

# 城市污水处理厂活性污泥呼吸速率的研究

孙艳, 李若谷, 张雁秋

(江苏省资源环境信息工程重点实验室(中国矿业大学), 江苏徐州 221008)

**摘要:** 利用差压仪分别测定了5个污水处理厂曝气池混合液的内源呼吸耗氧量, 同时设计了密闭投加醋酸钠的差压仪测定方法, 测定了投加醋酸钠后的外源呼吸耗氧量。不同污水处理厂污泥呼吸性能有较大差异, 比基质内源呼吸在  $14\sim 42\text{mgO}_2/(\text{g MLVSS}\cdot\text{d})$  范围变化, 投加有机物后比外源呼吸在  $120\sim 450\text{mgO}_2/(\text{g MLVSS}\cdot\text{d})$  范围变化。不同污水处理厂之间的内源呼吸耗氧速率 OUR 的大小和挥发性污泥浓度 MLVSS 的高低没有必然联系, 但比内源呼吸 OUR 高的污泥有较强的基质去除能力, 表现出较强的比外源呼吸能力。提高污泥内源呼吸能力就可以实现城市污水处理厂节能减排。

**关键词:** 污水处理厂; 活性污泥; 内源呼吸; 差压仪

**中图分类号:** X703      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1006-8759(2011)01-0019-04

## DETERMINATION OF THE OUR IN WASTEWATER TREATMENT PLANTS WITH A MANOMETRIC RESPIROMETE

SUN Yan, LI Ruo-gu, ZHANG Yan-qiu

(*Jiangsu Key Laboratory of Resources and Environmental Information Engineering (China University of Mining and Technology), Xuzhou 221008, China*)

**Abstract:** The specific exogenous respiration rate of activated sludge taken from 5 wastewater treatment plants(WWTP) were investigated using a manometric respirometer. A testing method in which the NaAc is injected in a sealed running manometric respirometer was designed for the measurement of oxygen consumed, and oxygen consumed data can be calculated into oxygen uptake rate (OUR), the specific endogenous respiration rate of  $14\sim 42\text{mgO}_2/(\text{g MLVSS}\cdot\text{d})$  and respiration rate of  $120\sim 450\text{mgO}_2/(\text{g MLVSS}\cdot\text{d})$  for injected AcNa were measured. The research shows that the higher specific endogenous respiration rate the faster NaAc degraded rate. The power used in WWTP will be saved by improving the specific endogenous respiration rate.

**Keywords:** wastewater treatment plant; manometric respirometer; endogenous respiration

在污水处理过程中, 当基质浓度较低或缺乏时, 微生物进入内源呼吸阶段, 利用自身的贮藏物质、酶等部分原生质的氧化来取得营养物质, 微生物对氧的摄取量也随之减少, 呼吸速率(OUR)值较低。运行良好的污水处理厂的污泥内源呼吸处

于较稳定的状态, 内源呼吸速率可作为表征污泥特性的变量。可用氧吸收量累计值与时间的关系曲线来判断某种废水的综合毒性<sup>[1]</sup>, 通过测定不同情况下的呼吸速率可进行污泥动力学参数的测定<sup>[2]</sup>。通过测定污泥内源呼吸的强弱来表征污泥的浓度<sup>[3]</sup>。但是对于不同污水处理厂来说, 污水处理厂的污泥浓度(MLSS)有较大差异, 使用单位体积混

合液的耗氧量不便于进行相互比较,因此本文采用比内源和比外源 OUR 进行比较,比内源和比外源 OUR 分别等于各自的 OUR 除以混合液挥发性悬浮固体浓度(MLVSS)。

20 世纪 90 年代以来呼吸速率的研究有了很大的进步,主要体现在对污水处理厂的过程控制以及动力学分析。OUR 的监测在国外污水处理厂应用较多、较流行,国内对污水处理厂 OUR 的研究相对较少,报道较少。

## 1 试验原理及方法

差压式呼吸仪通过测量密封容器中的空气气压的变化确定水中溶解氧的消耗情况,该方法通常用来测定生化需氧量(BOD)。取曝气池混合液置于差压瓶中密闭后启动试验,通过磁力搅拌,瓶中空气部分中的氧气可以不断地向水中复氧,同时呼吸生成的二氧化碳通过吸收剂去除,传感器探头可以记录下氧气的消耗量。当瓶中混合液内基质耗尽,污泥即进入内源呼吸阶段。试验过程中记录到的耗氧量除以对应的时间变化量就可以得到相应的 OUR。

测定外源呼吸时,可以打开差压瓶向瓶中投加易降解有机物醋酸钠(NaAc)测定其降解过程的耗氧量,有机物的降解速率和瓶中异养菌的数量成正比关系,因此经计算得到的 OUR 可用来比较活性污泥碳化能力的强弱或表征生物数量的多少。

差压仪测定过程中需要密封,为了避免投加有机物反复启闭差压瓶造成的系统误差,设计了差压瓶内密闭投加有机物的方法。在测定开始时

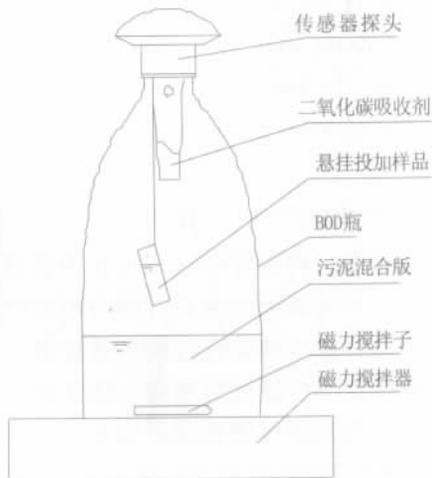


图 1 差压式呼吸仪测定原理图

将需要投加的 NaAc 溶液装在小瓶中悬挂在差压瓶内,悬挂小瓶下粘贴铁片,如图 1 所示。当污泥进入内源呼吸阶段后,利用磁铁翻转小瓶实现密闭投加 NaAc。密闭投 NaAc 后记录到的数据稳定,数据连续性好,便于进一步数据分析。

## 2 试验仪器和药品

### 2.1 试验仪器

恒温箱:WTW TS606/2-i,温度设定在 20 ℃。

压仪:WTW OxiTOP-C,在 5 d 测定过程中,仪器每隔 20 min 自动记录数据一次。

### 2.2 试验药品

醋酸钠溶液:配制 COD 浓度为 20 mg/mL 的 NaAc 溶液,每次悬挂投加 2~3 mL。选择仪器适当量程,投加后瓶中有有机物浓度 COD 分别在 200、400 和 600 mg/L 左右。

硝化抑制剂 ATU:配制浓度为 1 mg/mL,投加后差压瓶中 ATU 浓度在 20 mg/L。

## 3 试验结果

### 3.1 污泥内源呼吸测定

分别取五个城市污水处理厂的曝气池的混合液进行了测定,测定前投加硝化抑制剂 ATU 达到 20 mg/L,五个污水厂记录到的耗氧过程如图 2 所示。大约 1 d 左右时间后,混合液均会进入稳定的内源呼吸状态。内源呼吸阶段开始后较长一段时间的耗氧速率是基本稳定的,呈零级反应直线形式。各污水处理厂混合液进入内源呼吸的时间不同,从耗氧曲线弯曲过程看,部分活性污泥在 12 h 左右即可进入内源呼吸阶段。由于不同污水处理厂混合液进入内源呼吸阶段时间上有差异。为了便于比较,取 2 000~4 000 min(1.4~2.8 d)时间段耗氧过程作为比较对象,对该线段进行线性回归

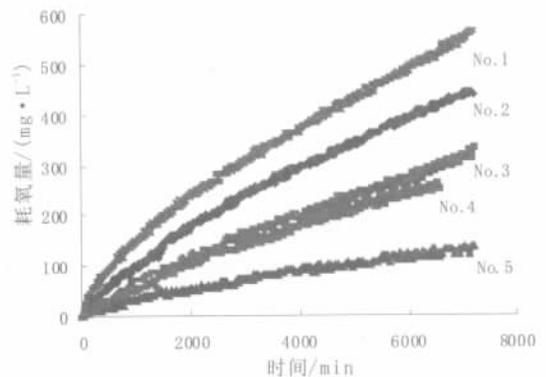


图 2 不同污水处理厂内源呼吸耗氧量

分析,得到拟合直线方程和 R<sup>2</sup> 值,列于表 1,其中拟合的直线斜率就是污泥内源呼吸的 OUR 值。

No.2 污水处理厂为中国矿业大学校污水处理厂,污水全部为校园内生活污水,生化性比较好,生物生长能力较强,由生活污水构成的校污水处理厂的活性污泥有较高的比内源呼吸速率,虽然 MLVSS 只有 1 962 mg/L,却是几个混合液中比内源呼吸速率最高的。其余污水处理厂进水均有部分工业废水,No.1 污水处理厂表现出较高的比内源呼吸速率。No.3~5 三个污水处理厂比内源呼吸要明显低于前两个污水处理厂,其中 No.3 运行正常,尽管 MLVSS 较高,但内源呼吸速率和比内源呼吸速率都不高。No.4 污水处理厂取样期间,上游有印染厂超排污水进入,进水水质恶化,毒性较大,对混合液呼吸造成了明显的影响,污泥浓度很高,但呼吸能力较弱,而且在测试的五个污泥混合液中其比内源呼吸速率是最低的。No.5 污水处理厂刚刚投产运行,其混合液中无机颗粒含量较多,混合液呈现明显的浅灰色,MLVSS 仅占到 MLSS 的 32% 左右,生物量较低。

表 1 内源呼吸时段的直线拟合、比内源呼吸速率

污水厂 编号	回归方程/斜率 OUR/(mgO <sub>2</sub> /(L·min))	R <sup>2</sup>	MLSS (mg·L <sup>-1</sup> )	MLSS (mg·L <sup>-1</sup> )/(mg·L <sup>-1</sup> )/mgO <sub>2</sub> /(g MLVSS·d)	比内源呼吸速率
No.1	y=0.0648x+113.79	0.9863	4 183	2 464	38
No.2	y=0.0582x+65.60	1.0854	3 210	1 962	42
No.3	y=0.0419x+36.73	0.9634	6 452	3 484	17
No.4	y=0.0347x+41.09	0.9581	6 361	3 563	14
No.5	y=0.0188x+15.52	0.9386	5 414	1 732	15

5 个污水处理厂的混合液测到最高比内源呼吸速率为 1.75 mgO<sub>2</sub>/g MLVSS·h,文献<sup>[4,5]</sup>中关于比内源呼吸速率的测定为 8.4 mgO<sub>2</sub>/(g MLVSS·h),试验结果比文献中测得的要低很多。原因是文献中的污泥采用的是人工培养驯化的污泥,而且测定内源呼吸的时间较早,是停止进水后 2 h 的测定值,根据有机物去除规律,此阶段污泥吸附的有机物并没有完全去除。

### 3.2 污泥外源呼吸测定

当混合液进入内源呼吸后,采用密闭投加易降解有机物 NaAc 的方法,分别测定了上述各污水处理厂混合液投加 NaAc 的耗氧过程。见图 3、4。对于混合液 No.1,图中 A 点表示在 A 点密闭投加 NaAc,投加后很快就可以记录到耗氧量迅速增加,直到 B 点降解完毕后污泥又恢复到内源呼吸

水平。因为投加的 NaAc 浓度较高,形成了基质相对过量的状态,所以降解过程符合一级降解规律,AB 段呈直线。对 AB 段进行回归分析,得到的拟合直线方程斜率就是对应的外源呼吸 OUR。经过相应的计算,各自的比外源呼吸速率列于表 2。

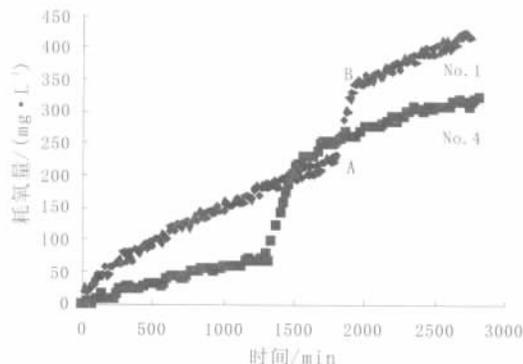


图 3 No.1、4NaAc 耗氧量变化曲线

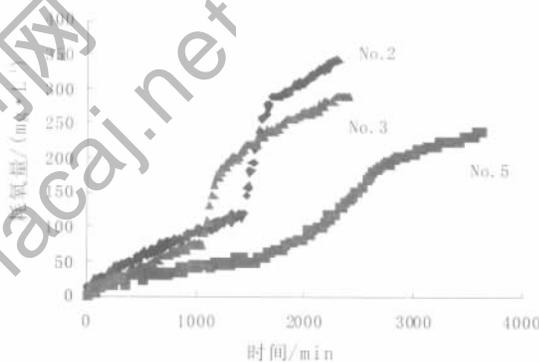


图 4 No.2、3、5NaAc 耗氧量变化曲线

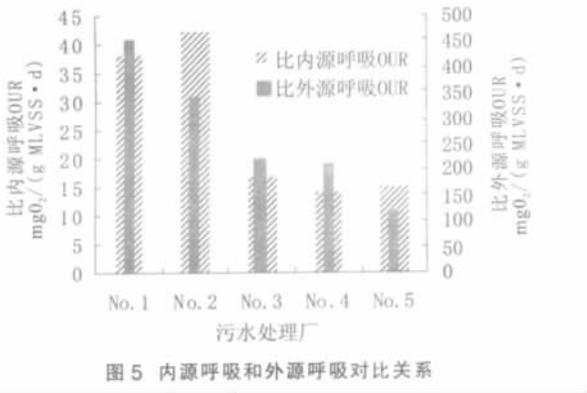
表 2 NaAc 去除时段的直线拟合、比外源呼吸速率

污水厂 编号	回归方程/斜率 OUR/(mgO <sub>2</sub> /(L·min))	R <sup>2</sup>	NaAc COD/去除时间/ (mg·L <sup>-1</sup> ) min	比内源呼吸速率 /mgO <sub>2</sub> /(g MLVSS·d)
No.1	y = 0.7708x - 950.19	0.9821	400 180	450
No.2	y = 0.4755x - 900.59	0.9774	500 280	340
No.3	y = 0.5265x - 400.33	0.9937	600 360	220
No.4	y = 0.5310x - 611.60	0.9776	400 240	210
No.5	y = 0.1543x - 227.94	0.9877	400 600	120

No.1 污水处理厂污泥浓度大约是 3 号混合液的 69%,但是降解耗氧速率却达到 3 号的 2 倍,表现出了很高的有机物降解能力。No.2 号比内源呼吸速率较高,外源呼吸速率也较高。No.3~4 号污水处理厂混合液浓度是几个试样中最高的,但并没有表现出最高的去除速率。No.5 厂处于调试期,易降解有机物投加后生物并没有实现高速降解,降解过程更类似于难降解有机物的降解过程,生物去除有机物能力较差。

对比内源呼吸过程和投加有机物后的外源耗氧过程,可做柱状图 4。从图中可以看出,内源呼

吸水平和外源呼吸水平成一定比例关系，内源呼吸水平高的活性污泥去除转化有机物的能力强，内源呼吸水平低的活性污泥去除转化有机物的能力弱，测试的五个污水处理厂中比外源呼吸速率最大相差近 4 倍左右。



#### 4 结论与展望

(1)使用差压仪测定活性污泥内源呼吸和密闭投加 NaAc 外源呼吸的试验方法过程简单、可视化,测定数据稳定,且测量时混合液同实际污泥运行原位状况比较接近。

(2)不同污水处理厂内源呼吸 OUR 差异大,但与 MLVSS 高低没有必然联系。污泥比内源呼吸速率水平有较大差异,比内源呼吸 OUR 高则活性生物所占比例就高,表现为有机物去除速度就快,比

(上接第 15 页)

(4)该技术不改变现有混凝沉淀工艺流程,使用灵活方便,特别适用于原水水质随季节性变化较大的情况,还可根据原水水质选择高锰酸钾与粉状活性炭单独使用或联合使用,应用前景较好。

#### 参考文献



(上接第 18 页)

[3] Takehiko Furasawa, Toshinori Kojima, Hiroyuki Hiroha, Chemical vapor deposition and homogeneous nucleation in monosilane pyrolysis within interparticle spaces-application of fine formation analysis to fluidized bed CVD 1990.

[4] Hashimoto K. Miura K. and Masuda M., Kinetic analysis of the growth of polycrystalline silicon from silane, using a rod-substrate

外源呼吸 OUR 较高。针对不同污水处理厂,可以考虑如何调整工艺运行提高污泥的内源呼吸能力,进而缩短处理时间。

(3)定期检测混合液内源呼吸情况可以用来对比分析生产运行的状况,可根据活性污泥的 OUR 调整曝气量。如果混合液 OUR 高可以通过减小回流比降低曝气池所需的污泥浓度 MLSS,实现节能减排。

(4)差压仪内密闭投加有机物记录下了有机物完整的降解耗氧过程,也可以投加氨氮测定氨氮的耗氧过程,根据耗氧记录的回归分析可得到硝化过程 OUR,可以用来判断硝化过程的强弱,或者混合液中硝化细菌的多少。

#### 参考文献

[1]刘颖,张朝辉,张焕胜等. 污水可生化性及其影响因素研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2005, 36(06):1029~1032.

[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[J]. 工业水处理, 2005, 29(09):58~70.

[3]刘昕,张继伟,朱书全等. 利用呼吸速率在线测定活性污泥浓度. 工业水处理[J]. 2007,27(11):62~64.

[4]何绪文,杨云程,宋英豪等. 污泥基质负荷与比外源呼吸速率关系的测定[J]. 中国矿业大学学报, 2006,35(04):458~461.

[5]李冰,孙英兰,李玉瑛. 耗氧速率(OUR)测量方法的实验研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2006, 36(03):456~460.

[1]姜成春,马 军. 高锰酸钾与粉状活性炭联用处理微污染源水[J]. 中国给水排水, 2001, 17(1):12~25.

[2]赵振业,章试芳,孙伟等. 活性炭吸附性能对比研究[J]. 水处理技术. 2005, 31(8):18~20.

[3]黄廷林,刘成,何文杰等. 粉状活性炭与高锰酸钾联用去除有机物研究[J]. 2004,23(5):12~14.

CVD reactor 1992(02).

[5] Jasinski T J, Childs E.P., Numerical modeling tools for chemical vapor deposition,4480 1992.

[6] Breneman W C., Flagella R N. and Gaston J M, Process for the production of ultra high purity polycrystalline silicon 1989.