

淮安北京路净水厂 MIEX 树脂处理系统应用研究

沈兆欢¹ 刘文君¹ 梁 伟² 孙瑞林³

(1 清华大学环境学院, 北京 100084; 2 澳大利亚澳瑞凯水处理中国区, 北京 100053;
3 淮安自来水有限公司, 淮安 223002)

摘要 淮安北京路净水厂采用高锰酸钾预氧化、MIEX 树脂处理、混凝沉淀组合工艺制水, 对不同单元出水进行检测的结果表明, 组合工艺对浊度去除率为 95.4%, 但 MIEX 树脂系统本身不能去除浊度; 组合工艺能够有效地去除水中 UV_{254} 、DOC、 COD_{Mn} , MIEX 树脂系统对进水中 UV_{254} 、DOC、 COD_{Mn} 的去除率分别为 50.9%、35.1%、19.8%; 组合工艺对 THMFP、HAAFP 总体去除率分别为 44.2%、65.6%, 主要通过 MIEX 树脂去除; 水中 Cl^- 经过 MIEX 树脂处理后有较大程度增加, SO_4^{2-} 可得到部分去除, NO_3^- 含量几乎不变; 净水厂 MIEX 树脂运行成本实际约为 0.199 元/ m^3 。

关键词 饮用水处理 磁性离子交换(MIEX)树脂 有机物 消毒副产物 无机阴离子 经济成本
DOI:10.13789/j.cnki.wwe1964.2014.0085

Study on the application of magnetic ion exchange resin system in Beijing Road Water Treatment Plant, Huaian City

Shen Zhaohuan¹, Liu Wenjun¹, Liang Wei², Sun Ruilin³

(1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. China Branch of Orica Limited-Austrade, Beijing 100053, China; 3. Huaian Water Group Co., Ltd., Huaian 223002, China)

Abstract: The combined process of potassium permanganate pre-oxidation, magnetic ion exchange resin (MIEX), and coagulation-sedimentation was employed in the Beijing Road Water Treatment Plant, Huaian City. The test results of effluents from different processes showed that the removal rate of turbidity by the whole combined process was 95.4%, while the MIEX treatment system could not remove turbidity by itself. The combined process was effective in removing UV_{254} , DOC and COD_{Mn} . The removal rates of UV_{254} , DOC and COD_{Mn} by MIEX were 50.9%, 35.1%, and 19.8% respectively. The removal rates of THMFP and HAAFP by the combined process were 44.2% and 65.6% respectively, and THMFP and HAAFP were mainly removed by MIEX. After the process of MIEX, the concentration of Cl^- in effluent increased a lot, the SO_4^{2-} decreased, and the concentration of NO_3^- changed little. The cost of MIEX in the purification plant was 0.199 YUAN/ m^3 .

Keywords: Drinking water treatment; MIEX resin; Organics; Disinfection by-products; Inorganic anions; Economy cost

1 工程概况

淮安北京路净水厂建成于 20 世纪 70 年代, 原采用常规水处理工艺, 因出厂水水质不能达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 要求, 对旧工艺进行升级改造, 2011 年引进磁性离子交换

(MIEX) 树脂技术作为预处理工艺。MIEX 树脂由澳大利亚开发, 研究表明其能够有效地去除水中有机物, 减少消毒副产物生成, 占地面积较小, 应用灵活^[1~3]。

淮安北京路净水厂 MIEX 树脂系统总设计供

水能力 $9 \text{ 万 m}^3/\text{d}$, 反应器中流动树脂层的含量为 $10\% \sim 15\%$, 通水倍数设置为 800 BV , 反应时间约 10 min , 流动树脂层顶部设有斜管沉淀装置, 用以提高树脂的沉降速度。后续混凝沉淀中混凝剂聚氯化铝(PAC)投加量平均约为 24 mg/L 。MIEX 系统工程于 2012 年 6 月正式投用, 水厂工艺流程见图 1。

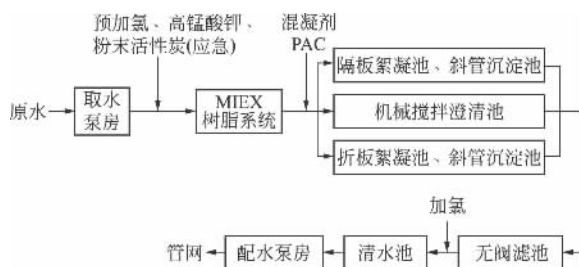


图 1 淮安北京路水厂工艺流程

2 材料与方法

2.1 原水水质

淮安市北京路水厂水源水原主要取自洪泽湖, 2013 年 5 月因南水北调, 水厂水源水调整为洪泽湖水与长江原水二者的混合水。水质情况见表 1。

表 1 淮安市北京路水厂原水水质指标

水质指标	数值	水质指标	数值
温度/ $^{\circ}\text{C}$	27.4	DOC/ mg/L	2.413
pH	7.87	$\text{Cl}^-/\text{mg/L}$	29.88
浊度/NTU	56.6	$\text{NO}_3^-/\text{mg/L}$	1.51
$\text{UV}_{254}/\text{cm}^{-1}$	0.054	$\text{SO}_4^{2-}/\text{mg/L}$	22.95

2.2 试验方法

北京路水厂在以混合水作为水源水期间, 原水经过高锰酸钾预氧化处理后进入 MIEX 树脂处理系统, 后续进行混凝沉淀常规处理, 取高锰酸钾预处理+MIEX 树脂+混凝沉淀工艺的各单元出水, 测定其对不同有机物指标的去除效果, 以及水中无机阴离子含量变化, 培养测定其消毒副产物生成势, 观察不同单元对消毒副产物前体物去除能力。

2.3 检测仪器及方法

浊度采用 HACH 2100P 浊度仪测定, UV_{254} 利用 TU-1901 型双光束紫外可见分光光度计进行测定, DOC 通过 O·I·Analytical Aurora 1030 型总有机碳分析仪测定, COD_{Mn} 的测定采用酸性高锰酸钾法。 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 含量通过 ICS 3000 型离子色谱仪进行测定, 色谱柱为 IonPac AS19 分析柱。

消毒副产物生成势的测定采用 UFC 法, 在 $\text{pH}=8.0 \pm 0.2$, 温度为 $(20 \pm 1.0)^{\circ}\text{C}$, 培养 24 h 后余氯浓度为 $(1.0 \pm 0.4) \text{ mg/L}$ 的情况下, 测定水中的消毒副产物的量^[4]。

3 结果与分析

3.1 对浊度去除效果

组合工艺不同单元出水浊度变化情况见图 2。原水浊度较高, 投加高锰酸钾进行预氧化处理, 出水进入 MIEX 处理系统。由图 2 可见, MIEX 进水浊度相对原水有较大幅度降低, 因为北京路水厂取水泵房与 MIEX 预处理系统间有较长管路, 水中部分悬浮物自由沉降。由于少量 MIEX 树脂失去磁性后会随出水流出, MIEX 出水浊度略有上升, MIEX 树脂本身不能去除浊度。后续混凝沉淀处理出水浊度为 2.6 NTU , 组合工艺对浊度总体去除率为 95.4% , 能够有效地控制浊度。

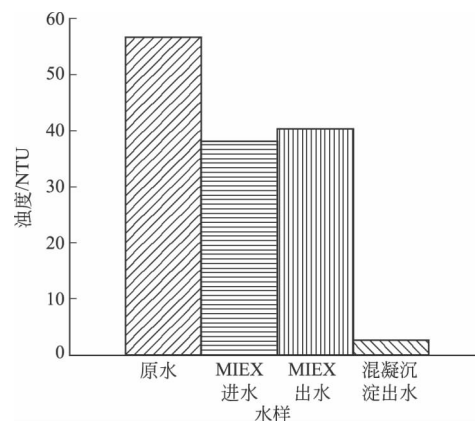


图 2 不同工艺单元对浊度的去除效果

3.2 对有机物去除效果

分别采用 UV_{254} 、DOC、 COD_{Mn} 三个指标对水中有机物进行表征, 以研究北京路水厂组合工艺对有机物去除效果, 不同工艺单元对各有机物指标去除效果如图 3 所示。高锰酸钾预氧化、MIEX 树脂与混凝沉淀的组合工艺对原水 UV_{254} 去除率为 53.7% , 对 DOC 去除率为 40.1% 。MIEX 树脂+混凝沉淀处理对 MIEX 树脂系统进水 COD_{Mn} 去除率为 58.0% 。组合工艺出水中 UV_{254} 、DOC、 COD_{Mn} 含量均较低, 引入 MIEX 树脂处理系统的组合工艺对于有机物的去除效果较好。

对 UV_{254} 、DOC 的去除主要通过 MIEX 树脂处

理完成,后续混凝沉淀对二者去除效果较差, COD_{Mn} 则主要通过混凝沉淀去除,MIEX 树脂对其去除较少。因为 COD_{Mn} 测量时水样不经 $0.45\ \mu m$ 微滤膜过滤, UV_{254} 、DOC 的测量则均需经 $0.45\ \mu m$ 微滤膜过滤,故 COD_{Mn} 所表征有机物中大分子有机物含量相对较高,混凝沉淀主要去除大分子有机物,MIEX 树脂对中低分子质量有机物去除效果最优^[5],故有图 3 所示处理结果。

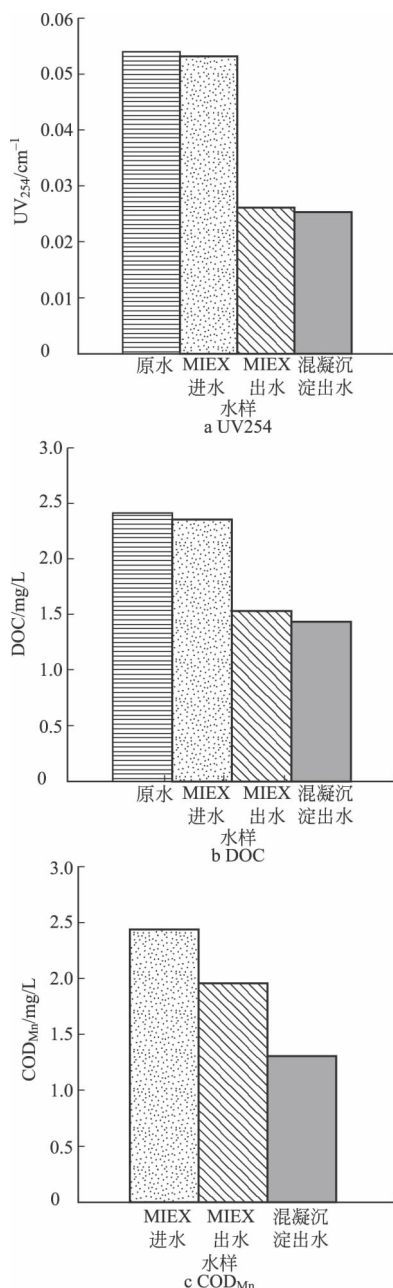


图 3 不同工艺单元对有机物的去除效果

图 4 所示为实际工程应用中 MIEX 树脂系统对不同有机物指标的去除率,结果表明 MIEX 树脂对有机物指标的去除效果 $UV_{254} > DOC > COD_{Mn}$,国内外实验室试验、中试结果均表明 MIEX 树脂对 UV_{254} 去除效果优于 DOC、 COD_{Mn} ^[5~7]。

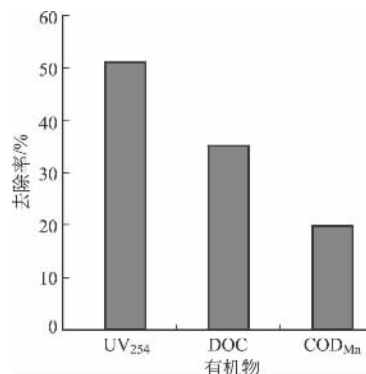


图 4 MIEX 树脂系统对有机物的去除效果比较

由于天然水体中 UV_{254} 表征的有机物主要为芳香族化合物,基本结构为苯环上引入醇羟基、酚羟基、羧基等多种官能团作为取代基团,这些基团易于在水中离解,使得有机物分子带负电,从而与树脂表面氯离子发生交换反应,而 DOC 表征的则是水中全部的溶解性有机碳,包含不能与树脂发生反应的有机物,故去除率低于 UV_{254} 。比紫外吸收值(SUVA)数值上等于 UV_{254} 与 DOC 的比值乘以 100,表示单位有机碳的紫外吸收值,可以反映水中有机物的芳香构造化程度^[8],由于 MIEX 树脂对 UV_{254} 去除效果明显优于 DOC,故随着水中所含有机物芳香度的增加,有机物去除率相应增加,这一点也得到其他试验结果验证^[7,9]。 COD_{Mn} 仅表征水中能够被高锰酸钾氧化的部分有机物,且试验过程水样不经 $0.45\ \mu m$ 微滤膜过滤,所表征有机物中大分子有机物含量相对较高,而大分子有机物难以扩散进入树脂内部,无法利用 MIEX 树脂孔径内的交换位点,故去除率最低。

3.3 对消毒副产物前体物去除效果

由图 5 可以看出,实际工程运行中组合工艺对原水中 THMFP(三卤甲烷生成势)、卤乙酸生成势(HAAFP)总体去除率分别为 44.2%、65.6%,能够有效地去除水中消毒副产物前体物,控制后续消毒反应中副产物的生成。MIEX 树脂处理单元对原水中 THMFP、HAAFP 的去除贡献最大,去除率分别为 34.4%、45.5%,后续混凝沉淀单元对消毒副产

物生成势的去除作用最小,因而常规处理工艺前端加入 MIEX 树脂处理系统对加强消毒副产物控制效果具有一定必要性。

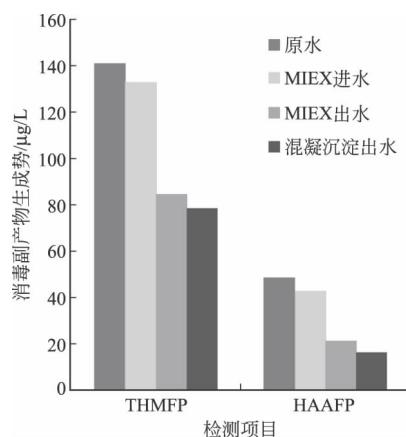


图5 不同工艺单元对消毒副产物生成势的去除效果

3.4 无机阴离子含量变化

图6所示为组合工艺不同单元进出水中无机离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 含量变化情况。原水中 Cl^- 在经过 MIEX 树脂处理系统后有较大程度增加, Cl^- 的增加主要来源于离子交换反应从 MIEX 树脂表面交换下来的氯离子。北京路水厂所用混凝剂为 PAC(聚氯化铝), 经混凝沉淀处理 Cl^- 含量有少量增加, 混凝沉淀出水中 Cl^- 含量 55.64 mg/L, 低于饮用水标准限值。MIEX 树脂系统能够通过离子交换去除水中部分 SO_4^{2-} , 但对于 NO_3^- 几乎无去除效果, 这是由于树脂提供的交换位数量一定, 水中负电物质进行竞争交换的过程中, SO_4^{2-} 因所带负电荷多于 NO_3^- , 优先与树脂表面 Cl^- 进行离子交换反应, 得到部分去除, 但由于水源水中有机物对交换位点的竞争, 故 SO_4^{2-} 在实际工程运行中去除率较低。

4 MIEX 树脂工程运行成本分析

MIEX 树脂工程实际处理规模为 9 万 m^3/d , 通水倍数 800 BV, 前期的设备及土建投资费用总计为 3 328 万元, 后期运行过程中运行成本主要包括树脂消耗成本、树脂再生工业用盐成本、电量消耗成本以及使用过程中的设备折旧成本, 运行成本分析如表2所示。其中, 树脂损耗率按 1 L 树脂/1 000 m^3 计, 电量消耗为 11 $\text{kW} \cdot \text{h}/1\,000\, \text{m}^3$, 电费单价按 0.67 元/($\text{kW} \cdot \text{h}$) 计算, 设备折旧按年 7% 计算。

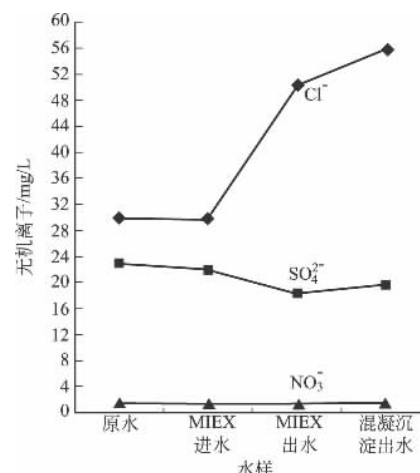


图6 不同处理单元水中无机离子含量变化

表2 MIEX 树脂系统运行成本分析

运行成本组成	数值
树脂消耗/元/ m^3	0.110
再生用盐消耗/元/ m^3	0.046
电量消耗/元/ m^3	0.007
设备折旧成本/元/ m^3	0.036
总计/元/ m^3	0.199

由表2可知, MIEX 树脂系统的运行成本约为 0.199 元/ m^3 , 由于 MIEX 树脂系统能够有效地去除水中有机物, 控制后续消毒副产物的生成, 实际应用中可减少 40% 左右混凝剂投加量, 混凝剂节省成本约为 0.013 元/ m^3 。

5 结论

淮安北京路净水厂的高锰酸钾预氧化、MIEX 树脂系统、混凝沉淀组合工艺运行结果表明, 组合工艺能够有效去除浊度, 去除率为 95.4%, MIEX 树脂系统本身不能去除浊度, 且树脂出水浊度略有上升; 对于不同的有机物指标, 组合工艺去除效果均较好, 其中 MIEX 树脂系统对进水中 UV_{254} 、DOC、 COD_{Mn} 的去除率分别为 50.9%、35.1%、19.8%, 去除效果 $\text{UV}_{254} > \text{DOC} > \text{COD}_{\text{Mn}}$; 组合工艺对 THMFP、HAAFP 总体去除率分别为 44.2%、65.6%, THMFP、HAAFP 主要通过 MIEX 树脂处理去除, 后续混凝沉淀对消毒副产物生成势的去除作用较小; Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 含量变化呈现不同趋势, Cl^- 含量在经过 MIEX 树脂处理后有较大程度增加, SO_4^{2-} 得到部分去除, 浓度下降, NO_3^- 因竞争优势较小, 含量几乎不变, 组合工艺出水中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 含量

城市立交排水工程设计改良与创新

黄宁俊 朱文涛 张斌令

(西安市政设计研究院有限公司, 西安 710068)

摘要 针对西安市太白路—丈八东路立交排水工程中存在的设计难点,包括现状管线处理及改迁、排水管道穿地裂缝处理、桥面雨水排除系统设计等,介绍了城市立交排水设计中的改良与创新做法,为今后的立交排水工程设计提供借鉴。

关键词 立交排水 管线改迁 地裂缝 桥面雨水排除

DOI:10.13789/j.cnki.wwe1964.2014.0086

0 引言

西安市太白路—丈八东路立交工程是西安市“十一五”期间的重点建设项目,是利用世界银行贷款实施的西安城市综合交通改善工程子项目之一。随着都市之门项目的完成以及高新区管委会的迁入,现状太白路—丈八东路交叉口以及该路口西侧约460 m的唐延路已成为一个重要的交通吸引源和发生源。设计立交形式为3层互通式立交,共设2条主线、5条匝道及4条地面右转辅道。立交南北向主线总长1 132.314 m,东西向主线总长1 849.149 m,总占地251.115 亩(1亩 $\approx$ 667 m²),工程费用3.64亿元。

1 现状管线处理方案

本次立交工程的难点之一,也是工程设计最基

础的一项工作就是现状管线的处理方案及改迁设计。工程范围内有雨水、污水、给水、热力、燃气、电力、通讯等,现状管线众多,错综复杂,有的同类管线在同一路段甚至有2~3条。为了掌握详实的地下管线资料,在查阅设计、竣工图资料,并具备工程管线勘察资料的基础上,排水工程设计人员进行了详细的现场实测。经详细调查及研究分析,得知现状管线均为20世纪90年代以后建设,均在使用年限范围内,并符合规划,目前运行良好。因此,本次道路桥梁方案设计时应尽量避让现状管线。对于道路、桥梁方案优化后仍然受工程影响较大的现状管线,排水专业作为管线先行设计专业,根据管线的不同情况统筹考虑管线处理方案,原则为:服务范围

均低于现行《生活饮用水卫生标准》限值;实际工程运用中MIEX树脂运行成本约为0.199元/m³。

参考文献

- 1 Kitis M, Harman B I, Yigit N O, et al. The removal of natural organic matter from selected Turkish source waters using magnetic ion exchange resin (MIEX). *Reactive & Functional Polymers*, 2007, 67:1495~1504
- 2 Wert E C, Edwards-Brandt J C, Singer P C, et al. Evaluating magnetic ion exchange resin (MIEX) pretreatment to increase ozone disinfection and reduce bromate formation. *Ozone: Sci. Eng.*, 2005, 27:371~379
- 3 Warton B, Heitz A, Zappia L R, et al. Magnetic ion exchange drinking water treatment in a large-scale facility. *AWWA*, 2007, 99(1):89~101
- 4 Summers R S, Hooper S M, Shukairy H M, et al. Assessing DBP yield: Uniform formation conditions. *AWWA*, 1996, 88(6): 67~88

- 5 刘文君,周刚. MIEX®树脂对水库水中有机物的去除特性. *清华大学学报*, 2013, 53(5): 654~659
- 6 韩志刚,陈卫,刘成,等. MIEX®处理某湖泊水源水中试研究. *给水排水*, 2009, 35(7): 21~24
- 7 Boyer T H, Singer P C. Bench-scale testing of a magnetic ion exchange resin for removal of disinfection by-product precursors. *Water Research*, 2005, 39(7):1265~1276
- 8 王占生,刘文君. 微污染源饮用水处理. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999
- 9 Singer P C, Bilyk K. Enhanced coagulation using a magnetic ion exchange resin. *Water Research*, 2002, 36(16):4009~4022

○ 电话:18810645472

E-mail:shenzhaozhuan226@126.com

收稿日期:2013-12-26

修回日期:2014-01-15