - 125.2$	0.9997	1.49	84.0	70.3
合成污水2(BOD ₅)	$(S_0 - S_e)/t = 1.02S_e - 2.35$	0.993	1.02	2.3	99.0

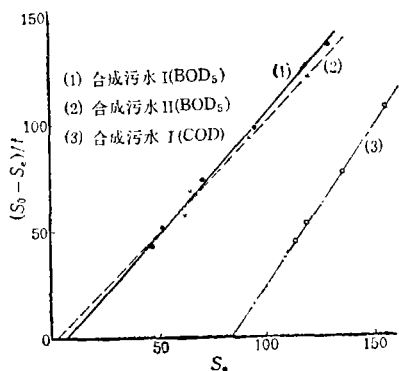


图 1 $(S_0 - S_e)/t - S_e$ 图
Fig.1 The diagram of $(S_0 - S_e)/t - S_e$

限度, 氧化塘的净化效率不可能通过延长水力停留时间或扩大氧化塘的容积而无限地提高, 即 S_x 不等于零。但另一方面也应看到, 由于氧化塘内生物的代谢活动, 出水中所含的有机物的内容发生了变化, 部分微生物的细胞组织、微生物的代谢产物和各种再生有机污物质等也是 S_x 不等于零的原因之一 [11, 12]。

S_x 显然是与污水性质、氧化塘运行条件等因素有关的参数。由于 S_x 是氧化塘水力停留时间趋于无限长时氧化塘出水中污染物质的含量, 因此它可以在一定程度上反映一定条件下氧化塘出水中污染物浓度的最小极限。 $(S_0 - S_x)/S_0$ 则可以用来表示一定

条件下氧化塘净化效率的最高极限。而 $S_x(\text{BOD}_5)/S_x(\text{COD})$ 则表示污水在试验条件下的可生化性限度有参考意义。

2. 类 Michaelis-Menton 方程模式

试验数据经处理得表 4, 按类 Michaelis-Menton 方程模式处理结果表明 (图 2, 表 5), 类 Michaelis-Menton 方程模式对描述好氧塘的动力学规律具有很好的适用性。

负荷对氧化塘的运行和内部状态影响很大, 它是氧化塘工程设计的基本参数之一。类 Michaelis-Menton 方程模式直接用负荷作为氧化塘去污速度的变量, 对于描述氧化塘运行规律较之用浓度更具有实际意义。这个模式中的 K 和 W 显然是与氧化塘内微生物和污水的性质有关的参数, 对这两个参数的影响因素和内涵意义的研究对认识氧化塘内微生物与污染物的相互作用及其去污规律将是有益的。

总之, 通过这两种数学模式的初步试验可以看出, 这两种模式对于描述好氧塘的运行规律具有较好的适用性。对这两种模式中的参数的讨论有利于认识污染物在氧化塘中的净化规律。

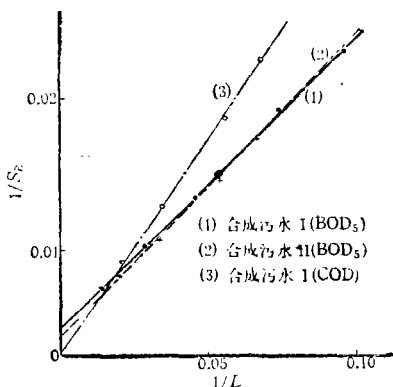


图 2 $1/S_R - 1/L$ 图
Fig.2 The diagram of $1/S_R - 1/L$

表 4 好氧塘表面负荷与底物去除速率

Table 4 Surface loading of laboratory ponds and removal rate of pollutants

合成污水 1	$L(\text{BOD}_5)$	71.53	35.76	22.09	13.66	11.06
	$S_R(\text{BOD}_5)$	135.6	97.5	73.3	51.5	43.0
	$L(\text{COD})$	47.97	29.63	18.32	14.84	
	$S_R(\text{COD})$	107.6	77.0	53.1	44.3	
合成污水 2	$L(\text{BOD}_5)$	49.79	30.76	19.01	15.40	
	$S_R(\text{BOD}_5)$	120.8	92.9	68.0	57.0	

表 5 合成污水的类 Michaelis-Menton 方程及其参数

Table 5 The models similar to Michaelis-Menton equation and their parameters for synthetic wastewater

	直 线 回 归 方 程	相关系数	W	K
合成污水 1 (BOD_5)	$\frac{1}{S_R} = 4.42 \times 10^{-3} + \frac{0.2067}{L}$	0.9998	226.2	46.7
合成污水 1 (COD)	$\frac{1}{S_R} = 3.36 \times 10^{-3} + \frac{0.2845}{L}$	0.9999	297.5	84.7
合成污水 2 (BOD_5)	$\frac{1}{S_R} = 4.11 \times 10^{-3} + \frac{0.2048}{L}$	0.9995	243.3	49.8

参 考 文 献

- [1] Marais G V R, Shaw V A, 1961. A Rational Theory for the Design of Sewage Stabilization Ponds in Central and South Africa. *Civ. Engr. S. Afr.*, 3(11):1-23
- [2] Finney B A, Middlebrooks E J, 1980. Facultative Waste Stabilization Pond Design. *J. WPCF*, 52(1):134-147
- [3] Reynolds J H et al., 1979. Facultative Lagoon Performance. *Prog. Wat. Tech.*, 11(4-5):361-376
- [4] Yeeh B G, 1985. Ponding as a Treatment Method for Organic Waste Management in Malaysia. *Pollution in the Urban Environment Elsevier Applied Science Publishers, London & New York*, 515-520
- [5] Mcfarlane P N, Melcer H, 1981. Pilot-Scale Evaluation of Design Criteria for Anaerobic Photosynthetic Lagoons Treating Fellingmongery (unhairing) Wastewater. *Wat. Res.*, 15:609-613
- [6] Thirumurthi D, 1974. Design Criteria for Waste Stabilization Ponds. *J. WPCF*, 46:2094-2106
- [7] Uhlmann D, 1979. BOD Removal Rates of Waste Stabilization Ponds as a Function of Loading, Retention Time, Temperature and Hydraulic Flow Pattern. *Wat. Res.*, 13:193
- [8] Uhlmann D et al., 1983. A New Design Procedure for Waste Stabilization Ponds. *J. WPCF*, 55:1252-1255
- [9] Suschka J, 1980. Biooxidation in a Continuous Activated Sludge Process. *Wat. Res.*, 14:197-205
- [10] Lim P E et al., 1985. Kinetic Study of Waste Stabilization Ponds. *Pollution in the Urban Environment, Elsevier Applied Science Publishers, London & New York*, 472
- [11] 张自杰, 周帆, 1989. 活性污泥生物学与反应动力学. 中国环境科学出版社, 北京, 544-549
- [12] 林荣忱, 刘东方, 1990. 好氧塘有机物去除规律的研究. 中国给水排水, 6(6):37-40

1991年2月25日收到.

TWO MATHEMATICAL MODELS OF OXIDATION PONDS

Hu Xicheng He Zengyao

(Zhejiang Agricultural University, Hangzhou, 310029)

ABSTRACT

Two mathematical models of oxidation ponds, that is, the correction equation of the completely mixed flow model and a model similar to the Michaelis-Menton enzymatic rate expression, have been studied. It has been found that the two models are suitable for the laboratory ponds. And the discussion of the parameters of the two models is significant for recognizing the degradation of organic pollutants and the interreaction of microbe with organic pollutants in oxidation ponds.

Keywords: oxidation ponds, mathematical model, completely mixed flow model, Michaelis-Menton model