

鼓风曝气充氧性能与曝气器水深关系

冯俊生 万玉山

(江苏工业学院环境与安全工程系,常州 213016)

摘要 应用相似原理,建立曝气器清水充氧性能与曝气器浸没深度变化的数学模式,为曝气器充氧性能科学预测和曝气工艺设计提供可靠的参数。

关键词 相似原理 曝气性能 数学模型

0 引言

曝气是污水好氧生物处理系统中一个重要的工艺,是气-液间质量的传递过程。常用的传质模型有 Lewis 和 Whitman 的双膜理论, Higbie 的浅渗理论和 Danckwerts 的表面更新理论。虽然浅渗理论和表面更新理论在物理概念上以及所得出的关系上,对于理解气-液间传质现象比双膜理论更为深刻,但双膜理论能够将气膜阻力与液膜阻力的相对大小用数学计算式表达出来,所以在实际应用中,仍然采用双膜理论^[1]。建立在双膜理论基础上的鼓风曝气充氧性能评价指标根据其作用不同,可分为基础指标:氧总转移系数 ($K_L a$);技术指标:充氧能力 (OC)、氧利用率 (E_A)、理论动力效率 (E_P)。

目前,各种曝气器的清水性能指标是在经验水深条件下,通过模型曝气柱或模型曝气池确定的,如果将模型指标直接用于原型设计,不仅在运行后很难达到设计指标,而且未必能使曝气系统工作在最佳条件下,由于各种曝气器的曝气性能不仅受污水性质的影响,而且与水流运动状态 Re 、曝气量 G_s 、曝气器浸没深度 h 和气泡直径 d_b 等参数有很大的关系。特别是微孔曝气系统,紊流流态很强,深入探讨和建立数学模式都很困难。本研究应用相似原理,建立了曝气器性能指标随曝气器浸没深度变化的数学模式,为曝气器充氧性能的科学预测及曝气工艺设计提供了可靠的参数。

1 曝气充氧性能与水深模型的建立

曝气过程很复杂,要把所有的相似准数都考虑在内是不现实的,但可以对曝气过程起主导作用的相似准数进行数学处理和建立数学模式,为研究曝气充氧性能与水深之间的关系提供理论基础。曝气实质上是传质过程,在清水曝气系统中,扩散过程相似最复

杂,也最重要,扩散过程的相似,要求在发生扩散系统中,存在几何相似与流体力学相似条件下的物质扩散相似,所以它包括两个相似准数,即控制主体扩散过程的 Schmidt 数和控制扩散边界相似的 Sherwood 数,根据许保玖先生的推导,两个相似准数为:

$$Sc = \frac{\mu}{D} \quad (1)$$

式中 μ ——流体粘性系数;

——密度;

D ——气体扩散系数,在温度及压力恒定条件下,其为常数。

$$Sh = \frac{K_L L}{D} \quad (2)$$

式中 K_L ——传质系数;

L ——界面特征长度。

两个相似准数的物理意义是 Sc = 粘滞动量通量/扩散动量通量; Sh = 总传质通量/扩散传质通量。由于气泡在水中的传质与 Re 数有关,不同 Re 数下, Sc 和 Sh 数之间的函数关系不同, Eckenfelder 根据文献和试验数据建立如下相关关系式^[1]

$$Sh \cdot h^{\frac{1}{3}} = \dots \cdot Re \cdot (Sc)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

将上述准数代入(3)式得

$$\frac{K_L d_b}{D} \cdot h^{\frac{1}{3}} = \frac{d_b v_b L}{\mu} \sqrt{\frac{\mu}{L D}} \quad (4)$$

式中 h ——试验水深;

K_L ——总传质系数;

d_b ——气泡直径;

v_b ——气泡上升速度;

——经验常数。

在上述相关式中出现了有量纲的参数 $h^{1/3}$, 似乎不是很和谐,但这个参数却反映了两个体系之间放大

的因素水深。

如果曝气过程相似,根据相似理论,在满足几何相似的基础上有

$$Sh_1 = Sh_2; Sc_1 = Sc_2; Re_1 = Re_2。$$

由于 $Sh = K_L d_b / D$; $Re = d_b \rho_b / \mu$; $Sc = \mu / \rho_b D$ 。在清水曝气过程相似时,对于同一类型的曝气器, μ 、 ρ_b 、 D 可认为不变。当气流非常缓慢,浮力正好等于克服表面张力时,气泡直径 $d_b = (6 d_0 / g)^{1/3}$, (式中, ρ_b —液气之间的密度差, σ —表面张力, d_0 —曝气器孔径); 当气流流速较高时,由于惯性影响成为主要因素,而最初气泡的大小几乎与孔径尺寸毫无关系^[2]。因此,当 $Re > 400$ 时, d_b 可用 Stokes 及过度区公式表示,当 $Re = 300 \sim 4000$ 时, d_b 可用 Mendelson 公式^[1], 即 $d_b = [2 / (d_b \rho_b / \mu + g d_b / 2)]^{1/2}$ (符号同前), 但无论那种计算公式, d_b 仅是孔径和清水性质、 ρ_b 的函数关系。

$$\text{故有: } K_{L1} \cdot h_1^{1/3} = K_{L2} \cdot h_2^{1/3} \quad (5)$$

根据双膜理论,氧总转移系数 K_{La} 有如下关系

$$\frac{dC}{dt} = K_{La} (C_s - C) \quad (6)$$

$$K_{La} = \frac{K_L A}{V}$$

式中 K_{La} ——氧总转移系数;

A ——气、液两相接触面积;

V ——液相主体容积。

所以:

$$\frac{K_{La1}}{K_{La2}} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{1/3} \quad (7)$$

令

$$\frac{2}{1} =$$

则

$$\frac{K_{La2}}{K_{La1}} = \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^{1/3} \quad (8)$$

$$\frac{OC_2}{OC_1} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{2/3} \quad (9)$$

$$\frac{E_{p2}}{E_{p1}} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{2/3} \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad (10)$$

$$\frac{E_{A2}}{E_{A1}} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{2/3} \cdot \frac{Q_1}{Q_2} \quad (11)$$

式中 N ——理论功率;

Q ——标准状态下曝气量;

——经验常数。其它符号同前。

在上述(10)、(11)中,在不同的水深条件下,如果要求原型的理论动力效率与模型的理论动力效率相等,即 $E_{p1} = E_{p2}$, 则 $N_1 / N_2 = (h_1 / h_2)^{2/3}$, 同理, 如果 $E_{A1} = E_{A2}$, 则 $Q_1 / Q_2 = (h_1 / h_2)^{2/3}$ 。

2 结果应用

经实验分析,常数 α 和 Re 数与曝气器类型等有关,根据研究经验, $\alpha = 0.9 \sim 1.0$ 。为了达到模型 Re 数和原型 Re 数相似,使计算值与实验数据相符,模型水深 h 不应取的太小。为了检验本数学模式的正确性,任意选取已公开发表的,且与曝气充氧性能与曝气器水深有关的文献资料为例。

例 1

俞庭康^[3]的“橡胶膜曝气器充氧性能与水深关系的研究”,原实验结果和模型计算结果如表 1。

表 1 曝气充氧性能与水深关系

水深 /m	氧总转移系数(K_{La})		充氧能力(OC)		理论动力效率(E_p)		氧利用率(E_A)	
	试验	计算	试验	计算	试验	计算	试验	计算
4	11.00		0.201		8.04		35.8	
5	8.80	9.19	0.202	0.210	6.73	6.99	36.1	37.38
6	8.20	8.65	0.226	0.236	6.22	6.58	40.4	42.21
7	8.21	8.22	0.264	0.263	6.44	6.41	47.1	46.79
8	8.56	7.86	0.314	0.287	6.68	6.10	56.1	51.15

注:1. 试验列为俞庭康的试验结果,计算列为数学模式计算结果。
2. 以水深 $h = 4\text{m}$ 为模型, $\alpha = 0.9$ 。

例 2

李振安^[4]的“一种新型鼓泡曝气装置的研究”,为了计算方便,以原实验水深 $h = 1.0\text{m}$ 为模型,经验常数 $\alpha = 0.9$,原实验结果和模型计算结果如表 2。

表 2 曝气充氧性能与水深关系

池(浸)深 /m	试验增氧能力 /($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)	计算增氧能力 /($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)
1.5	0.069	0.067
2.0	0.081	0.081
2.5	0.091	0.094
3.0	0.103	0.108
3.5	0.115	0.118
4.0	0.130	0.129
4.5	0.142	0.140
5.0	0.154	0.150

注:试验增氧能力为李振安的试验结果,计算增氧能力为数学模式计算结果。

化妆品生产废水处理工程设计与调试实例

王 炜 汪晓军 周相武

(华南理工大学环境科学与工程学院,广州 510640)

摘要 采用“水解酸化-接触氧化”组合工艺处理高浓度日用化工废水,同时以曝气生物滤池工艺进行深度处理,进一步提高废水处理效率。经过系统处理,废水 COD_{Cr} 从进水4 000 mg/L左右降为80 mg/L以下, BOD_5 从进水1 100 mg/L左右降为20 mg/L以下,处理效率均达到98%,排放水质完全达到广州市污水排放一级标准(DB4437-90)。通过工程的长期实际运行表明,该系统处理的出水水质稳定,处理效率高。

关键词 日用化工 废水处理 水解酸化 生物接触氧化 曝气生物滤池

0 引言

国内某日用化工集团在广州市从化经济开发区的工厂,主要生产膏霜类及啫喱水类日用化妆品。生产过程中产生的废水主要为清洗废水,其中含有大量的油脂及表面活性剂等高浓度大分子物质,污染物主要为非离子物质,而且部分抑制生物生长。对这类废水多采用物理、化学预处理结合生化作用的处理方法。工厂投资近100万元兴建污水处理站,现该污水处理站已运行正常,出水 COD_{Cr} 为80 mg/L以下, BOD_5 为20 mg/L以下,均达到了广州市污水一级排放标准,并通过当地有关部门的验收。本文对该污水处理站的有关设计与调试情况进行介绍。

1 工艺设计

1.1 废水水量水质和处理要求

废水排放属高浓度不平衡间歇排放,水量约为

50 t/d。为预留日后发展空间,平面布置时预留远期废水(规划为100 m³/d)处理设施所需用地。

工程处理废水主要为生产清洗容器排放含原料(即十二烷基苯磺酸钠、十二醇醚硫酸钠等)的高 COD_{Cr} 和 BOD_5 的废水。 COD_{Cr} 的平均浓度为4 000 mg/L左右, BOD_5 平均浓度为1 100 mg/L左右。

处理后排放水质达到《广州市污水排放标准》(DB4437-90)中二时段一级排放标准及广东省《水污染物排放限值》(DB44/26-2001)中二时段一级标准,主要水质指标的限定值如表1。

表1 水质指标限定值 mg/L (pH除外)

项目	COD_{Cr}	BOD_5	动植物油	SS	pH	硫化物
数值	80	20	10	60	6~9	<1

1.2 处理工艺流程

因生产废水中有时含有较高浓度的抑制生物生

3 结论

对于任何类型和形状的曝气器,其清水曝气充氧性能指标,如氧总转移系数(K_{La})、充氧能力(OC)、氧利用率(E_A)、理论动力效率(E_p)与曝气器水深有如下数学模式:

$$\frac{K_{La2}}{K_{La1}} = \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^{\frac{1}{3}}; \frac{OC_2}{OC_1} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{\frac{2}{3}};$$
$$\frac{E_{p2}}{E_{p1}} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{N_1}{N_2}; \frac{E_{A2}}{E_{A1}} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{Q_1}{Q_2}$$

此数学模式的建立,对研究曝气充氧性能与曝气器水深之间的关系有非常大的指导作用,但经验常数值的确有待进一步的研究。

参考文献

- [1] 许保久.当代给水与废水处理原理.北京:高等教育出版社,1990:122-159.
- [2] T. K. 修伍德等.时均等译.传质学.北京:化学工业出版社,1988:206-278.
- [3] 俞庭康等.橡胶膜曝气器充氧性能与水深研究关系的研究.给水排水,2001,27(2):17-20.
- [4] 李振安等.一种新型鼓泡曝气装置的研究.农业工程学报,1997,13(1):97-100.

作者通讯处 冯俊生 213016 江苏省常州市 江苏工业学院环境与安全工程系

E-mail fjs@jpu.edu.cn

2006-04-18 收稿

STUDY ON PERFORMANCE OF TREATING POLLUTED RIVER WATER IN SEEPAGE BIOLOGICAL BED Lin Yanqing He Miao Hu Hongying et al (7)

Abstract The seepage biological bed (SBB) is the advisable technique for the treatment of heavily polluted water in small-river ,and has good prospect in the application of the polluted river management in the north of China. The poor operation performance in winter due to low water temperature , is one of main difficulties that affecting polluted river water treatment in the north of China. Based on the field pilot-scale experiment for the whole year ,the effect of water temperature on polluted river water treatment by SBB is studied. The study shows that SBB has a good effect of removing COD_Cr , $\text{NH}_3\text{-N}$ and turbidity in river water ; the removal rate and loading are affected greatly by water temperature.

Keywords seepage biological bed , polluted river water treatment , water temperature and operation performance

THE EXPERIMENT ON INFLUENCE OF DENSITY FLOW ON COAGULATING PRECIPITATION IN THE SEDIMENTARY BASIN Zhan Yong Dong Jieshuang Zhu Xuedan (10)

Abstract Density flow is extremely unfavourable to the precipitation process in horizontal-flow sedimentation basin ,in order to raise precipitation effect ,forestall the influence of density flow on flocculation basin ,reasons for forming the density flow and the characteristics of density flow movement are discussed. Test results show that controlling the stability of the pattern of flow is the main measure to control the density flow in the sedimentary basin.

Keywords density flow ,pattern of flow ,sedimentation basin and coagulating precipitation

PLOT-SCALE TEST OF SIMULTANEOUS NITRIFICATION AND DENITRIFICATION (SND) OF AN INTEGRATED MEMBRANE BIOREACTOR Liu Jiangfeng Wang Zhiwei Wu Zhichao et al (13)

Abstract The integrated flat plate MBR was operated at membrane flux $25.2 \sim 25.7 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ for 112 days with MLSS concentration $19 \sim 20 \text{ g/L}$. During the operation ,MBR was not cleaned physically or chemically except normal aeration which was used to scour membrane surface. The effect of DO concentration on simultaneous nitrification and denitrification (SND) in the MBR was investigated. Test results indicated that there was a good SND effect in MBR ; and SND effect was not affected by temperature variations in range of $18 \sim 12$.

Keywords integrated membrane bioreactor , flat plate membrane ,simultaneous nitrification & denitrification and wastewater treatment

NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL PERFORMANCE OF A^2/O PROCESS AS A FUNCTION OF THE SLUDGE AGE Wang Jianlong Peng Yongzhen Wang Shuying (16)

Abstract Sludge Retention Time (SRT) ,which was an important parameter in activated sludge process design and operation ,has shown more effect than other parameters. COD_Cr ,nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$,TN) and phosphate ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) removal from sewage by anaerobic-anoxic-oxic (A^2/O) process were studied at different SRT,which were 5 ,10 ,15 ,20 ,25 and 30 d ,respectively. During experiment other parameters kept constant. The result shown that a sludge age of 15 days was found to be optimal resulting in maximum organic substances removal efficiencies ,during which the removal rate of COD_Cr , $\text{NH}_4^+\text{-N}$,TN and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ was 93 % ,98 % ,81 % and 82 % ,respectively ,at the same time the profiles of organic substances concentration in A^2/O process were also analyzed.

Keywords sludge retention time , A^2/O process ,nitrogen removal and phosphate removal

A RELATION BETWEEN BLASTING AERATION PERFORMANCE AND SUBMERSION DEPTH OF AERATOR Feng Junsheng Wan Yushan (19)

Abstract Using resemblance principle , a mathematical model was established of aerator clear water aeration performance and aerator with the immersion depth in operating ,which provides the dependable parameters for scientifically estimating aeration performance and design of aeration technique.

Keywords resemblance principle ,aeration performance and math model

DESIGN AND COMMISSIONING OF COSMETIC WASTEWATER TREATMENT SYSTEM Wang Wei Wang Xiaojun Zhou Xiangwu (21)

Abstract The high concentration cosmetic wastewater can be treated by means of hydrolytic acidification-biological contacting oxidation system ,and biological aerated filter (BAF) for advanced treatment ,so that the removal rate can be improved. Through the operation of this project , the COD_Cr of effluent can fall below 80 mg/L from about $4\,000 \text{ mg/L}$ of influent ,and BOD_5 of effluent can fall below 20 mg/L from about $1\,100 \text{ mg/L}$ of influent ,and also the removal rate can both reach 98 % .Quality of effluent is up to the integrated wastewater discharge standard of Guangzhou (GB4437-90) . It is indicated by the plant operation of this project for a long time that this process has a high efficiency of treatment with a stable water quality of the effluent.

Keywords cosmetic , wastewater treatment , hydrolytic acidification , biological contacting oxidation and biological aerated filter