

# 微山湖水质对控制残余铝的影响及生产运行分析

贺晓娟, 袁本松, 王 砚, 黄保平, 王文静, 仲丽娟, 肖 刚  
(成都市兴蓉环境股份有限公司, 四川 成都 610041)

**摘 要:** 江苏某地表水厂以微山湖水为水源,投产以来,水源地因受季节性变化、南水北调影响而引起制水过程中铝超标,因此通过试验考察了水中残余铝的影响因素。结果表明:聚合氯化铝(PAC)投加量、pH值、水温、沉后水浊度是影响制水过程中残余铝的主要因素。生产运行中发现,夏季泄洪期间,原水pH值降至7.4~8.0时,PAC投加量控制在6~7 mg/L,滤后水残余铝含量稳定在0.12~0.18 mg/L,相比平日,PAC投加量减少约20%;控制沉后水浊度可以降低滤后水中残余铝超标的风险,但不能确保残余铝含量达标。

**关键词:** 微山湖水质; 残余铝; PAC投加量; pH值; 水温; 沉后水浊度

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)03-0045-04

## Influence of Water Quality of Weishanhu Lake on Residual Aluminum and Production Operation

HE Xiao-juan, YUAN Ben-song, WANG Yan, HUANG Bao-ping, WANG Wen-jing,  
ZHONG Li-juan, XIAO Gang

(Chengdu Xingrong Environment Co. Ltd., Chengdu 610041, China)

**Abstract:** Weishanhu Lake was used as water source for a waterworks in Jiangsu. Since the initiation of production, residual aluminum had been exceeded the standard in the process of water production, which was caused by seasonal variation of the source water quality and the South-to-North Water Diversion Project, so the factors that influenced residual aluminum were investigated. The results showed that PAC dosage, pH, water temperature, and settling water turbidity were the main factors for residual aluminum. In the production operation, it was found that when the pH of the source water dropped to 7.4–8.0 during the summer flooding season and PAC dosage was controlled between 6–7 mg/L, the residual aluminum was stabilized between 0.12–0.18 mg/L in the filtered water, and the PAC dosage was reduced by 20% approximately. Controlling the settling water turbidity could reduce the risks of residual aluminum exceeding standard, but could not guarantee the compliance with standards.

**Key words:** water quality of Weishanhu Lake; residual aluminum; PAC dosage; pH; water temperature; settling water turbidity

饮用水中残余铝除受天然水体水质影响外,还跟水处理药剂密切相关。我国部分水厂均存在残余铝控制难的问题,因此如何有效降低地表水厂出水残余铝迫在眉睫。江苏某地表水厂以微山湖水为水源,由于水厂投运时间较短,水源地受季节性变化、

南水北调过程中水质变化的基础资料比较有限。2017年该水厂出厂水残余铝有升高的现象,尤其夏季铝超标风险较高,为此考察了影响残余铝的因素和控制手段以期快速解决水厂生产运行问题,同时也为公司处理类似问题提供参考。

## 1 试验部分

### 1.1 主要仪器与设备

浊度仪(2100AN)、精密 pH 计(雷磁 pHSJ-3F)、可见分光光度计(INWSA 7230G)、水浴锅、六联试验搅拌机(ZR4-6)。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 小试

小试以生产使用的液体聚合氯化铝(PAC)为絮凝剂,其盐基度  $B$  为 70%、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 10.5%、密度为  $1.23 \text{ g/cm}^3$ 。试验前,将原水 pH 值、温度调至所需范围,然后置于六联搅拌仪上,分别加入一定量液体 PAC(所有投加量均以  $\text{Al}_2\text{O}_3$  计),混合段转速为  $500 \text{ r/min}$ 、时间为  $1.8 \text{ min}$ ,絮凝段先在  $150 \text{ r/min}$  下振荡  $6.6 \text{ min}$ 、然后在  $110 \text{ r/min}$  下振荡  $9.4 \text{ min}$ 、最后在  $56 \text{ r/min}$  下振荡  $10.6 \text{ min}$ ,沉淀  $40 \text{ min}$ ,混凝沉淀结束后,上清液采用  $0.45 \mu\text{m}$  滤膜过滤后测定铝浓度。

#### 1.2.2 生产验证

采用盐基度  $B$  为 70% 的液体 PAC( $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 10.5%),考察了原水水质及加药量特点,验证 PAC 投加量、原水 pH 值、沉后水浊度、砂滤对出厂水残余铝的影响。

## 2 结果与讨论

### 2.1 PAC 投加量对残余铝的影响

当原水 pH 值为 8.26、水温为  $16^\circ\text{C}$  时,考察了 PAC 投加量对残余铝的影响,结果见图 1。

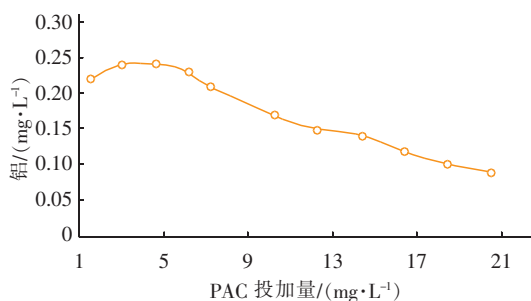


图1 PAC 投加量对残余铝的影响

Fig.1 Influence of PAC dosage on residual aluminum

由图 1 可知,随 PAC 投加量的增加,出厂水残余铝含量先增加后降低。当 PAC 投加量为  $1.54 \sim 4.6 \text{ mg/L}$  时,随着 PAC 投加量的增加,残余铝含量呈现上升趋势,均高于  $0.2 \text{ mg/L}$ ;当 PAC 投加量为  $4.6 \sim 20.5 \text{ mg/L}$  时,随着 PAC 投加量的增加,残余铝含量呈下降趋势,此结论具有重现性,但是 PAC

投加量高于  $12 \text{ mg/L}$  时,絮体颗粒多、松散、沉降缓慢,该规律为地表水厂工艺调控提供了方向。原因是:PAC 投加量较小时,产生的正电荷不足以吸附胶体、颗粒物等,使得混凝效果不佳,主要以颗粒铝的形式残留在水中,此时颗粒铝含量与浊度关系紧密;增大 PAC 投加量后,带负电的胶体、络合物等被电中和而脱稳沉淀。

### 2.2 pH 值对残余铝的影响

当水温为  $18^\circ\text{C}$ 、原水 pH 值为 8.33、浊度为  $12.6 \text{ NTU}$  时,采用盐酸调节原水 pH 值,考察不同 PAC 投加量、原水 pH 值对残余铝的影响,结果见图 2。可知,原水 pH 值是影响水中残余铝含量的主要因素之一。在 PAC 投加量相同的条件下,原水 pH 值在  $7.14 \sim 8.33$  范围内,随着 pH 值的升高,残余铝含量升高,即每升高一个单位的 pH 值,残余铝会升高  $0.08 \sim 0.15 \text{ mg/L}$ 。原因是:氢氧化铝是典型的两性物质,pH 值对其存在形态有着重要影响;PAC 絮凝最终产物是  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,pH 值过低或过高,都会使已沉淀的氢氧化铝生成溶于水的  $\text{Al}^{3+}$  或偏铝酸根离子<sup>[1-3]</sup>,使得水中铝溶解量增加。

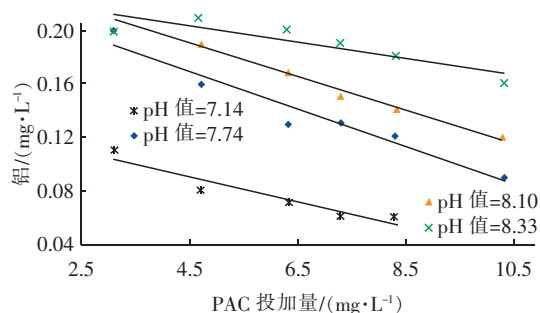


图2 pH 值对残余铝的影响

Fig.2 Effect of pH on residual aluminum

曲志军等<sup>[4]</sup>认为,控铝的最佳 pH 值在 7.5 左右,从本研究可知 pH 值在  $7.14 \sim 7.74$  范围时有利于控制残余铝。虽然原水 pH 值在 7.1 左右时残余铝较低,但从生产角度分析,将原水 pH 值从 8.33 降至 7.1,耗酸量明显高于 pH 值降至 7.5,不仅增加了运行成本,而且加大了管理难度。结合水厂实际情况,选择控铝的 pH 值在 7.5 左右是可行的。

### 2.3 温度对残余铝的影响

试验结果表明,在 PAC 投加量为  $3 \sim 10.5 \text{ mg/L}$  条件下,滤后水残余铝含量随水温升高而呈现显著增加趋势,且相同温度下,随着絮凝剂投加量的增加,残余铝含量降低。当原水 pH 值为 8.26、水温为

16 ℃时,降低 0.01 mg/L 的铝需要增加 1 mg/L 的 PAC;当水温为 25 ℃时,降低 0.005 mg/L 的铝需增加 1 mg/L 的 PAC,此时控铝采用 PAC( $B=70\%$ ) 风险值较高。这主要是因为,温度升高打破了溶液中原有的沉淀-溶解平衡<sup>[5]</sup>,铝形态由悬浮态向溶解态转换,使得残余铝含量升高。

### 3 实际生产情况

#### 3.1 原水pH值与投药量的关系

2017 年 7 月—9 月,水温为 22~28 ℃,微山湖水源地受到上级湖泊持续泄洪、南水北调的影响,在其他水质指标变化不大的情况下,将水体 pH 值由 8.2 降至 7.4~8.0,经过连续几个月的运行,生产耗药量稳定维持在 6~7 mg/L,滤后水残余铝稳定在 0.12~0.18 mg/L,此时出厂水 pH 值维持在 7.2~7.6。相比平日,投药量节约 20%,残余铝较原来的 0.18 mg/L 有所下降(见图 3、4)。

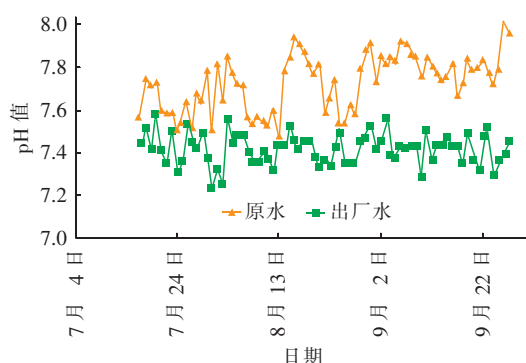


图3 泄洪、南水北调期间微山湖水 pH 值的变化

Fig. 3 Variation of pH of Weishanhu Lake water during flood discharge and South-to-North Water Diversion

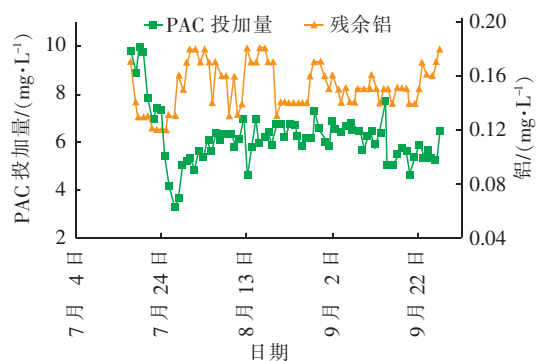


图4 实际运行过程中 PAC 投加量对残余铝的影响

Fig. 4 Effect of PAC dosage on residual aluminum during actual operation

总结了地表水厂原水 pH 值与投药量的关系,发现:小试与生产试验最佳 pH 值均在 7.5 左右,但

小试最佳投药量与实际生产有一定的偏差,这可能是二者的试验工况差异造成的。

运行中发现,随原水 pH 值的升高,在水温变化不大的情况下, PAC 投加量也相应增加,为保证残余铝含量满足国标要求, PAC 投加量最高达到 11 mg/L,此时未发现因投药量偏高而影响絮凝效果的现象,但由 2.1 节可知, PAC 投加量高于 12 mg/L 时,出现絮体松散、沉降缓慢现象,实际过程中可能存在沉后水跑矾花现象。生产中 PAC 投加量除了受残余铝影响外,还与原水氟化物、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、三卤甲烷等指标密切相关。

#### 3.2 沉后水浊度与残余铝的关系

10 月 29 日—11 月 15 日,采用 PAC(盐基度为 70%)进行生产试验,原水 pH 值为 7.87~8.10,水温为 15~23 ℃。结果表明,当沉后水浊度 > 2.0 NTU 时,滤后水残余铝含量超过 0.2 mg/L,主要表现在混凝效果不佳、沉淀出水有明显的颗粒物,所以混凝效果及沉后水浊度对残余铝的控制有一定的影响,这为后期研究积累了经验。

2017 年 11 月—2018 年 3 月,对沉后水浊度与残余铝的关系进行了分析,结果见图 5。

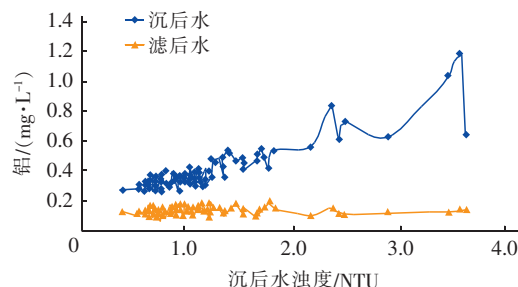


图5 沉后水浊度对残余铝的影响

Fig. 5 Influence of settling water turbidity on residual aluminum

由图 5 可知,沉后水中残余铝含量受混凝效果的影响较为明显,二者呈正相关;而滤后水中残余铝含量与沉后水浊度的相关性较弱。原因是:通常情况下,铝在水体中的形态主要表现为悬浮态和溶解态两部分,混凝沉淀过程中,由于悬浮态颗粒铝依附在胶体上,以浊度的形式反映了出来<sup>[6]</sup>,而沉后水浊度较低时,依附在胶体上的颗粒铝较少,此时砂滤池截留率较低。综上:①砂滤池对悬浮态颗粒铝的截留效果非常显著,但对溶解态铝无截留效果;②控制沉后水浊度可以降低滤后水中残余铝超标的风险,但仅控制沉后水浊度不能确保残余铝达标<sup>[7]</sup>,

说明控制沉后水浊度是必要而非充分条件,因为水中残余铝受 PAC 投加量、pH 值、温度、运行工况等变化而波动,是各因素综合影响的结果。

### 3.3 常规工艺各环节对出厂水残余铝的影响

生产运行期间,原水铝含量约为 0.05 mg/L,对整个环节中铝几乎无影响,但混凝沉淀后,铝含量的增加较为显著,说明制水过程中,铝的变化主要由 PAC 药剂的使用引起。滤池对沉后水中残余铝、浊度的截留率分别为 46% ~ 90%、18% ~ 96%,说明大部分铝是伴随浊度而去除的。这主要是由于残余铝的形态不同,滤池的截留效果也不同。通过比较生产性试验与小试,采用 0.45  $\mu\text{m}$  膜过滤后的小试水样,其残余铝含量与砂滤池出水铝含量基本吻合,所以采用滤膜出水铝含量模拟砂滤出水铝含量有一定的参考价值。

## 4 结论

① PAC 投加量、原水 pH 值、水温、沉后水浊度与水厂出厂水残余铝含量密切相关,饮用水中铝含量是以上因素综合作用的结果。

② 随着水温、pH 值的升高,出厂水残余铝含量相应升高,此时 PAC 投加量要相应增加。

③ 控制沉后水浊度可以降低滤后水中残余铝超标的风险,但不能确保残余铝含量达标。

### 参考文献:

- [1] 张振杰,侯煜堃,陈洁,等. 南水北调水混凝过程中残余铝控制的影响试验研究[J]. 供水技术,2016,10(6):1-5.  
Zhang Zhenjie, Hou Yukun, Chen Jie, *et al.* Influence factors on control of residual aluminum during coagulation in the South-to-North Diversion Water [J]. Water Technology, 2016, 10(6):1-5 (in Chinese).
- [2] 高雅,毕哲,王东升,等. 优化混凝处理低温低浊黄河水及对余铝的控制[J]. 环境工程学报,2013,7(10):3737-3742.  
Gao Ya, Bi Zhe, Wang Dongsheng, *et al.* Optimization of coagulation performance and residual aluminum control for Yellow River water with low temperature and low turbidity [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013, 7(10):3737-3742 (in Chinese).
- [3] 朱灵峰,田艳娥,黄豆豆,等. 高碱度水混凝过程中残余铝控制影响因素的研究[J]. 河南农业大学学报,2013,47(2):197-201.

Zhu Lingfeng, Tian Yan'e, Huang Doudou, *et al.* Influence factors on residual aluminum control during coagulation of high alkalinity water[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2013, 47(2):197-201 (in Chinese).

- [4] 曲志军,肖定华. pH 和浊度对水中残余铝的影响研究[J]. 城镇供水,2008(1):33-36.  
Qu Zhijun, Xiao Dinghua. Effect of pH and turbidity on the residual aluminum in water[J]. City and Town Water Supply, 2008(1):33-36 (in Chinese).
- [5] 王文东,杨宏伟,蒋晶,等. 水温和 pH 对饮用水中铝形态分布的影响[J]. 环境科学,2009,30(8):2259-2262.  
Wang Wendong, Yang Hongwei, Jiang Jing, *et al.* Effects of temperature and pH on the distribution of aluminum species in drinking water [J]. Environmental Science, 2009, 30(8):2259-2262 (in Chinese).
- [6] 王志红,崔福义. 水厂残余铝的影响因素试验研究[J]. 水处理技术,2004,30(2):110-112.  
Wang Zhihong, Cui Fuyi. A research on the factors about the removal of residual aluminum from water plant [J]. Technology of Water Treatment, 2004, 30(2):110-112 (in Chinese).
- [7] 肖定华. 降低饮用水中残余铝的中试研究[J]. 供水技术,2011,5(4):14-17.  
Xiao Dinghua. Pilot-scale test of reducing residual aluminum in drinking water [J]. Water Technology, 2011, 5(4):14-17 (in Chinese).



作者简介:贺晓娟(1984- ),女,陕西宝鸡人,硕士,工程师,主要研究方向为水处理技术。

E-mail:hexiaojuan@126.com

收稿日期:2019-04-12