

上流式曝气生物滤池深度处理炼油厂外排污水

崔康平¹, 钟佐燊², 沈照理²

1. 合肥工业大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009

2. 中国地质大学 水资源与环境学院, 北京 100083

CUI Kang-ping¹, ZHONG Zuo-shen², SHEN Zhao-li²

1. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China

2. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

CUI Kang-ping, ZHONG Zuo-shen, SHEN Zhao-li. Refinery waste water treatment using the up-flow biological aerated filter. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(Suppl): 055-060

Abstract: The composition of refinery waste water is complex and the performance of biochemical degradation is inadequate. However, the up-flow biological aerated filter (UBAF) is highly effective for the treatment of waste water. The results of this research show that the removal rates of COD, NH₃-N are 81.9%, 73.2% respectively under the hydraulic loading of 3 m³·m⁻²·h⁻¹, the COD loading of 439 kg·m⁻³·d⁻¹ and the air and water ratio of 3:1 by BAF. The principal influencing factors of BAF are hydraulic loading, the ratio of air to water and COD loading. The empirical velocity equation from the experiment is consistent with the Monod equation. This research provides a technological method for the reclaim and reuse of refinery waste water.

Key words: up-flow biological aerated filter (UBAF); refinery waste water; organic loading; hydraulic loading; ratio of air to water

摘要: 炼油厂外排污水水质复杂, 可生化性已较差, 但上流式曝气生物滤池对其有较好的处理效果。研究表明: 曝气生物滤池处理炼油厂外排污水在有机负荷(COD)为 4.39 kg·m⁻³·d⁻¹、水力负荷为 3 m³·m⁻²·h⁻¹、气水比为 3:1 下, COD、NH₃-N 的去除率达到 81.9%、73.2%; 曝气生物滤池的主要影响因素依次是水力负荷、气水比、有机负荷; 得到的经验速度方程与 Monod 方程基本吻合。该实验为炼油厂外排污水再生回用提供了一种工艺方法。

关键词: 上流式曝气生物滤池; 炼油污水; 有机负荷; 水力负荷; 气水比

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 1005-2321(2005)S0-0055-06

曝气生物滤池(biological aerated filter, BAF)是 20 世纪 80 年代欧美开发的一种新型污水处理技术, 它借鉴了污水处理接触氧化法和给水快滤池的设计思路, 集曝气、高滤速、截留悬浮物、定期反冲洗等特点于一体, 具有负荷高、占地少、能耗低、出水好、工艺简单灵活、适应性强等优点, 20 世纪 90 年代后被广泛应用于城市和生活污水处理中, 但 BAF 在工业废水处理方面还有待进一步的

开发研究^[1,2]。本文对上流式曝气生物滤池用于炼油厂外排污水深度处理的工艺特性进行了研究, 为炼油厂外排污水再生回用工程设计提供参考。

1 实验概况

中国石油大庆炼化公司含油污水经隔油-气浮-

收稿日期: 2004-12-15; 修回日期: 2005-01-27

基金项目: 合肥工业大学科学研究发展基金资助项目(040701F)

作者简介: 崔康平(1969—), 男, 博士, 副教授, 环境工程专业, 主要从事水处理技术研究工作。电话: 0551-3908229; E-mail: cuikang-ping@163.com

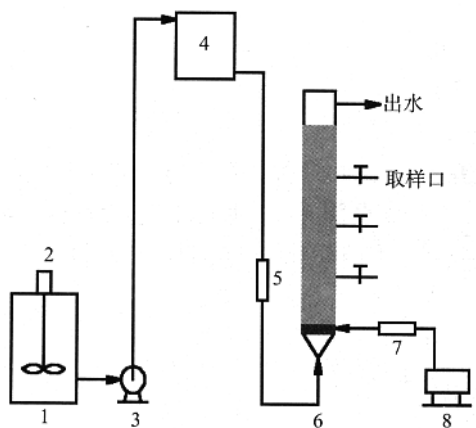
A/O 生化处理后,出水水质基本达到污水综合排放标准(GB8978-1996)的二级标准,但远未达到回用于循环冷却水的水质要求,其污水处理厂二沉池外排污水的平均水质见表 1。

表 1 大庆炼化公司污水厂外排污水的平均水质
Table 1 The effluent water quality of Daqing refinery

| 成分及参数 | $\rho_B / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | 成分 | $\rho_B / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ |
|-------|--|-------------------------------|--|
| SS | 46 | K ⁺ | 5.96 |
| COD | 115 | Na ⁺ | 291.5 |
| BOD | 28.7 | Ca ²⁺ | 155 |
| 硫化物 | 0.054 | Mg ²⁺ | 100 |
| 挥发酚 | 0.012 | Fe ³⁺ | 1.12 |
| 油类 | 1.70 | Al ³⁺ | 2.13 |
| 氰化物 | 0.237 | SO ₄ ²⁻ | 198.4 |
| 氨氮 | 24.1 | HCO ₃ ⁻ | 150 |
| 总碱度 | 150 | PO ₄ ³⁻ | 33.67 |
| 总硬度 | 255 | SiO ₂ | 1.60 |
| 浊度 | 18.09 | Cl ⁻ | 486.7 |
| TDS | 1 258 | | |

注:外排污水的 pH=6.95,电导率=2 412 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。上表数据由大庆炼化公司水质管理中心提供。

实验用的 BAF 反应器采用 DN100 mm 机玻璃柱制作,总高 2.5 m,内装 2 m 高的陶粒滤料,滤料粒径 2~4 mm、总比表面积 836 $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ 、容重 870 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,滤料层上每 50 cm 设一取样口,实验装置见图 1。BAF 采用上流式设计,空气和污水均由下部进入,从反应器顶部流出。



1-配水箱; 2-搅拌器; 3-泵; 4-高位水箱;
5-流量计; 6-BAF池; 7-流量计; 8-空压机

图 1 实验装置简图

Fig. 1 The facility sketch of experimentation

实验中, COD_{Cr} 采用重铬酸盐法(GB/T 11914-1989)测定, $\text{NH}_3\text{-N}$ 采用纳氏试剂分光光度法

(GB7479-87)测定。

2 结果与讨论

2.1 进水有机负荷对 BAF 性能的影响

有机负荷对 COD 去除率的影响见图 2。COD 去除率随有机负荷的增加先逐步增大,当有机负荷(COD)超过 12.816 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 后,COD 去除率迅速下降。有机负荷较低时,微生物处于生长率下降阶段后期或内源代谢阶段,微生物的增殖受基质数量的限制,所以,进水中的基质数量增加,微生物吸收降解的基质数量也增加,使出水基质浓度的增加很缓慢,当进水有机负荷(COD)从 4.248 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 到 12.816 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 增加到 3 倍时,出水 COD 仅从 26 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 增加到 42 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,增加不到 2 倍,而 COD 去除率从 78%增加到 82.6%,表现出 BAF 良好的抗有机负荷冲击能力。但当继续增大进水有机负荷时,达到微生物的生长率下降

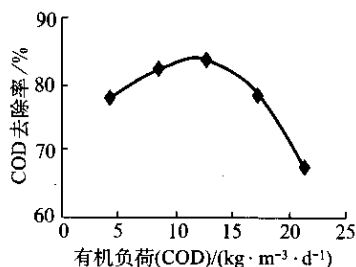


图 2 COD 去除率与有机负荷的关系

Fig. 2 The relations between COD_{Cr} removal and organic loading

阶段前期或对数生长期,生物量将迅速增加,微生物活性增强,滤料间的游离微生物增多,出水 COD 随进水 COD 的升高而升高,COD 去除率随进水有机负荷的增加而下降,当有机负荷进一步增加到一定程度后,就会发生游离微生物的穿透^[3],COD 去除率急剧下降。

从实验结果看,BAF 的进水有机负荷(COD)应控制在 13 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 以内较为合适。

2.2 水力负荷对 BAF 性能的影响

水力负荷对 BAF 性能的影响见图 3。水力负荷对 BAF 的性能影响是较大的,并且水力负荷对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果影响要比对 COD 的影响更大。水力负荷增大,相应的停留时间减少,废水与生物膜的接触时间缩短,生物氧化去除污染物的效果降低;另一方面,水力负荷影响微生物的生长、增殖和脱落

更新, 水力负荷增加, 相应的有机负荷也增加了, 微生物可利用的营养物质增多, 微生物生长旺盛, 生物膜增殖快, 活性高, 但水力负荷的增加, 同时也加大了对滤料表面的冲刷, 促进了生物膜的更新, 水力负荷过大, 滤料间截留的悬浮物和脱落的生物膜就容易被出水带走, 导致出水悬浮物含量高, 去除效率急剧下降。

水力负荷对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效率影响较大的原因, 一方面是硝化细菌的世代期较长, 生物膜的

气的鼓泡作用加强, 对填料表面的生物膜冲刷作用加大, 促使生物膜加速剥落更新, 提高了生物膜的活性。但气水比不能太大, 一方面氧在混合液中的溶解度有限, 过大的曝气量不能持续提高溶解氧浓度, 浪费能源; 另一方面曝气量过大, 加剧了对生物膜的冲刷, 不利于污染物的截留和微生物的增殖。实验中, 气水比大于 5 : 1 时, 已引起生物膜碎片随出水带出现象, 所以, BAF 的气水比应选择在 1 : 1~5 : 1 之间。

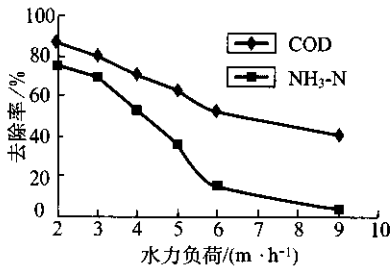


图3 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率与水力负荷的关系

Fig. 3 The relations between COD_{Cr} and $\text{NH}_3\text{-N}$ removal and Hydraulic loading

迅速更新, 不利于硝化细菌的附着和增殖; 另一方面是水力负荷增加, 有机负荷随之增加, 在较高的有机物基质浓度下, 降解有机质的异养微生物处于绝对优势, 抑制了自养性硝化细菌的增殖和活性。BAF 的水力负荷选择在 $1 \sim 4 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间较为合适。

2.3 气水比对 BAF 性能的影响

在有机负荷 (COD) $4.39 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, 水力负荷 $3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 下, 不同气水比对 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率影响见图 4 和图 5。实验水样 COD 为 $122 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 $16.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

气水比对 COD 的去除率影响不太大, 在气水比小于 5 : 1 的范围内, 随着气水比的增大, COD 的去除率缓慢上升, 当气水比增大到 6 : 1 时, 出水 COD 略有回升, 并且出水悬浮物增多; 气水比对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率影响较大, 随着气水比的增大, $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率也逐步增加。

增大曝气量可以起到三方面作用, 一是提高混合液中的氧浓度, 增大生物膜表面氧的浓度梯度和氧在生物膜内的传递和渗透速率, 加速生物氧化; 二是增大气水比可增大混合液的湍动程度, 加快混合液在生物膜表面的流动速度和生物膜表面的基质更新, 促进了基质的传递和降解; 三是增大气水比, 空

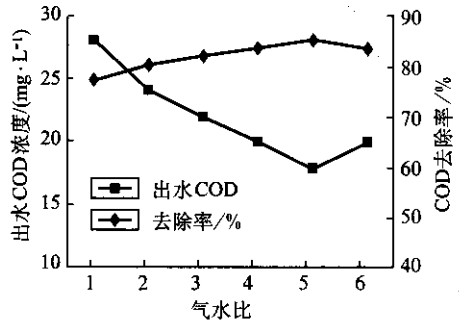


图4 COD去除率与气水比的关系

Fig. 4 The relations between COD_{Cr} removal and ratio of air to water

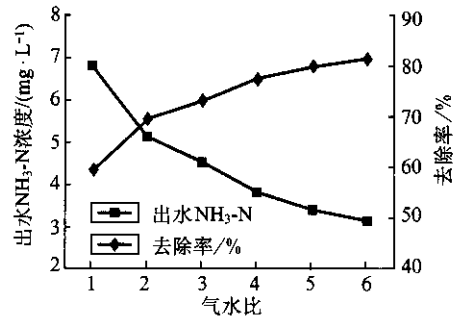


图5 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率与气水比的关系

Fig. 5 The relations between $\text{NH}_3\text{-N}$ removal and ratio of air to water

2.4 填料高度对污染物去除效果的影响

在有机负荷 (COD) $4.61 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 、水力负荷 $3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、气水比 3 : 1 下, 填料高度对 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率影响见图 6 和图 7。实验水样 COD 为 $128 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 $18.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

COD 的去除主要发生在前半部分填料内, 1.0 m 取样口的 COD 已经降至 $36 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 去除率达到 72%; 而 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除作用主要发生在后半部分填料内, 1.0 m 取样口的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 仍然有 $16.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 去除率只有 3.3%, 而出水的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 总去除率为 71.7%。

生物膜对有机污染物的去除首先表现为吸附作用,可以在极短的时间内完成对有机物的截留,然后利用胞外酶和水中的溶解氧缓慢降解有机物,所以,BAF对COD的去除主要发生在进水端;由于有机物大部分在前段填料已被截留,后段填料表面的生

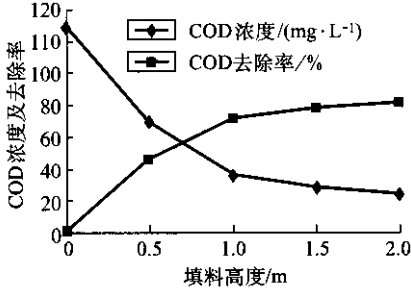


图6 COD去除率与填料高度的关系

Fig.6 The relations between COD_{Cr} removal and filler height

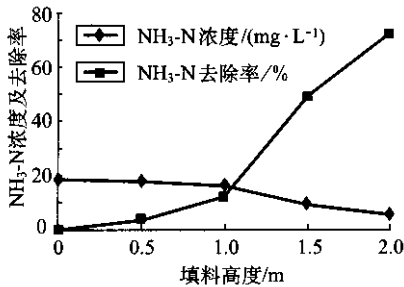


图7 NH₃-N去除率与填料高度的关系

Fig.7 The relations between NH₃-N removal and filler height

物膜可以获得的有机养料已较少,自养性的硝化细菌逐步取代异养菌成为优势菌种而迅速增殖,对NH₃-N的去除率迅速升高,所以,BAF对NH₃-N的去除作用主要发生在后半部分填料内。

2.5 正交实验

根据前面的单因素实验及结果分析,选取进水物料浓度(即有机负荷)、水力负荷和汽水比三个参数为分析因素,每个因素选取四个水平,进行正交实验。结果见表2。

正交实验结果表明,各因素对BAF性能影响的程度按由大到小的顺序为水力负荷、汽水比、进水物料浓度;各因素对NH₃-N的去除率影响程度均大于对COD的影响;综合考虑COD和NH₃-N的去除率和经济性因素,BAF深度处理炼油厂外排污水的适宜工艺条件为有机负荷(COD)4~12 kg·m⁻³·d⁻¹、水力负荷1~4 m³·m⁻²·h⁻¹、汽水比1:1~5:1。

3 动力学方程

根据基元反应理论^[4],曝气生物滤池中COD去

表2 正交实验结果

Table 2 The result of orthogonal experiment

| 实验号 | 进料浓度 / (mg·L ⁻¹) | | 水力负荷 / (m ³ ·m ⁻² ·h ⁻¹) | 汽水比 | 去除率/% | |
|----------------|------------------------------|--------------------|--|--------|-------|--------------------|
| | COD | NH ₃ -N | | | COD | NH ₃ -N |
| 1 | 1(124) | 1(8.4) | 1(2) | 1(1:1) | 85.5 | 43.4 |
| 2 | 1(124) | 1(8.4) | 2(4) | 2(3:1) | 72.6 | 51.8 |
| 3 | 1(124) | 1(8.4) | 3(6) | 3(5:1) | 53.2 | 18.2 |
| 4 | 1(124) | 1(8.4) | 4(8) | 4(7:1) | 37.9 | 2.7 |
| 5 | 2(252) | 2(13.6) | 1(2) | 2(3:1) | 86.4 | 76.7 |
| 6 | 2(252) | 2(13.6) | 2(4) | 3(5:1) | 73.1 | 54.2 |
| 7 | 2(252) | 2(13.6) | 3(6) | 4(7:1) | 51.3 | 15.7 |
| 8 | 2(252) | 2(13.6) | 4(8) | 1(1:1) | 40.7 | 3.4 |
| 9 | 3(360) | 3(19.2) | 1(2) | 3(5:1) | 87.2 | 82.5 |
| 10 | 3(360) | 3(19.2) | 2(4) | 4(7:1) | 60.6 | 57.6 |
| 11 | 3(360) | 3(19.2) | 3(6) | 1(1:1) | 44.6 | 12.4 |
| 12 | 3(360) | 3(19.2) | 4(8) | 2(3:1) | 35.5 | 4.3 |
| 13 | 4(486) | 4(26.6) | 1(2) | 4(7:1) | 74.1 | 85.6 |
| 14 | 4(486) | 4(26.6) | 2(4) | 1(1:1) | 63.4 | 51.7 |
| 15 | 4(486) | 4(26.6) | 3(6) | 2(3:1) | 56.8 | 18.4 |
| 16 | 4(486) | 4(26.6) | 4(8) | 3(5:1) | 32.7 | 4.1 |
| K ₁ | 62.3/29.0* | | 83.3/72.1* 57.55/27.7* | | | |
| K ₂ | 62.9/37.5* | | 67.4/53.8* 62.8/37.8* | | | |
| K ₃ | 56.9/39.2* | | 51.5/16.2* 61.6/39.8* | | | |
| K ₄ | 56.8/40.0* | | 36.7/3.6* 56.0/40.4* | | | |
| R | 6.1/11.0* | | 46.6/68.5* 6.8/12.7* | | | |

*:以NH₃-N作指标。

除速率可表示为

$$r_{\text{COD}} = -\frac{dc_{\text{COD}}}{dt} = k'c_{\text{COD}}^{\alpha}c_x^{\beta} \quad (1)$$

式(1)中: r_{COD} 为COD去除速度, k' 为反应速度常数, c_{COD} 为废水中的COD浓度, c_x 为微生物浓度, α 为COD反应级数, β 微生物反应级数。

BAF中微生物数量相对于水中COD数量为过量,即 c_x 可视为常数,若 $\alpha=1$,则COD的去除速度对COD的浓度为一级反应,式(1)可简写为

$$r_{\text{COD}} = -\frac{dc_{\text{COD}}}{dt} = kc_{\text{COD}} \quad (2)$$

$$\text{积分得: } t = \int_{c_{\text{COD},0}}^{c_{\text{COD}}} -\frac{dc_{\text{COD}}}{kc_{\text{COD}}} = \frac{1}{k} \ln \frac{c_{\text{COD},0}}{c_{\text{COD}}} \quad (3)$$

式(3)中: $c_{\text{COD},0}$ 为废水初始COD浓度。

因为COD的去除率 $y = (c_{\text{COD},0} - c_{\text{COD}}) / c_{\text{COD},0}$,代入式(3)得:

$$\ln \frac{1}{1-y} = kt \quad (4)$$

可见,如果COD的去除速度对COD的浓度为一级反应,则 $\ln[1/(1-y)]$ 对时间 t 作图应为一直线。

由于实验的BAF填料高度一定(为2m),在某

一水力负荷下, 废水通过空塔 BAF 的停留时间即为填料高度除以水力负荷的商, 因为陶粒滤料的堆积

表 3 COD 去除率与停留时间的关系

Table 3 The relations between COD_{Cr} removal and hydraulic residence time

| 水力负荷 /(m ³ ·m ⁻² · h ⁻¹) | 停留时间 t/min | 出水 COD 浓度/(mg· L ⁻¹) | COD 去除 率 y | ln[1/(1-y)] |
|--|---------------|--|---------------|-------------|
| 2 | 30 | 16 | 0.869 | 2.03 |
| 3 | 20 | 24 | 0.803 | 1.62 |
| 4 | 15 | 36 | 0.705 | 1.22 |
| 5 | 12 | 46 | 0.623 | 0.98 |
| 6 | 10 | 58 | 0.525 | 0.74 |
| 9 | 6.7 | 72 | 0.409 | 0.53 |

注: 实验条件为进水 COD 浓度为 122 mg·L⁻¹, 气水比为 3:1。

空隙率约 50%, 所以填料中的实际水力停留时间为空塔水力停留时间的一半, 将 2.2 节的实验数据整理得表 3。

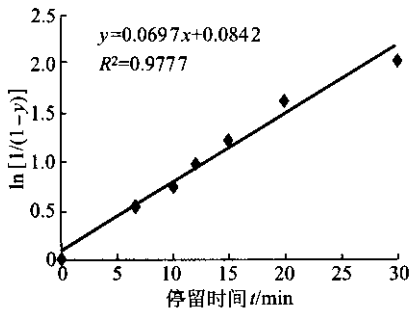


图 8 ln[1/(1-y)]与停留时间之间的关系
Fig. 8 The relations between ln[1/(1-y)] and hydraulic residence time

以 ln[1/(1-y)]对时间 t 作图 8。

由图 8 可见, ln[1/(1-y)]与时间 t 呈线性关系, 证明 COD 的反应级数 α=1, 并且从回归方程可得反应速度常数 k=0.0697, 代入式 2 和式 4 分别得:

$$r_{\text{COD}} = -\frac{dc_{\text{COD}}}{dt} = kc_{\text{COD}} = 0.0697 c_{\text{COD}} \quad (5)$$

表 4 实验结果与数据处理

Table 4 Experiment result and data handling

| 实验号 | 水力负荷 /(m ³ ·m ⁻² · h ⁻¹) | Q /(m ³ ·d ⁻¹) | S _e /(mg·L ⁻¹) | Q(S ₀ -S _e) /(g·d ⁻¹) | 填料面积 /m ² | U /(g·m ⁻² ·d ⁻¹) | 1/U | 1/S _e |
|-----|--|--|--|---|-------------------------|---|-------|------------------|
| 1 | 2 | 0.377 | 16 | 39.96 | | 3.04 | 0.329 | 0.0625 |
| 2 | 3 | 0.565 | 24 | 55.37 | | 4.22 | 0.237 | 0.0417 |
| 3 | 4 | 0.754 | 36 | 64.84 | 13.13 | 4.94 | 0.202 | 0.0278 |
| 4 | 5 | 0.942 | 46 | 71.59 | | 5.45 | 0.183 | 0.0217 |
| 5 | 6 | 1.130 | 58 | 72.32 | | 5.51 | 0.181 | 0.0172 |
| 6 | 9 | 1.700 | 72 | 85.00 | | 6.47 | 0.155 | 0.0139 |

$$t = \frac{1}{k} \ln \frac{c_{\text{COD},0}}{c_{\text{COD}}} = \frac{1}{0.0697} \ln \frac{1}{1-y} \text{ (min)} \quad (6)$$

因此, 在曝气生物滤池中, COD 的去除速度对 COD 的浓度为一级反应。

根据 Monod 方程^[4]可得如下的生物膜法动力学模型:

$$U = \frac{U_{\text{max}} \cdot S_e}{K_s + S_e} \quad (7)$$

式(7)中: U 为单位面积填料基质去除速度,

由定义得 $U = \frac{Q(S_0 - S_e)}{V \cdot a}$; Q 为流量; S₀ 为进水基质浓度; S_e 为出水基质浓度; V 为填料体积; a 为填料比表面积; U_{max} 为单位面积填料最大基质去除速度; K_s 为饱和常数, 其值为 $U = U_{\text{max}}/2$ 时的基质浓度。

一般情况下, 由于 $K_s \gg S_e$, 则式(7)可改写为

$$U = \frac{U_{\text{max}} \cdot S_e}{K_s} = K_s U_{\text{max}}, \text{ 即基质的去除速度对基质浓度}$$

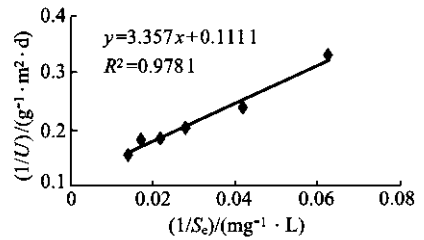


图 9 1/U 对 1/S_e 的关系

Fig. 9 The relations between 1/U and 1/S_e

为一级动力学关系。对式 7 取倒数, 得:

$$\frac{1}{U} = \frac{K_s}{U_{\text{max}}} \cdot \frac{1}{S_e} + \frac{1}{U_{\text{max}}} \quad (8)$$

将表 3 的实验数据重新整理得表 4。

以 1/U 对 1/S_e 作图 9, 其斜率为 K_s/U_{max}, 截距为 1/U_{max}。

由图 9 得, 1/U_{max} = 0.1111, 所以, U_{max} = 9.0 g·m⁻²·d⁻¹。再由 K_s/U_{max} = 3.357 得, K_s =

30.2 mg · L⁻¹。因此,曝气生物滤池的基质(COD)降解动力学模型为

$$U = \frac{U_{\max} \cdot S_c}{K_s + S_c} = \frac{9.0 \times S_c}{30.2 + S_c} \quad (9)$$

将实验条件下得到的两个动力学方程进行比较验算。假设在实验装置条件下,进水 COD 浓度为 200 mg · L⁻¹,出水要求 COD 达到 40 mg · L⁻¹,则水力负荷应控制为

由式(6)得, $t = 23$ min, 则水力负荷应为 2.61 m³ · m⁻² · h⁻¹;

再由式(9)得, $U = 5.13$ g · m⁻² · d⁻¹(即有机负荷(COD)为 4.29 kg · m⁻³ · d⁻¹);

则 $Q = \frac{U \cdot V \cdot a}{S_0 - S_c} = 0.421$ m³ · d⁻¹, 求得水力负荷应为 2.235 m³ · m⁻² · h⁻¹。

两者误差为 14.4%, 因此, 实验数据和结论可信, 对实际工程设计有一定参考价值。

4 结论

(1)BAF 对炼油厂外排污水的 COD 和 NH₃-N 有很好的去除作用, 并且抗冲击负荷能力强; 在有机负荷(COD)4~12 kg · m⁻³ · d⁻¹、水力负荷 1~4 m³ · m⁻² · h⁻¹、气水比 1:1~5:1 的适宜工艺条件下, COD 和 NH₃-N 的去除率达到 70%~86% 和 53%~79%。

(2)影响 BAF 性能的因素从大到小的顺序为水力负荷、气水比和进水污染物浓度。

(3)BAF 中基质的去除速度对基质浓度是一级动力学关系。

References:

- [1] PUJOL R, LEMMEL H, GOUSAILLES M. A key point of nitrification in an upflow biofiltration reactor[J]. *Wat Sci Tech*, 1998, 38(3):43-49.
- [2] MA Jun, QIU Liping. Biological aerated filter and its research progress[J]. *Environmental Engineering*, 2002, 20(3):7-11(in Chinese).
- [3] LI Ruqi, QIAN Yi, KONG Bo, et al. Research on the removal mechanism of pollutants using biological aerated filter[J]. *Environmental Science*, 1999, 20(6):49-52(in Chinese).
- [4] XU Baojiu, LONG Tengrui. *The Principle of Feed Water and Wastewater Contemporary Treatment* [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2001:18-21, 400-404(in Chinese).

参考文献:

- [2] 马军, 邱立平. 曝气生物滤池及其研究进展[J]. *环境工程*, 2002, 20(3):7-11.
- [3] 李汝琪, 钱易, 孔波, 等. 曝气生物滤池去除污染物的机理研究[J]. *环境科学*, 1999, 20(6):49-52.
- [4] 许保玖, 龙腾锐. 当代给水与废水处理原理[M]. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 2001:18-21, 400-404.

万方数据
WANFANG DATA