

活性污泥数学模型中异养菌产率系数测定方法的研究*

周雪飞¹ 顾国维¹ 张冰²

(1. 同济大学环境科学与工程学院, 污染控制与资源化国家重点实验室, 上海 200092;

2. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要 采用间歇活性污泥法和呼吸计量法测定活性污泥数学模型中异养菌产率系数。研究表明, 间歇活性污泥法测定结果受试验控制条件特别是污泥有机负荷的影响非常大, 且试验周期比较长; 人工配水条件下, 呼吸计量法测定异养菌产率系数(Y_H)在0.71以上, 比活性污泥数学模型推荐值高, 其结果与底物性质有关, 该方法准确性高, 重现性良好。

关键词 活性污泥数学模型 异养菌产率系数 间歇活性污泥法 呼吸计量法 耗氧速率

Estimation of the heterotrophic yield for activated sludge modeling Zhou Xuefei¹, Gu Guowei¹, Zhang Bing². (1. College of Environmental Science & Engineering, Tongji University, State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Shanghai 200092; 2. College of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150090)

Abstract: To predict the behaviour of biological wastewater treatment plants using Activated Sludge Models, the parameters and wastewater composition must be provided. A batch method of activated sludge and a respirometric method were employed to estimate the heterotrophic yield. It was found that the results of batch method was affected by the experimental conditions, especially organic loading of the activated sludge. This method was time-consuming and couldn't give well reproductive reliable heterotrophic yield estimates. Under conditions of different synthetic wastewater, the heterotrophic yield estimated by respirometric method was over 0.71, higher than that recommended in ASMs. Respirometric method had comparatively high reliability and accuracy.

Key words: Activated sludge model Heterotrophic yield Batch method of activated sludge Respirometric method Oxygen uptake rate

国际水协(IWA)开发的活性污泥数学模型(ASM)^[1]可对污水生物处理工艺的反应机理进行深入了解和表达, 从而将污水处理厂的工艺设计、优化和运行控制提高到理性的定量化高度。为了应用

第一作者: 周雪飞, 女, 1971年生, 博士, 副教授, 主要从事污水生物处理理论、技术及其数学模型等方面的研究。

*国家自然科学基金重点项目“城市污水处理系统的智能控制理论、方法与技术”资助项目(No. 50138010); 上海市重点学科研究项目“工业废水及城市污水处理机理与高效反应器研究”资助项目。

- [4] Wang Yili, Guo Jinlong, Tang Hongxiao. Pilot Testing of dissolved air flotation (DAF) in a highly effective coagulation-flocculation integrated (FRD) system[J]. Journal of Environmental Science and Health, 2002, A37(1): 95-111.
- [5] Kiuru H J. Development of dissolved air flotation technology from the first generation to the newest (third) one (DAF in turbulent flow conditions) [J]. Water Sci. Tech., 2001, 43(8): 1-7.
- [6] Jacangelo J G, DeMarco J, Owen D M, et al. Selected processes for removing NOM: an overview[J]. Jour. AWWA, 1995, 87(1): 64-77.
- [7] Nilson J A, DiGiano F A. Influence of NOM composition on nanofiltration[J]. Jour. AWWA, 1996, 88(5): 53-66.
- [8] Taylor J S, Jacobs E P. "Chapter 9-Reverse osmosis and nanofiltration[M]" // Mallevalle J, Odendaal P E, Wiesner M R. In: Water treatment membrane processes. New York: McGraw Hill, 1996.
- [9] Hilal N, Al-Zoub P H, Darwish N A, et al. A comprehensive review of nanofiltration membranes: treatment, pretreatment, modelling, and atomic force microscopy [J]. Desalination, 2004, 170: 281-308.
- [10] Chellam S, Jacangelo J G, Bonacquisti T P, et al. Effect of pretreatment on surface water nanofiltration[J]. Jour. AWWA, 1997, 89(10): 77-89.
- [11] Braghetta A, Jacangelo J G, Chellam S, et al. DAF pretreatment: its effect on MF performance[J]. Jour. AWWA, 1997, 89(10): 90-101.
- [12] Adin A, Asano T. The role of physical-chemical treatment in wastewater reclamation and reuse[J]. Wat. Sci. Tech., 1998, 37(10): 79-90.
- [13] Bellonaa C, Drewes J E, Xu P, et al. Factors affecting the rejection of organic solutes during NF/RO treatment—a literature review[J]. Water Research, 2004, 38: 2795-2809.
- [14] 李晓东, 蔡国庆, 马军. 水中有机成分及其对饮用水水质的影响[J]. 给水排水, 1999, 25(5): 12-14.
- [15] Jekel M R. The stabilization of dispersed mineral particles by adsorption of humic substance[J]. Water Research, 1986, 20(12): 1543-1554.
- [16] Edzwald J K, Tobiasson J E. Enhanced coagulation: US requirements and a broader view[J]. Wat. Sci. & Tech., 1999, 40(9): 63-70.
- [17] 黄廷林. 强化絮凝法去除水中DBP先质研究[J]. 环境科学学报, 1999, 19(4): 399-404.
- [18] 娄敏, 王毅力, 廖柏寒, 等. 微涡旋絮凝—逆流气浮—纳滤集成工艺去除水中腐殖酸的研究之一(以聚合氯化铝(PACl)为絮凝剂)[J]. 环境科学学报, 2005, 25(9): 1156-1163.

责任编辑: 闵怀 (修改稿收到日期: 2006-04-14)

模型,必须首先知道污水水质组分、化学计量系数和动力学参数。模型中大多数参数都可通过测定简单批量试验中耗氧速率(OUR)来获得^[2-4]。

异养菌产率系数(Y_H)是 ASM 中比较重要的化学计量系数,它不仅影响污泥产率和需氧量的估测,而且对某些污水组分(如易生物降解有机组分 S_s 和慢速可生物降解组分 X_s 等)和动力学参数(异养菌比生长速率、衰减系数)的测定也有影响。笔者分别采用间歇活性污泥法和呼吸计量法对 Y_H 进行了测定研究,以期获得简便可行的参数测定方法,为 ASM 的广泛应用奠定基础。

1 试验原理

1.1 间歇活性污泥法测定原理

根据 Y_H 的定义,即在活性污泥系统中,污水中被消耗的可溶性有机物一部分用于微生物的呼吸作用,转化为 CO_2 和 H_2O ,而另一部分则被有机物吸收合成为新细胞。只要在密闭的系统中间歇测得微生物 COD 的增长量和可溶性有机物的减少量,两者之比就是 Y_H ^[5]。

1.2 呼吸计量法测定原理

在密闭的反应器内加入定量处于内源呼吸状态的污泥和污水,加入硝化抑制剂丙烯基硫脲(ATU)抑制自养菌的活动,连续测定反应器内 DO,求得单位时间内 DO 的变化,即可得到如图 1 所示的 OUR 曲线。该曲线与内源呼吸线围成的面积即为反应过程中微生物利用底物进行呼吸所消耗的氧量 OUR ,其中 OUR 为任一时刻测得的 OUR 速率与内源呼吸速率之差。

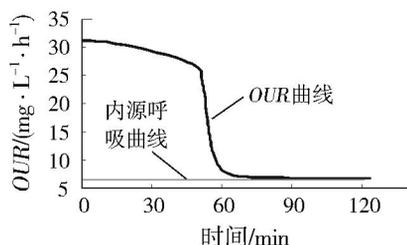


图 1 间歇反应器内加入底物后 OUR 曲线

事先测定所加底物 COD 浓度和加入到反应器内溶液体积,便能计算反应器内底物浓度 COD_{TOT} (因为假设冲洗过后的污泥中溶解性 COD 为零)。当反应器内底物完全消耗后,污泥重新回到内源呼吸水平,这段时间内降解的 COD 即为 COD_{TOT} 。由总 COD 减去用于细胞呼吸能源的 COD,即为被合成为新微生物细胞体的 COD 量。则 Y_H 可由式(1)计算。

$$Y_H = \frac{COD_{TOT} - OUR}{COD_{TOT}} \quad (1)$$

式中: COD_{TOT} 为反应过程中降解的底物质量浓度, mg/L ; OUR 为呼吸耗氧量, mg/L 。

2 试验方法

2.1 间歇活性污泥法

本试验中采用乙酸钠单底物配水和多底物复合配水,复合配水由乙酸钠、葡萄糖和蛋白胨组成,其质量浓度均为 $120 mg/L$,另在配水中加适量的氮、磷营养,保证反应过程中微生物的正常生长。

试验所用污泥取自上海曲阳污水处理厂,污泥在实验室的 SBR 中用人工配水培养驯化 5 d 左右,使其适应新的水质,每次试验用泥均取自此。

试验前取定量培养污泥,用蒸馏水反复冲洗,去除污泥中残留的溶解性 COD,加入反应器中,然后取一定容积的人工配水放在反应器中,对混合液进行充氧搅拌,并保持其温度为 (20 ± 1) 。起始时取 $100 mL$ 混合液水样,取出的水样中一部分不经处理测定其总 COD 浓度为 COD_{TOT1} ,另一部分经滤膜过滤,测定滤液中的 COD 浓度为 COD_{SOL1} 。

根据污泥负荷及污水性质,进行不同时间的曝气反应,再取 $100 mL$ 混合液水样,然后测定反应器内泥水混合物总 COD 和用滤纸过滤的滤液 COD,分别为 COD_{TOT2} 、 COD_{SOL2} ,依式(2)计算 Y_H 。

$$\text{细胞 COD} = (COD_{TOT2} - COD_{SOL2}) - (COD_{TOT1} - COD_{SOL1})$$

$$\text{溶解性 COD} = COD_{SOL1} - COD_{SOL2}$$

$$Y_H = \frac{\text{细胞 COD}}{\text{溶解性 COD}} \quad (2)$$

2.2 呼吸计量法

试验装置如图 2 所示。取一容积约为 $1\ 160 mL$ 的广口玻璃瓶,配置适度大小的密封橡皮塞,使用打孔器在橡皮塞上钻 3 个孔,一个插入 DO 探头,一个用于间歇曝气时排气,一个用于曝气。

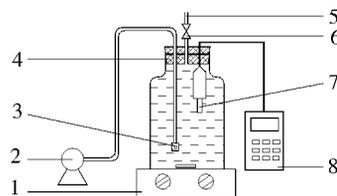


图 2 批量 OUR 反应器示意图

1 - 磁力搅拌器;2 - 曝气器;3 - 曝气头;4 - 橡皮密封塞;5 - 排气管;6 - 密封阀门;7 - DO 探头;8 - DO 测定仪

本试验分别采用醋酸钠、葡萄糖为底物进行单基质试验,并在配水中均加入适量的氮、磷营养,配水 COD 浓度见表 1。取泥及污泥驯化同间歇活性污泥法。

取一定量的污泥(取样体积列于表 1, VSS 质量浓度约 $3\ 000 mg/L$),用蒸馏水反复冲洗去除残留

表1 间歇呼吸计量法测定 Y_H 结果

水样类型	污泥体积 / mL	水样体积 / mL	COD _{TOT} / (mg · L ⁻¹)	OUR / (mg · L ⁻¹)	Y_H
乙酸钠	780	380	83	24.5	0.70
	780	380	83	23.3	0.72
	780	380	83	25.7	0.69
	780	380	83	20.8	0.75
	780	380	83	24.8	0.70
	780	380	83	27.4	0.67
	平均				
葡萄糖	780	380	52	11.8	0.77
	760	400	65	18.0	0.73
	660	500	98	23.6	0.76
	760	400	65	19.6	0.70
	810	350	82	23.1	0.72
	740	420	78	23.8	0.70
	平均				

底物,置于反应器中,然后加入一定体积配水,使反应器内污泥负荷在 $COD_{VSS} = 0.03 \sim 0.05 \text{ g} / (\text{g} \cdot \text{d})$,加入适量 ATU 抑制自养菌的活动。启动磁力搅拌器进

行混合并大量曝气,使混合液中 DO 达到 6 mg/L 以上,然后停止曝气,密闭反应器,保持反应温度恒为 (20 ± 1),在搅拌混合的条件下测定 DO 的变化。当反应器内 DO 降到 2 mg/L 时,打开反应器重新充氧,然后重复上述步骤,直至 OUR 水平降至内源呼吸阶段并长时间保持不变时,结束试验。

3 结果与分析

3.1 间歇活性污泥法

依据上述实验方法进行多次试验,试验过程中配水水质不变,改变反应器中污泥和配水的投加比例,即污泥负荷比 $F/M (COD/VSS)$,所得结果如表 2 所示。由试验结果可知,不同负荷条件下得到的 Y_H 值差异非常大,测定的结果在 0.28 ~ 0.80,数值极不稳定,而且与文献[1]给出的推荐值范围 0.46 ~ 0.69 相差较大。原因分析如下:

表2 间歇活性污泥法测定 Y_H 结果

水样类型	F/M / (g · g ⁻¹ · d ⁻¹)	水样体积 / mL	污泥体积 / mL	COD _{TOT1} / (mg · L ⁻¹)	COD _{SOL1} / (mg · L ⁻¹)	COD _{TOT2} / (mg · L ⁻¹)	COD _{SOL2} / (mg · L ⁻¹)	Y_H
乙酸钠	4.50	500	15	270	165	256	137	0.50
	8.62	500	15	517	331	475	239	0.54
	3.25	500	30	390	153	364	110	0.40
	2.57	500	30	308	93	282	16	0.66
	9.31	2 000	25	349	312	216	83	0.42
复合配水	9.71	2 000	25	364	296	238	75	0.43
	0.82	2 000	500	618	184	577	39	0.72
	0.84	2 000	500	632	205	556	46	0.52
	0.83	2 000	500	625	196	594	44	0.80
	0.61	2 000	1 000	913	87	885	48	0.28
	0.62	2 000	1 000	936	103	897	42	0.36

(1) 污泥负荷过高,反应器内污泥浓度小,反应结束后部分污泥粘在曝气头和瓶壁上,从而使测定出来的细胞 COD 增量偏小,导致 Y_H 值偏小;

(2) 当污泥负荷过低,反应结束时反应器内溶解性 COD 早已被消耗,此时污泥可能处于内源呼吸阶段,并不能反映实际的污泥增长量,所以 Y_H 值也偏小;

(3) 采样间隔时间太短,微生物生长和有机物的降解不显著,也会增加试验误差;

(4) 混合液中生物絮体分布状态不均,使得样品 COD 与反应器内实际水平有一定偏差,使得测定结果的一致性受到影响。

3.2 呼吸计量法

通过呼吸计量法进行多种配水试验,由于醋酸钠和葡萄糖均是易生物降解有机物,所以其人工配水可直接加入反应器。呼吸计量法的试验结果列于表 1。

(1) 试验的重现性非常好,其相对标准误差较低。

(2) 两种底物的测定结果不同,都比模型推荐值高,说明异养菌产率系数与底物性质有关。

4 结论

比较两种 Y_H 的测定方法,间歇式活性污泥法

所用设备简单,不需密封反应器,不需溶解氧仪,但测定值偏差比较大,即使同一反应条件(即所加污泥体积相同),得到的 Y_H 值也不尽相同,且试验时间长。而呼吸计量法所需设备略繁于前者,但测定结果稳定,精确度高,且测定时间短。因而,在模型应用过程中可采用呼吸计量法对具体工艺的异养菌产率系数进行测定。

参考文献

- [1] IWA task group of mathematical modeling for design and operation of biological wastewater treatment. Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2D and ASM3 [M]. London: IWA Publishing, 2000.
- [2] Abusam A, Keesman KJ. Parameter estimation procedure for complex non-linear systems: calibration of ASM No. 1 for N-removal in a full-scale oxidation ditch [J]. Wat. Sci. Tech., 2001, 43(7): 357.
- [3] 周雪飞. 活性污泥 1 号模型有机组分和参数的测定研究: [D]. 上海: 同济大学, 2003.
- [4] Gernaey K. Activated sludge monitoring with combined respirometric-titrimetric measurements [J]. Water Research, 2001, 35: 1280-1294.
- [5] Henze M. Activated sludge model No. 1. (IAWPRC scientific and technical report No. 1.) [M]. London: IAWPRC, 1987.

责任编辑: 闵 怀 (修改稿收到日期: 2006-04-11)