

微孔曝气式增氧机的性能及应用效果

顾海涛^{1,2}, 刘兴国¹, 何雅萍^{1,2}, 龙丽娜¹

(1 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所,农业部渔业装备与工程技术重点实验室,上海 200092;

2 国家渔业机械仪器质量监督检验中心,上海 200092)

摘要:为研究微孔曝气增氧机的增氧性能和池塘应用效果,按照标准规定的方法进行了增氧性能的试验和不同水深对增氧性能影响的试验,并在池塘中进行应用效果的试验。结果显示:微孔曝气式增氧机具有比叶轮式增氧机等增氧机更强的增氧能力,但不同配置的机型,增氧能力随配套功率和曝气管长度的增加而增强,动力效率则呈明显下降趋势;增加曝气管布置深度可以提高增氧性能,安装深度从2 m增加到4 m,增氧能力增加285%,动力效率增加207%,与其它养殖池塘机械增氧设备相比,池塘水体越深,微孔曝气式增氧机的增氧优势越明显。目前,池塘采用微孔曝气式增氧机的配置方式不具优势,需要改进提升。

关键词:微孔曝气增氧机;增氧能力;动力效率;应用效果

中图分类号:S969.32

文献标志码:A

文章编号:1007-9580(2017)03-025-04

微孔曝气增氧机是废水好氧生物处理工艺中的关键设备,其主要作用是将空气中的氧溶解到废水与活性污泥混合液中,为好氧微生物降解污染物过程提供充足的氧气^[1-2]。该工艺目前在城市污水和工业废水处理中广泛应用。近年来,随着“高产、优质、高效、生态、安全”养殖要求的不断提高,精细化、集约化养殖成为水产养殖关注的重点^[3]。水体中的溶氧含量影响水产养殖,特别是在高密度养殖情况下,溶氧是水产养殖中的关键因素之一^[4-5]。

目前,国内养殖池塘多为老旧池塘,水体静止或流动性差,存在着水域面积小、易污染、水环境容量小、水体自净能力差等问题;另外,养殖对象的排泄物也极易造成水中悬浮物增多、浊度增大、有机物和细菌的含量增高^[6]。因此,养殖生产需要使用增氧设备以改善水质。微孔曝气增氧机是其中的一种新设备^[7-8]。除了具有一定的增氧功能外,微孔曝气增氧机还具有改善水质、降低水温及噪声低的特点,其改善水环境的作用受到用户欢迎。虽然微孔曝气增氧在环保水处理领域有很多研究,并建立了成熟的使用模式,但对池塘养殖增氧效果的研究报道较少。由于水产养殖水体与城市污水和工业废水有较大的差异,目前对其使

用效果的争议较多,褒贬不一^[9]。

本研究以国家渔业机械仪器质量监督检验中心对微孔曝气式增氧机在实验室的试验数据及池塘应用试验的结果,对微孔曝气式增氧机的性能和应用效果进行了分析研究,探讨其在池塘养殖中的实际应用效果,为水产养殖用户正确使用微孔曝气式增氧机提供指导。

1 材料与方法

1.1 实验室测试

(1)增氧性能。试验按照行业标准^[10]规定的方法进行。试验水池为标准增氧机试验水池,直径10 m,水体体积125 m³,水深1.8 m,试验用水为清水(自来水)。主要检测仪器为YSI58型溶氧仪和计算机自动数据采集系统。试验设3台试验样机。样机1:配套功率3.0 kW,风机额定风压30 kPa,额定风量2.42 m³/min,曝气管总长度500 m。样机2:配套功率5.5 kW,风机额定风压30 kPa,额定风量5.95 m³/min,曝气管总长度900 m。样机3:配套功率为7.5 kW,风机额定风压为30 kPa,额定风量为7.7 m³/min,曝气管总长度为1 200 m。3台样机均采用内径8 mm、外

收稿日期:2017-04-05

基金项目:标准化池塘养殖水质改良关键设备研发与优化(沪农科攻字(2014)第6-3号)

作者简介:顾海涛(1967—),男,高级工程师,研究方向:渔业装备检测与试验方法研究。E-mail:guhaitao@fmiri.ac.cn

径 15 mm 的曝气管。

(2) 水深对增氧性能的影响。本试验数据取自国家渔业机械质量监督检验中心受理的委托试验结果。试验样品为长度 1 m 的橡胶膜微孔曝气管, 方法是将溶氧仪探头的布放按标准要求布置在方形水池对角线交点的垂线上, 深度分别为池内水面下 0.5 m、1/2 水深处和池底以上 0.5 m 处。试验按照相关标准^[11]要求在曝气前先调节水池水深, 在水体中加入一定量的亚硫酸钠(Na_2SO_3) 溶液和催化剂氯化钴(CoCl_2) 并充分搅拌, 使水体初始 DO 质量浓度接近 0。之后进行增氧, 记录溶氧质量浓度随增氧时间的变化数据, 并根据获得的试验数据, 按标准规定计算出各自的增氧能力(q_c)。试验设定 2 m、3 m 和 4 m 共 3 组不同水深。

1.2 池塘应用效果

本试验数据取自农业部渔业装备与工程技术重点实验室开放课题《增氧机性能比较研究》的试验结果。试验地点为池塘生态工程中试基地 1 号鱼塘, 鱼塘长 100 m, 宽 50 m, 深 1.8~2.0 m, 养殖品种为团头鲂, 养殖密度约为 1 500 尾/667 m^2 。试验时池塘水体的透明度约为 16~18 mm。样机为上海风根压缩机有限公司生产的, 配套功率 2.2 kW 的微孔曝气式增氧机, 曝气管单根有效长度 45 m, 共 8 根, 总长度 340 m。测点布置距曝气管 1 m 处, 2 个探头布置在距池塘底部 0.3 m 和 1.5 m 处。试验时天气为阴天, 气温 19.5~18.0℃, 水温 20.1℃, 气压 102.7 kPa。试验时每 3 min 记录 1 次水中的溶氧值, 中午 12:10 开始, 15:05 结束。

1.3 数据处理

曝气和增氧过程均为传质过程。在氧由气相向液相转移过程中, 阻力主要来自液膜。液膜内氧传递微分方程^[7]:

$$dc/dt = K_{La}(C_s - C) \quad (1)$$

经积分整理后为:

$$\ln(C_s - C) = \ln C - K_{La} \cdot t \quad (2)$$

式中: C_s —标准状态下水中饱和溶氧值, mg/L; C —时间为 t 时水中实际溶氧值, mg/L; t —增氧时间, min; K_{La} —曝气器在测试条件下的氧总转移系数, 1/min。

标准状态(20℃水温, 1 个标准大气压)下, 氧

转移系数 $K_{La}(20) = K_{La} \cdot 1.024^{20-T}$, 式中, $K_{La}(20)$ 为 20℃ 水温条件下的氧转移系数(1/min); T 为水温(℃)。

$$q_c = K_{La}(20) \cdot V \cdot C_s(20) \times 10^{-3} \quad (3)$$

式中: q_c —增氧能力, kg/h; $K_{La}(20)$ —曝气器在 20℃ 下的氧总转移系数, 1/min; V —试验水体体积, m^3 ; $C_s(20)$ —标准状态(20℃)下的水中饱和溶氧值, mg/L。

$$E_s = q_c / N \quad (4)$$

式中: E_s —动力效率, kg/(kW·h); N —实测输入功率, kW。

2 结果与分析

2.1 增氧性能

采用配套功率分别为 3.0、5.5 和 7.5 kW 的微孔曝气式增氧机进行试验, 试验结果显示, 当增氧能力分别为 11.75、13.38 和 14.23 kg/h 时, 对应的动力效率分别为 3.6、2.1 和 1.7 kg/(kW·h)。结果表明, 随着曝气管长度配置和配套功率的增加, 增氧能力分别增加 113.9% 和 121.1%, 动力效率下降了 41.7% 和 52.8%。

2.2 水深对增氧性能的影响

试验水深设定为 2、3 和 4 m, 通气量 2 m^3/h 。试验结果显示, 3 种水深的增氧能力分别为 0.054、0.106 和 0.154 kg/h。工作水深增加 1 m, 增氧能力增加 196%; 增加 2 m, 增氧能力增加了 285%。3 种水深的动力效率分别为 2.58、4.26 和 5.36 kg/(kW·h)。工作水深增加 1 m, 动力效率增加 165%, 增加 2 m, 动力效率增加了 207%。

2.3 池塘应用效果

根据实测数据(图 1), 曝气式增氧机属面增氧形式, 运行时整个养殖水域上下层水体溶氧值均有缓慢同步上升, 运转起始至 175 min 内, 上层水体溶氧值由 6.88 mg/L 上升至 7.52 mg/L, 下层水体溶氧值由 6.04 mg/L 上升至 6.65 mg/L, 每小时溶氧增加值均为 0.2 mg/h 左右。试验开始时上下层水中溶氧值差值为 0.84 mg/L, 到试验结束时差值为 0.87 mg/L, 整个试验过程中溶氧值曲线几乎成等间距变化。可见曝气式增氧机对水体没有搅拌作用^[12], 运行时对整个水体增氧

均匀,但较缓慢。

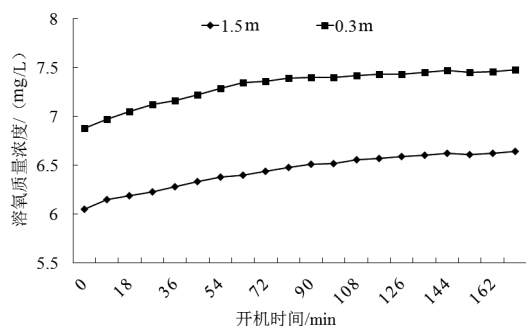


图1 池塘应用效果试验

Fig. 1 Pond application effect test

3 讨论

3.1 微孔曝气式增氧机具有较强的增氧功能

谷坚等^[7]研究认为,在清水池中微孔曝气的增氧能力、动力效率分别高出叶轮式增氧机 82% 和 84%。本试验选取的 3 台曝气式增氧机中,配套功率 3 kW 的增氧能力达到 11.75 kg/h。与同样配套功率叶轮式增氧机的增氧能力 10 年的统计最高值为 4.99 kg/h^[13] 比较,前者的增氧能力是后者的 2.35 倍,明显高于养殖池塘广泛使用的叶轮式增氧机。试验结果显示,3 台曝气增氧机的增氧能力随配套功率和曝气长度的增加而增加,但并非成比例增加,配套功率增加 2.5 倍,增氧能力仅增加 1.2 倍。本次试验结果同时显示,动力效率随着配套功率和曝气长度的增加而降低,试验中配套功率 7.5 kW 曝气式增氧机的动力效率为 1.7 kg/(kW·h),仅为配套功率 3 kW 的动力效率的 47.2%,接近叶轮式增氧机动力效率 1.5 kg/(kW·h) 左右的水平^[14]。以上试验结果表明:微孔曝气式增氧机比目前养殖池塘普遍使用的叶轮式等其它形式的增氧机具有更强的增氧能力^[15],但不同配置的机型,其增氧能力随配套功率和曝气管长度的增加而增强,然而其动力效率呈明显下降趋势。

3.2 增加曝气管布置深度可以提高增氧性能

汤利华等^[16]研究发现水深对氧转移系数有影响,从而对传氧速率有较大的影响;另一些研究^[17-19]认为,增氧能力随曝气器浸没深度的增大而提高。本试验结果验证,在通气量和水深恒定时,工作水深 2、3 和 4 m 时,增氧能力分别为

0.054、0.106 和 0.154 kg/h;增氧能力随工作水深增加而提高。结果显示,曝气管浸没深度对增氧性能有明显的影响,并呈线性递增关系;增氧能力和动力效率随浸没水深增大而快速提高。分析认为,由于水深增加,增大了氧分压,进而增大了传质推动力^[20]。此外,水深增加使得气泡在水中停留时间延长,有利于氧的传质^[14]。结果表明:增加曝气管布置深度可以提高增氧性能,安装深度从 2 m 增加到 4 m,增氧能力提高 285%,动力效率增加 207%;与其它传统养殖池塘增氧设备比较,池塘水体深度越深,曝气式曝气机的增氧能力强的优势越明显。

3.3 在池塘中应用微孔曝气式增氧机增氧性能并不具优势

增氧能力的高低关系到对池塘的增氧效果^[21]。实验室增氧性能的试验结果显示,微孔曝气式增氧机的增氧性能高于叶轮式等其他形式的增氧机;然而池塘应用效果试验显示,经过 175 min 运转,池塘上层和下层水体的溶氧值分别上升 0.61 mg/L 和 0.64 mg/L,每小时对池塘水体的增氧量仅为 0.2 mg/L 左右,微孔曝气式增氧机对池塘的增氧能力并不明显。因为水体中溶氧量呈现出从上到下垂直递减的状态,曝气增氧过程不具有搅拌能力^[12],不能带动水体流动使上下层水体进行交换。试验结果显示,整个试验过程中,池塘水体上下层的溶氧值差异几乎保持不变。吕海新^[22]研究认为风机的功率和管道布管的密度大大影响微孔曝气式增氧机的增氧能力。池塘应用试验的结果表明,本次试验采用的配置方式,微孔曝气式增氧机在水深为 2 m 左右的池塘中应用,其增氧性能与传统叶轮式增氧机相比,并不具有优势。

4 结论

(1)微孔曝气式增氧机具有比其它形式增氧机更强的增氧能力,增氧能力随配套功率和曝气管长度的增加而增强,但其动力效率呈明显下降趋势;(2)增加曝气管布置深度可以大大提高增氧能力和动力效率,因此微孔曝气式增氧机在深水池塘增氧能力强的优势更明显;(3)目前池塘采用的微孔曝气式增氧机的配置方式,在深约 2 m 池塘中的增氧性能并不具有优势。

综合本文的分析和上述结论,微孔曝气式增氧机是一种具有很强增氧能力的增氧设备,特别在水深超过2 m时增氧性能优势明显。然而作为养殖池塘的增氧设备,在配置和运用上还要进行大量的试验和研究。□

参考文献

- [1] 张斌,郝玉萍,周京徽,等. 橡胶膜微孔曝气器的清水充氧性能试验研究[J]. 环境科学与技术,2010(12):304-305.
- [2] 吴敏,姚念民. 关于微孔曝气器比较与选择的探讨[J]. 环境保护,2002(5):16-18.
- [3] 刘大安. 水产工厂化养殖及其技术经济评价指标体系[J]. 中国渔业经济,2009,3(27):97-101.
- [4] BOYD C E, TUCKER C S. Pond aquaculture water quality management [M]. Holland: Kluwer academic publisher, 2005:113.
- [5] 王兴国,王悦蕾,赵水标,等. 养殖水体增氧技术及方法讨论[J]. 浙江海洋学院学报,2004,23(4):114-117.
- [6] 王凤贺,王国祥,刘波,等. 曝气增氧技术在城市黑臭河流水质改善中的应用与研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(10):6137-6138,6141.
- [7] 谷坚,徐皓,丁建乐,等. 池塘微孔曝气和叶轮式增氧机的增氧性能比较[J]. 农业工程学报,2013,29(22):212-216.
- [8] 顾海涛,王逸清. 我国池塘增氧技术现状和发展趋势[J]. 渔业现代化,2014,41(5):65-67.
- [9] 顾海涛,王逸清. 池塘水深和通气量对微孔曝气增氧性能的影响[J]. 渔业现代化,2015,42(5):29-33.
- [10] SC/T6009—1999 增氧机增氧能力的试验方法[S].
- [11] CJ/T 3015.2—1993 曝气器清水增氧性能测定[S].
- [12] 张祝利,顾海涛,何雅萍,等. 增氧池塘增氧效果的试验研究[J]. 渔业现代化,2012,39(2):64-68.
- [13] 顾海涛,何雅萍,门涛,等. 叶轮式增氧机性能研究[J]. 渔业现代化,2011,38(4):41-44.
- [14] SC/T 6010—1999 叶轮式增氧机[S].
- [15] 杨春娟. 底部微孔增氧对池塘水体溶氧变化影响的研究[J]. 山西水利科技,2013,18(3):63-65.
- [16] 汤利华,孟广耀. 水深对曝气过程中氧总转移系数的影响[J]. 同济大学学报,2007,35(6):760-763.
- [17] 魏延苓,齐鲁,刘国华,等. 微孔曝气器增氧性能影响因素[J]. 水处理技术,2014,40(2):1-7.
- [18] 尹训飞,齐鲁,张晓军,等. 水深对微孔曝气充氧性能的影响研究及数值模拟[J]. 水处理技术,2015,41(6):75-78.
- [19] 胡鹏,刘玲花,吴雷祥,等. 微孔曝气充氧性能的影响因素研究[J]. 工业水处理,2015,35(8):49-52.
- [20] 杜堂正,李德昌,聂丽华,等. 一种新型曝气设备及其气液传质研究[J]. 化工进展,2005,24(5):526-531.
- [21] 李玉全,张海艳,李健,等. 水产养殖系统中机械增氧与液态氧增氧的效果比较[J]. 中国农学通报,2008,24(2):475-480.
- [22] 吕海新. 淡水水产养殖中机械增氧增氧技术的应用分析[J]. 农业与技术,2014,34(7):760-763.

Performance and application effects of microporous aerators

GU Haitao^{1,2}, LIU Xingguo¹, HE Yaping^{1,2}, LONG Lina¹

(1 Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory of Fishery Equipment and Engineering, Ministry of Agriculture, Shanghai 200092, China;
2 National Quality Supervision and Inspection Center of Fishery Machinery and Instrument, Shanghai 200092, China)

Abstract: In order to study the aeration performance and pond application effects of microporous aerators, test of aeration performance, test of effects of different water depth on aeration performance and test of application effects in the pond are respectively conducted according to methods specified in the standard. The results show that microporous aerators have greater aeration capacity than impeller aerators and other ones, but among different configurations, the aeration capacity increases with the matching power and pipe length, while the power efficiency decreases significantly. The aeration performance can be improved by increasing pipe installation depth, for example, if the installation depth is increased from 2 m to 4 m, the aeration capacity will increase by 285% and the power efficiency by 207%; compared with other mechanical aeration, the deeper the water in the pond is, the more obvious the aeration advantage of the aerator is. At present, the configuration of microporous aerators has no advantage and needs to be improved.

Key words: microporous aerator; aeration capacity; power efficiency; application effect