

## 新组合填料塔中亏氧清水与餐厅污水的氧传递\*

邹华生 陈焕钦

(华南理工大学 化工学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** 根据污水处理所用填料的技术特征, 自行开发研制了一种新型组合填料. 通过平行实验测定了亏氧清水中该组合填料和其他3种填料塔的氧液相体积传质系数, 并进行了比较. 结果表明该组合填料具有优良的氧传递性能. 对实验结果进行回归分析, 得到4种填料氧传质系数的计算式, 其计算值与实测值基本吻合. 最后对同种填料在相同操作条件下, 对亏氧清水和餐厅污水中的氧传递实测结果进行了比较. 结果表明餐厅污水中的氧传质系数小于亏氧清水中的氧传质系数.

**关键词:** 组合填料; 餐厅污水; 氧传递

**中图分类号:** TQ 621.4; X 703.1

**文献标识码:** A

氧传递对于污水好氧生化处理过程是不可缺少的重要一环. 因此, 对每一种好氧生化反应设备, 人们都比较关注其氧传递特征及其操作性能. 一般影响生化处理器中氧传递速率的主要因素有三类: 一是水质特征与水质条件, 如水中有机质成分与含量、水温和 pH 值等; 二是设备的类型、结构、尺寸和材质; 三是操作条件等. 针对这样一个复杂的问题, 文中对自行研究开发的组合型填料塔中亏氧清水和餐厅污水直流式曝气过程的氧传递速率进行了理论分析和实验研究.

### 1 理论分析

在鼓泡填料塔中, 气泡与水相界面的两侧均分别存在不稳定的气膜和液膜<sup>[1,2]</sup>. 它们是气相溶解的主要障碍. 在初始溶解氧基本相同的条件下, 在清水和餐厅污水中进行曝气时, 气相氧向液相转移的速率可分别表示为

$$\frac{dc}{dt} = K_L a (c_s - c) \quad (1)$$

收稿日期: 2002-07-02

\* 基金项目: 华南理工大学自然科学基金资助项目 (E5322175)

作者简介: 邹华生 (1957-), 男, 博士, 副教授, 主要从事化工传递技术和环境工程技术的研究.

$$\left(\frac{dc}{dt}\right)_w = \alpha K_L a (\beta c_s - c) \quad (2)$$

式中:  $c$ 、 $c_s$  为液相中某瞬时氧浓度和操作条件下饱和氧浓度,  $\text{mol}/\text{m}^3$ ;  $t$  为时间,  $\text{s}$ ;  $K_L a$  为液相体积总传质系数,  $\text{s}^{-1}$ ;  $\alpha$ 、 $\beta$  分别用于修正污水中氧的体积传质系数和平衡溶解度与清水的差别.

从式(1)、(2)可知, 增大溶氧过程的推动力 ( $c_s - c$ ) 和液相体积总传质系数  $K_L a$  均可提高气相氧向水或污水中转移的速率. 增大溶氧过程的推动力往往受到水质特征、水质条件和经济性的限制, 如采用纯氧曝气, 可以有效增大溶氧推动力, 但同时也会大幅度地提高操作费用. 增加曝气压力同样会增大运行成本, 同时对材料和设备的强度和技术要求也会提高. 增大液相体积总传质系数  $K_L a$  可以从增大液相传质系数  $k_L$  和气液相接触比表面积  $a$  来实现, 其大小主要与水质特征、填料塔的填料特性和操作条件等因素有关.

在塔径不大且填料塔内气流搅拌充分的条件下, 塔截面上的浓度分布基本均匀. 将式(1)、(2)在塔内截面进行积分得

$$K_L a = \frac{1}{t} \ln \frac{c_s - c_0}{c_s - c} \quad (3)$$

$$(K_L a)_w = \alpha K_L a = \frac{1}{t} \ln \frac{\beta c_s - c_0}{\beta c_s - c} \quad (4)$$

式中  $c_0$  为液相中初始氧浓度,  $\text{mol}/\text{m}^3$ .

可见,只要用溶氧仪测定出亏氧清水或餐厅污水在曝气过程中某塔截面上溶解氧浓度的动态变化曲线,就可以用式(3),(4)计算出该截面在一定操作条件下的氧液相体积总传质系数  $K_L a$ . 文献[3]中的实验结果已经证明水溶解氧的过程为液膜控制,故  $k_L a = K_L a$ .

## 2 实验装置与方法

实验装置如图1所示. 清水或污水经离心泵加压后通过流量计计量送入填料塔,塔中无微生物菌种. 在用空气曝气前,先用氮气将水中的氧驱赶,以测定亏氧清水或污水在曝气过程中溶解氧的动态变化曲线. 压缩空气(或纯氧)经稳压阀后,通过转子流量计计量,从塔底气体分布器鼓泡进入塔内与水并流向上流动,作相对运动的气泡与水相之间进行氧传递. 水中溶解氧的变化用瑞士 METTLER 公司 M0128 型溶氧仪现场检测或从沿塔高的3个取样口取样,然后用 WENKELE 化学方法测定. 文献[4]证明,若电极从氮饱和的水溶液中移到空气饱和的水溶液中,则溶解氧值从零达到62.2%空气饱和值所需时间  $t_r \leq \frac{1}{K_L a}$  时,测定的  $K_L a$  值相对误差小于6%. 本研究采用的 M0128 型溶解氧测定仪测溶解氧所需时间  $t_r \leq 65$  s,故该溶氧仪具有良好的测量精度. 该仪器使用前用氧饱和水与氮饱和水进行两点式校正.

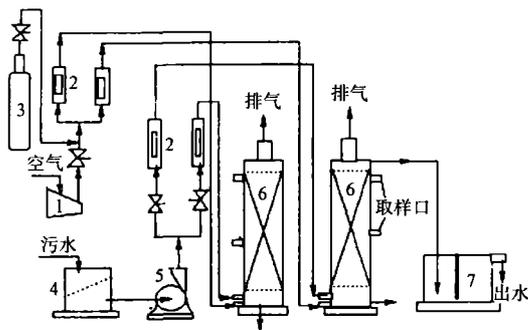


图1 实验装置

Fig.1 Experimental set

1—空压机;2—流量计;3—氧气瓶;4—隔道隔油池;  
5—泵;6—填料塔;7—沉降池

本研究实验用餐厅污水主要污染指标检测的统计结果:  $COD_{Cr}$  为 800 mg/L,  $BOD_5$  为 350 mg/L, SS 为 350 mg/L, 油脂含量为 190 mg/L. 在常压、室温下,对焦炭、Dg38 塑料鲍尔环、Dg38 塑料鲍尔环新型组合填料和 Dg38 塑料共轭环进行了平行实验

研究和对比分析. 两塔的填料高度和总体积相同,用体积法测得这4种填料的空隙率如表1所示.

表1 4种填料的空隙率

Table 1 The porosity of the four kinds of packings

填料名称	Dg38 塑料鲍尔环 <sup>(5)</sup>	Dg38 塑料鲍尔环新型组合填料	Dg38 塑料共轭环 <sup>(6)</sup>	焦炭 ( $d_c = 45$ mm)
空隙率	0.91	0.93	0.91	0.67

Dg38 塑料鲍尔环新型组合填料是由10条长约30 cm、宽0.5 cm的半软性纤维细片对称穿插地绑在Dg38塑料鲍尔环上构成的. 其结构如图2所示. 该填料的外缘展现出20条长8~10 cm的半软性纤维瓣,可以不断切割和分散气泡,均布气液相流. 鲍尔环的立体空间部分是一个小缓冲室,其内部穿插有半软性纤维细片,可以延长气流的停留时间和切割分散气泡.



图2 Dg38 塑料鲍尔环新型组合填料

Fig.2 The Dg38 new style combined plastic Pallring packing

## 3 实验结果与讨论

间歇进水时,上述4种填料在不同曝气量下溶解氧动态变化曲线实验结果如图3所示. 将曝气量在50~300 L/h之间变化得到的溶解氧动态变化实验结果,用式(3)计算4种填料塔在某一操作气速下,塔内中部截面处的  $K_L a$  值,然后取时均值在双对数坐标上作图,如图4所示. 从图4可看出,各种填料的  $K_L a$  值均基本上与操作气速成不同的直线关系. 这表明,当物理性质相同时,除操作气速外,填料的几何特性对氧液相体积传质系数也有明显的影响.

根据图4实验结果进行回归得到下列关系式:

Dg38 塑料共轭环

$$k_L a = 0.691 \epsilon^{-0.84} u_g^{0.84} \quad (5)$$

Dg38 塑料鲍尔环

$$k_L a = 0.616 \epsilon^{-0.84} u_g^{0.84} \quad (6)$$

Dg38 塑料鲍尔环新型组合填料

$$k_L a = 0.835 \epsilon^{-0.84} u_g^{0.84} \quad (7)$$

焦炭

$$k_L a = 0.324 \epsilon^{-0.84} u_g^{0.84} \quad (8)$$

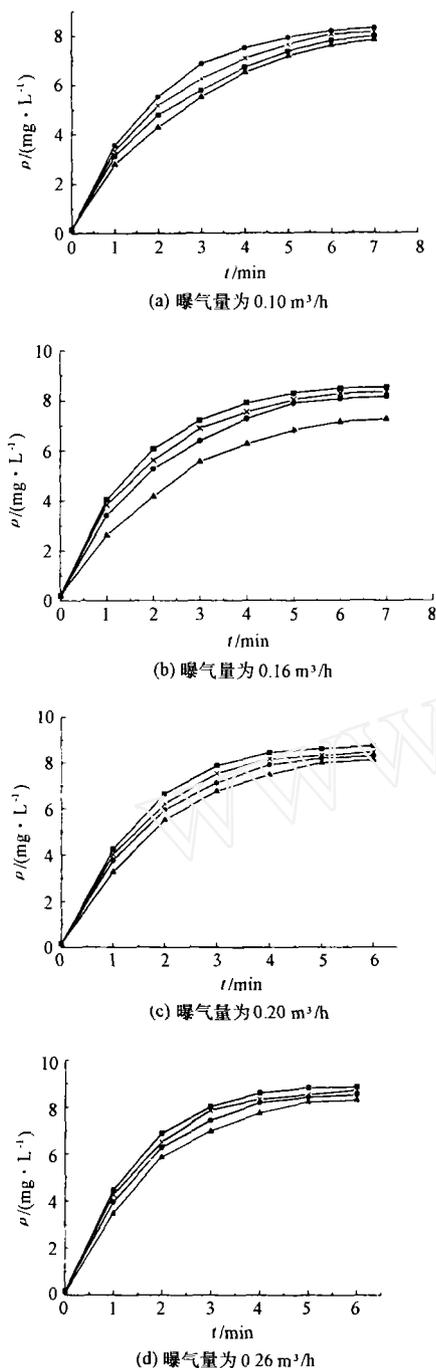


图 3 清水在填料塔中不同曝气量下溶解氧质量浓度与曝气时间之间的关系

Fig. 3 Relationship between dissolved oxygen mass concentration and aeration time of water in packing towers

●—Dg38 塑料鲍尔环; ▲—焦炭; x—Dg38 塑料共轭环;  
■—Dg38 塑料鲍尔环新型组合填料

式(5~8)表明,当操作气速一定、空隙率增大时,液相体积传质系数  $k_L a$  减小.这是因为操作气速一定、空隙率增大时,流体在填料层空隙中的流速减小,湍动减弱;同时空隙率增大,气泡数量减少而

直径增大,气泡与液相的有效接触比表面减小,故液相体积传质系数  $k_L a$  减小.当空隙率一定、操作气速增大时,液相体积传质系数  $k_L a$  增大,这是塔内湍动加剧的结果.式(5~8)中的指数数值和文献[7~9]报道的  $k_L a$  与操作气速大约成 0.8~1.5 次方正比的结果吻合.

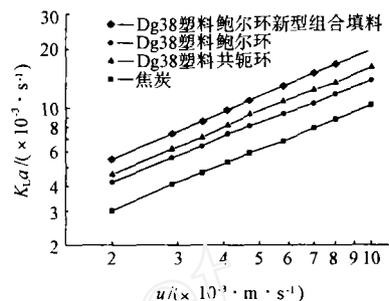


图 4 氧液相体积总传质系数与操作气速之间的关系

Fig. 4 Relationship between overall liquid-phase volumetric oxygen mass transfer coefficients and service gas velocity

式(5~8)计算的结果与实测值进行比较的结果如图 5 所示.从图中可见,计算值与实测值吻合较好,其最大偏差不得超过  $\pm 17\%$ .从上述研究的 4 种填料的氧传递结果看,由于 Dg38 塑料鲍尔环新型组合填料的空隙率增大不多,而表面积增大比较显著;结合半软性纤维的网体结构的布水布气和切割气泡的功能,现场观察到气体通过该填料层时,气泡更小、分布更均匀.因此,在相同的操作条件下,实测到该填料比原鲍尔环具有更大的氧传质系数.

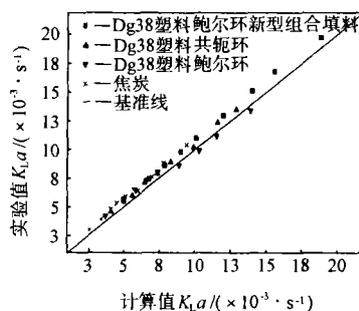


图 5 四种填料氧总液相体积传质系数计算值与实验值的比较

Fig. 5 The comparison between computing and experimental values of overall liquid-phase volumetric oxygen mass transfer coefficients of four kinds packing

焦炭虽空隙率小,但随意性较大,粒度大小不匀,形状参差不齐,颗粒内无流体通道,比表面积小,在塔内易形成沟流、偏流和死角等不均匀流.在实验中观察到气体通过焦炭填料层时,气泡数量少,直径大,常

形成弹状流,因此在 4 种填料中,其氧传质系数最小。

虽然 Dg38 塑料鲍尔环与 Dg38 塑料共轭环的空隙率相同,但由于它们几何构形不同,布水布气性和比表面积不同,实验观察到 Dg38 塑料共轭环填料层的气泡比前者的小些、均匀些。故两种填料的氧传质系数有所区别,前者的氧传质系数较大。

当餐厅污水中含有油脂、纤维、淀粉和表面活性剂等多种的杂质时,其性质与清水有较大的不同。氧在其中的溶解度,污水的粘度、密度、扩散系数和表面张力等都会发生变化。在相同的操作条件下,餐厅污水中的氧传递效果与清水中的不同。实验结果如图 6 所示。

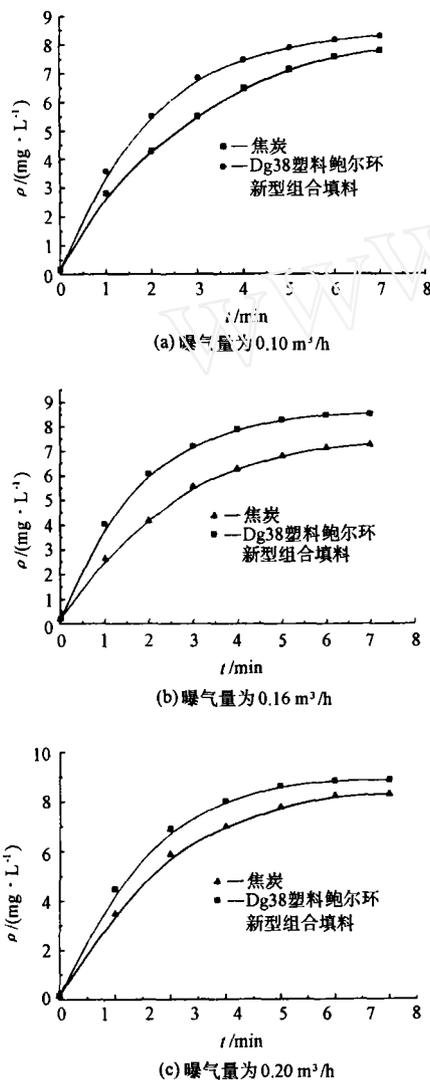


图 6 餐厅污水在填料塔中不同曝气量下溶解氧质量浓度与曝气时间之间的关系

Fig. 6 Relationship between dissolved oxygen mass concentration and aeration time of wastewater in packing towers under different aeration

餐厅污水在 Dg38 塑料鲍尔环新型组合填料和焦炭填料塔中实测溶解氧动态变化曲线用式(4)整理:用上述相同的方法在双对数坐标上得到图 7。从该图可以看到:餐厅污水曝气时,Dg38 塑料鲍尔环新型组合填料的氧传质系数明显高于同条件下的焦炭填料的氧传质系数,但均比同条件下清水中的氧传质系数小。

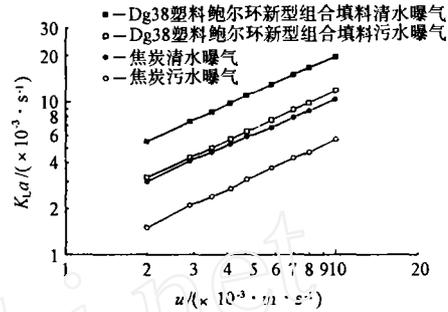


图 7 餐厅污水曝气氧传质系数与操作气速之间的关系  
Fig. 7 Relationship between aeration oxygen mass transfer coefficients and service gas velocity in restaurant wastewater

实验数据回归得到上述两种填料在餐厅污水中曝气时的氧液相体积传质系数的关联式。

Dg38 塑料鲍尔环新型组合填料:

$$(k_L a)_w = ak_L a = 0.51 \varepsilon^{-0.84} u_g^{0.84} \quad (9)$$

焦炭:

$$(k_L a)_w = ak_L a = 0.217 \varepsilon^{-0.84} u_g^{0.84} \quad (10)$$

分别与式(7)、(8)比较可见,同种填料塔中,餐厅污水氧传质系数比同操作气速下清水中的氧传质系数小;用式(9)、(10)计算的结果与实测结果的最大偏差为 20%。

## 4 结 论

(1) Dg38 塑料鲍尔环新型组合填料具有优良的氧传递性能。在相同操作条件下,其氧传质系数大于其他 3 种填料的氧传质系数。

(2) 实测结果回归得到的亏氧清水和餐厅污水中氧传质系数的计算公式简单方便,计算值与实测结果的偏差不超过 20%。

(3) 在同一种填料塔中,餐厅污水中氧传质系数小于同条件下亏氧清水中氧传质系数。

## 参考文献:

- [1] Logan B E. Oxygen transfer in trickling filters [J]. Journal of Environment Engineering, 1993, 119(6):

- 1 059 - 1 067.
- [2] Danckwerts P V. Significance of liquid-film coefficients in gas absorption [J]. *Ind Eng Chem*, 1951, 43:1 460 - 1 466.
- [3] 邹华生,陈焕钦. 焦炭与新型组合填料塔中餐厅污水的氧传递 [J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 2001,29(3):75 - 78.
- [4] Van't Riet K. Review of measuring methods and results in non-viscous gas-liquid mass transfer in stirred vessels. [J]. *Ind Eng Chem Proc Des Dev*,1979, 18: 357.
- [5] 化学工程编委会. 化学工程手册 [M]. 第三卷. 北京: 化学工业出版社,1989.
- [6] 杨卓如,陈焕钦. 共轭环传质特性研究[J]. *高校化学工程学报*,1990,4(4):386 - 390.
- [7] Bello R A, Robinson C W, Moo-Young M. Gas holdup and overall volumetric oxygen transfer coefficient in airlift contactors [J]. *Biotechnology and Bioengineering*,1985,27:369 - 381.
- [8] Koide K, Kurematsu K, Iwamoto S, et al. Gas holdup and volumetric liquid phase mass transfer coefficient in the bubble column with draught tube and with gas dispersion into tube [J]. *J Chem Eng of Japan*, 1983,16:413 - 418.
- [9] Deckwer W D, Burckhart R, Zoll G. Mixing and mass transfer in tall bubble columns [J]. *Chemical Engineering Science*,1974, 29:2 177 - 2 188.

## Oxygen Transfer in Water and Restaurant Wastewater with New-style Combined Packing

Zou Hua-sheng Chen Huan-qin

(College of Chemical Engineering, South China Univ. of Tech., Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** A new-style combined packing was developed. The oxygen transfer features of this kind packing as well as other three kinds packings in water or restaurant wastewater were studied by paralled experiments. The results showed that the new-style combined packing is superior to the other three kinds of packings in oxygen transfer, and the equations for calculating liquid-phase volumetric oxygen transfer coefficient in water and restaurant wastewater were obtained by correlating the experimental data wherein deviations are within 20%. The comparison of oxygen transfer in water with that in restaurant wastewater when other conditions remained the same showed that volumetric oxygen transfer coefficients in restaurant wastewater was smaller than those in water.

**Key words:** combined packing; restaurant wastewater; oxygen transfer