# 改良氧化沟处理城市污水氨氮动力学参数研究

陈国平,童富良

(中国石油工程设计有限公司西南分公司,四川成都 610017)

摘 要:为处理高氮低碳城市污水,实验选定在中心岛氧化沟内放置一定量的 YDT弹性立体填料,使实验系统集氧化沟、生物膜法、中心岛二沉池于一体。为研究系统的氨氮降解情况, 首先从理论上推导了接触氧化法底物降解动力学方程;同时论证了在实验特殊水质及特殊工 艺下,实验系统中氨氮降解过程应遵循底物降解动力学方程;此外,得到在实验条件下 NH<sup>+</sup>-N最大氧化速率为 70.38 g/(n<sup>2</sup>. d),亚硝酸菌氧化 NH<sup>+</sup>-N的饱和常数为 16.27 mg/L

关键词: 膜法中心岛氧化沟;氧化沟;接触氧化法; 氨氮降解动力学; 动力学参数

文章编号: 1006-5539(2009)03-0038-04 文献标识码: A

0 引言

活性污泥反应动力学是从 20世纪 50.60年代 发展起来的新兴科学,对工程设计与优化运行管理 有着一定的指导意义。但是,活性污泥反应是多种 基质和多种混合微生物群体参与的一系列类型不 同、产物不同生化反应的综合。在应用时,还要根据 具体条件加以修正。

本实验通过研究膜法中心岛氧化沟处理某高氮 低碳城市污水的工作状态,力求找到能够符合实验 系统底物降解的动力学模式,同时采用一定的实验 方法,确定实验条件下的氨氮去除动力学参数。

1 原理

生化反应总速率取决于起主导作用的酶催化反应的活性<sup>[1]</sup>。米凯利斯一门坦(Michaelis-Menton) 提出了著名的米一门公式:

$$\nu = \frac{\nu_{\text{max}} \circ S}{K_{\text{n}} + S} \tag{1}$$

收稿日期: 2008-11-19

作者简介:陈国平(1972-),女,黑龙江大庆人,高级工程师,硕士,主要从事给排水及消防设计工作。电话:(028) 86014002

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

┉∞──产物生成的最高浓度;

Km——米氏常数(饱和常数);

S----基质浓度。

莫诺后来观察到微生物增殖速率是微生物浓度的函数,也是某些基质浓度的函数,进而提出了与米 一门公式类似的莫诺模式:

$$\mu = \frac{\mu_{\text{max}} \circ S}{K_{\text{s}} + S} \tag{2}$$

式中 µ——微生物比增殖速率, L/ d

μ<sub>max</sub>——基质达到饱和浓度时,微生物的最 大比增殖速率, L/ d

K---- 饱和常数, mg/L

S----反应器内基质浓度, mg/L

假设微生物的比增殖速率与基质的比降解速率 呈比例关系,则有与微生物比增殖速率相对应的比 降解速率如下式:

$$V = \frac{V_{\text{max}} \circ S}{K_{\text{s}} + S}$$
(3)

式中 V— 基质比降解速率, <sup>g</sup>基质 /(<sup>g</sup>VSS d); Vmax——基质最大比降解速率, <sup>g</sup>基质 /(<sup>g</sup>VSS d); 。d)。 2 实验系统与方法描述

#### 2.1 实验装置

动模实验系统由储水箱、泵及氧化沟体等组成, 其工艺流程见图 1。



图 1 动模实验工艺流程图

#### 2.2 方法描述

研究方法:本实验过程分为四个阶段,进水 TKN浓度为 85<sup>mg/I</sup>左右,流量分别控制为 60 90 120和 150 L/b 每个阶段运行稳定标志为氨氮去 除率基本保持不变。

实验水温为 25 ±0. 5℃, 进水 ALK及 PH值不 成为硝化反应限制条件, DO=4~6 <sup>mg</sup>/L

3 结果与分析

### 3.1 基质降解动力学模型的建立

膜法中心岛氧化沟是一种以生物膜法为主的生物处理工艺,兼具活性污泥法和生物膜法的特点。 本研究中基质降解动力学模型的建立以接触氧化法的动力学数学模型为基础<sup>[2]</sup>。

3.1.1 关于模型的几个假定

氧化沟的水力状况为完全混合式;氧化沟在稳 定状态下运行;生化反应以硝化反应为主体,公式推 导以 <sup>TKN</sup>为去除基质进行。

3.1.2反应动力学参数的推导

试验证明,生物接触氧化废水处理中,一般情况 下有机物浓度与微生物比增长速率之间的关系也基 本符合 Monod关系<sup>[3~4]</sup>。接触氧化池的物料平衡关 系可用下述数学关系式描述:

反应池中基质变化 =入流增加量 -出流减少量 --反应去除基质量  $\left(\frac{\mathrm{d}\$}{\mathrm{d}t}V = Q\$ - \left[\left(\frac{\mathrm{d}\$}{\mathrm{d}t}\right)_{u_{1}}V_{A} + \left(\frac{\mathrm{d}\$}{\mathrm{d}t}\right)_{u_{2}}V_{A} + Q\$\right]$ (4)式中  $\left(\frac{ds}{dt}\right)$  — 单位容积氧化池的基质变化速率,  $kg/(m^3 \circ d)$ **质的谏率**, k<sup>g</sup> /(m<sup>3</sup>。</sup> d):  $\left(\frac{\mathrm{d}\$}{\mathrm{d}t}\right)_{\mu}$ -单位容积悬浮的生物体利用基质 的速率, kg / (m<sup>3</sup> · d). V—— 氧化池容积, <sup>m3</sup>. V——附着的生物膜容积, m<sup>3</sup>; S----进水基质浓度, mg/ I. S----出水基质浓度, mg/L,  $\mu_{A}$ ——附着的生物膜比增长速率, L/d $\mu_{s}$ ——悬浮的生物体比增长速率, L/d

若忽略生物体内源呼吸的衰减和进行一系列运 算变换,则式(4)可改写为:

$$\left(\frac{d\hat{S}}{dt}V = QS - QS - \frac{\mu_{A} \circ X_{A}}{Y_{A}}V_{A} - \frac{\mu_{S} \circ X_{S}}{Y_{S}}V\right)$$
(5)

设填料的比表面积为 <sup>a(n²/m²</sup>)活性生物膜 的平均厚度为 d(m)则附着在填料表面上生物膜 的总容积为:

$$V_A = N a d$$
 (6)

式中 N——接触氧化池内填料容积, <sup>m</sup>。

将式(6)代入式(5)在稳定条件下,则得:

$$QS_{f} - QS_{e} = \frac{\mu_{A} \circ X_{A}}{Y_{A}} N^{a} d + \frac{\mu_{S} \circ X_{S}}{Y_{S}} V \qquad (7)$$

如前所述,微生物的比增长速率符合 Monod关 系式 (2),则式 (7)可为:

$$QS - QS = \frac{\left(\begin{array}{c}\mu_{ma}\right)_{A} \circ X_{A}}{Y_{A}} \circ \operatorname{Nad} \circ \frac{S}{K_{s} + S} \\ + \frac{\left(\begin{array}{c}\mu_{ma}\right)_{S} \circ X_{S}}{Y_{S}} \circ \operatorname{V} \circ \frac{S}{K_{s} + S} \end{array}$$
(8)

接触氧化池中主要起作用的微生物是填料上附 着的生物膜,因此式 (8)可简写为:

$$Q_{\theta}^{S} - QS = \frac{\left(\mu_{ma}\right)_{A} \circ X_{A}}{Y_{A}} \circ \operatorname{Nad} \circ \frac{S}{K_{s} + S} (9)$$

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

当进水基质负荷率达到一定值以后,在溶解氧 和其它环境条件(水温、<sup>IH</sup>值等)保持不变的条件 下,填料上生长的生物膜平均厚度可认为是不变的。 式(9)可简写为:

$$\frac{\left(\mu_{\text{max}}\right)_{\text{A}} \circ X_{\text{A}}}{Y_{\text{A}}} = \left[ \left(\frac{\mathrm{d}\$}{\mathrm{d}t}_{\mu_{\text{A}}}\right)_{\text{max}} \qquad (10)$$
  
$$\exists \Phi \quad \left[ \left(\frac{\mathrm{d}\$}{\mathrm{d}t}_{\mu_{\text{A}}}\right)_{\text{max}} - - \Phi \dot{\Omega} \partial \Omega \right]$$

**利用基质速率**, k<sup>g</sup>/(<sup>m³</sup>。 d)

式 (10)两边乘上  $V_{A} = N^{ad}$ 则得氧化池附着生物膜总的最大利用速率为:

$$\frac{\left(\mu_{\text{max}}\right)_{A} \circ X_{A}}{Y_{A}} \circ \text{Nad} = \left[\left(\frac{ds}{dt}\right)_{\mu_{A}}\right]_{\text{max}} \circ \text{Nad} (11)$$

式 (11)再除以 N<sup></sup><sup>4</sup>则得单位填料表面积上附 着的生物膜最大利用基质速率:

$$\frac{\left(\begin{array}{c}\mu_{\text{max}}\right)_{\text{A}} \circ X_{\text{A}}}{Y_{\text{A}}} \circ d = \left[\left(\begin{array}{c}d\$\\d\end{bmatrix}t_{\mu_{\text{A}}}\right)_{\text{max}} \circ d \quad (12)$$

由于基质利用速率在数值上等于基质去除速率,若以 Uma表示单位填料表面积上附着生物膜最大去除基质的速率,则式 (12)可用下式表示:

$$U_{\text{max}} = \frac{\left(\mu_{\text{max}}\right)_{\text{A}} \circ X_{\text{A}}}{Y_{\text{A}}} \circ d \qquad (13)$$

将式(13)代入式(9),则得:

$$\frac{Q}{Na} \frac{S - S}{K_s + S} = \frac{U_{max}S}{K_s + S}$$
(14)

$$\diamondsuit \quad U = \frac{\langle (s - \dot{s}) \rangle}{N^a}$$

代入式 (14) 后得:

$$U = \frac{U_{max}S}{K+S}$$
(15)

- 式中 U— 单位填料面积基质去除速率, <sup>8</sup>基质 / (<sup>m<sup>2</sup> 。</sup> d);
  - Umax——饱和基质浓度时单位填料面积最大

基质去除速率,<sup>9</sup>基质 / ( <sup>m²</sup> 。 d);

K-----饱和常数, <sup>mg/I</sup>,

- S----氧化池内或出口的基质浓度,mg/L
- 式 (15) 即为接触氧化法的动力学数学模型。

自养型硝化菌的增殖与底物去除的动力学也可 以用莫诺方程 (2)表示<sup>[5]</sup>。在稳态条件下,硝化反 应中的速度限制步骤是亚硝化菌属将 NH<sup>+</sup> – N氧 化成 NQ\_-N的过程。

因此式 (2) 可以明确表示为:

$$\mu_{\rm N} = \frac{\mu_{\rm Nimax} \circ \rm N}{K_{\rm N} + \rm N} \tag{16}$$

式中 *µ*<sub>N</sub>----亚硝酸菌的比增殖速率, L/ d

µ<sub>№ max</sub>—— 亚硝酸菌的最大比增殖速率, L/ d
 K<sub>№</sub>—— 亚硝酸菌氧化氨氮的饱和常数, mg/
 L

N---反应器内 NH - N浓度, mg/L

则 NH<sup>+</sup> 一 N硝化速率与亚硝酸菌的增长速率 之间的关系可以表示为:

$$q_{N} = \frac{\mu_{N}}{Y_{N}} = \frac{q_{N \max} \circ N}{K_{N} + N}$$
(17)

式中 9,---- NH<sup>+</sup> - N氧化速率, <sup>g</sup> NH<sup>+</sup> - N/(<sup>n<sup>2</sup></sup> 。d); 9, <sub>max</sub>---- NH<sup>+</sup> - N最大氧化速率, <sup>g</sup> NH<sup>+</sup> -N/(<sup>n<sup>2</sup></sup> °d);

X→ 亚硝酸菌产率系数, <sup>Q</sup>(生物量 )/<sup>Q</sup>(氧 化的 NH<sup>+</sup> −N)。

3.2 动力学参数的确定

3.2.1 氨氮降解动力学参数模型确定

实验发现系统氧化沟内活性污泥很少,而 YDT 填料上附着大量的活性污泥。在此假设 YDT填料 上的生物膜起主要作用。

3.2.2 氨氮降解动力学参数的计算

根据以上对动力学模型的阐述,我们可以运用 式(17)对本实验系统的氨氮降解动力学进行分析 及研究。 ④ 本与 K 的大小同基质性质、微生物种 群、填料种类和环境条件有关<sup>16~7</sup>。在这里,我们以 改变进水流量为主要手段进行研究。四个阶段的数 据结果如表 1所示。

表 1 各阶段实验结果

时段	<b>流量 Q</b> /L° h <sup>-1</sup>	进水 TKN /mg。 L <sup>-1</sup>	出水 $NH_3 - N$ /mg。L <sup>-1</sup>
第一阶段	60	84. 3	8 62
第二阶段	90	84.8	11. 6
第三阶段	120	88 8	19. 4
第四阶段	150	88 2	33 1

## 将公式 (17) 取倒数, 得:

$$\frac{1}{\mathbf{q}} = \frac{\mathbf{K}_{\mathrm{N}}}{\frac{\mathbf{q}}{\mathrm{N}\max}} \times \frac{1}{\mathrm{N}} + \frac{1}{\frac{\mathbf{q}}{\mathrm{N}\max}}$$
(18)

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

利用式 (18)、表 1中结果, 做曲线如图 2 图 2 所示直线的相关系数 R=0.93  $Q_{max}=70.38$   $g/(m^2)$ 。 d, K = 16.27 mg/L 林铸炉<sup>[4]</sup>测定对某废水的 氨氮降解动力学参数分别为:  $Q_{max}=14.66$   $g/(m^2)$ 。 d, K = 10.72 mg/L 我们测得的  $Q_{max}$ 大约为 林铸炉测定值的 5倍。分析原因, 这与实验用水的 C/N有很大关系。文献<sup>[8]</sup>实验用水 C/N=12 而本 实验系统 C/N<1。同时, 通过对氧化沟硝化细菌与 异养菌计数结果发现, 硝化细菌数量约占全部细菌 总量的 90%以上。可以肯定的是, 本实验系统氨氮 降解速率达到了较高水平。



4 结论

本实验系统氨氮降解过程遵循方程  $Q = Q_{max}$  $3N/(K_1+N);在实验条件下,测得氨氮降解动力学$  $参数分别为 <math>Q_{max} = 70.38$   $g/(m^2 \circ d), K_N = 16.27$  mg/L

参考文献:

- [1] 张自杰,钱 易,章非娟,等.环境污染手册水污染防
   治卷[<sup>M</sup>].北京:高等教育出版社,1996
- [2] 郝晓地,张自杰. 对氧化渠动力学分析及公式推导
   [1].环境工程, 1992, 10(3): 20-25.
- [3] 刘 雨,赵庆良,郑兴灿. 生物膜法污水处理技术
   [<sup>M</sup>].北京:中国建筑工业出版社,2000
- [4] 拉马尔奥 R S 废水处理概论 [M]. 严忠琪, 王凤石译. 北京: 中国建筑工业出版社出版, 1981.
- [5] 郑兴灿,李亚新.污水除磷脱氮处理技术[M].北京: 中国建筑工业出版社出版,2000
- [6] 黄 勇,杨铨大,王宝贞,生物处理动力学参数测定研究[1],中国环境科学,1996,16(2),123-127.
- [7] Helmer Ç Kunst Ş Simultaneous Nitrification/Denitrification/D
- [8] 林铸炉,盛兆琪.普通活性污泥系统曝气池中投加浮动填料提高硝化能力的研究[1].环境科学,1998 19
   (1):62-65.