

温度及氨氮负荷对曝气生物滤池硝化作用的影响*

王春荣, 王宝贞, 王琳

(哈尔滨工业大学水污染控制研究中心, 哈尔滨 150090)

摘要:采用火山岩为载体填料的曝气生物滤池(BAF)进行实验室小试,研究供氧受限条件下,BAF的硝化反硝化运行特性及温度(10℃~30℃)和氨氮负荷变化(0.069~1.32 kg/(m³·d))时对硝化作用的影响。当氨氮负荷为1.10 kg/(m³·d),供氧受限时,温度从20℃升高到30℃,反应器的硝化效率仅增加10%左右,表明BAF中硝化作用主要受溶质的传递、扩散速率控制而不是受与温度有关的动力学参数控制;然而,相同负荷下,当温度控制在15℃时,硝化效率明显降低,说明20℃是一临界点。此外,20℃时随氨氮负荷的增加(从0.825 kg/(m³·d)提升到1.32 kg/(m³·d)),氨氮去除率略有下降,但在第3个取样口处却发现亚硝酸盐氮累积现象,这是因为在供氧受限时,随负荷的增加,溶解氧相对短缺发生了部分硝化作用。

关键词:曝气生物滤池(BAF);硝化/反硝化;温度;氨氮负荷;供氧受限

中图分类号:X703 **文献标识码:**A **文章编号:**(K)04259(原 1002-1264)(2004)04-0024-04

Impact of Temperature and Ammonia Loading Rate on Nitrification in BAF

WANG Chun-rong, WANG Bao-zhen, WANG Lin

(Water Pollution Control Research Center, Harbin Institute of Technology (HIT), Harbin 150090, China)

Abstract: The nitrification and denitrification characteristics of a bench-scale upflow biological aerated filter (BAF) packed with lava-based porous media were studied at various temperatures (10℃~30℃) and ammonia loading rates (0.069~1.32 kg/(m³·d)) with oxygen limitation. An increase in temperature from 20 to 30℃ only caused a small increase (10%) in nitrification rate under the conditions of ammonia loading rates of 1.10 kg/(m³·d) and oxygen limitation, which demonstrated that the nitrification was mainly controlled by mass transfer and diffusion rather than kinetically controlled in BAF. However, a significant reduction in nitrification rate occurred at the temperature of 15℃ and ammonia loading rate of 1.10 kg/(m³·d), which predict that 20℃ is a critical point. At 20℃, as ammonia loading rate increased (from 0.825 kg/(m³·d) to 1.32 kg/(m³·d)), the ammonia removal slightly decreased, but the nitrite accumulation was observed at sampling port 3, which demonstrates that a partial nitrification occurred because of a relative deficient DO as ammonia loading rate increased with oxygen limitation.

Key words: biological aerated filter (BAF); nitrification/denitrification; temperature; ammonia loading rate; oxygen limitation

国内外,随着更为严格出水标准的实施,从生活污水和工业废水中进行脱氮处理面临着巨大挑战。多数废水处理工艺中,主要是通过生物作用进行硝化反硝化脱氮处理。而传统的脱氮工艺要经过两步(硝化和反硝化过程)才能完成,最终将污水中的含氮化合物转化成氮气回归到大自然。这一过程不但要消耗大量的氧气(将1g的氨氮完全氧化成硝酸盐氮耗氧量为4.57g),而且在反硝化过程中还需要外加大量有机碳源。于是最近,许多研究者将目光集中在开发一种能耗和化学药剂费用低、紧凑、高效、基建和运行费用低的工艺上。

本试验主要是采用多孔填料介质——火山岩为载体,利用其良好的孔隙度,在不加入有机碳源的情况下,培养大量的纯硝化菌,研究温度及氨氮负荷对曝气生物滤池硝化作用的影响。

1 材料和方法

1.1 试验流程和设备

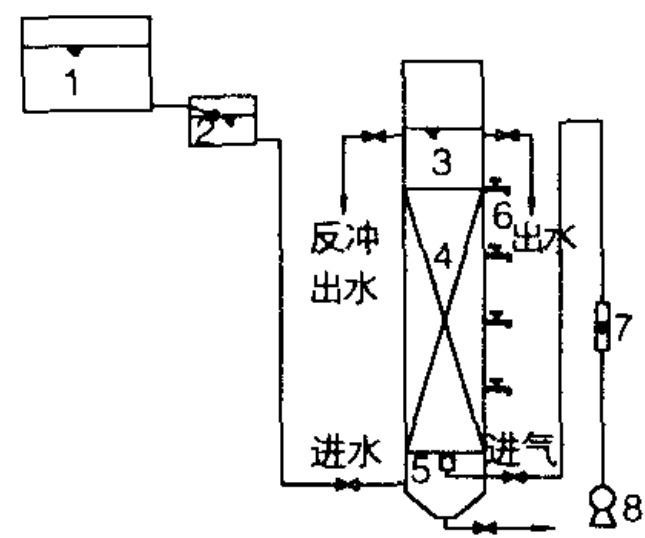
本试验装置由有机玻璃加工而成,反应器为圆柱形,高度2m,直径10cm,有效容积11.8L(见图1)。

反应器中装有火山岩填料,粒径介于3~5mm,该填料是取自五大连池火山口的天然矿

* 基金项目:黑龙江省2002年杰出青年专家基金的资助项目“中小城镇污水处理革新技术”

收稿日期:2003-10-21;修改日期:2004-04-26

石,它是火山喷发时的岩石融化物冷却凝固后形成的,由于喷发后瞬间冷却其中溶有很多气体,致使其孔隙度较好,高达 62.5%。



1.高位水箱;2.平衡水箱;3.反应器;4.填料;
5.空气扩散;6.取样口;7.流量计;8.气泵

图1 试验装置流程图

1.2 原水及分析方法

试验用水为自行配制,主要成分有 NH_4Cl 、 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 CaCl_2 、 KH_2PO_4 、 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 NaHCO_3 。其中未加入有机碳源。稳定运行期间主要测定反应器进出水及各个取样口处的: $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度、温度、pH、DO 和水及空气的流量。以上各参数中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、温度每天测一次,具体分析均按《水和废水检测分析方法》第三版中的标准方法进行。

1.3 试验的启动和运行

曝气生物滤池启动期间,进水氨氮浓度控制在80~90 mg/L左右,反应器的微生物采用接种方式培养。接种污泥加入反应器后闷暴 2 d后,进行连续培养,由于试验温度较低,运行到第 40 d左右时,出水氨氮以及硝酸盐氮含量变化稳定,认为反应器已挂膜成功,开始转入正常运行阶段。

正常运行期间不断向反应器内投加缓冲试剂 NaHCO_3 ,维持 pH 在7.0~7.8之间,所以此试验阶段不考虑 pH 的影响,因为许多研究者认为 pH 在偏碱性范围内变化时,不影响硝化效果^[1]。整个试验过程中水力停留时间(HRT)通过调整进水流量维持在2.5~48 h,进水氨氮浓度在80~90 mg/L之间变化,进口处溶解氧保持在2.5~3.5 mg/L,各个周期的应用负荷、温度变化情况见表 1。

表2 各测试阶段反应器的运行条件

项目	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
温度(℃)	10	10	10	15	15	20	15	20	25	30	20
氨氮负荷(g/(m ³ ·d))	69	275	413	552	825	825	1100	1100	1100	1100	1320

2 结果和讨论

2.1 温度对脱氮效果的影响

在本试验中分阶段研究了 10℃、15℃、20℃、

25℃和 30℃下,温度对脱氮作用的影响。图 2 为负荷在 1.10 kg/(m³·d)时,随温度的升高反应器出水氨氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮浓度的变化情况。

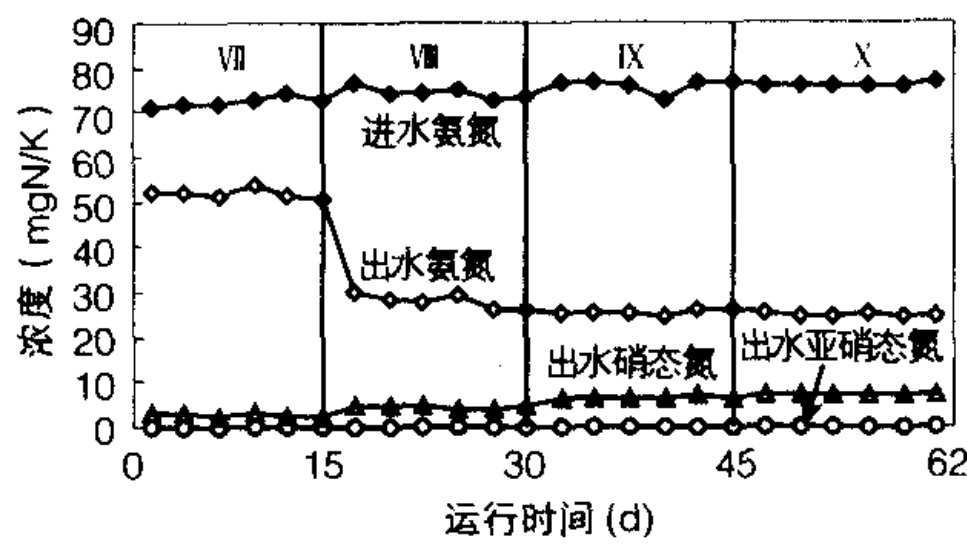


图2 不同温度下,进出水氨氮及出水硝态氮、亚硝态氮浓度变化曲线

从图 2 中可以看出以 20℃为临界点,当温度低于 20℃(15℃)时,氨氮去除率较低,仅为进水总氮的25%左右,而当温度达到 20℃时,氨氮去除率明显升高,达到65%以上,并随温度的进一步升高氨氮去除率增加的较缓慢。值得一提的是,随着温度的升高出水硝酸氮含量略有增加趋势,从2.5~3.0 mg/L(15℃)升高到6.9~7.0 mg/L(30℃),而出水亚硝酸盐氮浓度基本上稳定在0.3~0.7 mg/L之间。针对温度为 15、20、25、和 30℃,应用负荷为 1.10 kg/(m³·d)时,反应器沿不同高度处 4 个取样口的氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮浓度进行了分析(见图 3)。

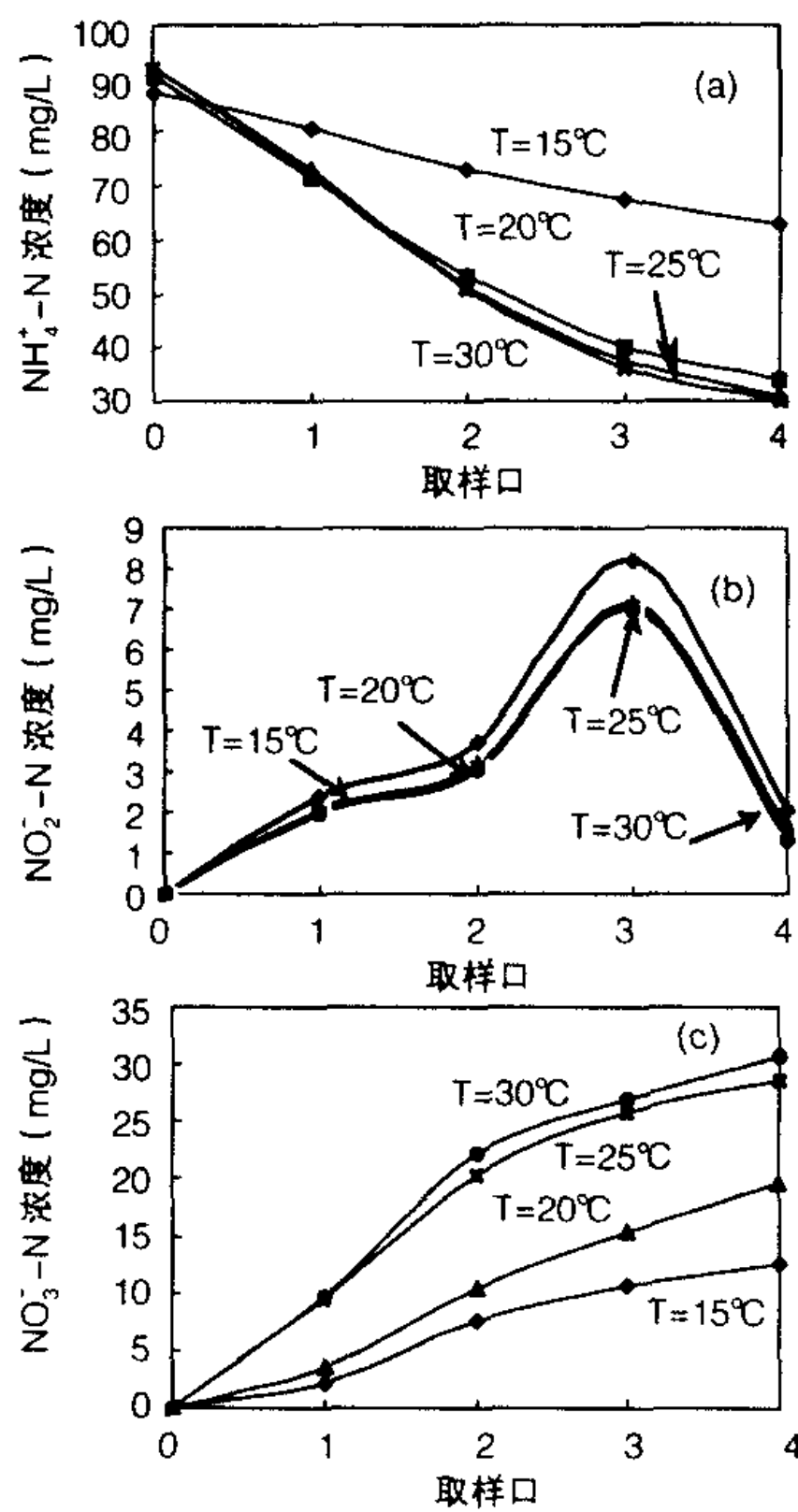


图3 不同温度下各取样口处的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (a), $\text{NO}_2^- - \text{N}$ (b)和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ (c)浓度平均值,其中取样口 0 代表进水浓度值
由于反应器沿不同高度处的氨氮、亚硝酸盐

氮和硝酸盐氮浓度不同,可以将不同取样口间的反应器部分看成是多个串联运行的小反应器,从而分析不同高度处各参数的浓度变化情况。图3(a)为不同温度下,4个取样口处的氨氮浓度变化情况,可以看出当温度在15℃时,曲线的斜率明显小于其它温度时的情况,证明相同负荷下低温时反应器的硝化作用较缓慢,而当温度在20、25和30℃时,曲线的变化趋势基本相同,再次说明随温度的升高,硝化作用增加的不是很显著;图3(b)和3(c)中亚硝酸盐氮和硝酸盐氮的浓度也具有相似的变化趋势,且前3个取样口出现亚硝酸盐氮的累积现象,并呈依次增加趋势到第3个取样口处达到最大值,然后又再次下降(图3(b))。而此时第3和4取样口处的硝酸盐氮浓度稍有增加(图3(c)中取样口3和4之间的曲线变化较平缓),从化学计量关系上看,其增加量远不抵亚硝酸盐氮的减少量,经分析认为可能是在后两个取样口间由于溶解氧浓度较低发生了自养反硝化。

以上试验结果中,当温度达到20℃后,硝化作用随温度的变化不是很明显,说明温度对生物膜反应器中硝化菌的影响不同与悬浮生长反应器。

这是因为悬浮生长反应器内,利用悬浮于水中的微生物,达到去除基质的目的。在悬浮生长系统中,微生物的反应速率随温度升高而不断增加,直到最佳温度。而固定膜反应器中的生物膜是附着在填料上的一层富含微生物的黏胶层,硝化作用主要是发生在生物膜内,而不是液流主体内,基质的利用率主要与生物膜内的基质浓度有关,而这一过程要涉及到两个步骤:外部溶质转移和内部溶质扩散。本试验中温度对生物膜硝化效率影响不明显的主要原因可能是在生物滤池中以溶质的扩散传递过程为限制步骤。尽管扩散系数本身随温度升高对生物膜硝化效率有利^[2],但在生物膜内部扩散过程限制溶质进入到生物膜内部,这样就减小了生物膜内部的反应速率,表明在生物膜反应器内扩散传质很重要,而微生物增长率系数的影响不是很大,这一点与悬浮生长反应器不同。

2.2 氨氮负荷对脱氮效果的影响

在VI、VIII、XI试验阶段,氨氮负荷分别保持在0.825、1.10、1.32 kg/(m³·d),相应各取样口的运行结果见图4。20℃时,首先将氨氮负荷控制在0.825 kg/(m³·d),氨氮的平均去除率达72%,氨氮浓度从进水的91.97 mg/L降低到出水的

26.02 mg/L,而硝酸盐氮浓度随反应器高度的增加逐渐上升,到第4个取样口处的平均硝酸盐氮浓度为24.18 mg/L,但亚硝酸盐氮浓度始终保持在0.1~0.8 mg/L之间(见图4(a))。

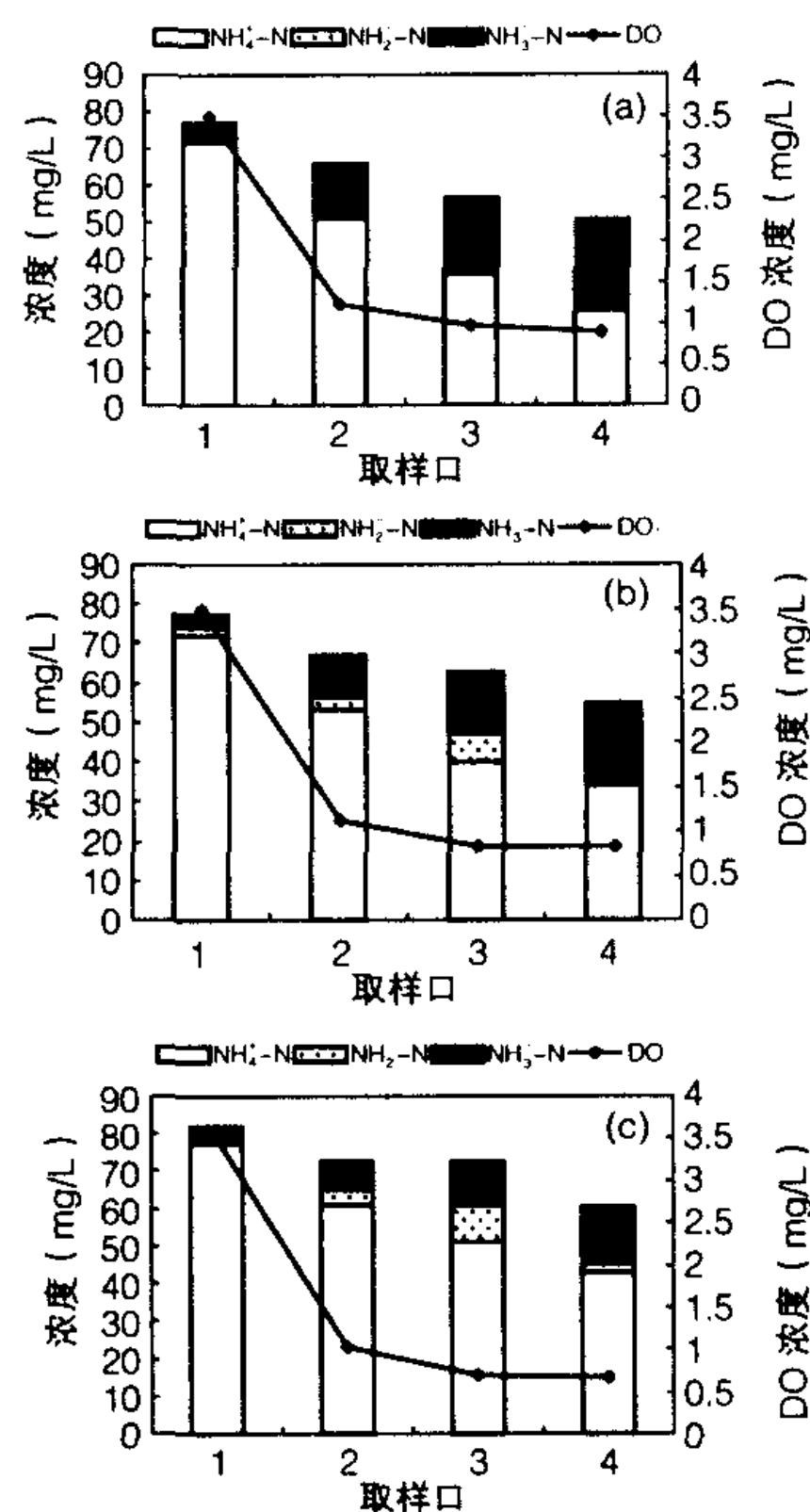


图4 当氨氮负荷分别为0.825 kg/(m³·d)(a), 1.10 kg/(m³·d)(b)和1.32kg/(m³·d)(c)时,各取样口处的NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N和DO浓度值

接下来,将氨氮负荷提高到1.10 kg/(m³·d),此时平均氨氮去除率略有下降,达到68%,最后一个取样口处的硝酸盐氮浓度为19.54 mg/L,出现了亚硝酸盐氮的累积现象,尤其在第3个取样口处(见图4(b))。当氨氮负荷再进一步增加到1.32 kg/(m³·d)时,出水氨氮去除率明显下降达到平均值53%,但亚硝酸盐氮在第3个取样口处却出现最大累积量10.2 mg/L(见图4(c))。

通过对图4(a)、(b)、(c)进行对比,我们发现在20℃供氧受限的条件下运行时,随着氨氮负荷的增加氨氮去除率呈下降趋势。但在前两负荷下运行时,其下降趋势不是很明显,直到负荷达到1.32 kg/(m³·d)时,氨氮去除率才有明显下降,证明此时已超过最佳运行负荷。同时对比还发现随负荷的增加,出现亚硝酸盐氮累积现象,并在第3个取样口处达最大累积量,而硝酸盐氮浓度却呈下降趋势。分析认为供氧量保持不变时,随氨氮负荷的增加,溶解氧相对不足致使反应器内发生了不完全硝化作用,因此出现亚硝酸盐氮的累积和硝酸盐氮的减少。

在本试验过程中,由于主要目的是研究短程硝化/反硝化的特性,所以将平均氨氮去除率为68%,第3个取样口处的亚硝酸盐氮累积量为7.12 mg/L时的运行条件定义为最佳运行条件,即温度为20℃、氨氮负荷为1.10 kg/(m³·d)、底部第一个取样口处溶解氧限制在3.5 mg/L为最佳运行条件。

3 结论

在实验室对装有火山岩填料的曝气生物滤池进行废水脱氮试验研究,通过分析温度及氨氮负荷对BAF的影响,得出如下结论:

3.1 BAF中温度对硝化作用的影响,尤其对短程硝化反硝化作用的影响不同与悬浮生长反应器。这是由于在BAF反应器中溶质的扩散传递而不是动力学特性是硝化作用的控制因素。本试验中20℃是一临界温度,当温度低于20℃时,反应器的氨氮去除率较低(仅为进水氨氮的25%),而温度为20℃时,氨氮去除率上升到68%左右,但随温度的进一步提高氨氮去除率增长缓慢;

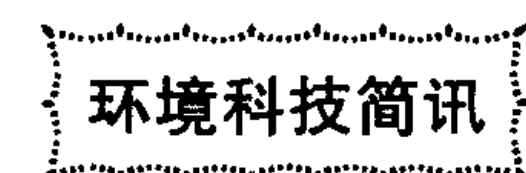
3.2 20℃下,保持底部第一个取样口处溶解氧恒定时,将反应器的氨氮负荷分别固定在0.825 kg/(m³·d)、1.10 kg/(m³·d)和1.32 kg/(m³·d),其出水氨氮浓度随负荷的增加略有下降趋势,但亚硝酸盐氮累积量却逐渐增加,并在负荷为1.32 kg/(m³·d)时的第3个取样口处达到最大累积量10.2 mg/L。

3.3 由于本试验的主要目的是研究短程硝化反硝化,所以定义温度为20℃、氨氮负荷为1.10 kg/(m³·d)、底部第一个取样口的溶解氧浓度为3.5 mg/L是最佳运行条件,此时的氨氮去除率约为68%,并在第3个取样口处有较高亚硝酸盐氮累积量(7.12 mg/L)。

参考文献

- [1] G. Ruiz, D. Jeison, et al. Nitrification with high nitrite accumulation for the treatment of wastewater with high ammonia concentration[J]. Wat Res. 2003, 37: 1371 - 1377.
- [2] Lide D. R. CRC Handbook of chemistry and physics, 75th ed[M]. CRC Press, Boca Raton, FL 1994.

作者简介:王春荣(1978-),女,内蒙古赤峰人,哈尔滨工业大学在读博士,主要研究方向为污水生物处理。



国家环保总局在津召开推进循环经济试点经验交流会

由国家环保总局主办,天津市环保局、天津开发区管委会承办的“国家环保总局推进循环经济试点经验交流会”,于2004年7月29日~30日在天津经济技术开发区召开。全国各省自治区、直辖市环境保护局负责同志,国家环保总局循环经济试点省、市,生态工业园试点单位,中央地方新闻媒体等300多人参加了会议。

天津市副市长陈质枫同志到会祝贺并致辞,国家环保总局副局长王玉庆同志做了重要讲话。天津市环保局、天津经济技术开发区等15个试点单位交流了在推动循环经济和生态工业园区建设中的经验与成效。中国科学院张懿院士,中国清洁生产中心段宁博士分别就资源利用的清洁生产技术和提高循环经济理论水平推进循环经济健康发展两个主题做了专题报告。

本次经验交流会是国家环保总局在全国开展循环经济和生态工业园区建设试点以来,第一次召开的大型经验交流会。会议全面总结与交流了我国4年来在推进循环经济和生态工业园建设方面的经验和作法,对取得的成效和存在的问题进行了分析,并对环保部门在推进循环经济方面的工作任务和下一步工作要求进行了认真讨论。国家环保总局对全面贯彻和落实科学发展观,进一步普及和推行循环经济理念,在全国更大范围内推动生态工业园建设和循环经济发展,提高试点区域循环经济运行质量,开创全国循环经济发展新局面等做了具体部署。

(环境保护信息)