

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.17.015

生物活性炭循环床/气浮组合工艺处理高氨氮原水

郭春辉¹, 邱立平², 王广伟³, 翟学东⁴

(1. 中建水务环保有限公司, 北京 100037; 2. 济南大学 土木建筑学院, 山东 济南 250022;
3. 中国光大水务有限公司, 广东 深圳 518000; 4. 哈尔滨工业大学 环境学院, 黑龙江
哈尔滨 150090)

摘要: 为探讨季节性高氨氮原水中污染物去除新工艺,以淮河中段水源水为研究对象,建立中试反应器,研究生物活性炭循环床/气浮组合工艺对原水中有有机物和氨氮等污染物的去除效果。结果表明,该组合工艺对季节性高氨氮原水中的污染物有很好的去除效果,出水浊度低于0.5 NTU、 UV_{410} 低于 0.003 cm^{-1} 、高锰酸盐指数低于 2 mg/L 、 UV_{254} 低于 0.047 cm^{-1} 、氨氮在 0.10 mg/L 左右,且对亚硝态氮和嗅味有很好的去除效果,所检测的各项指标均低于同期常规处理出水指标。同时发现,该工艺对温度有较强的适应能力,具有很好的抗冲击负荷能力。

关键词: 生物活性炭循环床; 气浮; 高氨氮; 淮河原水

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)17-0085-05

Treatment of High Ammonia Nitrogen Raw Water by Biological Activated Carbon Circulating Fluidized Bed and Air Flotation Process

GUO Chun-hui¹, QIU Li-ping², WANG Guang-wei³, ZHAI Xue-dong⁴

(1. China Construction Water & Environment Co. Ltd., Beijing 100037, China; 2. School of Civil Engineering and Architecture, University of Jinan, Jinan 250022, China; 3. China Everbright Water Limited, Shenzhen 518000, China; 4. School of Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: In order to explore a new technology for the treatment of seasonal high ammonia nitrogen raw water, a pilot-scale reactor was constructed to treat source water from middle section of Huaihe River, and the removal efficiencies of pollutants (such as organics, ammonia nitrogen, etc) by biological activated carbon circulating fluidized bed and air flotation process were investigated. The combined process had a good performance on the removal of pollutants in the seasonal high ammonia nitrogen raw water. Turbidity, UV_{410} , permanganate index, and UV_{254} in the effluent were lower than 0.5 NTU, 0.003 cm^{-1} , 2 mg/L and 0.047 cm^{-1} , respectively, and effluent ammonia nitrogen was about 0.10 mg/L . Nitrite nitrogen and odor were also removed effectively by this process. All the indexes detected in the effluent of this process were lower than those of conventional treatment process at the same time. In addition, this process had a strong adaptability to temperature and had a good shock load resistance.

Key words: biological activated carbon circulating fluidized bed; air flotation; high ammonia

nitrogen; Huaihe River raw water

随着淮河流域地区经济的发展和居民生活水平的提高,淮河水体的污染日趋严重,淮河污染问题对沿岸广大地区的经济和城镇供水安全造成了严重威胁。由于淮河水量波动和上游污染团下泄的影响,淮河污染呈现出季节性、周期性和突发性的特征。近年来淮河水污染周期时间也越来越长,已由数天增加至连续数月,淮河污染的主要指标为氨氮和高锰酸盐指数(COD_{Mn})。实践表明,当原水中氨氮浓度超过 2 mg/L 时,水中溶解氧将成为硝化反应的限制因素。溶解氧不足会导致氨氮转化不完全、亚硝酸盐积累等问题^[1]。净水厂常规处理工艺对氨氮的去除率较低。在管网中,当氨氮浓度为 0.25 mg/L 时就足以使硝化细菌生长繁殖,导致饮用水的生物不稳定性;氨氮硝化不完全会产生大量亚硝态氮,对人体健康产生严重危害;采用折点加氯消毒时,水中氨氮浓度大,将增大加氯量,增加费用,同时会产生消毒副产物。

1 实验材料与方法

实验在淮河中段某水厂进行。该水厂以淮河水为水源,采用混凝/沉淀/过滤/消毒工艺。实践表明,水厂常规工艺对有机物的去除率仅为 $20\% \sim 30\%$,对氨氮的去除也很难保证。尤其在枯水期、藻类暴发期和上游开闸排污时,原水污染问题尤为严重,淮河沿岸采用类似传统工艺的水厂出水水质很难得到保证。针对淮河水质的季节性和周期性波动特征,中试采用生物活性炭循环床/气浮组合工艺(见图1)。

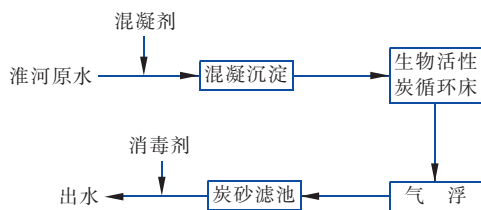


图1 中试工艺流程

Fig.1 Flow chart of pilot-scale process

沉淀后增加的生物活性炭循环床,既保证了活性炭免受泥沙堵塞,又保证了生物作用^[2];气浮不但对生物循环床工艺流失的活性炭粉末、微小颗粒和藻类等有很好的去除效果,而且还能为后续炭砂滤池供氧,可以进一步强化滤池的作用;炭砂滤池可

以保证出水浊度,而且增加了系统对水质波动的抵抗力。

1.1 实验装置及参数

中试规模为 $8\text{ m}^3/\text{h}$ 。混凝沉淀装置主要参数:絮凝阶段采用网格反应池,停留时间为 21 min ;沉淀阶段采用侧向流斜板沉淀池,有效沉淀时间为 30 min ;混凝剂(聚合氯化铝,PAC)投加量为 3.5 mg/L (以Al计)。生物活性炭循环床装置主要参数:反应池宽为 1 m ,有效水深为 2.6 m ,长为 2 m ,有效体积为 5 m^3 ;沉淀池宽为 1 m ,有效水深为 2.25 m ,长为 2.1 m ,有效体积约为 3.7 m^3 ;底部设有活性炭回流管;气水比为 $1:1$ 。气浮装置主要参数:回流比取 10% ,接触室上升流速为 20 mm/s ,气浮分离速度为 2 mm/s ,接触室气水接触时间为 120 s ,分离区停留时间为 20 min ,气浮池总停留时间为 22 min 。炭砂滤池装置主要参数:底部有 200 mm 的砾石承托层, 500 mm 厚的石英砂滤料, 800 mm 厚的颗粒活性炭滤料,滤速为 7.5 m/h ;反冲洗采用先气冲后水冲的方式,气冲强度为 $8 \sim 12\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,水冲强度为 $12\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

实验装置从8月24日开始启动,运行到次年4月15日,冬季水温较低($5\text{ }^\circ\text{C}$ 左右)。运行初期出水水质波动较大,大约 10 d 后对氨氮和高锰酸盐指数的去除率均达到 50% 以上,认为工艺运行稳定。1月28日—2月15日,中试系统停机未运行,2月16日恢复运行。

1.2 原水水质

实验所用水样为淮河原水,原水水质:pH值为 $7.1 \sim 7.5$,水温为 $4 \sim 26\text{ }^\circ\text{C}$,浊度为 $2.7 \sim 45\text{ NTU}$, UV_{410} 为 $0.024 \sim 0.07\text{ cm}^{-1}$, UV_{254} 为 $0.069 \sim 0.125\text{ cm}^{-1}$, COD_{Mn} 为 $3.45 \sim 6.68\text{ mg/L}$,氨氮为 $0.48 \sim 2.32\text{ mg/L}$,亚硝态氮为 $0.14 \sim 1.20\text{ mg/L}$ 。

1.3 分析项目及方法

浊度采用浊度仪测定;氨氮采用纳氏试剂分光光度法测定;pH值采用pHS-2型酸度计测定;嗅阈值采用2000年美国水质检测方法进行测定,即用无嗅味水稀释原水样至刚能闻到嗅味的比例;高锰酸盐指数、亚硝态氮、 UV_{410} 和 UV_{254} 等采用《生活饮用水卫生标准检验方法》(GB/T 5750—2006)中的相关方法进行测定。

2 结果与讨论

2.1 对浊度的去除效果

各处理单元对浊度的去除效果见图2。可知,尽管进水浊度波动很大,但出水浊度基本在0.5 NTU以下,表明该工艺对浊度具有较好的去除效果。生物活性炭循环床出水浊度可能会有所升高,这一方面可能是由于曝气作用使部分活性炭破碎,另一方面可能是由于活性炭回流泵的作用。但通过后续气浮和炭砂滤池,浊度可以得到有效去除。气浮不但可以去除部分循环床流失的活性炭粉末,同时可为后续滤池的生物作用提供充足的溶解氧。

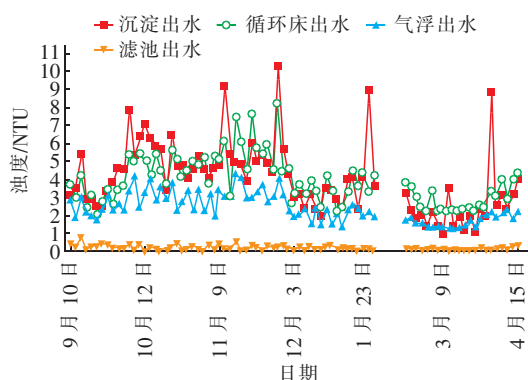


图2 各处理单元对浊度的去除效果

Fig. 2 Removal efficiency of turbidity in each treatment unit

2.2 对 UV_{410} 的去除效果

UV_{410} 主要反映水中具有较大共轭体系的有机物,如大分子腐殖酸等,它们是地表水中主要的成色物质,因此 UV_{410} 与色度具有良好的相关性^[3]。图3为常规工艺和组合工艺出水 UV_{410} 的变化。

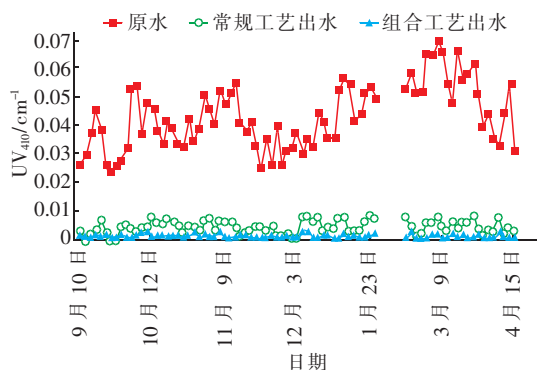


图3 常规工艺和组合工艺出水 UV_{410} 的变化

Fig. 3 Change of UV_{410} in the effluent of conventional and combined treatment process

从图3可知,生物活性炭循环床/气浮组合工艺

对 UV_{410} 具有较好的去除效果,出水 UV_{410} 很低,而常规处理工艺出水 UV_{410} 约为 0.005 cm^{-1} 。这可能是由于循环床中流化状态的生物活性炭可以快速有效地吸附降解水中某些致色有机物;藻类和部分致色胶体物与气浮中的微细气泡相结合,形成浮渣与水体分离;滤池中的生物活性炭具有吸附降解部分致色有机物的作用,从而强化了对色度的去除效果。

2.3 对高锰酸盐指数的去除效果

实验期间,淮河水的高锰酸盐指数平均为 4.71 mg/L ,有机物的平均含量并不算很高,但淮河水水质受上游污水排放影响较大,高锰酸盐指数变化较大,在 $3.45 \sim 6.68 \text{ mg/L}$ 之间。图4为各处理单元对高锰酸盐指数的去除效果。

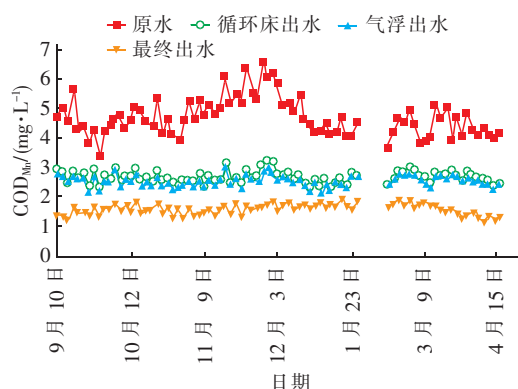


图4 各处理单元对高锰酸盐指数的去除效果

Fig. 4 Removal efficiency of permanganate index in each treatment unit

从图4可知,系统出水中高锰酸盐指数大大降低,出水平均值为 1.61 mg/L 。生物活性炭循环床对高锰酸盐指数的平均去除率为 38.58% ,气浮对高锰酸盐指数的平均去除率为 5.57% 。而同期常规处理工艺出水的高锰酸盐指数为 $2.32 \sim 4.26 \text{ mg/L}$,对高锰酸盐指数的去除主要依靠混凝沉淀作用。组合工艺的生物活性炭循环床反应池内生物活性炭高效的吸附-生物耦合作用提高了降解有机物的能力;气浮中的微细气泡与流失的活性炭粉末和部分悬浮物结合形成浮渣;此外,由于循环床曝气和气浮增加了溶解氧浓度,有利于强化后续炭砂滤池对有机物的降解能力。可见,生物活性炭循环床/气浮组合工艺大大提高了对高锰酸盐指数的去除率。

实验过程中还发现,当气浮出水浊度稍大时,滤池对高锰酸盐指数的去除率有所下降,但出水高锰酸盐指数仍然低于 2 mg/L 。分析原因认为,进水浊

度稍大时,导致上部滤层发生了积泥现象,而异养菌主要生长在滤层上部,截留的颗粒物限制了有机物和氧气的传递,势必会影响对高锰酸盐指数的去除。

2.4 对 UV_{254} 的去除效果

图5为各处理单元对 UV_{254} 的去除效果。可以看出,经生物活性炭循环床/气浮组合工艺处理以后, UV_{254} 从 $0.069 \sim 0.125 \text{ cm}^{-1}$ 降至 $0.024 \sim 0.047 \text{ cm}^{-1}$, 平均去除率为 62.38%, 可见组合工艺对 UV_{254} 有很好的去除效果。分析原因,组合工艺中生物活性炭循环床反应池内生物活性炭可以不断再生,保持了活性炭对 UV_{254} 的高效吸附;强化循环床和滤池中的生物吸附作用对 UV_{254} 也有一定的去除效果;大量研究表明^[4-5],气浮工艺对 UV_{254} 也具有一定的去除效能。本实验结果说明,生物活性炭循环床/气浮组合工艺可以有效控制芳香族化合物和含双键有机物的浓度。

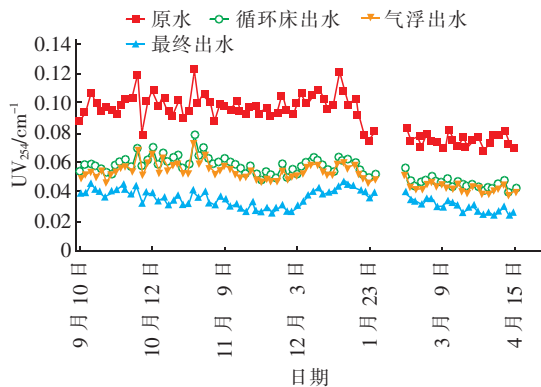


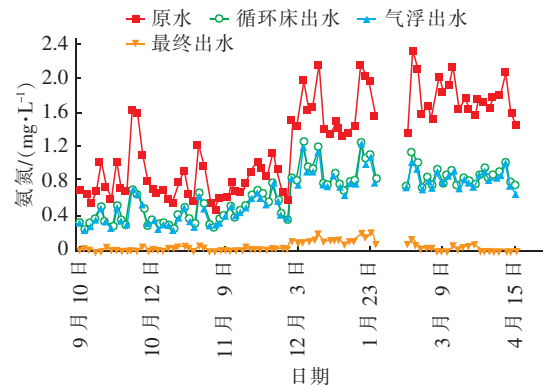
图5 各处理单元对 UV_{254} 的去除效果

Fig. 5 Removal efficiency of UV_{254} in each treatment unit

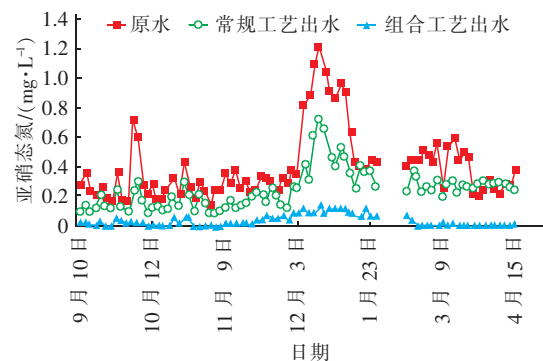
2.5 对氨氮和亚硝态氮的去除效果

图6为各处理单元对氨氮的去除效果和不同工艺对亚硝态氮的去除效果。可以看出,淮河原水中氨氮和亚硝态氮的浓度波动大,分别在 $0.48 \sim 2.32 \text{ mg/L}$ 和 $0.14 \sim 1.20 \text{ mg/L}$ 之间。常规处理工艺对氨氮和亚硝态氮的去除作用有限。当组合工艺稳定运行后,出水氨氮在 0.10 mg/L 左右,亚硝态氮在 0.004 mg/L 左右,水温较高时,出水氨氮和亚硝态氮可以降低到检测限以下。因为该中试系统中硝化菌和亚硝化菌所需的溶解氧得到充分满足,硝化菌和亚硝化菌的生物量较大,生物活性较强;亚硝态氮不稳定,氧气的氧化作用可以去除部分亚硝态氮;生物活性炭循环床的生物作用增强了组合工艺的抗负荷冲击能力,可以有效保障原水氨氮和亚硝态氮浓

度较高时出水水质的安全。



a. 对氨氮的去除效果



b. 对亚硝态氮的去除效果

图6 各处理单元对氨氮的去除效果和不同工艺对亚硝态氮的去除效果

Fig. 6 Removal efficiency of ammonia nitrogen in each treatment unit and removal efficiency of nitrite nitrogen by different treatment process

工艺运行稳定之后,出水高锰酸盐指数和氨氮均满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。在冬季水温较低时,该工艺整体对高锰酸盐指数的去除率仍能达到 60%,对氨氮的去除率在 80% 以上。分析原因,原水通过循环床和气浮的曝气作用使水温得到一定程度的升高,为循环床和滤池内微生物的生长提供了有利条件;充足的溶解氧也为微生物生长提供了条件,增加低温下的生物量,弥补了生物活性降低对污染物去除效果的影响。因此低温时,生物活性炭循环床/气浮组合工艺对有机物和氨氮等污染物指标仍具有较好的去除效果,但长时间低温对工艺的净化能力存在一定程度的影响。

2.6 对嗅味的去除效果

由于上游下泄污染团和藻类暴发等原因,淮河水质的突发污染现象越来越严重。在原水受上游污染团污染时,生物活性炭循环床/气浮组合工艺出水

浊度、色度、高锰酸盐指数和氨氮等均低于饮用水水质标准限值。1月下旬,淮河藻类污染突发,河水有很严重的臭味,常规处理工艺和组合工艺对臭味的去除效果见图7。可知,常规处理工艺的出水臭味严重,而组合工艺对臭味有很好的去除效果。因此,生物活性炭循环床/气浮组合工艺具有良好的抗冲击负荷能力,可以有效保证出水水质的安全。

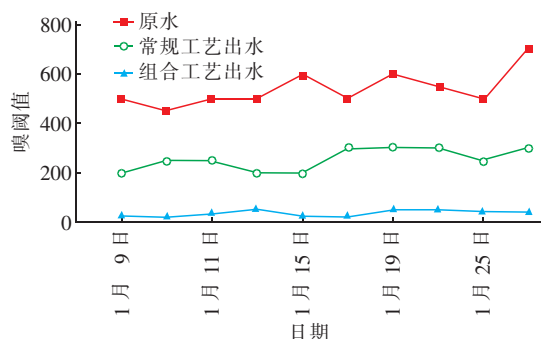


图7 常规工艺和组合工艺对臭味的去除效果

Fig.7 Removal efficiency of odor by conventional and combined treatment process

3 结论

① 生物活性炭循环床/气浮组合工艺对淮河原水的浊度、色度、高锰酸盐指数、 UV_{410} 、 UV_{254} 、氨氮和亚硝态氮等具有较好的去除效果,出水浊度低于0.5 NTU、 UV_{410} 低于 0.003 cm^{-1} 、高锰酸盐指数低于 2 mg/L 、 UV_{254} 低于 0.047 cm^{-1} 、氨氮在 0.10 mg/L 左右,且对亚硝态氮、色度和臭味有很好的去除效果,实验期间所检测的出水指标均满足国家《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求。

② 组合工艺启动简单、填料表面生物量大、生物活性强、占地面积小,并且停用一段时间后再次运行仍能在短时间内恢复高效性能。

③ 低温条件下,由于生物活性炭循环床/气浮组合工艺内溶解氧充足,强烈的曝气作用使水温有所升高,工艺仍具有较好的去除污染物能力,但长时间的低温对工艺的净化能力存在一定程度的影响。

④ 针对淮河水水质突发污染问题,如上游污染团下泄、藻类暴发等,生物活性炭循环床/气浮组合工艺表现出良好的抗冲击负荷能力。

参考文献:

[1] 杨威,田家宇,李圭白. 生物活性滤池饮用水除氨氮的

影响因素[J]. 化工学报,2008,59(9):2316-2321.

Yang Wei, Tian Jiayu, Li Guibai. Factors influencing ammonia removal of biological activated filter in drinking water treatment [J]. CIESC Journal, 2008, 59(9): 2316-2321 (in Chinese).

[2] 郭春辉,邱立平,翟学东,等. 生物活性炭循环床工艺处理微污染水源水[J]. 济南大学学报:自然科学版,2011,25(4):331-335.

Guo Chunhui, Qiu Liping, Zhai Xuedong, et al. Treatment of light-polluted raw water by biological activated carbon circulating fluidized bed (BACCFB) [J]. Journal of University of Jinan: Science and Technology, 2011, 25(4):331-335 (in Chinese).

[3] Andersen Dag O, Alberts J J, Takács M. Nature of natural organic matter (NOM) in acidified and limed surface waters[J]. Water Res, 2000, 34(1):266-278.

[4] 王占金,贾瑞宝,于衍真,等. 气浮/超滤组合工艺处理微污染高藻原水[J]. 中国给水排水,2010,26(11):133-135,138.

Wang Zhanjin, Jia Ruibao, Yu Yanzhen, et al. Treatment of algae-laden raw water by combined process of air flotation and UF[J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(11):133-135,138 (in Chinese).

[5] 王静超,马军,韩宏大. 探讨气浮工艺的若干技术参数[J]. 中国给水排水,2004,20(6):22-24.

Wang Jingchao, Ma Jun, Han Hongda. Discussion on some technical parameters of DAF process [J]. China Water & Wastewater, 2004, 20(6):22-24 (in Chinese).



作者简介:郭春辉(1987-),男,安徽蚌埠人,硕士,工程师,主要从事市政给排水工程项目的设计和咨询工作。

E-mail: guochunhui@cscec.com

收稿日期:2019-05-09