

文章编号:1000-582X(2006)08-0074-03

## 自激振荡脉冲射流曝气器的实验\*

康勇烽<sup>1</sup>, 廖振方, 陈德淑, 邓晓刚

(重庆大学机械工程学院, 重庆 400030)

**摘要:**根据流体力学中边界层理论和旋涡理论, 自吸式自激振荡脉冲射流曝气器利用自激振荡腔室代替现有曝气器中的混合管, 使吸入的空气和需氧水体在自激振荡腔室内获得充分的搅拌、混合和充氧, 以脉冲流的方式通过特殊扩散管释放。理论分析和工业性初步实验表明, 该曝气器具有优良的搅拌、混合和曝气性能, 并从扩散管喷射出的需氧水体具有较强的脉冲效应。

**关键词:**射流曝气器; 自激振荡脉冲; 氧传质系数( $K_L\alpha$ ); 脉冲效应

**中图分类号:**TH213.4; TH441

**文献标识码:**A

射流曝气器作为污水处理技术中的主要设备之一, 具有氧吸收率和充氧能力较高, 污泥活性好, 构造简单的优点<sup>[1]</sup>。其不足之处在于:

1) 小气泡容易在扩散管出口的周边区域聚集并形成大气泡从水面溢出, 降低了其传质系数和充氧性能<sup>[2-3]</sup>;

2) 采用长混合管结构导致曝气流体流动摩擦的增加, 降低了曝气器的动力效率增加能耗<sup>[2-4]</sup>;

3) 搅拌效果有限, 有时不得不外加搅拌器促进曝气池中的水体流动以防止死区的发生<sup>[5]</sup>。

所以, 在工程应用中, 往往需要配备额外的动力或设备以充分利用其长处。如何减少各种消耗并提高曝气器的曝气性能, 仍是当前射流曝气器技术的研究热点。

针对以上不足, 笔者根据流体力学中的边界层理论和旋涡理论<sup>[6]</sup>设计了自吸式自激振荡脉冲射流曝气器。该曝气器不仅具有射流曝气器的一般优点, 而且还具有结构紧凑, 充氧性能较高, 以及无需其他机械搅拌等特点。

### 1 传质理论

曝气充氧实质是一个传质过程, 根据“双膜理论”及亨利定律, 氧传递速度方程式可表达为<sup>[7-9]</sup>:

$$\frac{dC}{dt_1} = K_L\alpha(C_s - C_1) \quad (1)$$

式中:  $K_L\alpha$  为氧总传质系数,  $1/h$ ;  $dC_1/dt$  为在单位时间内向单位容积液体中转移的氧量,  $mg/l \cdot h$ ;  $C_s$  为

该温度下液相中的气相饱和浓度,  $mg/L$ ;  $C_t$  为在  $t$  瞬间液相中氧的浓度,  $mg/L$ ;  $t$  是时间,  $h$ ;

$K_L\alpha$  由  $K_L$  和  $\alpha$  组成<sup>[10]</sup>, 但要分别测出  $K_L$  和  $\alpha$  是不现实的, 所以作为一个系数  $K_L\alpha$  对待, 其中:

$$K_L = 2 \sqrt{\frac{D_L}{\pi t_k}} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{A}{V} \quad (3)$$

式中:  $D_L$  为液膜中氧扩散系数,  $m^2/h$ ;  $A$  为气液两相面作用面积,  $m^2$ ,  $V$  为参与作用的液相体积,  $m^3$ ;  $t_k$  为表示气液两相面的平均作用时间,  $h$ 。

式(2)中的  $1/t_k$  表示参与传质作用的气液两相接触面的更新速度 ( $h^{-1}$ ),  $t_k$  越小, 其更新速度就越快,  $K_L$  就越大。式(1)中的参数  $K_L\alpha$ , 表示曝气过程中氧的总传质性能。当传递过程的总阻力大, 则值低, 反之则值高。式(2)、(3)表明, 气液两相面作用面积, 以及该两相面的更新速度都直接对传质速度有影响。形成细微的气泡能增大总传质接触面积  $A$ ; 产生强烈的紊流可促进界面更新提高  $K_L$  值。

### 2 自激振荡脉冲射流曝气器工作原理及结构设计

#### 2.1 自激振荡脉冲射流曝气器的工作原理

自激振荡脉冲射流的工作原理是建立在流体力学的边界层理论和旋涡理论的基础上, 它不需要任何外加辅助装置和能源的条件下, 依靠自身腔室的几何形

\* 收稿日期: 2006-03-21

作者简介: 康勇烽(1981-), 男, 江西泰和人, 重庆大学硕士研究生, 主要从事水射流理论与应用及其在污水处理设备与环保设备的研究与开发。

状、尺寸和特定的边界条件产生自激振荡脉冲效应。

自激振荡脉冲流的工作原理方框图如图 1 所示:

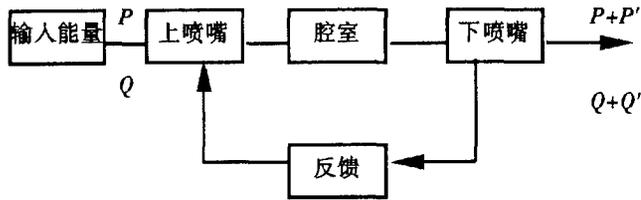
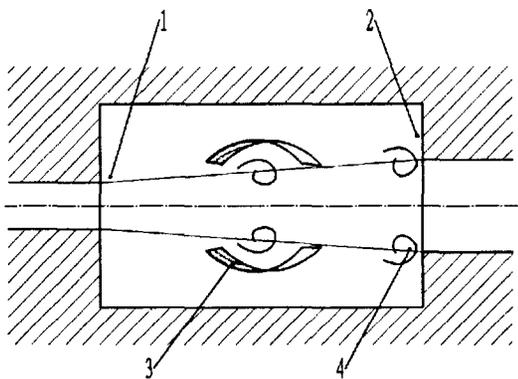


图 1 自激振荡腔室工作原理流程图

当一股射流或剪切流经上喷嘴向下游流动时,如图 2 所示,射流中一定频率范围内的涡量扰动得到放大.在剪切层中形成一连串离散涡环,当其到达碰撞壁并与之相互作用时,在碰撞区产生压力振荡波,该波以声速的速度向上游传播又诱发新的涡量脉动.若分离区与碰撞区的压力脉动相互为反相,就会形成涡量扰动-放大-新涡量脉动的产生的循环过程.该过程不断重复即产生强烈自激振荡。



1 分离区; 2 碰撞区; 3 扰动区; 4 涡环。

图 2 自激振荡腔室工作原理图

扰动波在剪切层的传播速度可以表示为:

$$u'(x) = \phi e^{\alpha_1 x} \exp(i\alpha_R x - i\omega t), 0 \leq x \leq L \quad (4)$$

式中: $\phi = \phi_R + i\phi_1$ ,  $\phi_R$  为实部,  $\phi_1$  为虚部,  $\alpha_1$  为空间增加因子,  $\alpha_R = 2\pi/\lambda$  为波动数,  $\lambda$  扰动波长,  $\omega = \omega_R + i\omega_1$ ,  $\omega_R = 2\pi/T$ ,  $T$  为周期,  $\omega_1$  发展因子,  $x$  为距离上喷嘴的距离。

在分离区 ( $x=0$ ) 和在碰撞壁处 ( $x=L, L$  为腔长) 的速度可分别用式(5), 式(6)表示

$$u'(0) = \phi e^{i(-\omega t)}, \quad (5)$$

$$u'(L) = \phi e^{\alpha_1 L} e^{i(\alpha_R L - \omega t)}, \quad (6)$$

在特定条件下,碰撞壁处的扰动速度可达到最大,因此当它反射时,分离区的速度也达到最大,从(5)和(6)式可以得出:

$$\alpha_R L = 2n\pi, n = 1, 2, 3, \dots, \quad (7)$$

式中: $C_s = \omega/\alpha_R, \omega = 2\pi f, fL/C_s = n$ 。

考虑到其他因素的影响(如碰撞壁的几何因素,射流的回旋和振荡腔室形状的影响等),扰动波的有效反馈条件为

$$\frac{fL}{C_s} + \frac{\lambda}{2\pi} = n \quad (8)$$

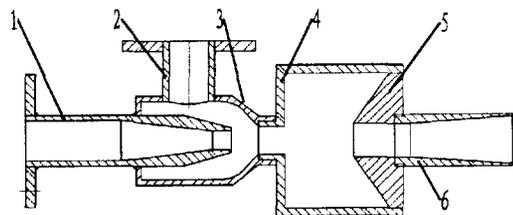
在式(8)中,  $\gamma$  表示扰动波反馈的滞后相位角. 故有:

$$S_L = fL/u_0 = \frac{C_s}{u_0} (n - \frac{\gamma}{2\pi}) n = 1, 2, 3, \dots, \quad (9)$$

式(9)就是有效的反馈条件,即分离区与碰撞区扰动波的相位差为  $2n\pi$ <sup>[11-12]</sup>。

## 2.2 自激振荡脉冲射流曝气器的结构设计

自激振荡脉冲射流曝气器的结构如图 3 所示<sup>[13]</sup>。



1 喷嘴; 2 吸气管; 3 混和室; 4 自激振荡腔室; 5 碰撞壁; 6 扩散管。

图 3 自激振荡脉冲射流曝气器结构

当废水体经过喷嘴 1 形成高速水射流射入混和室 3 时,在混和室内形成低负压,空气(或压力空气、纯氧等)经吸气管 2 被吸入混和室 3 中,然后与射流一起进入自激振荡腔室 4 中,在其中完成搅拌、混合,进入的空气也被剪切成微气泡,水-气两相流再经扩散管 6 以脉冲方式喷射进水体。

水喷嘴 1 的直径由水泵流量及扬程确定. 简便的计算公式为:

$$d = \sqrt{\frac{Q_s}{3.28 \times H^{1/2} \times 3600}}, \quad (10)$$

式中,  $Q_s$  为水泵流量,  $m^3/h$ ;  $H$  为水泵扬程,  $mH_2O$  (米水柱);  $d$  为水喷嘴直径,  $m$ 。

水喷嘴距振荡腔的腔室上喷嘴的距离为喉嘴距,试验研究表明,喉嘴距在  $(1-2)d$  范围内. 振荡腔下喷嘴直径应为上喷嘴直径的  $1.1 \sim 2$  倍,腔内直径应为上喷嘴直径的  $2 \sim 8$  倍. 扩散管用于将水的动能转化成压能,扩散管的扩散角为  $4 \sim 8^\circ$ 。

## 2.3 自激振荡脉冲射流提高充氧性能的机理

提高氧到水体中的转移速度的方法有提高  $K_L\alpha$  值和提高  $C_s$  值<sup>[10]</sup>。在相同条件下,前者远比后者容易实现.  $K_L\alpha$  值的提高,可以利用自激振荡循环过程完成. 气-液两相混合液在振荡腔中发生如下作用:

1) 气-液两相接触面在剧烈的自激振荡作用下快速的进行变换,加速了气-液界面上液膜的更新;

2) 需氧水体在自激振荡剪切场中发生剧烈的紊动和剪切,提高了水体的对流扩散能力,气-液获得充分的混合;

3) 脉冲喷射减小了气泡聚并的可能性;  
4) 剪切场将气泡剪切更小,提高了气-液两相面的接触面积;

5) 微小气泡同时延长了其在水中的停留时间,即延长了传质时间,提高氧的转移效率。

因此,自激振荡循环过程提高了  $K_L\alpha$  值。

### 3 现场试验及观察

实验方法采用的是常规的清水非稳态吸收实验方法,加入亚硫酸钠和催化剂氯化钴消耗需氧水体中的初始溶解氧为零,然后向水体中曝气,直至达到饱和,其间以一定时间间隔测量和记录水体中的溶解氧量。

#### 3.1 实验及测试用设备

潜污泵:最大流量为  $40\text{ m}^3$ ,扬程为  $15\text{ m}$ ;当地海拔:  $330\text{ m}$ ,该值影响试验水体饱和和溶解氧值;曝气池,长  $2\text{ m}$ ,宽  $1.5\text{ m}$ ,水深  $2\text{ m}$ ,曝气头淹没水深  $1.5\text{ m}$ ;溶氧仪:YS155 型手提式溶解氧测量仪(美国金泉仪器公司产),用以测量水体的温度和溶解氧量;溶解氧量程  $0\sim 20\text{ mg/L}$ ,精度  $0.01\text{ mg/L}$ ;温度量程  $-5\sim 45\text{ }^\circ\text{C}$ ,精度  $\pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$ ;实验时水体温度为  $25.5\text{ }^\circ\text{C}$ ;辅助器材为脱氧剂亚硫酸钠  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  及催化剂氯化钴、秒表、尺等。

#### 3.2 实验数据记录

以  $0.5\text{ min}$  为时间间隔,测得实验数据如表 1 所示(其中浓度标签栏表示水中的溶解氧浓度)。

表 1 水中浓度与随曝气时间的关系

时间/min	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.07	0.72	0.36	0.73	1.80	2.18	2.97	3.70	4.54	5.04
时间/s	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50
浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	5.46	5.79	6.08	6.30	6.50	6.67	6.84	7.00	7.07	7.14
时间/s	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5
浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	7.24	7.34	7.40	7.40	7.50	7.50	7.59	7.61	7.63	7.64
时间/s	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5
浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	7.64	7.58	7.60	7.62	7.64	7.63	7.66	7.66	7.66	7.62

从表中可以看出,第  $1.5\text{ min}$  之前的数据是波动的,水中氧浓度从第  $2.0\text{ min}$  之前才开始持续上升,这是因为在脱氧时,为保证脱氧效果,投入的脱氧剂稍微过量的原因。第  $14.5\text{ min}$  之后的数据也是波动的,因为此时已接近饱和状态,无法再明显提高其浓度了。

#### 3.3 实验观察

在实验中观察到吸气是脉动式的,同时从扩散管中喷射出来的气-液两相液流也具有很强的脉冲性,其频率为  $120\sim 130\text{ 次/min}$ 。该曝气器在重庆市某屠宰厂污水处理厂进行了对比实验,和原来的鼓风曝气相比,从搅拌效果要比原来剧烈,并存在较好的脉冲效果;从曝气气泡要比原来更小更密集。

在成都某皮革厂进行的皮革废水处理时,也采用

该曝气器,原水的 COD 为  $1\ 350$ ,先通过自行设计的脉冲电浮处理装置处理后,COD 降为  $520$ ,再通过本射流曝气器曝气  $6\text{ h}$  后,COD 降为  $180$ ,再经过二次电浮处理,COD 降为  $90$ ,达到国家一级水质要求。

## 4 结论

1) 工业性初步试验表明,本曝气器具有优异的曝气性能;

2) 具有很好的脉冲效果,能很有效地提高现有射流曝气器设备的搅拌能力;

3) 采用振荡腔代替混合管,解决选用长短混合管都造成能耗浪费的问题。

## 参考文献:

- [1] 陈福泰 胡德智 栾兆坤. 射流曝气器研究进展[J]. 环境污染治理技术与设, 2002, 3(2): 76-80.
- [2] 高军,孙厚钧,赵静野. 一种振荡射流充气混合设备[J]. 机械开发, 2000, (4): 60-61.
- [3] LUIS B. FLORES-COTERA, SERGIO GARC'A-SALAS. Gas holdup Foaming and Oxygen Transfer in a Jet Loop Bioreactor with Artificial Foaming Media and Yeast Culture[J]. Journal of Biotechnology, 2005, 116: 387-396.
- [4] 高远,岳晓勤. 浅析影响射流曝气的因素[J]. 中国市政工程, 2002, (96): 49-51.
- [5] MORCHAIN J, MARANGES C, FONADE C. CFD Modelling of a Two-phase Jet Aerator Under Influence of a Cross-flow[J]. Water Research, 2000, 34(13): 3460-3472.
- [6] LIAO ZHENFANG, LI JUN, CHEN DESHU, et al. Theory And Experimental Study Of The Self-Excited Oscillation Pulsed Jet Nozzle[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2003, 16(4): 379-383.
- [7] 张自杰. 排水工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 143-148.
- [8] 翟永彬,俞庭康,沈燕云. 射流曝气器充氧性能研究[J]. 同济大学学报, 1993, 21(1): 179-184.
- [9] CANCINO, BEATRIZ, ROTH, PEDRO, REUB, MANFRED: Design of high efficiency surface aerators: Part 1. Development of new rotors for surface aerators[J]. Aquacultural Engineering, 2004, 31(1-2): 83-98.
- [10] MAIER U, BUCHS J. Characterisation of the Gas-liquid Mass Transfer in Shaking Bioreactors[J]. Biochemical Engineering Journal, 2001, (7): 99-106.
- [11] 廖振方. 自激振荡脉冲射流喷嘴的理论与应用[J]. 煤炭学报, 1989, 12(1): 90-100.
- [12] 廖振方. 自激振荡脉冲射流喷嘴的理论分析[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2002, 25(2): 24-27.
- [13] 廖振方. 射流曝气反应器[P]. 中国专利: ZL200410022454, 2005-12-20.

- [7] 王崇骏,杨育彬,陈世福. 基于高层语义的图像检索算法[J]. 软件学报,2004,15(10):1461-1469.
- [8] HARTMANN C. Recognition of Hierarchically Encoded Images by Technical and Biological Systems [J]. Biological Cybernetics, 1987, 57: 73-84.
- [9] SMITH J R, CHANG S F. Tools and techniques for color image retrieval [A]. In Proc. of SPIE: Storage and Retrieval for Image and Video Database [C]. San Jose, CA, 1996, 2670: 426-437.
- [10] MEER P, GEORGESCU B. Edge detection with embedded confidence [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(12): 1351-1365.
- [11] LI J. Image Database[EB/OL]. <http://www.stat.psu.edu/~jiali/index.download.html>, 2004.

## Approach To Object Semanteme Based Image Segmentation and Classification

XU Chi ,XU Yan-ling

(School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** There exist potential problems in current region-based image retrievals. This paper proposes a novel approach to object semanteme based image segmentation and classification. First, a hierarchical region growing image segmentation is established using HRGSeg algorithm, which can effectively get rid of weak object semantemes and play down the side effect of over-segmentation. Based on it, low-level features like color, edge and texture are extracted mapped into high-level object semantics hierarchically by using SVM. A fairly good experiment result is achieved and shows the feasibility of our approach.

**Key words:** object semanteme; image segmentation; SVM; semantic classification

(编辑 陈移峰)

(上接第76页)

## Mechanism of Self-excited Oscillation Pulsed Jet Aerator

KANG Yong-feng, LIAO Zhen-fang, CHEN De-shu, DEN Xiao-gang

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Based on the theory of boundary layer theory and vortex theory of fluid mechanics, a self-suction self-excited oscillation pulsed jet aerator is introduced. This new type of jet aerator adopts self-excited oscillation cavity to replace the traditional mixing tube, and forces air and oxygen-demand water to intermix, compound and oxygenize violently in the cavity under the effect of self-excited oscillation, eject through the special shaped tail tube in the pulsed mode. Theoretical analysis and preliminary industrial experiments show that the new type of jet aerator has an excellent effect of intermixing, compounding and aerating, and that the oxygen-demand water ejected through the special shaped tail tube has an intensive pulsation effect.

**Key words:** jet aerator, self-excited oscillation pulse, oxygen transfer coefficient ( $K_L\alpha$ ), pulsation effect

(编辑 张小强)