

呼吸图谱监测活性污泥系统处理能力

吕建坤, 李志华, 张亚伟

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710055)

摘要: 通过分析以呼吸法为基础的污泥呼吸图谱技术,监测污水处理厂的實際处理能力。以呼吸图谱技术与活性污泥1号模型相结合来获取污泥与污水的信息,从而对污水厂出水水质进行评估。结果表明,在呼吸图谱中,当测得的 R_{st} (OUR_s/OUR_{enc}) 小于典型值 R_{pb} (0.42) 时,污水厂的出水水质能够达到一级A标准。呼吸图谱在监测污水厂运行时可分为3种情况,且当污水厂处于恢复阶段时具有一定的预示性:当 R_{st} 稳定小于 R_{pb} 时,说明污水厂能够持续达标;当 R_{st} 由大于 R_{pb} 变成稳定小于 R_{pb} 时,说明当前污水厂出水水质超出标准,并且在转变点约一周后出水水质才能达标;当 R_{st} 由小于 R_{pb} 变成稳定大于 R_{pb} 时,说明污水厂可能已经处于异常状况,这时呼吸图谱会丧失预示性。

关键词: 呼吸图谱; ASM1 简化模型; 污水厂监测; 耗氧速率; 处理能力

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)11-0104-05

Monitoring Treatment Capacity of Activated Sludge System by Respirogram

LYU Jian-kun, LI Zhi-hua, ZHANG Ya-wei

(Key Laboratory of Northwest Water Resource, Environment and Ecology <Ministry of Education>, School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: The respirogram based on the respirometric method was used to monitor the actual treatment capacity of WWTP. The respirogram technology and the ASM1 were combined to obtain information on sludge and sewage, as well as to assess the effluent quality. The results showed that in respirogram, when the measured R_{st} (OUR_s/OUR_{enc}) was less than the typical value R_{pb} (0.42), the effluent reached the first level A standard. The respirogram was divided into three categories when monitoring the operation of the WWTP and the respirogram was predictive when the WWTP was in the recovery stage. When R_{st} was stably below R_{pb} , the effluent could reach standard constantly. When R_{st} changed from above R_{pb} to constantly below R_{pb} , the effluent was expected to fail the standard in the beginning, and reach the standard in about one week after the transition point. When R_{st} changed from less than R_{pb} to stably greater than R_{pb} , the WWTP could be in an abnormal situation, and the respirogram would lose its predictive ability.

Key words: respirogram; ASM1 simplified model; monitoring of WWTPs; OUR; treat-

基金项目: 陕西省住房和城乡建设厅科技计划项目(2015-K63); 西安市社会发展引导计划—社会发展科技示范项目(2016063SF/SF09)

通信作者: 李志华 E-mail: lizhihua@xauat.edu.cn

ment capacity

通常利用 COD、氨氮等指标来评价活性污泥系统的处理效率,但是利用传统化学法测定这些指标不仅费时费力,易造成环境污染,而且不能有效反映污泥系统的信息,因此有必要探索一种能够安全快速反映活性污泥系统相关信息的新方法。呼吸速率作为活性污泥系统运行过程中非常重要的变量,不但能表征活性污泥生物量的活性,还能获得废水成分的相关信息。呼吸计量法是以测量呼吸速率为基础的技术,通过它既可以掌握活性污泥系统的有关信息,又能从污泥与污水两方面对活性污泥系统进行评价^[1]。其在微生物活性、进水组分、运行管理等方面均有成功的应用^[2]。

污泥呼吸图谱是以呼吸计量法为基础的监测方法,笔者试图通过呼吸图谱技术与活性污泥 1 号模型相结合,从而获取污泥与污水的相关信息,对污水厂出水水质进行评估,并提供一种简单易行的、可用于现场监测的新方法,旨在为污水处理厂的合理运行和及时调控提供参考。

1 试验材料与方法

1.1 污泥来源

污泥样品来源于陕西省和甘肃省 3 个污水处理厂曝气池内的活性污泥。具体如下: BH 污水处理厂采用 CAST 工艺,流量为 $0.36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, MLSS 为 $3\ 000 \sim 3\ 800 \text{ mg/L}$; YC 污水处理厂采用 AAO 氧化沟工艺,流量为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, MLSS 为 $1\ 000 \sim 4\ 000 \text{ mg/L}$; QC 污水处理厂采用氧化沟工艺,流量为 $(0.28 \sim 0.45) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, MLSS 为 $2\ 000 \sim 4\ 000 \text{ mg/L}$ 。其中, BH 污水处理厂处于稳定运行状态, YC 污水处理厂处于重新启动恢复阶段, QC 污水处理厂处于异常状态。

1.2 模型建立

试验以 ASM1 活性污泥模型为基础^[3],通过理论计算验证呼吸图谱技术的合理性,以此来判断活性污泥系统的处理能力与出水水质的情况。ASM1 模型主要以碳氧化与氮硝化过程为主,由于有机氮对模型的影响很小,因此忽略了可生物降解有机氮及碱度,从而简化了 ASM1 模型,并建立 ASM1 简化模型矩阵。其中各参数数值为 ASM1 在 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时的典型值^[3],生物量比以异养菌 X_H : 自养菌 $X_A = 20:1$ 为基础^[4]。

1.3 试验过程与分析方法

1.3.1 呼吸图谱的测定

利用污水处理智慧运行工作站对污泥样品进行呼吸图谱测试,具体过程详见文献^[5]、^[6]。在检测过程中,将获得污泥呼吸图谱的 5 个耗氧速率: 现状耗氧速率 OUR_s 、准内源耗氧速率 OUR_q 、内源耗氧速率 OUR_e 、加氮源后耗氧速率 OUR_{en} 以及总耗氧速率 OUR_{enc} 。其中, OUR_{en} 与 OUR_{enc} 的计算见式(1)、(2)。

$$OUR_{en} = OUR_e + OUR_n \quad (1)$$

$$OUR_{enc} = OUR_e + OUR_n + OUR_c \quad (2)$$

式中, OUR_n 为自养菌耗氧速率; OUR_e 为异养菌耗氧速率。

1.3.2 呼吸图谱与 ASM1 简化模型的关系

根据 ASM1 简化模型,呼吸图谱中 OUR_e 、 OUR_s 、 OUR_n 、 OUR_c 的计算见式(3)~(6)。

$$OUR_e = (1 - f_p)(b_H X_H + b_A X_A) \quad (3)$$

$$OUR_s = (1 - f_p)(b_H X_H + b_A X_A) + \frac{1 - Y_H}{Y_H} \mu_H \frac{S_S}{K_S + S_S} X_H + \frac{4.57 - Y_A}{Y_A} \mu_A \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} X_A \quad (4)$$

$$OUR_n = \frac{4.57 - Y_A}{Y_A} \mu_A X_A \quad (5)$$

$$OUR_c = \frac{1 - Y_H}{Y_H} \mu_H X_H \quad (6)$$

式中, S_S 为溶解性快速可生物降解有机物含量, mgCOD/L ; S_{NH} 为 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 含量, mgN/L ; X_H 为活性异养菌生物量, mgCOD/L ; X_A 为活性自养菌生物量, mgCOD/L ; f_p 为生物固体的惰性组分含量; b_H 为异养菌比衰减速率, d^{-1} ; b_A 为自养菌比衰减速率, d^{-1} ; μ_H 为异养菌最大比生长速率, d^{-1} ; μ_A 为自养菌最大比生长速率, d^{-1} ; Y_A 为自养菌产率系数, gCOD/gN ; Y_H 为异养菌产率系数, gCOD/gCOD ; K_{NH} 为自养菌生长与底物利用饱和常数, $\text{gNH}_3 - \text{N/m}^3$; K_S 为异养菌生长与底物利用饱和常数, gCOD/m^3 。

各参数与 ASM1 的相应模型参数相同,可以取 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时的典型值。由于 OUR_s 表示污泥处理后出水 COD 与氨氮的耗氧速率,因此公式(4)中的水质组

分 S_s 、 S_{NH} 可以反映实际出水中 COD 与氨氮的浓度大小。

2 结果与讨论

2.1 稳定运行污水厂处理能力与呼吸图谱分析

BH 污水厂为长期稳定达标的小型污水厂,其出水水质与呼吸图谱数据如图 1 所示。

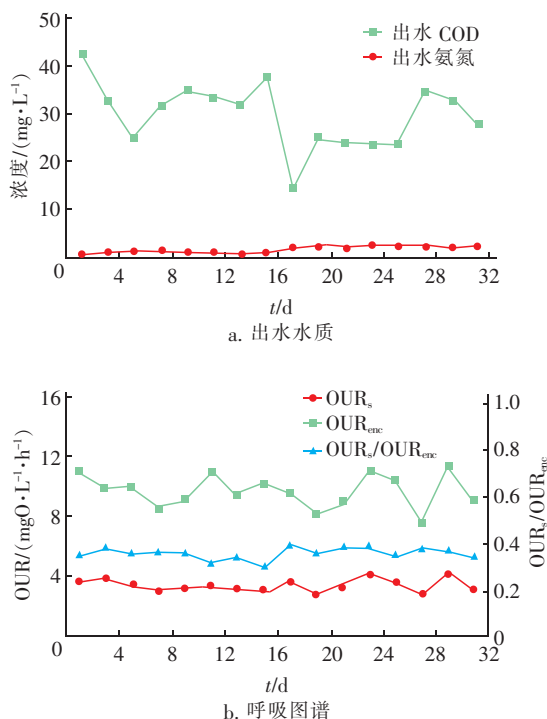


图1 BH 污水厂出水水质与呼吸图谱的变化特征

Fig.1 Variation characteristics of effluent quality and respirogram in BH WWTP

从图 1 可以看出,当出水 COD 与氨氮符合一级 A 标准时,其呼吸图谱反映出 OUR_s/OUR_{enc} 较低。其原因可以从 ASM1 简化模型与呼吸图谱的分析中得出:在呼吸图谱中, OUR_s 与出水 COD、氨氮、污泥生物量有关,因此 OUR_s 越小,说明出水 COD 与氨氮的浓度越低;而 OUR_{enc} 只与污泥的生物量有关, OUR_{enc} 越大,说明污泥的生物量越多,且污泥的处理能力越好。此时可以采用 OUR_s 与 OUR_{enc} 的比值 $R_{st} = OUR_s/OUR_{enc}$ 来表示活性污泥的处理能力,该比值越小说明 COD 与氨氮的浓度越低,并且生物量越大,去除污染物的能力越高,出水水质越好。

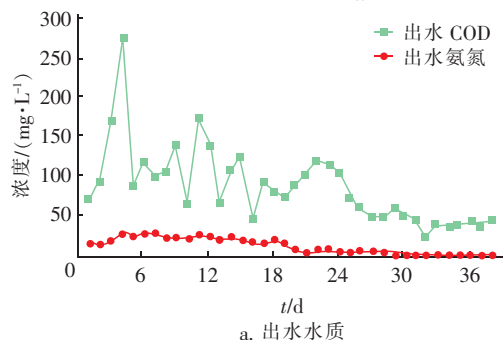
OUR_s/OUR_{enc} 的计算见式(7)。可以看出, R_{st} 值与出水 COD(S_s)、氨氮(S_{NH})、污泥模型参数和生物量比($X_H:X_A$)有关。GB 18918—2002 的一级 A 标准规定:出水 COD ≤ 50 mg/L, $NH_4^+ - N \leq 5$ mg/L。

根据有关报道^[7],一般情况下出水 COD 中 S_s 占总出水 COD 的比例为 10%~15%。因此当污水厂出水水质刚好达到一级 A 标准时,其 COD 与氨氮应分别为 50 与 5 mg/L,即 S_s 、 S_{NH} 均为 5 mg/L,将污泥模型参数(20℃时的典型值)与生物量比(本试验取 $X_H:X_A = 20:1$)代入式(7),可计算得出达标临界点 $R_{pb} = 0.42$,所以在 20℃条件下,生物量比 $X_H:X_A$ 为 20:1 时,若实测 $R_{st} < R_{pb} = 0.42$,说明出水水质可以达到一级 A 标准。因此,对于 BH 污水厂,其出水在连续监测过程中能稳定达到一级 A 标准,同时呼吸图谱数据中 R_{st} 均小于 R_{pb} ,说明呼吸图谱可以监测正常稳定运行的污水厂。

$$\begin{aligned} OUR_s/OUR_{enc} = & \left[\frac{1-Y_H}{Y_H} \mu_H \frac{S_s}{K_S+S_s} \frac{X_H}{X_A} + \right. \\ & \frac{4.57-Y_A}{Y_A} \mu_A \frac{S_{NH}}{K_{NH}+S_{NH}} + \\ & \left. (1-f_p) \left(b_H \frac{X_H}{X_A} + b_A \right) \right] / \\ & \left[\frac{1-Y_H}{Y_H} \mu_H \frac{X_H}{X_A} + \right. \\ & \frac{4.57-Y_A}{Y_A} \times \mu_A + \\ & \left. (1-f_p) \left(b_H \frac{X_H}{X_A} + b_A \right) \right] \end{aligned} \quad (7)$$

2.2 呼吸图谱对非稳定运行污水厂的监测效果

YC 污水厂处于重新启动恢复过程中,其出水水质与呼吸图谱数据见图 2。可知,由于 YC 污水厂生物量很低,因此活性较差。在连续监测过程中,该污水厂可分为 3 个阶段:①前 20 d 活性污泥不稳定,出水 COD、氨氮均超标, R_{st} 均大于 R_{pb} ;②在 20~27 d 之间, R_{st} 开始低于 R_{pb} ,此时出水 COD 与氨氮只是有逐渐达标的趋势,但并未符合要求;③30 d 后,出水 COD、氨氮逐渐达标,此时 R_{st} 也逐渐小于 R_{pb} 。



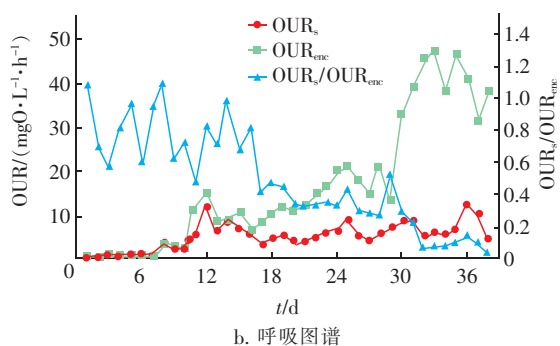


图2 YC 污水厂出水水质与呼吸图谱的变化特征

Fig. 2 Variation characteristics of effluent quality and respirogram in YC WWTP

QC 污水厂处于异常状态,其出水水质与呼吸图谱数据如图3所示。

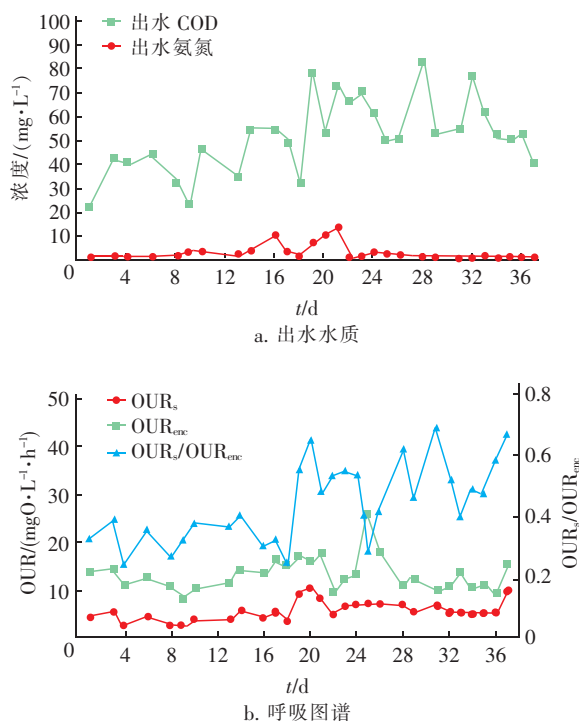


图3 QC 污水厂出水水质与呼吸图谱的变化特征

Fig. 3 Variation characteristics of effluent quality and respirogram in QC WWTP

由图3可知,由于QC污水厂遇到异常情况,其部分出水水质超标。在连续监测过程中,该污水厂也可分为3个阶段:①前13d污水厂处于稳定状态,出水COD、氨氮均达标, R_{st} 也小于 R_{pb} ;②由于遇到异常情况,在14~19d时,出水COD、氨氮逐渐超标,但 R_{st} 并未高于 R_{pb} ;③19d之后,出水COD一直处于超标状态,此时 R_{st} 也开始大于 R_{pb} 。

通过对非稳定运行污水厂的监测发现,呼吸图

谱在恢复阶段具有一定预示性,即当污水厂处于恢复阶段时,呼吸图谱会提前表现一周左右的低 R_{st} 情况,而当遇到异常时,呼吸图谱会丧失这种预示性,在遇到异常一周左右之后才表现出高 R_{st} 情况。其原因是当污水厂活性污泥遇到冲击时,微生物需要花费一定的时间才能恢复到冲击前的水平^[8]。

综上所述,利用呼吸图谱监测污水处理系统可分为3种状态:①当 R_{st} 一直小于 R_{pb} 时,说明污泥处理系统处于稳定运行状态,出水水质安全达标;②当 R_{st} 从大于 R_{pb} 转变为小于 R_{pb} 时,说明污泥处理系统由出水水质超标逐渐转变为达标,缓冲期约为1周;③当 R_{st} 从小于 R_{pb} 转变为大于 R_{pb} 时,说明污泥处理系统已经处于异常状态,此时呼吸图谱会丧失预示性,在1周左右之前出水水质可能已经超标。

2.3 讨论

呼吸图谱虽然能够监测典型污水厂,但是实际污水厂运行受工艺、HRT、污泥龄、曝气量等因素的影响,用典型 R_{pb} 值已无法满足不同污水厂的判定标准。研究发现,利用呼吸图谱来表示活性污泥系统处理能力时,若已知ASM1污泥参数与污泥的生物量比($X_H:X_A$),即可利用公式(7)计算出达到一级A标准时所需的 R_{pb} 值,此时若实测 R_{st} 值小于 R_{pb} ,说明出水水质可以达到一级A标准,并由该值可以连续监测污水厂,以达到辅助运行管理的目的。

3 结论

① 利用呼吸图谱可以监测污水处理厂的运行情况,从而及时得知污水厂当前的处理能力。当呼吸图谱 R_{st} 值小于典型 R_{pb} 值(0.42)时,说明污水厂运行效果好,出水水质可以达到一级A标准;当 $R_{st} > R_{pb}$ 时,说明污水厂处理污水能力较差,出水水质可能超标。

② 呼吸图谱在监测污水厂时可分为3种情况,且当污水厂处于恢复阶段时具有一定的预示性:当 R_{st} 稳定小于 R_{pb} 时,说明污水厂出水水质能够持续稳定达标;当 R_{st} 由大于 R_{pb} 变成稳定小于 R_{pb} 时,说明当前污水厂出水水质超出标准,且在转变点约一周后出水水质会达到标准要求;当 R_{st} 由小于 R_{pb} 变成稳定大于 R_{pb} 时,说明当前污水厂可能已处于异常状况,此时呼吸图谱会丧失预示性。

参考文献:

[1] 周振,吴志超,王志伟,等. 基于呼吸计量法的异养菌

- 动力学参数优化估计[J]. 中国环境科学, 2010, 30(3): 322 - 327.
- Zhou Zhen, Wu Zhichao, Wang Zhiwei, *et al.* Optimization estimation of kinetic parameters for heterotrophic biomass based on batch respirometric method[J]. China Environmental Science, 2010, 30(3): 322 - 327 (in Chinese).
- [2] Lagarde F, Tusseau-Vuillemin M H, Lessard P, *et al.* Variability estimation of urban wastewater biodegradable fractions by respirometry[J]. Water Res, 2005, 39(19): 4768 - 4778.
- [3] Henze M, Gujer W, Mino T, *et al.* Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2D, ASM3 [M]. London: IWA Publishing, 2006.
- [4] Ni B J, Yu H Q, Sun Y J. Modeling simultaneous autotrophic and heterotrophic growth in aerobic granules[J]. 2008, 42(6/7): 1583 - 1594.
- [5] 李志华, 孙垂猛, 柴波. 不同类型活性污泥内源呼吸过程的典型特征解析[J]. 中国给水排水, 2015, 31(7): 25 - 28.
- Li Zhihua, Sun Chuimeng, Chai Bo. Typical features of endogenous respiration process of different types of activated sludge [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(7): 25 - 28 (in Chinese).
- [6] 李志华, 柴波, 孙垂猛, 等. 冲击与恢复条件下活性污泥 OUR 的变化规律[J]. 中国给水排水, 2015, 31(9): 19 - 22, 28.
- Li Zhihua, Chai Bo, Sun Chuimeng, *et al.* Variation of OUR of activated sludge under shock and recovery conditions[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(9): 19 - 22, 28 (in Chinese).
- [7] 艾海男, 卢培利, 张代钧, 等. 废水可生物降解 COD 组分 2 种表征方法的比较[J]. 环境工程学报, 2009, 3(11): 1969 - 1972.
- Ai Hainan, Lu Peili, Zhang Daijun, *et al.* Comparison of two methods for characterising biodegradable COD of wastewater[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2009, 3(11): 1969 - 1972 (in Chinese).
- [8] 朱勇, 林剑波, 高岩, 等. A^2/O 系统受低 C/N 冲击及修复前后的微生物活性研究[J]. 中国环境科学, 2009, 29(10): 1070 - 1075.
- Zhu Yong, Lin Jianbo, Gao Yan, *et al.* Microbial physiological biochemical activities of the low C/N shock to A^2/O system and its restoration [J]. China Environmental Science, 2009, 29(10): 1070 - 1075 (in Chinese).



作者简介: 吕建坤(1992 -), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 研究方向为废水生物处理理论与技术。

E-mail: 479037812@qq.com

收稿日期: 2017 - 11 - 13

以水资源的可持续利用

支持经济社会的可持续发展