

采用除磷呼吸图谱评估活性污泥除磷过程

郭 锐, 李志华, 张 倩

(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: 为了有效评估活性污泥除磷过程,以西安五大污水处理厂曝气池活性污泥为研究对象,采用除磷呼吸图谱技术从活性污泥除磷效率、厌氧释磷速率两个方面对活性污泥除磷过程进行评估。结果表明,活性污泥除磷效率与除磷呼吸图谱指标 $I/(I+II)$ 呈一定的正相关关系($R^2=0.54$),故指标 $I/(I+II)$ 可在一定程度上评估活性污泥除磷效率。当厌氧释磷速率 $< 2 \text{ mgP}/(\text{gMLVSS} \cdot \text{h})$ 时,厌氧释磷速率与指标 $I/(I+II)$ 之间的关系受到较大干扰,无明显规律;当厌氧释磷速率 $> 2 \text{ mgP}/(\text{gMLVSS} \cdot \text{h})$ 时,厌氧释磷速率与指标 $I/(I+II)$ 呈显著的正相关关系($R^2=0.90$),可有效评估活性污泥厌氧释磷速率。因此,采用除磷呼吸图谱技术可有效评估活性污泥除磷过程。该评估方法具有高效、简单、自动化程度高等优点,可为污水处理厂运营管理提供一项实用技术。

关键词: 生物除磷; 除磷呼吸图谱; 活性污泥; 存储; 除磷效率; 释磷速率

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)23-0111-04

Evaluation of Phosphorus Removal Process in Activated Sludge Using Respirogram

GUO Rui, LI Zhi-hua, ZHANG Qian

(Key Laboratory of Northwest Water Resources, 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 phosphorus removal process in activated sludge was evaluated from two aspects: phosphorus removal efficiency and anaerobic phosphorus release rate, based on the activated sludge from the five sewage treatment plants in Xi'an. The results showed a positive correlation ($R^2=0.54$) between the phosphorus removal efficiency and the respirogram for phosphorus removal index $I/(I+II)$. Therefore, the index $I/(I+II)$ could be used to evaluate phosphorus removal efficiency of the activated sludge to a certain extent. When the anaerobic phosphorus release rate was less than $2 \text{ mgP}/(\text{gMLVSS} \cdot \text{h})$, the relationship between the anaerobic phosphorus release rate and the index $I/(I+II)$ was substantially disturbed, and no regularity was identified. When the anaerobic phosphorus release rate was greater than $2 \text{ mgP}/(\text{gMLVSS} \cdot \text{h})$, the anaerobic phosphorus release rate showed a significantly

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: lizhuhua@xauat.edu.cn

positive correlation with index $I/(I+II)$ ($R^2=0.90$), which could be applied to effectively evaluate the anaerobic phosphorus release rate of activated sludge. The respirogram for phosphorus removal technology could effectively evaluate the phosphorus removal process of activated sludge. The evaluation method had the advantages including high efficiency, simplicity, and high level of automation, and could be provided as a practical technique for the operation and management of sewage treatment plants.

Key words: biological phosphorus removal; respirogram for phosphorus removal; activated sludge; storage; phosphorus removal efficiency; phosphorus release rate

去除污水中的磷是解决水体富营养化的关键。目前,普遍采用生物方法实现污水中磷的去除,即生物除磷,包括微生物厌氧释磷和好氧(或缺氧)超量吸磷两个过程。因此,有效评估活性污泥生物除磷过程至关重要。传统的评估方法,如测试生物除磷过程中胞内 PHB 含量的变化^[1]、测试活性污泥厌氧释磷速率及好氧吸磷速率^[2]等,均由于测试步骤繁琐、操作复杂及耗时长等原因,不能及时发现除磷系统存在的问题,给污水处理厂运营管理带来极大不便。当前,呼吸计量法在生物除磷领域得到一些应用,包括表征好氧吸磷过程^[3]、表征 COD 对 EBPR 系统的影响^[4]及 OUR 在 A²/O 系统监控中的作用^[5]等,而在活性污泥除磷效率及活性污泥厌氧释磷方面的研究鲜有报道。为此,笔者拟采用除磷呼吸图谱技术从活性污泥除磷效率、活性污泥厌氧释磷速率两个方面对活性污泥除磷过程进行评估,旨在寻找一种高效、简单、自动化程度高的评估方法,从而为污水处理厂运营管理提供一项实用技术。

1 材料与方法

1.1 污泥来源

试验使用的活性污泥分别来自于西安市五大污水处理厂生物处理单元曝气池,其运行条件及进水情况见表 1。

表 1 曝气池运行条件及进水情况

Tab. 1 Operating conditions of aeration tank and influent quality $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	MLSS	MLVSS	COD	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	TP
BSQ 污水厂 (DE 氧化沟)	4 000 ~ 5 000	3 000 ~ 4 000	600 ~ 700	30 ~40	3.0 ~ 4.0
BSQ 污水厂 (MAAO)	5 000 ~ 6 000	3 000 ~ 4 500	300 ~ 500	30 ~40	3.0 ~ 4.0
SW 污水厂(奥 贝尔氧化沟)	5 500 ~ 7 500	4 000 ~ 5 500	600 ~ 700	30 ~40	4.5 ~ 5.0
SiW 污水厂 (AAO)	4 500 ~ 6 000	3 000 ~ 4 500	200 ~ 300	25 ~30	1.5 ~ 3.0

续表 1(Continued)

项 目	MLSS	MLVSS	COD	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	TP
WW 污水厂 (AAO)	6 000 ~ 7 000	4 000 ~ 4 500	600 ~ 700	50 ~60	4.0 ~ 8.0
SY 污水厂 (AAO + MBR)	4 500 ~ 6 000	3 500 ~ 4 500	400 ~ 600	40 ~60	4.0 ~ 6.0

1.2 分析项目及方法

1.2.1 除磷呼吸图谱测试

除磷呼吸图谱测试在污水处理智慧运行工作站(WBM450,西安绿标水环境科技有限公司)上进行,该工作站由恒温好氧反应器、溶解氧探头和 pH 计、PLC 控制系统、加药系统和软件分析系统组成。其中,恒温好氧反应器是有效容积为 1.3 L 的有机玻璃密闭容器,内置曝气头,外侧有循环恒温水浴层,温度设定为 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$,分析平台在线连续采集 DO 和 pH 值数据,采集周期设定为 2 s,数据自动存入数据库。

对污水处理厂活性污泥进行测试,得到 DO - t 曲线,将其转化为对应的 OUR - t 曲线,即除磷呼吸图谱,见图 1。

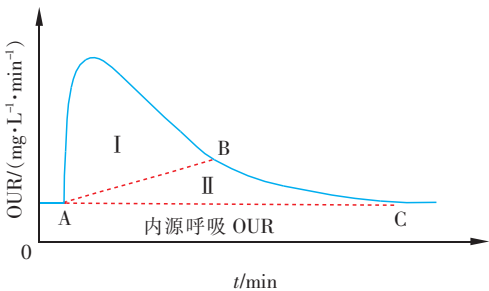


图 1 除磷呼吸图谱示意

Fig. 1 Schematic diagram of respirogram for phosphorus removal

根据除磷呼吸图谱上 OUR 的变化特征得到两个变化点 B 和 C,将 OUR - t 曲线起始点 A 分别与点 B、C 连线,进而将图谱划分成区域 I 和区域 II。区域 I 面积为存储量,区域 II 面积为生长量,因此

$I/(I+II)$ 表示存储物质占总基质的比例^[6,7]。而活性污泥生物除磷过程跟存储物质直接相关^[1],故本研究拟采用除磷呼吸图谱指标 $I/(I+II)$ 评估活性污泥除磷过程。

1.2.2 活性污泥厌氧释磷速率测定

从污水处理厂生物处理单元曝气池取活性污泥,测其 MLSS 和 MLVSS。将活性污泥淘洗三遍后对其进行曝气,使污泥进入内源呼吸,之后将污泥稀释至 MLSS 为 2 000 mg/L,转移至 2 L 大烧杯中,并置于磁力搅拌器上,曝氮气使溶液 DO 浓度降到 0.5 mg/L 以下,调节溶液 pH 值为 7.5 ± 0.1 ,然后投加基质:400 mg/L(以 COD 计)乙酸钠、10 mg/L(以 N 计)氯化铵、5 mg/L(以 P 计)磷酸盐,开始试验。试验持续 3.5 h,按一定时间间隔取样,测定滤液中磷酸盐含量,作图计算活性污泥释磷速率^[2]。

1.2.3 其他指标分析方法

COD 采用重铬酸钾滴定法测定, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 采用纳氏试剂分光光度法测定,TN 采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定,TP 采用钼锑抗分光光度法测定,MLSS 和 MLVSS 采用烘干称重法测定。

2 结果与讨论

2.1 采用除磷呼吸图谱评估生物除磷效率

通过在污水厂格栅、二沉池出口处取水样过滤测 TP 含量,得到活性污泥系统除磷效率。

对西安市五大污水处理厂生物处理单元曝气池活性污泥分别进行试验分析,得到活性污泥除磷效率与除磷呼吸图谱指标 $I/(I+II)$ 之间的关系,如图 2 所示。

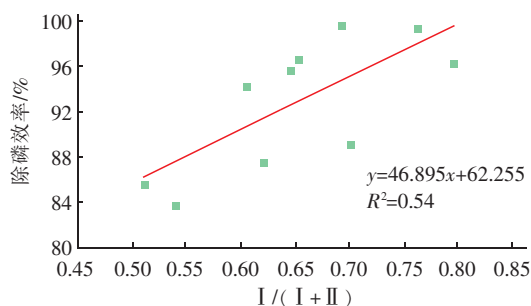


图 2 除磷效率与指标 $I/(I+II)$ 之间的关系

Fig. 2 Relationship between phosphorus removal efficiency and index $I/(I+II)$

从图 2 可以看出,活性污泥除磷效率随指标 $I/(I+II)$ 的增大而提高,即两者呈现一定的正相关关系,对其进行线性回归分析,线性相关系数 $R^2 =$

0.54。线性相关性并不是很显著,可能原因是污水厂实际运行过程中会间断性地投加化学除磷药剂,可提高系统总体除磷效率,但不会相应提高指标 $I/(I+II)$ 的值,也可能是污水厂实际运行过程中会季节性出现碳源不足问题,干扰活性污泥生物除磷过程。但是,两者的变化趋势基本一致,故采用除磷呼吸图谱指标 $I/(I+II)$ 可在一定程度上评估活性污泥除磷效率。

2.2 采用除磷呼吸图谱评估厌氧释磷速率

对西安市五大污水处理厂生物处理单元曝气池活性污泥分别进行试验分析,得到活性污泥厌氧释磷速率与除磷呼吸图谱指标 $I/(I+II)$ 之间的关系,如图 3 所示。图中,以活性污泥厌氧释磷速率达到 $2 \text{ mgP}/(\text{gMLVSS} \cdot \text{h})$ 为界,将试验数据划分为两部分:当释磷速率 $< 2 \text{ mgP}/(\text{gMLVSS} \cdot \text{h})$ 时,无明显规律,即指标 $I/(I+II)$ 同活性污泥释磷速率无关,可能是由于这些污水厂活性污泥中微生物胞内存储物质用于生物除磷过程的比例较低,用于非除磷过程的生长代谢比例较高,也可能是活性污泥中聚糖菌的活性较高,聚糖菌也进行物质存储,但不参与生物除磷过程,进而使得存储物质占总基质的比例 $I/(I+II)$ 与活性污泥厌氧释磷速率之间的关系受到微生物非除磷过程生长代谢或者聚糖菌代谢的较大干扰;当释磷速率 $> 2 \text{ mgP}/(\text{gMLVSS} \cdot \text{h})$ 时,对试验数据进行线性回归分析,线性相关关系显著,相关系数 $R^2 = 0.90$,显然指标 $I/(I+II)$ 同活性污泥释磷速率呈较好的正相关关系,即采用除磷呼吸图谱指标 $I/(I+II)$ 可较好地评估活性污泥厌氧释磷速率。

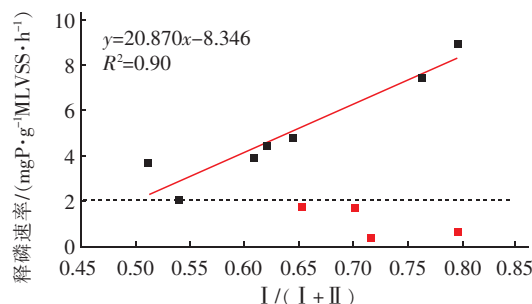


图 3 释磷速率与指标 $I/(I+II)$ 之间的关系

Fig. 3 Relationship between phosphorus release rate and index $I/(I+II)$

3 结论

① 活性污泥除磷效率与除磷呼吸图谱指标

$I/(I+II)$ 呈现一定的正相关关系($R^2=0.54$),故指标 $I/(I+II)$ 可在一定程度上评估活性污泥除磷效率。

② 当厌氧释磷速率 $<2\text{ mgP}/(\text{gMLVSS}\cdot\text{h})$ 时,厌氧释磷速率与指标 $I/(I+II)$ 之间关系受到较大干扰,无明显规律;当厌氧释磷速率 $>2\text{ mgP}/(\text{gMLVSS}\cdot\text{h})$ 时,厌氧释磷速率与指标 $I/(I+II)$ 呈显著的正相关关系($R^2=0.90$),故指标 $I/(I+II)$ 可有效评估活性污泥厌氧释磷速率。

参考文献:

- [1] 豆俊峰,罗固源,刘翔. 生物除磷过程厌氧释磷的代谢机理及其动力学分析[J]. 环境科学学报,2005,25(9):1164-1169.
Dou Junfeng, Luo Guyuan, Liu Xiang. The metabolic mechanism of anaerobic phosphorus release and its kinetic analysis during biological phosphorus removal process[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(9): 1164-1169 (in Chinese).
- [2] 赵爽,彭党聪,常青,等. EBPR系统中微生物群落结构及其除磷效能分析[J]. 中国给水排水,2014,30(9):9-13.
Zhao Shuang, Peng Dangcong, Chang Qing, et al. Microbial community structure and effectiveness of enhanced biological phosphorous removal system[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(9): 9-13 (in Chinese).
- [3] 肖剑波,卢培利,曾善文,等. 基于氧利用速率表征好氧吸磷过程特性[J]. 环境工程学报,2016,10(10):5479-5484.
Xiao Jianbo, Lu Peili, Zeng Shanwen, et al. Characteristic of aerobic phosphorus uptake process based on OUR[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2016, 10(10): 5479-5484 (in Chinese).
- [4] 张婧倩,彭永臻,唐旭光,等. COD对强化生物除磷系统的影响及OUR的变化规律[J]. 环境工程学报, 2011, 5(2): 301-305.
Zhang Jingqian, Peng Yongzhen, Tang Xuguang, et al. Effect of COD on enhanced biological phosphorus removal system and variation of OUR[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2011, 5(2): 301-305 (in Chinese).
- [5] 陈曦,戴兴春,黄民生,等. PHB和OUR在 A^2/O 系统监控中的作用[J]. 净水技术,2008,27(1):29-31.
Chen Xi, Dai Xingchun, Huang Minsheng, et al. Roles of PHB and OUR monitoring in A^2/O management and regulation[J]. Water Purification Technology, 2008, 27(1): 29-31 (in Chinese).
- [6] Ordaz A, Oliveira C S, Quijano G, et al. Kinetic and stoichiometric characterization of a fixed biofilm reactor by pulse respirometry[J]. J Biotechnol, 2012, 157(1): 173-179.
- [7] Karahan O, van Loosdrecht M C M, Orhon D. Modeling the utilization of starch by activated sludge for simultaneous substrate storage and microbial growth[J]. Biotechnol Bioeng, 2006, 94(1): 43-53.



作者简介:郭锐(1990-),男,湖北随州人,硕士,研究方向为废水生物处理理论与技术。

E-mail: guorui_suizhou@163.com

收稿日期: 2018-05-12