

深床过滤中的生物反硝化脱氮实验研究

范荣桂¹, 范 彬², 栾兆坤²

(1.辽宁工程技术大学资源与环境工程学院 辽宁 阜新, 123000;

2.中国科学院生态环境研究中心环境水化学国家重点实验室, 北京 100085)

摘 要: 研究了深床过滤过程的反硝化动力学, 分析了填料床层脱氮时的影响因素; 实验结果表明, 深床过滤过程中的反硝化动力学级数在 1/2~1 级之间变动; 在 C/N=2.0~2.3, HRT=1 及磷含量不低于 0.05 mg/L 时, 脱氮效率超过 90%以上。

关键词: 深床过滤; 生物反硝化; 动力学; 脱氮效果

中图分类号: X 701.1

文献标识码: A

Experimental study on removal nitrogen of bio-denitrification in the process of the deep bed filtration

FAN Ronggui¹, FAN Bin², LUAN Zhaokun²

(1.College of Resources & Environment Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000,China;

2.State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Science, Beijing 100085,China)

Abstract: Bio-denitrification kinetics was studied in the processes of the deep bed filtration in this paper. The influencing factors on removal nitrogen were analyzed. The result of the experiment shows that the orders of bio-denitrification kinetics was about 1/2~1. When C/N, HRT was about 2.0~2.3, 1h respectively and the concentration of phosphorus was above 0.05mg/L, the efficiency of removal nitrogen was above 90%.

Key words: deep bed filtration; bio-denitrification; kinetics; nitrogen removal efficiency

0 引 言

水体中的氮、磷元素是造成水体富营养化的主要根源, 高效、经济去除水体中的氮磷元素是污水回用中的重要研究内容。废水中的氮元素可以通过生物硝化和生物反硝化作用, 最终转变为氮气放出, 实现脱氮目标。生物反硝化作用是指在无氧条件下, 利用反硝化菌将 NO_3^- 和 NO_2^- 还原为 N_2 的过程。反硝化菌属异养兼性菌, 它以 NO_3^- 或 NO_2^- 为电子受体, 以有机碳为电子供体进行反硝化反应^[1]。本研究以轻质填料为生物膜载体, 考察深床过滤过程中的生物反硝化脱氮的影响因素及脱氮效率。

1 实验装置与实验方法

反硝化实验装置及工艺流程如图 1。实验装置由反硝化填料塔、外加碳源加料系统及相应的辅助装置构成; 塔内充填 $\phi 3\sim 4\text{ mm}$ 的轻质填料, 填料床层高度为 2.0 m; 实验中以纯度为 95% 的工业品

收稿日期: 2009-06-01

基金项目: 国家“863”高技术研究发展项目 (2003AA601010)

作者简介: 范荣桂 (1962-), 男, 安徽 芜湖人, 工学博士, 副教授, 主要从事水环境与水污染控制工程技术研究。E-mail: fanronggui@163.com。

本文编校: 焦 丽

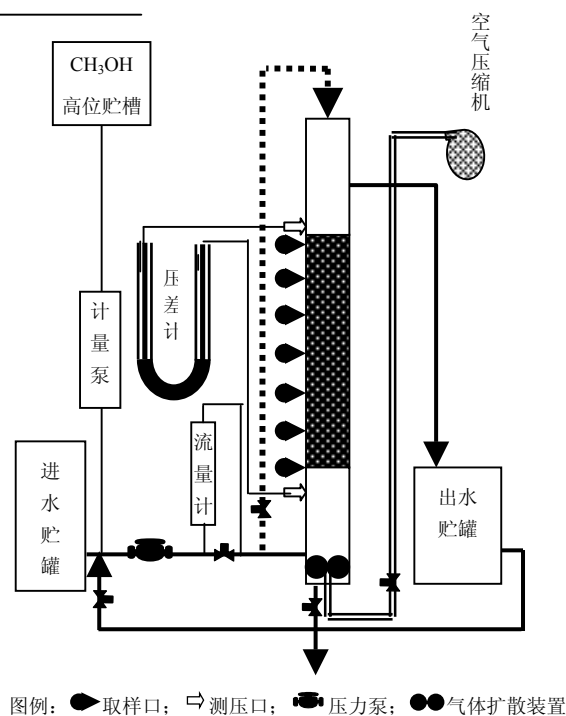


图 1 实验装置及工艺流程图

Fig.1 experimental set-up and craftwork flow chart

甲醇为外加碳源。实验时水力负荷为 4~7 m³/(m²·d); 进水硝酸盐氮浓度 20~70 mg/L, COD_{Cr}25~50 mg/L。实验中 NO₃⁻-N、NO₂⁻-N 采用比色法及离子色谱同时测定; 溶解氧使用 Sension6(HACH Co.)便携式溶解氧测定仪测定; 总磷及溶解性磷酸盐采用钼锑抗分光光度法, 所采用的测定方法符合《水和废水监测分析方法》(第四版)之规定。^[2]

3 生物反硝化实验结果与讨论

(1) 实验条件下的生物反硝化动力学结果
采用图 1 的实验装置与流程进行近 400 d

表 1 反硝化反应拟合动力学方程及进出水硝酸盐氮浓度间的关系

Tab.1 simulating denitrification kinetic equations and relationship between Effluent concentration of nitrate-nitrogen and influent concentration of nitrite-nitrogen

序号	进水硝酸盐氮 质量浓度/(mg·L ⁻¹)	出水硝酸盐氮 质量浓度/(mg·L ⁻¹)	反硝化 温度/℃	总停留时间/h	拟合方程	R ²
1	63.22	0	17.5	1.66	C=63.31exp(-θ/0.32)	0.991 0
2	70.04	0.87	17.5	1.12	C=74.51exp(-θ/0.23)	0.914 5
3	54.79	0.44	16.0	1.04	C=55.57exp(-θ/0.31)	0.980 8
4	35.09	0	14.0	0.85	C=33.02exp(-θ/0.27)	0.918 7
5	47.3	0.12	16.0	1.09	C=46.99exp(-θ/0.29)	0.989 7
6	41.01	0	15.5	1.97	C=41.39exp(-θ/0.49)	0.987 5
7	47.73	0.16	15.5	1.94	C= 50.02exp(-θ/0.53)	0.969 4
8	36.89	0.26	15.0	0.97	C ^{1/2} = -4.95θ+ 6.08 C=36.09exp(-θ/0.49)	0.911 6 0.928 5
9	39.57	0.6	15.0	2.32	C ^{1/2} = -2.44θ+ 6.29 C=38.85exp(-θ/0.92)	0.954 8 0.954 0
10	24.54	1.06	17.0	1.14	C ^{1/2} = -3.79θ+ 4.95 C=26.16exp(-θ/0.49)	0.874 7 0.890 6

(2) 不同 C/N 对深床脱氮效果的影响

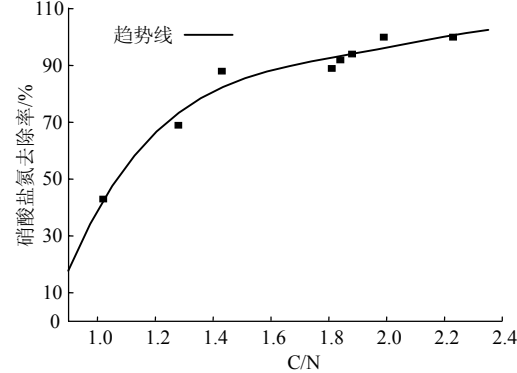


图 2 外加碳源对反硝化效果的影响
(HRT=1.01~1.25 h)

Fig.2 effect of adscititious carbon on removal efficiency of nitrate-nitrogen in denitrification process
(HRT=1.01~1.25 h)

的连续反硝化脱氮实验,部分实验结果列于表 1 中。对实验结果分析后发现,在反应温度 14~20 ℃,HRT=0.7~2.0 h,进水硝酸盐氮浓度为 25~58 mg/L 的实验条件下,其平均出水硝酸盐氮质量浓度低于 2 mg/L,且反应过程中的硝酸盐氮质量浓度 C 与停留时间 θ 呈指数衰减,即: C=C_ie^(-kθ) 或 C=C_ie^(-kθ)+K;说明该中条件下的生物反硝化动力学级数为 1 级;但在实验中也发现,某些条件下,反应过程中的硝酸盐氮浓度满足 Harremoës^[3]的经验,即 C^{0.5}与 θ 具有直线关系,反硝化反应动力学级数表现为 1/2 级。据此,可以推测,在填料深床反硝化过程中,反应动力学级数在 1/2~1 之间。

图 2 表明的是实验过程中的 C/N 对反硝化脱氮效果的影响。在 HRT=1.01~1.25 h 时,随 C/N 的增加,反硝化脱氮效率有明显的提高;在达到 C/N=2.0~2.3 左右时,硝酸盐氮的去除率已在 95%以上,外加碳源实际加入量要低于 McCarty 的计算值^[4],据此可以认为,McCarty 的计算值应为上限值;为保证出 COD 及氨氮质量浓度,应适当减少外加碳源加入量,降低反硝化费用。但若进水中 COD 值很低时,不排除外加碳源增加的可能。

(3) 滤速及水力停留时间对脱氮效果的影响
实验中考察了滤速及水力停留时间对反硝化脱氮的影响。水力停留时间 HRT 分别设定了三种情

况, 即 $HRT=0.20$ 、 0.15 、 0.10 h, 其对应的滤速分别为 10、15、20 m/h。结果表明, 滤速的提高, 脱氮效率降低; 过快的进水速度, 尽管 C/N 很高, 其脱氮效果明显恶化。进水流速太快, 反硝化塔负荷过大, 水力停留时间过短, 生物反应尚来不及完成, 造成脱氮效率的降低; 此外, 过快的滤速还可能使一部分已附着的微生物因水力作用而脱离生物膜, 被水流冲出, 从而降低了塔内的微生物浓度, 恶化反硝化环境; 因此, 过快的进流速度对反硝化脱氮是不利的。

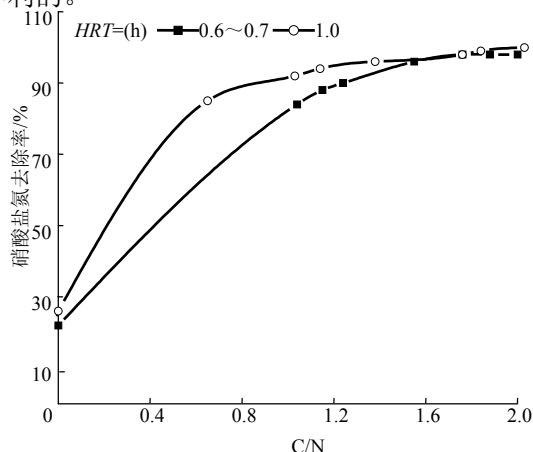


图 3 不同 HRT 时 C/N 对反硝化脱氮效果的影响
Fig.3 effect of C/N on denitrigen efficiency at different HRT

在正常的水力负荷范围内, 进水流速度对反硝化效果的影响如图 3。图中选择了两种水力停留时间, $HRT=0.6\sim 0.7$ h 及 $HRT=1.0$ h, 此时, C/N 对反硝化作用的影响要比水力停留时间的影响要大; 提高 C/N , 硝酸盐氮的去除率将会显著提高。

(4) 磷的去除对脱氮效果的影响

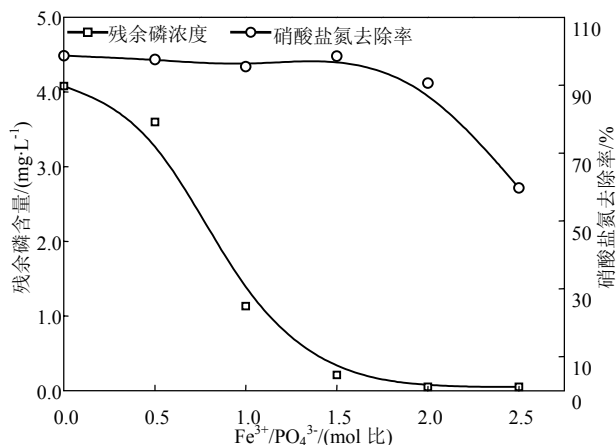


图 4 磷的去除对脱氮效果的影响
Fig.4 effect of dephosphorization on denitrigen efficiency

图 4 为实验条件下水相中残余磷浓度对脱氮效果的影响。当水体中的总磷含量超过 0.5 mg/L 时,

对反硝化脱氮没有影响; 在 0.1~0.5 mg/L 之间时, 这种影响并不十分显著; 而当水体中的总磷浓度低于 0.05 mg/L 时, 反硝化脱氮效果会显著降低。因此, 在利用生物反硝化脱氮时必须保证水体中的总磷含量, 以维持细菌生殖、繁育, 保证反硝化脱氮反应的顺利进行。溶解氧、pH、 NO_x 及温度对反硝化也是有着重要的影响的^[5-7]。此外, 在填料深床反硝化中, 还要注意到因床层的周期性清洗所夹带的空气在反硝化塔内的积累, 降低脱氮效果。

4 结 论

理论分析和实验结果证实, 深床过滤过程中的反硝化动力学级数在 1/2~1 级之间变动, 以 1 级为主; 填料床反硝化过程的 $C/N=2.0\sim 2.3$ 较合适, 但要比 McCarty 的计算值低, HRT 是影响反硝化脱氮效果的重要参数, 过小的 HRT , 即过快的滤速对反硝化脱氮不利, 实验条件下以 $HRT=1$ h 为适; 水中磷的含量对于脱氮效果有一定的影响, 当水中磷含量低于 0.05 mg/L 时, 其脱氮效果会明显降低。

参考文献:

- [1] 徐亚同. 废水生物处理的运行和管理[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1989.
- [2] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会编. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [3] Harremoës, P. The significance of pore diffusion to filter denitrification[J]. Journal WPCF, 1976, 48(2): 377-388.
- [4] McCarty, P.L., Beck, L. and Amant, P.S. Biological denitrification of wastewaters by addition of organic materials. Proc. 24th Ind[C]// Waste Conf. Purdue Univ. 1969: 1271-1285.
- [5] Rittmann, B.E. & Huck, P.M., Biological treatment of public water[J]. CRC Critical Rev. Envir. Control, 1989, 19(2): 119-184.
- [6] Marina Thörn and Fred Sörensson. Variation of nitrous oxide formation in the denitrification basin in a wastewater treatment plant with nitrogen removal[J]. Wat. Res. 1996, 30(6): 1543-1547.
- [7] K.M. Hiscock, J.W. Lloyd and D.N. Lerner. Review of nature artification denitrification of groundwater[J]. Water Research, 1991, 25(9): 1099-1111.