曝气生物滤池去除污染物的机理研究*

李汝琪 钱 易 孔 波 金冬霞
(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要 曝气生物滤池具有体积小、处理效率高、出水水质好、流程简单的优点, 最大特点是使用了一种新型粒状填料. 它的去除机理主要有过滤、吸附和生物代谢. 填料高度对去除效果有很大影响. 研究结果表明, 去除率同填料高度成正相关, 最上层的 37cm 厚滤料去除污染物的效果最好, 该处的 SS、COD、BOD_5、NH_3-N 和 T-N 的去除率分别为 70%、82.5%、66.95%、53.6% 和 50.2%.

关键词 曝气生物滤池, 去除效率, 填料高度.

Research on the Removal Mechanism of Pollutants Using Biological Aerated Filter

Li Ruqi Qian Yi Kong Bo Jin Dongxia
(Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract The Biological Aerated Filter (BAF) has many advantages, such as small volume, high treatment efficiency, good effluent quality and simple process. The biggest characteristic of it is using granular media. The removal mechanism is filtration, absorption and biological efficiency. The height of granular media has an important effect on removal efficiency. The reserch results showed that removal percent is positively interrelated to the height of media. In the upper 37cm, the removal efficiency is very high. The test showed that when the media height is 37cm, the removal efficiency for SS, COD, BOD_5, NH_3-N and T-N is 70%, 82.5%, 66.95%, 53.6% and 50.2% respectively under the hydrolic rate of 0.53m/h.

Keywords biological aerated filter, removal efficiency, height of media.

曝气生物滤池(Biological Aerated Filter, BAF)是一种新型的污水处理技术, 它使用了一种新型粒状填料, 具有体积小、处理效率高、出水水质好、流程简单等优点[1,2], 它的去除机理主要有过滤、吸附和生物代谢. 由于具有优良的过滤吸附作用, 可省去二沉池[3~5]. 填料高度对去除效果和基建投资有很大影响[6,7], 本试验研究的目的就是探讨填料高度对去除率的影响.

1 实验条件与方法

装置见图 1, 采用直径为 20cm 的有机玻璃柱, 柱高 350cm, 内装粒状填料, 沿柱高设置取样孔. 实验柱采用逆向流设计, 污水由上部进入, 出水在柱底排出, 空气由柱底进入.

生活污水采用清华大学校园生活污水, 由泵站打到实验室高位水箱, 经管道自流入污水箱, 由计量泵打到柱顶, 污水经过滤层, 从柱底自流至清水箱后排放. 曝气空气由柱底部进入. 反冲采用气水共同反冲, 清水池中放置潜水泵, 清水由柱底进入, 反冲液由柱顶溢流口排放.

实验于 1997-04-08 开始 1997-10-26 结束. 第 1 阶段 04-08～06-05, 水力负荷为 0.53m/h; 第 2 阶段 06-06～10-26 水力负荷为 1.1m/h.

2 实验结果分析

曝气生物滤池中有粒状填料, 它一方面提供了微生物生长的场所, 另一方面可以截留污水中的 SS 和产生的剩余污泥.

* 北京市科技新星项目, 北京市优秀青年知识分子基金资助项目
作者简介: 李汝琪(1962～), 男, 博士研究生, 高级工程师
收稿日期: 1998-12-30

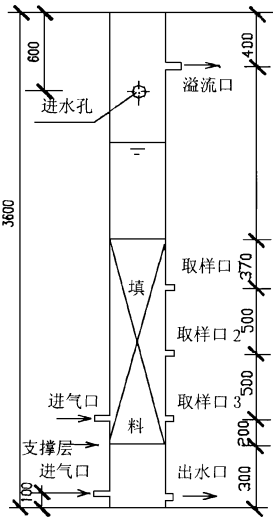

图 1 实验柱示意图

实验中各项指标运行结果详见表 1.

表 **1** 运行结果/mg · L^{-1}

项目	第 1 阶段			第 2 阶段		
	进水	出水	去除率 /%	进水	出水	去除率 /%
COD	169.37	12.5	92.6	57.8	10.3	82.2
BOD	64.2	3.0	95.3	26.4	3.6	85.5
SS	75.1	2.5	96.7	40.4	5.2	87.1
TN	28.9	4.3	85.1	25.5	10.6	58.4
NH_4-N	20.86	1.7	91.85	19.3	4.0	79.1

2.1 SS 的运行结果

不同的填料高度对 SS 去除率的影响见图 2. 从图 2 可以看出, SS 去除率同滤料高度成正相关. 最上层 37cm 厚的滤料 SS 去除效率最高, 第 1、2 阶段分别达到了 70% 及 64.2%. 随着填料厚度的增加, SS 去除率增大, 但去除效率降低. SS 的去除主要是截留作用, 不受曝气与否的影响, 从实验结果看, 曝气生物滤池对 SS 的去除效率较高.

2.2 COD 的运行结果

COD 去除率与填料高度的关系见图 3. 对于最上层 37cm 厚的填料, COD 的去除同填料高度成正比, 第 1 阶段前 37cm 的填料去除率很高, 达 82.5%, COD 浓度从 177.1mg/L 降至 30.94mg/L. 填料高度超过 37cm 后, COD 的去除不明显, 这主要是由于污水经过最上层的

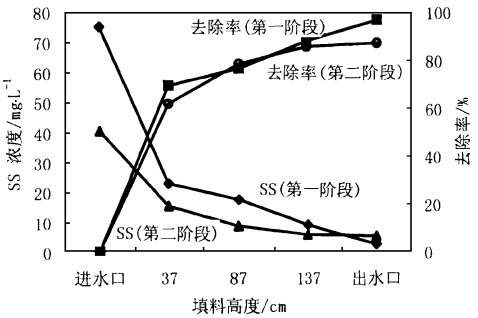

图 2 SS 去除率与填料高度的关系

37cm 填料后, 其 COD 浓度已降至约 20mg/L, 由于浓度太低, 使得生物处理效果降低. 处理出水在经过非曝气区后, 其 COD 浓度稍有上升, COD 浓度从 10.4mg/L 上升到 13.2mg/L. 这是由于在非曝气区存在厌氧或缺氧的环境, 该区滤料所截留的微生物发生厌氧消化作用, 从而导致溶解性 COD 上升[8,9]. 与此现象相似的还有氮指标的相应变化. 氨氮在经过非曝气区后浓度稍有上升, 而总氮浓度稍有下降. 说明在非曝气区发生了反硝化反应.

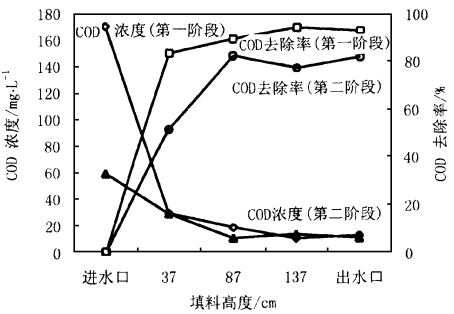

图 3 COD 去除率与填料高度的关系

2.3 BOD 的运行结果

BOD 去除率与填料高度的关系见图 4. 同 COD 和 SS 类似, 前 37cm 滤料的 BOD 去除率很高, 在第 1 阶段达 66.95%. 随着滤料厚度的增加, BOD 去除率增大, 但滤料高度超过 37cm 后, 其去除率变化不大. 第 1 阶段 BOD 平均进水浓度为 64.2mg/L, 平均出水浓度为 3.0mg/L, 总去除率为 95.3%; 第 2 阶段 BOD 平均进水浓度为 26.4mg/L, 平均出水浓度为 3.6mg/L, 总去除率为 86.5%.

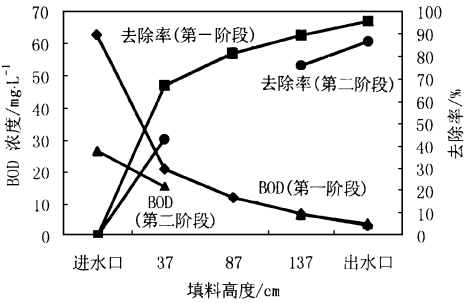

图 4 BOD 去除率与填料高度的关系

2.4 NH_4-N 运行结果

NH_4-N 去除率与填料高度的关系见图 5. NH_4-N 在最上层 37cm 处的填料中去除效率仅为 53.6%，比 SS、COD 和 BOD_5 在该处的去除率都低. 在第 1 阶段，87cm 处的去除率达 87.3%，NH_4-N 浓度为 2.64mg/L，说明去除效果良好. 这也表明去除 NH_4-N 的活跃层要比 SS、COD 和 BOD 更深一些. 随着滤料层的进一步增加，NH_4-N 去除率稍有增加. 但出水进入厌氧区后，NH_4-N 浓度稍有增加，在 137cm 处为 1.39mg/L，而出水中 NH_4-N 浓度则为 1.7mg/L，这说明在非曝气区截留的微生物在厌氧条件下被厌氧消化，从而释放出少量 NH_4-N 和溶解性有机物. 第 1 阶段平均 NH_4-N 进水浓度为 20.86mg/L，平均 NH_4-N 出水浓度为 1.7mg/L，总去除率为 91.9%；第 2 阶段平均 NH_4-N 进水浓度为 19.3mg/L，平均 NH_4-N 出水浓度为 4.0mg/L，总去除率为 79.1%.

2.5 T-N 的运行结果

T-N 去除率与填料高度的关系见图 6. 从图 6 可知，第 1 阶段 T-N 平均进水浓度为 28.9mg/L，平均出水浓度为 4.3mg/L，总去除率为 85.1%；第 2 阶段 T-N 平均进水浓度为 25.5mg/L，平均出水浓度为 10.6mg/L，总去除率为 58.4%. T-N 在第 1 阶段 37cm 处，T-N 的去除率为 50.27%，在 87cm 处去除率为 80.4%，此处 T-N 浓度为 5.66mg/L，说明在 87cm 左右厚度内其去除效果非常好，随滤层厚度的增加，T-N 去除率稳定增长. 在厌氧区内，T-N 浓度有所下降，说明有厌氧消化作用. T-N 的去除同 NH_4-N 的去除基本同步进行，在 37cm 和 87cm 处，NH_4-N 和 T-N 的去除率基本类似. 说明，在进行硝化反应的同时，也进行着反硝化反应. 在滤层的好氧环境中存在着大量厌氧微环境和大量兼性和厌氧微生物，使得反硝化反应进行良好[10].

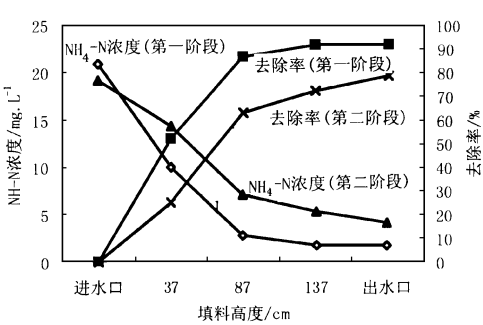

图 5 NH_4-N 去除率与填料高度的关系

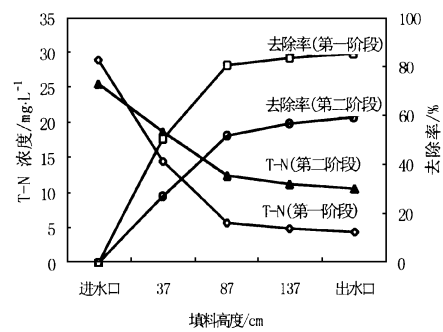

图 6 T-N 去除率与填料高度的关系

3 讨论

3.1 去除效果

最上层的 37cm 厚滤料的有机污染物去除率很高，说明曝气生物滤池的滤料首先对污水进行过滤和吸附，继而进行生物代谢. 粒状填料的比表面积很大($3.98m^2/cm^3$)[4]. 由于污染物在滤料间的曲折运动，与滤料表面的生物膜有充分接触的机会. 且滤料被微生物包裹，滤料间的孔隙被微生物充填，滤层的孔隙进一步缩小，SS 很容易被截留和吸附，所以污染物去除效率很高. 污染物在经过前 37cm 厚的滤层后，颗粒较大的有机分子都被截留，主要是一些溶解性

的有机物穿透滤层. 这可从滤料不同高度 BOD/COD 的比例变化体现(表 2). 这些溶解性有机物的代谢, 要比较大颗粒的有机物的过滤和吸附要困难一些, 所以, 要达到较高的去除率, 必须增加滤料高度.

表 2 BOD/COD 浓度比值变化

填料厚度/cm	进水	37	87	137
BOD/COD	0.35	0.67	0.6	0.6

3.2 有机负荷的影响

有机负荷的变化对微生物的增长有很大影响. 当进水浓度较高时, 上清液很混浊, SS 浓度上升, 有时可见带状活性污泥, 说明微生物在上清液中大量繁殖. 随着进水浓度或有机负荷的增大, 滤层中微生物的增殖速度明显加大, 微生物处在对数生长期. 同时, 滤层中游离生物增多, 使得水中 SS 浓度急剧增大. 所以, 当有机负荷较大时, 在 37cm 取样口的 SS 浓度会大大高于进水中的 SS 浓度. 而有机负荷增大到一定程度后, 就会发生出水中游离生物的穿透, 出水 SS 浓度急剧上升, 使得处理效果急剧下降. 所以有机负荷对去除率是非常重要的.

3.3 水力负荷的影响

实验结果表明, 水力负荷对 SS, COD 和 BOD 的去除影响不大, 当水力负荷从 0.53 m/h 上升到 1.1m/h 时, 出水中 COD 和 BOD 浓度相差不多, SS 出水浓度后者稍高于前者. 但水力负荷对氮的去除影响较大, 当水力负荷为 0.53m/h 和 1.1m/h 时, NH_4-N 去除率从 91.85% 下降到 79.1%, T-N 去除率从 85.1% 下降到 58.4%.

3.4 反冲作用

在运行初期, 由于担心将微生物冲洗过度, 因而造成反冲洗不彻底, 恢复运行后, 滤层中游离的微生物同进水一道下降到滤料下部并发生出水中 SS 浓度增大. 在增大反冲强度和时间后, 未再发生上述现象. 但加大反冲强度和反冲时间, 有可能对微生物过度冲洗, 使得恢复正常运行后, 微生物量不足, 影响处理效果. 同时, 也会加大反冲洗水量. 所以掌握适合的反冲强度和反冲时间相当重要.

4 结论

(1) 最上层 37cm 滤料对污染物去除效果最好, 在该处第 1 阶段的 SS、COD、BOD、NH_4-N 和 T-N 的去除率分别为: 70%、82.5%、66.95%、53.6% 和 50.27%.

(2) 去除率同滤料高度成正相关.

(3) 有机负荷对去除率影响较大.

(4) 水力负荷对 SS、COD 和 BOD 影响较小, 而对 NH_4-N 和 T-N 的去除影响较大.

参 考 文 献

1 Pujol et al. Biological aerated filters: an adapted biological process for wastewater from coastal areas. Wat. Sci. Tech., 1992, **25**(12): 175～184

2 Adachi S et al. Reclamation and reuse of wastewater by biological aerated filter process. Wat. Sci. Tech., 1991, **24**(9): 195～204

3 Smith A J et al. High-rate sewage treatment using biological aerated filters. J. IWEM., 1992, (6)

4 Kent T D, Fitzpatrick C S B and Williams S C. Testing of biological aerated filter (BAF) media. Wat. Sci. Tech., 1996, **34**(3, 4): 363～370

5 Dilllon R et al. A pilot-scale evaluation of the `biocarbone process´ for the treatment of settled sewage and for tertiary nitrification of secondary effluent. Wat. Sci. Tech., 1990, **22**(1, 2): 305～316

6 David Stensel H et al. Industrial wastewater treatment with a new biological fixed-film system. Environmental Progress, 1983, **2**(2): 110～114

7 Canler J P. Biological Aerated Filters: Assessment of the process based on 12 sewage treatment plants. Wat. Sci. Tech., 1994, **29**(10, 11): 13～22

8 Tom Stephenson, Allan Man and John Upton. The small footprint wastewater treatment process. Chemistry & Industry, 1993, **19**(9): 533

9 Gilbert Desbos and Frank Rogalla. Biofiltration as a compact technique for small wastewater treatment plant. Wat. Sci. Tech., 1990, **22**(3): 145

10 Mann A T and Stephenson T. Modelling biological aerated filters for wastewater treatment. Wat. Res., 1997, **31**(10): 2443～2448