

轻质陶粒滤料生态滤床的挂膜与启动研究

马兴元, 牛艳芳, 吕凌云, 余梅

陕西科技大学资源与环境学院, 陕西 西安 710021

摘要:以自行设计的反应器作为生态滤床的基础, 采用活性污泥作为接种污泥, 采用轻质陶粒作为生态滤床的滤料, 对其进行挂膜。在整个挂膜过程中, 温度控制在中温条件下, 进水 pH 值控制在 7 左右, 水力停留时间为 24 h, 进水方式为连续进水, 并根据需要对曝气量进行调节。在挂膜过程中对进、出水的 COD、NH₃-N、TP、Cl⁻和 pH 进行检测, 并刮取少量轻质陶粒上的生物膜制成镜检切片后用多媒体显微镜对生物膜的形态进行观察。研究表明, 在中温条件下采用活性污泥作为接种污泥, 以轻质陶粒为滤料的生态滤床在 15 d 内挂膜成功; 且随着进水污染负荷的提高, 其去除率也逐渐提高, 其中 COD 的去除率最后稳定在 95%左右, NH₃-N 的去除率稳定在 85%左右, TP 的去除率在挂膜后期达到了 80%以上; Cl⁻作为微生物所需的微量元素在微生物生长高峰期为 50%, 稳定期保持在 20%左右; 进水 pH 保持在 7 左右, 出水 pH 略高于进水, 在 8 左右; 从第 13 d 和第 15 d 的切片可观察到轮虫这种象征生物膜成熟的微生物的出现, 此外还有大量的丝状菌和菌胶团。

关键词:生态滤床; 轻质陶粒; 活性污泥; 挂膜过程

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 06-2118-04

近年来,随着全球水资源污染的加重,越来越多的污水处理厂正在新建或投入使用。这些污水处理厂大多数采用好氧或厌氧生物处理工艺,在处理过程中会产生大量的易腐化变臭污泥或散发臭味,在处理废水的同时造成了比较严重的二次污染^[1]。此外,通常污水处理厂流程和管理较为复杂,费用也较高,使得很多企业、厂矿宁愿冒风险偷排废水也不愿对其进行处理。面对这些问题,操作简单,处理效率高,又美观宜人的废水生态处理新工艺的问世就变得尤为重要^[2-6]。国内外废水的生态处理比较成功的是人工湿地,已成功应用于多种废水的处理^[7-11],但人工湿地的弊端是废水处理效率不是很高,且容易发生堵塞。

生态滤床是本课题组自主研究的生态床废水处理系统之一,也是生态床废水处理系统研究的雏形。所谓生态床废水处理技术,是汇集微生物、植物、浮游动物的废水处理功能,整个床体可以看作是一个较为完整的生态系统。利用该技术处理废水,整个污水处理系统在外观上完全不同于传统的污水处理场,它可以看作是一个具有废水处理能力的绿化区或环境美化区,即在有绿化带的地方均可兼具废水处理功能,节约土地。而且生态滤床废水处理系统废水处理效率较高,管理方便,操作简单,在未来的发展过程中该技术可能成为符合我国国情的一种全新的废水处理技术,有着较大的发展潜力和应用前景。

本实验作为生态滤床的初步研究,以自行设计

的反应器为基础,对以轻质陶粒为滤料的生态滤床进行了挂膜与启动研究。

1 实验部分

1.1 主要实验仪器及药品

(1) 主要实验仪器有可见分光光度计(722N, 上海精密科学仪器有限公司)、电子恒温水浴锅、电子恒温鼓风干燥箱、电子万用炉、分析天平。

(2) 主要实验药品有葡萄糖、碳酸氢铵、磷酸二氢钾、碳酸氢钠、氯化钠、重铬酸钾、硫酸亚铁、硫酸亚铁铵、硫酸银、硝酸银、氢氧化钠、硫酸汞、硼酸、轻质氧化镁、溴百里酚蓝、硫氰酸钾、硫酸铁铵、抗坏血酸、钼酸铵、高氯酸等,且上述实验药品均属分析纯。

1.2 实验装置

本实验所用的试验装置如下图 1 所示。实验所用反应器由西安市有机试剂厂制作,材质为有机玻璃,设计的生态滤床废水进水量 $Q = 15 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$,设计 COD 负荷为 $1200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,反应器总体积为 $700 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \times 350 \text{ mm}$,其中生态滤床总容积为 $450 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \times 350 \text{ mm}$;进水调节池池容积为 $100 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \times 350 \text{ mm}$;沉淀池 $150 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \times 350 \text{ mm}$ 。滤料层的设计高度为 250 mm,底部设有曝气头。在沉淀池的底部设有排泥孔,右侧离底部 250 mm 处设有排水孔,用来最后出水及取样进行监测。

1.3 试验内容

1.3.1 填料的初选

本实验所选的轻质陶粒滤料来自巩义市明宇

基金项目: 陕西科技大学博士科研启动基金(BJ09-05);咸阳市科技计划项目(XK0909-9)

作者简介: 马兴元(1976年生),男,博士,研究方向为废水处理新技术的研究。E-mail: maxingyuan@sust.edu.cn; maleather@163.com

收稿日期: 2009-10-11

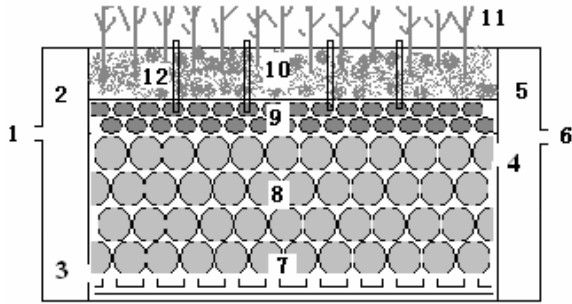


图1 实验装置图

Fig.1 The schematic diagram of experiment

示意图说明：1. 进水口 2. 进水调节池 3. 进水布水孔 4. 出水孔 5. 出水沉淀池 6. 出水口 7. 曝气孔 8. 生态滤床层 9. 隔离层 10. 植被层 11. 植物 12. 排气孔

滤料厂，呈球形、强度大、孔隙率大、比表面积大、化学稳定性好；具有生物附着性强、挂膜性能良好、水流流态好、反冲洗容易进行、截污能力强等优点；其形状规则，粒径可大可小，密度适宜，克服了不规则粒状填料水流阻力大，易引起氧化池堵塞，反冲洗强度大，易冲刷破碎的缺点，加工过程也比较容易，产量大，其主要的性能参数见表1。

表1 轻质陶粒的主要性能参数

Table 1 The main characteristic parameters of light ceramsite

指标	粒径/mm	密度/(g·cm ⁻³)	比表面积/(m ² ·g ⁻¹)	空隙/%
轻质陶粒	4-10	1.4-2.2	3.98	55-57

1.3.2 床体的挂膜

本实验所用的活性污泥取自西安市北石桥污水处理厂，取回来的污泥在放置过程中有点厌氧化，用葡萄糖、碳酸氢铵、磷酸二氢钾、氯化钠配制的营养物质进行培养，并对其进行连续曝气，使其好氧化。然后将好氧化的泥水混合液加入到反应器中进行挂膜。

整个挂膜过程在中温下运行，进水 pH 值控制在 7 左右，水力停留时间为 24 h，进水方式为连续进水，并根据需要对曝气量进行调节。

1.3.3 各项指标的检测

本实验主要是以轻质陶粒为滤料的反应器进行挂膜的过程中分别对 COD、NH₃-N、TP、Cl⁻、pH 值进行检测。其中 COD 采用重铬酸钾法，NH₃-N 采用纳氏试剂比色法，P 抗坏血酸还原法，Cl⁻ 硝酸银滴定法，pH 采用 pH 计测量。

1.3.4 显微镜观察样品的制备

用胶头滴管轻轻刮取少量生物膜置于载玻片上，再吸取一滴蒸馏水于载玻片上，将生物膜和水混合成液体状，可适度稀释，盖上盖玻片，即制成污泥切片。在盖盖玻片时，要先使盖玻片的一边接触混合液，然后轻轻放下，以免形成气泡影响观察。

或者采用推压的方法，利用盖玻片逐步轻轻推压混合液，将混合液中的气泡逐步退出，然后轻轻地合上盖玻片。

2 结果与讨论

2.1 挂膜过程中各项指标的变化

(1) 挂膜过程中 COD 随时间的变化

图2显示的是挂膜期间 COD 的去除情况。由图可以看出挂膜前 12 d，出水的 COD 随 COD 负荷的提高几乎呈直线下降的趋势，COD 去除率迅速提高，这是因为在挂膜前期随着进水污染负荷的提高轻质陶粒上的生物膜有较为充足的营养物质而快速生长，到第 12 d 的时候，COD 的去除率已经达到 97.05%。此后，COD 的去除率不再随进水负荷的提高而有较为明显的变化，维持在 95%左右，说明陶粒上的生物膜已经基本成熟，进入稳定期。而当进水的 COD 接近 1 200 mg·L⁻¹ 时，COD 的去除率降低到 81.88%，这可能是因为进水的 COD 过高，超过生物膜上生物的去除能力而导致的。

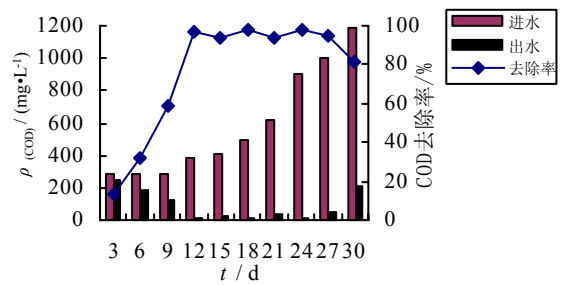


图2 挂膜期间 COD 的去除效果

Fig.2 Removal rate of COD during culturing

(2) 挂膜过程中 NH₃-N 随时间的变化

图3显示的是挂膜期间 NH₃-N 的去除情况。从图中可以看出挂膜前 15 d，出水的 NH₃-N 随进水 NH₃-N 负荷的提高呈下降趋势，但没有出水中 COD 下降得快，第 15 d 的时候，NH₃-N 的去除率达到 84.17%，说明在挂膜前 15 d 是生物膜快速增长的时期，对 N 的需求比较大。此后出水中的 NH₃-N 不再随进水负荷的提高而有明显的下降，保持在 85%左右。

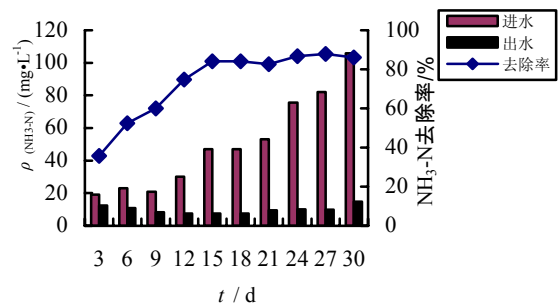


图3 挂膜期间 NH₃-N 的去除效果

Fig.3 Removal rate of NH₃-N during culturing

右,说明陶粒上的生物膜已经基本长好,进入稳定期。

(3) 挂膜过程中 TP 随时间的变化

图 4 显示的是挂膜期间磷的去除情况。从图中可以看出到挂膜实验前 12 d, TP 的去除率并不是很高,仅为 40%左右,从第 12 d 到第 21 d, TP 的去除率上升到 50%~60%,而后几天磷的去除率达到了 80%以上,这是因为在挂膜期间,除了不断地提高进水污染负荷之外,对曝气量也进行了调节,后期的曝气量大于前期,根据微生物对磷的去除原理,即厌氧阶段释磷,好氧阶段吸磷,在挂膜后期,由于曝气量大,有利于微生物吸磷;此外还由于到挂膜后期轻质陶粒上的生物膜增厚,里层供氧不足呈厌氧状态,生物膜的外层供氧充足呈好氧状态,这样也有利于微生物对磷的吸收,故磷的去除率提高。

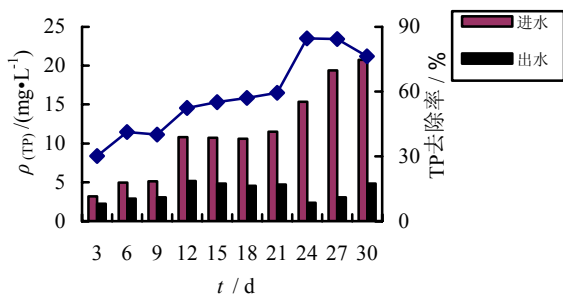


图 4 挂膜期间 TP 的去除效果

Fig.4 Removal rate of TP during culturing

(4) 挂膜过程中 Cl⁻ 随时间的变化

图 5 显示的是挂膜期间 Cl⁻ 的去除情况。从图中可以看出 Cl⁻ 的去除效果并不是很好,基本维持在 30%以下,在第 9 d 的时候 Cl⁻ 的去除率达到 50%,第 12 d 和第 15 d 去除率为 28.57%和 28.60%,而后逐渐下降。这可能是因为 Cl⁻ 是微生物所需的微量元素,在挂膜初期由于微生物大量繁殖需要的微量元素也相对增加,而当膜挂好之后,由于微生物的生长繁殖不再像挂膜初期那么快速,对微量元素的需求也不再那么强烈,所以 Cl⁻ 的去除率在挂膜前期比中后期高,随着进水 Cl⁻ 负荷的增加,Cl⁻ 的去除率降至 20%以下,去除率最高仅为 28.32%。

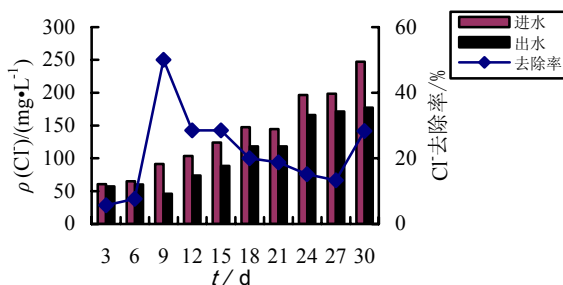


图 5 挂膜期间 Cl⁻ 的去除效果

Fig.5 Removal rate of Cl⁻ during culturing

(5) 挂膜过程 pH 随时间的变化

由图 6 所示进水 pH 值偏中性均在 7 左右,符合好氧微生物对 pH 的要求,而相对应的出水 pH 值在 8 左右偏碱性,出水 pH 值略高于进水,进水和出水的 pH 值均没有较明显的变化。

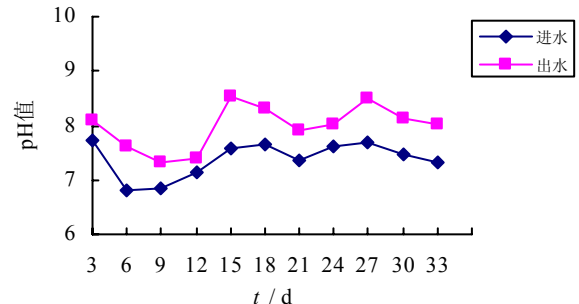


图 6 pH 随时间的变化

Fig.6 Change of pH with time

综上所述,通过 COD、NH₃-N、TP、Cl⁻、pH 指标的检测,对轻质陶粒的挂膜基本在两周左右的时间内完成,而且在挂膜期间虽然在前几天因为实验前没有对轻质陶粒进行清洗出水比较浑浊,但在生物膜成熟之后尤其是在实验的后期,出水逐渐变得清澈,膜的生长情况良好。

2.2 生物相观察结果与讨论

图 7 (下页)是在挂膜第 13 d 的切片,可以观察到金鱼藻沼轮虫管室,这种微生物属滤池扫除微生物,可以去除滤池内的污泥,有防止污泥积累和滤料堵塞的功能。图 8 是在挂膜第 15 d 的切片,可以清晰地观察到藻类,藻类使生物膜生物起净化和稳定废水水质的功能。图 9 是挂膜第 11 d 的切片,可以观察到存在大量的丝状菌,丝状菌是生物膜法中常见的菌种,对污水的进化起到了一定的作用。图 10 是第 15 d 的切片,可以观察到轮虫,在挂膜成熟期时可以观测到该种微生物的存在,属后生动物中的一种,轮虫的存在证明微生物对废水基本适应。同时,也说明废水中的物质满足微生物生长的基本要求,为其生长提供了一份很好的外部环境。

综上所述,轮虫是在第 15 d 观察到,作为标志生物膜成熟的轮虫的出现说明了对轻质陶粒的挂膜基本在两周左右的时间内完成。

3 结论

(1) 用轻质陶粒作为填料,生态滤床在 15 d 左右挂膜成功,出水比较稳定,水质澄清。COD 和氨氮的最高去除率为 98.32%和 87.95%;在进入稳定期后,COD、氨氮的去除率基本维持在 95%、85%左右;对于总 P 在进入稳定期的前期去除率维持在 50~60%之间,但是在后期由于生物膜的增厚和曝气量的增加总 P 的去除率上升到 80%;对于微量元素氯离子只在微生物生长繁殖的旺期比较高,为

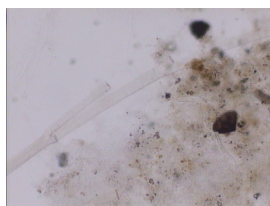


图7 轮虫管室(100x)

Fig.7 Rotifer community (100 times)



图8 藻类(400x)

Fig.8 Algae (400 times)



图9 丝状菌(100x)

Fig.9 filamentous bacteria (100 times)



图10 轮虫(400x)

Fig.10 Rotifer (400 times)

50%, 进入稳定期后维持在 28%左右; 进水的 pH 维持在适合好氧微生物生长的基本要求, 保持在 7 左右, 而出水 pH 值却维持在 8 左右, 偏碱性。

(2) 从挂膜第 13 d 到第 15 d 做的切片可以观察到能防止污泥积累和堵塞的轮虫管室和净化和稳定水质的藻类, 此外还有大量的丝状菌, 尤其是在第 15 d 观察到轮虫等象征生物膜成熟的微生物的出现, 说明了挂膜在 15 d 左右完成。

参考文献:

- [1] 范荣亮, 苏维词, 张志娟. 城市生活用水的处理技术及其发展趋势[J]. 贵州科学, 2006, 24(1): 56-59.
FAN Rongliang, SU Weici, ZHANG Zhijuan. Treatment technology and its development trend for urban domestic water[J]. Guizhou Science, 2006, 24(1): 56-59.
- [2] 刘淑芳. 人工湿地处理污水技术的应用[J]. 科技情报开发与经济, 2008, 18(24): 203-204.
LIU Shufang. The application of the constructed wetlands in the wastewater treatment[J]. Sci-tech Information Development & Economy, 2008, 18(24): 203-204.
- [3] CHUNG A K C, WU Y, TAM N F Y, et al. Nitrogen and phosphate mass balance in a subsurface flow constructed wetland for treating municipal wastewater[J]. Ecological Engineering, 2008, 32: 81-89.
- [4] VACCA G, WAND H, NIKOLAUSZ M, et al. Effect of plants and filter materials on bacteria removal in pilot-scale constructed wetlands[J]. Water Research, 2005, 39(7): 1361-1373.
- [5] 曹玉梅, 李田, 陆斌等. 污水生物生态处理工艺中的脱碳机理研究[J]. 环境工程学报, 2009, 3(10): 1732-1740.
CAO Yumei, LI Tian, LU Bin, et al. Nitrogen removal mechanism of bio-ecological combination processes for decentralized wastewater treatment[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2009, 3(10): 1732-1740.
- [6] 张波, 南亚彬, 孙健. 生态稳定塘及植物净化法处理造纸废水的应用技术[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(8): 110-112.
ZHANG Bo, NAN Yabin, SUN Jian. The applied technique about the stable organism's pond and the plant purification treatment to the paper making waste water[J]. Environmental Science and Management, 2009, 34(8): 110-112.
- [7] 李晓东. 聚焦人工湿地技术[J]. 环境保护与循环经济, 2008, 4: 10-11.
LI Xiaodong. Concerning on wetland technology[J]. Environmental Protection and Circular Economy, 2008, 4: 10-11.
- [8] 夏孟婧, 陆兆华, 谢国莉, 等. 造纸废水的芦苇人工湿地处理[J]. 滨州学院学报, 2008, 24(3): 18-22.
XIA Mengjing, LU Zhaohua, XIE Guoli, et al. The treatment of paper making-wastewater with reed (*Phragmites communis*) artificial wetland[J]. Journal of Binzhou University, 2008, 24(3): 18-22.
- [9] TJAÁ G. BULC, ALENKA OJSTRÍEK. The use of constructed wetland for dye-rich textile wastewater treatment[J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 155(2): 76-82.
- [10] SIRIVEDHIN T, GRAY K. Factors affecting denitrification rates in experimental wetlands: field and laboratory studies[J]. Ecological Engineering, 2006, 26: 167-181.
- [11] WEN DONG, TAO JINGWANG. Effects of vegetation, limestone and aeration on nitrification, anammox and denitrification in wetland treatment systems[J]. Ecological Engineering, 2009, 35(5): 836-842.

Research on biofilm culturing of the light ceramsite for the ecological filter bed

NIU Yanfang, MA Xingyuan, LU Lingyun, YU Mei

Shaanxi University of Science and Technology, College of Resource & Environment, Xi'an 710021, China

Abstract: Reactor designed by the author was used as ecological filter bed, light ceramsite was as filter media which was cultured with activated sludge as seeds. During the entire processes, temperature was controlled under mesospheric condition, influent pH was about 7, hydraulic retention time was 24 h, influent modes was continuous and aeration rate was needed to regulate. Some removal rates of pollutants such as COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, TP, Cl and pH of influent and effluent were detected. The shapes of biofilm were also observed with multimedia microscope immediately microscopic examination sections of biofilm taken from light ceramsite were made. The results show that the ecological filter bed can be started up successfully within fifteen days with activated sludge as seeds under mesospheric conditions. The removal rates are improved gradually with increasing of influent pollution loads. The removal rates of COD and $\text{NH}_3\text{-N}$ are about stabilized on 95% and 85% finally. The removal rate of TP is up to 80% in the late. The removal rate of Cl which is a kind of trace element for microorganism is 50% at their growth peak and keeps about 20% at stationary phase. Effluent pH is about 8, which is higher than influent, about 7. Rotifer which is the symbol of perfect biofilm is observed as well as lots of filamentous bacteria and zoogloea at the thirteenth and fifteenth days.

Key words: ecological filter bed; light ceramsite; activated sludge; biofilm culturing