

8

8-12

颗粒形态与同向聚沉速率

——混凝形态学的动力学研究之二^①

傅涛 蒋展鹏¹ 杨志华 祝万鹏^②
(清华大学)

TU PP1.22

摘要

A

对三种不同形状的胶体颗粒,在同样条件下进行了大量的聚沉动力学实验。在实验的基础上提出了“体积膨胀因子”的概念,并应用这一新概念分析和探讨了形态因素对同向聚沉反应速率之影响,从而从形态学的角度对传统的混凝动力学理论进行了补充和完善。

1 前言

混凝形态学(Flocculation Morphology)作为混凝理论的一个发展方面 1987 年被首次提出以后,不少学者对其作了进一步的研究^[1,2],它在一定程度上丰富和完善了传统的混凝理论。笔者在讨论了颗粒形态与异向聚沉速率的关系之后^[3],本文将重点讨论颗粒形态与同向聚沉速率的关系。

在传统理论中^[4,5,6],均匀剪切场下以球形颗粒假设为基础,应用 Fick 第一定律可以得到单分散体系的同向聚沉反应速率公式

$$dN/dt = -\frac{16}{3}R^3GN^2 \quad (1)$$

即 $-dN/dt = kN^2 \quad (2)$

其中 $k = \frac{16}{3}R^3G \quad (3)$

式中 N — t 时刻的颗粒数
 R —颗粒间的作用半径
 N_0 —0 时刻的颗粒数
 G —速度梯度

①本研究为国家自然科学基金项目

②本校 92 届毕业生俞军参加了部分实验工作

下,又无外部污泥回流设施。进水 COD 浓度为 3528mg/L,容积负荷 10.96kgCOD/m³·d, HRT 为 12h 时, COD 平均去除效率 82.85%, 最大去除率 86.67%。

c. ABR 启动比较容易。ABR 是一连续的多室结构,反应器内的微生物能够在厌氧处理过程中自然的形成良好的群落配合,启动后 4 周可以达到稳定状况,6 周左右会有颗粒状污泥出现,沉降性能良好。

d. ABR 反应器内由于折流板的作用,污水呈锯齿状上下绕流,总途径增长了,泥水接触时间长,有机物能够得以良好的分解。折流板对污泥起到良好的阻留作用,ABR 可维持较高的污泥浓度 30.7gVSS/L,污泥停留时间长对有机

物的去除能力强。

e. 对 ABR 处理高浓度有机废水的试验分析,表明 HRT 对 ABR 的去除效率影响比较明显,因此在中试或生产性试验中,ABR 的容积负荷为 10kgCOD/m³·d 时, HRT 不应低于 12h。

5 参考文献

1. Andre Bachmann, Virginia L. Beard, and Perry L. McCarty "Performance Characteristics of The Anaerobic Baffled Reactor", Water Res. Vol. 19, No. 1, PP 99-106, 1985.
2. A. W. A. de Man, A. R. M. van der last and Lettinga, "在 8-30℃ 温度范围内用 EGSB 和 UASB 厌氧系统处理低浓度可溶性废水和复杂废水", 第五届国际厌氧消化讨论会论文集, 意大利, 波罗尼亚, 1988.
3. R. S. Ramalho, (Introduction to Wastewater Treatment Processes), 1977.

在水处理设备中常见非均匀剪切场,此时的平均速度梯度(G):

$$G = \left(\frac{P}{V} \right)^{1/2} \quad (4)$$

式中 (P/V) —单位体积的能耗

μ —动态粘度

由式(1)可以看出同向絮凝反应速率是颗粒数目的二级反应;反应速率正比于胶体颗粒数目的三次方,且正比于剪切场的速度梯度。这一结论在实践中得到了一定的证实。GT值已经成为水质混凝处理中的一个重要的控制指标。

但是,从形态学的角度来分析,式(1)中的假设有一个很大的不足,即把所有胶体颗粒都看成球形颗粒。而在实际胶体溶液中其颗粒却是各具形态的^[7],有些形态因素可能会直接影响反应速率,使实际结果与理论预测发生偏差。因而,颗粒形态对混凝动力学影响的研究十分必要。

便于讨论和研究,本文常用的两个半径即:

a. 作用半径(R_c):指决定非球形颗粒间互相碰撞几率的半径。由于胶体颗粒旋转Brown运动的作用,作用半径(R_c)通常指非球形颗粒的最大半长度。

b. 体积径(r_v):非球形颗粒的体积径是指与其具有相同体积的球形颗粒的半径,即本文中粒径实验中的测得值。

2 实验

2.1 主要实验仪器

日立 S-450 型扫描电子显微镜;80XY-I 型超精度粒度分布仪;DB J-621 型六联混凝搅拌机;CX-250 型槽式超声波清洗器;722 型分光光度计。

2.2 实验方法与结果

2.2.1 胶体颗粒的形态观察

将高岭土 I、II 和凹凸棒土等三种样品分别溶于蒸馏水中,以超声波将其颗粒分散成 $1\mu\text{m}$ 左右的较为稳定的胶体体系,以玻璃棒蘸少许于干净的盖玻片上,风干后镀金膜,置于扫描电镜下观察,三种样品的照片如图 1,观察结

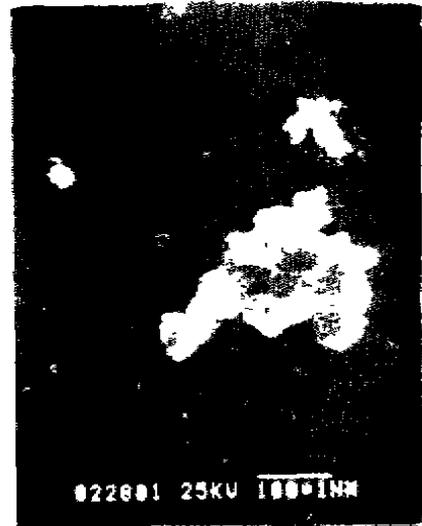
果于表 1。

表 1 形态观察及粒度分析

样品	形状	粒度($2r_v$) (μm)
高岭土 I	六边片状	0.80
高岭土 II	短棒状	0.80
凹凸棒土	长条状	0.93

2.2.2 粒度分析

经超精度粒度分布仪分析,测得三种颗粒体积径 r_v 于表 1。



高岭土 I (片状)



高岭土 II (棒状)



凹凸棒土

图1 扫描电镜观察结果

2.2.3 动力学实验

在分散好的不同浓度的三种样品中分别投加脱稳剂(NaCl 溶液),快速搅拌混合后以 40r/min 转速慢搅,测其吸光度随时间的变化,再以作图法求出在 $t=0$ 时刻的吸光度变化速率^[6]。方法如下:

根据式(2),两边取对数得

$$\log\left(-\frac{dN}{dt}\right)_{t=0} = 2\log(N_0) + \log k \quad (5)$$

由于颗粒数(N)与其所产生的吸光度(A)有着正比关系,因此可将式(5)变形为:

$$\log\left(-\frac{dA}{dt}\right)_{t=0} = 2\log(A_0) + \log k' \quad (6)$$

$$k = k' / n \quad (7)$$

式中 n 为比例常数,可通过下式求得

$$n = 500\left(\frac{C_2}{2C_1^2} - \frac{1}{C_1}\right) \quad (8)$$

式中 C_1 —单个颗粒体系的光散射系数

C_2 —两个颗粒相连体系的光散射系数

它们可以通过查阅光散射手册获得^[9]。

根据式(6),以 $\log(-dA/dt)$ 对 $\log(A_0)$ 作图,以斜率为 2 的直线拟合,由直线的截距可求得反应速率常数 k' ,进而求得真实反应常数 k 。见图 2。实验及计算结果于表 2。

3 形态因素对同向聚沉速率常数的影响

3.1 经典理论计算与实验结果比较

平均速度梯度(G)的计算^[10]

表 2 异向聚沉反应速率($t=20\pm 2\text{C}$)

样品	截距 ($\log k'$)	反应常数 (k')	真实反应常数 ($k=k'/n$) (s^{-1})
片状高岭土	-0.75	0.178	1.66×10^{-16}
棒状高岭土	-0.51	0.309	2.87×10^{-16}
凹凸棒土	-0.28	0.562	5.11×10^{-16}

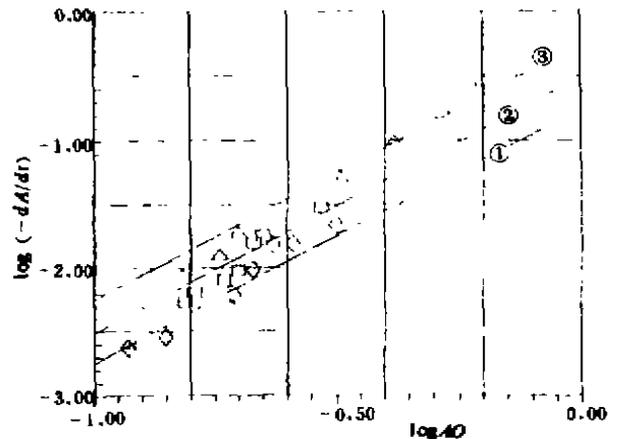


图 2 三种样品的双对数图

1. 高岭土 I (片状) 2. 高岭土 I (棒状) 3. 凹凸棒土

根据搅拌设备中的浆板尺寸和慢搅拌速度,利用经验公式可计算得搅拌功率(W):

$$W = 3.29 \times 10^{-6} \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

将 W 的值代入式(4)得:

$$G = 21.4 \text{s}^{-1}$$

3.2 经典理论的同向聚沉速率常数

将 G 值和粒径 R(相当体积径)代入式(3),求得三种颗粒同向反应速率常数的经典理论计算值,与实验值一同列入表 3。

表 3 各样品的三种速率常数(s^{-1})

样品	经典理论计算值	凝胶形态学的计算值	实验值
片状高岭土	0.74×10^{-17}	0.2×10^{-16}	1.66×10^{-16}
棒状高岭土	0.74×10^{-17}	1.1×10^{-16}	2.87×10^{-16}
凹凸棒土	1.00×10^{-17}	6.6×10^{-16}	5.11×10^{-16}

由表 3 可以看出:

a. 经典理论计算值均小于相应的实验值,且相差达一个数量级。

b. 对不同形状而同体积的高岭土胶体,经典理论计算值大小无差别,而实验结果差别则较大。

c. 经典理论计算中凹凸棒土的速率常数

略大于两种高岭土,而实验值差别则较大。

这些差别表明,经典理论在分析不同形态颗粒的聚沉动力学方面有着较大的偏差,即球形颗粒的假设所决定,这正是混凝形态学欲加以深入研究之处。

3.3 形态因素的分析

3.3.1 作用半径

相同体积径的不同形态的颗粒,在发生同向聚沉时不一定具有相同的作用半径,这是混凝形态学用以分析同向聚沉动力学的出发点。由于非球形颗粒也具有旋转 Brown 运动,故碰撞直径(即作用半径的 2 倍)和颗粒最大直径具有相同的尺寸^[5]。

根据体积径与轴比和体积相等的转换,可以求得三种样品颗粒的最大半长度即作用半径,结果见表 4。体积径相同,但形状不同或轴比不同,可以导致作用半径的较大差异,这是导致反应常数差别的根本原因。

3.3.2 体积膨胀因子

由于同向聚沉速率常数正比于作用半径的三次方,是体积量纲。为了更直观地反映形态因素影响速率常数的大小,这里引入一参数——体积膨胀因子(η),定义为非球形颗粒以其作用半径为半径的虚拟球体的体积(V_1)与其实际体积(V_0)之比:

$$\eta = \frac{V_1}{V_0} = \left(\frac{R_0}{r_0}\right)^3 \quad (9)$$

可见通过作用半径与体积径,即可求得颗粒的体积膨胀因子,计算结果于表 4。

表 4 样品的几种参数值

样品	片状高岭土	棒状高岭土	凹凸棒土
轴比(J)	4	4	10
粒径($2r_0$)	0.80	0.80	0.93
2×作用半径 ($2R$)	1.39	2.47	4.05
体积膨胀因子(η)	2.7	15	67

将体积膨胀因子的概念引入同向聚沉速率常数公式(3),可得如下包含了形态因素的关系:

$$k = \frac{16}{3} \eta r_0^3 G \quad (10)$$

式中 r_0 ——颗粒体积径

$(\eta r_0^3)^{1/3}$ ——颗粒间的作用半径

体积膨胀因子概念的引入,较为形象具体地反映了形态因素对同向聚沉速率常数影响的大小。从式(10)中可看出:该速率常数正比于颗粒的体积膨胀因子,且正比于体积径的三次方,而体积径常可通过实验测得,因此已知体积膨胀因子后,就可求出经混凝形态学修正后的反应速率常数。将有关数据代入式(10),得到考虑了形态因素的同向聚沉速率常数计算值(见表 3)。

由表 3 数据可看出,考虑了形态修正后的理论值与实验值较为接近。更好地反映了三种样品反应速率常数变化的规律,较传统理论有了新的提高。

由于非球形颗粒在流场中总有一定的顺流取向作用,使作用半径变小,且轴比愈大这种取向作用愈强,因此这种取向使三种样品的反应速率常数差别变小,且绝对值也都变小;另外,由于同向聚沉速率受粒径影响很大(正比于三次方),而实验中所用样品的粒径分布为非单分散的,这使实验结果偏大。这两种影响有一定的抵消,但取向作用最小的片状高岭土受后者影响较大,因而其实验值大于混凝形态学的计算值。虽然有些非理想因素的影响,但实验结果的大小变化趋势却十分明显,这在很大程度上验证了混凝形态学的观点与计算结果。

4 结论

a. 在混凝动力学中,颗粒形态的不同将影响同向聚沉反应速率常数的大小。因此,在研究混凝动力学时,考虑形态因素的影响是十分必要的。

b. 颗粒形态不同将改变颗粒间的作用半径,从而影响聚沉反应速率常数。

c. 颗粒形态因素对同向聚沉反应速率常数的影响,可以定量地用颗粒体积膨胀因子(η)的大小来描述。引入了体积膨胀因子后的同向聚沉反应速率常数公式为:

$$k = \frac{16}{3} \eta r_0^3 G$$

一般轴比越大,体积膨胀因子越大;棒状颗粒的

氧化沟水平轴曝气机性能指标研究

陈吕军 钱易
(清华大学)

X505

摘要

A 详细介绍了氧化沟水平轴曝气机的主要功能,研究了能综合评价其特性的性能指标及这些指标的测定方法。结果表明,充氧能力、动力效率及推动力是比较和评价水平轴曝气机综合有效的性能指标。

1 概述

曝气设备是氧化沟污水处理系统中最主要的机械设备,对氧化沟处理效率、能耗及运行稳定性有关键性影响,主要具有以下四个功能:

a. 向水中供氧是最主要的功能。通过曝气空气中的氧溶入水中,供微生物呼吸并氧化有机物。

b. 推动水流前进。氧化沟是一环形生物反应器,依靠曝气推动水流前进,在沟内作连续循环流动。

c. 混合。在水循环流动过程中,通过曝气设备的搅拌冲击,使有机物、微生物和氧之间充分混合、接触,有利于有机物去除和微生物生长。因此,在供氧充足情况下充分混合,是氧化沟有效运行的关键。

d. 保证沟中的活性污泥呈悬浮状态。一般保持氧化沟中固体呈悬浮状态而不致沉淀,

沟内断面平均流速应在 0.3m/s 以上,沟底流速不低于 0.1m/s。

在众多的氧化沟曝气设备中,水平轴曝气机研究最多、应用最广,它充氧能力高、结构简单、安装维修较方便。水平轴曝气机包括转刷曝气和盘式曝气机。

如何评价氧化沟水平轴曝气机,迄今尚未统一的指标体系。由于水平轴曝气机运转的可变因素较多,直径、转速、浸没深度、水池形状及试验水质的物理化学性质等都会对其性能产生影响,而且每种曝气机都有它本身的最佳运转条件,因而使性能比较问题更加复杂。在以下三个问题上常有争论:

a. 关于曝气设备性能指标的确定。这直接关系到在设计氧化沟时曝气机的选型,根据合理的性能指标正确选型是氧化沟成功运行的关键;

体积膨胀因子,比同轴比的片状颗粒的体积膨胀因子大。

d. 由于同向聚沉作用中颗粒的取向作用,削弱了形态因素的一定影响,这方面有待进一步研究。

5 参考文献

1. 汤忠红、蒋展鹏《混凝形态学——一条研究混凝过程的新路子》《中国给水排水》1987Vol. 3, No. 5
2. 涂方祥《混凝形态学的研究》清华大学硕士论文,1990

3. 蒋展鹏、傅涛等《颗粒形态与异向聚沉》《中国给水排水》1993, Vol. 4, No. 4
4. 巴宾科夫《论水的混凝》中国建筑出版社,1982
5. 王果庭《胶体稳定性》科学出版社,1990
6. 许保玖《当代给水及废水处理原理》高等教育出版社,1990
7. [美]范·奥尔芬《粘土胶体化学导论》农业出版社,1982
8. 王琪《化学动力学导论》吉林人民出版社,1982
9. Pangonis et al.《Table of light scattering function for spherical Particles》Detroit, Wayne State Univ. press, 1957
10. 清华大学《水处理实验讲义》1989