

运行温度对间歇式活性污泥法 影响的研究

彭永臻 王淑莹

(哈尔滨建筑工程学院)

摘 要

本文介绍了间歇式活性污泥法处理系统的优点及国外这方面的研究和应用。本文以试验为基础,研究了6, 11, 15, 20, 25, 30℃等不同的运行温度对间歇法的影响,得到温度越高有机物降解速率越高,出水中残留的难降解有机物浓度越低的结果。首次提出了在间歇法中温度对难降解有机物的降解程度有较大影响的论点。肯定间歇法的一些优点,主张在中小型污水处理厂中推广应用这种工艺。

一、引 言

虽然建立区域性大型城市污水处理厂也是我国水污染控制的归宿,但就我国国情而言,近期内在各大中城市建立这样的污水处理厂是非常困难的。鉴于目前的水污染较严重,工业生产仍在持续发展以及财政紧缩等情况下,暂时采取“谁污染谁治理”的政策,通过加强对污染严重的工业废水的局部治理来缓解严重的环境污染是必要的。尽管如此,建造工业废水处理厂对多数企业来说仍然感到财力不足,而且,一旦建成后,其运行费用也给企业造成很大的负担,因此,研究开发一种流程简单、高效、节能的污水处理工艺是我国水污染控制的一个很紧迫的问题。

间歇式活性污泥法(*Batch activated sludge process*)是在很早之前就出现的操作管理比较复杂的,后来很少采用的一种方法。然而,在当今全球性的节能时代,国外已经注意到间歇式活性污泥法污水处理系统(以下简称“间歇法”)具有广阔的发展前景^[1-6]。它和普通活性污泥法相比具有以下主要优点:

1. 流程简单,只设置初沉池和曝气池(兼作二次沉淀池),可省去二沉池。由于间歇法以数座曝气池并联运行,对于大多数工业废水又可省去调节池,因而可以节省基建投资;

2. 由于曝气池在停止曝气兼作二沉池运行时,属静态沉淀,其沉淀效率高于动态(连续)沉淀,可缩短沉淀时间,或降低出水悬浮物浓度;

3. 由于不用回流污泥,可省掉回流的设备及运行费,降低总的基建和运行费用;

4. 间歇曝气属于理想的推流式过程,有机物(底物)浓度随着曝气过程由高到低,使曝气池中的生化反应始终保持着尽可能高的推动力(有机物浓度越高生化反应的推动力越大),因此,从有机物降解动力学来看,间歇法是高效的;

5. 特别适用于不连续排放的或流量波动很大的工业废水和小城镇的污水处理,在不排放废水或者其流量很小时,可以停止曝气运行,待污水充满了曝气池后再重新启动,显然,这具有很大的节能意义。此外,间歇法比推流式活性污泥法更不易发生污泥膨胀,污泥易沉淀。

间歇法最大的缺点就是运行管理比较繁

锁，但是，在微机自动控制日益广泛普及的今天，这个问题可以迎刃而解。即使在我国近期内还难于都实现微机管理，但由于我国并不缺少人力资源，况且间歇法的所谓运行管理繁锁，实际上就是每天多开关几次阀门，所以它的这一缺点不应该成为其发展的限制因素。目前，一些发达国家正在对间歇法进行深入地研究，城市污水和工业废水的处理都不乏实用化的例子⁽⁴⁻⁶⁾。我国的东北、西北和华北地区的很多工厂企业都在拟建污水处理厂（有的已建成），为了节省资金和改善工作环境，其中大多数处理厂都在室外。那么，冬季的低温对间歇法运行的影响如何？这是一个很有意义的理论问题。为此，我们进行了温度对间歇式活性污泥法

影响的试验研究。

二、试验设备与方法

典型的间歇法运行方式是：污水经初沉池沉淀后，进入曝气池（并联运行）进行生化处理，曝气池中有有机物浓度达到要求的浓度后，停止曝气，并作为二沉池，对混合液进行泥水分离和浓缩，然后排出上清液，再用初沉池的出水充满进行曝气，完成一个周期。本试验为了尽可能做到定量研究，用动力学的数学模型来描述温度的影响，而采用较严格的控制措施，用图1所示的三套相同的试验设备，分别进行温度为6℃、11℃、15℃、20℃、25℃和30℃的试验，用温度自

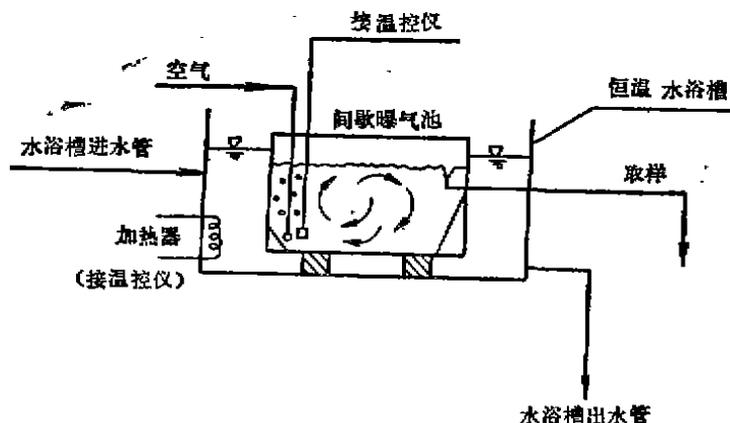


图1 试验控制系统示意图

表1 营养物质的组成

成分	mg/l
蛋白胨	750
牛肉膏	500
尿素	125
NaCl	100
KCl	200
MgSO ₄	200
CaCl ₂	150
K ₂ HPO ₄	300
COD≈1500mg/l	

动控制仪和恒温水槽来控制曝气池内的恒温。试验用的污水是哈尔滨市的城市污水经过沉淀后，加入某些营养物质（如表1所示），以增加间歇曝气时的起始有机物浓度，因此，原水中有有机物都是溶解的。曝气运行时COD和MLVSS的起始浓度分别为1500mg/l和400mg/l左右。然后，通过逐时地取样分别测定COD和MLVSS浓度的变化，来考查有机物的降解和污泥（微生物）增长的情况。

三、试验结果与分析

在间歇法的曝气运行时，COD和MLVSS浓度随时间的变化情况，可以用图2来表示。在曝气时间为 t 时刻的有机物液(COD)和污泥浓度(MLVSS)分别用 $s(t)$ 和 $x(t)$ 来表示，在曝气时间为 $(t+\Delta t)$ 和 $(t-\Delta t)$ 时刻的有机物和污泥浓度分别是 $s(t+\Delta t)$ 、 $s(t-\Delta t)$ 、 $x(t+\Delta t)$ 和 $x(t-\Delta t)$ 。那么，某一时间内有机物比降解速率和污泥比增长速率的计算方法见图2。公式如下：

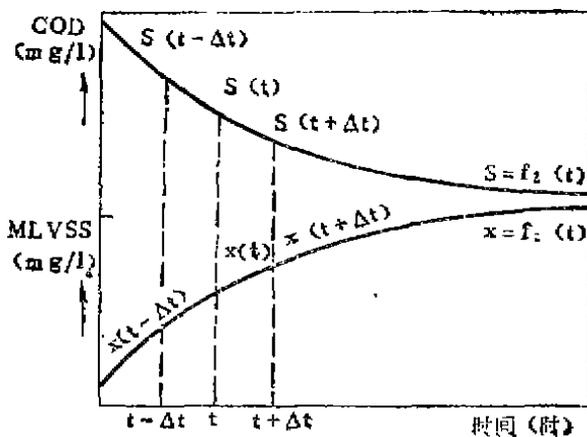


图2 间歇法的试验结果和计算方法

$$\frac{1}{x} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{1}{\bar{x}(t)} \cdot \frac{s(t-\Delta t) - s(t+\Delta t)}{(t+\Delta t) - (t-\Delta t)} \quad (1)$$

$$\frac{1}{x} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{1}{\bar{x}(t)} \cdot \frac{x(t+\Delta t) - x(t-\Delta t)}{(t+\Delta t) - (t-\Delta t)} \quad (2)$$

式中， $\frac{1}{x} \frac{\Delta s}{\Delta t}$ ， $\frac{1}{x} \frac{\Delta x}{\Delta t}$ ——分别表示在某时间内，有机物比降解速率和污泥比增长速率，也可分别用 $\frac{1}{x} \frac{ds}{dt}$ 和 $\frac{1}{x} \frac{dx}{dt}$ 表示； $\bar{x}(t)$ ——某一时间内污泥浓度 x 的平均

值，可用 $[x(t+\Delta t) + x(t-\Delta t)]/2$ 来表示。

表示有机物比降解速率的公式建立在莫诺特(Monod)式的基础上，是活性污泥法动力学的基本公式之一(7)：

$$U = \frac{k s}{K_s + s} \quad (3)$$

式中， U —有机物比降解速率， $1/d$ ；

k —有机物最大比降解速率常数， $1/d$ ；

K_s —饱和常数， mg/l ；

s —可降解的有机物浓度，亦称底物浓度， mg/l 。

在间歇曝气的最初阶段，有机物浓度高达 $1300mg/l$ 左右，而污泥浓度又低至 $500mg/l$ 左右。此时，无论对于有机物降解还是污泥增长，有机物浓度都不是限制因素，即食料和微生物的比值 $F:M$ 很高。用Monod公式来解释属于 $K_s \ll s$ 的情况，由式(3)可以得到，此时有机物的比降解速率近似于有机物最大比降解速率常数 k ：

$$\frac{1}{x} \frac{\Delta s}{\Delta t} = U = \frac{k s}{K_s + s} \approx k \quad (4)$$

k 值的大小和有机物浓度无关，它能够在有机物浓度足够高时测得。对于特定的处理系统，在一定的温度下是一个常数，因此，在间歇法曝气的初期通过式(1)可以求出某一温度条件下的 k 值。

图3和图4分别表示在不同温度下所得到的试验结果。它们分别表示温度为 $30^\circ C$ 、 $20^\circ C$ 、 $11^\circ C$ 和 $25^\circ C$ 、 $15^\circ C$ 、 $6^\circ C$ 在间歇法的曝气运行前30小时内，COD和MLVSS浓度随曝气时间的变化情况。从图中总的变化趋势可以明显地看到，在初始阶段 $20^\circ C$ 、 $25^\circ C$ 和 $30^\circ C$ 时曲线斜率的绝对值较大，即COD和MLVSS浓度随时间的变化较快；而 $6^\circ C$ 、 $11^\circ C$ 和 $15^\circ C$ 时COD和MLVSS浓度随时间的变化较慢，并且在上述温度范围内，温度越高在起始阶段COD和MLVSS浓度变化越快，达到有机物浓度基本不变的

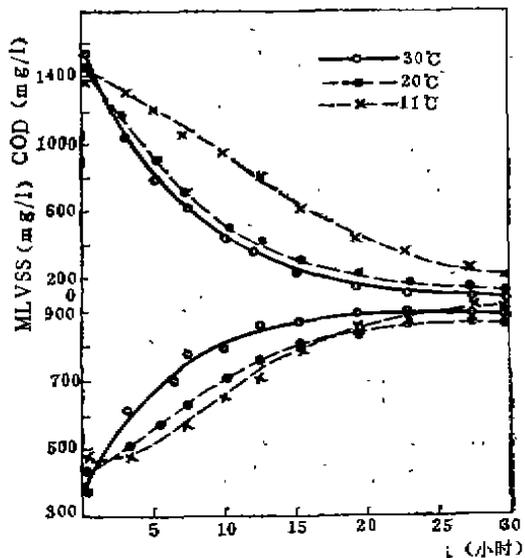


图3 30℃、20℃和11℃的试验结果

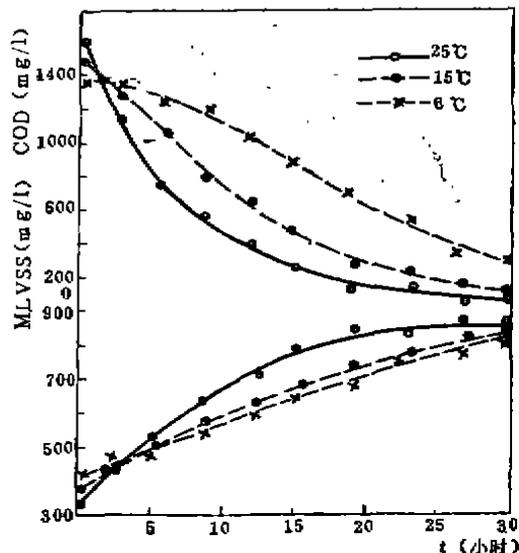


图4 25℃、15℃和6℃的试验结果

恒定状态所需要的时间也越少。这可以定性地说明温度越高有机物降解速率和污泥增长速率越大。

由于各个不同温度的试验初始的COD和MLVSS浓度不相同，其浓度的变化速度也不同，难于直接得到有机物比降解速率

$(1/x) \cdot (ds/dt)$ 和污泥比增长速率 $(1/x) \cdot (dx/dt)$ ，而必须用图2和式(1)、式(2)所表示的方法，通过试验测定的数据，比较精确地计算。图5表示了用上述方法得到的不同温度下有机物比降解速率和污泥比增长速率随间歇曝气时间的变化规律。除20℃以

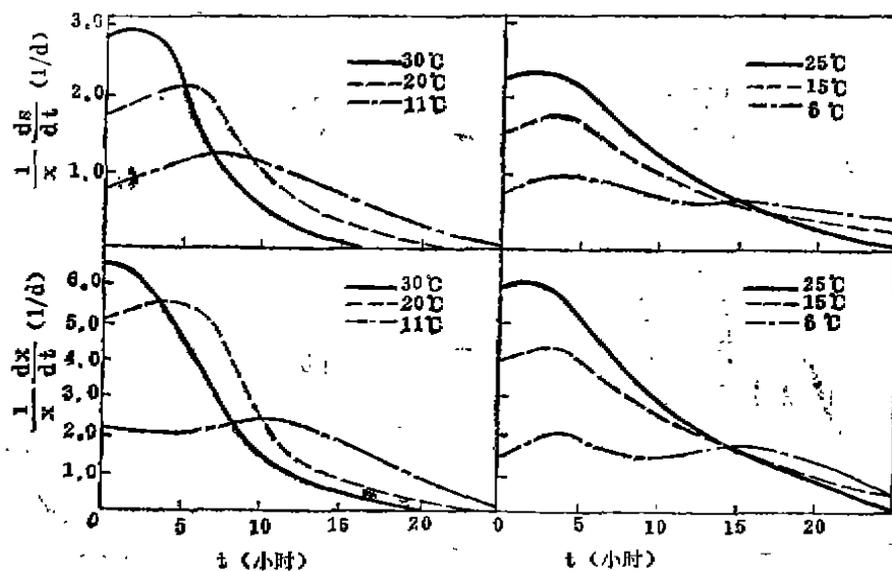


图5 各温度下 $\frac{1}{x} \frac{dx}{dt}$ 和 $\frac{1}{x} \frac{ds}{dt}$ 的逐时变化

外(可能是由于试验误差的影响),最大有机物比降解速率和最大污泥比增长速率都发生在有机物浓度很高的初期,而且温度越高这两个速率也越大,峰值也越明显,高峰值过后急剧下降。在6℃和11℃的低温时这两个速率的最大值较小,其峰值也不明显,曲线随时间的变化缓慢,这些现象说明在有机物浓度相当高时,上述两个速率一直保持最大值,式(4)在这种条件下是适用的。不同温度下的有机物最大比降解速率常数 k 的值见表2。从而得到了表示温度对 k 值影响的非利普斯(Phelps)公式:

表2 不同温度的 k 和 S_n

项目	6	11	15	20	25	30
k	1.695	2.107	3.482	4.175	4.988	5.582
S_n	185	140	119	96	76	79

$$k_T = k_{20} \theta^{(T-20)} = 4.175 \times 1.055^{(T-20)}$$

式中, k_T 、 k_{20} —分别表示温度为 T ℃和20℃时的 k 值, $1/d$;

θ —温度系数, 其值表示温度对 k 值的影响程度。

从图3、图4和图5可以看到,在初始阶段温度越高 k 值越大,有机物被降解得越快,有机物的数量急剧减少,随后成为限制微生物生长的因素,使有机物降解速率和污泥增长速率迅速降低,比低温时更早地趋近于零(图3和图4中曲线的斜率为相应的速率,斜率趋近于零即速率趋近于零)。而在6℃和11℃时,有机物降解速率很小,在较长时间内有有机物仍然很高,所以有机物比降解速率和污泥增长速率的最大值所持续的时间也较长,这两个速率趋近于零所需要的时间也很长。此外,相同温度下表示这两个速率随时间变化的两条曲线的形状和变化趋势也大致相同,符合有机物降解和污泥增长的基本关

系。

人们已经认识到,无论是活性污泥法还是生物膜法,其出水中总难免含有一些难降解的有机物,但是至今还没有人提出温度对这些难降解物质的影响问题。在我们进行的本次间歇试验和以城市污水为底物的普通活性污泥法的连续试验中,都发现了一个共同的现象,即温度对难降解有机物的降解程度有很大的影响。如图3和图4所示,温度不同,不仅有有机物降解速率和这个速率趋近于零所需要的时间不同,而且在速率趋近于零时,有机物不再降解的极限浓度——即难降解有机物浓度 S_n 也不同,温度越低, S_n 越大。图6和表2表示了间歇曝气时间在50小时以上,温度和 S_n 的关系。据此,我们首次提出间歇式活性污泥法污水处理系统的运行温度对难降解有机物的降解程度有较大影响观点。温度越低不仅有有机物的降解速率越小,而且难降解有机物的降解程度也越低,结果出水中残留的难降解有机物也越多。通

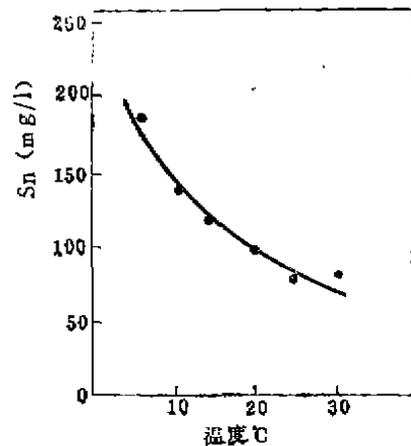


图6 间歇法中温度对 S_n 的影响

过理论分析,我们认为,由于微生物所推进的生物化学反应和普通的化学反应一样,都存在温度对反应速度、化学平衡、产物和反应进行到底的程度的影响问题;而且,在生化反应中,起重要催化作用的酶的活性也明显地受温度的影响;另外,不同的温度下降

解有机物的微生物优势种属也不尽相同,这就是说由于温度的差异有可能从根本上改变了生化反应类型和酶系统。可以说温度对有机物降解的影响是全面的,不仅表现在有机物降解速率上,而且波及到很多方面。温度对有机物降解速率或对有机物最大比降解速率 k 的影响,只能反映在处理系统中温度对整体的生化反应速度的影响;而在不同温度下处理系统出水中残留的难降解有机物浓度的高低,才能反映温度对有机物降解的生化反应的平衡状态和反应进行到底的程度,并且也可能反映生化反应的历程及最终产物的不同。那么,在低温条件下的间歇式曝气池中,有机物的氧化分解反应的速度慢,且反应不彻底,出水中残留的难于生物降解的有机物多就很容易理解了。我们认为,温度对难降解有机物降解程度影响问题,对于目前人工合成的有机物在种类和数量上日益增多并且已经造成了较严重污染的今天来说,是一个值得继续深入探讨的问题。

图3和图4的试验结果还表明:间歇式活性污泥法处理系统的运行过程属于理想的推流(*plug flow*)过程,有机物浓度从高到低逐步降解,始终保持着尽可能高的降解反应的推动力。在 20°C 以上时,曝气15小时左右,就能使有机物浓度由开始的 1500mg/l

左右降解至 200mg/l 左右,降解了85%,而相应的活性污泥浓度才只有 $300\sim 500\text{mg/l}$,即处于 $F:M$ 很高的高负荷状态,这说明间歇法具有很高的处理效率。

四、结论与展望

试验研究表明,在温度为 $6\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的范围内,温度对间歇式活性污泥法处理系统的运行有明显的影 响。温度越低,有机物比降解速率和污泥比增长速率越低,反映温度对有机物最大比降解速率常数影响的 $Phelps$ 公式中的温度系数 $\theta = 1.055$ 。这就是说,在寒冷地区建造室外污水处理厂时,应当增大曝气池的有效容积,以降低有机物负荷和增加曝气时间,来提高出水质量。本文还提出了间歇法中运行温度对难降解有机物的降解程度有较大影响的论点,温度越低,出水中残留的难降解有机物浓度越高。温度和其他因素对难降解有机物降解程度的影响,是一个应当进一步研究的很有现实意义的问题。

间歇式活性污泥法处理系统在降解有机物方面是高效的,有节省回流污泥的设备及运行费用等许多优点,对于中小型污水处理厂,具有广阔的应用前景。

主要参考文献

- (1) Irvine, R. L. et al., *J. Water Pollut. Control Fed.*, 57, 847 (1985).
- (2) Arora, M. L. et al., *J. Water Pollut. Control Fed.*, 57, 867 (1985).
- (3) Braha, A. and Hafner, F., *Water Res. (G. B.)*, 21, 73 (1987).
- (4) Melcer, H. et al., *J. Water Pollut. Control Fed.*, 59, 79 (1987).
- (5) Tate, S. R., and Eckenfelder, W. W., "Application of the Batch Activated Sludge Process". *Proc. 41st Ind. Waste Conf., Chelsea, Mich.*, 209 (1986).
- (6) 坂川胜见, *下水道协会志*, Vol. 25, No. 209, (1988).
- (7) Benefield, L. D. and Randall, C. W., *Biological Process Design for Wastewater Treatment*, Prentice-Hall (1980).