

2 = 3000 m³, 其运行费用估算如表 5。由表 5 看出, 液膜法不仅具有较好的环境效益, 而且也具有较高的经济效益。

表 5 液膜法处理含锌废水费用估算
(按每 m³ 废水计)

项 目	单价 (元/kg)	数量 (kg)	支出 (元)	收入 (元)
表面活性剂上-205	5	0.008	0.04	
载体 P-204	12	0.02	0.24	
煤 油	0.5	0.267	0.13	
中 性 油	1.5	0.03	0.045	
盐 酸	0.14	1	0.14	
碱	0.14	0.2	0.028	
电 费	0.12 元/度	1.5	0.18	
人 工 费			0.30	
合 计			1.10	
回收 ZnCl ₂	2.0	2.14		4.28

五、结 论

1. 通过实验室和中间规模连续性试验,

对电池厂含锌废水用两级液膜萃取处理, 可将废水中 Zn²⁺ 从 1000 ppm 左右降至 5 ppm 以下, 回收的 ZnCl₂ 可以返回生产工艺复用, 具有较好的环境效益和经济效益。

2. 液膜萃取锌的效率, 受 pH 值影响很大, 废水 pH = 3 时, 除锌效率最高。采用二级液膜萃取便于控制 pH 值, 技术上较合理。

3. 废水中淀粉, MnO₂ 等杂质影响萃取过程, 因此应采取预处理后再进入液膜萃取柱。

4. 中试阶段制乳、液膜萃取、高压电破乳等工序能有机配合, 实现了过程的连续化。试验所取得的工艺参数, 为生产性设备的模拟放大和工程设计提供了参考。

参 考 文 献

- [1] Marr, R et al., *Ger. Chem. Eng.* **6**, 365 (1983).
- [2] Frankentfeld, J. W., et al., *Separation Science and Technology*, **16** (14), 384 (1981).
- [3] 邵刚, 工业水处理, **5**(2), 19(1985).
- [4] 片岡健, その他, 化学工学协会第 48 年会要旨集, F115 (1983).

超速生物滤池与生物接触氧化池 串联处理废水的研究

胡 纪 萃

(清 华 大 学)

生物处理方法被广泛地应用于城市污水和工业废水的处理中。如何提高生物处理方法的效能, 节省占地面积, 减少电耗, 一直是人们关心和研究的课题。然而, 人们发现, 高效与低耗常常是矛盾的。

本试验着重研究超速生物滤池 (简称超速滤池) 与生物接触氧化池 (简称接触氧化池) 二级串联处理有机废水的处理机理和处理效能等情况。研究结果表明, 本处理系统不仅有较高的处理效能和较低的能耗, 而且

可以节省占地面积。

一、试验流程与设备

试验流程如图 1 所示。几何尺寸如表

1. 超速滤池中的填料为玻璃布蜂窝, 接触氧化池的填料为纸蜂窝。

二、试 验 情 况

1. 废水组分

本试验所用废水系人工配制, 大致符合

表1 主要设备尺寸

项 目 尺寸 设备名称	池子断面或直径 (mm)	填料高度 (m)	填料孔径 (mm)	水 深 (m)	池子总高 (m)
超速滤池	150×150	4.28	φ25	—	5.1
接触氧化池	φ100	3.10	φ19	3.6	4.0
二次沉淀池	φ140	—	—	1.7	3.0

表2 废 水 组 分

组 分 种 类	$C_6H_{12}O_6$	$(NH_4)_2SO_4$	$K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	备 注
废水 1	200	35.4	11.04	0.72	用自来水稀 释至 1l
废水 2	300	53.1	16.56	1.08	

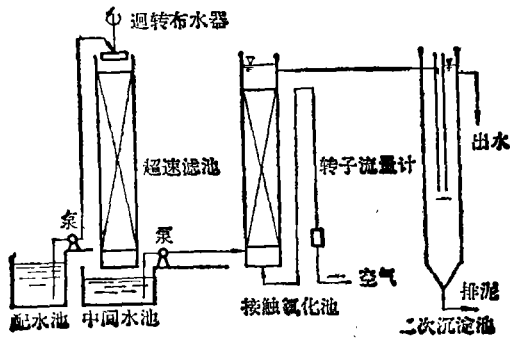


图1 试验系统流程

BOD₅:N:P:Fe = 100:5:1:0.1, 以满足微生物的营养需要。配方如表 2。

2. 不同负荷条件下的试验结果
经三个多月的试验, 得到不同负荷条件下的试验结果(表 3)。

3. 超速滤池不同高度废水 COD 浓度
为研究超速滤池除去有机物的规律, 测定了不同水力负荷条件下超速滤池不同高度水样的 COD 值。测定结果列于表 4 中。据此可以求得超速滤池降解有机物的数学模式

表3 试 验 数 据 平 均 结 果

试验日期	处理水量 m ³ /d	超 速 滤 池			接 触 氧 化 池			
		水力负荷 m ³ /m ² ·d	进水 COD mg/l	出水 COD mg/l	停留时间 min	水气比	进 水 COD mg/l	出水 COD mg/l
9.1~9.13	1.10	48.9	153.5	32.4	32	1:2.6	32.4	17.3
9.14~10.4	1.6	71.1	142.8	43.2	22	1:1.8	43.2	26.7
10.5~10.16	2.3	100	162.7	56.8	15	1:1.6	56.8	15.6
10.17~10.21	3.3	146.7	172.5	73.4	10.5	1:1.5	73.4	26.8
10.22~10.28	3.3	146.7	255.9	139.1	10.5	1:1.8	139.1	45.9

及各参数值。

三、试验结果整理

1. 超速滤池除去有机物的数学模式

超速滤池除去有机物的规律与普通生物滤池基本上相同。可采用一般生物滤池的计算公式。根据本试验具体条件。采用了下述公式进行试验数据的处理^[1]。

表 4 不同取样高度水样的 COD 值 (mg/l)

水力负荷 ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)	取 样 点 距 填 料 顶 的 距 离 (m)					
	0	0.77	1.60	2.53	3.46	4.28
48.9	124.3	92.7	66.4	37.8	25.1	18.2
71.1	144.1	112.5	93.9	67.6	45.9	41.2
100	162.5	133.7	124.1	83.8	64.5	60.9
146.7	170.8	150.1	129.8	108.4	88.9	68.2

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-KH/Q^n} \quad (1)$$

式中 C_e ——出水有机物浓度 (mg/l);

C_o ——进水有机物浓度 (mg/l);

H ——滤池填料高度 (m);

Q ——水力负荷 ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$);

K, n ——常数

根据试验数据(COD 值), 采用最小二乘法进行非线性回归, 得到 $K = 4.493$, $n = 0.63$, 将 K 和 n 代入式(1)可得

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-4.493H/Q^{0.63}} \quad (2)$$

对于式(2)的可信程度, 可用下述方法检验。

$$\text{令 } R_i = \frac{L_m}{L_c}$$

式中 L_m ——实测值 ($\ln \frac{C_e}{C_o}$);

L_c ——计算值 ($\ln \frac{C_e}{C_o} = -4.493H/Q^{0.63}$)

所求得 R_i 值的分布见图 2。这里, 平均值 $\bar{R}_i = 0.9916$; 标准差 $\delta = 0.1261$; 实测值数

$$\text{量 } n = 20, \quad \bar{R}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R}_i)^2}$$

结果表明, 只有 10% 的实测数据落在计算值 $\pm 20\%$ 的范围以外。说明式(2)具有较好的实用性。

2. 接触氧化池除去有机物的公式

据文献报道^[2], 接触氧化池进水有机物

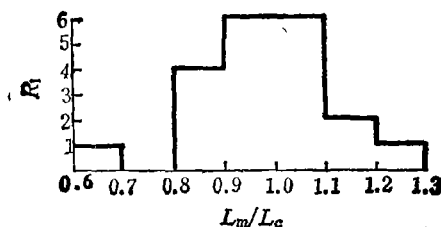


图 2 实测值与计算值的偏差程度

荷与有机物除去负荷之间存在着下述关系:

$$U_R = KU_o^n \quad (3)$$

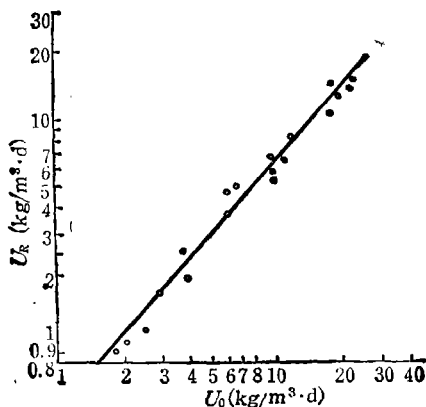
式中 U_R ——接触氧化池有机物除去负荷 ($\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$);

U_o ——接触氧化池有机物进水负荷 ($\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$);

K, n ——常数。

根据式(3), U_R 与 U_o 在双对数坐标纸上成直线关系(图 3)。用非线性回归求得 $K = 0.5012$, $n = 1.1005$, 如近似地取 $K = 0.5$, $n = 1.1$, 代入式(3)可得

$$U_R = 0.5U_o^{1.1} \quad (4)$$

图 3 U_o 与 U_R 的关系

式(4)的可信程度仍可用前述方法来检验。

$$\text{令 } R_i = \frac{U_{Rm}}{U_{Rc}}$$

式中 U_{Rm} ——接触氧化池有机物去除负荷实测值;

U_{Rc} ——接触氧化池有机物去除负荷计算值。 R_i 的分布见图4。这里 $\bar{R}_i = 0.9855$, $\delta = 0.1638$, $n = 20$

以上结果可看出,有80%的实测值落在

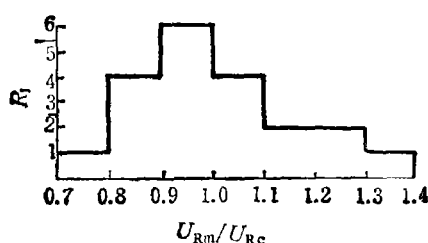


图4 实测值与计算值的偏差程度

计算值 $\pm 20\%$ 的范围内。所以式(4)也具有较好的实用性。

四、试验结果分析与讨论

1. 试验系统的除去效能

根据表3数据,当每天处理水量为3.3 m³,进水COD为255.9 mg/l时,本试验系统除去有机物的效能计算结果列于表5。

由表5可知,超速滤池填料高度虽然不到一般塔式生物滤池填料高的二分之一。但其有机物去除负荷比一般塔式滤池高得多。其原因可用式(1)进行分析。假定一个填料高10米的滤池,在5米高处取水样。则上半部除去率为:

$$\frac{C_o - C_{e5}}{C_o} = 1 - e^{-K \cdot 5/Q^n} \quad (5)$$

式中 C_{e5} ——池高5米处废水的有机物浓度(mg/l),下半部滤池有机物除去率为:

表5 构筑物处理效能计算

项目	进 水		出 水		去除率		有机物去除负荷	
	COD (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)	COD (%)	BOD ₅ (%)	COD ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{d}}$)	BOD ₅ ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{d}}$)
超速滤池	255.9	199.9	139.1	86.4	45.6	81.6	4.0	3.9
接触氧化池	139.1	86.4	45.9	14.6	67.0	83.1	12.8	9.9
全系统	255.9	199.9	45.9	14.6	82.1	92.7	5.8	5.1

注: BOD₅ 值是根据 COD 与 BOD₅ 试验数据的相关性关系求得。

$$\frac{C_{e5} - C_{e10}}{C_{e5}} = 1 - e^{-K \cdot 5/Q^n} \quad (6)$$

式中 C_{e10} ——池底出水有机物浓度(mg/l)。

一般可以认为滤池上下两部分的 K 和 n 值基本相同,则由式(5)和(6)可得:

$$\frac{C_o - C_{e5}}{C_o} = \frac{C_{e5} - C_{e10}}{C_{e5}}$$

上式移项后得

$$\frac{C_o - C_{e5}}{C_{e5} - C_{e10}} = \frac{C_o}{C_{e5}} \quad (7)$$

根据式(1),式(7)可写成

$$\frac{C_o - C_{e5}}{C_{e5} - C_{e10}} = e^{K \cdot 5/Q^n} \quad (8)$$

假定 $K = 4.493$, $n = 0.63$, $Q = 146.7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$, 则

$$\frac{C_o - C_{e5}}{C_{e5} - C_{e10}} = e^{4.493 \times 5/146.7^{0.63}} = 2.65$$

由此可知,滤池上半部除去有机物的数量占整个滤池除去量的72%左右。下半部只占28%左右。这证明塔式滤池除去有机物,上半部起着主要作用,下半部是次要的^[3]。当塔滤进水负荷不变,而填料高度减少一半时,

就能提高滤池有机物除去负荷。这就是超速滤池比一般塔滤处理效能高的原因。

由于超速滤池和接触氧化池均有较高的有机物除去负荷,因而使整个处理系统具有较高的处理效能。由表 5 可知,全系统有机物除去负荷达 $\text{COD} 5.8 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 或 $\text{BOD}_5 5.1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 。

2. 试验系统能耗的估算

本系统能耗主要包括提升废水和接触氧化池供气二种电耗。

(1) 废水提升电耗 由于超速滤池建于地面,其填料高为 4.28 米,所以废水进入滤池必须提升。考虑管路的水头损失等,取水泵扬程为 6 米,水泵效率 0.65,则每天提升 1 m^3 废水的电耗为:

$$\frac{1000 \times 6 \times 24}{86400 \times 0.65 \times 102} = 0.025 (\text{kW} \cdot \text{h})$$

(2) 接触氧化池曝气电耗 当接触氧化池 BOD_5 除去负荷达 $9.9 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 时,水气比为 1:1.8,因用转子流量计计量空气的表压为 0.55 kg/cm^2 ,则 1.8 m^3 空气经修正和换算成

标准压力后其体积为 2.24 m^3 。如采用 D36×35—40/3500 罗茨鼓风机可供 $75 \text{ m}^3/\text{kW} \cdot \text{h}$ 标准空气,则电耗为:

$$2.24/75 = 0.03 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$$

总电耗为:

$$0.025 + 0.03 = 0.055 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$$

(3) 除去每公斤 BOD_5 电耗 根据表 5,进水 BOD_5 为 199.9 毫克/升,出水为 14.6 毫克/升。除去量为 185.3 毫克/升,则除去每公斤 BOD_5 的电耗为 $0.055/0.1853 = 0.297 \approx 0.3 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

3. 处理系统的占地面积

由于超速滤池建于地面以上,而接触氧化池和沉淀池等构筑物建于地面以下,因此,本处理系统可以充分利用空间。只要设计上加以研究,可以把超速滤池布置在其它处理构筑物之上。从而节省占地面积。

4. 本试验与其它生物处理系统的比较

比较结果见表 6。由表可见,本试验系统 BOD_5 容积负荷较高,电耗较低。具有高效低耗的优点。

表 6 国内外几种主要生物处理方法的比较

项 目 工艺名称		进 水 BOD_5 (mg/l)	出 水 BOD_5 (mg/l)	去除率 (%)	BOD_5 容积负荷 ($\text{kg/m}^3 \cdot \text{d}$)	去除每公斤 BOD_5 耗电量 ($\text{kW} \cdot \text{h}$)	处理每立方米废 水耗电量 ($\text{kW} \cdot \text{h}$)
国 外	普通曝气(1)	113—254	10—36	86—95	0.35—0.71	0.80—1.14	0.0824—0.249
	生物吸附(2)	195—333	10—30	88—96	1.1—3.15	1.04	0.192—0.316
	纯氧曝气(3)	102—304	9—22	84—97	1.29—2.74	0.93	0.09—0.26
国 内	射流曝气(4)	156.5	17.2	89	3.7	0.74	0.1
	生物流化床(5)	126.1	12.0	90.4	6.36	0.76	0.086
	接触氧化(6)	71.2	9.2	87.6	4.28	0.56	0.036
	本试验	199.9	14.6	92.7	5.5	0.30	0.055

注: (1)、(2)、(3)、(6)引自“生物接触氧化法处理城市污水的中型试验研究”,北京市环境保护科学研究所等,1977年1月。

(4) 引自“射流曝气活性污泥法处理城市污水的研究”,同济大学等,1980年11月。

(5) 引自“生物流化床用于城市污水处理中型试验”,北京市市政设计院等,1980年5月。

五、小 结

综上所述,本系统是一个高效低耗的废水生物处理系统。并可能节省占地面积,是

一个很有发展前景的废水生物处理系统,值得进一步结合实际进行试验研究。

清华大学原环 7 班王琪、徐建杰同学参加了本试验工作,特此致谢。(下转第26页)

表 5 各供选的最优决策方案

Q (亿)	m	给定目标	优化结果	方 案 描 述
2.8	-1.5	允许较长的时间容许限; 但应具有较高的整体环境效益.	W_{62} 和 W_{61} 最优; W_{24} 和 W_{29} 辅之.	决策方案: 经 1.5 或 1 级预处理后的曝气生物塘方法. 辅助方案: ①东排系列中经 1 级处理后五通出口的远岸表层排放; 或 ② 东排系列中经 2 级处理后五通出口的近岸排放, 并在中途的洪文村附近设置沉淀处理池.
1.6			W_{62} 和 W_{61} 最优; W_1 和 W_9 辅之.	决策方案: 经 1.5 或 1 级预处理后的曝气生物塘方法. 辅助方案: 西排系列中不处理或经 1 级预处理后的近岸排放.
2.8	-3.8	协调时间和环境两方面的效益.	W_{14} 和 W_{46} 最优.	决策方案: 东排系列中不处理或经 1 级处理后五通出口的远岸深水单头排放, 并在中途的洪文村附近设置沉淀处理池.
1.6			W_3 和 W_{11} 最优; W_{61} 和 W_{64} 辅之.	决策方案: 西排系列中不处理或经 1 级处理后的远岸深水多头排放. 辅助方案: 不处理或经 1 级预处理后的曝气生物塘方法.
2.8	-5.2	整体环境效益可在今后逐步协调完善; 但目前应具高的动态效益, 即迅速取得成效.	W_{46} 和 W_{14} 最优; W_9 和 W_1 辅之.	决策方案: 东排系列中不处理或经 1 级处理后五通出口的远岸深水单头排放, 并在中途的洪文村附近设置沉淀处理池. 辅助方案: 西排系列中不处理或经 1 级处理后的近岸排放.
1.6			W_3 和 W_{11} 最优.	决策方案: 西排系列中不处理或经 1 级处理后的远岸深水多头排放.

来, 当允许较长时间容许限时, 宜取经 1.5 或 1 级预处理后的曝气生物塘法为决策方案; 当时间效益要求较高、投资额也较高(2.8 亿)时, 宜采纳东排方案系列中不处理或经 1 级处理后五通出口的远岸深水单头排放方案, 并在洪文村附近设置沉淀处理池; 而当时间效益要求高, 投资额却较低(1.6 亿)时, 则宜采纳西排系列中不处理或经 1 级处理后的远岸深水多头排放方案.

五、结 语

本文以数学规划理论为基础, 尝试探讨一种用于对一系列污染治理方案设想进行量化寻优分析的系统的研究方法. 这种方法通过对大量基础数据的调查分析, 综合了整个复杂的社会系统中各相关因子带来的影响,

并用定量的形式予以表达, 从而在决策上具有很高的实用价值. 把这种方法应用于厦门筴筴湖的污染治理研究课题, 结果表明, 该方法是合理的、可行的. 将优化理论应用于指导方案决策, 无疑将使我们得到更高的环境效益和更好的经济效果.

参 考 文 献

- [1] Fukushima, M. et al., *Europ. J. Oper. Res.*, 11, 338(1982).
- [2] Freeman, A. M., *Air and Water Pollution Control*, pp. 5—208, John Wiley and Sons, New York, 1982.
- [3] Simpson, J. R., *Asian Environ.*, 1, 24(1983).
- [4] McLaughlin D., *Modelling, Identification and Control in Environmental Systems*, pp. 105—151, North-Holand, 1978.
- [5] Weisman, G. D., *Environ. Behav.*, 15, 381 (1983).

(上接第60页)

参 考 文 献

- [1] WPCF, *Wastewater Plant Design, Manual of*

Practice, P299, Washington, 1977.

- [2] 洞沢勇, 用水と廃水, 21(8), 13(1979).
- [3] 同济大学编, 排水工程(上册), 148, 上海科学技术出版社, 1977.