

气升式氧化沟流动特性的中试研究

庞洪涛¹,施汉昌^{1*},施慧明¹,杨超²,殷益明² (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.江苏一环集团有限公司,江苏 无锡 214261)

摘要: 在清水实验中研究了中试气升式氧化沟单侧廊道流速分布及进气量对升流区和直段流速的影响.中试装置容积 54m³,当进气量按 42,79,170m³/h 增大时,升流区水平方向流速略有增加,沿水深方向流速增幅较大;直段流速随气量的增加变化不大;进气量大于 79m³/h 后直段流速几乎没有变化,底部平均流速约为 0.25m/s.通过测试不同进气量下的污泥浓度确定了保证流动的最小流速.进气量为 20m³/h 时,沟内最大流速仅有 0.07m/s,此时仍未出现污泥沉降.结合后续的污水处理效果研究,实际工程中可将沟底流速大于 0.15m/s 作为防止污泥沉降的流速要求.

关键词: 气升式氧化沟; 流动特性; 中试; 污泥沉降

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2008)12-1057-05

Flow characteristic of a pilot scale airlift oxidation ditch. PANG Hong-tao¹, SHI Han-chang^{1*}, SHI Hui-ming¹, YANG Chao², YIN Yi-ming² (1.State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2.Jiangsu Yihuan Group Corporation, Wuxi 214261, China). *China Environmental Science*, 2008,28(12): 1057~1061

Abstract: The influence of air flow rate on liquid velocity and velocity distribution of a pilot scale airlift oxidation ditch were studied with clean water. The capacity of the pilot scale airlift oxidation ditch was 54m³. As the air flow rate varied from 42 to 170m³/h, the horizontal velocity had a small increase and the axial velocity grew up largely. Liquid velocity had a relatively small change in the straight part with the increase of air flow rate. The average velocity in the bottom was about 0.25m/s when the air flow rate was over 79m³/h. In order to investigate the minimum velocity for preventing the settlement of activated sludge, the sludge concentrations under different air flow rate were measured. When air flow rate was 20m³/h, a minimum velocity of 0.07m/s was sufficient to prevent sludge sedimentation in the ditch. According to the result of wastewater treatment, horizontal velocity higher than 0.15m/s in the bottom was suggested as the design criterion for a large scale airlift oxidation ditch.

Key words: airlift oxidation ditch; flow characteristics; pilot scale; sludge sedimentation

气升式氧化沟是一种新型污水处理反应器,它针对传统氧化沟能耗较高、占地面积大的不足,将气升原理引入氧化沟,通过水下微孔曝气和折流板结合替代传统氧化沟中的机械表面曝气设备,作为充氧和动力系统^[1].与传统氧化沟相比,气升式氧化沟利用水下微孔曝气提高了传质效率,可使沟深达到 6~8m,沟内流动混合良好,并能有效防止沟底污泥沉降.

氧化沟的水力学特性与沟内的混合效果及溶解氧分布密切相关,进而影响到废水处理效果和能耗.研究者们对多种类型氧化沟的水力学特性进行了研究^[2-6],以改善氧化沟流态,

提高处理效率,降低能耗.气升式氧化沟水力学特性与采用表面机械曝气的传统氧化沟明显不同,对其流动特性的研究尤为重要.本研究在气升式氧化沟流动特性实验室研究的基础上^[7],设计了气升式氧化沟中试装置.在清水实验中测试了单侧廊道流速分布及进气量对升流区和直段流速的影响,通过含污泥的实验确定了保证流动的最小流速,为中试装置的污水处理效果研究奠定基础.

收稿日期: 2008-05-26

基金项目: 国家“863”项目(2004AA601061)

* 责任作者, 教授, hanchang@mail.tsinghua.edu.cn

1 研究方法

气升式氧化沟中试装置为全钢结构,如图 1 所示.单侧廊道长 7.5m,宽 1m,弯段直径 2m,沟内有效水深 3.0m,容积 54m³.中试装置共有 4 组升流区和降流区,每组升流区和降流区由 3 块钢制折流板构成,升流区底部均安装橡胶微孔曝气管,

曝气区面积占整沟面积的 16.5%.流速测试以单侧廊道和右侧弯段为研究对象,使用 LYG-III 型多功能智能流速仪(南京水利科学研究院制)测试氧化沟内不同区域和高度的 x,y,z 方向流速,沿水深方向为 z 方向.首先采用清水测速研究了氧化沟流态及进气量对流速的影响,然后通过含污泥的流速测试确定防止污泥沉降的最小流速.

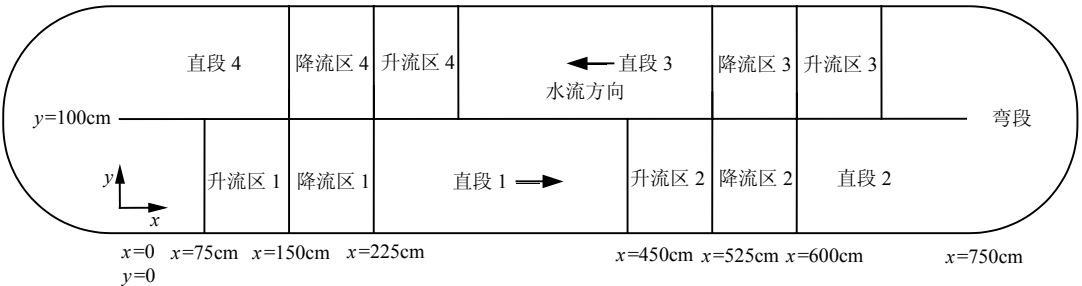


图 1 气升式氧化沟中试装置示意
Fig.1 Schematic diagram of pilot scale airlift oxidation ditch

2 结果与讨论

2.1 单侧廊道流态特征

经过折流板从降流区进入直段,直段底部水流流速大于上部,由此带动上部形成旋湍.水流从直段进入下一个升流区,在沟内形成循环流动.因此,气升式氧化沟沟内流动混合良好的关键在于保证直段和弯段的底部流速较大,可以带动上部水流流动.

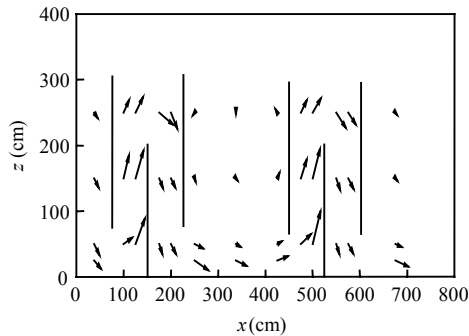


图 2 单侧廊道流速矢量图
Fig.2 Vector diagram of liquid velocity in single channel

实验表明,气升式氧化沟沿 y 方向流速分布均匀,因此仅对单侧廊道 $y=50\text{cm}$ 的断面进行研究.实验在该断面的升流区、降流区和直段设置测试点,分别在每个测试点 z 为 25,50,150,250cm 处测试 x,z 方向流速.图 2 是进气量为 170m³/h 时单侧廊道的速度矢量图,图 2 中长实线为挡板的位置和高度,箭头为速度的大小和方向.由图 2 可见,沟内水流在升流区被空气提升,流速逐渐增大,

2.2 直段和弯段流速

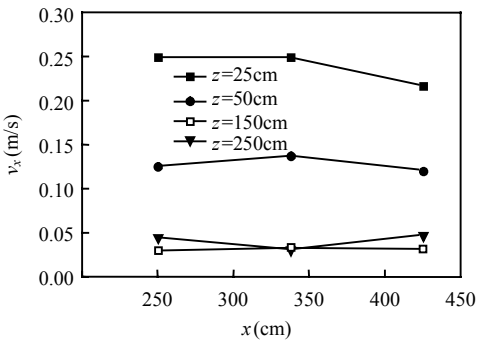


图 3 直段流速分布
Fig.3 Velocity distribution in the straight part

图 3 为直段 1 内水平方向流速 v_x 沿水深方向的变化,测试点横坐标分别为 250,375,425cm.由图 3 可见,在氧化沟直段水平流速随着水深的

增加迅速减小,在 $z=25\text{cm}$ 处流速最大,平均流速 0.24m/s ,当水深为 50cm 时平均流速已降至 0.13m/s ,而在其中上部的 z 为 150 和 250cm 处平均流速已分别降为 0.03m/s 和 0.04m/s .

气升式氧化沟直段沿水深方向速度差异明显,并与表面机械曝气氧化沟上部流速大,沟底流速小的情况完全相反,因此可以有效克服沟底污泥沉积问题.

图 4 为右侧弯段在 $z=25\text{cm}$ 处的流速分布,3 个测试点均在 $x=800\text{cm}$ 断面上,实验测试了各点在 x,y,z 3 个方向的流速大小.由图 4 可见,水流刚由直段 2 进入弯段时,在 x 方向仍保持了较高流速,在弯段中心处 x,y,z 方向的流速均变化不大,当流至另一侧 $y=150\text{cm}$ 处时,各方向流速均小于 0.05m/s ,说明此处流动稍差,实际工程中可在弯段增加导流墙以改善流速.

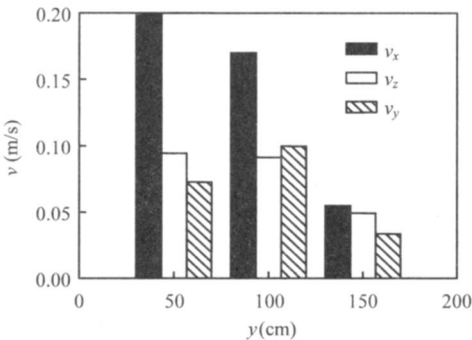


图 4 弯段流速分布
Fig.4 Velocity distribution in the curve part

2.3 进气量对流速的影响

对气升式氧化沟而言,进气量是改变沟内流速的首要因素,实验测试了进气量 Q 分别为 $42,79,170\text{m}^3/\text{h}$ 时单侧廊道的速度变化.通过比较不同进气量下的速度矢量图,发现流速分布规律相同,说明进气量对氧化沟的整体流态并无影响.进气量对流速大小的影响在不同区域呈现出不同规律,图 5 和图 6 分别为进气量对升流区和直段流速的影响.

进气量对升流区流速的影响最为明显,实验在升流区 $z=150\text{cm}$ 处,取 x 为 100cm 和 125cm 2 点(R_1 和 R_2)测试了 x 和 z 方向流速,如图 5 所示.

随着进气量的增加,在 R_1 处, x 方向流速 v_x 几乎没有变化, z 方向流速 v_z 在进气量达到 $170\text{m}^3/\text{h}$ 时才明显增加;在 R_2 处,随着进气量的变化 v_x 略有增加, v_z 则增幅较大.这是因为水流在进入升流区时已具有较大的水平方向流速,而升流区空气向上的推动力会使 v_z 增大,二者共同作用使升流区后端流速大于前端,流速随进气量的变化也更为明显.

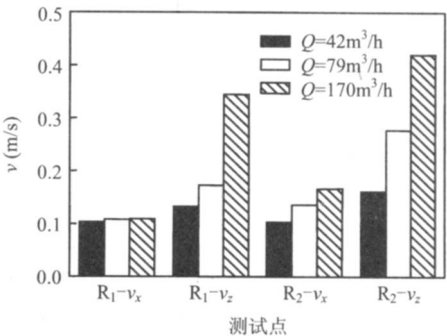


图 5 进气量对升流区流速的影响
Fig.5 Influence of air flow rate on velocity in the riser

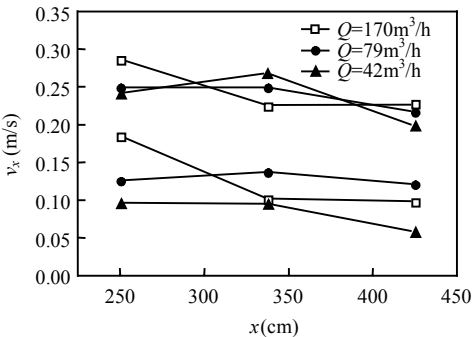


图 6 进气量对直段流速的影响
Fig.6 Influence of air flow rate on velocity in the straight part

$v_x>0.2\text{m/s}$ 的数据点为 $z=25\text{cm}$ 处流速, $v_x<0.2\text{m/s}$ 为 $z=50\text{cm}$ 处流速

由图 6 可见,不同进气量下 v_x 在直段的变化规律略有不同, $Q=170\text{m}^3/\text{h}$ 时 v_x 在直段前端最大,而 $Q=42,79\text{m}^3/\text{h}$ 时 v_x 均在直段中心达到最大值,其原因在于进气量增大使水流在直段前端向下的 v_z 较大,削弱了 v_x 的增加,而进气量相对较小时 v_z 减小,此时水平方向分速度 v_x 起主导作用.

随进气量的增加,直段水平方向的平均流速

差别不大.当 Q 为 $42,79,170\text{m}^3/\text{h}$ 时, v_x 在 $z=25\text{cm}$ 处的平均值分别为 $0.24,0.24,0.25\text{m/s}$,在 $z=50\text{cm}$ 处平均值分别为 $0.08,0.13,0.13\text{m/s}$.由此可见,在升流区进气量增加所带来的速度提升并未完全转化到直段,因此气升式氧化沟的进气量应控制在合理的范围内,使其既能确保沟内流动混合充分,又可将能量消耗降至最低.

2.4 防止污泥沉降的最低流速

氧化沟工艺在实际运行中因局部流速过低造成污泥淤积,使得处理效果较差或能耗较高的情况时有发生.本研究在清水实验尚无法得出保证沟内污泥不沉降的最小流速,因而在中试装置的污泥培养阶段进行了含污泥的流速测试,结合直段流速和沟内污泥浓度分布确定最低流速.

实验测试了进气量分别为 $20,30,40\text{m}^3/\text{h}$ 时直段3的水平方向流速 v_x ,并从直段3外侧取样口取样测试污泥浓度,取样高度为 $30,80,130,180,230,280\text{cm}$.实验过程中污泥沉降性能良好,SVI平均值为 79mL/g ,不同进气量下的流速测试在一周内完成,因此污泥浓度略有差别.图7,图8分别为不同进气量下直段流速分布及直段污泥浓度随水深的变化.

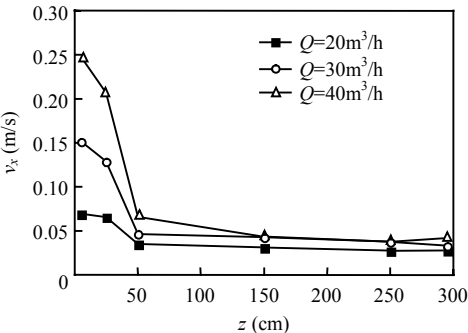


图7 不同进气量下直段平均流速分布

Fig.7 Distribution of average velocity under different air flow rate in the straight part

为防止污泥沉降,传统氧化沟对最小流速的要求通常是 $0.25\sim 0.35\text{m/s}$ ^[8-9],而气升式氧化沟的最大流速出现在沟底,因此只要其沟底流速能大于传统氧化沟要求的最小流速即可.如图7,图8所示,进气量为 $40\text{m}^3/\text{h}$ 时,沟底($z=5\text{cm}$) v_x 为 0.25m/s ,

已满足传统氧化沟对最小流速的要求,此时沟内污泥混合均匀,底部没有出现污泥沉积.文献中也曾报道氧化沟流速大于 0.1m/s 即可防止污泥沉降^[10].实验中进气量为 $30\text{m}^3/\text{h}$ 时, v_x 最大值为 0.15m/s ,沟内未出现沉降现象.进气量为 $20\text{m}^3/\text{h}$ 时, v_x 最大值仅有 0.07m/s ,而此时仍未出现污泥沉降,这在以往的研究中并未发现.

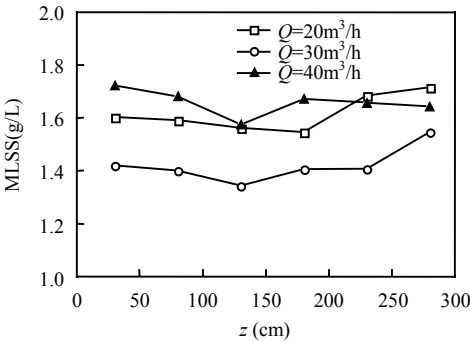


图8 直段污泥浓度随水深的变化

Fig.8 Sludge concentration in the straight part

不同进气量下,水深大于 50cm 后 v_x 均明显减小,最低流速仅有 0.03m/s ,在如此小的流速下,沟内污泥分布均匀.实验中也发现氧化沟表面流动混合良好,未出现泥水分离.这说明气升式氧化沟因底部流速大对最小流速的要求可远小于传统氧化沟,并应将沟底流速作为衡量能否防止污泥沉降的标准.在后续的污水处理效果研究中,为保证溶解氧浓度,氧化沟最小进气量为 $30\text{m}^3/\text{h}$,此时未出现污泥沉降,且处理效果良好,因此可将沟底流速大于 0.15m/s 作为实际工程的设计标准,在保证污泥不沉降的前提下尽量减少满足流动的能量消耗.

3 结论

3.1 气升式氧化沟中试装置结合水下微孔橡胶管和折流板作为动力系统,实现沟内的循环流动.在氧化沟直段和弯段具有底部流速大、上部流速小的特点,可有效防止沟底污泥沉降.

3.2 中试气升式氧化沟容积 54m^3 ,在进气量分别为 $42,79,170\text{m}^3/\text{h}$ 时,随着进气量的增大,升流区 v_x 略有增加, v_z 增幅较大;直段底部流速随气

量的增加变化不大,进气量大于 $79\text{m}^3/\text{h}$ 后,流速几乎没有变化.

3.3 进气量为 $20,30,40\text{m}^3/\text{h}$ 时,沟底 v_x 最大值分别为 $0.07,0.15,0.25\text{m/s}$,此时沟内污泥混合良好,均未出现污泥沉降.实际工程中可将沟底流速大于 0.15m/s 作为流速的设计要求.

参考文献:

- [1] 施汉昌,殷益明.气升式深水型氧化沟 [P]. 中国: 200510008928.5, 2005-11-09.
- [2] 曹瑞钰,付见中.改善氧化沟流速分布的措施 [J]. 中国给水排水, 2001,17(2):16-18.
- [3] 刘广立,种云霄,樊青娟,等.氧化沟水力特性对处理效果和能耗的影响 [J]. 环境科学, 2006,27(11):2323-2326.
- [4] 范 茏,王志强,王颖哲,等.污水厂 Carrousel 氧化沟溶解氧和速度分布的研究 [J]. 环境工程学报, 2007,1(1):19-22.
- [5] 刘艳臣,范 茏,王志强,等.Carrousel 氧化沟内特性参数的分布 [J]. 中国环境科学, 2007,27(6):792-796.
- [6] Gillot S, Héduit A. Effect of air flow rate on oxygen transfer in an oxidation ditch equipped with fine bubble diffusers and slow speed mixers [J]. Water Research, 2000,34(5):1756-1762.
- [7] 庞洪涛,施汉昌,施慧明.新型气升式氧化沟流体力学特性的数值模拟 [J]. 中国环境科学, 2008,28(5):107-110.
- [8] U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water. Wastewater technology fact sheet: oxidation ditches [R]. Washington, D C: EPA 832-F-00-013,2000.
- [9] 邓荣森.氧化沟污水处理理论与技术 [M]. 北京:化学工业出版社, 2006:1-8.
- [10] Nakasone H, Ozaki M. Oxidation-ditch process using falling water as aerator [J]. Environmental Engineering, 1995,121(2): 132-139.

作者简介: 庞洪涛(1980-),男,辽宁大连人,清华大学环境科学与工程系博士研究生,主要从事水污染控制技术的研究.发表论文 1 篇.

第五届国际水协膜技术大会变更提交论文摘要时间的通知

应众多专家学者要求,“第五届国际水协膜技术大会暨膜技术与设备展览会”组织委员会讨论决定,提交论文摘要的截止日期由原来的 2008 年 12 月 31 日延至 2009 年 1 月 15 日.

热忱希望您充分利用此次机会踊跃投稿!官方网站已开通在线投稿系统,具体要求请见大会官方网站 (<http://www.IWA-MTC2009.org>).

会议咨询:

联系人: 张硕洁 张凯琴

联系电话: 010-62796518; 010-62780050

传 真: 010-62771472; 010-62795275

E-mail: iwamtc2009@tsinghua.edu.cn; iwamtc2009@gmail.com

展览咨询:

联系人: 王海燕 王紫薇

联系电话: 86-10-85323281 传真: 86-10-85323272

E-mail: info@sino-expo.net