

文章编号: 1674-5566(2009)04-0490-05

改进型超微泡增氧装置的初步研究

孙 涛, 陈金稳, 张丽珍, 殷肇君

(上海海洋大学工程学院, 上海 201306)

摘 要:与传统增氧机械相比,超微泡增氧装置具有增氧效率高、噪音小、便于维修保养等特点,但同时也存在辅助结构多、安装调试不便、价格较高等缺陷,从而影响该装置的应用推广。在深入研究超微泡增氧装置的基础上,提出改进方案,设计一套改进型超微泡增氧装置实验室模型。改进型超微泡增氧装置正常开机运行 22 min 实验水体溶氧量达到饱和,计算得到微气泡的直径范围是 10~120 μm ,平均直径为 40 μm 左右,标准增氧能力为 1.908 $\text{kg}(\text{O}_2)/\text{h}$,氧吸收率为 36%,动力效率为 3.469 $\text{kg}(\text{O}_2)/\text{h}$,增氧效率较高。通过改进,可省去 1 台自吸泵、1 个射流器和 1 个能量释放器,在达到同样增氧效果前提下,简化了装置,降低成本约 50%左右,运行平稳可靠。改进方案可行,便于应用推广。

关键词:超微泡;增氧装置;改进设计;能量释放器

中图分类号:S 969.32 **文献标识码:**A

Preliminary study on improved microbubble aerator

SUN Tao CHEN Jin-wen ZHANG Li-zhen YIN Zhao-jun

(College of Engineering Science & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: With the traditional aerators, the microbubble aerator has high efficiency, noise, easy maintenance features, but at the same time there are also many support structures, installation inconvenience, higher prices, such as defects, thus affecting the device application of the promotion. The author proposed an improvement program after in-depth study of original microbubble aerator and designed a modified microbubble aerator of laboratory model. After improvement, a motor, a self-priming pump, a jet and a energy releasing device are saved, the cost is reduced about 50%. It will be smooth and reliable operated. The improved microbubble aerator to run 22 minutes, experimental body of water to achieve dissolved oxygen saturation, calculated by the micro-bubble diameter range is 10-120 μm , average diameter of around 40 μm , the aerobic capacity is 1.908 $\text{kg}(\text{O}_2)/\text{h}$, power efficiency is 3.469 $\text{kg} \text{O}_2/\text{kw} \cdot \text{h}$ and the rate of oxygen absorption is 36% and improvement. Improving feasible to facilitate the application of the promotion.

Key words: microbubbles; aerator; improved design; energy releasing device

影响氧气吸收率主要有水深(水压)和气泡直径两方面的因素^[1]。湖北省轻工业设计研究院通过改变水深和气泡直径进行氧气吸收率的测定,测定结果显示:水体越深(即水压越大),氧吸收率越高;气泡直径越小,氧吸收率越高。但活鱼暂养和集约化养鱼的水深受客观条件的限制,因此,减小气泡直

收稿日期: 2008-04-19

基金项目: 超微泡增氧系统的初步研究(A-0212-07-0266)

作者简介: 孙涛(1976-),男,陕西商南人,硕士研究生,专业方向为机电一体化, E-mail: tsur@shou.edu.cn

通讯作者: 张丽珍, E-mail: lzzhang@shou.edu.cn

径,将成为集约化养鱼等场合提高氧气吸收率的可行途径。上海海洋大学殷肇君教授利用通过压强突变减小气泡直径,从而提高氧气吸收率的原理设计出了超微泡增氧装置(专利号:ZL 02215063.3)。

该装置主要由两台自吸泵、一只射流器、两只能量释放器及管路等组成^[2-3]。前级自吸泵保证吸水,在出水管口串接射流器,以保证吸气。气、水混合物经管路进入后级自吸泵,通过自吸泵叶轮高速搅拌,增强氧气的溶解。最后,气、水混合物分两路进入两只能量释放器,产生大量超微气泡,实验效果较好。

但是,该装置自发明以来,应用推广缓慢,市场效果不佳,其缺陷主要表现为以下3方面:(1)结构烦琐,安装调试困难;(2)多部件协同工作,不便于搬运;(3)相对于其他传统增氧机械,价格较高,推广缓慢。针对上述情况,在查阅大量相关资料基础上,对该装置进行了初步改进。本文主要介绍改进路线、实验步骤和结果分析,以为改进型超微泡增氧装置的推广应用提供技术支持。

1 改进型超微泡增氧装置

1.1 改进后装置组成

改进后的超微泡增氧装置如图1所示。本装置主要组成部件有电动机、自吸泵、进气管、吸水管、出水管、开关、能量释放器等。通过改进设计,可省去1台自吸泵、1个射流器和1个能量释放器,在达到较好增氧效果前提下,简化了装置,降低制造成本40%左右。

1.2 工作原理

在与自吸泵叶轮轴心相对的泵外壳加工安装一进气阀(转子流量计用来控制进气量),利用叶轮在吸、排水过程中,叶轮输入口处产生的负压自动吸气,使得自吸泵在工作过程中,持续吸入水与空气,形成气水混合物,在叶轮的高速搅拌下,充分混合,增加氧气与水的接触。能量释放器结构如图2所示,当混合物到达能量释放器时,气水混合物从能量释放器的单孔板中心孔进入单孔板与多孔板之间,由于两板间隙很小,导致压力剧增,并压流四周至多孔板周边环形槽;由于容积扩大,压力突降,承受高压的气泡此时爆破,形成无数微小气泡,其直径在微米级,大大增加了氧气与水的接触面积,而且在水中停留时间相对较长,所以对氧气的吸收率大大提高。

2 实验设计

参照1999年国家农业部发布的关于增氧机增氧能力试验方法设计及相关资料^[4-6],本实验选用的器材和操作过程如下所示。

2.1 实验器材与试剂

改进型超微泡增氧装置,圆形水池(规格:直径1.2 m,高0.7 m),RSS-5100便携式数字测氧仪,CoCl₂,Na₂SO₃,烧杯,温度计,秒表,量筒(100 mL)。

2.2 实验操作步骤

2.2.1 实验前的准备

检查改进型超微泡增氧装置各关键部件如电动机、自吸泵、压力表、释放器、开关、转子流量计是否能正常工作;电压波动范围是否在±2%之内;水温是否在20℃左右、气压101.3 kPa将测氧仪安装电

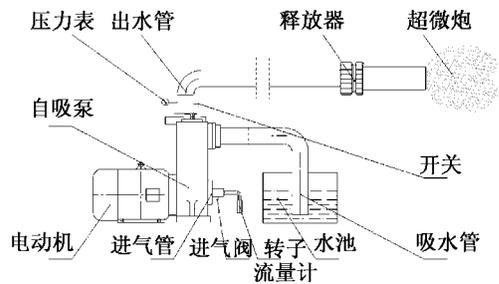


图1 改进型超微泡增氧装置

Fig 1 Improved microbubble aerator

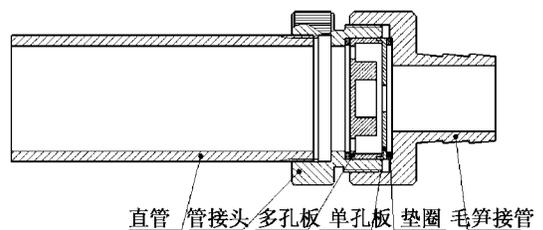


图2 能量释放器结构图

Fig 2 The structure of energy releasing device

池、进行“调零”校验;配制浓度大于 5%的新鲜亚硫酸钠溶液。

2.2.2 注水测量初始温度及溶解氧浓度

将水池中原有的水排出,池壁与池底清洗干净,向水池中注入自来水,水深 0.5 m,测得水体温度为 22℃,初始溶解氧浓度为 4.9 mg/L。

2.2.3 消氧

在水池中缓慢加入 Na_2SO_3 溶液,搅拌均匀,消氧原理为 $2\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{O}_2 = 2\text{Na}_2\text{SO}_4$,用 CoCl_2 作催化剂,加速化学反应。用 RSS-5100 便携式数字测氧仪监测水中残余的溶解氧,消氧后的水体溶解氧接近零 (0.002 mg/L)。

2.2.4 开机运行

开机运行前,将进气阀关闭,待自吸泵正常运行后,打开进气阀。控制转子流量计的进气量为 0.30 m^3/h 。观察发现释放器的出水口有大量的小气泡产生 (图 3)。每隔 1 min 测量记录水中的溶解氧。

2.2.5 对比观察

待水中氧气的浓度不再发生变化时,用烧杯分别盛满充氧水,对光观察超微泡 (图 4),静置一段时间观察水中气泡的状态。用量筒装满溶氧水,测量计算气泡直径的大小。



图 3 工作状态
Fig 3 Working station



图 4 观察超微泡
Fig 4 Observing microbubbles

2.3 数据记录与数据处理

正常工作后,每隔 1 min 测量并记录水体的溶解氧浓度,得到表 1 实验数据。将实验数据采用坐标法处理得到图 5, x 轴为测量溶解氧的时间, y 轴表示水体中的溶氧量。

表 1 实验数据 (水温 22℃, C_s 为 8.8 mg/L)

Tab 1 Experimental data (water temperature 22℃, C_s : 8.8 mg/L)

充氧时间 (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溶解氧 (mg/L)	0.11	1.42	2.30	4.14	5.45	6.02	6.68	6.68	7.14	7.85
充氧时间 (min)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
溶解氧 (mg/L)	8.47	8.86	9.13	9.44	9.62	9.75	9.84	9.95	10.02	10.11
溶解氧 (mg/L)									10.02	10.11
溶解氧 (mg/L)										10.15

在上述图 5 中,可以看出开机 0~15 min 水中的溶氧量急剧上升, 15 min 后,溶氧量缓慢上升,接近 10.1 mg/L。主要原因是开机后短时间内,水中溶解氧接近零,充入水中的气泡,扩散速度较快,氧气的吸收率比较高,开机一段时间后,氧气的浓度接近饱和,气泡的扩散速度较慢,而且大量气泡上升至水面,氧气的吸收率较低。

2.4 性能参数计算

通过计算比较增氧机的增氧能力 Q_s , 氧气的吸收率 E 和动力效率 E_p 3 个性能参数来考察增氧机的性能^[7]。

2.4.1 标准增氧能力 Q_s

① 任意水温下氧质量转移系数

$$K_{La}(T) = \ln \frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \times \frac{60}{t_1 - t_2} \quad (\text{m in}^{-1})$$

式中: T ——试验用水的温度 ($^{\circ}\text{C}$)

C_s ——饱和溶氧浓度值 (mg/L) (22°C 时, $C_s = 8.8$)

C_1, C_2 —— t_1, t_2 时的溶氧浓度值 (mg/L)

t_1, t_2 —— C_1, C_2 的读数时刻 (min)

由图 5 可知: 饱和溶氧浓度的 10% 所对应的时间 $t_1 = 2.2 \text{ min}$, 对应的溶氧浓度 $C_1 = 0.88 \text{ mg/L}$; 饱和溶氧浓度的 75% 所对应的时间 $t_2 = 8.1 \text{ min}$, 对应的溶氧浓度 $C_2 = 6.62 \text{ mg/L}$ 。

所以, $K_{La}(22) = \ln \left(\frac{8.8 - 0.88}{8.8 - 6.62} \right) \times \frac{60}{8.1 - 2.2} = 13.02 (\text{m in}^{-1})$

② 标准水温下氧质量转移系数

$$K'_{La}(20) = K_{La}(T) / 1.024^{(T-20)} = 12.42 (\text{m in}^{-1})$$

③ 标准增氧能力 Q_s (计算得实验用水的体积为 0.56 m^3 , 20°C 时 $C_s = 9.17 \text{ mg/L}$)

$$Q_s = K'_{La}(20) \times V \times C_s \times \frac{1}{1000} \times 60 = 1.908 [\text{kg}(\text{O}_2) / \text{h}]$$

2.4.2 氧气吸收率 E

查得空气密度 $\rho = 1.146 \text{ kg/m}^3$, 转子流量计 $V_{\text{吸}} = 0.30 \text{ m}^3 / \text{h}$, 溶氧值为 8.83 mg/L 时, 对应的运行时间为 12 min , 所以

$$Q_{\text{空气}} = \rho V_{\text{吸}} \times 20\% = 1.146 \times 10^{-3} \text{ kg/m in}$$

$$Q_{\text{吸氧}} = 8.83 \text{ mg/L} \times 0.56 \text{ m}^3 \div 12 \text{ min} = 4.12 \times 10^{-4} \text{ kg/m in}$$

氧气吸收率 $E = Q_{\text{吸氧}} / Q_{\text{空气}} \times 100\% = 36\%$

($Q_{\text{空气}}$ —— 空气的流量, $Q_{\text{吸氧}}$ —— 被试验用水吸收的氧气)

2.4.3 动力效率 E_p

试验用自吸泵正常工作时的功率为 550 W , 所以, $E_p = 3.469 [\text{kg O}_2 / \text{kw} \cdot \text{h}]$

2.5 气泡直径的测定

通常情况下, 有气泡稳定时间法、动态显微摄影法、消光度法等 3 种气泡直径测定方法^[8-9]。其中“气泡稳定时间法”最简单、直观, 较好的表示了水中微气泡的平均尺寸大小, 是经常采用的一种方法。本试验采用了“气泡稳定时间法”来测量计算微气泡直径。

由于微气泡绝大多数直径小于 $50 \mu\text{m}$, 因此, 可按下式计算微气泡在上浮时的流态雷诺数 Re 即

$$Re = \frac{u \times r}{\nu}$$

式中: u ——气泡上升速度 (cm/s);

r ——微气泡半径 (cm);

ν ——水的运动粘滞系数 (cm^2/s)。

微气泡在水中上浮时雷诺数 $Re \ll 1$, 因此, 其上浮速度符合斯托克斯公式:

$$u = \frac{G}{18 \mu} (\rho_{\text{水}} - \rho_{\text{气}}) d^2 \quad (1)$$

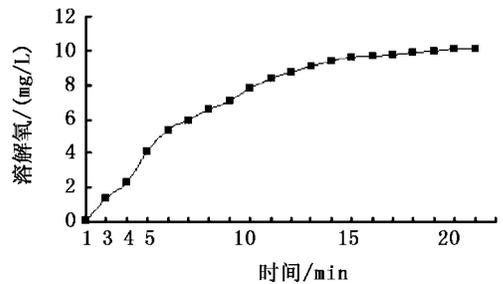


图 5 溶氧量随时间的变化曲线

Fig 5 Variation curve of DO with time

式中: $\rho_{\text{水}}$ ——水的密度 $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$;

$\rho_{\text{气}}$ ——气泡密度, 1.29 kg/m^3 ;

g ——重力加速度, $9.8 \text{ m}^2/\text{s}$

μ ——水的动力粘滞系数, 1.005×10^{-3} 泊。

由上式可知, 气泡尺寸一定时, 它在水中的上升速度是一定的。设量筒高为 h (cm), 气泡稳定时间为 t 则微气泡上升速度为

$$u = \frac{h}{t} \quad (2)$$

将待测充气水盛满量筒, 肉眼观察并记录量筒中微气泡群的下界面浮升至某一固定高度时所需的时间 t 此即为“气泡稳定时间”。

$$\text{由公式 (1) 和 (2) 得到气泡直径 } d = \sqrt{\frac{18 h \mu}{N g t (\rho_{\text{水}} - \rho_{\text{气}})}} \quad (3)$$

表 2 试验数据 (水温 22°C , C_s 为 8.8 mg/L)

Tab 2 Experimental data (water temperature 22°C , C_s : 8.8 mg/L)

数据编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
上升距离 (cm)	20.3	15.1	15.5	16.6	18.2	20.0	19.4	12.5	13.2	16.5
上升时间 (s)	60.1	46.5	48.4	52.2	55.3	56.7	58.0	32.5	35	46.2
数据编号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
上升距离 (cm)	10	12.5	13	14.6	15.8	16.9	17.5	18.4	19.5	
上升时间 (s)	25.4	30.2	32.0	36.5	38.4	40.1	42.1	44.8	53.4	

根据公式 (3), 对表 2 中的实验数据进行处理后, 即可计算出微气泡直径 d 。通过计算得出微气泡直径为 $10 \sim 120 \mu\text{m}$, 平均直径为 $40 \mu\text{m}$ 。

3 结论

在对原超微泡增氧装置进行深入研究的基础上, 提出改进方案, 初步设计出改进型超微泡增氧装置实验室模型, 并通过实验进行验证后, 可以初步得出以下结论: (1) 通过实验验证, 改进后的超微泡增氧装置正常开机运行 22 min 实验水体溶氧量达到饱和, 计算得到微气泡的直径范围是 $10 \sim 120 \mu\text{m}$, 平均直径为 $40 \mu\text{m}$ 左右, 标准增氧能力为 $1.908 \text{ kg(O}_2)/\text{h}$ 氧吸收率为 36% , 动力效率为 $3.469 \text{ kg(O}_2)/\text{h}$ 增氧效率较高。(2) 通过改进, 可省去 1 台自吸泵、1 个射流器和 1 只能量释放器, 在达到同样增氧效果前提下, 简化了装置, 降低成本约 50% 左右, 运行平稳可靠。改进方案可行, 便于应用推广。

参考文献:

- [1] 茆晴生. 高密度养鱼增氧方法分类与溶解氧饱和度及水中气泡直径大小阈值的关系研讨 [J]. 渔业机械仪器, 1987, 13(4): 3-5.
- [2] 殷肇君, 马雄英, 陈雄骁. 超微泡增氧装置 [J]. 渔业现代化, 2003, 30(5): 29.
- [3] 殷肇君, 陈雄骁. 超微泡增氧装置. 中国 2534813 [P]. 2002.
- [4] 盛凯, 吴尚华. YP-1.5 型多用喷水式增氧机的设计与研究 [J]. 吉林工学院学报, 1997, 18(2): 20-25.
- [5] 尉伟敏. 影响淋水增氧效率若干参数的初步研究 [J]. 渔业机械仪器, 1996, 23(3): 16-18.
- [6] 余立新, 胡伯成, 唐锡良, 等. 增氧机增氧能力试验方法 [S]. 中华人民共和国农业部, SC/T 6009-1999, 1999.
- [7] 殷肇君. 水产养殖机械 [M]. 上海: 上海船舶研究所印刷厂, 1989, 74-77.
- [8] 郭烈锦. 两相与多相流动力学 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002, 279-449.
- [9] 孔珑. 两相流体力学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000, 2-83.