

文章编号: 1006-6780(2001)05-0068-04

膜生物反应器中最佳排泥时间的确定方法

张立秋, 封莉, 何圣兵, 王宝贞

(哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要:考察了膜生物反应器内活性污泥(MLVSS)的增长规律, 利用线性回归的方法确定了对应于本试验污水水质条件下的 Y 值及 K_d 值, 并依此确定了在一定条件下反应器内活性污泥浓度可能达到的最大值。同时, 利用迭代法从理论上对膜生物反应器的最佳排泥时间进行了推导, 推导结果与试验结果基本吻合, 建议本试验膜生物反应器的最佳排泥时间在35d左右。

关键词:膜生物反应器; MLVSS; MLSS; 排泥时间; 线性回归; 迭代法; 生活污水

中图分类号: X703 **文献标识码:** A

Determination of optimum time for sludge drainage from membrane bio-reactor

ZHANG Li-qiu, FENG Li, HE Sheng-bing, Wang Bao-zhen

(School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Investigates the growing characteristic of active sludge in membrane bio-reactor, discusses the determination of Y , K_d and the highest active sludge concentration in bio-reactor by linear regression method while the iteration method is used for calculation of the optimum time for sludge-drainage and the results of analysis are similar to those of test, so the recommended optimum sludge-drainage time is about 35 days.

Key words: membrane bio-reactor; MLVSS; MLSS; sludge-drainage time; linear regression; iteration method; domestic sewage

0 前言

膜生物反应器作为一种新型、高效的污水处理工艺, 具有稳定的运行效果、优良的出水水质、较小的占地面积和剩余污泥少等优点, 在水处理领域具有良好的应用前景^[1]。

在膜生物反应器中, 污泥被膜组件全部截留在生物反应器之中, 反应器内污泥浓度较高, 可达10g/L以上, 污泥负荷率较低, 能够保证良好的出水水质。但是, 由于反应器内无机物的积累, 污泥的活性(MLVSS/MLSS)会逐渐降低, 并最终影响出水水质。因此, 反应器应当定期的排泥, 以保证反应器内污泥具有较高的活性。目前, 国内外对于膜生物反应器的排泥时间还没有统一的计算方法, 本文考察了反应器中MLVSS增长规律, 分析推导出MLVSS可能达到的最大值及最佳的排泥时间。

1 试验装置与试验方法

1.1 试验装置

试验装置的工艺流程如图1所示。污水从高位水箱重力流入平衡水箱, 平衡水箱内设浮球阀, 其主要作用是保持进水与出水平衡, 维持生物反应器内液位为一定值。平衡水箱底部出水, 进入一体式

收稿日期: 2000-09-16

基金项目: 哈尔滨工业大学校基金资助项目(HIT, 2000, 27)

作者简介: 张立秋(1972-), 男, 哈尔滨工业大学博士。

膜生物反应器中。生物反应器内径14cm、有效高度100cm,总有效容积15.4L,生物反应器底部设微孔曝气器,空气来自空气压缩机。试验所用的膜组件为孔径0.1 μm 的聚丙烯中空纤维超滤膜,纤维长度35cm,直径0.4mm,膜表面积1.5 m^2 。膜生物反应器由水射器引水后,依靠反应器与出水管的液面差重力出水,出水量的大小可根据液面差的大小来进行调节。

1.2 污水水质

采用直链淀粉、蔗糖、 NH_4Cl 、 NaH_2PO_4 、 Na_2HPO_4 模拟生活污水人工配制而成,配制的污水水质情况见表1。

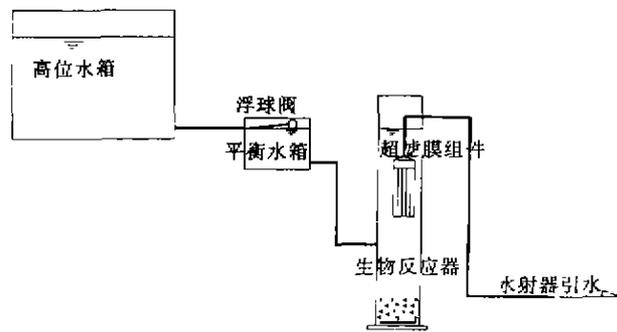


图1 试验装置工艺流程

Fig.1 Test set-up

表1 试验污水水质

Table 1 Quality of wastewater test

| 水温/ $^{\circ}\text{C}$ | COD _{Cr} $\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ | BOD $\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ | $\text{NH}_3\text{-N}$ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | TN $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | TP $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | pH | SS $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ |
|------------------------|---|---|---|-------------------------------------|-------------------------------------|---------|-------------------------------------|
| | 313.74~ | 256.56~ | 13.03~ | 15.22~ | | | |
| 17~24 | 346.05 | 278.84 | 24.59 | 28.34 | 2.60~9.28 | 6.5~7.0 | 43.2~85.4 |

1.3 试验方法与条件

首先在生物反应器内接种处理同类污水的活性污泥,然后连续进水进行培养,在维持出水量为32 mL/min ,水力停留时间为8h的条件下,考察了膜生物反应器内活性污泥的增长规律。

2 试验结果及讨论

2.1 膜生物反应器中活性污泥增长量的理论分析

在生物反应器中,活性污泥每天的净增长量公式^[1]

$$\Delta X = Y(S_0 - S_2)Q - K_d V X_v \quad (1)$$

式中: ΔX 为每天增长的活性污泥量, mg/d ; S_0 为生物反应器进水BOD浓度, mgO_2/L ; S_2 为生物反应器出水BOD浓度, mgO_2/L ; Q 为污水流量, L/d ; Y 为产率系数,即每降解1 mg BOD所生成的MLVSS mg 数; K_d 为活性污泥微生物的自身氧化率, d^{-1} ; V 为生物反应器有效容积, L ; X_v 为生物反应器内活性污泥浓度, mg/L 。

式(1)中, Y 值和 K_d 值对于一定的污水来说,通常为一定值, V 也是一个不变的量, S_2 虽非定值,但其数值和变化范围较小,可以近似认为 S_2 也是一常数。经过以上的分析,我们得到: ΔX 与进水BOD浓度 S_0 、污水流量 Q 和反应器内活性污泥浓度 X_v 有关, ΔX 随 S_0 、 Q 值增大而增大,随 X_v 增大而减小。如果维持 S_0 和 Q 为一定值,则可以确定在此条件下,反应器内所能达到的最大的活性污泥浓度 $X_{v\text{max}}$,即当 $\Delta X=0$ 时所对应的 X_v 值。

2.2 膜生物反应器中 $X_{v\text{max}}$ 的确定

为了准确计算不同条件(如不同的进水BOD浓度 S_0 、污水流量 Q)下的 $X_{v\text{max}}$ 值,首先需要通过试验来确定对应于本试验污水水质条件下的 Y 值和 K_d 值。假设 $Y(S_0 - S_2)Q = A$, $K_d V = B$,则式(1)可简化为

$$\Delta X = A - B X_v \quad (2)$$

在生物反应器内混合液温度为21 $^{\circ}\text{C}$,起始活性污泥浓度 X_{v0} 为1365 mg/L 的条件下,尽量控制进水BOD浓度为一定值,试验中平均为267.7 mg/L ,污水流量 Q 维持在32 mL/min ,考察了污泥接种后20d,生物反应器内活性污泥浓度 X_v 的增长变化情况,试验结果见表2。试验从5月23日开始,在试验期间,膜生物反应器的出水BOD浓度介于10~22 mgO_2/L ,平均值为16 mgO_2/L 。

表2 生物反应器内活性污泥浓度 X_v 随时间的的变化情况
Table 2 Variation of activated sludge concentration X_v in MBR with time

| | 时间/d | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| $X_v/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 1810 | 2246 | 2655 | 3030 | 3384 | 3710 | 4012 | 4286 | 4530 | 4737 |
| $\Delta X_v/\text{mg}(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$ | 445 | 436 | 409 | 375 | 354 | 326 | 302 | 274 | 244 | 207 |
| $\Delta X/\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$ | 6853 | 6714 | 6299 | 5775 | 5452 | 5020 | 4651 | 4220 | 3758 | 3188 |

| | 时间/d | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| $\Delta X_v/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 4905 | 5050 | 5172 | 5275 | 5371 | 5479 | 5572 | 5648 | 5713 | 5770 |
| $\Delta X_v/\text{mg}\cdot(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$ | 168 | 145 | 122 | 103 | 96 | 108 | 93 | 76 | 65 | 57 |
| $\Delta X/\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$ | 2587 | 2233 | 1879 | 1586 | 1478 | 1663 | 1432 | 1170 | 1001 | 878 |

根据以上的试验结果,我们以 X_v 为横坐标, ΔX 为纵坐标, 列出 ΔX 与 X_v 的关系曲线, 并用线性回归得出了二者之间的数学关系模型, 见图2。

根据线性回归结果, ΔX 与 X_v 的数学关系模型为

$$\Delta X = 10702 - 1.6547X_v \quad (3)$$

得到 $A=10702$, $B=1.6547$ 。将 $S_0=267.7\text{mg/L}$, $S_c=16\text{mg/L}$, $Q=32\text{mL/min}=46.08\text{L/d}$, $V=15.4\text{L}$ 分别代入前面的假设 $Y(S_0-S_c)Q=A$, $K_dV=B$, 得出: $Y=0.923$, $K_d=0.107$ 。则式(1)可写为

$$\Delta X = 0.923(S_0 - S_c)Q - 0.107VX_v \quad (4)$$

在式(4)中, 只要已知进、出水BOD浓度 S_0 和 S_c 、污水流量 Q 、反应器的容积 V , 就可以确定反应器内活性污泥浓度能够达到的最大值 $X_{v\max}$, 即将 $\Delta X=0$ 代入式(4), 计算出对应的 X_v 值。

在本试验中, $S_0=267.7\text{mg/L}$, $S_c=16\text{mg/L}$, $Q=46.08\text{L/d}$, $V=15.4\text{L}$, 可以计算出在此条件下的 $X_{v\max}$ 为 6468mg/L 。

2.3 膜生物反应器中最佳排泥时间的推导

从式(4)中可以看出, 在反应器容积一定, 进、出水BOD浓度和污水流量维持不变的情况下, 随着反应器内活性污泥浓度(MLVSS) X_v 的增加, 每天增长的活性污泥量 ΔX 在逐渐减少, 直至 ΔX 趋近于0。在这以后, 虽然MLSS浓度还在继续增大, 但MLVSS浓度基本维持在一定数值, 不再增加, 此时反应器内的污泥活性(MLVSS/MLSS)会逐渐降低, 同时由于MLSS的继续增加, 导致混合液粘度增加, 膜堵塞问题加剧。因此, 应该合理的确定膜生物反应器的最佳排泥时间。

我们在式(3)两边同时除以反应器容积 $V(15.4\text{L})$, 得到

$$\Delta X/V = \Delta X_v = 694.94 - 0.107X_v \quad (5)$$

上式左边 ΔX_v 代表每天增加的活性污泥浓度, 该值与反应器内活性污泥浓度 X_v 有关, 而反应器内活性污泥浓度 X_v 每天又在变化, 其值等于前一天的活性污泥浓度加上当天新增加的活性污泥浓度。从式(5)可以看出, ΔX_v 与 X_v 负相关, 随着反应器内活性污泥浓度 X_v 的增加, 每天增加的活性污泥浓度 ΔX_v 逐渐减少。

为了推求活性污泥浓度 X_v 在多少天能达到最大值, 利用迭代法进行求解。反应器内活性污泥起始浓度 $X_{v0}=1365\text{mg/L}$, 设定程序 $\Delta X_v < 10\text{mg}\cdot(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$ 时结束。经过程序计算, 得出如下结果:

在第37d时, $\Delta X_v=9.33\text{mg}\cdot(\text{L}\cdot\text{d})^{-1}$, $X_{v37}=6407\text{mg/L}$ 。

根据计算结果, 反应器内活性污泥浓度 X_v 在试验进行至37d时达到 6407mg/L , 非常接近 $X_{v\max}=6468\text{mg/L}$ 。此后, MLVSS基本保持不变, 而污泥活性 (MLVSS/MLSS值)将会逐渐下降, 因此认为, 膜生物反应器的最佳排泥时间可确定在37d左右。

为了验证上面得出的最佳排泥时间是否准确, 在试验过程中, 记录了从5月23日~7月22日反应器

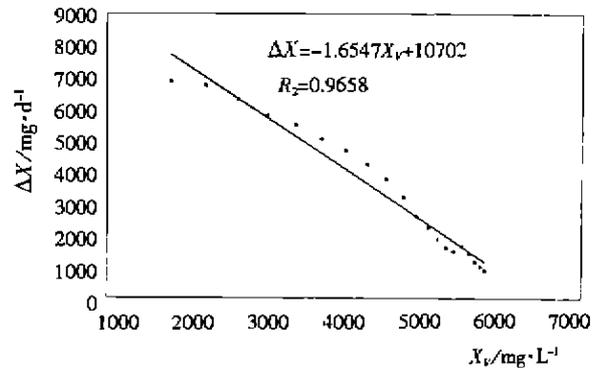


图2 ΔX 与 X_v 的关系图

Fig.2 Correlation between ΔX and X_v

内的MLSS与MLVSS值随时间的增长变化情况,在试验期间,膜生物反应器处理系统除取样外,没有进行排泥。测定结果见表3、图3、图4。

表3 反应器内MLSS与MLVSS随时间的增长变化

Table 3 Growth of MLSS and MLVSS in MBR with time

| | 时间/d | | | | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| MLSS/mg·L ⁻¹ | 2550 | 3640 | 4342 | 5686 | 6347 | 6763 | 7176 |
| MLVSS/mg·L ⁻¹ | 1810 | 2655 | 3384 | 4737 | 5371 | 5770 | 5965 |
| MLVSS/MLSS/% | 70.98 | 72.94 | 77.93 | 83.31 | 84.62 | 85.32 | 83.12 |
| | 时间/d | | | | | | |
| | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| MLSS/mg·L ⁻¹ | 7869 | 8167 | 8366 | 8633 | 9054 | 9421 | 9735 |
| MLVSS/mg·L ⁻¹ | 6173 | 6203 | 6225 | 6104 | 6285 | 6168 | 6193 |
| MLVSS/MLSS/% | 78.45 | 75.95 | 74.41 | 70.71 | 69.42 | 65.47 | 63.62 |

从图3中可以得到:在试验的开始阶段,MLVSS和MLSS值随时间的增加逐渐增大,在第30d以后,MLVSS值基本稳定在6200mg/L左右,而MLSS值则继续增加,在第60d时接近10000mg/L。从图4中看到,MLVSS/MLSS值在第20~25d达到最大,此时污泥的活性最高,在35d以后,MLVSS/MLSS值下降明显,污泥活性降低。

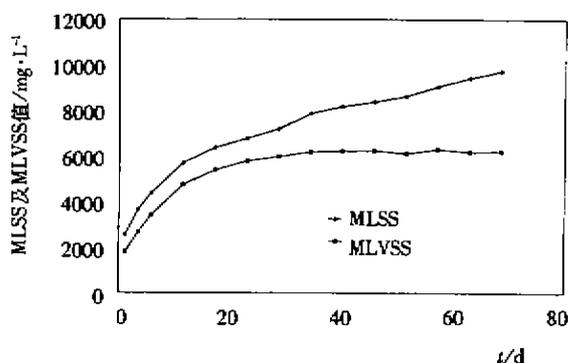


图3 MLSS与MLVSS随时间增长变化规律

Fig.3 Growth of MLSS and MLVSS with time

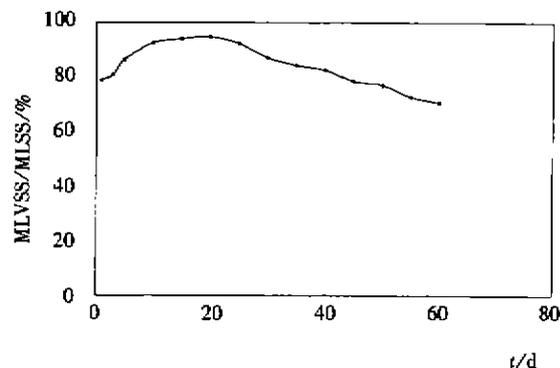


图4 MLVSS/MLSS随时间变化规律

Fig.4 Variation of MLVSS/MLSS with time

试验得到的结果与前面的理论推导基本吻合,建议本实验中膜生物反应器的最佳排泥时间在35d左右。

3 结论

1. 通过考察膜生物反应器内活性污泥的增长规律,利用线性回归的方法得出了对应于本试验污水水质条件下的 Y 值及 K_d 值,分别为 $0.923\text{mgMLVSS/mgBOD}$ 和 0.107d^{-1} 。此方法可为其他种类污水 Y 值及 K_d 值的确定提供参考。

2. 在 Y 、 K_d 已经确定,进、出水BOD浓度、污水流量 Q 、反应器的有效容积 V 一定的情况下,则可以确定膜生物反应器内的MLVSS可能达到的最大值,计算公式为: $X_{v,max}=Y(S_0-S_c)Q/K_dV$ 。在本试验中, $S_0=267.7\text{mg/L}$, $S_c=16\text{mg/L}$, $Q=46.08\text{L/d}$, $V=15.4\text{L}$,此条件下MLVSS的最大值为 6468mg/L 。

3. 为了推导反应器的最佳排泥时间,利用迭代法对活性污泥浓度的变化进行了理论上的计算,并与试验结果进行了比较,二者基本符合,得出最佳的排泥时间在35d左右。

参 考 文 献:

- [1] 张立秋,封莉.膜生物反应器在中水回用方面的应用研究[J].哈尔滨建筑大学学报,1999,(6):133-136.
- [2] 张自杰.排水工程(下)[M].北京:中国建筑工业出版社,1996.