

SBR 系统中活性污泥内源呼吸速率的研究

崔卫华¹ 宋英豪² 倪文³ 王凯军²

(1. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京 100083; 2. 北京市环境科学研究院, 北京 100037;
3. 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083)

摘要 在 SBR 污水处理系统中应用呼吸速率测定仪对活性污泥的呼吸速率进行测定, 探讨了污泥浓度和温度对内源呼吸速率的影响。对大量的比内源呼吸速率数据进行处理后发现, 在混合液温度基本不变的基础上, 内源呼吸速率与污泥浓度变化趋势一致, 即比内源呼吸速率与污泥浓度无关; 而温度对比内源呼吸速率的影响十分显著。这些结论为呼吸速率成为 SBR 工艺的控制参数提供了基础。

关键词 SBR 内源呼吸速率 MLSS 温度

中图分类号 X832 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2007)04-0123-04

A study on endogenous respiration rate in SBR

Cui Weihua¹ Song Yinghao² Ni Wen³ Wang Kaijun²

(1. School of Water Resources & Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083

2. Beijing Municipal Institute of Environmental Protection, Beijing 100037,

3. Civil & Environmental Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083)

Abstract The endogenous respiration rate of activate sludge in SBR was measured. The effects of MLSS and temperatures on endogenous respiration rate were discussed. It was found that when the temperatures of mixed liquid were basically unchanged, the change trend of the endogenous respiration rate was consistent with that of MLSS, that is, the specific endogenous respiration rate was not related to MLSS. The effect of temperatures on endogenous respiration rate was significant. These conclusions provide a basis for endogenous respiration rate becoming a control parameter of SBR.

Key words SBR; endogenous respiration rate; MLSS; temperature

SBR 是一种流程简单、运行方式灵活的活性污泥处理工艺。近年来 SBR 发展非常迅速, 新型的 SBR 不断涌现。但是 SBR 的自动控制也只是停留在时间控制上, 无法实现现代控制所追求的最优化控制, 不能适应水质水量的变化, 限制了 SBR 运行方式灵活这一特点的发挥。关于 SBR 工艺的活性污泥呼吸速率的测量已有较多研究, 但是用呼吸速率作为 SBR 控制参数的研究较少。本实验在呼吸速率在线连续测定的基础上, 研究了内源呼吸速率的影响因素, 探索了用内源呼吸速率作为 SBR 反应时间计算机控制参数的可行性。

在各种文献中对内源呼吸速率 (r_{end}) 的定义有所差别。微生物学文献中认为当监测不到基质消耗, 用以维持 ATP 的能量来自于微生物自身降解时, 表示内源呼吸开始^[1-3]。在污水处理文献中内源呼吸是指活性细胞用细胞内含物作为基质进行新陈代谢过程中的呼吸作用, 通常发生在没有任何其

他基质可利用时^[4]。本文中, 实用的内源呼吸速率定义为: 在溶液中没有易降解物质时单位时间、单位体积内的耗氧量。用 r_{end} 表示。单位质量 MLSS 的内源呼吸速率即比内源呼吸速率, 用 $r_{\text{end},s}$ 表示。

呼吸速率的计算公式为:

$$r = - \frac{dC_{(O_2)}}{dt}$$

式中: r —呼吸速率, $\text{mg O}_2 / \text{L} \cdot \text{h}$

$C_{(O_2)}$ —反应液的溶解氧浓度, $\text{mg O}_2 / \text{L}$;

t —时间, h ;

比内源呼吸速率的计算公式为:

$$r_{\text{end},s} = \frac{r_{\text{end}}}{\text{MLSS}}$$

收稿日期: 2006-06-27 修订日期: 2006-09-27

作者简介: 崔卫华 (1978~), 女, 讲师, 博士研究生, 研究方向: 水污染监测与治理。E-mail: cuiwh@cugb.edu.cn

式中: $r_{\text{end } s}$ —比内源呼吸速率, $\text{mg O}_2 / \text{g MLSS} \cdot \text{h}$

r_{end} —内源呼吸速率, $\text{mg O}_2 / \text{L} \cdot \text{h}$

MLSS—污泥浓度, g/L 。

有文献指出内源呼吸速率是活性微生物量的量度,但是内源呼吸速率的影响因素很多,如温度、pH值、毒性物质和负荷等^[5]。在试验中发现,较为明显的影响因素有温度、混合液的 pH 值以及 MLSS 浓度等。本实验研究了污泥浓度和温度对于比内源呼吸速率的影响,探索比内源呼吸速率与污泥浓度和温度的定性、定量关系。

1 材料设备和装置

1.1 设备

1.1.1 SBR 试验装置

SBR 试验装置如图 1 所示。

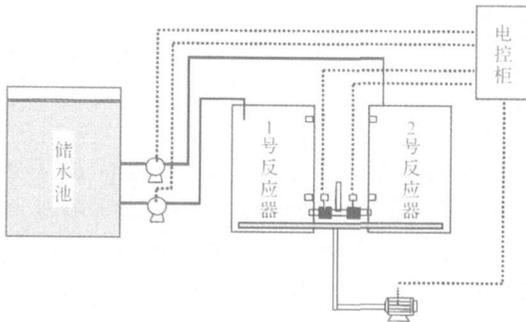


图 1 SBR 试验装置图

Fig 1 Simplified equipment drawing of SBR

本试验装置由 2 个并列运行的 SBR 反应器组成,每个反应器长×宽×高为 $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$,总有效容积为 30 L ,采用鼓风曝气,由气体流量计调节曝气量,排泥由人工每天定时定量排放。试验运行中 SBR 系统各阶段(进水、曝气、沉淀、排水和闲置)的控制由 LONWORKS 节点控制电磁继电器来实现。

1.1.2 呼吸速率测定装置

呼吸速率测定装置如图 2 所示。

试验过程中采用如图 2 所示的间歇式呼吸测定仪进行呼吸速率的测量,取样周期为 5 min 。用计算机在线采集溶解氧值,采集周期为 6 s 。所有溶解氧数据都自动存入 Excel 表格中。对每个取样点采集的溶解氧值作时间的导数,可得该取样点所对应的呼吸速率,整个反应期所有取样点的呼吸速率连接起来,得到反应期的呼吸速率变化曲线。

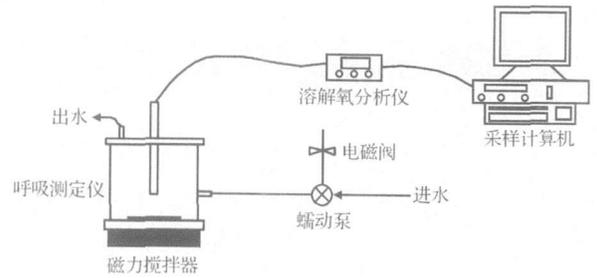


图 2 呼吸速率的测定装置

Fig 2 Determination setting of respiration rate

1.2 试剂与水质指标测定

1.2.1 人工配水

本试验所用原水为人工配水,即在自来水中添加一定的营养液配制而成,配水仿照生活污水配制,实验过程中进水 COD 浓度在 $300 \sim 500 \text{ mg/L}$, C:N:P 按微生物的生长比例为 $100:5:1$ 。另外,再加入少量 Ca Mg 等微量元素。具体成分如下:葡萄糖 $200 \sim 1200 \text{ mg/L}$,硫酸铵 $72 \sim 432 \text{ mg/L}$,磷酸二氢钾 $12.5 \sim 75 \text{ mg/L}$,三氯化铁 $0.2 \sim 1.2 \text{ mg/L}$,硫酸镁 $0.2 \sim 1.2 \text{ mg/L}$,无水氯化钙 $0.8 \sim 4.8 \text{ mg/L}$ 。

1.2.2 测定的水质指标

测定项目: COD、pH、MLSS、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、呼吸速率。

1.3 SBR 的运行状况

SBR 反应器一个周期的运行时间为 12 h ,其中进水 2 h 曝气 8 h 沉淀 1.5 h 排水和闲置 0.5 h ,采用限制曝气的运行方式,即在进水的 2 h 中,不进行搅拌,也不曝气,进水结束后再进行 8 h 的曝气反应。反应器内的充水比为 0.5 ,曝气量 6.4 L/min ,污泥龄 15 d 。SBR 反应器中用的种泥来自北京市高碑店污水处理厂,在实验室内经过 2 周的驯化。

2 试验结果与分析

2.1 SBR 反应过程中呼吸速率的变化情况

在进水 COD 浓度为 401 mg/L , $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度为 41.20 mg/L , SBR 反应器内的曝气量为 6.4 L/min , MLSS 为 2350 mg/L ,温度为 $17.4 \text{ }^\circ\text{C}$ 的条件下,呼吸速率的变化如图 3 所示。

由图 3 可以看到,呼吸速率首先迅速上升,达到最大值后突然下降,然后进入一个平稳阶段,平稳阶段持续一段时间后,呼吸速率又有一个突然下降,标志着微生物进入内源呼吸时期。

结合图 3 和图 4 可知,呼吸速率第一次突然下

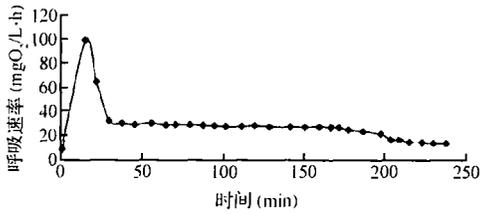


图 3 呼吸速率的变化曲线

Fig 3 Respiration rate in SBR process

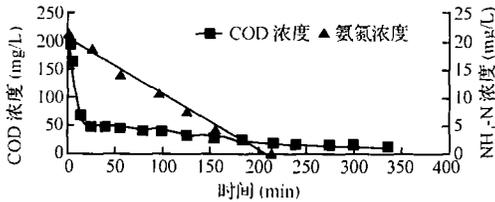


图 4 NH₄⁺-N 与 COD 的变化曲线

Fig 4 Changes of NH₄⁺-N and COD

降得时间与 COD 完全降解的时间一致; 第二次下降时间与 NH₄⁺-N 完全被氧化所用时间相当。

呼吸速率首先上升是由于反应刚开始时, 经过厌氧环境后的微生物处于活性恢复阶段。微生物的活性恢复后呼吸速率迅速达到最大值, 开始阶段 COD 下降得非常迅速, 呼吸速率的水平也非常高, 这时的呼吸速率主要是由 COD 的氧化引起的。经过一定时间后, COD 降到了比较低的水平, COD 降解的速率比较低。呼吸速率随着 COD 浓度的降低, 也迅速降低, 这时产生呼吸速率的第一个下降突跃。

当 COD 降低速率比较低时, 呼吸速率的变化也变得非常缓慢, 开始进入一个平稳阶段, 这个平稳阶段持续一段时间后, 呼吸速率产生第二次突跃, 此突跃值相当于 NH₄⁺-N 氧化引起的呼吸速率的大小, 突跃的到来标志着 NH₄⁺-N 完全被氧化, 微生物进入内源呼吸时期, 以后所测得的呼吸速率为内源呼吸速率。

2.2 污泥浓度对比内源呼吸速率的影响

在 SBR 反应器的曝气量为 6.4 L/min, 有机物负荷 0.1~0.3 kg/kg·d 温度基本不变时, 不同污泥浓度下, SBR 反应器内微生物进入内源呼吸后, 测得的内源呼吸速率值见图 5。

从图 5 中可见: 污泥浓度在 1000~3500 mg/L 的范围内进行变化时, 内源呼吸速率与污泥浓度具有良好的正相关性。污泥浓度高的样品, 其内源呼吸速率值大, 但是比内源呼吸速率基本相同, 也就是

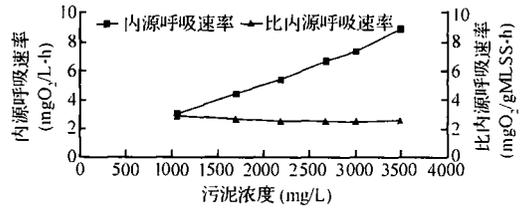


图 5 内源呼吸速率与污泥浓度的关系图

Fig 5 Relationship between endogenous respiration rate and MLSS

说在人工配水的条件下, 排除温度因素的影响后, MLSS 在 1000~3500 mg/L 的范围内时, 比内源呼吸速率与污泥浓度无关。

2.3 温度对比内源呼吸速率的影响

在 SBR 反应器的曝气量为 6.4 L/min, 有机物负荷 0.1~0.3 kg/kg·d 污泥浓度基本不变时, 不同温度下, SBR 反应器内微生物进入内源呼吸后, 测得的内源呼吸速率值见表 1。

从 3 月份到 8 月份, SBR 反应器中水温变化为 15.7~27.5 °C。在这个温度变化范围内, 温度对比内源呼吸速率的影响十分显著——比内源呼吸速率随温度的降低而降低。温度对比内源呼吸速率产生影响是因为活性污泥中的生物化学代谢功能与温度有很大关系, 温度降低, 细菌的代谢活力相应减弱。而呼吸速率与微生物的活性(酶和核酸的活性是微生物活性的核心体现部分)有密切关系^[6]。当温度降低时, 酶和核酸的活性降低, 酶促反应变慢, 基质的氧化和微生物自身的氧化速率都下降。微生物的自身氧化速率下降时, 会导致微生物的内源呼吸作用减弱, 比内源呼吸速率变小。

表 1 不同温度, 相同污泥浓度下内源呼吸速率的测量值

Table 1 Endogenous respiration rates at different temperatures and the same MLSS

温度 (°C)	污泥浓度 (mg/L)	内源呼吸速率 (mg O ₂ /L·h)	比内源呼吸速率 (mg O ₂ /g MLSS·h)
15.7	2250	5.47	2.43
16.3	2260	5.79	2.56
17.5	2300	6.62	2.88
18.6	2320	7.24	3.12
20.8	2359	8.07	3.42
21.2	2360	8.61	3.65
22.4	2390	10.04	4.20
23.8	2435	10.67	4.38
24.4	2490	11.28	4.53
25.6	2500	11.83	4.73
26.9	2505	12.22	4.88
27.5	2540	13.08	5.15

为了直观地表现出温度的影响,对表 1 中的数据进行拟合。通常情况下,温度作为影响因素时的拟合公式有 2 种形式^[7]:

$$r_{\text{end } s} = r_{0s} \cdot \theta^{T-T_0} \quad (1)$$

$$r_{\text{end } s} = r_{0s} \cdot e^{k(T-T_0)} \quad (2)$$

在本文中(2)中各符号的意义分别为:

$r_{\text{end } s}$ —温度 T 时的比内源呼吸速率, $\text{mg O}_2 / \text{g MLSS} \cdot \text{h}$

r_{0s} —温度 T_0 时的比内源呼吸速率, $\text{mg O}_2 / \text{g MLSS} \cdot \text{h}$

K —经验常数。

本试验采用后一种拟合方式。从实验数据中任选一温度值作为 T_0 , 进行拟合, 可得到相近的经验常数 K 。

取 T_0 为 25.6°C , 将表 1 中的数据代入式(2)中得:

$$r_{\text{end } s} = 4.73 \times e^{K(T-25.6)} \quad (3)$$

对式(3)取对数有:

$$\ln \frac{r_{\text{end } s}}{4.73} = K(T-25.6) \quad (4)$$

用式(4)对表 1 中的数据进行线性回归可得经验常数 K 值, $K = 0.0628$ 相关系数 $\gamma^2 = 0.9769$ $\gamma = 0.9883$, 所得拟合曲线见图 6 ($\Delta T = T - 25.6$)。

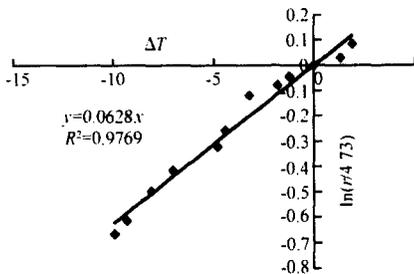


图 6 内源呼吸速率与温度的线性回归曲线

Fig 6 Linearity regress curve of endogenous respiration rate and temperature

由此可知, 温度对内源呼吸速率的影响呈对数关系, 温度与比内源呼吸速率的关系式可表示为:

$$r_{\text{end } s} = r_{0s} \cdot e^{0.0628(T-25.6)} \quad (5)$$

在用内源呼吸速率对 SBR 系统进行自动控制时, 根据此关系式, 可以扣除由于温度变化引起的内源呼吸速率的变化, 从而使自动控制的参数简单化。

3 结 论

(1) 在混合液温度基本不变的基础上, 研究发现内源呼吸速率与污泥浓度的变化趋势一致, 即比内源呼吸速率与污泥浓度无关。

(2) 对大量比内源呼吸速率数据进行处理, 发现温度对比内源呼吸速率的影响呈对数关系, 公式为:

$$r_{\text{end } s} = r_{0s} \cdot e^{K(T-T_0)}$$

在本试验中取 $T_0 = 25.6^\circ\text{C}$, 则 $r_{0s} = 4.73$ $K = 0.0628$ 相关系数 $\gamma = 0.9883$

由以上结论可知, 在实际的污水处理过程中可以把比内源呼吸速率作为控制 SBR 反应时间的参数。

参 考 文 献

- [1] 卢少勇, 宋英豪, 申立贤, 等. 呼吸速率测定研究进展. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(8): 24~27
- [2] 黄满红, 李咏梅, 顾国维, 等. 呼吸计量法在活性污泥系统废水特性测定中的应用. 工业水处理, 2005, 25(9): 58~61
- [3] Spanjers H. Respirometry in activated sludge. Doctoral Thesis Wageningen Agricultural University, Wageningen, the Netherlands, 1993
- [4] Patry G. G., Chapman D (eds). Dynamic Modeling and Expert-Systems in Water Engineering. Lewis Publishers Inc., 1989
- [5] Alsop P. J., Moo-Young M., Sullivan G. R. The dynamics and control of substrate inhibition in activated sludge. Critical Reviews in Environmental Control, 1990, 20: 115~167
- [6] Spanjers H., Vanrolleghem P. Respirometry as a tool for rapid characterization of wastewater and activated sludge. Water Science and Technology, 1995, 31(2): 105~114