Carrousel 氧化沟单个表曝机流态的模型试验和分析比较

范 茏[1] , 陈大方[2] , 刘艳臣[1] , 王志强[1] , 施汉昌[1 *]

1. 清华大学 环境科学与工程系 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室 ,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: 对仅安装 1 个倒伞形表面曝气机(简称表曝机)的 Carrousel 氧化沟模型进行了水力学测定 ,通过颗粒动态分析仪(PDA)系统分析流出和流入表曝机一侧的液体流动速度、沉降速度 ,以及固体含量分布. 结果表明 ,流出表曝机一侧 ,距表曝机较近的 x 轴位置流速较大 ;沉降速度沿 y 轴有个转折点 ,位于沟壁与挡板的中间 ;远离单个表曝机 ,固体含量逐渐增大. 并将单个表曝机的测量结果与氧化沟内安装 2 个表曝机的流动试验进行比较 ,发现 2 个表曝机所产生的流场与单个表曝机产生的流场差别较大 ,且 2 个表曝机所产生的流场更稳定.

关键词: Carrousel 氧化沟; 颗粒动态分析仪(PDA); 单个表曝机; 速度; 固体含量

中图分类号: X52 ,O359 **文献标识码**: A **文章编号**: 1001 - 6929(2007)04 - 0097 - 05

Model Test and Comparative Analysis of Flow in a Carrousel Oxidation Ditch with One Aerator

FAN Long[1] , CHEN Da-fang[2] , LIU Yan-chen[1] , WANG Zhi-qiang[1] , SHI Han-chang[1]

1. State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control , Department of Environmental Science and Engineering , Tsinghua University , Beijing 100084 , China
2. Department of Chemistry and Environmental Engineering , China University of Mining & Technology (Beijing) , Beijing 100083 , China

Abstract: The flow dynamic characteristic in a Carrousel oxidation ditch with one surface aerator like inverse umbrella was measured with Particle Dynamic Analyser (PDA). The distributions of flow velocity , settling velocity and solid concentration on both sides of the aerator (flowing out of the aerator and flowing toward the aerator) were presented. The velocity near the agitating vane is larger on the side of flowing out of the aerator. For settling velocity , there is a turning point along the y axis. The solid concentration increases with the increase of the distance to the aerator. By comparison , it is found that the flow in oxidation ditches with one aerator differs greatly from that with two aerators. The flow in the oxidation ditch with two aerators is more stable.

Key words: Carrousel oxidation ditch; Particle Dynamic Analyser (PDA); single surface aerator; velocity; solid concentration

氧化沟在环保领域的废水处理中发挥着重要的作用. Carrousel 氧化沟使用立式倒伞型表面曝气机(简称表曝机) ,利用叶轮的高速旋转 ,推动污水上下翻腾并前进 ,同时空气中的氧气迅速溶入液相 ,可以完成对污水充氧、搅拌和推流三大作用[1]. 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 ,它的设计方法是该国的商业秘密. 为了获得自主知识产权的氧化沟设计和放大技术 ,笔者对表曝机内部的水力学特性进行较系统的研究. 表曝机在沟内的位置有 2 类[2] : ①氧化沟的廊道两端均安装表曝机; ②是仅在一端安装表曝机. 笔者重点分析廊道一端安装表曝机的流动 ,并与两端安装表曝机进行比较.

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(PIV)、激光多普勒测速技术(LDA)、颗粒动态分析仪(PDA)等设备[3] ,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 技术较先进 ,不仅可以测得两相的速度 ,同时可以获得颗粒浓度分布. 选用 PDA 设备对 Carrousel 氧化沟内流动和固体含量分布进行研究.

收稿日期: 2006 - 11 - 09 **修订日期**: 2007 - 02 - 05

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2004AA601060) ;清华大学实验室开放基金

作者简介: 范 茏 (1976 -) , 女 , 山 东 济 南 人 , 博 士 后 , fanlong @tsinghua. edu. cn.

* 责任作者 ,hanchang @tsinghua. edu. cn

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 试验模型和测量方法

1.1 试验模型

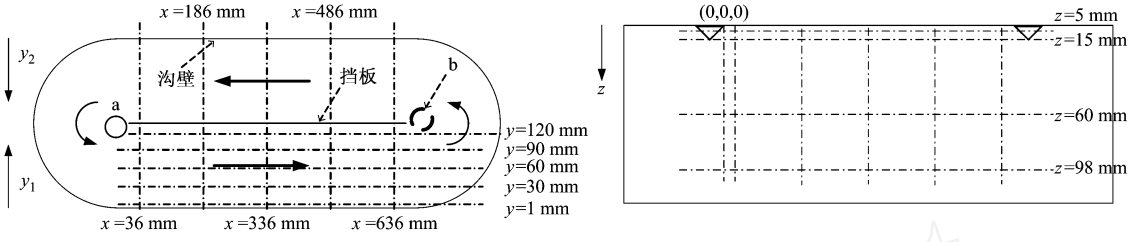
参照实际污水处理厂的 Carrousel 氧化沟,按 50∶1的比例缩小,制作氧化沟的试验模型,如图 1 所示. 沟内水深 120 mm,廊道沟宽 144 mm,直段长为 746 mm,只在 a 位置,用单个表曝机曝气.

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)对试验模型中的流动进行测试. PDA 主要由氩离子激光光源、传输、接收光路系统、信号处理器、计算机、三维自动坐标架等组成[4]. PDA 的测速原理和浓度测量原理见文献[4-5].

1.3 测试位置

测试断面及坐标设置见图 1,沿水流方向设置 5 个测试面,x 分别为 36,186,336,486 和 636 mm. y 轴以两侧的沟壁为零点,越靠近挡板,y 值越大,如图 1(a)所示,y_1 和 y_2 分别在 1,30,60,90 和 120 mm 处测试. 竖直方向在 z 为 5,15,60 和 98 mm 处测试(见图 1(b)).



(a) 俯视图 (b) 侧视图

图 1 氧化沟试验模型

Fig. 1 Schematic of experimental oxidation ditch (planform and sideview)

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 g/cm^3,直径为 200～400 目(孔径 38.5～74.0 μm). 为了跟实际氧化沟内的流动比较,分别按照雷诺模型、弗劳德模型的相似准则[6]来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 r/min. 每个测点的测量时限设定为测量到的粒子总数量或设定点的测量时间,如果满足其中一个,则 PDA 在该点的测量即结束. 每个测点采样1 500个,限时 4 min,数据分析时取 0～30 μm 的微粒作为液相,直径大于 30 μm 的微粒作为固相.

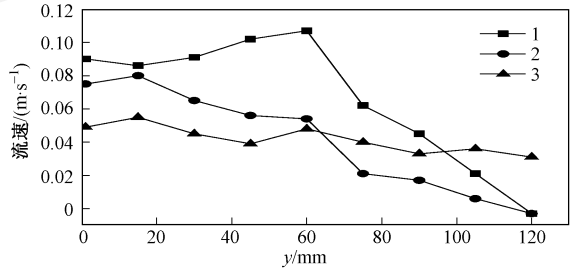
另外,试验发现固液两相流动速度和沉降速度的差别都很小,而且变化趋势也一致,因此仅考虑液相速度.

2 结果与讨论

2.1 流动速度

2.1.1 流出表曝机一侧

图 2 为 x 轴 3 个不同位置流动速度(简称流速)的变化. 沟壁处,靠近表曝机 a 的流速较大,随着 y 值的增大(即由沟壁到挡板)流速逐渐减小,其中距表曝机较近的位置流速变化剧烈,远离表曝机的位置,流速变化平缓.



x/mm:1 —36;2 —336;3 —636

图 2 z = 5 mm 处流速沿 y 轴的变化

Fig. 2 Variation of flow velocity along y axis at z = 5 mm

图 3 为 y = 30 mm 处沟壁和挡板之间流速沿 x 轴的变化. 液面处(z = 5 mm)随着与表曝机 a 距离增大,流速降低,深水区(z = 98 mm)则随着 x 值的增大流速略有增大,并达到稳定.

2.1.2 流入表曝机一侧

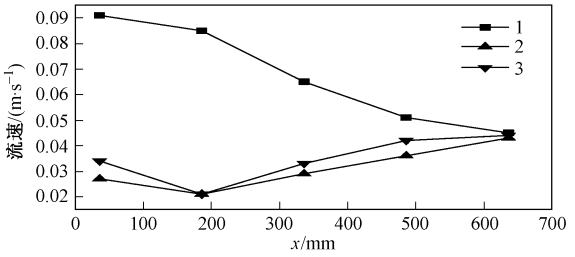
与流出表曝机一侧相反,流入表曝机一侧沟壁处,距表曝机 a 较近的位置流速较小,远离表曝机 a 的位置,流速逐渐增大(见图 4). 靠近挡板(y = 120 和 90 mm)的流速变化小,流速略有降低.

由图 5 可见,随着 x 值的增加,液面处(z = 5 mm)的流速先减小后增大,而深水区(z = 98 mm)的流速则略有增大.

2.1.3 与 2 个表曝机的比较

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

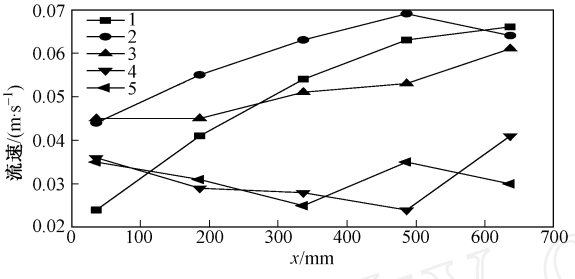
2 个表曝机即在图 1 中 a 和 b 位置各有 1 个表曝机,是 Carrousel 氧化沟的另一种重要的操作形式.



z/mm:1 —5;2 —60;3 —98

图 3　y = 30 mm 处沟壁和挡板之间流速沿 x 轴的变化

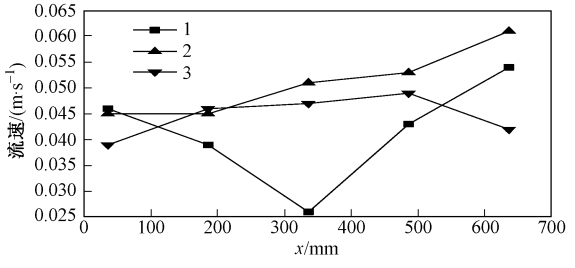
Fig. 3　Variation of flow velocity along x axis between the wall and the baffle at y = 30 mm



y/mm:1 —1;2 —30;3 —60;4 —90;5 —120

图 4　z = 60 mm 处流速沿 x 轴的变化

Fig. 4　Variation of flow velocity along x axis at z = 60 mm



z/mm:1 —5;2 —60;3 —98

图 5　y = 60 mm 沟壁和挡板之间流速的变化

Fig. 5　Variation of flow velocity along x axis between the wall and the baffle at y = 60 mm

将氧化沟内有 2 个表曝机时的流速与单个表曝机进行比较,图 6 为表曝机 a 附近流速的变化. 在液面浅水区(z = 15 mm),靠近沟壁处 2 个表曝机的流速大于单个表曝机;靠近挡板处 2 个表曝机的流速反向增大,也大于单个表曝机的流速;这说明 2 个表曝机时,在流出表曝机一侧,会形成漩涡. 在氧化沟深水区(z = 98 mm)2 个表曝机的流速始终大于单个表曝机.

2.2　沉降速度

2.2.1　流出表曝机一侧

由图 7 可见,流出表曝机一侧,沉降速度沿 y 轴有个转折点,位于沟壁与挡板的中间(y = 60 mm). y 值较小时,距表曝机 a 较近的位置,沉降速度较大;y 值较大时,距表曝机越远,沉降速度的绝对值也越大.

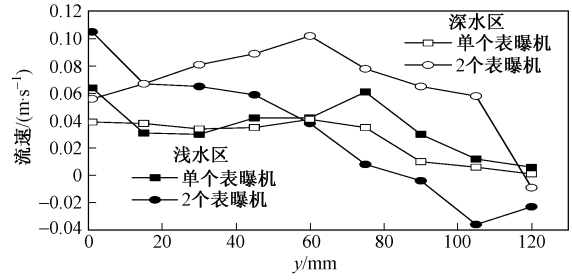
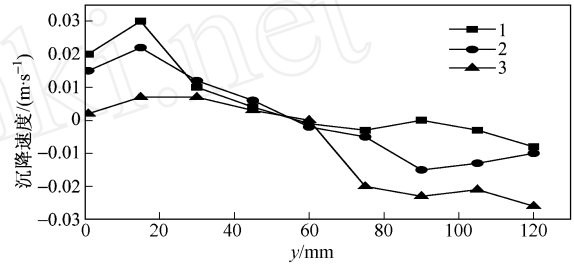


图 6　2 个表曝机和单个表曝机在浅水区(或深水区)的流速

Fig. 6　Comparison of flow velocity near the surface (or bottom)



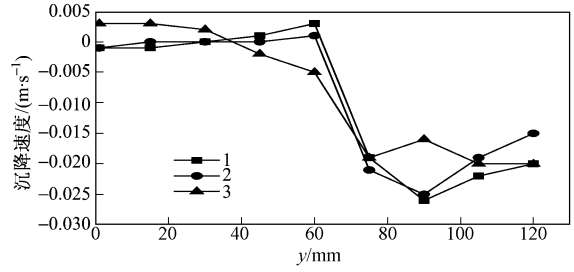
x/mm:1 —36;2 —336;3 —636

图 7　深水区沉降速度沿 y 轴的变化

Fig. 7　Variation of settling velocity along y axis

2.2.2　流入表曝机一侧

图 8 显示,表曝机 a 附近的沉降速度较小;由沟壁到挡板,速度的方向发生逆转,即挡板附近沉降变漂浮,且挡板处的沉降速度绝对值大于沟壁处.



x/mm:1 —36;2 —336;3 —636

图 8　深水区沉降速度沿 y 轴的变化

Fig. 8　Variation of settling velocity along y axis

2.2.3　与 2 个表曝机的比较

由图 9 可见,沿着 x 方向 2 个表曝机的沉降速

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

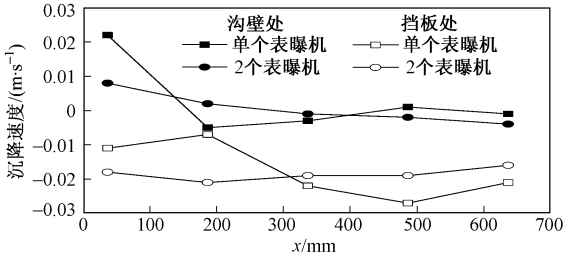


图 9 2 个表曝机和单个表曝机在沟壁(或挡板)处的沉降速度

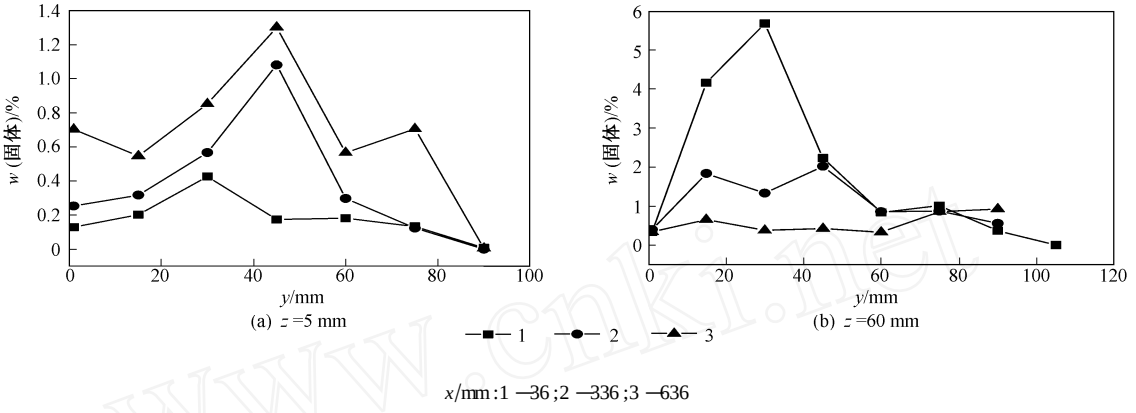
Fig. 9 Comparison of settling velocity near the wall (or the baffle)

度相对于单个表曝机的变化较缓和. 沟壁处 (y = 1 mm),随着 x 值增大,沉降速度差别减小. 而在挡板处(y = 120 mm),单个表曝机的沉降速度绝对值先是小于 2 个表曝机,而后又逐渐大于 2 个表曝机.

2.3 固体含量

2.3.1 流出表曝机一侧

固体颗粒在氧化沟内的分布是一个很重要的参数. 由图 10 可见,液面处远离表曝机 a 的方向,固体含量(以 w(固体)表示)逐渐增大. 而在沟底部,随着与表曝机 a 的距离增大,固体含量反而会降低. 另外由图 10 可见,沟壁与挡板之间(y = 20～60 mm)固体含量始终较大.



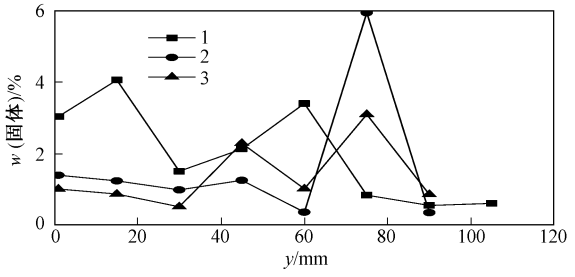
x/mm:1 —36;2 —336;3 —636

图 10 固体含量沿 x 轴的变化

Fig. 10 Variation of solid concentration along x axis at the surface

2.3.2 流入表曝机一侧

流入表曝机一侧,固体含量的分布如图 11 所示. 由图 11 可见,随着与表曝机 a 的距离增大,固体含量逐渐降低;沿 y 轴,即从沟壁到挡板,固体含量的变化趋势不明显,但有起伏.



x/mm:1 —36;2 —336;3 —636

图 11 深水区固体含量沿 y 轴的变化

Fig. 11 Variation of solid concentration along y axis at the bottom

2.3.3 与 2 个表曝机的比较

比较了沟壁和挡板附近单个表曝机和 2 个表曝机的固体含量(见图 12). 由图 12 可见,在沟壁附近,不论几个表曝机,固体含量均比较小,2 个表曝机与单个表曝机的固体含量差别也不大,但随着 x 值的增大,固体含量逐渐增大,固体含量差别也增大,2 个表曝机的固体含量大于单个表曝机. 而在挡板附近,2 个表曝机的固体含量则始终远大于单个表曝机.

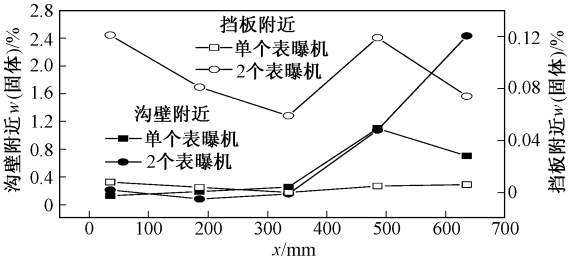


图 12 沟壁和挡板附近单个表曝机和 2 个表曝机的固体含量

Fig. 12 Comparison of solid concentration near the wall (or the baffle)

3 结论

a. 流出表曝机一侧,距表曝机较近的位置流速较大,变化剧烈;由沟壁向挡板靠近,流速逐渐减小.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

沟壁处,深度增加流速会减小,在液面处,流速随着 x 值增大急剧降低,深度增加后,流速先增大后稳定.而流入表曝机一侧,规律与流出表曝机一侧刚好相反.比较发现,2 个表曝机时,在流出表曝机一侧,会形成漩涡.氧化沟底部和深水区,2 个表曝机的流速始终大于单个表曝机.

b. 流出表曝机一侧,沉降速度沿 y 轴有个转折点,位于沟壁与挡板的中间.流入表曝机一侧,由沟壁到挡板,沉降速度会发生逆转.沿着 x 轴方向,2 个表曝机的沉降速度相对于单个表曝机的变化较缓和.

c. 流出表曝机一侧,远离表曝机处固体含量逐渐增大.沟底部,其含量反而有所降低.沟壁与挡板之间,固体含量始终较大.流入表曝机一侧,远离表曝机处固体含量逐渐降低,但从沟壁到挡板,固体含量的变化趋势不明显.比较发现,随着 x 值的增大,2 个表曝机的固体含量逐渐大于单个表曝机.在沟壁与挡板中间,2 个表曝机的固体含量远大于单个表曝机.

参考文献:

[1] 曹瑞钰,陈秀成,张焕文. 大功率倒伞型曝气机性能检测和研究[J]. 给水排水, 2002, 28(10): 67-71.

[2] 刘家富,吕斌,曹红涛,等.卡鲁塞尔 2000 氧化沟的调试及运行[J]. 中国给水排水,2004, 20(11):101-103.

[3] 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]. Chemical Engineering Sciences, 2005, 60(24): 7045-7056.

[4] 朱德忠.热物理测量技术[M]. 北京:清华大学出版社,1990.

[5] Rashidi M, Hetsroni G, Banerjee S. Particle-turbulence interaction in a boundary layer [J]. International Journal of Multiphase Flow, 1990, 16(6): 935-959.

[6] 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.

(编辑:孔　欣)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net