

文章编号:1673-9469(2012)04-0045-03

## HCR工艺的充氧性能研究

孙广垠<sup>1</sup>,郝威尔<sup>2</sup>,陈锐<sup>3</sup>,付民<sup>3</sup>

(1. 河北工程大学 城市建设学院,河北 邯郸 056038 2. 华侨大学 化工学院,福建 厦门 361021 3. 邯郸市市政污水处理有限责任公司,河北 邯郸 056001)

**摘要:**通过紊流变流量清水的曝气试验,研究了HCR反应器的充氧性能,并考察了自制反应器的内径大小、射流量、温度对其性能的影响,得出了影响该反应器氧转移效率的主次因素顺序为:射流量→内筒直径→温度。同时确定出反应器运行的最佳射流量为 $2.5\text{ m}^3/\text{h}$ ,最佳内径为 $7\text{ cm}$ ,为后续的试验提供了可靠的技术参数。

**关键词:**HCR工艺;充氧能力;氧转移效率;动力效率

**中图分类号:**X734

**文献标识码:**A

## The research on aeration performance of HCR process

SUN Guang-yin<sup>1</sup>, HAO Wei-er<sup>2</sup>, CHEN Rui<sup>3</sup>, FU Min<sup>3</sup>

(1. Institute of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China;  
2. Institute of Chemical industry, Huaqiao University, Fujian Xiamen 361021, China;  
3. Handan municipal sewage treatment Co., Ltd., Hebei Handan 056001, China)

**Abstract:**Through the aeration experiment on variable turbulence flow, the aeration performance of HCR reactor was researched. The influence of the inner diameter, jet flow and temperature of self-made reactor to the performance were investigated. We got the sequence of the factors affecting the Oxygen-transfer efficiency as follow jet flow → inner diameter of the reactor → temperature. Meanwhile we confirmed the optimum jet flow of the reactor was  $2.5\text{ m}^3/\text{h}$ , optimum inner diameter was  $7\text{ cm}$ , which provided reliable technical parameters to the following experiments.

**Key words:**HCR process; oxygenation capacity; oxygen-transfer efficiency; dynamic efficiency

随着社会的迅猛发展,城市建设日新月异,而市政设施的建设往往跟不上城市发展的需要,导致一些城乡结合部居住区、别墅等居住区的生活污水不能排入城市污水管网,尤其是一些旅游景点、部队的驻扎营房和部分远离城市的工业厂房排出的有机污水更不能得到处理就直接进入自然水体。因此,亟待开发一种小型、高效的生活污水降解与处理装置来解决目前这些问题。HCR工艺(High Performance Compact Reactor)占地面积小,氧的转移速率高,反应器的容积负荷大,水力停留时间短,是当前为西方国家所广泛接受的一种高效好氧生物处理方法<sup>[1]</sup>。

本实验就是对HCR反应器内的清水进行紊流变流量曝气试验,来研究其充氧性能,并通过试

验数据分析考察自制反应器的内径、射流量、温度对其充氧效果的影响,确定该工艺较佳工况条件,为HCR反应器的推广应用提供理论依据。

### 1 氧转移的基本规律及参数

#### 1.1 氧转移的基本规律

目前在水处理领域,气体分子在通过气膜和液膜间的传递理论中应用较广的是“双膜理论”<sup>[2]</sup>,根据双膜理论推导出氧转移速率公式

$$\frac{dC}{dt} = K_L(C_s - C) \quad (1)$$

式中 $C$ 、 $C_s$ —曝气时间为 $t(\text{min})$ 时和饱和时的溶解氧浓度( $\text{mg/L}$ ); $K_L$ —氧总转移系数( $1/\text{min}$ )。

收稿日期:2012-10-02

作者简介:孙广垠(1974-),男,内蒙古宁城县人,副教授,从事水处理与水资源化研究。

## 1.2 曝气充氧性能主要评价指标<sup>[3]</sup>

氧总转移系数  $K_{La}$ : 将式(1)积分整理后有

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

将上述试验中得到的  $K_{La}$  转换成  $K_{Las}$  得

$$K_{Las} = K_{La} \cdot \theta^{20-T} \quad (3)$$

式中  $K_{Las}$  - 标准状态、测试条件下, 曝气器氧总转移系数 (1/min);  $T$  - 测试水温 (°C);  $\theta$  - 温度修正系数 (1.024)。

充氧能力  $q_c$

$$q_c = K_{Las} \cdot V \cdot C_{s(20)} = 0.55 \cdot V \cdot K_{Las} \quad (4)$$

式中  $V$  - 测试水池中水的体积 ( $m^3$ );  $C_{s(20)}$  - 20°C 水中饱和溶解氧浓度 (9.17 mg/L)。

理论动力效率  $E$

$$E = \frac{q_c}{N_T} \quad (5)$$

式中  $E$  - 标准状态下曝气器充氧理论动力效率 ( $kg/kW \cdot h$ );  $N_T$  - 射流曝气器理论功率 ( $kW \cdot h$ )。

射流曝气按供气方式分为供气式和自吸式两种<sup>[4]</sup>, 本试验采用自吸式。

自吸式射流曝气器理论功率

$$N_T = \frac{H \cdot Q \cdot \gamma}{102 \times 3.6} \quad (6)$$

式中  $N_T$  - 水泵理论功率 ( $kW \cdot h$ );  $H$  - 水泵扬程 (m);  $Q$  - 通过射流量 ( $m^3/h$ );  $\gamma$  - 水的容重 ( $kg/m^3$ )。

## 2 实验部分

### 2.1 实验装置

HCR 反应器装置外筒直径为 13 cm, 高度为 70 cm。利用循环泵把试验水提升增压在反应器中进行射流曝气充氧。水流沿导流筒向下与反应器底部接触后在内筒与外筒之间向上流动, 之后受高速射流的剪切作用向下形成往复循环。

### 2.2 实验方法

本实验采用清水作为试验对象, 把反应器加满后, 保持进水阀门、出水阀门和污泥回流阀门处于关闭状态。启动循环水泵前, 用无水亚硫酸钠对清水进行完全脱氧处理, 试验过程中间隔一段时间测定溶解氧量, 直至饱和为止。水中溶解氧的变化率见公式(2)。根据充氧过程的  $C \sim t$  关

系, 作  $t \sim \ln(C_s - C)$  关系坐标图, 得直线, 直线的斜率即为  $K_{La}$  值, 进而通过计算可求出充氧能力和理论动力效率值。

## 3 结果与讨论

### 3.1 最佳内径的确定

制备直径为 4 cm、4.8 cm、7 cm 和 8 cm 的反应器内筒, 取射流量分别 2.2、2.3、2.35、2.5、2.6、2.7、2.8 和 2.9  $m^3/h$  进行实验, 可以得到不同内径时射流量与充氧能力的关系曲线如图 1 所示。

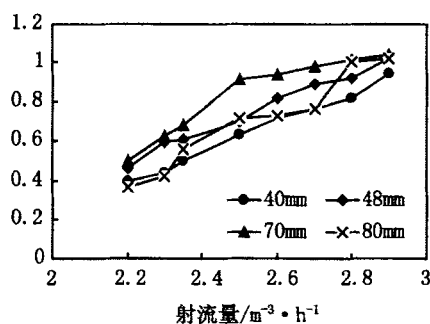


图1 内径与射流量对反应器充氧能力的影响

Fig.1 Effect of jet flow on oxygen transfer efficiency and power efficiency with different internal diameter

由图 1 可知, 不同内径下对应的射流量的充氧能力不同, 在内径等于 7 cm 时, 充氧能力最大, 因此将本试验反应器的最佳内筒直径确定为 7 cm。

### 3.2 最佳射流量的确定

不同射流量下对氧总转移系数和理论动力效率的影响如图 2 所示。

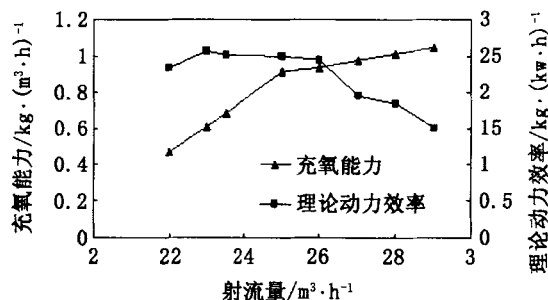


图2 射流量对氧总转移系数和动力效率的影响

Fig.2 Effect of jet flow on oxygen transfer efficiency and power efficiency

由图 2 知, 随着射流量的增加, 充氧能力也随之增大, 但是理论动力效率却降低。当理论动力效率最大时, 充氧能力却比较弱。在权衡两者关系的前提下, 将 2.5  $m^3/h$  定为最佳射流量, 此

时理论动力效率与充氧能力都比较高。

3.3 水温对充氧能力的影响

水温对氧的转移影响比较大,水温升高时,氧总转移系数增高;但是水温对溶解氧饱和度  $C_s$  值也会产生影响,温度升高使  $C_s$  值降低。充氧能力水温的变化如图 3 所示。

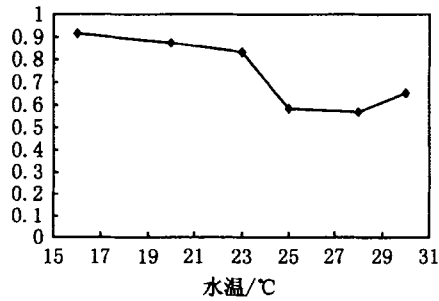


图3 充氧能力随水温的变化

Fig.3 The influence of water temperature on oxygenation capacity

从图 3 可以看出,温度的升高,氧总转移系数

总体上呈下降趋势,但是在局部温度变化范围有所上升。表明由于温度变化而引起的饱和溶解氧的变化对氧转移速率起着决定性的作用,水温较低时有利于氧的转移。

3.4 正交试验

在本试验中,内筒直径、射流量和温度是影响  $K_{La}$  值的三个主要因素。每个因素确定 4 个级级,如表 1 所示。利用单一水平正交表  $L_{16}(4^3)$  进行试验方案的设计。按表 1 设置正交试验,需做 16 次试验,试验结果见表 2。

表 1 正交试验因素水平表

Tab. 1 The factors and levels of orthogonal test table			
水平	A 温度/℃	B 射流量/ $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$	C 内径/cm
1	16	2.2	4
2	23	2.5	4.8
3	28	2.7	7
4	30	2.9	8

表 2  $L_{16}(4^3)$  试验和计算结果

Tab.2  $L_{16}(4^3)$  orthogonal test and calculation results

试验号	A(1)	B(2)	C(3)	空白(4)	空白(5)	测试指标 $K_{La}$
1	1	2	3	2	3	1.402
2	3	4	1	2	2	1.900
3	2	4	3	3	4	2.038
4	4	2	1	3	1	1.205
5	1	3	1	4	4	1.636
6	3	1	3	4	1	0.694
7	2	1	1	1	3	0.789
8	4	3	3	1	2	1.277
9	1	1	4	3	2	0.624
10	3	3	2	3	3	0.899
11	2	3	4	2	1	1.080
12	4	1	2	2	4	0.817
13	1	4	2	1	1	1.625
14	3	2	4	1	4	1.054
15	2	2	2	4	2	0.900
16	4	4	4	4	3	1.372
K1j	5.289	2.926	5.532	4.747	4.606	
K2j	4.809	4.562	4.243	5.201	4.701	
K3j	4.549	4.894	5.413	4.768	4.464	
K4j	4.672	6.937	4.131	4.603	5.548	
$\bar{K}1j$	1.763	0.975	1.844	1.582	1.535	$T = \sum_{i=1}^{16} K_i =$
$\bar{K}2j$	1.603	1.520	1.414	1.733	1.567	$= 19.32062$
$\bar{K}3j$	1.516	1.631	1.804	1.589	1.488	$\bar{y} = T/16 =$
$\bar{K}4j$	1.557	2.312	1.377	1.534	1.849	1.207539
Rj	0.246	1.336	0.466	0.199	0.361	
Sj	0.078	2.034	0.416	0.049	0.178	$S_T = 2.758723$
因素主到次	B	C	A			

氧化硫的污染集中体现在华北地区及东北地区南方部分城市。氮氧化物的发生主要集中在华南及华东地区,内陆城市发生频率较低。我国大气主要污染物的发生在地域上具有同一性。

3)就2011年空气质量评价来看,全年可吸入颗粒物发生频率较高的城市有枣庄、淄博、济宁、济南、兰州、西宁。空气质量为优良的情况为南方城市优于北方。轻微污染、轻度污染、中度污染发生频率较高的城市多集中在北方内陆城市。中度重污染及重度污染情况发生较多的城市为乌鲁木齐、兰州、赤峰三市。我国南北方地区的空气质量有明显差异,南方城市的空气质量优于北方城市。

#### 参考文献:

- [1] 邓伟,陈怀亮,杨海鹰,等. Models-3/CMAQ 模式对郑州市大气污染物的预报分析研究[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(1): 54-57.
- [2] 胡友彪,朱正国. 北京市空气质量时间变化特点分析[J]. 北方环境, 2010, 22(2): 64-67.
- [3] WEI ZHEN LU, HONG DI HE, ANDREW Y T LEUNG. Assessing air quality in Hong Kong: A proposed, revised air pollution index (API) [J]. Building and Environment, 2011, 46:2562-2569.
- [4] 佟彦超,万本太. 城市空气质量周报及其进展[J]. 气候与环境研究, 1999, 4(3): 275-282.
- [5] 王斌. 利用空气污染指数(API)分析我国空气污染的区时空变化特征[D]. 青岛:中国海洋大学, 2008.
- [6] 王斌,高会旺. 中国沿海城市空气污染指数的分布特征[J]. 生态环境, 2008, 17(2): 542-548.
- [7] 孙炳彦,刘连友,郭兰兰,等. 我国南北方城市空气质量对比分析[J]. 环境保护科学, 2008, 34(4): 1-5.
- [8] 袁博,肖苏林,蒋大和. 我国城市群空气污染及其季节变化特点[J]. 环境科技, 2009, 22(1): 102-106.
- [9] 李小飞,张明军,王圣杰,等. 中国空气污染指数变

化特征及影响因素[J]. 环境科学, 2012, 33(6): 1936-1943.

- [10] 马宁,刘民. 奥运空气质量保障措施对北京城市空气污染指数的影响及持续效应研究[J]. 中华预防医学杂志, 2009, 43(6): 517-521.
- [11] 马涛,孔令毅,杨凤辉. 上海市城区空气质量现状与分析-兼论对空气质量日(周)报数据的利用[J]. 复旦学报, 2002, 41(6): 604-608.
- [12] 洪盛茂. 杭州主城区大气臭氧对空气污染指数 API 的影响[J]. 中国环境监测, 2010, 26(1): 46-52.
- [13] 张靖,班海群,丁卫东,等. 2002-2004 年河南省大气可吸入颗粒物污染现状及变化趋势分析[J]. 河南预防医学杂志, 2009, 20(3): 161-200.
- [14] 邵天杰,赵景波. 西安空气质量时空变化特征分析[J]. 干旱区研究, 2008, 25(5): 723-728.
- [15] 魏毅,孟亮,李朝阳. 2004-2010 年乌鲁木齐市可吸入颗粒物污染特征[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(1): 82-85.
- [16] 杨浩,钟玉婷,何清,等. 乌鲁木齐和克拉玛依市 2008 年大气质量状况对比分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2011, 5(2): 40-45.
- [17] 陈灿. 广州市 2002-2003 年空气污染指数分析[J]. 四川环境, 2005, 24(5): 20-23.
- [18] 邓小红,宋仲容,李晓. 重庆市主城区大气环境质量变化分析及对策研究[J]. 中国环境监测, 2007, 23(3): 85-88.
- [19] 程丹丹,王丽涛,潘雪梅,等. 基于 CMAQ 模型的邯郸市霾污染来源的模拟研究[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2012, 28(2): 45-48.
- [20] 任阵海,万本太,苏福庆,等. 当前我国大气环境质量的几个特征[J]. 环境科学研究, 2004, 17(1): 1-9.
- [21] 马芳,王丽涛,潘雪梅. 基于 MM5-Models-3/CMAQ 的中国地区大气污染模拟[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2010, 27(4): 57-62.

(责任编辑 马立)

(上接第 47 页)

从表 2 可得:对氧转移效率的影响重要性顺序为 B(射流量)→C(内筒直径)→A(温度)。

## 4 结论

反应器最佳内筒直径为 7 cm,考虑充氧能力和理论动力效率的两者关系,选择 2.5 m<sup>3</sup>/h 作为最佳射流量,水温较低的时候有利于氧的转移,影响该反应器氧转移效率的主次因素顺序为:射流量→内筒直径→温度。

#### 参考文献:

- [1] 刘康怀,康为民,李月中. HCR-一种高效好氧生物处理技术[J]. 给水排水, 2000, 20(6): 25-28.
- [2] 张自杰,林沈忱,金儒霖. 排水工程下册(第 4 版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2000.
- [3] CJ/T 3015.2-93,曝气器清水充氧性能测定[S].
- [4] 法浩然. 硫酸法钛白粉生产的废酸治理[J]. 江苏化工, 1999, 27(3): 35-36.

(责任编辑 刘存英)