

南方某水司下属水厂所用固体与液体 PAC 对比

何嘉莉, 刘清华, 陈卓华, 巢 猛
(东莞市东江水务有限公司, 广东 东莞 523112)

摘 要: 对南方某水司下属水厂聚合氯化铝的使用现状做了详细调查,并从混凝效果、成本等方面进行了分析。结果显示:固体与液体聚合氯化铝的混凝效果相当,但高投加量下液体聚合氯化铝对浊度的去除效果较固体聚合氯化铝稳定,液体聚合氯化铝对排涝期水质的处理效果优于固体聚合氯化铝。液体聚合氯化铝在药耗单价方面有优势,固体聚合氯化铝在储存方面有优势。现时该水司使用固体聚合氯化铝的 4 座水厂存在一定问题,若这 4 座水厂全部改用液体聚合氯化铝,能够实现无缝转用,不会增加设施成本,按 2017 年供水量计算,每年可节省约 62.27 万元,并节约人力成本和能耗成本。

关键词: 水厂; 固体聚合氯化铝; 液体聚合氯化铝; 混凝效果; 成本

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)23-0053-05

Comparison of Solid and Liquid Polyaluminum Chloride Used in Water Treatment Plants of a Southern Water Group

HE Jia-li, LIU Qing-hua, CHEN Zhuo-hua, CHAO Meng
(Dongjiang Shuiwu Co. Ltd., Dongguan 523112, China)

Abstract: A detailed investigation of the current status of polyaluminum chloride used in water treatment plants of a southern water group was conducted. The coagulation efficiency and costs were analyzed, to provide technical reference to the selection of polyaluminum chloride. The results showed that, the coagulation efficiency of solid and liquid polyaluminum chloride was comparable, but high dosage of liquid polyaluminum chloride had more stable effect in turbidity removal; additionally, liquid polyaluminum chloride was more suitable than solid polyaluminum chloride in the treatment of water when flooding. Liquid polyaluminum chloride had cheaper unit price, while solid polyaluminum chloride was easy for storage. Currently, there were problems in the four water treatment plants using solid polyaluminum chloride. All four water treatment plants could be seamless converted to use liquid polyaluminum chloride without increasing the capital costs. Based on water supply in 2017, the transition could save around 622 700 yuan per year, plus reduction in labor and energy costs.

Key words: water treatment plant; solid polyaluminum chloride; liquid polyaluminum chloride; coagulation efficiency; cost

聚合氯化铝(PAC)是一种高效无机高分子混凝剂,与硫酸铝相比,其有投加量少、对水的 pH 值变化适应性较强等优势,于 20 世纪 70 年代得到广泛应用^[1]。PAC 主要通过电性中和、吸附架桥、网捕或卷扫等作用^[1],使水中细小悬浮物和胶体粒子脱

稳、聚集、沉淀,以达到净化效果。

聚合氯化铝按形态分为两种,分别为固体聚合氯化铝和液体聚合氯化铝。固体聚合氯化铝是由液体聚合氯化铝经过烘干或喷雾干燥制得,其有效铝含量约为 30%,盐基度一般较高,盐基度低时不利

于烘干,价格比液体聚合氯化铝稍高,有运输方便的优点,不需要罐车,主要缺点是使用时还需要溶解,增加工人的工作强度。液体聚合氯化铝的有效铝含量约为10%,盐基度可控性好,价格相对便宜,无需溶解和稀释,装卸使用方便,缺点是运输需要罐车,单位运输成本增加。

目前,南方某水司下属水厂使用的聚合氯化铝类型包括固体和液体两种。为对该水司使用的固体与液体聚合氯化铝进行对比分析,笔者对该水司聚合氯化铝的使用现状做了详细调查,并从混凝效果、成本等方面进行分析,旨在为自来水厂在聚合氯化铝的选用上提供技术参考。

1 聚合氯化铝的使用现状

1.1 聚合氯化铝使用类型及出厂水浊度

南方某水司下属有7座水厂,其中A、B、C、D水厂使用固体聚合氯化铝作为混凝剂,而E、F与G水厂使用液体聚合氯化铝作为混凝剂。从2017年的数据(见表1)看,除了C水厂单位药耗最低外,其他6座水厂PAC单位药耗在1.34~1.59 mg/L之间,C水厂单位药耗较低可能与其投加高锰酸钾的助凝作用以及该水厂的混凝条件较好有关。

表1 南方某水司下属水厂聚合氯化铝使用类型及各水厂2017年出厂水浊度

Tab.1 PAC type used in water treatment plants of a southern water group and the finished water turbidity of each water treatment plant in 2017

项 目	单位药耗/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出厂水浊度 均值/NTU	出厂水浊度 最大值/NTU
A 水厂	1.52	0.19	0.31
B 水厂	1.34	0.11	0.27
C 水厂	0.75	0.17	0.27
D 水厂	1.59	0.11	0.32
E 水厂	1.51	0.07	0.49
F 水厂	1.47	0.15	0.44
G 水厂	1.38	0.19	0.20

各水厂出厂水浊度均值均可以控制在0.20 NTU以下,其中E水厂出厂水浊度均值最低,可能的原因是E水厂受排涝影响时多处于停产状态,基本不受污染水质影响;各水厂出厂水浊度最大值均在0.50 NTU以下,其中G水厂出厂水浊度最大值最低,对浊度控制效果好,其主要原因是G水厂除常规工艺外还设有臭氧/活性炭深度处理工艺。可以看出,使用固体聚合氯化铝的水厂与使用液体聚

合氯化铝的水厂单位药耗与出厂水浊度均没有较大差别。

1.2 PAC使用过程中存在的问题

经统计,使用液体聚合氯化铝作为混凝剂的3座水厂基本不存在较大问题,而使用固体聚合氯化铝的4座水厂反映在使用过程中存在如下问题:

① 溶矾操作人工劳动强度大。使用固体聚合氯化铝的水厂溶矾周期以及数量如表2所示。

表2 使用固体聚合氯化铝的水厂溶矾频率及数量

Tab.2 Solvent frequency and quantity of water treatment plants using solid PAC

项 目	近年供水能力/ ($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	溶矾频率	每次溶药 数量/包
A 水厂	59	每周平均5次	180~270
B 水厂	34	每周平均3~4次	120
C 水厂	33	每天平均5次	8
D 水厂	11.5	每天平均3次	11

注: 每包药剂量为25 kg。

② 配药搅拌设备噪声大,配制过程中有大量粉尘产生,存在危害员工健康的风险。

③ 固体聚合氯化铝溶解效果不佳,容易导致投加管道堵塞,需定期对管道进行冲洗。

④ 投加设备曾有被溶矾时不慎带入的麻绳和塑料袋等堵塞的情况,影响投加泵的正常运行,增加设备检修频率,严重时可导致翻池。

⑤ 溶矾操作对溶解场所的环境卫生造成一定影响。

⑥ 溶矾所需的设备为搅拌设备、排气风扇以及潜污泵,增加了一定设备以及电力成本。

⑦ 固体聚合氯化铝存放需考虑防潮问题。

1.3 药耗成本

各水厂2015年1月—2017年12月(共36个月)的药耗统计见表3。可知,因各水厂供水能力不一样,水厂月平均取水量和聚合氯化铝月均消耗量有一定差异;3年的统计数据显示,使用固体聚合氯化铝作为混凝剂的4座水厂中,C水厂的单位药耗及药耗单价最低,B水厂也相对较低,而A水厂和D水厂相对较高,这可能与原水水质及水厂自身混凝条件密切相关;而使用液体聚合氯化铝作为混凝剂的3座水厂单位药耗以及药耗单价相差不大,相对比较稳定。使用固体聚合氯化铝的4座水厂单位药耗量均值($1.39 \text{ kg}/10^3 \text{ m}^3$)比使用液体聚合氯化铝的3座水厂的单位药耗量均值($1.54 \text{ kg}/10^3 \text{ m}^3$)

低,主要是由于 C 水厂单位药耗量较低而拉低了总体水平,如剔除 C 水厂的数据,则使用固体聚合氯化铝的水厂单位药耗量均值与液体聚合氯化铝的水

厂基本没有差别;从药耗单价的均值看,液体聚合氯化铝为 9.63 元/ 10^3 m^3 ,固体聚合氯化铝为 10.07 元/ 10^3 m^3 ,液体聚合氯化铝有一定的价格优势。

表 3 各水厂 2015 年 1 月—2017 年 12 月聚合氯化铝消耗量统计

Tab.3 Consumption statistics of PAC in each water treatment plant from January 2015 to December 2017

项 目	平均取水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{月}^{-1}$)	平均药耗量/ ($\text{kg} \cdot \text{月}^{-1}$)	单位药耗量/ ($\text{kg} \cdot 10^3 \text{ m}^{-3}$)	PAC 单价/ (元 $\cdot \text{t}^{-1}$)	药耗单价/ (元 $\cdot 10^3 \text{ m}^{-3}$)
A 水厂	17 649 153.58	93 429.59	1.59	2 179.44	11.52
B 水厂	9 539 342.94	38 956.75	1.22	2 179.44	8.74
C 水厂	7 014 891.67	23 218.75	1.03	2 179.44	7.15
D 水厂	3 431 040.84	20 238.35	1.71	2 179.44	12.85
E 水厂	2 268 046.11	34 655.83	1.65	648.61	10.09
F 水厂	20 292 811.11	299 903.59	1.49	648.61	9.55
G 水厂	12 017 869.44	172 372.44	1.48	648.61	9.24

2 不同种类 PAC 的混凝效果

2.1 非排涝期对浊度的去除

在半年内,每月进行 2~3 次混凝试验,共进行了 14 次试验,考察固体聚合氯化铝与液体聚合氯化铝对非排涝期不同原水浊度的去除效果。结果表明,针对不同原水水质,在高投加量的情况下,使用固体 PAC 时有 9 次出现“翘尾”现象,而使用液体 PAC 时只有 2 次出现“翘尾”现象(限于篇幅,图 1 仅列出两次试验的结果),这说明在高投加量下,液体聚合氯化铝对浊度的去除效果较固体聚合氯化铝稳定。

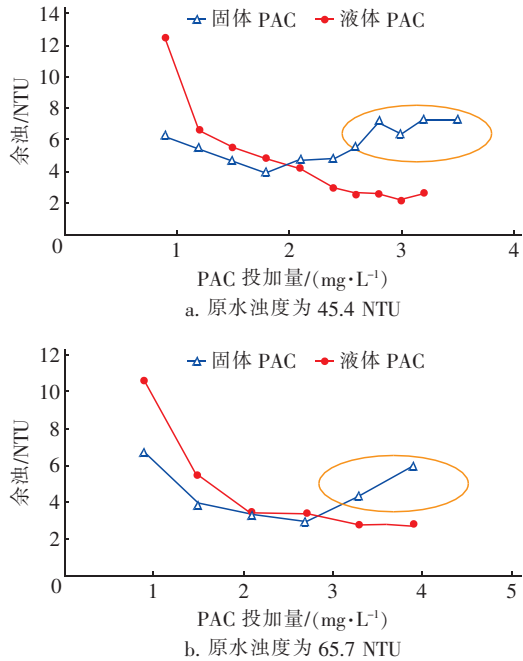


图 1 不同种类 PAC 对浊度的去除效果

Fig.1 Removal of turbidity by different types of PAC

2.2 非排涝期对有机物与消毒副产物的去除

于非排涝期进行了多组不同种类 PAC 对有机物与消毒副产物的去除试验,得出的结果相接近,其中一组典型的试验数据如图 2 所示。该试验原水 TOC 为 2.807 mg/L 、 COD_{Mn} 为 2.52 mg/L 、 UV_{254} 为 0.047 cm^{-1} 、三卤甲烷生成势 (THMFP) 为 248.65 $\mu\text{g/L}$ 、三氯乙醛生成势 (CHFP) 为 55.42 $\mu\text{g/L}$ 。

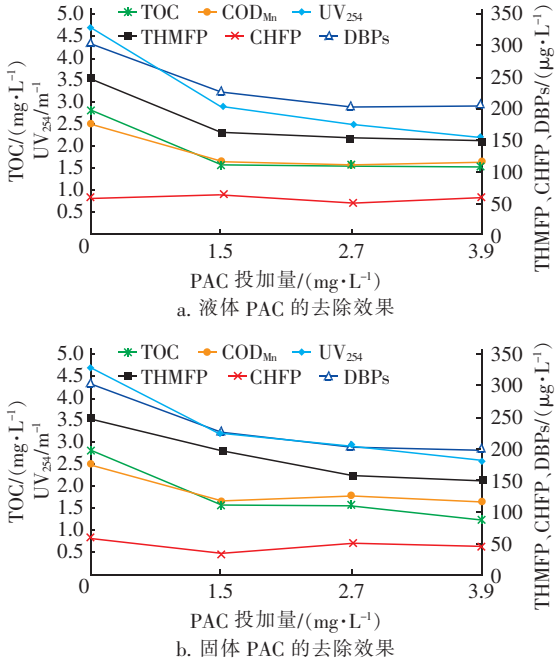


图 2 不同种类 PAC 对有机物与消毒副产物的去除效果

Fig.2 Removal of organic matter and disinfection by-products by different types of PAC

从图 2 可知,不同种类 PAC 对 TOC、 COD_{Mn} 和 UV_{254} 的去除效果差异不大。结合消毒副产物生成势数据看,不同种类 PAC 对 THMFP 和 DBPs 的去除

与有机物的去除呈正相关,去除量随 PAC 投加量的增加稍有增加,两种 PAC 对 CHFP 均没有明显的去除效果。总的来说,固体 PAC 与液体 PAC 在常规水质下对有机物和 DBPs 的去除效果相当。

2.3 排涝期不同种类PAC 的混凝效果

采集了3个排涝期的典型水样,分析固体 PAC 与液体 PAC 对排涝期水质的处理效果。

水样1:某水闸下游排涝水,浊度为 40.8 NTU、 COD_{Mn} 为 6.61 mg/L、TOC 为 8.892 mg/L、 UV_{254} 为 0.068 cm^{-1} 。该排涝期水样的浊度并不算高,但有机物指标相对较高,投加不同种类 PAC 混凝沉淀后发现,液体 PAC 对该水样的浊度、 UV_{254} 及 TOC 的去除效果均优于固体 PAC (见图3)。

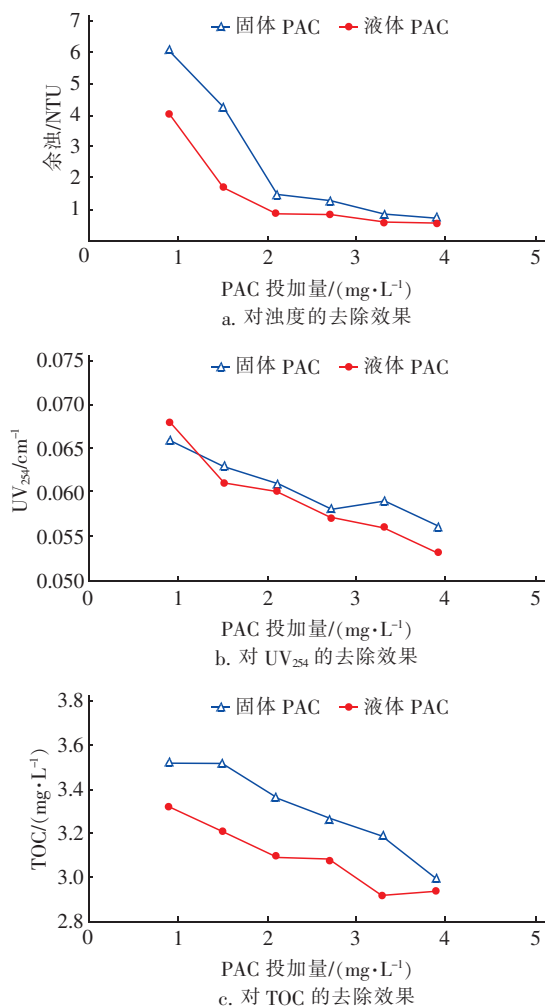


图3 排涝期不同种类 PAC 对水闸下游排涝水的处理效果
Fig. 3 Coagulation effect of different types of PAC in drainage period

水样2:E 水厂取水泵房排涝水,浊度为 46.4 NTU、 COD_{Mn} 为 5.57 mg/L。该排涝期水样的原水浊

度也并不算高,但有机物指标比常规水质要高,可以作为水样1的一个重复试验水样。向该水样投加不同种类 PAC 混凝沉淀后发现,液体 PAC 对该水样浊度的去除效果优于固体 PAC,特别在低投加量的情况下,浊度去除效果差别明显。

水样3:G 水厂难混凝、高浊度原水,浊度为 142 NTU、 COD_{Mn} 为 3.04 mg/L。该水样浊度相对较高,有机物指标也比常规水质稍高,增大混凝剂投加量也无法很好地控制其出水浊度。针对这样的难混凝、高浊度原水,液体 PAC 的处理效果优于固体 PAC,使用液体 PAC 混凝沉淀后出水浊度可以控制在 3.0 NTU 左右,而使用固体 PAC 混凝沉淀后出水浊度在 4.5 NTU 波动 (见图4)。

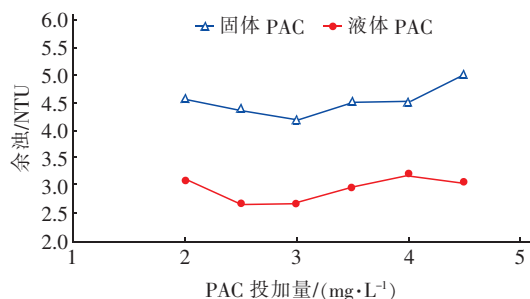


图4 排涝期不同种类 PAC 对难混凝、高浊度原水中浊度的去除

Fig. 4 Removal of turbidity in raw water with difficult coagulation and high turbidity by different types of PAC in flood period

从3个排涝期水样的混凝试验结果可知,液体 PAC 对排涝期水质的处理效果优于固体 PAC。

3 固体 PAC 改成液体 PAC 的成本分析

3.1 设施成本方面

使用固体 PAC 作为混凝剂的4座水厂现将固体 PAC 溶解稀释成有效成分为 8% 的溶液,经计量泵投加。如果改为投加液体 PAC,原设备设施均可满足使用要求,原溶液池储量能够满足日常生产运行需要,对生产没有影响,能够实现无缝转用,并不增加设施成本。

3.2 人力成本方面

固体 PAC 溶解由各水厂的生产班组完成。该水司对于长时接触化学品人员给予了相应营养补贴,而改用液体 PAC 后相应补贴则可撤销或减少。

3.3 能耗成本方面

溶解固体 PAC 所需用能设备为搅拌机、排气风

扇、潜水泵,改为液体 PAC 后则可停用以上设备,减少电耗,同时相关设备的维护费用也可减免。

3.4 药耗成本方面

如果使用固体 PAC 作为混凝剂的 4 座水厂改

用液体 PAC,经核算,药耗成本见表 4。其中,固体 PAC 的有效铝含量一般是液体 PAC 的 3 倍,表 4 中液体 PAC 的耗药量按照固体耗药量的 3 倍来推算。按 2017 年供水量计算,每年可节省约 62.27 万元。

表 4 固体 PAC 改用液体 PAC 的成本分析

Tab.4 Cost analysis of conversion of solid PAC to liquid PAC

项 目	年取水量/ m ³	投加固体 PAC		投加液体 PAC		改用液体 PAC 节省成本/万元
		年耗药量/ kg	药耗单价/ (元·10 ³ m ⁻³)	年耗药量/ kg	药耗单价/ (元·10 ³ m ⁻³)	
A 水厂	218 417 270	1 090 414.49	10.63	3 271 243.47	9.12	33.06
B 水厂	126 925 532	560 736	9.26	1 682 208	7.96	16.52
C 水厂	78 460 600	192 500	5.26	577 500	4.52	5.81
D 水厂	41 284 619	226 493	11.79	679 479	10.13	6.87
合计						62.27

3.5 储存方面

在储存方面,固体 PAC 有一定优势,其保质期长,储存方便,只要有合适的空间,水厂可以大量储存;虽然存放需考虑防潮问题,但固体 PAC 受潮后对产品的影响并不大。而液体 PAC 的保质期相对较短,水厂的储存能力有限,运输次数也相应增加,见表 5。可知,3 座使用 PAC 的水厂,储液池储满最长可使用的时间均不到 1 个月;当 F 水厂供水量较大时,储液池储满最长可使用的时间仅为 11 d。另外,由于 PAC 的单价已包含运输费用,因此,本研究不对运输成本做详细分析。

表 5 使用液体 PAC 作为混凝剂的 3 座水厂的储存能力

Tab.5 Storage capacity of three water treatment plants using liquid PAC as coagulant

项 目	储液池储量/kg	储液池储满最长可使用 时间/d	一般送货间隔/d	每次送货量/t
E 水厂	30 000	16~24	8~12	15~17
F 水厂	154 400	11~15	1.5	17
G 水厂	142 000	24~30	3.4	17.5

4 结论

① 剔除 C 水厂的数据,南方某水司使用固体 PAC 的水厂与使用液体 PAC 的水厂单位药耗与出厂水浊度均没有较大差别。从药耗单价的均值看,液体 PAC 有一定的价格优势。

② 现时使用固体 PAC 的 4 座水厂存在溶矾操作人工劳动强度大、噪声和粉尘、投加管道和设备堵塞、环境卫生、设备电耗以及防潮等问题。

③ 试验数据显示,在高投加量情况下,液体 PAC 对浊度的去除效果较固体 PAC 稳定;固体与液

体 PAC 在常规水质下对有机物和消毒副产物的去除效果相当;液体 PAC 对排涝期水质的处理效果优于固体 PAC。

④ 使用固体 PAC 的 4 座水厂如果全部改用液体 PAC,能够实现无缝转用,不会增加设施成本,按 2017 年供水量计算,每年可节省约 62.27 万元,并节约人力成本和能耗成本。

⑤ 固体 PAC 在储存方面有一定优势。

参考文献:

[1] 严煦世,范瑾初. 给水工程[M]. 4 版. 北京:中国建筑工业出版社,1995.
Yan Xushi,Fan Jinchu. Water Supply Engineering[M]. 4th ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 1995(in Chinese).



作者简介:何嘉莉(1988—),女,广东东莞人,硕士,工程师,研究方向为给水处理技术。

E-mail:lily_mk88@126.com

收稿日期:2019-03-12