孔径对微孔曝气充氧性能的影响

庄 健 王洪臣^{*} 齐 鲁 刘国华 李小冬 龙海涛

(中国人民大学环境学院,北京 100872)

摘 要 孔径是微孔曝气产品最重要的参数之一 研究孔径对微孔曝气氧传质的影响对于提高微孔曝气器充氧性能 有重要意义。本研究在 1.5 m 水深条件下对不同大小孔径的钟罩型塑料微孔曝气器充氧性能进行评价。结果发现 在实 验条件下 微孔曝气器的阻力损失 RL、标准氧总转移系数 K_La_s、标准氧转移速率 SOTR 标准氧转移效率 SOTE 及理论动力 效率 *E* 随孔径增大而显著减小。

关键词 微孔曝气器 孔径 充氧性能 阻力损失

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2014) 05-1723-04

Effects of pore diameter on oxygenation performance in fine pore aeration

Zhuang Jian Wang Hongchen Qi Lu Liu Guohua Li Xiaodong Long Haitao (School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract Pore diameter is one of the most important parameters for fine bubble diffusers , and it is necessary for improving oxygenation performance to study impacts of pore diameter on oxygen mass transfer. We assessed the impacts through a pilot test using the plastic bell-type fine bubble diffusers at the 1.5 m water depth. The results showed that RL , $K_L a_s$, SOTR , SOTE and *E* decreased significantly when the pore diameter increased.

Key words fine bubble diffusers; pore diameter; oxygenation performance; resistance loss

我国目前已建成污水处理厂 3 243 座,基础建设 已基本完成。目前,污水处理行业进入了提标改造阶 段。而污水处理系统中的曝气环节占污水处理厂总 能耗的 50% ~70%,节能潜力巨大,因此改善微孔曝 气的充氧性能对污水处理节能降耗意义巨大^[1 2]。

在污水处理曝气系统的设计运行中,影响微孔 曝气充氧性能的因素很多^[3-5],但微孔曝气器的孔 径是最直接与最重要的因素之一。国内外对微孔曝 气器充氧性能与曝气器孔径的关系研究较少^[6-2], 如若研究清楚这一点,可对污水处理厂曝气系统的 设计与曝气产品的选择提供巨大借鉴意义。

本研究使用国内污水处理领域采用较多的不同 孔径大小的钟罩 178 型塑料微孔曝气器,测定其在 实验条件下的充氧性能,初步得出塑料微孔曝气器 充氧性能随孔径变化的规律,为指导污水处理曝气 系统的设计与运行提供参考。

- 1 实验装置与方法
- **1.1** 实验装置 装置如图 1 所示,主体为一个 Ø0.5 m×2 m 的

圆柱形曝气池。塑料微孔曝气器安装在曝气池底 部,与空压机气管相连。在曝气池水面下约 0.5 m 处安装一个溶解氧探头,并连接在线数据采集系统 动态采集存储 DO 数据。

1.2 设备与仪器

塑料微孔曝气器: 钟罩型,直径178 mm,孔径从 50~100 μm 共6 个梯度; 空压机: 上海鲁辛实业有 限公司,全无油润滑空气压缩机,WWA-0.4/7; 气体 转子流量计:量程0~10 m³/h,精度±2%; 压力表: 精度±2%; 气温、水温表:精度±0.1℃; 在线溶解氧 测定仪:上海三本环保科技有限公司 DO4200 微电 脑溶氧控制器,精度±0.5%; 无纸记录仪: 北京诺信 天正科技有限公司 XSR10R 无纸记录仪; U-型管: 自

* 通讯联系人 E-mail: whc@ ruc. edu. cn

基金项目: 国家 "863"高技术研究发展计划项目(2009AA063804); 国家 "水体污染控制与治理"科技重大专项(2011ZX07316-001)

收稿日期: 2013-04-08;修订日期: 2013-05-27

作者简介: 庄健(1989~), 男,硕士研究生,主要从事水污染控制研 究工作。E-mail: zjjimconan@ 163. com



图1 实验装置图

Fig. 1 Experimental setup

制 U-型管。

1.3 实验材料

脱氧剂: Na₂SO₃,工业纯; 催化剂: CoCl, • 6H₂O,工业纯;

实验用水: 自来水 初始 TDS 约为 300 mg/L。

1.4 原理与方法

本实验的原理是由 Whitman 和 Lewis 提出的双 膜理论^[13]。气体通过气膜和液膜在两相主体之间进 行传递 对于氧气这类难溶气体来说,传质阻力主要 集中在液膜上。在清水中氧传质速率可以表述如下:

 $dc/dt = K_L a (C_s - C)$

式中:

dc/dt----氧传质速率(mg/(L•s));

 $K_{L}a$ ——氧总转移系数,表示在单位时间内向 单位体积水中传递氧的数量(min⁻¹);

 C_{s} ——液相主体中的饱和溶解氧值(mg/L);

C----液相主体中的实际溶解氧值(mg/L)。

实验按照标准《曝气器清水充氧性能测定》 (CJ/T3015.2-1993)^[14]进行,同时采用美国最新的 清水氧传质测试标准^[15]提供的修正方法对 TDS 进 行了修正。

2 结果与讨论

评价微孔曝气器的充氧性能主要有 5 个指标^[11,12] 即标准氧总转移系数 $K_L a_s$,标准氧转移速率 SOTR,标准氧转移效率 SOTE,理论动力效率 E 及阻力损失 RL。运行气量为 0.5 m³/h。

2.1 阻力损失 RL 与微孔曝气器孔径的关系 根据《水处理用刚玉微孔曝气器测试标准》 (CJ/T263-2007),测量微孔曝气器阻力损失时,需要加入清水并使清水没过曝气器顶。通过此方法测得的微孔曝气器阻力损失 RL 随着孔径的变化如图2 所示。





由图 2 可知,随着孔径的增大,微孔曝气器的阻力损失减小。阻力损失与流体速度的平方成正比,与过流断面的直径成反比。一方面,孔径越大,即过流断面的直径越大;另一方面,孔径增大可导致出气面积变大,在气量一定时,气速减小。在这两方面的作用下,微孔曝气器的阻力损失减小。

2.2 氧总转移系数 $K_L a_s$ 及标准氧转移速率 SOTR 与微孔曝气器孔径的关系

标准氧总转移系数 K_La_s 是指曝气器在一个大 气压、20℃的标准条件下,在单位传质推动力作用 下,单位时间内向单位体积液体中传递的氧量。标 准氧转移速率 SOTR 是曝气器在单位时间内向液体 中传递的氧量。因此,标准氧总转移系数及标准氧 转移速率越大,微孔曝气器单位时间内向一定体积 的液体中传递的氧量越多,也即微孔曝气器的充氧 性能越好。

实验中,不同孔径下的微孔曝气器氧总转移系数 $K_L a_s$ 与标准氧转移速率SOTR变化如图3所示。



Fig. 3 $K_{\rm L}a_{\rm s}$ and SOTR change with pore diameter

由图 3 可知 随着微孔曝气器孔径的增大 标准 氧总转移系数 $K_L a_s$ 与标准氧转移速率 SOTR 均明 显减小。标准氧总转移系数从 0.0769 min⁻¹减小至 0.0388 min⁻¹ 标准氧转移速率从 0.0163 kg/h 减小 至 0.0082 kg/h 减小为原来的一半左右。

微孔曝气器的孔径大小可对出气气泡的尺寸有 很大的影响,孔径越大,出气气泡越大。大气泡对于 溶液的搅拌作用较强,增大溶液的紊动程度,一方面 加快了气泡周围溶液的更新程度,保证充入溶液中 的氧能迅速混合均匀,从而保持较大的传质推动力; 另一方面减小了液膜的厚度,从而减小传质阻力,均 有利于氧的传递。小气泡具有较大的比表面积,使 得充氧时能有一个较大的气液传质界面面积,对于 氧传质有直接而明显的正影响。

本实验采用气量可很大程度保持溶液较好的紊动,因此,大气泡对于紊动的促进作用不明显。但随着孔径的增大,传质界面面积的减小对于氧传质的影响较直接明显,成为影响的主要因素,因此,孔径越大,氧总转移系数与氧转移速率都减小。

2.3 标准氧转移效率 SOTE 与微孔曝气器孔径的 关系

标准氧转移效率是曝气器在标准状态、测试工 况下,传递到水中的氧量占曝气器供氧量的百分比。 实验中标准氧转移效率 SOTE 随微孔曝气器孔径的 变化而变化如图4所示。



图 4 SOTE 随孔径变化曲线 Fig. 4 SOTE change with pore diameter

由图 4 可知 随着孔径增大 曝气器的标准氧转移 效率从 10.81% 减小至 5.41% 减小幅度较为明显。

由 2.2 的分析,因为微孔曝气器的孔径增大使 出气气泡变大,从而显著减小气液传质界面面积,使 得传递到水中的氧量减小。同时,由于通气量不变, 因此标准氧转移效率也减小。

2.4 理论动力效率 E 与微孔曝气器孔径的关系
 理论动力效率表示在测试工况下消耗单位电能

使通入的氧气转移到水体中的量。实验得到理论动 力效率随微孔曝气器孔径变化曲线如图 5 所示。



图 5 理论动力效率随孔径变化曲线 Fig. 5 *E* change with pore diameter

由图 5 可知 随着孔径增大 微孔曝气器理论动 力效率从 6.50 kg/kWh 减小至 3.26 kg/kWh。

理论上,理论动力效率为标准氧转移速率 SOTR 与理论电耗 N_T 的比值。根据 2.2 的分析,微 孔曝气器 SOTR 随着孔径的减小而显著增大,而 N_T 则主要与通气量、阻力损失这两个因素有关。本实 验中,通气量不变,而阻力损失随着微孔曝气器孔径 减小而增大,N_T 增大。在两方面的作用下,本实验 采用的微孔曝气器理论动力效率随孔径减小而增 大。这表明,在实验条件下,孔径减小对微孔曝气氧 传质的促进作用大于对于能耗的促进作用。但不排 除在孔径继续减小时理论动力效率出现下降的 可能。

本实验尝试采用孔径为 30~40 μm 的微孔曝 气器进行实验时,发现其侧边漏气现象已经非常严 重,且出气较不均匀,其曝气情况及与孔径较大微孔 曝气器曝气情况的对比如图6所示(左图为小孔径 微孔曝气器出气情况,右图为大孔径微孔曝气器出 气情况)。



图 6 大小孔径微孔曝气器曝气情况对比 Fig. 6 Comparison between diffusers of different pore diameters

由图 6 可知,孔径非常小时,出气均匀程度受到 较大影响,且可能由于盘面阻力较大而更易造成侧 边漏气的现象。 因此 根据清水充氧性能测试实验结果,达到更 好的充氧效果在实际微孔曝气器的选择中应选择孔 径较小的微孔曝气器;但在孔径减小的同时,一方面 需要改进工艺使得微孔曝气器更均匀,另一方面加 强微孔曝气器接口的密封性。而在实际工程上则还 需考虑小孔径微孔曝气器的堵塞等问题。

3 结 论

通过对不同孔径的塑料微孔曝气器的清水充氧 性能测试,可得到以下结论:

(1) 微孔曝气器的阻力损失 RL、标准氧总转移 系数 K_La_s、标准氧转移速率 SOTR 及标准氧转移效 率 SOTE 随孔径增大而明显减小。

(2) 在本实验采用的 50~100 μm 微孔曝气器 孔径范围内,理论动力效率 E 随微孔曝气器孔径增 大而减小。

(3) 针对国内采用较多的 100 目(孔径约为 80 μm) 微孔曝气器,可优化使用孔径更小的微孔曝气器,但同时需考虑出气均匀、堵塞等问题。

参考文献

- 梁远,王佳伟,李洁,筹. 微孔曝气器充氧性能变化对污水处理厂能耗的影响. 给水排水,2011 37(1):42-45
 Liang Yuan, Wang Jiawei, Li Jie, et al. Influence of oxygenation capacity of fine bubble aerator on energy consumption in wastewater treatment plant. Water & Wastewater Engineering,2011,37(1):42-45(in Chinese)
- [2] Rosso D. , Stenstrom M. K. Surfactant effects on α -factors in aeration system. Water Research , 2006 , 40 (7) : 1397–1404
- [3] 范海涛. 污泥浓度对微孔曝气氧传质过程的影响. 环境 工程学报, 2012, 6(12): 4305-4309
 Fan Haitao. Effects of sludge concentration on oxygen mass transfer in fine pore aeration. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012. 6(12): 4305-4309(in Chinese)
- [4] 罗涛, 汪洪臣, 齐鲁, 等. 总溶解性固体及表面活性剂对 微孔曝气氧传质过程影响的中试研究. 环境科学学报, 2012, 32(9): 2066-2070

Luo Tao, Wang Hongchen, Qi Lu, et al. Pilot scale research on the impact of TDS and surfactant on oxygen. Acta Scientiae Circumstantiae, **2012**, 32 (9): 2066-2070 (in Chinese)

[5] 陈旭露,王洪臣,齐鲁,等. 阴离子表面活性剂对微孔 曝气氧传质过程影响的研究. 环境科学学报,2013,33 (2):395-400

Chen Xulu , Wang Hongchen , Qi Lu , et al. Effects of an-

ionic surfactant on oxygen mass transfer in the fine bubble aeration. Acta Scientiae Circumstantiae , 2013 , 33(2): 395-400 (in Chinese)

- [6] 刘景明. 曝气器工业化性能测试研究. 环境污染治理技术与设备,2002,3(8):91-94 Liu Jingming. Study on industrial performance test of diffusers. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control,2002 3(8):91-94(in Chinese)
- [7] 刘坤 高廷耀.关于微孔曝气系统性能及其设计的探 讨.净水技术,2002,21(4):5-8
 Liu Kun, Gao Tingyao. Research on the performance and design of fine bubble aeration system. Water Purification Technology,2002,21(4):5-8(in Chinese)
- [8] D. Weuster-Botz, J. Altenbach-Rehm, A. Hawrylenko. Process engineering characterization of small-scale bubble columns for microbial process development. Bioprocess and Biosystems Engineering, 2001, 24(1): 3-11
- [9] P. R. Vilaça, A. C. Badino Jr., M. C. R. Facciotti, et al. Determination of power consumption and volumetric oxygen transfer coefficient in bioreactors. Bioprocess and Biosystems Engineering, 2000, 22(3): 261-265
- [10] 孙国华,肖志明.不同孔径曝气器在生物接触氧化池
 中应用的比较.石油化工环境保护,1994,1(4):
 27-29
 Sun Guohua, Xiao Zhiming. Comparison of different aper-

ture aerator used in the biological contact oxidation tank. Environment Protection in Petrochemical Industry , **1994** , 1(4): 27-29(in Chinese)

[11] 湛蓝. 膜片式微孔曝气器曝气阻力损失试验研究. 节能与环保,2005(5): 19-21
Zhan Lan. Experimental study on resistance loss of membrance aeration bioreactor. Energy Conservation & Environmental Protection,2005(5): 19-21(in Chinese)
[12] 汤利华,孟广耀. 曝气器的最优孔径分析. 中国科学技

术大学学报,2006,36(7):775-780 Tang Lihua, Meng Guangyao. Analysis of optimum aperture of aerators. Journal of University of Science and Technology of China, 2006, 36(7):775-780(in Chinese)

 [13] 高习群. 气液界面传质机理与强化. 天津: 天津大学博 士学位论文 2008
 Gao Xiqun. The mechanism and enhancement of gas-liq-

uid interfacial mass transfer. Tianjin: Doctor Dissertation of Tianjin University , **2008**(in Chinese)

- [14] 中华人民共和国建设部.曝气器清水充氧性能测定. 中华人民共和国城镇建设行业标准 CJ/T3015.2-93
- [15] American Society of Civil Engineers. Measurement of oxygen transfer in clean water. ASCE/EWRI 2-06