

CAST 工艺在低温、较高负荷下的运行模式优化研究

吴磊^{1,2}, 龙天渝^{1,2}, 王俊³

(1. 重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045; 2. 重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 3. 武汉市东西湖自来水公司, 湖北 武汉 430040)

摘要: 万盛污水处理厂在冬季低温下运行时出水水质不稳定, $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 浓度超标现象较为严重, 为此结合该厂 CAST 工艺的实际运行状况开展了冬季低温下不同运行模式的优化研究。结果表明: 采用 C 模式, 即进水 2 h—曝气 2.5 h (进水 1.5 h 后开始曝气)—沉淀 1 h—滗水/待机 1 h, 可以实现出水水质的稳定达标排放。在 C 模式下, 系统对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 的平均去除率分别为 92.1%、76.2% 和 64.2%, 出水 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 平均浓度分别为 27.4、5.4、16.8 mg/L, 达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 B 标准。

关键词: 城市污水; CAST 工艺; 运行模式优化; 强化脱氮

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2010)13-0038-05

Optimization of Operating Mode of CAST in Low Temperature and High Load Conditions

WU Lei^{1,2}, LONG Tian-yu^{1,2}, WANG Jun³

(1. Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment < Ministry of Education >, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 3. Wuhan East and West Lake Water Company, Wuhan 430040, China)

Abstract: Because of the instability of effluent quality at low temperature in winter and the serious exceeding standard of $\text{NH}_3\text{-N}$ and TN in Wansheng WWTP, the optimization research of different operating modes of CAST was carried out. The results show that in the C mode, namely influent 2 h, aeration 2.5 h (aeration after influent 1.5 h), sedimentation 1 h and decanting/standby 1 h, the effluent can meet the discharge standard. The average removal rates of COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ and TN are 92.1%, 76.2% and 64.2% respectively, and their concentrations in the effluent are 27.4, 5.4 and 16.8 mg/L respectively, meeting the first level B criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002).

Key words: municipal wastewater; CAST; optimization of operating mode; enhanced nitrogen removal

CAST 工艺具有脱氮效果好、不易发生污泥膨胀、运行周期短、处理水量大等优点, 在城市污水处

理中具有广泛的应用价值。同时其抗冲击负荷能力强,可以很好地缓解水质、水量和有毒物质的冲击^[1-3]。

通过对万盛污水处理厂冬季运行情况的调研发现其主要存在以下问题:一是用水量下降、降雨少,对污染物的稀释作用减弱,使得进水污染物浓度普遍高于其他季节;二是水温降低导致生化处理性能下降(研究期间的水温只有 8~16℃),造成出水水质不稳定,NH₃-N 和 TN 浓度超标现象较为严重。因此,对冬季低温、较高污染物浓度下的运行模式进行了研究,并通过优化运行参数来提高 CAST 工艺的脱氮效果。

1 工程概况

1.1 设计水量与水质

万盛污水处理厂位于万盛区万东镇,占地约为 3 hm²,总设计处理能力为 5 × 10⁴ m³/d,分期建设,服务人口约 15 万人。一期工程处理量为 2 × 10⁴ m³/d,2007 年 3 月建成并投入使用,主体采用 CAST 工艺,并辅以化学除磷,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准。

万盛污水处理厂的设计进、出水水质如表 1 所示。

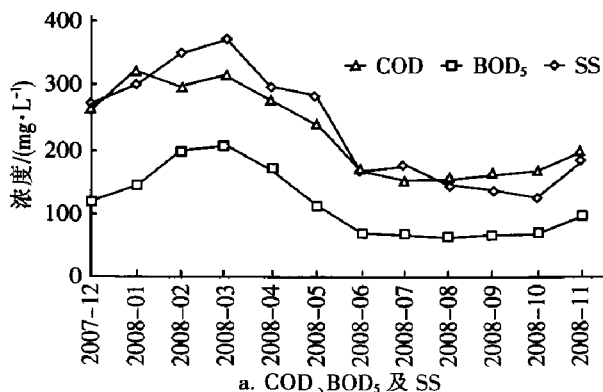
表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design quality of influent and effluent

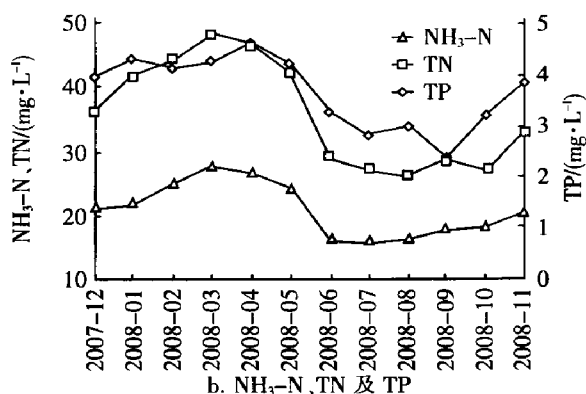
项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水	360	180	220	35	40	5
出水	60	20	20	8(15)	20	1.5

1.2 实际水量与水质

图 1 为 2007 年 12 月—2008 年 11 月进水水质的逐月变化,可知进水 COD、BOD₅、SS、NH₃-N、TN 及 TP 浓度受季节的影响较大。



a. COD、BOD₅ 及 SS



b. NH₃-N、TN 及 TP

图 1 试验期间进水水质的逐月变化

Fig. 1 Variation of influent quantity each month during experimental period

万盛污水处理厂进水水量的季节变化明显,冬季的平均水量约为 1 × 10⁴ m³/d,冬、夏季水量的变化幅度达到了 60%。分析原因主要有以下两个方面:一是万盛地区主要采用雨污合流制排水系统,污水量受降雨的影响较大,夏季雨量充沛,致使水量增加;二是污水收集区域内无大型工矿企业,所收集的污水绝大部分为生活污水,夏季高温期间居民生活用水量增加,从而导致排水量相应增加。另外,随着收集管网的不断完善和居民生活水平的不断提高,进水水量也呈现上升趋势。

1.3 工艺流程

万盛污水厂的工艺流程见图 2。

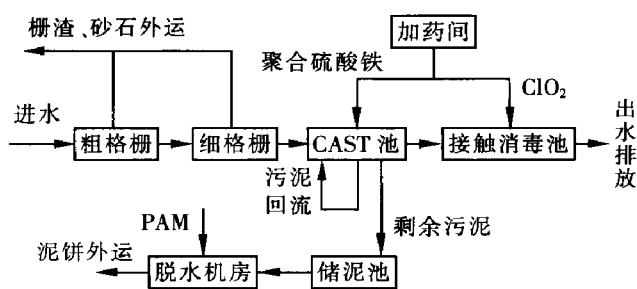


图 2 万盛污水厂工艺流程

Fig. 2 Flow chart of treatment process of Wansheng WWTP

CAST 生化池按近期规模为 2 × 10⁴ m³/d 进行设计,分为两组 4 个池子,单池处理能力为 5 000 m³/d。尺寸为 30 m × 18 m × 6.8 m,有效水深为 5.8 m;生物选择区容积为 282 m³,主反应区容积为 2 850 m³;最大滗水深度为 1.6 m,充水比为 0.2~0.28;SRT 为 18 d,HRT 为 14 h;循环周期为 4 h,其中曝气为 2 h、沉淀为 1 h、滗水为 1 h,每日周期数为 6 个;MLSS 为 3 000~5 000 mg/L,DO 为 2.0~3.0 mg/L,污泥回流比为 20%。

在生物选择区设有 SR4630 型水下搅拌器 2 台,叶轮直径为 370 mm,电机功率为 1.5 kW。化学除磷药剂投加点设在生物选择区前端。主反应区设有一台污泥回流泵,将主反应区的污泥回流至生物选择区,运行参数为: $Q = 85 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H = 35 \text{ kPa}$ 、功率为 3 kW。由剩余污泥泵将剩余污泥抽到储泥池,其运行参数为: $Q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H = 78 \text{ kPa}$ 、功率为 3 kW。在反应池末端装有旋转式滗水器,处理能力为 $1\,300 \text{ m}^3/\text{h}$,最大滗水深度为 1.6 m。

鼓风机房的最大供气量为 $113.7 \text{ m}^3/\text{min}$,共设 3 台罗茨鼓风机(2 用 1 备),其中两台采用变频设计,可自动调节供气量。单台风量: $56.85 \text{ m}^3/\text{min}$,压力: 70 kPa ,功率: 110 kW ,转速: $1\,490 \text{ r}/\text{min}$ 。

在污泥脱水间安装了 2 台带式污泥浓缩脱水机(一用一备),设计处理干污泥量为 $3.63 \text{ t}/\text{d}$,浓缩脱水前的含水率为 99.2%,浓缩脱水后的含水率 75%~80%,脱水时投加聚丙烯酰胺(PAM),投量为 $4 \text{ kg}/\text{t}$ 。

2 采样与分析方法

试验时间为 2007 年 12 月—2008 年 2 月。工艺运行模式研究的进、出水水样为全天混合水样,每小时由自动取样机取样保存,进水取样点位于细格栅处,出水取样点为接触消毒池末端;以周期为监测单位的试验研究,其进水取样点为生物选择区的进水口处,于初期采样,出水取样点位于滗水器集水井处,滗水 0.5 h 后开始取样;研究污染物周期变化时的取样点位于生化池的中部,每 30 min 取样一次。所取水样经预处理后置于 $0 \sim 4 \text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱内保存,待当天取样完成后采用标准方法或仪器统一测定。

3 低温运行调控技术的效果

3.1 运行模式

鉴于万盛污水厂在冬季运行期间的实际进水量只有 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右,仅为设计规模的 1/2,考虑将循环周期适当延长,并通过改变曝气方式来提高脱氮效果。在冬季低温条件下,万盛污水厂共进行了 3 种运行模式的调整(见表 2)。

表 2 万盛污水处理厂的低温运行模式

Tab. 2 Operation modes of Wansheng WWTP in low temperature period min

项 目	进水	曝气	沉淀	滗水/待机
A 模式		120	60	60
B 模式	120	120	60	60
C 模式	120	150	60	60

A 模式为设计运行模式,两个生化池交替运行,单池每天运行 6 个周期。B、C 模式的循环周期为 6 h,为保证进水的连续性,采用三个生化池交替运行,单池每天运行 4 个周期。B 模式的曝气时间仍为 2 h,但曝气方式改变为限制性曝气,即在进水完成后再次曝气;C 模式将曝气时间延长为 2.5 h,曝气方式为半限制性曝气,即在进水 90 min 后开始曝气。除采用的运行模式不同外,其他运行条件基本相同:DO 为 $2.0 \sim 4.0 \text{ mg}/\text{L}$,MLSS 为 $3\,500 \sim 4\,500 \text{ mg}/\text{L}$,充水比为 $0.2 \sim 0.28$,污泥龄为 $18 \sim 24 \text{ d}$,水温为 $8 \sim 16 \text{ }^\circ\text{C}$ 。在污水厂投入使用后并未根据实际的水质情况对工艺进行优化调整,基本按原设计参数进行控制,但由于水量、水质与设计值相差较大以及风机的调节能力有限等原因,曝气阶段的 DO 值一直较高。

3.2 各模式的除污效果分析

3.2.1 对 COD 的去除效果

调控期间 A 模式进水 COD 为 $154 \sim 493 \text{ mg}/\text{L}$ (平均为 $284 \text{ mg}/\text{L}$),出水 COD 为 $20.3 \sim 41.7 \text{ mg}/\text{L}$ (平均为 $36.5 \text{ mg}/\text{L}$),去除率为 $83.1\% \sim 92.0\%$ (平均为 87.5%);B 模式的进水 COD 为 $160 \sim 527 \text{ mg}/\text{L}$ (平均为 $301 \text{ mg}/\text{L}$),出水 COD 为 $22.2 \sim 35.8 \text{ mg}/\text{L}$ (平均为 $31.9 \text{ mg}/\text{L}$),去除率为 $84.8\% \sim 94.8\%$ (平均为 89.4%);C 模式的进水 COD 为 $260 \sim 465 \text{ mg}/\text{L}$ (平均为 $349 \text{ mg}/\text{L}$),出水 COD 为 $17.9 \sim 36.7 \text{ mg}/\text{L}$ (平均为 $27.4 \text{ mg}/\text{L}$),去除率为 $88.2\% \sim 95.8\%$ (平均为 92.1%)。

由此可见,三种运行模式下的出水 COD 浓度均能稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。其中 C 模式的去除效果优于 A、B 模式,这是因为 C 模式的曝气时间长于 A、B 模式,延长曝气时间有利于有机物的进一步降解。B 模式与 A 模式的曝气时间同为 2 h,但 B 模式采用了限制性曝气,更趋于推流式反应,反应过程中的 F/M 梯度大,有利于去除难降解有机物,因而获得了更好的 COD 去除效果。

3.2.2 对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除效果

三种运行模式下对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除效果如图 3 所示。A 模式进水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 $16.2 \sim 28.2 \text{ mg}/\text{L}$,平均为 $20.2 \text{ mg}/\text{L}$;B 模式的进水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 $17.3 \sim 28.1 \text{ mg}/\text{L}$,平均为 $22.2 \text{ mg}/\text{L}$;C 模式进水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 $16.9 \sim 28.9 \text{ mg}/\text{L}$,平均为 $22.7 \text{ mg}/\text{L}$ 。由图 3 可

知,三种模式的出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度相差较大,A 模式的出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 7.7 ~ 13.7 mg/L,平均为 9.4 mg/L,在监测周期内仅有 3 次达标;B 模式的出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 5.2 ~ 11.4 mg/L,平均为 8.3 mg/L,在监测周期内有 5 次不达标;C 模式的出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 3.9 ~ 6.9 mg/L,平均为 5.4 mg/L,出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度全部达标。从去除率上看,A 模式对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率为 48.4% ~ 59.0%,平均为 53.8%;B 模式对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率为 57.8% ~ 69.9%,平均为 62.7%;C 模式对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率为 69.6% ~ 79.4%,平均为 76.2%。

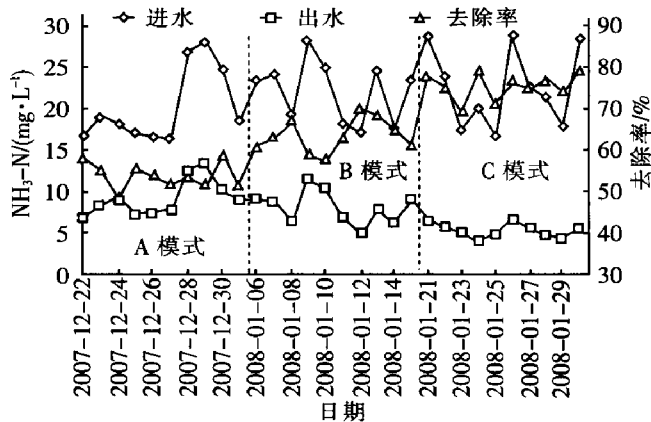


图 3 三种运行模式下对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除效果

Fig. 3 $\text{NH}_3 - \text{N}$ removal efficiency in three operation modes

由此可见,在三种运行模式下对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除效果有较大的差别。在冬季低温条件下,硝化菌的增殖速度减缓,活性变差,从而导致硝化能力减弱,对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率降低。C 模式通过延长循环周期和曝气时间使其对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除效果明显优于 A、B 模式。A 模式与 B 模式的曝气时间同为 2 h,但 B 模式采用了限制性曝气方式,变相地延长了好氧反应时间,所以其硝化效果优于 A 模式。

3.2.3 对 TN 的去除效果

三种运行模式下对 TN 的去除效果如图 4 所示。调控期间,A 模式的进水 TN 为 28.6 ~ 62.4 mg/L,平均为 42.1 mg/L;B 模式的进水 TN 为 32.0 ~ 63.9 mg/L,平均为 44.2 mg/L;C 模式的进水 TN 为 24.0 ~ 55.8 mg/L,平均为 46.9 mg/L。由图 4 可知,三种模式出水 TN 浓度相差较大,A 模式的出水 TN 为 17.8 ~ 28.6 mg/L,平均为 22.4 mg/L;B 模式的出水 TN 为 15.6 ~ 26.4 mg/L,平均为 20.5 mg/L;C 模式的出水 TN 为 14.2 ~ 18.6 mg/L,平均为 16.8 mg/L,除 C 模式外,其余模式均有超标现象出现。

从去除率上看,A 模式对 TN 的去除率为 37.8% ~ 54.2%,平均为 46.7%;B 模式对 TN 的去除率范围为 45.1% ~ 58.7%,平均为 53.5%;C 模式对 TN 的去除率为 54.0% ~ 69.2%,平均为 64.2%。

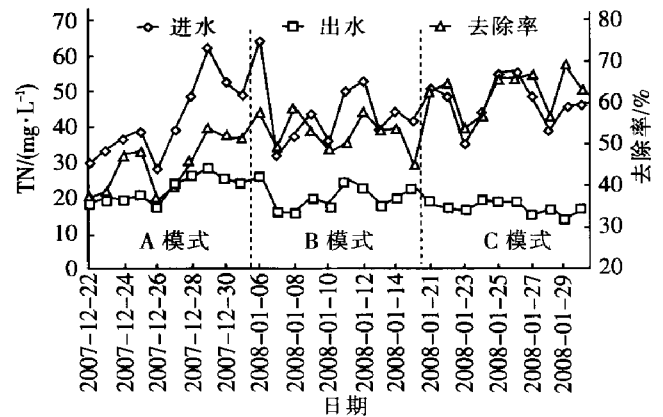


图 4 三种运行模式下对 TN 的去除效果

Fig. 4 TN removal efficiency in three operation modes

三种运行模式下对总氮的去除效果有较大差别,其中 B、C 模式的去除效果明显优于 A 模式,分析原因主要在于:①较之 A 模式,B、C 模式的非曝气时间更长,在非曝气阶段反硝化菌可以充分利用污水中的可生化降解物质和微生物体内贮存的糖原、PHB 等进行反硝化^[4-6]。②较之 A 模式,B、C 模式在一个反应周期内的回流时间更长,从而拥有更高的回流量。A 模式在进水、曝气的同时进行混合液回流,回流时间为 2 h,回流量占总进水量的 20% 左右,而 B、C 模式的回流时间为 4 h,回流量相当于 A 模式的 2 倍,较高的回流量意味着在生物选择区内参与反硝化的硝态氮总量增加,从而使系统的脱氮能力得以提高。C 模式的脱氮效果优于 B 模式,这是由于 C 模式的好氧反应时间更长,可以获得更好的硝化效果,为反硝化提供了充足的底物。

综上所述,C 模式的除污效果最好,出水水质能稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准。因此,从以稳定达标排放为中心,兼顾操作简便和运行经济的原则出发,万盛污水处理厂在低温、进水污染物浓度较高的条件下宜按 C 模式运行。

4 结论

为解决万盛污水处理厂在低温下运行时脱氮效果差的问题,在曝气阶段的 DO 为 2.0 ~ 4.0 mg/L、MLSS 为 3 500 ~ 4 500 mg/L、充水比为 0.2 ~ 0.28、水温为 8 ~ 16 °C 的条件下,进行了三种运行模式的

调控研究。结果表明,采用C模式即进水2 h—曝气2.5 h(进水1.5 h后开始曝气)—沉淀1 h—滗水/待机1 h,可实现出水水质稳定达标排放,系统对COD、NH₃-N、TN的平均去除率分别为92.1%、76.2%和64.2%。因此,确定C模式为万盛污水厂在低温运行期间的优选运行模式。

参考文献:

- [1] 王德河,房安富,何远光. CAST工艺处理市政污水的设计与运行[J]. 中国给水排水,2008,24(24):45-47.
- [2] 王文光,李亚峰,贾新军. 低水温条件下CAST工艺在城市污水处理厂的应用[J]. 工业安全与环保,2008,34(1):1-3.
- [3] 孙剑辉,闫怡新,徐文刚. 循环式活性污泥法(CAST)

的设计要点[J]. 中国给水排水,2003,19(1):89-91.

- [4] 胡坚,潘绵立,严敏,等. CAST工艺处理城市污水的强化脱氮研究[J]. 中国给水排水,2006,22(15):58-61.
- [5] 王然,黄继国,黄国鑫,等. CAST工艺的低温活性污泥培养与调试运行[J]. 中国给水排水,2007,23(18):89-91.
- [6] 侯红娟,王洪洋,周琪. 低碳高氮磷城市污水脱氮工艺研究[J]. 水处理技术,2006,32(11):33-36.

作者简介:吴磊(1981-),男,河南开封人,博士研究生,研究方向为水污染控制。

电话:13983179052

E-mail:conquer2006@126.com

收稿日期:2010-01-24

(上接第37页)

- [2] 刘爱萍,李开明,陈中颖,等. 好氧颗粒污泥膜生物反应器的研究进展[J]. 环境工程,2008,26(S1):160-162.
- [3] 张栋华,岳钦艳,王曙光,等. 序批式反应器的好氧颗粒污泥特性研究[J]. 中国给水排水,2006,22(1):80-83.
- [4] De Bruin L M M, De Kreuk M K, van der Roest H F R, et al. Aerobic granular sludge technology: an alternative to activated sludge? [J]. Water Sci Technol, 2004, 49(11-12):1-9.
- [5] 郝晓地,陈新华,戴吉,等. 极具工程化潜力的好氧颗粒污泥技术[J]. 中国给水排水,2006,22(8):1-7.
- [6] 李志华,闫静,王晓昌. 饥饿期间增加曝气量好氧颗粒污泥的形成特点[J]. 环境科学与技术,2009,32(5):1-4.
- [7] Kishida Naohiro, Kim Juhyun, Tsuneda Satoshi, et al. Anaerobic/oxic/anoxic granular sludge process as an effective nutrient removal process utilizing denitrifying polyphosphate-accumulating organisms[J]. Water Res, 2006, 40(12):2303-2310.
- [8] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第4

版)[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002.

- [9] Jenkins D, Richard M G, Daigger G T. Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming and Other Solids Separation Problems [M]. London: CRC Press, 2003.
- [10] 许保玖,龙腾锐. 当代给水与废水处理原理(第2版)[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [11] Ni Bing-Jie, Fang Fang, Xie Wen-Ming, et al. Growth, maintenance and product formation of autotrophs in activated sludge: Taking the nitrite-oxidizing bacteria as an example[J]. Water Res, 2008, 42(16):4261-4270.
- [12] Shi Xian-Yang, Yu Han-Qing, Sun Yu-Jiao. Characteristics of aerobic granules rich in autotrophic ammonium-oxidizing bacteria in a sequencing batch reactor [J]. Chem Eng J, 2009, 147(2-3):102-109.

作者简介:李志华(1976-),男,湖南郴州人,博士,副教授,从事水污染控制研究。

电话:15902942346

E-mail:lizhuhua@gmail.com

收稿日期:2010-01-03