

照度下,半衰期随光照强度以加而降低,即 COD 去除率随光照强度增加而增加。COD 降解半衰期与其反应动力学并没有明显的相关性。所以在设计氧化塘时,控制基质去除的最佳条件是必要的,而不必去控制条件来使其达到某一级动力学反应。

以上对于 COD 反应动力学问题是否同样适用于其他废水生物处理,还有待进一步深入探讨。如活性污泥法中底物浓度、MLSS、DO、温度及水力停留时间对反应动力学的影响等等。

### 三、小结

1. 本文讨论了不同光照度,不同光照时间与流态对凤眼莲强化氧化塘净化性能的影响。试验表明,随光照度增加,COD 去除率也将提高;同一光照度下,以全日照去除 COD 效果最好,而短日照(6、8、10、12 h/d)中 8 h 光照有较高的 COD 去除率。

2. 对 COD 降解动力学分析表明,光照度,水流态对 COD 降解动力学均有影响,提出了应以具体条件决定该氧化塘属于哪一级

反应动力学,从而根据反应级别来使用不同数学模式求出  $K$  值。

3. 提出采用  $\ln S_0/S_e = Kt$  来求算一级反应动力学的  $K$  值。

4. 反应级别与 COD 降解半衰期没有明显相关性,故在设计氧化塘时只需控制基质去除的最佳条件,而不必控制使反应达到某一级的反应条件。

### 参 考 文 献

- [1] 区尹正等,环境污染与防治,3,8(1983).
- [2] 谢心义,环境科学,5(3),15(1984).
- [3] Uhlmann, D., et al., *JWPCF* 55(10) 1252 (1983).
- [4] 张自杰等,中国给水排水,1(1),38(1985).
- [5] Uhlmann, D. *Water Research*, 13(2), 193 (1979).
- [6] Kilan, J. S., *Water Research*, 18(8), 941(1984).
- [7] 区尹正,环境科学丛刊,6,25(1985).
- [8] 顾夏声,废水生物处理数学模式,第 42 页,清华大学出版社,1982 年。
- [9] 邢建等译,废水生物处理过程设计,第 338 页,中国建筑工业出版社,1984 年。

## 底泥耗氧率的测试方法研究

詹朝坤 罗孟华 胡成宣

(四川省环境保护科研监测所)

底泥一般系指江河湖海的沉积物 (Sediment),是自然水域的重要组成部份。底泥耗氧 (Sediment Oxygen Demand, SOD) 是指底泥中有机物在微生物的作用下氧化分解;还原性物质,如二价铁、二价锰和硫化物等的化学氧化;以及其它底栖生物的呼吸耗氧。其表示方法,通常以在一定条件下,单位面积的底泥在单位时间内所消耗的溶解氧量,即

底泥耗氧率 (SOD Rates,  $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ) 来表示。

底泥耗氧,尤其是有机沉积物的耗氧对水中溶解氧的影响很大。但迄今为止,对底泥耗氧仍无统一的标准测试方法。目前国外关于 SOD 的实验室测试方法归纳起来主要有两种体系: 闭合循环体系和开放流动体系。本文研究的测试方法属于闭合循环体

系,是在前人工作的基础上,加以改进后提出的。

### 一、实验装置

测定底泥耗氧速率的实验装置应满足下面三条基本要求:

(1) 所用材料不发生化学变化,不影响水中溶解氧;

(2) 反应箱的纳水体积与底面积之比率( $\frac{V}{A}$ )尽量取最佳值;

(3) 循环水在反应箱中不应出现“死水”。

根据上述要求,设计制造了一套底泥耗氧速率的实验室测试系统。此系统包括结构性状完全相同的两个装置。每个装置都由反应箱、溶解氧探头、循环泵、流量计等构成一个闭合循环体系(如图 1)。因此,能同时进行底泥和现场空白水的测试。

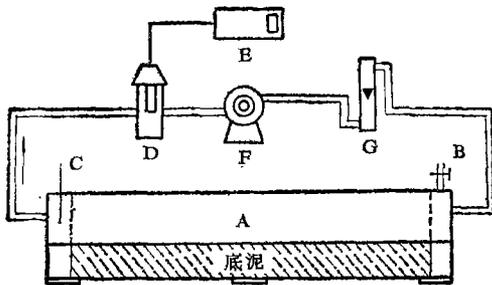


图 1 测试装置示意图

A. 反应箱 B. 排气阀 C. 温度计 D. DO 等探头  
E. 水质仪 F. 循环泵 G. 流量计

反应箱长 70 cm, 宽 20 cm, 高 16 cm, 用 1 cm 厚的有机玻璃加工而成。循环水的进出口开在两端,并设有两个筛孔隔板,经染色试验表明,这样能使反应箱中水流稳定,扩散均匀。反应箱顶部为密封盖板,盖板两端设有两个小孔,一个是气孔,一个是温度计插孔。反应箱的设计纳水体积为 15.4l,底面积

为  $0.1256 \text{ m}^2$ 。其  $\frac{V}{A}$  值为  $123 \text{ l/m}^2$ 。

溶解氧探头采用 U-7 型水质检测仪的探头。U-7 型水质检测仪把所有的敏感元件都组装在一个坚固的保护装置内。为了不降低它的测试性能,特别设计了一个有机玻璃卡盘,将保护装置连接在循环管道上。这个仪器可测定 DO、pH、温度、电导和浊度五个项目,读数由数字显示,操作甚为方便。

循环泵为 DOB-10 型机械密封单相水泵,最大流量为 10 l/min。

流量计为 LZB-6 型玻璃转子流量计,用以调节和控制整个系统的流量和流速。

底泥耗氧率的测试实验,通常在  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  恒温室内进行。为了避免光合作用的影响,采用黑红双层遮光罩罩上反应箱。

### 二、实验方法

实验所用的底泥和河水都采自同一水域。样品采集后尽快送回实验室进行测定,待测样品置于低温室保存。

将底泥样品中的石头、木棍等杂物除去,用不锈钢铲把样品平铺在反应箱底部,厚为 5 cm,加入适量的河水静置 12 h 以上,然后放掉。盖有机玻璃盖板,加上密封圈,紧固密封螺丝,开启循环泵,调节流量计,将现场河水徐徐抽入反应箱,注意流量不可太大,以免扰动底泥。完全排出空气,让整个循环体系充满水。停止循环泵,静置稳定 1 小时,然后将反应箱罩上遮光罩,把带塞温度计紧紧地插入盖板插孔,使温度泡伸入 1/2 水深处。调节循环水温度,控制在  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ,开动循环泵,调节流量计,使反应箱中的水位控制在每小时循环 2—3 次左右。

打开预先严格按说明书要求校准好的水质检测仪电源开关,按下探头的搅拌器,把测量选择旋钮调到 DO 参数上,按下测量开关,在数字显示屏上读取读数,同时记下准确的时间,调节测量选择旋钮,按同样操作测定温度、pH、电导和浊度值。每隔 1-2 h 重复测定一次,整个测试过程直到 DO 值降至  $2 \text{ mg/l}$

表 1 实验数据与计算结果

时间 $t$ (h)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{y}$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )
底泥系统	$y_1$ ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	0	0.75	1.3	2.05	2.65	3.19	3.68	4.18	4.55	4.98	5.35	0.5337
空白系统	$y_2$ ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	0	0.65	0.88	1.02	1.34	1.56	1.97	2.02	2.25	2.77	2.71	0.2615
SOD ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )		858.2											

或更低为止。

### 三、定量计算方法

底泥耗氧率的定量计算方法可按 Hanes 和 White (1968) 所述进行。设  $y$  为系统的累积耗氧量 ( $\text{mg}/\text{l}$ )， $t$  为时间 ( $\text{h}$ )。假定 DO 在 8—2  $\text{mg}/\text{l}$  范围内随时间  $t$  成线性变化，则有

$$y = a + bt$$

用最小二乘法估计  $b$  值

$$\text{SOD} = (b_1 - b_2) \cdot \frac{V}{A} \cdot 24$$

式中：

$b_1$ ——样品系统的最小二乘估计值  
( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )

$b_2$ ——空白系统的最小二乘估计值  
( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )

### 四、方法的可行性论证

1. 精密度和准确度是方法学上用来评价测试方法可靠程度的两个重要指标。为了检验本测试方法，特取同一母体的底泥样品分别在两个测试系统中测定 SOD 值，然后对测试数据在 95% 的置信度下进行统计检验。

测得的两组数据为：

(a) 992.9 928.2 908.2 1196.4  $n_1 = 4$   $\bar{x}_1 = 1006.4$

(b) 887.3 1041.6 897.4 943.5  $n_2 = 4$   $\bar{x}_2 = 942.5$

$F$  检验：

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{(131.71)^2}{(70.48)^2} = 3.49$$

查  $F$  分布表，

$$F_{0.05}(3, 3) = 9.28, F < F_{0.05},$$

说明两组数据的方差无显著性差异，方法的重复性好，精密度高。

$t$  检验：

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{S} \sqrt{\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}} = 0.8565$$

查  $t$  分布表， $t_{0.05}(6) = 2.45$ ， $t < t_{0.05}$ ，说明两组数据无显著性差异，方法的系统误差小。

秩和检验：

假设不知母体是否遵从正态分布，再用秩和检验来进一步确证：

秩	1	2	3	4	5	6	7	8
(1)		908.2	928.2		992.9		1196.4	
(2)	887.3	897.4			943.5	1041.6		

于是 (2) 的秩和

$$T = 1 + 2 + 5 + 7 = 15,$$

查秩和检验表，在显著水平为 5%， $n_1 = 4$ ， $n_2 = 4$  时  $T_1 = 12$ ， $T_2 = 24$ ，所以，

$$T_1 < T < T_2,$$

表明方法的系统误差小。

因此，可以判定本测试方法是准确可行的。

2. 底泥耗氧率的测试方法很多，可是往往方法不同所得的结果差异甚大。迄今为止，世界上还没有一个通用的标准方法。1980 年 George 等人根据文献报道和他们的研究提出 SOD 的测试方法必须满足以下三条标准才能被接受：(1) 一致性；(2) 重复性；(3) 有效性。一致性是指条件控制一致，分析人员操作一致；重复性是指方法的精密度要求

在 ±20% 以内;有效性是要求方法能够在较短的时间内完成任何一个样品的测试,从而避免因测试时间过长而带来的 DO 探头的定标漂移及测试系统的其它变化所产生的误差。为此,在设计实验装置时,必须给出容积与底面积的最佳比值 ( $\frac{V}{A}$ )。他们的研究发现,当 ( $\frac{V}{A}$ ) 比值不超过 132 l/m<sup>2</sup> 时,能保证在 24 h 小时内完成任一底泥样品的测试。比值过大,会延长测试时间。他们按此原理设计的装置,用于河流和湖泊港湾底泥耗氧的实验室测定,并在重复测试中成功地重现了 SOD 值,精密密度为 9.5%

本测试方法在沱江底泥的重复性试验中, SOD 的平均值为 974.4 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, 精密密度为 10.63%, 与 George 等人的结果基本一致, 与 Pamatmat (1971) 报道的精密密度

(8.6—21%) 很吻合。本装置在设计中,  $\frac{V}{A}$  为 123 l/m<sup>2</sup>, 经使用证明。所有底泥样品均能在 24 h 内完成测试。

3. 实验室与现场两种测试方法的讨论和比较, 文献中已多有报道。无疑, 现场测试更容易为人们所接受。但是往往由于环境因素易变而难于控制, 不仅给现场测试带来极大的困难, 同时也大大降低了 SOD 值的准确度和精密密度。特别是在河床构形复杂的河流中。因此, 现场测试作为一种研究, 和实验室方法对照是完全可行的, 如要作为方法推广, 为水质模型提供大批数据, 在经济上是不合算的。

实验室方法虽然不能完全重现自然环境条件, 但是只要设计合理, 考虑周密, 操作仔细, 也能达到和现场测试相同的效果。Pamatmat (1971) 曾用实验室和现场测试方法成功地重现了 SOD 数据(表 2)。

表 2 两种方法比较

编号	方法	现 场 (mlO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	实 验 室 (mlO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	编号	方法	现 场 (mlO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	实 验 室 (mlO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )
1		9.6	7.7	2		5.6	6.6
		9.0	8.4			6.7	5.1
		7.9	9.5			6.2	8.4
						7.0	

我们根据 Pamatmat 的两组数据用统计分析方法来推断实验室方法是否可以代替现场方法。

F 检验:  $F_1 = 1.17, F_2 = 6.66$

查表:  $F_{0.05}(2, 2) = 19.0$ , 因此,

$F_1 < F_{0.05}, F_2 < F_{0.05}$ ,

说明两种方法所得数据无显著性差异。

t 检验:  $t_1 = 0.52, t_2 = 0.64, f = 4$ ,

查表:  $t_{0.05} = 2.78$ , 因此,  $t_1 < t_{0.05}$ ,

$t_2 < t_{0.05}$ , 说明两种方法之间无显著性系统误差存在。

从而可以推断实验室方法也能达到现场测定的效果。

4. 本方法的循环水使用底泥所在水域的

水, 并在测试过程中同时进行循环水的空白试验, 从而用空白系统扣除法来消除还未被人们认识的除底泥外的其它因素所引起的系统误差。另外, 为使装置中底泥表面活化, 让细菌尽可能恢复并接近现场, 在铺好底泥放入适当现场河水后, 静置 12 h 以上。

中科院环化所叶常明同志为本工作技术顾问。谨致谢意。

参 考 文 献

[1] 叶常明, 环境科学, 1(1), 11(1980).  
[2] George, T. B. et al., Water Res., 14, 491 (1980).

(下转第 50 页)

比，投资费用和能耗比全量洗涤装置几乎可以减少一半。

显然，当烟气条件一定时，最佳洗涤比是随脱硫效率、烟囱高度、洗涤后的烟气温度·烟气的酸露点这四个因素而改变的。脱硫效率决定于脱硫方法和设备，烟囱高度决定于排放标准和地理气象条件，酸露点决定于二氧化硫和水蒸汽的含量。而这四个因素又互为影响，存在着一定的关系，因此，最佳洗涤比的确定是比较复杂的。在实际设计中，精确计算最佳洗涤比的数值实属不必要，采用上述简易办法来确定就足够了。

### 结 语

一、建造烟气脱硫装置时，应当根据国家规定的排放标准，在设计中将最佳洗涤比作为重要的技术经济参数加以引用。最佳洗涤比是根据物料平衡和能量平衡确定的，确定最佳洗涤比，就可以决定脱硫装置的规模，决定装置的规模才可能估算投资费用、能耗和占地面积等。因此，确定最佳洗涤比是一项重要的工作。

二、通常火电厂建造烟气脱硫装置，采用全量洗涤并不是必要的，徒然增加投资费用和能耗。如果按照最佳洗涤比进行设计的话，投资、运行费用、能耗以及占地面积均可相应缩减。据估计，一般情况下，采用最佳洗涤比有可能使装置的投资费用在火电厂总投资中所占的比例降至 15% 以下。所以，最佳洗涤比对于推动烟气脱硫事业的发展是有一定意义的。

三、一般情况下，排放标准和烟气露点

温度都有一定的数值，因此，在一定条件下，烟气的浓度和温度成了洗涤比的决定因素。烟气浓度高，要求采用高洗涤比，浓度低则洗涤比可相应低些。烟气温度高，洗涤比可适当高些，温度低则应采用低洗涤比。虽然二者要求各异，但在一定条件下是可以统一的。图 7 表示这种因素的变化和统一。

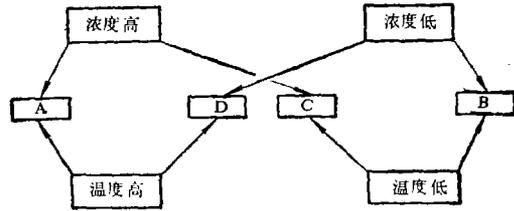


图 7 烟气浓度与温度因素的变化与统一

图中，A 表示当烟气浓度和温度都高时，要采用高洗涤比。B 表示当烟气浓度和温度都低时，要采用低洗涤比。C 表示当烟气浓度高而温度低时，前者要求高洗涤比，后者要求低洗涤比，在这种情况下，不得不就低不就高，为了达到排放标准，可采取某些措施如提高烟囱高度或提高脱硫效率。D 表示当烟气浓度低而温度高时，前者允许采用低洗涤比，后者允许采用高洗涤比，在这种情况下，为了经济起见，也应取低不取高。倘若不采用较低的洗涤比，则可以降低烟囱高度或采用脱硫效率较低的洗涤装置。

### 参 考 文 献

[ 1 ] PB80-190051  
 [ 2 ] PB 292759

(上接第 46 页)

[ 3 ] Edberg, N. & Holsten, B. V., *Water Res.*, 7, 1285 (1973).  
 [ 4 ] Brewer, W. S. et al., *Water Res.*, 11, 471 (1977).  
 [ 5 ] Bradley, R. & James A., *J. Wat. Pollut. Control.*

*Fed.*, 67, 462 (1968).  
 [ 6 ] Bruce E. M. et al., *Water Res.*, 17, 603 (1983).  
 [ 7 ] James A., *Water Res.*, 8, 955 (1974).  
 [ 8 ] Edwards R. W. & Rolley H. L. J., *J. Ecol.*, 53, 1 (1965).