

分体式射流曝气器的试验研究

高激飞^{1,2}, 顾国维¹, 赵子龙¹, 李咏梅¹, 张亚雷^{1*}, 孙培德²

(1. 同济大学环境科学与工程学院污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092; 2. 浙江工商大学环境工程系, 杭州 310035)

摘要: 设计研制了一种新型的射流曝气器(也称分体式射流曝气器), 提出了分体式设计的概念, 它主要应用于小型和高浓度工业废水的实际处理工程中. 在较宽的试验范围内着重研究了 3 个参数(长径比 R_1 、喉嘴比 R_2 和吸嘴比 R_3) 对吸气量的影响. 结果表明: 在较宽的喉嘴比范围内, 吸气量存在波动, 最佳喉嘴比出现的位置与混合管的长度有关; 吸嘴比对吸气性能影响不大; 长径比对吸气性能影响较大, 最佳长径比可以在过渡区中寻找; 试验结果同时也证实应用 CFD 数值仿真进行射流器的设计是可行的, 本射流器的吸气量(900~1100 L/min) 和搅动范围均较大.

关键词: 分体式射流曝气器; 射流曝气器; 布水器; 吸气量

中图分类号: X703.1; X505 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)06-1094-04

Experimental Research on Separate Structure Jet Aerator

GAO Ji-fei^{1,2}, GU Guo-wei¹, ZHAO Zi-long¹, LI Yong-mei¹, ZHANG Ya-lei¹, SUN Pei-de²

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Department of Environmental Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310035, China)

Abstract: A new type of jet aerator (separate structure jet aerator) was designed and developed, and an idea of separate design was put forth. This type of jet aerator was mainly applied to the treatment of small-scale wastewater and industrial wastewater of high density treatment projects. The experimental set-up was built to investigate the influences of the structural parameters (R_1 , R_2 and R_3) on the gas suction flowrate. The experimental results are listed as follows: the gas suction flowrate fluctuates with the changes of R_2 , and the optimal R_2 is relevant to the length of the mixing tube; R_3 does not contribute a lot to the suction performance, but choosing a suitable R_3 can help to make further use of the gas suction potential of the jet aerator while keeping the other parameters unchanged; R_1 has a great impact on the suction performance, and the optimal R_1 can be found out in the transitional region. The experiments also prove that it is feasible to apply CFD to designing jet aerator, since its gas suction flowrate is high (reaching 900~1100 L/min) and it shows prominent performance in agitating liquid.

Key words: separate structure jet aerator; jet aerator; water sparger; gas suction flowrate

在进行射流曝气 CFD(PNOENICS3.5.1) 数值模拟时发现: 在反应器内部, 曝气器斜向喷射比直向喷射搅动范围更大, 能量利用更为合理^[1,2], 故设计了一个布水器, 可以使得气水混合物斜向均匀出流, 减少反应器内部死区, 并进一步剪切气泡, 提高氧利用率. 所谓分体式射流曝气器, 主要是指射流器后部加装一个布水器, 形式上可以分离, 检修时方便拆分, 这不同于传统的结构形式. 因此布水器和射流器关键参数优化设计是十分重要的一步.

本曝气装置的设计主要以 CFD 数值模拟结果为依据, 通过建立数学模型, 计算多种结构参数下的吸入性能, 分析了反应器内部的流动特性, 来寻找吸气性能较好的参数^[1,2]. 基于这些参数, 加工了分体式射流曝气器及其试验装置, 并对射流曝气器系统试验结果进行了分析.

1 试验方案

射流曝气器结构见图 1. 主要是通过快速射流将气体吸入, 在混合管内剪切气体并通过布水器将气液混合物导入水处理反应器中. 旨在提高射流曝气器的吸气量, 改善反应器内部的流态, 使得气水混合均匀, 增加射流曝气的搅动范围, 尽可能消除曝气死区. 以此来提升曝气器的动力效率, 减少废水处理的电耗, 以降低处理费用.

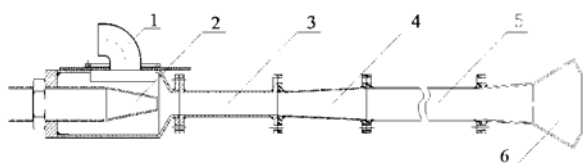
1.1 试验装置的特点

收稿日期: 2005-04-25; 修订日期: 2005-06-27

基金项目: 国家“十五”科技攻关计划重大项目(2003BA808A17); 国家高技术研究发展计划(863)项目(2004AA649310)

作者简介: 高激飞(1977~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为水污染处理技术和相关设备.

* 通讯联系人



1. 吸入口 2. 水喷嘴 3. 混合管
4. 扩散管 5. 尾管 6. 布水器

图1 射流曝气器结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of jet aerator

(1) 射流曝气器 规模 60 t/h, 直接进行生产性试验, 而非模型试验研究.

(2) 大喉嘴距 通过进水管车螺纹, 能方便地调节喉嘴距进行吸气量测试试验, 并且可以进行大喉嘴距的吸气试验, 喉嘴距具体的变化范围为 0~120mm, 目前国内很少有类似的数据, 这样可以在更大的试验范围内分析吸气量的变化规律.

(3) 吸嘴距(本文指吸入口与水喷嘴的距离) 在目前的文献研究中未发现有关这方面的资料. 尽管这个参数并非影响射流器吸气性能的关键参数, 但吸嘴距的变化可以部分地增加吸气量, 在其他参数未变的情况下进一步挖掘射流器吸气量的潜力. 所以本文在设计之初考虑了这个因素, 在混合腔上部开口, 通过插片设计来改变吸嘴距的大小.

(4) 长径比 混合管的设计对于吸气和氧转移的作用都十分关键, 本文在理论计算的基础上, 选择加工了 4 个长径比, 研究了它对吸气性能的影响, 分析最佳长径比出现的规律, 同时验证 CFD 数值模拟得到的数据的实用性.

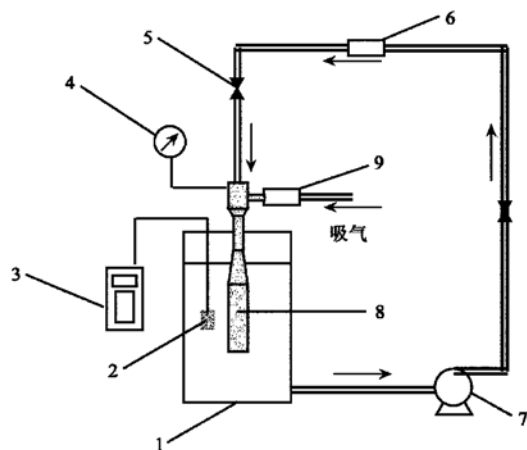
(5) 布水器 射流曝气器的出流布水对其性能非常重要. 通过在其内部设计加装一个部件, 来改变内部流道, 减少局部能量损失, 同时减小出流阻力对吸气的影响, 目前国内未发现有关这方面的报道.

1.2 试验台简介

根据试验目的设计搭建了试验台, 射流器的装配总长为 8.6~9.1m(对于不同长度的混合管装配长度不同), 试验用水池采用上海同壹泵业厂内的水池, 规模 6 m × 6 m × 12 m(长 × 宽 × 水深). 吸气量用涡轮气体流量计计量, 射流器进水量用电磁流量计计量. 水泵 62 t/h(同壹水泵), 实际循环水量 60 t/h, 射流器前进水管实际压力维持在 1.6 kg, 射流器实际淹没水深(工作水深) 7m, 试验装置见图 2.

2 结果与讨论

2.1 喉嘴比 R_2 (喉嘴距与水喷嘴直径的比值)



1. 水池 2. 溶氧探头 3. 显示仪表 4. 压力计 5. 阀门
6. 电磁流量计 7. 循环泵 8. 射流曝气器 9. 涡轮流量计

图2 试验装置示意

Fig. 2 Schematic diagram of the experimental set-up

喉嘴比(喉嘴距)试验结果发现, 射流器的喉嘴比对吸气性能影响较大, 对于长度不同的混合管, 喉嘴距对吸气性能影响最小为 7.3%, 最大达到了 41.1%, 平均为 18.6%. 在喉嘴比增大的过程中, 一般出现 2 个吸气峰值, 而峰值变化与混合管的长度有关, 对于短混合管(1 号管), 喉嘴比从 0 增加到 2.2, 吸气量出现 2 个明显的峰值, 2 个谷值, 超过 2.2 之后就急速变好, 见图 3; 对于中等长度的混合管(2 号管), 如图 4 所示, 在喉嘴比 2.7 之前吸气量也存在波动, 而在 2.7 之后, 吸气性能急剧增加, 喉嘴距超过 120mm 后受加工范围的限制, 已无法再增加, 但由于后面吸气效果继续变好, 将考虑再加工完成测试. 对于长混合管(3、4 号管), 也存在明显的波峰波谷值, 但喉嘴比在 3.1 之后均出现吸气性能的下降, 见图 5、图 6. 可见在较大的喉嘴比试验范围内, 每根混合管均存在吸气量随喉嘴比变化而波动的现象, 并非单一的增加或减小, 因此增大喉嘴比试

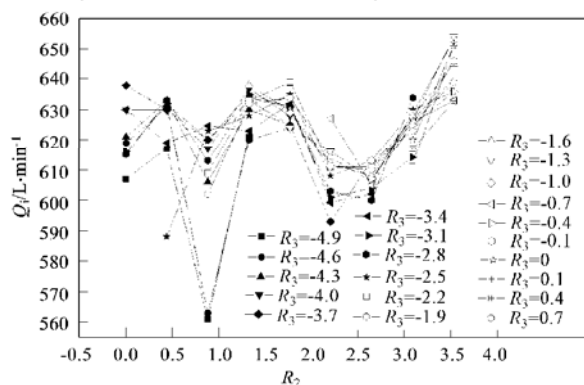


图3 吸气量与喉嘴比的关系(1号)

Fig. 3 Relationship between the gas suction and R_2 (No. 1)

验范围有利于分析其吸气规律,得到最佳的参数;每个混合管存在一个最佳喉嘴比,但最佳喉嘴比出现范围却有所不同,短混合管的最佳喉嘴比一般出现在大喉嘴比处,长混合管一般会出现小喉嘴比处,也就是说最佳喉嘴比随着混合管长度的增加先增加后减小。

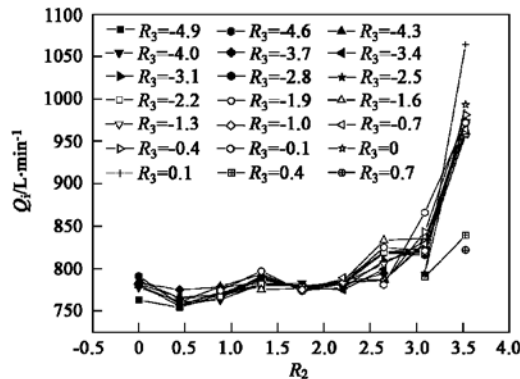


图 4 吸气量与喉嘴比的关系(2号)

Fig. 4 Relationship between the gas suction and R_2 (No. 2)

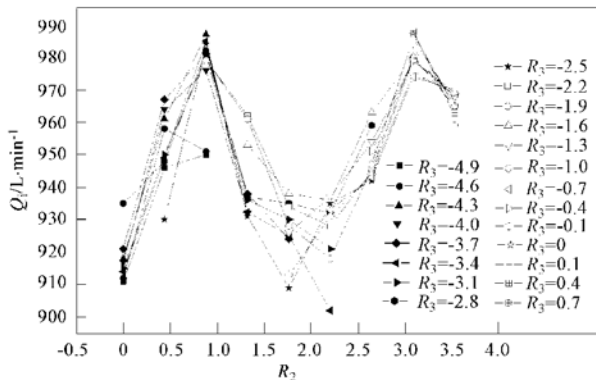


图 5 吸气量与喉嘴比的关系(3号)

Fig. 5 Relationship between the gas suction and R_2 (No. 3)

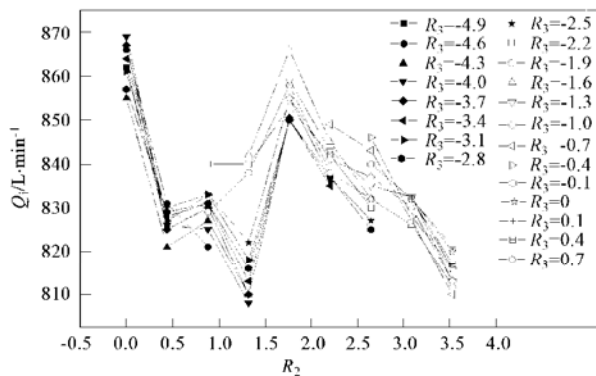


图 6 吸气量与喉嘴比的关系(4号)

Fig. 6 Relationship between the gas suction and R_2 (No. 4)

2.2 吸嘴比 R_3 (吸嘴距)

在以前的设计中,吸嘴距的确定主要是根据设计人员的经验,本试验的吸嘴距变化范围在-175~25mm之间,负值表示吸入口中心位于水喷嘴的左侧。

研究发现,吸嘴距的变化对吸气性能的影响较小,但从图7~9的数据可以发现,选择合适的吸嘴距可以部分地改善吸气性能,在其他参数不变的情况下继续挖掘射流器的吸气潜力。

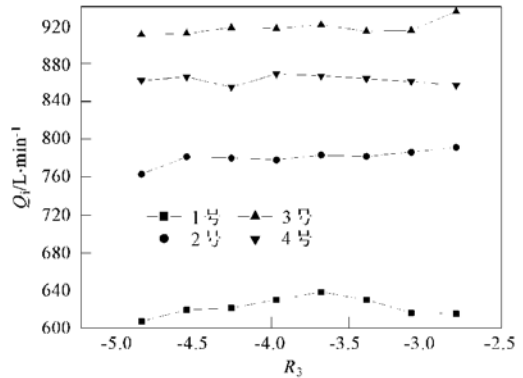


图 7 吸气量与吸嘴比的关系($R_2 = 0$)

Fig. 7 Relationship between the gas suction and R_3 ($R_2 = 0$)

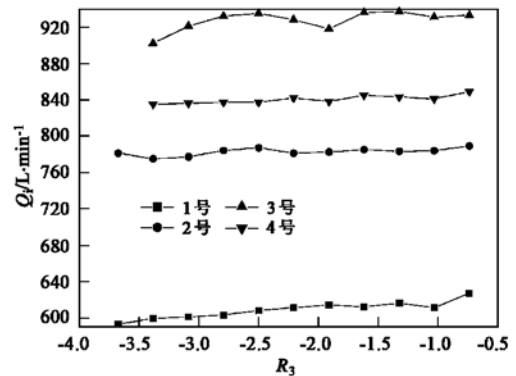


图 8 吸气量与吸嘴比的关系($R_2 = 2.2$)

Fig. 8 Relationship between the gas suction and R_3 ($R_2 = 2.2$)

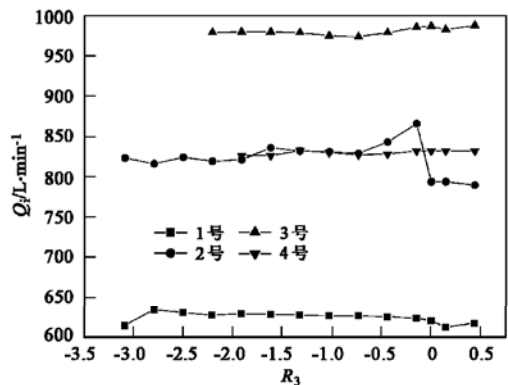


图 9 吸气量与吸嘴比的关系($R_2 = 3.1$)

Fig. 9 Relationship between the gas suction and R_3 ($R_2 = 3.1$)

从试验数据可以看出,吸嘴比的变化使得吸气量在其变化范围内上下波动,一般不是单一的变化规律.如当 $R_2 = 0$ 时,对于短混合管而言,吸嘴比在-4.6~-2.8之间吸入效果较好,而对于长混合管

而言,一般吸嘴比在 $-4.3 \sim -2.8$ 之间吸入效果较好(图 7);当 $R_2=2.2$ 时,无论长短混合管,吸嘴比在 $-3.1 \sim -0.7$ 之间吸入效果均较好(图 8),当 $R_2=3.1$ 时,短混合管在 $-3.1 \sim 0.4$ 之间吸入效果较好,而长的在 $-1.9 \sim 0.4$ 之间吸入效果较好。

2.3 长径比 R_1

长径比是影响射流器吸气性能和氧转移的重要因素。目前人们在射流曝气器长径比的设计中普遍认为:短混合管能量利用不充分,吸气量相对较小,适用于背压较高的场合;长混合管能量利用较为充分,吸气性能较好,但阻力较大,适合低背压的场合^[3]。为此,需要找到最佳的长径比。

根据试验发现,本射流器 3 号混合管吸入性能较好且工况稳定,但 2 号混合管在大喉嘴比(3.5)时吸入性能超过了 3 号混合管,通过标定流量和重复试验,排除了试验测试仪器失准的可能。因此,对于本结构射流器而言,在长径比增加的过程中,存在一个吸入性能非稳定的区域,这个区域吸入量波动幅度较大,但随着长径比再增加,吸入性能就由非稳定区域过渡到稳定区域,此时吸入性能较佳且比较稳定,见图 10~12。所以最佳吸入性能的长径比可以在这个过渡区域中寻找。

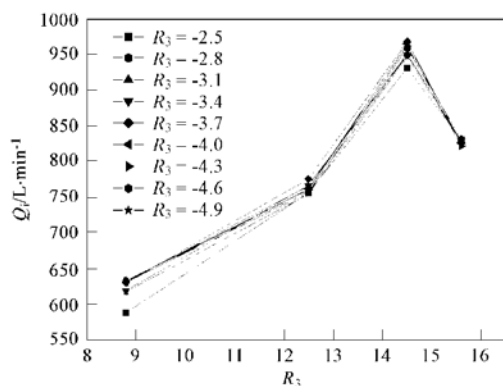


图 10 吸气量与长径比的关系($R_2=0.4$)

Fig. 10 Relationship between the gas suction and R_1 ($R_2=0.4$)

2.4 吸气、搅动能力和气泡质量

试验证明,分体式射流器的吸气量较高,一般可以稳定在 $900 \sim 1100$ L/min。布水器有利于均匀出水,增大水体的搅动范围,从水体表面和边壁上看不存在死区,对气泡剪切效果也十分明显,在射流器附近,气泡群密集且均匀,表面气泡直径介于 3mm 和 5mm 之间。

3 结论

(1) 应用 CFD 数值仿真进行射流器的设计是可

行的,本法设计的曝气器吸气量较大,能够稳定在 $900 \sim 1100$ L/min。

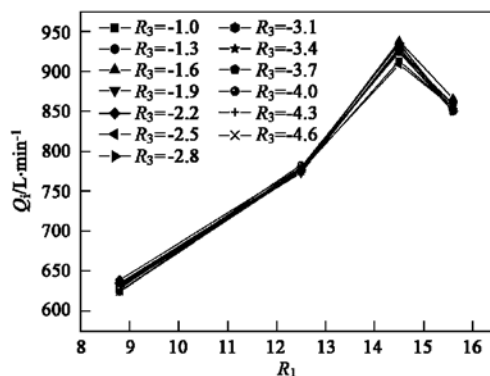


图 11 吸气量与长径比的关系($R_2=1.8$)

Fig. 11 Relationship between the gas suction and R_1 ($R_2=1.8$)

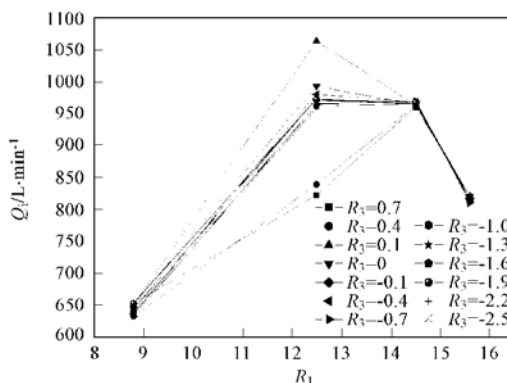


图 12 吸气量与长径比的关系($R_2=3.5$)

Fig. 12 Relationship between the gas suction and R_1 ($R_2=3.5$)

(2) 布水器能增大射流的搅拌范围,减少曝气死区,使能量利用较为合理,并使出流气泡均匀密集。

(3) 在较宽的喉嘴比范围内,吸气量存在波动,而非单一的增加或减少,每一根不同长度的混合管存在一个最佳喉嘴比。最佳喉嘴比出现的位置与混合管的长度有关。短混合管的最佳喉嘴比一般出现在大喉嘴比处,长的则容易出现在小喉嘴比处。

(4) 吸嘴比对吸气性能影响不大,长径比对吸入性能影响较大,最佳长径比可在过渡区域寻找。

致谢:衷心感谢上海达源环境科技工程有限责任公司和上海同壹水泵厂在本射流曝气器试验研究过程中提供的帮助。

参考文献:

- [1] Gao J F, Gu G W, et al. CFD Numerical Simulation Applied in the Design of the Jet Aerator[J]. Environmental Informatics Archives, 2005, 3: 226~231.
- [2] 高激飞,顾国维,等. 计算机数值仿真在射流曝气器及其反应器设计中的应用[J]. 给水排水, 2005, 31(5): 103~106.
- [3] 潘涛,郭扬善,王绍堂. 三相生物流化床射流曝气器的研究与设计[J]. 给水排水, 1997, 23(5): 11~15.