

# 双表曝机 Carrousel 氧化沟流态的 PDA 实验研究

范 茏<sup>1</sup>, 王志强<sup>1</sup>, 刘艳臣<sup>1</sup>, 陈大方<sup>2</sup>, 施汉昌<sup>1</sup>

(1. 清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084; 2. 中国矿业大学(北京校区) 化学与环境工程学院, 北京 100083)

**摘 要:**文中采用颗粒动态分析仪(PDA)对具有 2 个倒伞形表面曝气机曝气的 Carrousel 氧化沟模型进行测试,获得了氧化沟内液固两相混合液流动的特性参数;系统分析了氧化沟内的流动速度、沉降速度,以及固体颗粒体积分数在不同位置和沟段的变化情况。这些测试结果可以为氧化沟的优化设计提供依据,可供实际工程和放大参考。

**关键词:**Carrousel 氧化沟; 颗粒动态分析仪(PDA); 速度; 固体体积分数

**中图分类号:**X703.3; O351.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-5060(2007)11-1454-04

## Experimental study of the flow in a Carrousel oxidation ditch equipped with two aerators by PDA

FAN Long<sup>1</sup>, WANG Zhi-qiang<sup>1</sup>, LIU Yan-chen<sup>1</sup>, CHEN Da-fang<sup>2</sup>, SHI Han-chang<sup>1</sup>

(1. Dept. of Environmental Science & Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining & Technology(Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** The flow in an experimental Carrousel oxidation ditch with two surface aerators like an inverse umbrella was measured with the Particle Dynamic Analyser (PDA) in this paper. The distribution of the flow velocity, settling velocity and solid volume fraction was presented and analyzed in detail. The results provide a basis for optimization and design of oxidation ditches.

**Key words:** Carrousel oxidation ditch; Particle Dynamic Analyser (PDA); velocity; solid volume fraction

氧化沟在环保领域的废水处理中发挥着重要的作用,从反应器的角度看,水力学参数是氧化沟设计和优化的重要参数;水力学特性直接影响到废水处理量和处理效果<sup>[1]</sup>,但文献很少报道氧化沟的水力学参数;荷兰 DHV 公司是 Carrousel 氧化沟的鼻祖,有较成熟的计算方法指导应用,但没有公开。因此,本文着重对 Carrousel 氧化沟进行模型试验,系统测试流体力学特性,为氧化沟的进一步优化设计提供依据。

多相流的测试技术和手段较多,近年来随着激光多普勒技术的发展,出现了颗粒图像测速仪<sup>[2]</sup>(PIV)、激光多普勒测速技术<sup>[3]</sup>(LDA)、颗粒动态分析仪<sup>[4]</sup>(PDA)等设备,这使对流场的非接

触式测量成为可能。这些非干扰性方法中,PDA 技术最先进,不仅可以测得两相的速度,还可以获得颗粒体积分数分布。本文选用 PDA 设备对 Carrousel 氧化沟内流体的流动和固体体积分数分布进行小试研究。

### 1 试验模型和测量方法

#### 1.1 试验模型

参照实际污水处理厂的 Carrousel 氧化沟,按 50:1 的比例缩小,制作模型试验的氧化沟,如图 1 所示。图 1 中  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴的单位都是 mm。沟内水深 120 mm,沟宽 144 mm,直段长为 746 mm,分别在 a 和 b 位置各用 1 个表面曝气机曝气。

收稿日期:2006-11-09;修改日期:2007-03-22

基金项目:国家 863 计划资助项目(2004AA601060);清华大学实验室开放基金资助项目

作者简介:范 茏(1976-),女,山东济南人,清华大学博士后;

施汉昌(1954-),男,上海市人,清华大学教授,博士生导师。

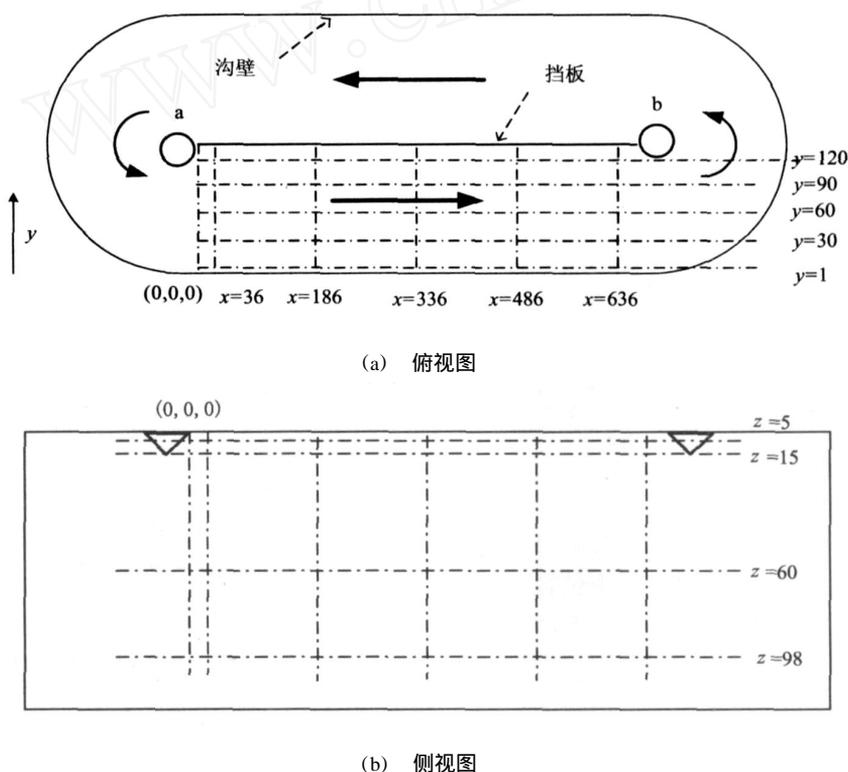
## 1.2 测量系统

采用丹麦 Dantec 公司制造的 58N50 型颗粒动态分析仪 (Particle Dynamic Analyser, PDA) 对试验模型中流体的流动进行测试。PDA 主要由氩离子激光光源、传输与接收光路系统、信号处理器、计算机、三维自动坐标架等组成<sup>[5]</sup>。PDA 的测速原理和浓度测量原理见文献[5,6]。

## 1.3 测试位置

测试断面及坐标设置如图 1 所示,氧化沟本

身以及 2 个表面曝气机,均呈对称分布。因此沟内流体的流动对称,仅测定一半即可得到整个氧化沟内流体的流动。沿流体的流动方向即  $x$  轴方向设置 5 个测试面, $x$  分别为 36 mm、186 mm、336 mm、486 mm 和 636 mm,每个断面在水平方向测定 5 个点,竖直方向测定 4 个点,水平方向在  $y$  分别为 1 mm、30 mm、60 mm、90 mm 和 120 mm 处测试,竖直方向上在  $z$  分别为 5 mm、15 mm、60 mm 和 98 mm 处测试。



$x$ . 沿流体流动方向的距离  $y$ . 由沟壁至挡板即断面水平方向上的距离  $z$ . 竖直方向上的距离

图 1 实验用氧化沟模型

## 1.4 测量方法

模型试验时,用清水替代污水,用聚苯乙烯微珠替代活性污泥,聚苯乙烯微珠密度为  $1.07 \text{ g/cm}^3$ ,直径为 200~400 目。为了跟实际氧化沟内流体的流动比较,分别按照雷诺模型、弗劳德模型的相似准则<sup>[7,8]</sup>确定氧化沟模型的流速,进而确定模型表曝机的标准转速为  $150 \text{ r/min}$ 。每个测点的测量时限一般设定为粒子总数量或设定点的测量时间,如果满足其中一个,则 PDA 在此点的测量即结束。本实验中每个测点采样 1 500 个,限时 4 min,数据分析时取  $0 \sim 30 \mu\text{m}$  的微粒作为液相,直径大于  $30 \mu\text{m}$  的微粒认为是固相。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 固液两相速度的比较

当表曝机转速范围在  $60 \sim 600 \text{ r/min}$  时,发现固液两相流动速度和沉降速度的差别都很小,而且变化趋势也一致,因此可以在下文中仅考虑液相速度<sup>[8]</sup>。

### 2.2 流动速度

在同一深度即  $z = 5 \text{ mm}$  处,流速沿着  $y$  轴和  $x$  轴的变化情况如图 2、图 3 所示。图 2 中随着  $x$  的增大,速度逐渐减小,即流体以较大的速度从表曝机 a 流出,以较小的、平推的速度流回表曝机 b ( $x = 636 \text{ mm}$ )。图 3 中随着  $y$  的增大,流体速度

也在减小,且沟壁处( $y = 1 \text{ mm}$ )的流动速度受到  $a$  的影响,起始值大,衰减也快。

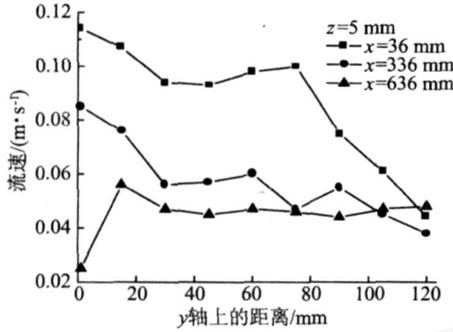


图 2 流速沿着  $y$  轴的变化

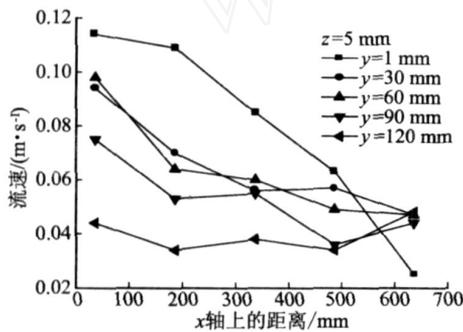


图 3 流速沿着  $x$  轴的变化

图 4 进一步反映了流速随着深度的变化。 $y$  值为  $60 \text{ mm}$  时,流体位于沟内正中位置,沿着  $x$  轴方向,速度先剧烈减小,然后稍许增加,再达到稳定。

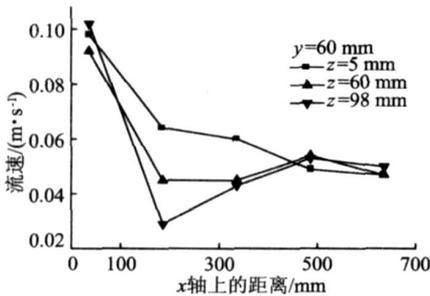


图 4 流速沿着  $x$  轴的变化

### 2.3 沉降速度

氧化沟的沟道内除了向前的流动,还会有向下的沉降运动。图 5、图 6 分别是同一深度时,沉降速度沿  $y$  轴和  $x$  轴的变化曲线。图 5 中,受表曝机  $a$  离心旋转的影响, $a$  附近向下的沉降占主导,沉降速度在  $x = 36 \text{ mm}$ ,  $y = 15 \text{ mm}$  的位置达到最大,随后沉降速度减缓,接近表曝机  $b$  时,又

受到  $b$  的影响,有轻微上扬的趋势。图 6 中,由沟壁至挡板( $y = 1 \text{ mm}$  至  $y = 120 \text{ mm}$ ),沉降速度沿着  $x$  轴变化趋于缓和。

图 7 是不同深度时,沉降速度的变化曲线。在浅水区( $z = 5 \text{ mm}$ 、 $z = 15 \text{ mm}$ ),沉降速度的变化缓和;但在深水区( $z = 98 \text{ mm}$ ),底部的流体会向上运动,呈现波浪起伏的变化趋势。

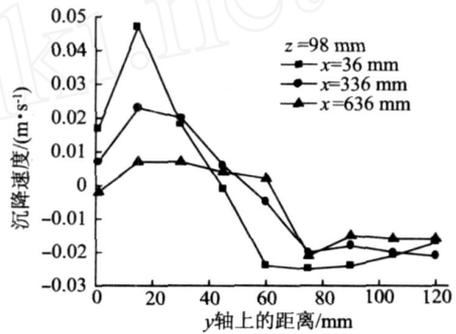


图 5 沉降速度沿着  $y$  轴的变化

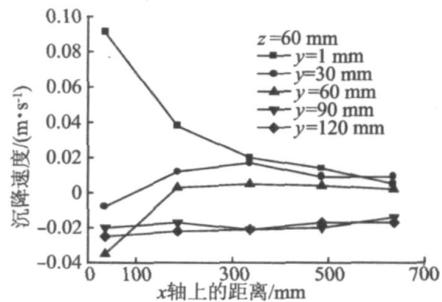


图 6 沉降速度沿着  $x$  轴的变化

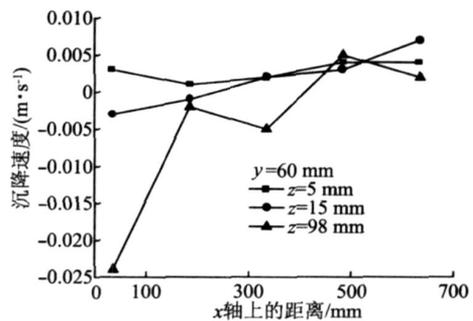


图 7 不同深度的沉降速度沿着  $x$  轴的变化

### 2.4 固体体积分数分布

对氧化沟而言,颗粒的沉降性能是十分重要的。为了获得沉降特性,模型试验对固体颗粒在氧化沟内的体积分数分布进行测试,结果表明它受到流动速度和沉降速度的综合影响。固体体积分数沿着  $y$  轴的变化,如图 8 所示。由图 8 可见,

a 和 b 2 个表曝机中间 ( $x = 336 \text{ mm}$ ) 固体体积分数较高,靠近 a 处固体体积分数最低。结合图 5 分析显示:表曝机 a 对颗粒的沉降速度有影响,对流动速度也有影响,但对流动的影响起了主导作用,因而颗粒不易停留,故体积分数最低。而颗粒在 2 个表曝机中间时,受到的力最小,此时流速已经变小并趋于稳定,因而颗粒体积分数较大。由 a 流向 b,靠近 b 时,表曝机 b 的作用增大,使颗粒具有上扬的速度,体积分数则下降。图 8 中  $x = 36 \text{ mm}$  时,颗粒物非常靠近表曝机 a,因此受 a 的影响也大,接近挡板 ( $y = 90 \sim 120 \text{ mm}$ ) 的颗粒物受到 a 高速旋转的推动而迅速聚集,其体积分数升高。固体体积分数沿着沟的深度的变化,如图 9 所示。图 9 中,随着深度的增加,颗粒体积分数会逐渐增大,这一方面是因为表曝机在液面和浅水区作用很强,颗粒不易沉降;另一方面也是重力对沉降的影响。

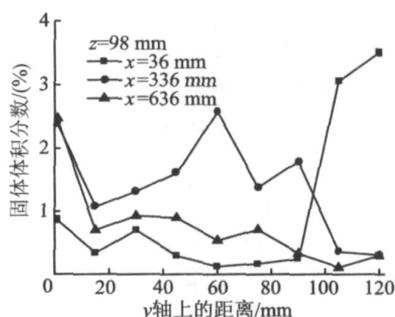


图 8 固体体积分数沿着 y 轴的变化

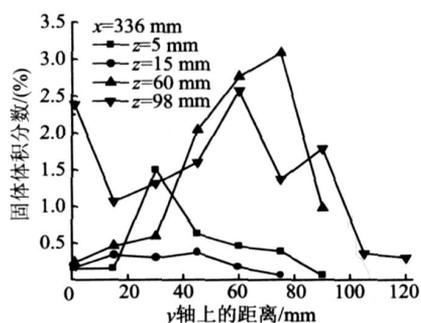


图 9 固体体积分数沿着沟的深度的变化

### 3 结 论

本文采用颗粒动态分析仪 PDA 对具有 2 个倒伞形表面曝气机的氧化沟模型进行测定,分析了沟内不同位置的流动速度、沉降速度和固体体积分数的变化,探讨了相关原因,得到以下结论:

(1) 氧化沟内固相与液相的速度差别很小,

且固液两相速度的变化趋势相同。

(2) 流体以较大的速度从表曝机 a 流出,以较小的速度流回表曝机 b。随着深度的增加,流动速度减小。沟壁处的流动速度大于挡板处,沿着 x 轴方向,速度先剧烈减小,然后稍许增加,再减小或达到稳定。

(3) 随着与表曝机 a 的距离增大,沉降速度逐渐减小,且沉降的向下运动逐渐改变为上扬趋势。由沟壁至挡板,沉降速度沿着 x 轴变化趋于缓和。随着深度的增加,沉降速度增大,但沟底和深水区的流体会向上运动,呈现起伏的变化。

(4) 2 个表曝机中间(即氧化沟直段中部)固体体积分数较高,靠近表曝机 a 处固体体积分数最低。随着深度的增加,固体颗粒体积分数会逐渐增大。

以上规律由缩小的模型在清水条件下测试而获得,很难完全反映真实氧化沟的复杂流动,采用聚苯乙烯微珠替代活性污泥也会产生误差;但模型试验为氧化沟的进一步优化设计提供了依据,其结果可供实际工程和放大参考。

### 参 考 文 献

- [1] Liu Yanchen, Fan Long, Shi Hanchang, et al. Simulation and control strategy for the variational influent of WWTP [J]. J Environ Sci, 2006, 18(1): 62 - 68.
- [2] Fan Long, Mao Zaisha, Wang Yundong. Numerical simulation of turbulent solid-liquid two-phase flow and orientation of slender particles in a stirred tank [J]. Chem Eng Sci, 2005, 60(24): 7045 - 7056.
- [3] 竺晓程,郭强,杜朝辉. 带间隙轴流转子顶部三维整体平均速度测量 [J]. 空气动力学学报, 2004, 22(2): 196 - 200.
- [4] 崔金雷,王希麟,容易. 颗粒在气固两相圆湍射流近场截面对气相的影响 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2005, 45(8): 1088 - 1090.
- [5] 朱德忠. 热物理测量技术 [M]. 北京:清华大学出版社, 1990:141 - 159.
- [6] Rashidi M, Hetsroni G, Banerjee S. Particle-turbulence interaction in a boundary layer [J]. Inter J Multiphase Flow, 1990, 16(6): 935 - 959.
- [7] 闻德荪,魏亚东,李兆年,等. 工程流体力学:水力学 [M]. 北京:高等教育出版社,1990:245 - 289.
- [8] Fan Long, Mao Zaisha, Yang Chao, et al. Numerical simulation of laminar solid-liquid two-phase flow in a stirred tank [J]. Chem Eng Comm, 2007, 194(3): 291 - 308.

(责任编辑 张淑艳)