

SBR 中亚硝酸型硝化的影响因素研究

马放¹, 郭海娟^{1,2}

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 苏州科技学院
环境科学与工程重点实验室, 江苏 苏州 215011)

摘要: 为实现稳定的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累, 对 SBR 中亚硝酸型硝化的影响因素进行了研究。结果表明: 亚硝酸型硝化系统的稳定运行是多个影响因素(进水氨氮浓度、pH 值、DO 值、温度和 SRT 等)共同作用的结果, 其中控制较低的 DO 值是关键因素之一。过低的进水氨氮浓度和 pH 值会导致系统运行的不稳定。当 DO 为 0.5 ~ 1.0 mg/L、进水氨氮为 120 ~ 240 mg/L、pH 值为 7.5 ~ 8.3, 在 25、30、35 °C 均可获得稳定的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累。而温度和 SRT 不是亚硝酸型硝化系统稳定运行的决定性因素。

关键词: 亚硝酸型硝化; 影响因素; SBR 反应器

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2005)01-0009-05

Study on Affecting Factors of Nitrosification in Sequencing Batch Reactor

MA Fang¹, GUO Hai-juan^{1,2}

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. Key Lab of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215011, China)

Abstract: The affecting factors of nitrosification in SBR were studied to achieve the steady accumulation of $\text{NO}_2^- - \text{N}$. The result shows that the steady operation of nitrosification system is due to the co-effect of multi-factors such as influent ammonia nitrogen concentration, pH, DO, temperature, and SRT, of which one of the key factors is to control DO at lower value. Too low concentration of influent ammonia nitrogen and too low pH value will result in unsteady operation of the system. When DO is 0.5 - 1.0 mg/L, influent ammonia nitrogen is 120 - 240 mg/L, and pH is 7.5 - 8.3 at the temperature of 25, 30, and 35 °C, steady accumulation of $\text{NO}_2^- - \text{N}$ can be achieved. Temperature and SRT are not the decisive factors for steady operation of nitrosification system.

Key words: nitrosification; affecting factor; sequencing batch reactor

1 材料与方法

1.1 试验装置

SBR 为圆柱形有机玻璃容器, 直径为 25 cm, 高

为 40 cm, 有效容积为 17 L。曝气装置采用旋涡式充气增氧泵, 通过曝气砂头向反应器供氧; 加热装置采用 300 W 的电热管, 该装置与温控设备相连接。

基金项目: 江苏省“环境科学与工程”重点实验室开放课题(ZD200103)

试验装置见图1。

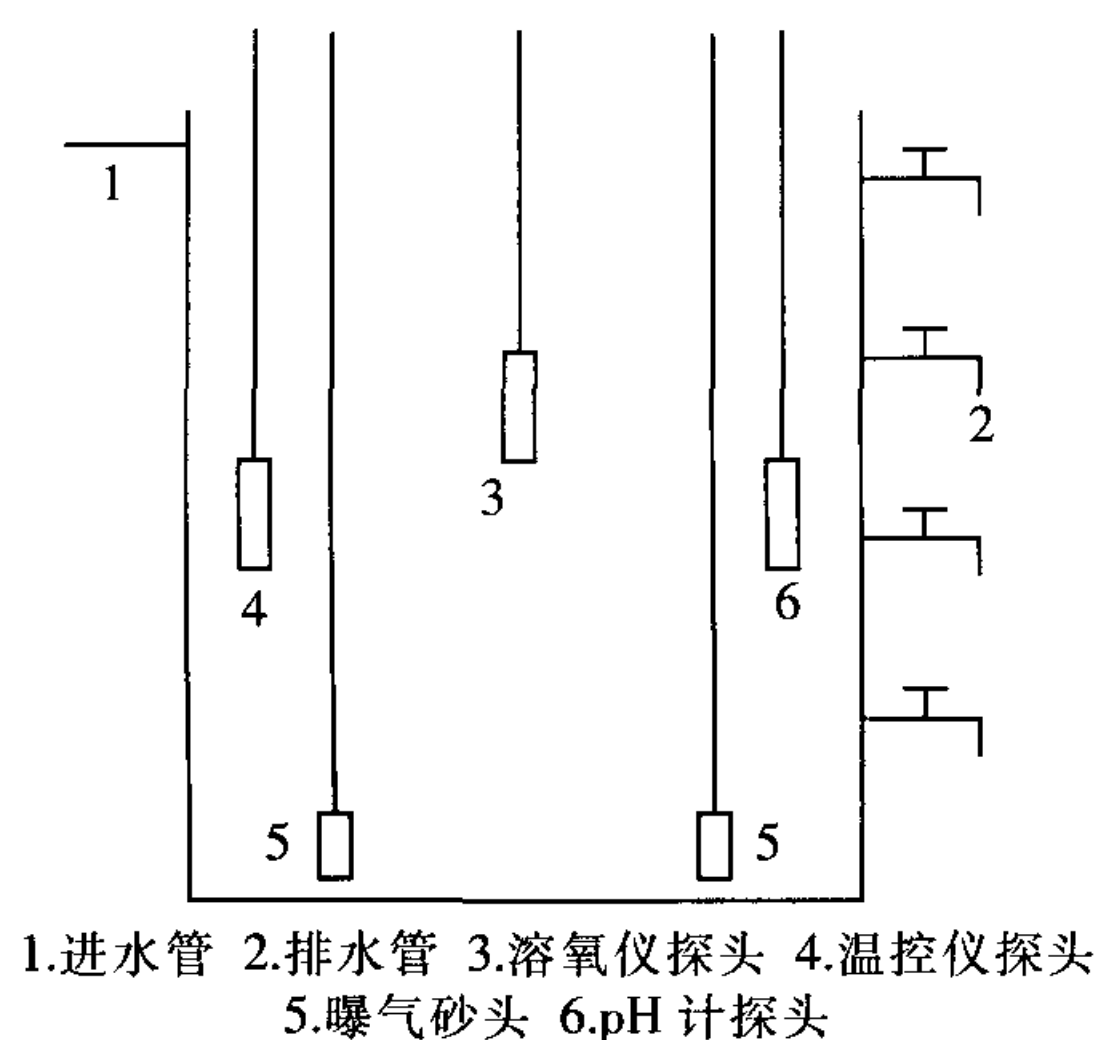


图1 试验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up

1.2 运行参数

SBR 运行周期为 8 h, 每个周期包括 2 个阶段: 好氧曝气 440 min, 沉淀排水 40 min。在每周期开始时瞬间投加 8.5 L 人工合成废水, 在好氧末端通过排放混合液达到控制污泥龄的目的, 经沉淀后将 8.5 L 上清液从反应器中排出, 总的水力停留时间为 16 h, 通过投加 HCl 或 NaHCO₃ 来控制 pH 值。

1.3 配水水质及污泥驯化

采用人工合成废水, 组分有 NH₄Cl (提供氨氮)、

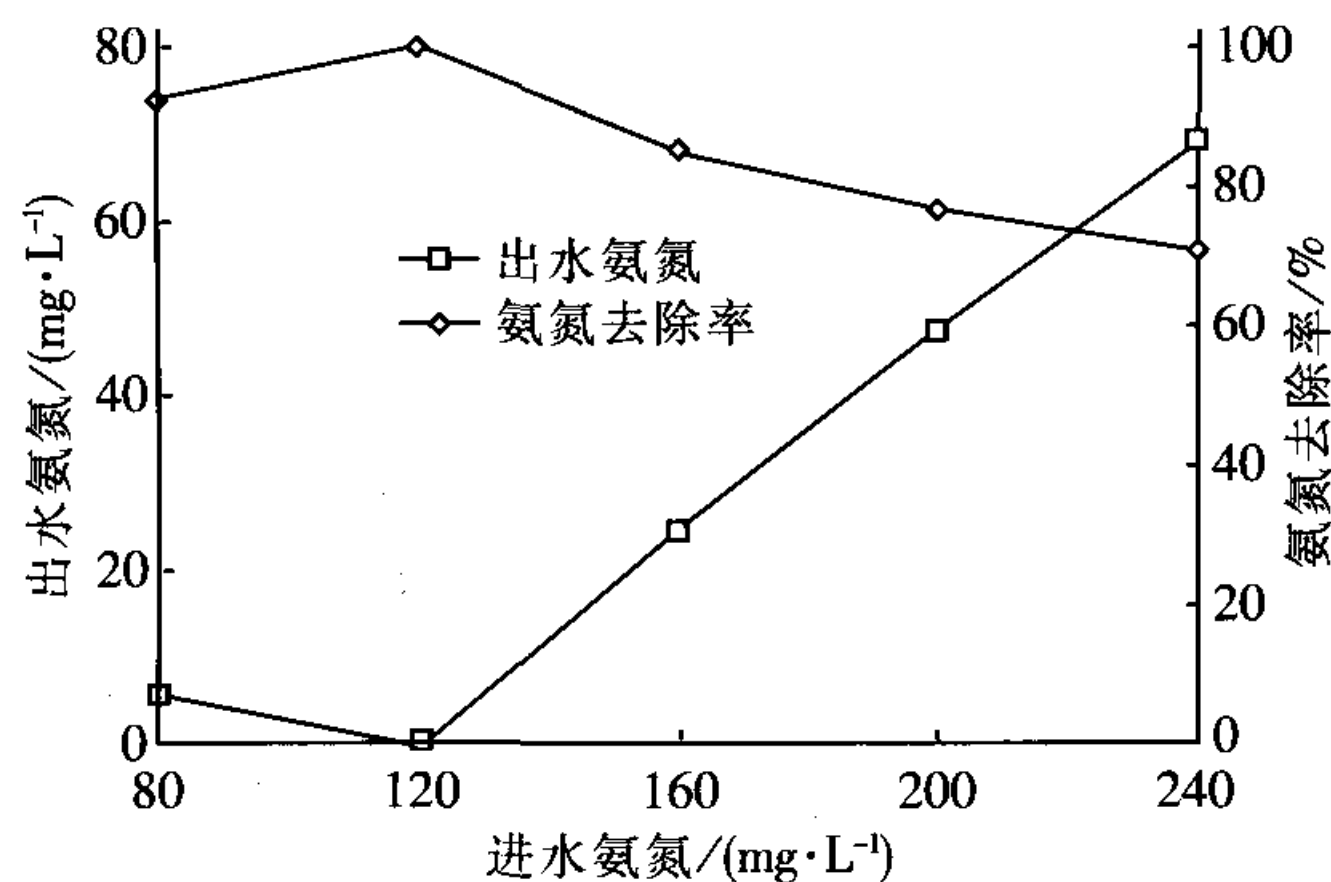


图2 不同进水氨氮浓度对1[#]系统运行效果的影响

Fig. 2 Effect of ammonia nitrogen concentration in influent on the No. 1 running system

从图2看出, 当进水氨氮为 120 ~ 240 mg/L 时, 1[#] 反应器出水氨氮值随进水氨氮浓度的升高而升高, 而 NO₂⁻-N 积累率则稳定在 95% ~ 96%; 当进水氨氮为 80 mg/L 时, NO₂⁻-N 积累率为 45%。在该运行条件下, 进水氨氮为 120 mg/L 时为最佳工况点, 相应的氨氮去除率和 NO₂⁻-N 积累率分别为 100% 和 95%。从图3看出, 2[#] 反应器的运行规律和 1[#] 反应器的相似, 但由于运行温度不同, 其结果也稍有不同。当进水氨氮为 80 ~ 240 mg/L 时, NO₂⁻-N

0.03 g/L 的 KH₂PO₄、0.4 g/L 的 MgSO₄ · 7H₂O、0.05 g/L 的 CaCl₂ · H₂O、0.2 mL/L 的微量元素溶液。微量元素溶液成分 (1 L 蒸馏水): 0.904 4 g FeCl₃, 0.15 g H₃BO₃, 0.03 g CuSO₄ · 5H₂O, 0.18 g KI, 0.06 g MnCl₂ · 4H₂O, 0.02 g ZnSO₄ · 7H₂O, 0.15 g CoCl₂ · 6H₂O, 0.06 g Na₂MoO₄ · 2H₂O, 10 g 乙二胺四乙酸。

接种污泥取自苏州市新区污水厂氧化沟, SBR 系统经过 13 d 的运行后完成了亚硝酸型硝化污泥的培养驯化。

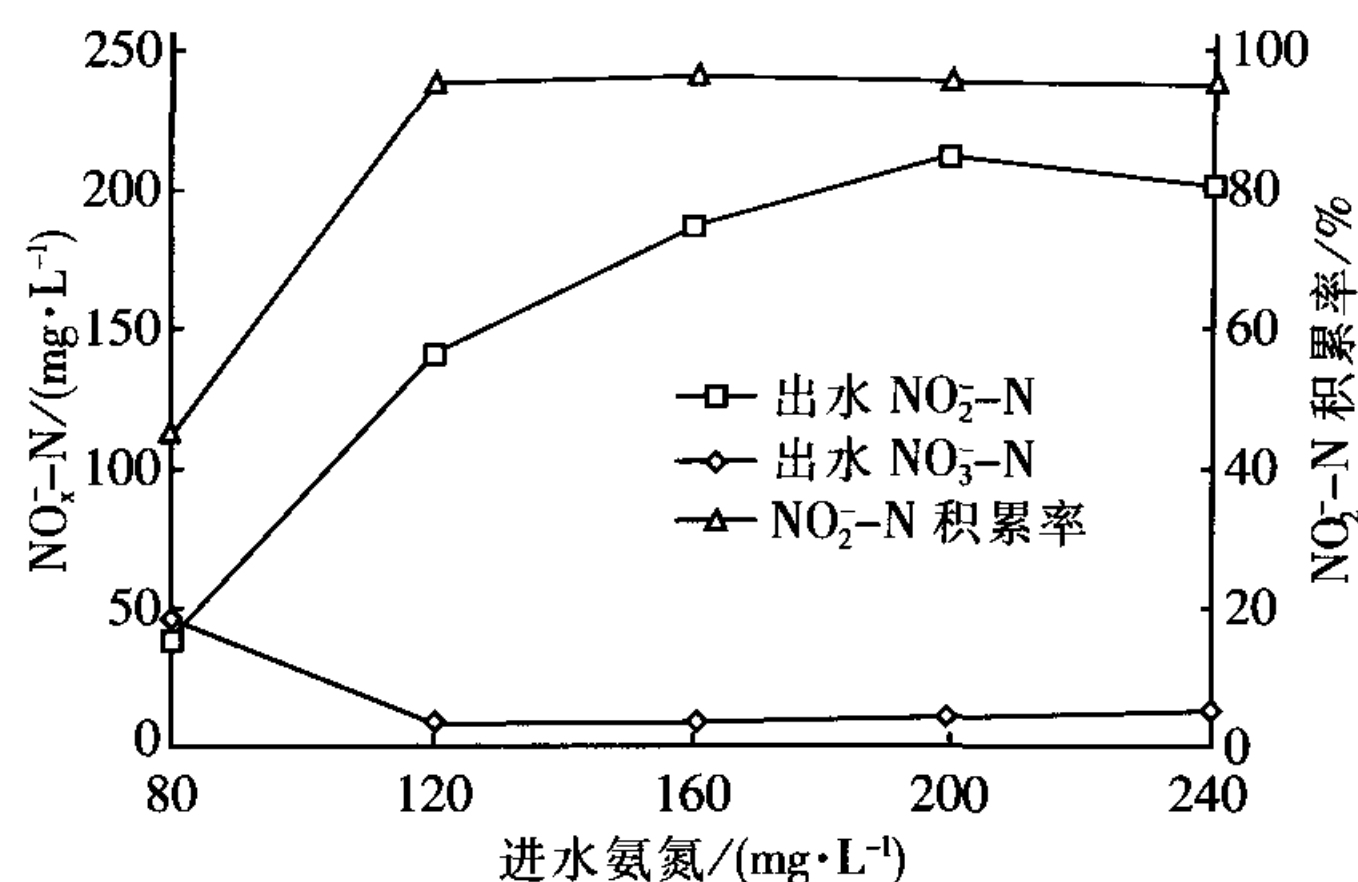
1.4 分析项目及方法

分析项目有 NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、氨氮和 MLSS, 均采用国家标准分析方法, pH 值和 DO 分别用 pH 计和溶氧仪进行测定。

2 结果与讨论

2.1 进水氨氮浓度的影响

在两个平行的反应器 (1[#]、2[#]) 中进行试验, 1[#] 和 2[#] 反应器的温度分别控制在 (30 ± 1) °C 和 (25 ± 1) °C, 进水氨氮分别为 80 ~ 240 mg/L 和 60 ~ 240 mg/L, 其余条件均相同 (pH 值为 7.5 ~ 8.0, DO 为 0.5 ~ 1.0 mg/L, MLSS 为 3.0 ~ 3.5 g/L, 不排泥), 不同进水氨氮浓度对 1[#]、2[#] 系统运行效果的影响分别见图 2、3。



积累率一直稳定在 93% 左右; 当进水氨氮为 60 mg/L 时, NO₂⁻-N 积累率减至 36%。在实际运行条件下, 进水氨氮为 80 mg/L 时为最佳工况点, 相应的氨氮去除率和 NO₂⁻-N 积累率分别为 94% 和 93%。

综合上述两组运行结果认为, 亚硝酸型硝化一经实现后是相当稳定的, 只要 DO 足够低 (0.5 ~ 1.0 mg/L)、pH 值适宜 (7.5 ~ 8.0), 进水氨氮浓度在相当宽的范围内 (120 ~ 240 mg/L) 并不影响 NO₂⁻-N 的积累, 并且该范围内温度对系统运行效果影响也

不大。但是,进水氨氮浓度过低会影响系统 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累的稳定性。其原因为:当进水氨氮浓度足够低时,一方面亚硝酸菌可利用的底物浓度太低,不利于亚硝酸菌的增殖;另一方面,游离氨(FA)对硝酸菌和亚硝酸菌的活性均有抑制作用,但对硝酸菌的抑制更明显,FA 主要取决于进水氨氮浓度和 pH 值。当 pH 值偏碱性时进水氨氮浓度高有利于 NO_2^-

$- \text{N}$ 的积累,但进水氨氮浓度太低,即使 pH 值足够高、FA 值较低,其对硝酸菌的抑制作用也很弱,导致 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 逐渐转化成 $\text{NO}_3^- - \text{N}$,使 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累率下降。由于在不同温度条件下细菌的活性和代谢速率不同,所以造成系统不稳定运行的极限浓度会有所差别。

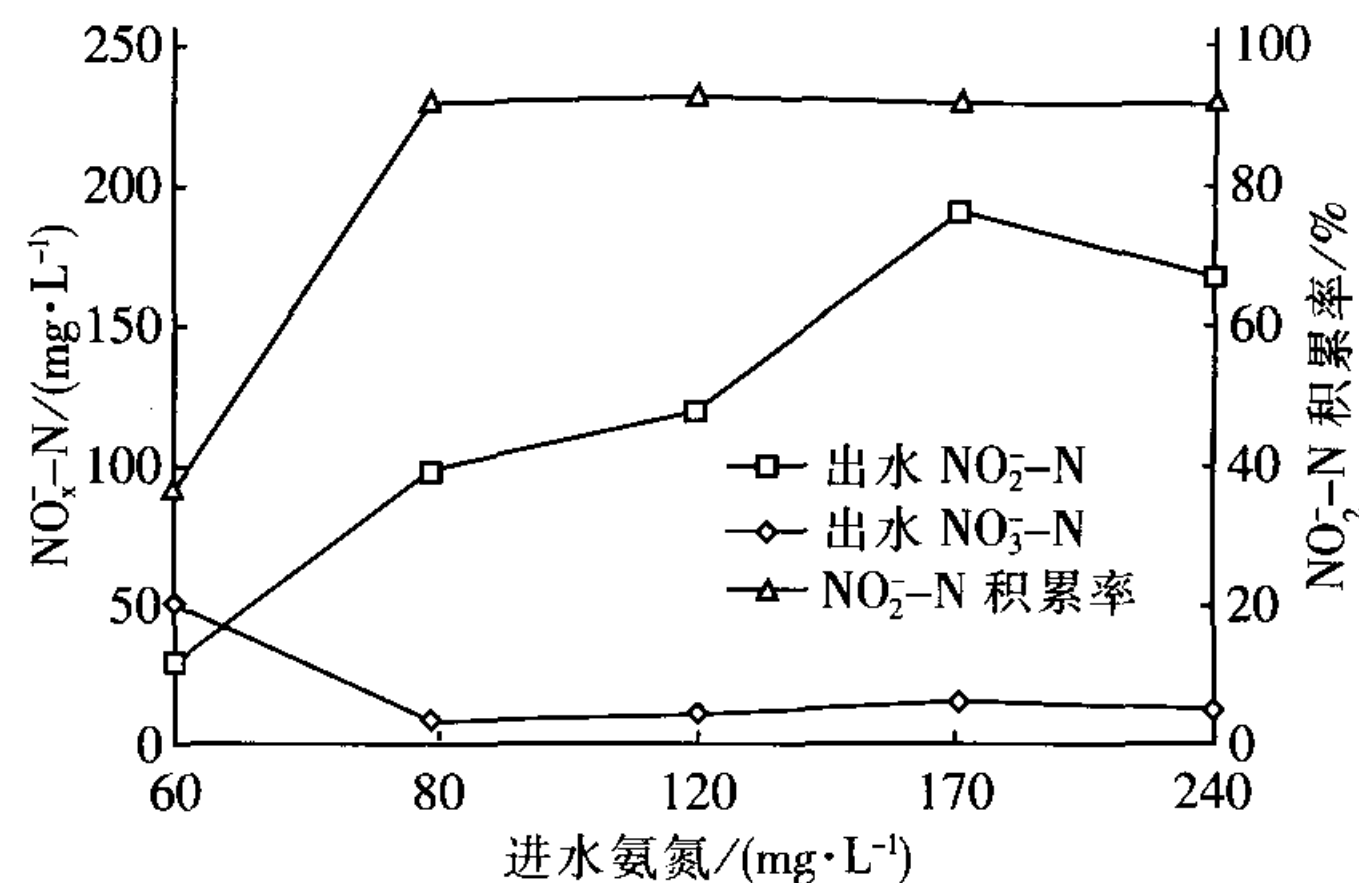
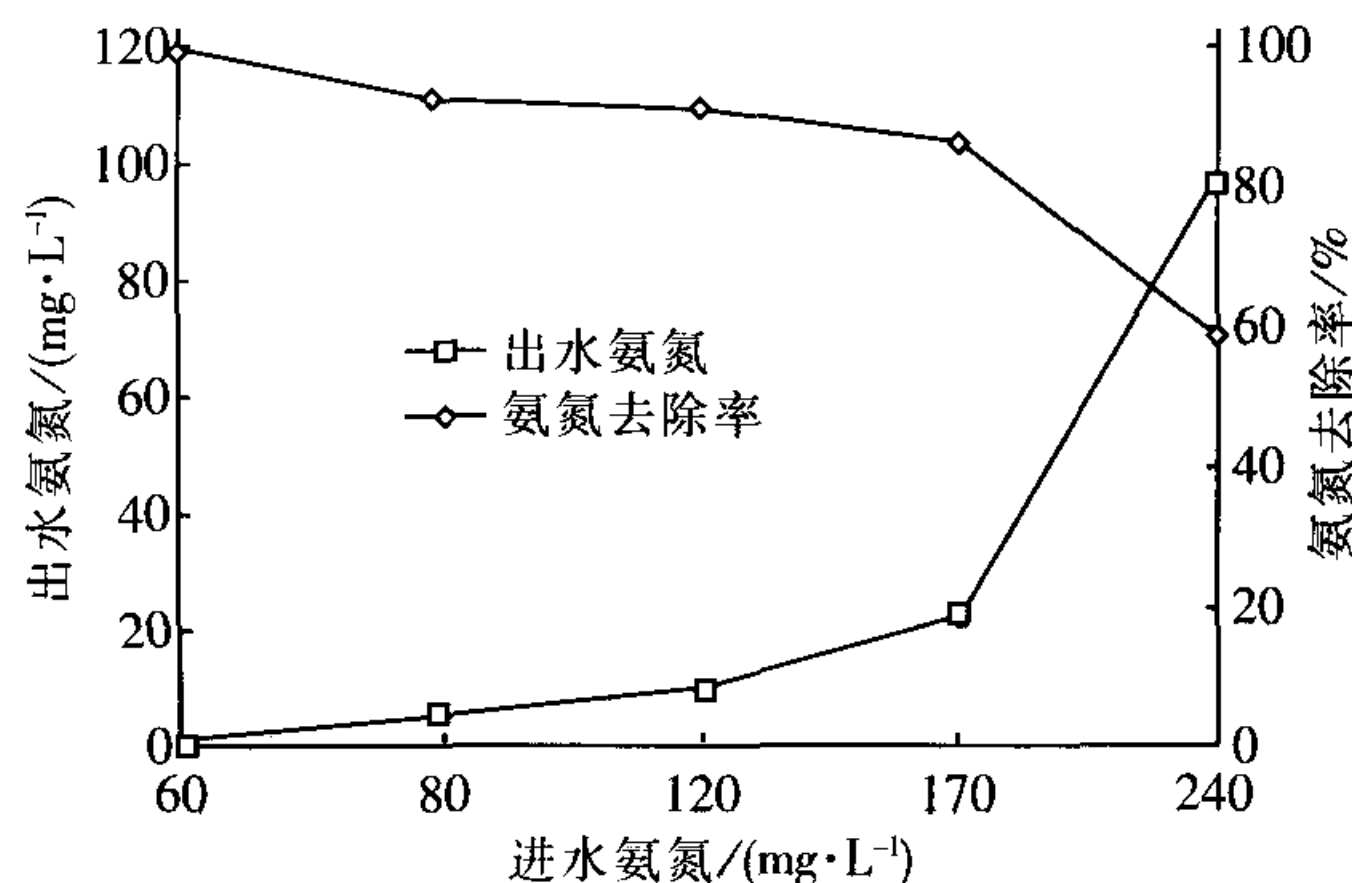


图3 不同进水氨氮浓度对2[#]系统运行效果的影响

Fig. 3 Effect of ammonia nitrogen concentration in influent on the No. 2 running system

2.2 pH 值的影响

试验分两部分,分别在1[#]反应器和2[#]反应器进行。

1[#]反应器:进水氨氮为200 mg/L,温度控制在

(30 ± 1) °C、DO 为0.5 ~ 1.0 mg/L,不排泥,通过改变 pH 值(6 ~ 8.3)来考察不同 pH 值条件下出水氨氮、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量以及氨氮去除率、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累率的变化情况,运行结果见图4。

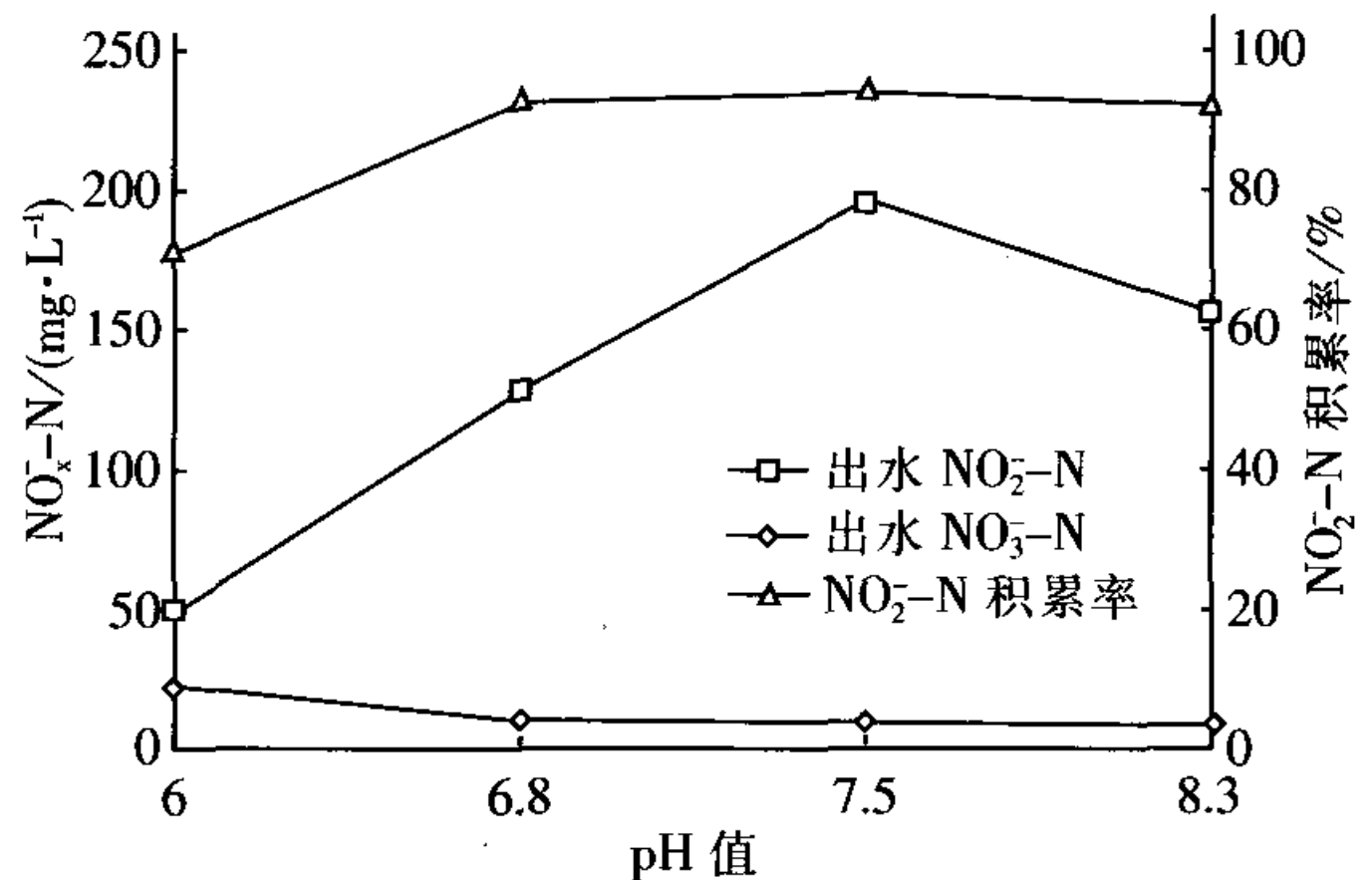
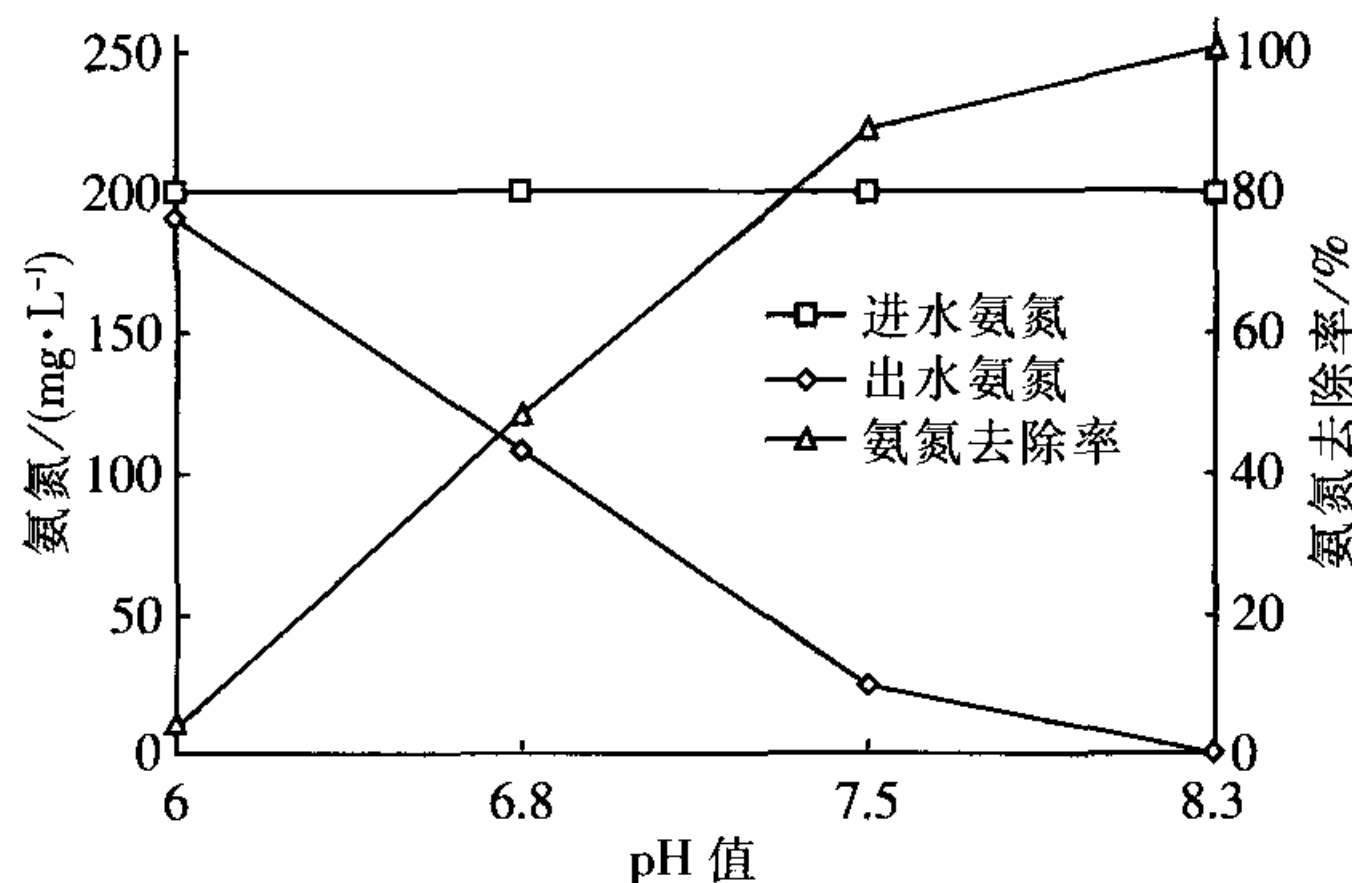


图4 不同 pH 值对系统运行效果的影响

Fig. 4 Effect of pH Value on the operation of system

从图4看出,在较高的进水氨氮浓度下,氨氮去除率随着 pH 值的下降逐渐降低,当 pH 值为6.0时氨氮基本上不发生转化。出现此现象的原因是:pH 值过低导致系统中没有足够的碱度来维持硝化反应的正常进行。另外,当 pH 值为6.8 ~ 8.3时, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累率稳定在93%以上,当 pH 值降到6.0时 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累率下降至70%左右,下降幅度不大。可见当 pH 值较低时,一方面 FA 浓度减少,其对硝酸菌的抑制作用会减弱,使 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累率下降;

另一方面,由于硝酸菌生长的最佳 pH 值比亚硝酸菌的低,因此降低 pH 值对 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 转化为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的影响相对小,但会严重影响氨氮向 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的转化,最终导致亚硝酸型硝化系统运行的不稳定。在试验条件下,当 pH 值 > 6.8 时不会影响系统 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累的稳定性。当进水氨氮为200 mg/L时,从整体效果考虑,应控制 pH 值 > 7.5。

2[#]反应器:进水氨氮为120 mg/L,温度控制在(25 ± 1) °C,DO 为0.5 ~ 1.0 mg/L,不排泥,通过改

变 pH 值(8.3~6.8)考察 1 个周期内 4 种不同 pH 值下氨氮去除率及 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累率的变化情况,运行结果见图 5。

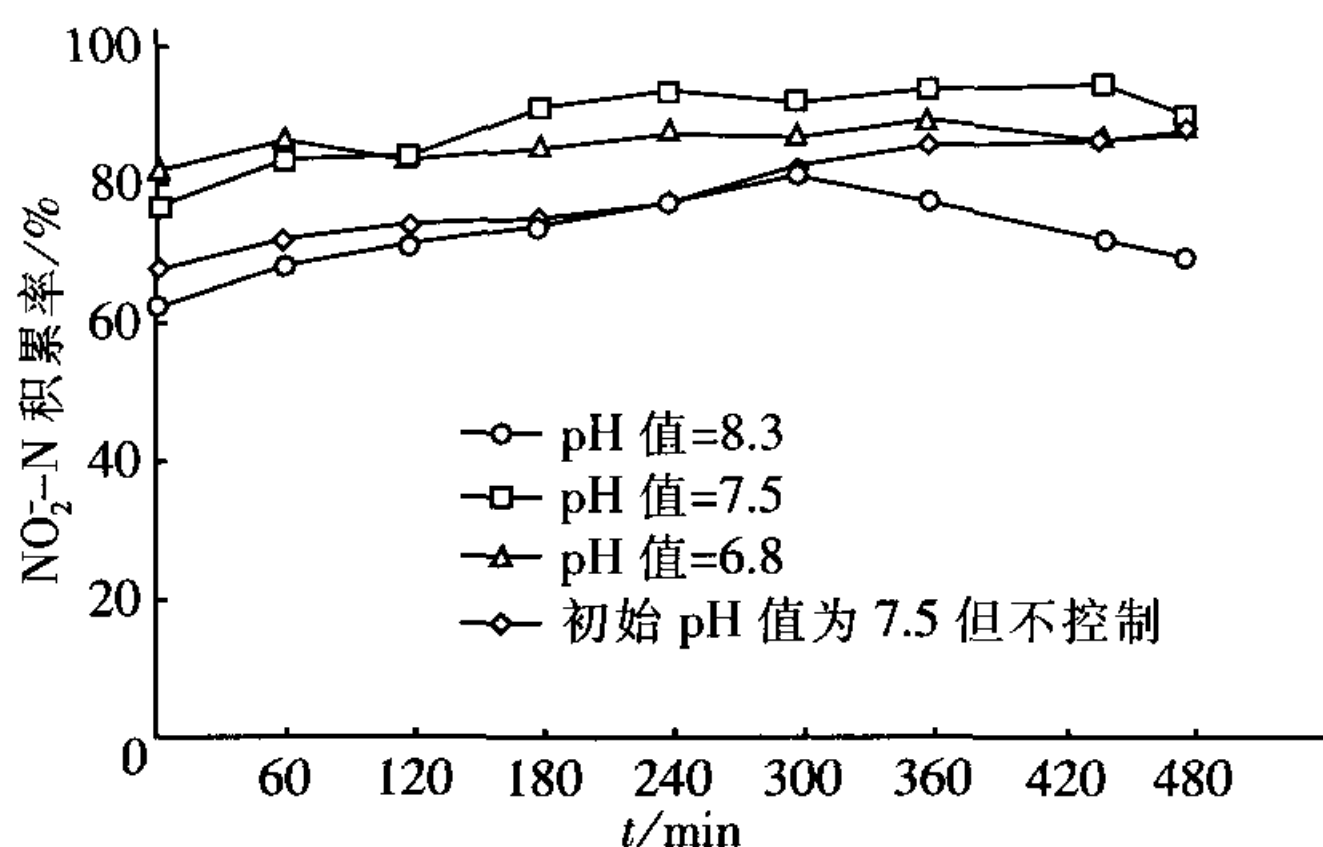
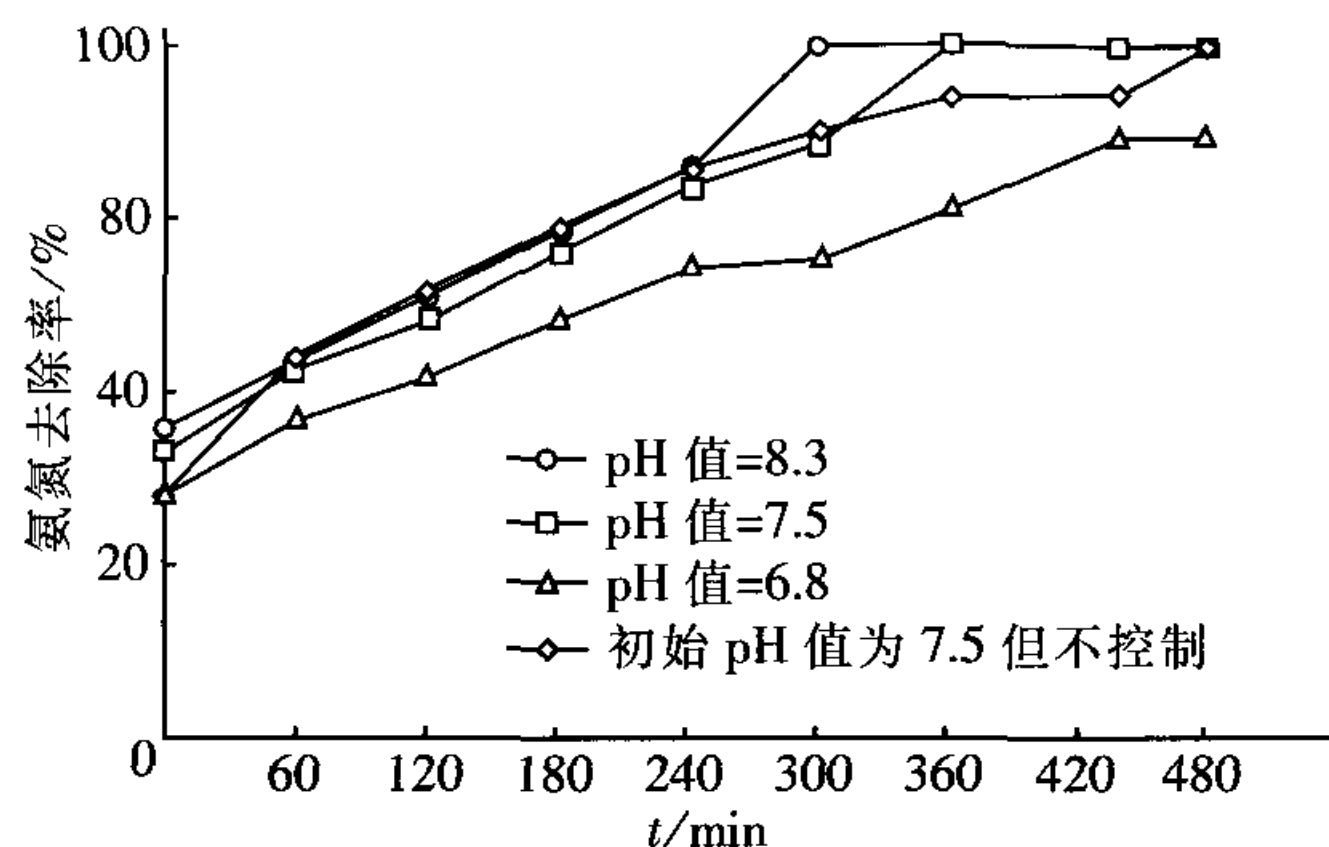


图 5 不同 pH 值条件下 1 个周期内氨氮去除率、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累率的变化

Fig. 5 Ammonium removal rate and $\text{NO}_2^- - \text{N}$ accumulation rate in a period at different pH value

从图 5 看出,除了 pH 值为 6.8 时氨氮去除率稍低,其他三种情况的最终氨氮去除率均达 100%,只是去除速率不同,系统中 pH 值越高,去除速度越快。就 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累率而言,当 pH 值为 7.5 和 8.3 时,其值均在 90% 以上;当 pH 值为 6.8 时,其值为 80%~90%;变化较大的是初始 pH 值为 7.5 但不进行控制的那种情况,周期开始时由于系统中有足够的碱度,硝化反应能正常进行, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累率逐渐增加,但增加速率逐渐减慢,到 300 min 后由于系统中碱度不断被消耗,pH 值不断降低, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累的稳定性遭到破坏,导致 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累率快速下降,直至为 69%。总的来说,pH 值的影响与 1[#]反应器得出的结论基本是一致的。

2.3 DO 的影响

表 1 为进水氨氮为 120 mg/L、其他因素不会成为限制条件时不同 DO 值下的运行结果。如表 1 所示,DO 值越大,氨氮去除率越高, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累率越

低。可见,DO 值低有利于 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累,但为了使硝化反应能正常进行,DO 值也不宜过低,通过试验证实当 $\text{DO} > 0.3 \text{ mg/L}$ 时不会影响亚硝化反应的正常进行。

表 1 不同 DO 条件下系统运行结果

Tab. 1 The running results of system at different DO

项目	DO/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水 氨氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	氨氮 去除率 /%	出水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累率 /%
数值	1.0	0	100	95.71	22.26	81
	0.4	10.45	91	118	8.83	93

2.4 温度的影响

图 6 为当进水氨氮为 200 mg/L、其他条件相同时,在 25、30、35 $^{\circ}\text{C}$ 三种条件下亚硝酸型硝化系统的运行结果。可以看出, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累率均在 90% 以上,随温度的升高稍有增加;三者的主要差别在于:在适宜菌群生长的温度范围内,温度越高则细菌的代谢速度越快,氨氮去除率随温度升高而增大,在 35 $^{\circ}\text{C}$ 时达 100%。

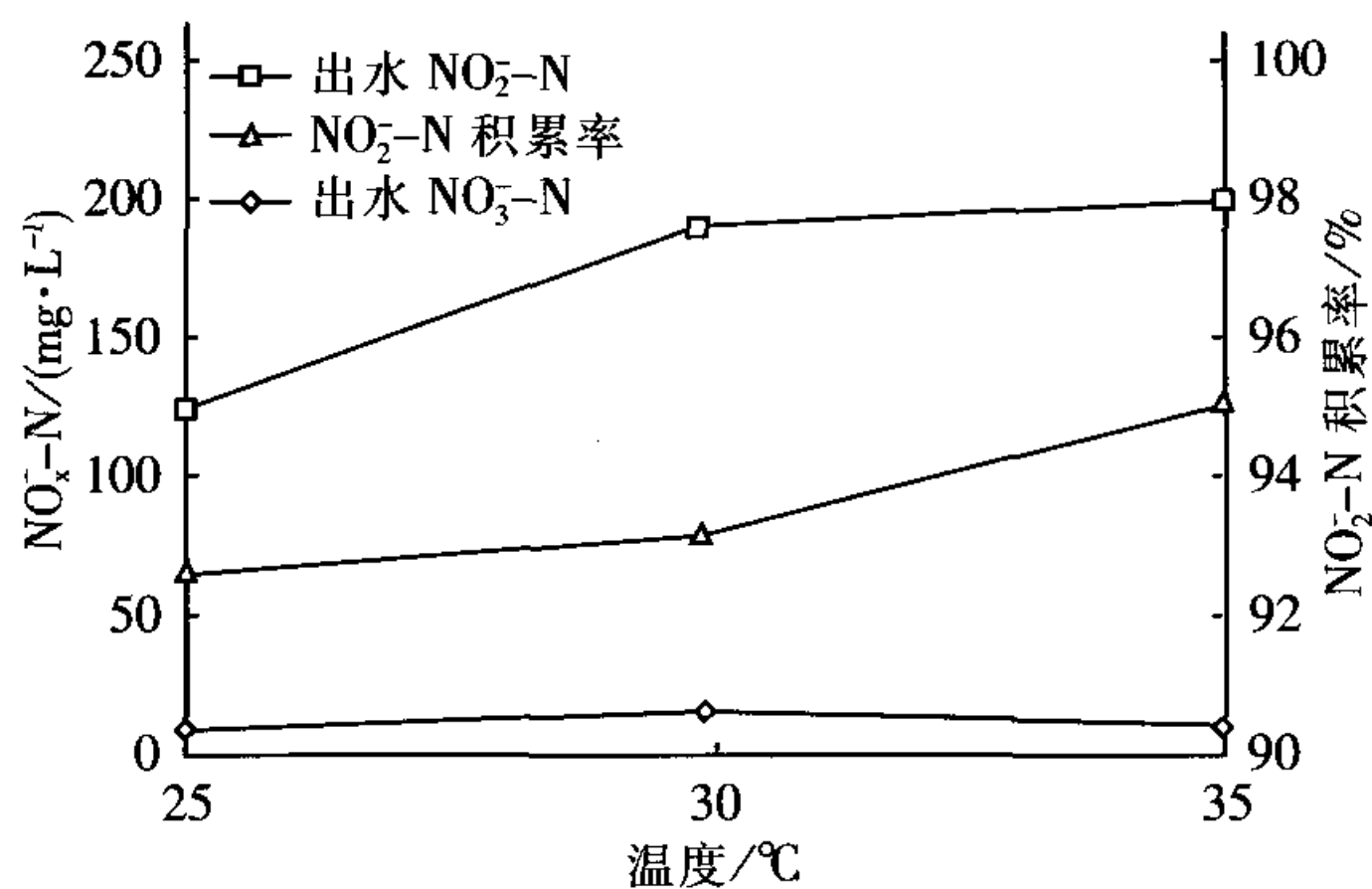
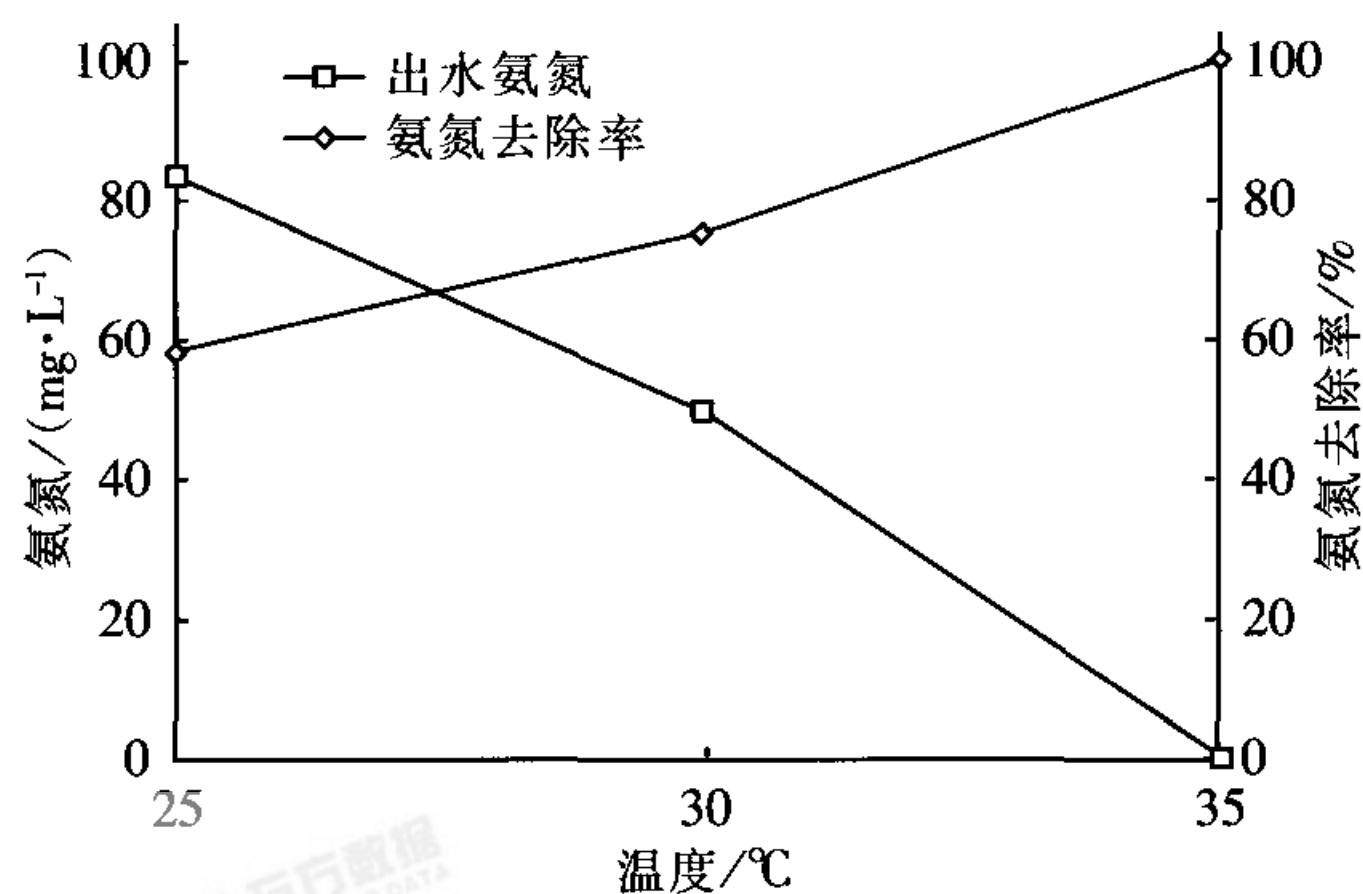


图 6 温度对系统运行效果的影响

Fig. 6 Effect of temperature on the running results of system

2.5 SRT的影响

由于在一定温度范围内亚硝酸菌的增殖速度高于硝酸菌,因此控制适当的SRT是利于淘汰硝酸菌使亚硝酸菌获得积累的。从上述试验中看出,当DO值控制得足够低,而其他条件不成为亚硝酸型硝化的限制因素时,即使不排泥也能获得稳定的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累,可见SRT并不是亚硝酸型硝化稳定运行的决定性因素。

3 结论

① 亚硝酸型硝化系统的稳定运行是多个影响因素(进水氨氮浓度、pH值、DO值、温度和SRT等)共同作用的结果,其中控制较低的DO是关键因素之一。

② 进水氨氮浓度过低会破坏系统对 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累的稳定性,当进水氨氮为120~240 mg/L时是可行的,在25℃时甚至可达80 mg/L。

③ pH值是亚硝酸型硝化的一个决定因素,pH值过低会导致系统运行的不稳定。当pH值>6.8时,不会影响系统 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累的稳定性;当进水氨氮为200 mg/L时,从整体运行效果考虑应控制pH值>7.5。

④ DO值越大,氨氮去除率越高, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累率越低。当然DO值也不宜过低,当DO>0.3 mg/L时不会影响亚硝化反应的正常进行。

⑤ 温度和SRT并不是亚硝酸型硝化系统稳定运行的决定性因素,当其他条件适宜时,在25、30、35℃均可获得稳定的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累。

参考文献:

- [1] Hellings C, Schellen A A J C, Mulder J W, *et al.* The SHARON Process: an innovative method for nitrogen removal from ammonium rich wastewater [J]. Wat Sci Tech, 1998, 37(9): 135-142.
- [2] 孙英杰,张隽超,胡跃城. 亚硝酸型硝化的控制途径[J]. 中国给水排水,2002,18(6):29-31.
- [3] 徐冬梅,聂梅生,金承基. 亚硝酸盐型硝化实验研究[J]. 给水排水,1999,25(7):37-39.
- [4] Bernet N. Nitrification at low oxygen concentration in bio-film reactor[J]. Environ Eng, 2001, 127(10): 22-28.
- [5] Laanbroek H J, Gerards S. Competition for limiting amounts of oxygen between nitrosomonas europaea and nitrobacter winogradsky grown in mixed continuous cultures [J]. Arch Microbiol, 1993, 159: 453-459.

作者简介:马放(1963-),男,辽宁铁岭人,博士,教授,研究方向为水污染控制。

电话:(0451)86282107

E-mail:guohaijuan@163.com

收稿日期:2004-06-15

· 工程信息 ·

唐山市丰南区污水处理厂工程

该工程包括污水处理厂工程、回用水工程及敷设排水管线工程,其中污水处理厂规模: $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,处理工艺:氧化沟,占地面积: 4 hm^2 ,投资额:9 000万元,建设周期:2003年—2005年。甲方:唐山市丰南区环保局,设计单位:中国市政工程华北设计研究院,建设单位:丰南区污水处理厂筹建处。目前该工程正处于施工图设计阶段。

承德市污水处理厂一期工程

该工程一期处理规模: $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,处理工艺:奥贝尔氧化沟,占地面积: 6.6 hm^2 ,投资额:2.4亿元,资金来源:世行贷款,建设周期:2004年—2006年。甲方:承德市污水处理有限公司,设计单位:中国市政工程华北设计研究院,建设单位:河北省承德市市政工程设计事务所。目前该工程已完成初步设计,并通过了审批。

(本刊编辑部 供稿)