

MIEX[®] 处理某湖泊水源水中试研究

韩志刚¹ 陈卫¹ 刘成¹ 许航¹ 袁哲¹ 袁恒²

(1 河海大学环境科学与工程学院, 南京 210098; 2 北京天雨润泽科技有限公司, 北京 100053)

摘要 采用磁性离子交换树脂(MIEX[®])中试处理某湖泊水源水。结果表明,其对 COD_{Mn} 和 UV₂₅₄ 的去除率分别为 40.8%~54.2% 和 66.7%~87.8%, 通水倍数改变对有机物的去除效果影响不大;对 SO₄²⁻ 的去除率最高达 86.1%, 色度的去除率达 55.6%;MIEX[®] 与混凝沉淀工艺联用对浊度的去除率为 82.3%~95.5%, 可节省 36%~61% 的混凝剂投加量;MIEX[®] 粒子自身成分的释放不会对水质产生影响, 且有很宽的 pH 适应范围;MIEX[®] 技术处理成本估算为 0.243 6 元/m³。

关键词 饮用水处理 MIEX[®] 有机物 无机阴离子 经济成本

Pilot studies on the MIEX[®] for lake raw water treatment

Han Zhigang¹, Chen Wei¹, Liu Cheng¹, Xu Hang¹, Yuan Zhe¹, Yuan Heng²

(1. College of Environment Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Beijing Tianyurunze Technology Co., Ltd., Beijing 100053, China)

Abstract: Pilot studies of a magnetic ion exchange resin (MIEX[®]) for treating lake raw water was carried out. The results showed that MIEX[®] is very effective in removing organic and the removal rates of COD_{Mn} and UV₂₅₄ are 40.8%~54.2% and 66.7%~87.8% respectively. The removal rate did not decrease as bed volume increased. SO₄²⁻ and color removal rates are 86.1% and 55.6% respectively. The removal rate of turbidity by the combination of MIEX[®] and coagulation-sedimentation process is 82.3%~95.5% and 36%~61% PAC dosage can be saved. It was proved that MIEX[®] compositions have no threat to water quality and can be applied in a wide range of pH. The cost of MIEX[®] is only 0.243 6 YUAN/m³.

Keywords: Drinking water treatment; MIEX[®]; Organics; Inorganic anions; Economy cost

MIEX[®] (magnetic ion exchange resin) 是澳大利亚开发的一种水处理专利技术。MIEX[®] 是以聚丙烯为母体的季胺型离子交换树脂, Cl⁻ 为交换离子, 孔径是一般树脂的 1/5~1/2 (180 μm 左右), 因此有更大比表面积, 使得大部分污染物质不需依赖粒子内部孔道扩散在表面就可被除去; 该粒子的另一特点是其内部含铁氧化物而具有磁性, 磁性可加速 MIEX[®] 粒子的沉降分离, 提高处理效率。有研究^[1~4] 表明, MIEX[®] 对有机物、带负电的污染物质

具有显著去除效果, 是一种高效经济的饮用水处理技术。国内 MIEX[®] 技术的相关研究刚起步, 本研究针对江苏苏北某水源水的水质问题, 研究 MIEX[®] 对原水各指标的去除效能及 MIEX[®] 粒子成分的释放对出水水质的影响, 同时对其经济成本进行估算, 以期 MIEX[®] 在我国的应用提供技术支持和参考。

1 材料与方法

1.1 原水水质

本试验在江苏苏北某水厂进行, 以湖泊水为水源, 试验期间水源水水质情况见表 1。

1.2 主要分析方法

国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA06Z311); 国家科技支撑项目(2006BAB17B02)。

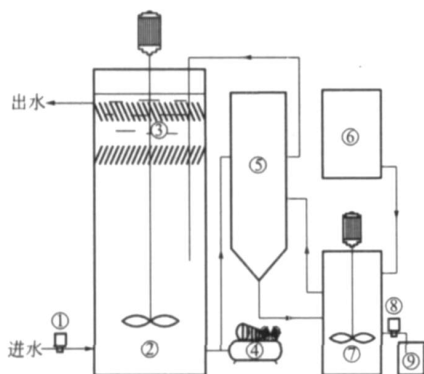
表 1 水源水水质情况

水质指标	数值	水质指标	数值
pH	8.0~8.2	色度/度	13~20
COD _{Mn} /mg/L	3.7~5.3	电导率/ $\mu\text{S}/\text{cm}$	410~600
UV ₂₅₄ / cm^{-1}	0.08~0.12	氯化物/mg/L	22~66
总铁/mg/L	0.7~1.6	SO ₄ ²⁻ /mg/L	51

pH:pH计;浊度:浊度仪;COD_{Mn}:高锰酸钾法;UV₂₅₄:紫外分光光度计(HACH);电导率:笔式电导率仪;总溶解固体 TDS:称量法;色度(真色):Pt-Co 比色法;总铁:邻菲罗啉分光光度法;氯化物和 SO₄²⁻:离子色谱仪法。

1.3 中试装置设计及运行参数

MIEX®系统由反应器(见图1中②和③)和再生系统(见图1中⑤、⑥和⑦)组成。



1 流量自控阀 2 搅拌反应区 3 沉淀分离区 4 气泵 5 树脂储罐 6 盐水罐 7 再生罐 8 电导率自控阀 9 废液罐

图1 MIEX®中试系统示意

如图1所示,搅拌反应区②中的MIEX®经搅拌使之与进水充分混合,与污染物接触发生离子交换反应,处理后的水上流到沉淀分离区③进行高效泥水分离。新鲜和再生后的MIEX®保存在树脂储存罐⑤中,再生系统与反应器通过⑤一直保持连通,1%~15%MIEX®由②抽进⑤的同时由⑤抽出同样数量MIEX®进②。当MIEX®系统处理水量达到设定的数值时就开始再生,即设定通水倍数(Bed volume, BV, 即处理水量与树脂的体积比)控制再生周期。MIEX®粒子再生采用23%NaCl溶液,系统设置的再生步骤为18步,其中主要步骤为:由⑤抽入5%MIEX®进入⑦;加入⑥中的盐水;在⑦中进行搅拌使污染物被洗脱浓缩下来;由

⑧控制再生后盐水的去向,当盐水电导率低于30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (表示盐水失效)排入⑨,反之则抽进⑥,供下次使用;再生后的MIEX®用自来水冲洗后抽入⑤,供循环使用。

MIEX®系统处理水量120 m^3/d ,搅拌反应区体积554 L,沉淀分离区体积804 L,再生罐165 L,MIEX®装载量300 L。试验期间按通水倍数500 BV、800 BV和1200 BV的顺序每个工况各运行2周。

2 结果与讨论

2.1 中试运行情况

2.1.1 对有机物的去除

MIEX®中试系统对COD_{Mn}和UV₂₅₄的去除情况见图2和图3。

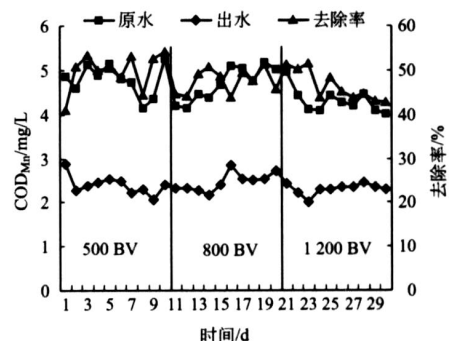


图2 MIEX®中试系统对COD_{Mn}的去除

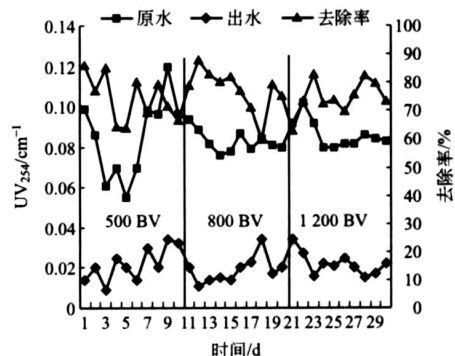


图3 MIEX®中试系统对UV₂₅₄的去除

MIEX®中试系统对COD_{Mn}和UV₂₅₄的去除率分别为40.8%~54.2%和66.7%~87.8%。国外有研究^[1]表明,MIEX®主要去除溶解性有机物,可以很好地去除消毒副产物前体的前体物,本试验MIEX®对UV₂₅₄的去除率也明显高于COD_{Mn},与前人研究结果相同。这是因为大分子物质被MIEX®的小孔径阻挡

不能进入内部而只能在表面进行离子交换,但溶解性小分子有机物可通过孔道扩散进入粒子内部接触离子交换部位被置换下来,因而有更高的去除率。

图中通水倍数按照时间先后排列,由此可见通水倍数的改变对 COD_{Mn} 的去除率有一定影响(即通水倍数提高去除率稍有下降),而对 UV_{254} 的去除率影响不明显。这说明 MIEX[®] 可以有效去除溶解性有机物,在实际工程中针对消毒副产物前体物的去除,可以考虑提高通水倍数来节约成本。另外水中的阴离子会与有机物竞争离子交换部位而影响有机物的去除,比较发现原水电导率和 Cl^- 含量高时,有机物去除率有所下降。

2.1.2 对色度的去除

中试运行期间,原水的色度在 15~20 度波动。检测结果表明 MIEX[®] 对色度有较好的去除效果(见图 4),可以将色度从 18 度降低到 8 度左右,去除率约为 55.6%。色度主要表征溶解性腐殖酸和藻类等产生的溶解性物质,所以 MIEX[®] 对这类物质有很好的去除效果。

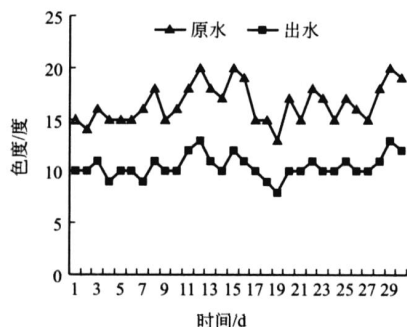


图 4 MIEX[®] 中试系统对色度的去除

2.1.3 对浊度的去除

试验比较了 MIEX[®]、混凝沉淀和 MIEX[®] - 混凝沉淀工艺对浊度的去除情况,其中混凝沉淀中聚氯化铝(PAC)的投加量为 22~36 mg/L,MIEX[®] - 混凝沉淀中 PAC 投加量为 14 mg/L,具体结果见图 5。

由图 5 可见,MIEX[®] 单独使用时对浊度没有去除效果,但当 PAC 投量仅为 14 mg/L 时,不同通水倍数 MIEX[®] 与混凝沉淀联用对浊度去除率为 82.3%~95.5%,与直接混凝沉淀相比可节省 36%~61% 的 PAC 投加量。因此,MIEX[®] 预处理既提高了后续混凝沉淀对浊度的去除,又节省了混凝剂量。

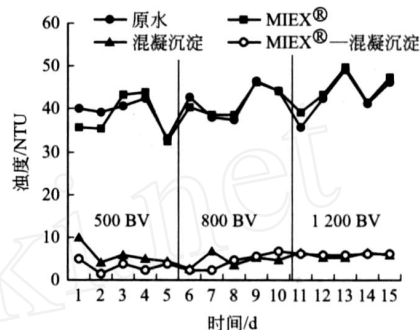


图 5 MIEX[®] 和混凝沉淀对浊度的去除

2.1.4 对 SO_4^{2-} 的去除

常规工艺对 SO_4^{2-} 去除效果有限,但 SO_4^{2-} 可与 MIEX[®] 表面的 Cl^- 进行交换而被去除,MIEX[®] 中试系统的运行结果表明其对 SO_4^{2-} 有很高的去除率(见图 6),通水倍数 500 BV、800 BV 和 1 200 BV 时,MIEX[®] 对 SO_4^{2-} 的去除率分别为 58.9%、86.1% 和 71.4%。理论上通水倍数越低去除率越高,但由图 6 可见 800 BV 时 SO_4^{2-} 去除率最高,分析发现原水通水倍数为 500 BV 时,处理出水平均 UV_{254} 不高于其他时段,但电导率和 Cl^- 含量高于其他时段(见图 7 和图 8),可见原水中其他阴离子

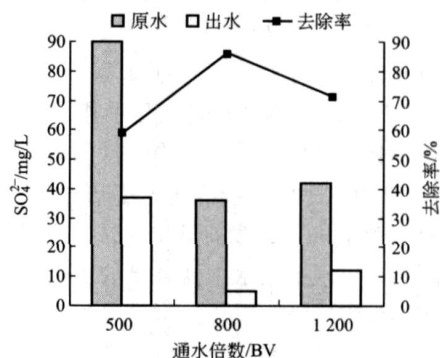


图 6 MIEX[®] 中试系统对 SO_4^{2-} 的去除

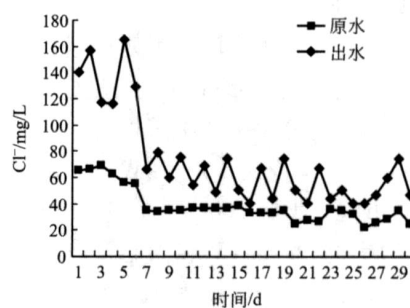


图 7 MIEX[®] 中试系统出水 Cl^- 变化情况

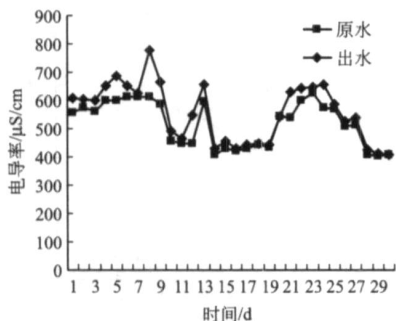


图8 MIEX®中试系统出水电导率变化情况

竞争了 MIEX® 表面的 Cl^- , 同时 Cl^- 的存在大大抑制了 SO_4^{2-} 与 MIEX® 表面的 Cl^- 进行交换。国外的研究^[1,2]还表明 MIEX® 可以高效去除 Br^- 和 NO_3^- 等阴离子, 鉴于此我们还将就解决臭氧生物活性炭工艺中的溴酸盐问题做进一步的研究。

2.2 MIEX® 成分对水质的影响分析

MIEX® 被置换出的 Cl^- 和其本身含有的铁的释放可能会影响水质, 试验通过检测原水和中试出水中的 Cl^- 、铁、TDS、电导率和 pH 来分析 MIEX® 本身成分对饮用水可能带来的影响。

试验期间 Cl^- 和电导率的变化见图 7 和图 8。中试出水电导率的增加不明显, 中试出水中 Cl^- 的含量达到进水的 2 倍, 但远低于国家标准。检测发现 TDS 的变化和电导率的变化几乎相同, 这是由于两个指标的相关性所致。原水中总铁的含量为 0.7~1.6 mg/L, MIEX® 中试系统出水总铁含量为 0.3~1.4 mg/L, 表明 MIEX® 没有给出水带来高含量的铁, 部分检测结果出现了出水中铁含量的下降, 可能由于磁性的作用而将铁吸附去除。试验发现 MIEX® 有很宽的 pH 适应范围, 使得 MIEX® 适合于不同水体的应用而不需做酸碱调节。

3 经济成本分析

MIEX® 处理系统的成本主要包括材料费(设备材料、泵等)、运行管理费(电费、工业盐和人工费)和 MIEX® 树脂费用等。按照中试规模 120 m³/d, 通水倍数 1 200 BV, 电费 0.6 元/(kW·h) (1 000 m³ 耗电 6 kW·h), 工业盐 700 元/t (1 000 m³ 耗工业盐 50 kg), 树脂损失率 0.1 % 和固定资产 20 年直线折旧率 10 % 进行计算, 考虑树脂的回收, 处理成本见表 2。

表 2 MIEX® 中试系统处理成本估算

树脂费 /元/m ³	工业盐 /元/m ³	电费 /元/m ³	人工费 /元/m ³	折旧费 /元/m ³	合计 /元/m ³
0.15	0.035	0.003 6	0.005	0.05	0.243 6

同时 MIEX® 与常规工艺结合可以有效去除有机物, 降低浊度和控制消毒副产物, 还可节省 36 %~61 % 的混凝剂使用量, MIEX® 预处理 - 混凝沉淀工艺成本在 0.35 元/m³ 左右^[1~3]。MIEX® 技术在处理效果和经济成本上都具有一定的优势, 值得引起我国水行业的重视。

4 结论

中试研究结果表明 MIEX® 对 COD_{Mn} 和 UV_{254} 的去除率分别为 40.8 %~54.2 % 和 66.7 %~87.8 %, 通水倍数提高时 COD_{Mn} 的去除率稍下降, UV_{254} 的去除率变化不明显; 通水倍数 500 BV、800 BV 和 1 200 BV 时, MIEX® 对 SO_4^{2-} 的去除率分别为 58.9 %、86.1 % 和 71.4 %, MIEX® 可以将色度从 18 度降低到 8 度左右; MIEX® 和混凝沉淀联用可有效去除浊度, 去除率为 82.3 %~95.5 %, 同时节省 36 %~61 % 的混凝剂使用量; MIEX® 粒子自身成分不会对水质产生影响, 且有很宽的 pH 适应范围; MIEX® 处理水的成本仅为 0.243 6 元/m³。因此 MIEX® 是一种安全经济高效的水处理技术。

参考文献

- 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: 1265~1276
- Boyer T H, Singer P C. A pilot-scale evaluation of magnetic ion exchange treatment for removal of natural organic material and inorganic anions. *Water Research*, 2006, 40: 2865~2876
- Singer P C, Bilyk K. Enhanced coagulation using a magnetic ion exchange resin. *Water Research*, 2002, 36: 4009~4022
- Mergen M R D, Jefferson B, Parsons S A, et al. Magnetic ion-exchange resin treatment: Impact of water type and resin use. *Water Research*, 2008, 42: 1977~1988

○ 通讯处: 210098 江苏南京市西康路 1 号 河海大学
535 信箱

电话: 15850510324

E-mail: hzg@hhu.edu.cn

收稿日期: 2008-11-28

修回日期: 2009-02-08