

水-空气引射式冰下深水增氧机的设计与性能试验研究

庞云芝, 李秀金

(北京化工大学, 北京 100029)

摘要: 根据水-空气引射原理设计了一种新型增氧机, 可同时进行冰下和深水的增氧, 以解决我国北方地区冬季鱼类供氧和鱼池水质净化问题。对其主要结构参数进行了设计计算和试验研究。结果显示, 当喷嘴直径 $d_{p1} = 25 \text{ mm}$ 、混合室直径 $d_3 = 48 \text{ mm}$ 、截面积比 $f_3/f_{p1} = 3.69$ 时, 该装置的进气量最大, 增氧动力效率最高; 进气量与增氧动力效率之间呈正相关关系; 增氧动力效率随深度的增加而提高, 增加率为 $0.49 \text{ kg O}_2 \cdot \text{m}^{-1}$; 喷嘴位置对动力效率和进气量并无影响。同时还建立了有关参数的回归方程式。

关键词: 引射器; 增氧机; 增氧动力效率; 冰下增氧; 深水增氧

中图分类号: S969.325; S962.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)03-0112-04

1 引言

我国的水产养殖起源于南方, 近年来, 水产养殖业在北方地区也得到了迅速的发展。但其养殖条件与南方有很大区别, 其中一个重要的不同就是鱼的越冬问题。北方冬季寒冷而漫长, 养鱼塘长时间被冰层覆盖, 冰下水体不能与空气接触而补充氧气; 阳光又很少能透过冰层, 光合作用弱, 浮游生物的生长活动受到限制。因此, 很容易造成水体的缺氧。缺氧时厌氧微生物活动加强, 会分解产生 CH_4 、 H_2S 和 NH_3 等有害物质, 污染水体和鱼的生存环境, 危及鱼类, 常导致鱼生病甚至大量死亡。我国目前鱼塘使用的大多是表面增氧机, 只能对水体表层增氧, 对冰封的鱼塘无法使用。因此, 设计一种冰下增氧装置就显得尤其重要。此外, 不论是南方还是北方地区, 由于表层水与空气直接接触, 较易溶解空气中的氧气, 且表层水受阳光直接照射, 浮游生物的光合作用强, 产生的氧气溶于表层水中, 使得表层水的含氧量常高于深层水的含氧量。因此, 也需要对深层水体进行增氧^[1-4]。这对深水鱼类而言显得更为重要。为此, 我们设计了一种新型的能同时进行冰下和深水增氧的装置, 并对其进行了试验研究。

2 设计计算

2.1 设计方案

一般的表面增氧装置是通过把水搅起或洒向空中, 使水与空气冲撞接触达到增氧的目的^[5]。而若要实现冰下和深水增氧, 则须把空气吸入冰下或深水处, 使水和空气在冰下或深水处进行混合, 空气中的氧溶解到水体中, 达到向水中增氧的目的。表面增氧是把水破碎成小水珠, 空气中的氧溶入小水珠中; 若把空气吸入水中, 则是把空气破碎成小气泡, 小气泡中的氧溶入水中。两种增氧方法的溶氧方式是完全不同的。有许多方法可以

实现向冰下和深水中增氧。通过水-空气引射的原理, 把空气引入水中并破碎成小气泡是一种有效的增氧方式。这种设计方案的基本结构和工作原理如图1所示。该增氧装置由两大部分组成, 左边是一个水平放置的普通潜水电泵(图中未示出), 右边是一个水-空气引射器。由潜水泵射出的水流通过锥型喷嘴1喷出, 水流在喷嘴1处突遇收缩, 速度迅速增大, 压力突然减小, 于是在喷嘴出口处产生负压, 水面上的空气通过吸气管5被吸入接受室2, 并与由喷嘴1射出的高速水流剧烈冲撞而被破碎成许多微小的气泡, 然后与水流一起经混合室3和扩压室4喷射到水体中, 气泡随着水流剧烈搅动, 实现氧向水体的传递。整个装置水平置于水体的底部, 只有一个进气管露出水面, 因此, 不会受结冰的影响。另一方面, 由于空气可被吸入较深的水体中, 因此, 可实现深水处的增氧。整个装置被放置在一个可调节的支架上, 通过调节支架在水体中的高度, 可实现对不同深度水体的增氧。

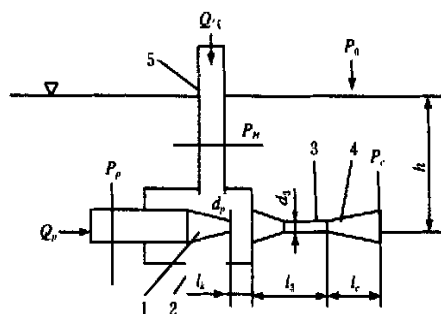


图1 水-空气引射器设计示意图

Fig. 1 Schematic of water-air spurtor design

2.2 设计计算

根据黄秋云等提供的引射器的设计方法进行参数的初步设计^[6,7]。已知潜水泵的出水流量 $Q_p = 60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, 扬程 $H = 7 \text{ m}$, 出水口径 = 90 mm , 进气管直径 = 90 mm 。其主要计算过程如图2。其中(参看图1): P_p —工作介质(水)的压力, P_H —引射介质(空气)的压力, P_c —压缩介质(水-空气混合物)的压力, d_{p1} —喷嘴直径, f_{p1} —喷嘴的截面积, d_3 —混合室直径, f_3 —混合室

收稿日期: 2002-02-01

作者简介: 庞云芝(1965-), 女, 工学硕士, 讲师, 主要从事通用机械和环保机械的设计研究工作。北京市北三环东路29号 北京化工大学机电工程学院, 100029

的截面积, f_3/f_{p1} —混合室与喷嘴截面积比, l_c —扩压室 介质流量。
长度, l_3 —混合室长度, Q_p —工作介质流量, Q_H —引射

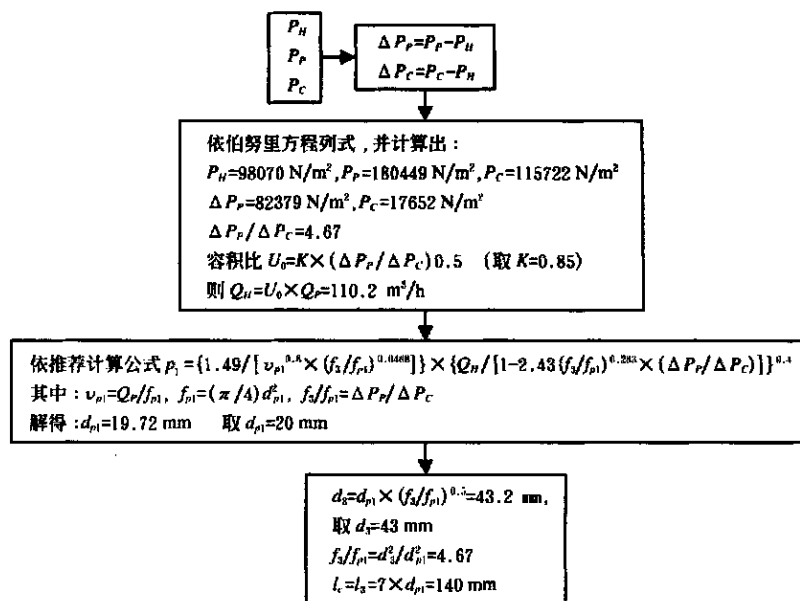


图2 设计计算过程略图

Fig. 2 Flow diagram of design and calculation

3 性能试验结果

引射器的主要结构参数通过1中的步骤已经计算出来, 但计算值并不一定是最优值。最优参数仍需通过试验确定。此外, 这些参数的变化对增氧机性能的影响也需要通过试验才能知道。为此, 在计算值的基础上, 对 d_{p1} 和 d_3 的尺寸进行了放大, 设置了3个 d_{p1} 和3个 d_3 尺寸, 2组尺寸组合产生9个不同的截面积比 f_3/f_{p1} , 其值在2.05~7.02之间(表1)。对这9种不同的 f_3/f_{p1} 进行了实验室试验研究。试验在一个直径4 m、深2.5 m的室内圆形水槽里进行。以增氧动力效率(AE)作为主要衡量指标, 研究了各参数对增氧动力效率的影响, 确定了最佳 f_3/f_{p1} 比值和相应的 d_{p1} 、 d_3 等尺寸。增氧动力效率(AE)的测定和计算方法见参考文献[8]。

表1 引射器9种不同尺寸组合

Table 1 Nine spurtors with different configuration parameters

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d_{p1}/mm	20	20	20	25	25	25	30	30	30
d_3/mm	43	48	53	43	48	53	43	48	53
f_3/f_{p1}	4.62	5.76	7.02	2.96	3.69	4.49	2.05	2.56	3.12

3.1 截面积比对增氧动力效率的影响

截面积比 f_3/f_{p1} 对增氧动力效率AE有重要影响(图3)。 f_3/f_{p1} 比适当, 吸入的空气量大, 与适量的水混合冲撞后形成的气泡数目多、直径小, 水-气接触面积大, 从而可获得较高的动力效率。若截面积比不适当, 吸入的空气量少, 水-气冲撞力度弱, 气泡的数目少、直径大, 动力效率就会降低。 f_3/f_{p1} 与AE间呈开口向下的抛物线关系, 并可用如下回归方程表示(相关系数 $R =$

0.91):

$$AE = 0.535 + (f_3/f_{p1}) - 0.027(f_3/f_{p1})^2$$

根据该回归方程计算可知, AE达最大值时 f_3/f_{p1} 为3.24。试验结果显示, AE达最大值1.04 kg O₂ · (kW · h)⁻¹ 时 f_3/f_{p1} 为3.69。两者的 f_3/f_{p1} 值相近, 但与计算值 $f_3/f_{p1} = 4.67$ 相差较大。说明计算得出的 f_3/f_{p1} 只能作为设计时参考, 最优 f_3/f_{p1} 值仍需通过试验或回归方程来确定。就本试验而言, 可确定3.69为最佳截面积比。参照表1可以看出, 与此截面积比相对应的喷嘴直径 $d_{p1} = 25 \text{ mm}$ 、 $d_3 = 48 \text{ mm}$ 。

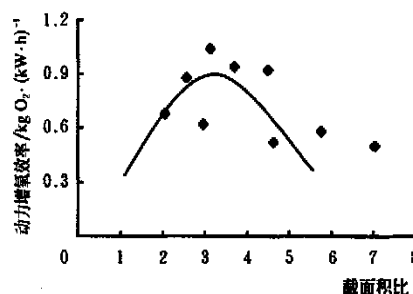


图3 截面积比对增氧动力效率的影响

Fig. 3 Effect of f_3/f_{p1} on aeration efficiency

3.2 截面积比对进气量的影响

截面积比 f_3/f_{p1} 与进气量 $Q_{\text{气}}$ 之间也呈开口向下的抛物线关系(图4), 并可用下式表示(相关系数 $R =$

$$Q_{\text{气}} = 31.7 + 18.5(f_3/f_{p1}) - 2.6(f_3/f_{p1})^2$$

依此回归方程计算得出, 当 $f_3/f_{p1} = 3.56$ 时, $Q_{\text{气}}$ 达最大值 $64.6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; 实际测量结果是, 当 $f_3/f_{p1} =$

3.69 时, $Q_{\text{气}}$ 达最大值 $64.0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 。计算值与实测值非常接近。由 2.1 的结果已知, AE 也是在 $f_3/f_{p1} = 3.69$ 时达最大值, 说明 AE 与 $Q_{\text{气}}$ 之间存在某种正相关关系。

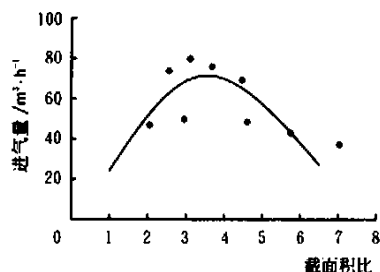


图 4 截面积比对进气量的影响

Fig. 4 Effect of f_3/f_{p1} on air intake

3.3 进气量与增氧动力效率之间的关系

进气量 $Q_{\text{气}}$ 与增氧动力效率 AE 呈正相关的线性关系 (图 5)。进气量 $Q_{\text{气}}$ 越大, 动力效率 AE 越高; 反之, 则 AE 越小。进气多, 可增加水-气接触面积, 并且由于水、气冲撞作用增强, 产生的气泡多、直径小, 有利于提高增氧动力效率。因此, 通过优化设计, 最大限度地增加进气量是提高增氧动力效率的有效途径之一。进气量与增氧动力效率之间呈正相关关系 (相关系数 $R = 0.96$):

$$AE = 0.012 \times Q_{\text{气}} + 0.05$$

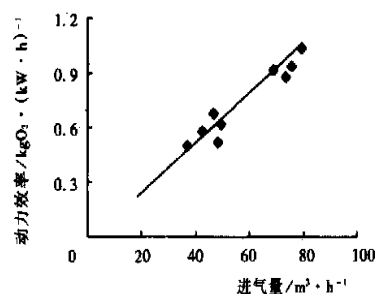


图 5 进气量与增氧动力效率之间的关系

Fig. 5 Effect of air intake on aeration efficiency

3.4 深度对增氧动力效率的影响

美国 Morgan 和 Bewta 于 1963 年曾对扩散式增氧机进行试验, 得出氧气吸收率与深度呈线性关系^[3]。因增氧机种类、型式不同, 氧气吸收率与深度之间的关系会有所不同。为了解深度对该增氧机动力性能的影响, 就不同深度对增氧动力效率的影响进行了试验研究。试验最大水深 2.0 m。试验结果显示, 深度 H 与增氧动力效率之间呈线性关系 (图 6) (相关系数 $R = 0.998$):

$$AE = 0.49H + 0.52$$

这是因为, 随着深度的增加, 气泡由引射器出口浮至水面经历的时间变长, 水与气泡的接触时间随之增加, 有利于更多的氧气溶解到水体中; 并且深层水中原有溶氧浓度较低, 氧浓度梯度较大, 有利于氧气溶解速率的提高和增氧动力效率的增加。深度对进风量的大小没有明显的影响。随着深度的增加, 进气量基本保持不变。

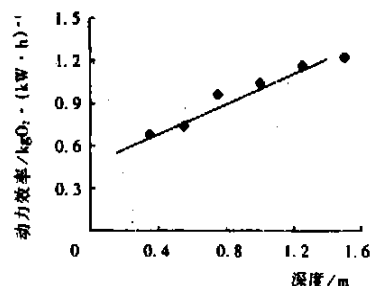


图 6 深度对增氧动力效率的影响

Fig. 6 Effect of depth on aeration efficiency

3.5 喷嘴距混合室的距离对增氧性能的影响

喷嘴位置是指喷嘴离混合室的距离 L_K (图 1), 它们对增氧动力效率和进气量的影响如表 2。可以看出, 喷嘴离混合室的距离对增氧动力效率和进气量没有显著影响, 即增氧动力效率和进气量不随喷嘴位置的大小而改变。因此, 在设计引射器时, 可不考虑喷嘴位置的大小, 只需由结构确定即可。

表 2 L_K 对 AE 和 $Q_{\text{气}}$ 的影响

Table 2 Effect of L_K on AE and $Q_{\text{气}}$

L_K/mm	15	20	25	30	35
$AE/\text{kg O}_2 \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$	1.01	1.04	1.0	1.08	1.02
$Q_{\text{气}}/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	73.0	79.7	75.9	81.7	79.3

3.6 实地试验结果

通过上述设计和试验, 确定了增氧机的优化结构尺寸, 依此设计了 4 台生产样机, 并在新疆乌鲁木齐市水电局养鱼场进行了一个冬季的实地试验。上个冬季该养鱼场最冷时, 鱼塘水面冰厚达 50 cm, 平时使用的叶轮式表面增氧机无法工作, 致使两个鱼塘 30 亩水面长时间冰封, 冰下水体严重缺氧和水质恶化, 导致两个鱼塘 20 t 种鱼全部死亡, 造成了很大的经济损失。而在试验当季, 每个鱼塘放置了两个 3.0 kW 的冰下深水增氧机, 每隔 2 h 增氧 1 次, 每次开机 1 h, 整个冬季没有发生死鱼现象, 达到了预先的目的。

4 结论

1) 根据水-空气引射原理设计的这种增氧机克服了表面增氧机的缺点, 可同时进行冰下和深水的增氧, 为解决我国北方地区冬季鱼类供氧和鱼池水质净化提供了一个新的途径。

2) 在配备本试验潜水泵 (3 kW) 作动力的情况下, 当喷嘴直径 $d_{p1} = 25 \text{ mm}$ 、混合室直径 $d_3 = 48 \text{ mm}$ 、截面积比 $f_3/f_{p1} = 3.69$ 时, 该增氧机的进气量最大, 增氧动力效率最高; 进气量与增氧动力效率之间呈正相关关系, 进气量越大, 动力效率越高; 增氧动力效率随深度的增加而提高, 增加率为 $0.49 \text{ kg O}_2 \cdot \text{m}^{-1}$; 喷嘴位置对动力效率和进气量并无影响。

3) 除了可用于鱼类供氧和水质净化外, 该增氧机还可用作一般污水好氧处理的曝气装置, 具有一机多用的功能。

[参 考 文 献]

- [1] 杨月琴. 特种水产养殖技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1985
- [2] 顾夏声等. 水处理微生物学基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1980
- [3] Wheaton F. Aquacultural Engineering[M]. A Wiley-Interscience Publication, U.S.A., 1977.
- [4] 张肇鲲, 庞云芝. 三管引射式污水曝气装置的研究[J]. 农业工程学报, 1995, 11(1): 180~182
- [5] 巫道镛, 等译. 充气方法的分类[M]. 上海: 渔业机械仪器编辑部, 1980
- [6] 黄秋云, 译. 喷射器[M]. 北京: 科学技术出版社, 1977: 10~85
- [7] 周谟仁, 等. 流体力学泵与风机[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1984
- [8] 高廷耀, 顾国维. 水污染控制工程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999

Design of water-air spurting aerator used under ice and in deep water and experimental study on its performance

Pang Yunzhi, Li Xiujin

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract A new type of aerator, which could be used under ice and in deep water, was designed in terms of water-air spurting principle to solve the problem of oxygen supply for fish and water cleaning in fish pond in the north of China in winter season. The main configuration parameters were determined by calculation and experiment. The results showed that maximum aerating efficiency (AE) was achieved when spurting mouth diameter d_{p1} , mixing chamber diameter d_3 , and section area ratio f_3/f_{p1} of spurting mouth and mixing chamber were 25 mm, 48 mm, and 3.69, respectively, AE was positively correlated with air intake, AE increased with the increase of depth at the rate of $0.49 \text{ kg O}_2 \cdot \text{m}^{-1}$. In addition, several regression equations were established for main configuration parameters.

Key words: spurting; aerator; aeration efficiency; aeration under ice; aeration in deep water

本刊 2003 年第 3 期所刊论文中的优秀英文摘要

综合专家审稿意见、科技论文英文摘要的写作要求及本刊聘请的外教的评审意见, 选出 2003 年第 3 期(第 58、173 页)优秀英文摘要:

1. **Title:** Field evaluation of water flow performance and application efficiency for border irrigation

Authors: Li Jiusheng, Rao Minjie

2. **Title:** Experiment on thin layer drying of pelleted corn seed and its drying model

Authors: Yuan Yueming, Chen Limei, Wang Hongbin, Wang Zhaohui, Yin Haiyan
(本 刊)