



活性污泥数学模型中异养菌产率系数的测定研究

An Estimation of Heterotrophic Bacterium Yield Coefficient in Activated Sludge Modelling

周雪飞 顾国维 甘立军 (同济大学污染控制与资源化国家重点实验室, 上海 200092)
Zhou Xuefei Gu Guowei Gan Lijun (State Key Laboratory of Pollution Control and
Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092)

摘要 利用活性污泥数学模型预测污水生物处理系统, 首先必须确定其参数和水质组分。采用间歇活性污泥法和呼吸计量法对活性污泥数学模型中异养菌产率系数 Y_H 进行测定研究。结果表明, 间歇活性污泥法测定结果重现性较差, 试验控制条件比较严格; 呼吸计量法测定结果准确性较高, 重现性良好, 因而, 呼吸计量法是比较可行的 Y_H 测定方法。

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

Abstract To predict the behaviour of biological wastewater treatment process by using an activated sludge model, the parameters and wastewater composition must be known. A batch method of activated sludge and respirometry were employed to estimate the heterotrophic bacterium yield coefficient Y_H . The measurements showed that the batch method could not give well reproducible results and its experimental conditions were too crucial whilst the respirometry could with higher reliability and accuracy. Thus, the respirometry showed rather more adoptable.

Key words: Activated sludge model Heterotrophic bacterium yield coefficient

Batch method of activated sludge Respirometry Oxygen uptake rate

1 引言

国际水协(International Water Association, 简称 IWA)开发的活性污泥数学模型(Activated Sludge Model, 简称 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及优化、运行控制等提高到理论的定量化高度。为了应用模型, 首先, 必须知道污水水质组分、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(Oxygen Uptake Rate, 简称 OUR)来获得^[2-4]。

异养菌产率系数 Y_H 是 ASM 中比较重要的一个化学计量系数, 该参数的精确测定非常重要, 因为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。本文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。

2 试验原理

2.1 间歇活性污泥法测定原理

根据 Y_H 的定义, 即在一个活性污泥系统中, 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, 使其转化为二氧化碳和水, 另一部分则被有机物吸收合成为新细胞。只要在一个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]。

2.2 呼吸计量法测定原理

在一个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, 加入丙烯酸留脲(ATU)抑制自养菌的活动, 连续测定反应器内溶解氧, 可以得到如图 1 所示的 OUR 曲线。

处于内源呼吸阶段的污泥在底物加入以后, 开始

国家自然科学基金重点项目, 编号 50138010; 上海市重点学科研究项目。

第一作者周雪飞, 女, 1971 年生, 2001 年毕业于哈尔滨工业大学, 工学博士, 讲师。

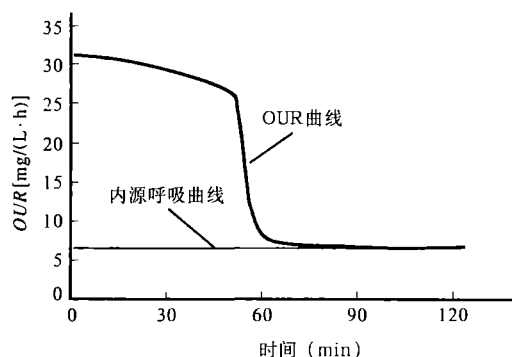
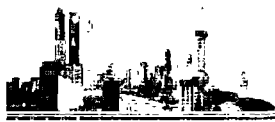


图1 间歇反应器内加入底物后 OUR 曲线

进行有氧呼吸,耗氧速率远远高于内源呼吸时的耗氧速率,同时合成新的细胞。图1中的OUR曲线和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 $\int \Delta OUR$,其中 ΔOUR 为任一时刻测得的OUR与内源呼吸速率之差。

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 可由下式计算:

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

式中, Y_H ——异养菌产率系数;

COD_{TOT} ——反应过程中降解的底物浓度,mg/L;

$\int \Delta OUR$ ——呼吸耗氧量,mg/L。

3 试验方法

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5d左右,使其适应新的水质。

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 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。

3.1 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,其浓度均为120mg/L,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。

24h反应结束后,用标准铬法测定反应器内泥水混合物总COD和过滤液COD,依式(2)计算 Y_H 。

$$\text{细胞: } \Delta COD_1 = (COD_{TOT2} - COD_{SOL2}) - (COD_{TOT1} - COD_{SOL1})$$

$$\text{溶解性: } \Delta COD_2 = COD_{SOL1} - COD_{SOL2}$$

$$Y_H = \frac{\Delta COD_1}{\Delta COD_2} \quad (2)$$

式中, COD_{TOT1} 、 COD_{TOT2} ——反应前、反应后混合液总COD;

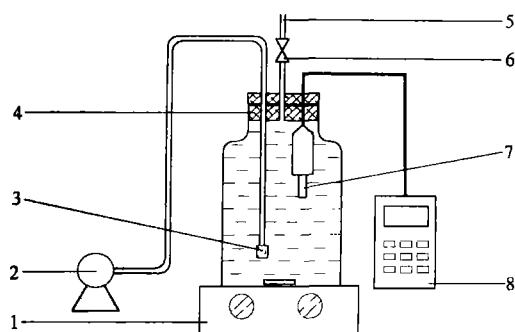
COD_{SOL1} 、 COD_{SOL2} ——反应前、反应后混合液过滤后的COD;

ΔCOD_1 ——反应器内异养菌COD的变化量;

ΔCOD_2 ——反应器内溶解性COD的变化量。

3.2 呼吸计量法

试验装置如图2所示,取一容积约为1160mL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,1个插入溶解氧探头,1个用于间歇曝气时排气,1个用于曝气。



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-溶解氧探头; 8-溶解氧测定仪。

图2 批量OUR反应器示意图

分别采用醋酸钠、葡萄糖为底物进行单基质试验,在配水中均加入适量的氮、磷营养,配水COD浓度(VSS浓度约3000mg/L)、取样体积见表1。反应器内污泥负荷为0.03~0.05g(COD)/g(VSS·d)时,加入适量ATU抑制自养菌活动。启动磁力搅拌器进行混合并大量曝气,当混合液中DO达到6mg/L以上时停止曝气,密闭反应器,在搅拌混合条件下测定DO变化。当反应器内DO降到2mg/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不变时,结束试验。

4 结果与分析

4.1 间歇活性污泥法

表 1 间歇活性污泥法测定 Y_H 结果(mg/L)

水样 类型	F/M {g(COD)}/{g(VSS)·d}	水样体积 (mL)	污泥体积 (mL)	COD_{TOT1}	COD_{SOL1}	COD_{TOT2}	COD_{SOL2}	Y_H
乙酸钠	4.5	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
复合配水	9.31	2 000	25	349	312	216	83	0.42
	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

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,所得到的结果如表 1 所示:

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 之间,数值极不稳定,而且与文献给出的推荐值范围 0.46~0.69 相差较大,即使相似负荷条件下, Y_H 的测定重现性也很差,其原因为:(1)当污泥负荷过高,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)试验中发现,如果采样间隔时间太短,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,且新增长的细胞有

可能以分散状态存在,会造成样品 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;(5)反应后 COD 值一般较低,COD 测定的误差会对试验结果产生不可忽略的影响。

试验结果表明,对于这种传统的 Y_H 测定方法来说,适当的污泥负荷和取样测定间隔是保证试验准确度和重现性的关键因素。总而言之,该方法理论上非常合理,但对试验精度要求很高,操作起来比较麻烦。

4.2 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见表 2。

对同一底物的多组试验结果可知,试验的重现性非常好,其相对标准误差较低;2 种底物的测定结果都比模型推荐值高,说明异养菌产率系数与底物性质有关系;葡萄糖配水试验结果略高于乙酸钠,其原因

表 2 间歇呼吸计量法测定 Y_H 结果

水样类型	污泥体积 V_i (mL)	水样体积 V_w (mL)	COD_{TOT} (mg/L)	$\int \Delta OUR$ (mg/L)	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				0.71
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				0.73



在于微生物最愿意利用的碳源是糖类,尤其是葡萄糖、蔗糖,其氧化分解生成能量多;而乙酸根降解过程中所产生的能量少,利用率低。

5 结论

比较 2 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较前者复杂,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。

6 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. IWA Publishing, London, 2000.

- 2 Kappeler J, Gujer W. Estimation of kinetic parameters of heterotrophic biomass under aerobic conditions and characterization of wastewater for activated sludge modeling. Wat. Sci. Tech., 1992,25(6):125~139.
- 3 Brands E, Liebeskind M, Dohmann M. Parameters for dynamic simulation of wastewater treatment plants with high rate and low rate activated sludge tanks. Wat. Sci. Tech., 1994,30(4):211~214.
- 4 Schiffrank U, Gujer W. Characterization of domestic wastewater for mathematic modelling of the activated sludge process. Wat. Sci. Tech., 1991,23(4~6):1057~1066.
- 5 Henze M. Activated Sludge Model NO.1. (IAWPRC Scientific and Technical Report NO.1.) London: IAWPRC, 1987.

责任编辑 钟月华 (收到修改稿日期:2004-02-28)

意大利在上海展示最新的生态环保技术

6月29日至7月2日在上海新国际博览中心(SNIEC)举办的 IFAT CHINA 2004 暨中国国际环保、能源和资源综合利用博览会上,由意大利环境和领土部赞助,意大利里米尼博览公司(Rimini Fiera)联合意大利艾米利亚—罗马涅大区工业部以及意大利对外贸易委员会(ICE)共同组织的意大利展团(ECOMONDO CHINA)的29家意大利企业在800m²展区内展示了意大利生态环保的最新技术。7月1日还举行了“意大利日”生态环保专题研讨会,研讨会由意大利波伦亚大学、里米尼极地科学教育研究所、意大利艾米利亚—罗马涅大区生产部和ICE联合举办。意大利环境和领土部的环境研究和开发司司长考拉道·克利尼(Corrado Clini)、意大利里米尼博览公司总经理Piero Venturelli先生参加了本次研讨会,并就“意大利环境和领土部与中国的合作”作专题发言。Piero Venturelli先生在介绍本次展会时说:“我们希望通过此类活动大力促进意大利和中国在环保事业上的交流与合作”。ICE的首席代表艾迪斯(Carlo Addis)先生、意大利环境和领土部的负责人Massimo Martinelli先生在先前的会议中介绍了意大利环境和领土部与中国合作的生态环保项目。

自2001年以来,意大利环境和领土部与ICE北京办事处就开始合作开展了环境协作计划,该项目与国家环保委员会、中华人民共和国科学技术部、中国社会科学院、北京市政府、上海市政府,以及清华大学共同实施,涉及监视及控制环境污染、保护自然资源、能效及节能、推动可再生能源、传播环保技术、可持续交通、可持续农业模型,以及生

态与能效建筑等。此项目包括培训和技术转让等方式以提高中国的环境保护能力。相信通过这次与中国市场的面对面接触和了解,有更多的生态环保合作项目将在意大利和中国之间发生。

本次意大利展团涉及的领域有垃圾与废水处理、可再生能源、空气净化和处理、被污染地面处理、噪声污染消除技术、环境和研究等。Piero Venturelli先生希望此次会展的成功召开,能大力促进意大利和中国在生态环境保护项目间的交流与合作。其他参展的意大利企业也纷纷表示出对中国市场的浓厚兴趣,希望通过这个展会寻求在中国市场的合作、发展契机。

ICE是意大利政府机构,受委托代理意大利和外国公司之间的贸易促进、商业机遇以及产业合作,在全球100多个国家内组织意大利企业、公司的交易会、展览会、研讨会、双边洽谈等。ICE在全球80多个国家中有100个分支机构,通过这些分支机构来帮助各国和意大利的企业、公司接触并发展商业机会。

IFAT CHINA 2004共吸引了23个国家和地区的200多家企业、公司的参加,展示了全球环保领域中独到的解决方案,提供最先进的科技成果和高质量的服务,也是国际商务交流平台的标志。IFAT CHINA 2004除为展商和观众提供一流的技术与设施外,更是一个广泛交换信息、传授知识和积累经验的理想平台。

(本刊记者 唐东雄)