

活性污泥1号模型废水特性的测定研究*

刘芳 周雪飞 蓝梅 王闯 顾国维

(同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要 废水的水质特性是活性污泥数学模型研究和应用的重要方面。采用呼吸计量法及常规化学分析法对污水处理厂的废水特性进行了测定, 通过研究发现, 污水处理厂的曝气沉砂池出水中 S_S 占总COD的比例平均为10.49%; X_S 占总COD的比例平均为14.24%; S_I 占总COD的比例平均为5.52%。初沉池出水中 S_S 占总COD的平均比例为9.62%; X_S 占总COD的比例平均为16.97%; S_I 占总COD的比例平均为11.38%。

关键词 活性污泥数学模型 水质特性 呼吸计量法

Research on wastewater characterization of activated sludge model No. 1 Liu Fang, Zhou Xuefei, Lan Mei, et al
The State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092

Abstract Wastewater characterization is the important field of activated sludge model research and application. Respirometric analysis and general chemical analysis methods were adopted to analyse wastewater characterization. The results showed that the proportion of the readily biodegradable substrate of the effluent from the aerated grit chamber is 10.49%, the proportion of the particle biodegradable substrate is 14.21%; the proportion of the soluble inert substrate is 5.52%; and that the proportion of the readily biodegradable substrate of the effluent from the primary sedimentation pond is 9.62%, the proportion of the particle biodegradable substrate is 16.97%, the proportion of the soluble inert substrate is 11.38%.

Keywords: Activated sludge model Wastewater characterization Respirometry

活性污泥1号模型(A SM 1)为生物处理系统的设计、优化、运行提供了有效手段, 而详尽的水质特性是评价模型预测性能的一个关键因素, 是模型付诸实际应用的关键, 因而成为目前活性污泥法过程模型化研究和应用中最受关注和重视的课题。A SM 1中共包含13个组分^[1], 其中的含氮组分可以用标准的化学分析方法测定, 而有机组分的测定还没有规范的方法。本文采用了物理化学法和呼吸计量法对模型中有机组分进行了测定, 并采用标准的化学分析法测定了含氮组分和碱度。

1 测定原理

1.1 溶解惰性有机物(S_I)的测定

Marais等^[2]认为, 如果反应器具有比较长的SRT(污泥停留时间), 出水溶解性COD可以近似看作 S_{I0} 。其原理是, 对于比较长的SRT, 出水中剩余溶解性的易生物降解COD可以被忽略不计。此时, 所有残留的溶解性COD都可以视为生物不可降解的。

出水溶解性COD可以用下面方法测定: 从曝气7d的反应器中取出水, 在pH=10.5的条件下, 投加硫酸锌, 形成 $Zn(OH)_2$ 絮体, 去除水中的胶体, 然后用孔径为0.45 μm 的滤膜过滤水样。絮凝方法可以有效地去除水中的胶体有机物, 剩余的COD就只有 S_{I0} 。

1.2 易生物降解有机物(S_S)和缓慢生物降解有机物(X_S)的测定

由于 S_S 的划分是根据微生物对其降解的难易程度, 更多的是采用生物呼吸计量法进行测定, 本文采用多段间歇OUR呼吸计量法对易生物降解有机物(S_S)进行了测定。

在一个密封的间歇反应器内, 抑制自养菌的活动, 连续监测反应内OUR变化情况, 得到图1所示曲线。

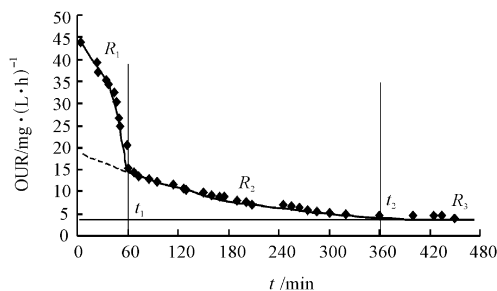


图1 间歇OUR呼吸计量法所测OUR曲线

图中的曲线分为3个阶段: $t < t_1$ 时, OUR响应由微生物代谢快速可生物降解有机物 S_S 引起, 所以出现的是较高OUR水平的平台, 且OUR随 S_S 浓度降低而降低; 到了 t_1 时刻, S_S 渐渐的耗尽, 反应器内OUR速率由废水中的缓慢降解底物 X_S 水解提供的底物控制; 当反应时间 $t > t_2$ 时, OUR几乎不变, 维持在一个较低的水平。缘于废水中的 X_S 耗尽, 反应器内微生物进入内源代谢阶段。于是曲线上依次出现两个

第一作者: 刘芳, 女, 1976年出生, 在读博士生, 从事水污染控制方向研究。

* 国家自然科学基金重点项目(No. 50138010)的子课题及上海市2001~2003年重点学科建设资助项目。

拐点, 3个OUR平台, 这样就很容易区分 S_s 和 X_s 所引起的OUR积分面积, 从而用简化的模型公式方便地计算 S_s 的浓度^[3]:

$$S_s = \frac{V_T}{V_W} \frac{1}{1 - Y_H} \int (R_1 - R_2) \cdot dt \quad (1)$$

相应的缓慢生物降解有机物 X_s 可由下式计算^[3]:

$$X_s = \frac{V_T}{V_W} \frac{1}{1 - Y_H} \int (R_2 - R_3) \cdot dt \quad (2)$$

式中: V_T 为反应器体积, L; V_W 为所加污水体积, L; Y_H 为异养菌产率系数; t_1 , t_2 为曲线中相应的拐点时间; R_1 , R_2 , R_3 为曲线中相应OUR, mg/(L·h)。

1.3 颗粒惰性有机物(X_I)的测定

进水中总COD的组成如下:

$$\text{COD}_t = S_s + X_s + X_I + S_I \quad (3)$$

已经确定了 S_s , X_s 和 S_I , 根据物料平衡可以算出 X_I 。

1.4 异养菌 X_{BH} 和自养菌 X_{BA} 的测定

在实验中采取一定措施抑制自养菌的活动(投加硝化抑制剂A TU), 通过测定耗氧速率曲线, 可以根据公式(4)算得废水中的 X_{BH} ^[4]:

$$X_{BH} = r(t_0) \cdot [(1 - Y_H)/Y_H \cdot \mu_{\max}]^{-1} \quad (4)$$

式中: $r(t_0)$ 为 t_0 时刻污水内异养菌的OUR, mg/(L·h); $\mu_{\max}$ 为异养菌最大比增长速率, d^{-1} ; Y_H 为异养菌产率系数。

测定加入硝化抑制剂与不加硝化抑制剂两种情况下的起始OUR曲线, 两值之差可得自养菌活动所引起的氧消耗速率曲线。可根据公式(5)算得废水中的 X_{BA} ^[4]:

$$X_{BA} = \Delta r(t_0) [(4.57 - Y_A)/Y_A \cdot \mu_A]^{-1} \quad (5)$$

式中: $\Delta r(t_0)$ 为 t_0 时刻污水内自养菌的OUR, mg/(L·h); μ_A 为自养菌最大比增长速率, d^{-1} ; Y_A 为自养菌产率系数。

2 试验条件及步骤

为了考察ASM1模型划分的科学性及试验所采取测定方法的可行性, 选取了上海曲阳污水处理厂, 考察污水在经过其活性污泥系统处理过程中水质变化情况。本次试验所用废水取自该厂的曝气沉砂池的出水、初沉池的出水和二次沉淀池的出水, 污泥取自污泥螺旋回流泵。

在进行OUR呼吸计量试验时, 采用体积为1080 mL的批量反应器。为了避免硝化作用对试验的影响, 在反应器中投加20 mg/L的A TU抑制硝化菌生长。根据确定的F/M值向反应器中加入废水和污泥。向反应器中大量曝气至DO上升至7~8 mg/L, 然后停止曝气, 密封反应器, 记录DO的变化; 当溶解氧的浓度降至2 mg/L左右, 需重新充氧, 然后在继续读取反应器内DO浓度。重复上述步骤直到耗氧速率OUR达到恒定, 微生物进入内源呼吸水平, 结束试验。

在用呼吸计量法测定 X_s 、 S_s 、 X_{BH} 和 X_{BA} 时, 应将反应器维持在恒温状态, 温度偏差控制在 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。pH恒定而且接近中性。

废水中的含氮组分及碱度用标准的化学分析方法测定。

3 试验结果与分析

利用不同的F/M值对上海曲阳污水处理厂的各构筑物废水进行了多次试验。图2和图3是部分试验测得的OUR曲线, 此外根据前面介绍的分析方法, 对废水中的各组分进行了测定, 其结果汇总于表1。

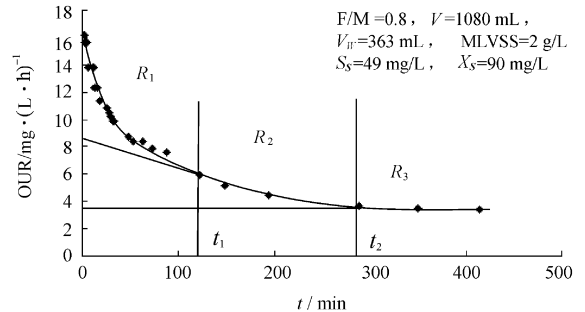


图2 水样3曝沉池出水的OUR曲线

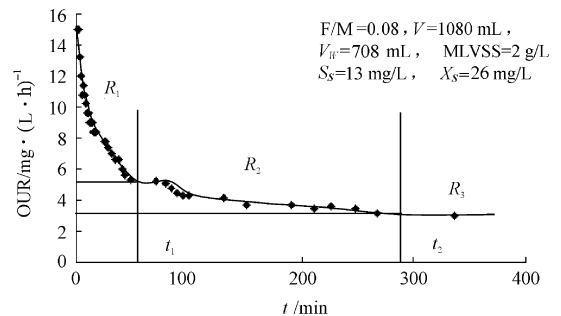


图3 水样3初沉池出水的OUR曲线

对表1进行分析可得出以下结论:

(1) 曝沉出水的总COD变化范围在279~559 mg/L之间, 溶解性COD在114~196 mg/L之间; 初沉出水的总COD变化范围在103~312 mg/L之间, 溶解性COD在61~170 mg/L之间; 二沉出水的总COD变化范围在24~36 mg/L之间, 溶解性COD在20~31 mg/L之间。

(2) 曝沉出水中 S_s 占总COD的比例平均为10.49%; X_s 占总COD的比例平均为14.24%; S_I 占总COD的比例平均为5.52%; 初沉出水中SS占总COD的平均比例为9.62%; X_s 占总COD的比例平均为16.97%; S_I 占总COD的比例平均为11.38%。

(3) 在水样3中, 二沉出水的 S_I 占总COD的比例达到100%。ASM1认为进水中的溶解惰性有机物 S_I 在系统中不发生变化, 近似等于出水中的溶解性COD。但Grady指出, 活性污泥法的出水溶解性COD中, 同样含有微生物细胞的代谢产物 S_p ^[3]。因此, 测定的出水溶解性COD浓度实际上大于进水 S_I 的浓度, 但目前还没有可行的方法测定 S_p , 所以出水溶解性COD就近似看作是 S_{I0} 。

(4) 废水中自带一部分异养菌, 其浓度为总COD的10%左右。

(5) 未检测出自养菌的浓度。因为废水从源头排出通过管道输送至污水厂时, 水中的溶解氧浓度已很低, 不适于自养菌的正常生长。

(6) 在前 4 个水样中, 二沉池出水的 S_{NH} 浓度较高, 相对应的 S_{NO} 浓度较低, 碱度较高, 说明反应系统中硝化不完全, 在水样 5 中, 二沉池出水的 S_{NH} 浓度降低, 低于 10 mg/L , 而相应的 S_{NO} 浓度升高, 碱度降低, 说明系统中硝化反应程度提高。

表 1 废水组分分析

水样	总 COD/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	溶解性 COD $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	S_s / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	S_s 占 总 COD 比 例/%	X_s / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	X_s 占 总 COD 比 例/%	S_i / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	S_i 占 总 COD 比 例/%	X_i / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
曝沉出水	559	187	59	10.55	68	12.16	16	2.86	416
1 初沉出水	274	156	46	16.79	46	16.79	13	4.74	169
二沉出水	24	23	-	-	-	-	16	66.67	8
曝沉出水	396	185	51	12.88	53	13.38	24	6.06	267
2 初沉出水	312	170	16	5.13	38	12.18	23	7.37	235
二沉出水	32	31	-	-	-	-	22	68.75	10
曝沉出水	476	196	49	10.29	90	18.91	28	5.88	309
3 初沉出水	244	145	13	5.33	26	10.66	27	11.07	178
二沉出水	27	22	-	-	-	-	27	100	
4 曝沉出水	279	114	20	7.17	25	8.96	23	8.24	211
初沉出水	170	93	14	8.24	29	17.06	21	12.35	106
二沉出水	24	20	-	-	-	-	20	83.33	4
曝沉出水	484	153	56	11.57	86	17.77	22	4.55	320
5 初沉出水	103	61	13	12.62	29	28.16	22	21.36	39
二沉出水	36	25	-	-	-	-	23	63.89	13

水样	X_{BH} / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	X_{BA} / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	S_{NH} / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	S_{NO} / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	S_{ND} / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	X_{ND} / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	S_{ALK} / $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$
曝沉出水	35.26	-	42.18	1.43	9.34	13.58	5.95
1 初沉出水	17.63	-	36.85	1.09	5.99	1.68	5.23
二沉出水	-	-	11.36	8.18	3.12	2.04	3.97
曝沉出水	23.5	-	32.91	1.24	7.41	8.96	5.99
2 初沉出水	17.63	-	32.91	1.08	5.73	7.28	5.12
二沉出水	-	-	16.69	2.19	7.39	3.08	3.96
曝沉出水	38.16	-	43.34	1.65	9.3	13.16	5.8
3 初沉出水	29.28	-	30.59	1.28	8.05	7	4.85
二沉出水	-	-	19.7	2.73	6.62	1.12	3.79
曝沉出水	41.13	-	24.57	1.61	15.19	8.96	4.83
4 初沉出水	5.88	-	25.49	1.28	13.15	5.6	4.51
二沉出水	-	-	13.91	5.21	11.86	1.4	3.5
曝沉出水	35.26	-	36.62	1.56	16.3	15.4	5.93
5 初沉出水	26.65	-	26.65	2.18	8.07	4.48	4.47
二沉出水	-	-	7.88	18.87	5	0.56	1.76

注: 表中“-”表示未检出。

根据以上分析看出, 曲阳污水处理厂的曝气沉砂池出水 和初沉池出水中的 S_s 和 X_s 比例范围与U bay 等^[5]报道的城 市污水中 S_s 和 X_s 比例范围相近。另外, 初沉池出水中的 S_s 和 X_s 浓度均低于曝气沉砂池出水, 可见在初沉池中污水依 靠自身所带的微生物也发生了部分生化反应, 降低了 S_s 和 X_s 的浓度, 而惰性溶解性有机物 S_i 由于不参与生化反应, 整个过程中浓度基本保持不变。通过对曲阳污水厂工艺流程 中 3 个不同点的取样分析, 发现污水的ASM 1 模型组分的划 分是比较科学的, 实际处理过程中不同处理单元对各组分 的影响也符合模型的预测, ASM 1 模型可有效地应用于活性污 泥系统的处理效果预测中。

4 结 论

ASM 1 以生物降解性为基础, 将废水划分为 13 种组分。 除了传统组分利用常规的化学分析方法测定外, 对于 S_{NH} 、 S_{NO} 、 X_{BH} 、 X_{BA} , 总结出了混凝过滤物化法和OUR 呼吸计 量法进行测定。对试验数据进行分析看出, 曝沉出水中 S_s 占 总 COD 的比例平均为 10.49%; X_s 占总 COD 的比例平均为

14.24%; S_i 占总 COD 的比例平均为 5.52%。初沉出水中 S_s 占总 COD 的平均比例为 9.62%; X_s 占总 COD 的比例平均 为 16.97%; S_i 占总 COD 的比例平均为 11.38%。

参考文献

1 Henze M, Grady C P L Jr, Gujer W, et al Activated sludge model no. 1 IAWPRC Scientific and Technical Report No. 1. IAWPRC, London, 1987

2 Marais D, Jenkins D, Pitt P. A rapid physical-chemical method for the determination of readily biodegradable soluble COD in municipal wastewater. Wat Res, 1993, 27(1): 195~197

3 黄 勇 活性污泥系统动态数学模型研究 博士学位论文, 哈尔 滨: 哈尔滨建筑工程学院, 1993

4 Kappeler J, Gujer W. Estimation of kinetic parameters of heterotrophic biomass under aerobic condition and characterization of wastewater for activated sludge modelling. Wat Sci Tech, 1992, 25(6): 125~139

5 U bay C E, Sozen S, Orhon D, et al Respirometric analysis of activated sludge behaviour-I. A assessment of the readily biodegradable substrate. Wat Res, 1998, 32(2): 461~475

责任编辑: 陈泽军 (收到修改稿日期: 2003-09-10)