

絮凝-DAF 中试工艺处理密云水库低温低浊水的影响因素

王毅力¹, 汤鸿霄¹, 宋乔健², 庞厚毅² (1. 中国科学院生态环境研究中心环境水化学国家重点实验室, 北京 100085, E-mail: surface@mail.rcees.ac.cn; 2. 北京市自来水公司第九水厂)

摘要: 系统研究以硫酸铝和聚铝为絮凝剂时絮凝-DAF 工艺中的水力学参数对除浊率的影响. 结果表明聚铝表现出了更优越的参数值. 在凝聚段, 聚铝需要的高速混合时间为 15s, 而硫酸铝则为 30s 以上, 2 者对混合强度的要求为 $G = 300 \sim 1000s^{-1}$. 聚铝的絮凝反应时间为 5.0 min 以上, 硫酸铝为 7.5 min 以上, 而且搅拌强度范围平均 G 值 = $40 \sim 140s^{-1}$; 确定合适的总平均 GT 值 $\geq 2 \times 10^4$. 当应用聚铝为絮凝剂时, 可以采用两级或三级等速搅拌. 对于仿 MJ 型的释放器, 在实验的范围内释气压力为 $2.5 \sim 3.3 kg/cm^2$ 时, 5.0% ~ 8.3% 的回流比较合适. 气浮接触区的水力条件和停留时间对絮凝气浮的除浊效果有较大的影响.

关键词: 絮凝剂; 水力学参数; 絮凝-DAF

中图分类号: X506 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2001)01-05-0027

Effective Factors of Flocculation-DAF Pilot Process Treating Water with Low Temperature and Low Turbidity from Miyun Reservoir

Wang Yili¹, Tang Hongxiao¹, Song Qiaojian², Pang Houyi² (1. SKLEAC, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China E-mail: surface@mail.rcees.ac.cn; 2. No. 9 Water Plant of Beijing Municipal Water Supply Co.)

Abstract: The hydraulic parameters in coagulation, flocculation and flotation units of DAF pilot process were systematically investigated when employing flocculants AS and PAC respectively. In general, the available parameters for PAC are more favorable in DAF process. For PAC as a flocculant during DAF run, the favorable coagulation rapid mixing time is 15s, the flocculant mixing time is no less than 5 minutes. However for AS, the corresponding time values are greater than 30s and more than 7.5 minutes respectively. The available coagulation mixing intensity is $300 \sim 1000s^{-1}$. The available flocculation mixing intensity (average G) is $40 \sim 140s^{-1}$, and the GT (average) value is greater than 2×10^4 . Both equal-speed mixing and two or three stages mixing could provide slight better turbidity removal. For MJ model nozzle, the suitable recycle ratio is 5.0% ~ 8.3% at dispersed pressure of $2.5 \sim 3.3 kg \cdot cm^{-2}$. The detention time and hydraulic intensity in contact zone of DAF tank have important effects on DAF turbidity removal.

Key words: flocculant; hydraulic parameters; flocculation-DAF

目前, 低温低浊水库水的处理已成为给水处理领域中的热点、难点问题之一. 究其原因, 是由于原水中的颗粒数目很少, 而且主要以细而均匀的胶体颗粒为主, 其 Zeta 电位负值很高, 碰撞效率很低; 并且低温时, 水中溶解气体多, 加絮凝剂后形成密度较低的絮体, 有时大量气体吸附于絮体周围, 易于上浮^[1], 这样对于传统的絮凝-沉淀处理流程提出了一个很大的难

题. 絮凝-DAF 对凝聚絮凝反应后形成的絮体特性的要求和沉淀不同^[2]. 目前 DAF (dissolved air flotation) 工艺对絮体特性的要求方面尚有争议^[3~5].

基金项目: 国家“九五”科技攻关课题(96-909-03-02)

作者简介: 王毅力(1972~), 男, 博士生, 主要从事水处理科学与工程的研究.

收稿日期: 2000-05-18

本文比较不同种类的絮凝剂在凝聚、絮凝、气浮单元的适用条件差异,为探索合适的凝聚、絮凝、DAF 反应器提供一定实验基础.

1 实验装置和材料

北京市自来水公司第九水厂的水源采自密云水库,原水中藻类和 NOM 较少,碱度很高,溶解性气体含量高,属于水质较好.低温低浊低色的水库水.笔者等在第九水厂的实验基地中设计了絮凝-DAF 工艺中试装置,研究该工艺对此类水体的处理.在本实验过程中,原水的浊度变化范围 1.20 ~ 3.20 NTU,温度变化范围 8.4℃ ~ 14.8℃.

1.1 密云水库原水特征

水库原水水质特征见表 1.

表 1 密云水库原水水质特征(年统计值)

Table 1 Beijing Miyun Researvior raw water quality		
参数	范围	平均值
温度/℃	2.5 ~ 15.0	7.3
浊度/NTU	0.84 ~ 6.6	1.96
碱度(以 CaCO ₃ 计)/mg·L ⁻¹	114 ~ 146	132
pH	7.4 ~ 8.1	7.8
无机碳/mg·L ⁻¹	27.15 ~ 40.88	36.86
总有机碳/mg·L ⁻¹	1.05 ~ 4.48	2.92
总碳/mg·L ⁻¹	30.66 ~ 42.47	39.58
藻类浓度×10 ⁵ /个·L ⁻¹	0.94 ~ 21.0	7.47

1.2 实验材料和方法

实验所用絮凝剂为硫酸铝和聚铝类,具体参数如表 2.

表 2 絮凝剂操作参数

Table 2 Characteristic paramters of flocculants					
絮凝剂	名称	碱化度 B	Al_2O_3 含量	密度	备注
		/ %	/ %	/ $\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$	
AS	硫酸铝		11.60		淄博产
PACTL	液体聚铝	78.20	11.60	1.230	唐山产

1.3 絮凝-DAF 工艺流程

实验采用的絮凝-DAF 工艺系统的装置:混合池、絮凝池、气浮池为有机玻璃池体,采用机械搅拌,溶气系统包括不锈钢溶气罐和空压机,释气装置统为 MJ、仿 MJ 型释放器.采用 HACH 公司的 1720C 型低量程在线浊度仪进行进水和出水浊度的在线监测;投药泵采用

Cole-Parmer Instrument Co. 的 7523-37 型数字式变速蠕动泵(图 1).

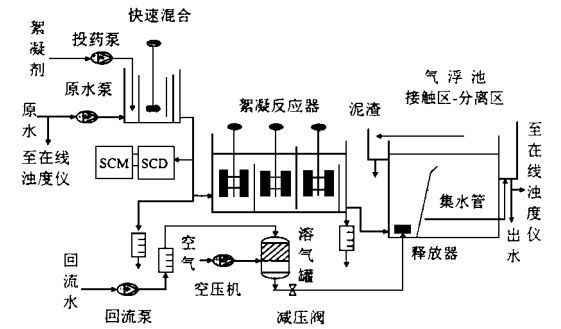


图 1 絮凝-DAF 工艺流程图

Fig.1 Sketch of flocculation-DAF pilot process

原水经进水管流入混合池进行投药快速混合,一部分再进入三级机械搅拌絮凝反应池,另一部分分流为流动电流供水或排入集水渠.絮凝反应后的水流入气浮池接触区与释放器释出的气泡混合反应,继而进入气浮池分离区,气泡与絮体的聚集体上浮为浮渣层,清水下流经集水管流出,其中原水和出水均分流至在线浊度仪监测浊度;其中溶气释气系统是将空气由空压机、自来水由离心泵同时打入溶气罐,然后经由管道至释放器减压释放,容器罐的压力大部分时间保持在 3.3kg/cm².

2 结果与讨论

2.1 凝聚反应的水力条件

图 2 是混合强度和时间对絮凝-DAF 除油效果的影响曲线,对于 PACTL 和 AS 2 种絮凝剂,随着混合强度的增大,除浊率总体上呈下降趋势,相应合适 G 值(速度梯度)为 300 ~ 1000s⁻¹;前者曲线规律明显,15s 的混合时间最佳,后者的混合时间至少要大于 30s;而且,随着混合强度的升高,以 PACTL 为絮凝剂时的除浊率的减少程度比以 AS 为絮凝剂时的小,可见聚铝比硫酸铝具有更广泛的凝聚水力条件;以上区别是由于 PACTL 和 AS 的絮凝机理不同所致.PACTL 是一种预聚合形态的絮凝剂,其结构相对较为稳定,而 AS 在水溶液中的水解形态强烈地依靠水质和混合条件^[6~7].

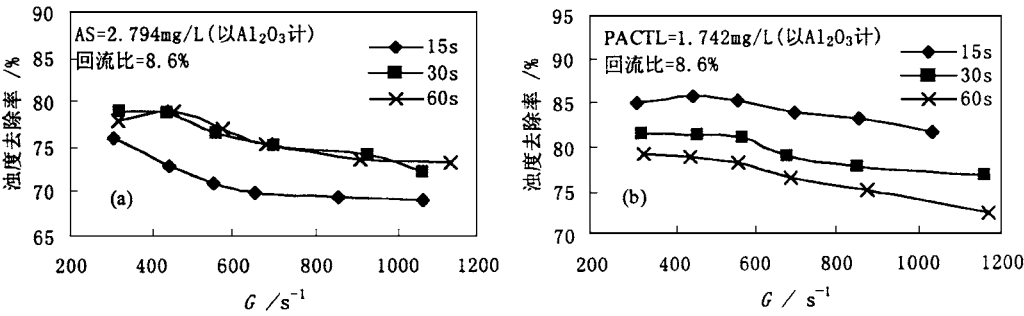


图 2 快速搅拌强度和停留时间对絮凝-DAF 工艺浊度去除率的影响

Fig.2 Effect of rapid mixing intensity and residence time on DAF turbidity removal efficiency

2.2 絮凝反应的水力条件

由图 3 可以看出,对于实验范围内的 4 种停留时间,浊度去除率随着递减搅拌强度的增大基本呈上升趋势;并且随着停留时间的减少,浊度去除率逐渐下降. PACTL、AS 为絮凝剂时,平均 G 值在 $40 \sim 140s^{-1}$ 范围内较为合适,而且,前者总停留时间不小于 $300s$ ($5.0 min$) 为佳,后者则不小于 $450s$ ($7.5 min$) 为佳. 图 4 中等速搅拌条件下影响曲线的变化趋势与图 3 中递降搅拌的相似,在实验范围内,平均 G 值大于 $40.0s^{-1}$ 较为合适. 由图 5 可以看出,随着总平均 GT 值的增加,浊度去除率总体上呈逐渐增加的趋势,而且总平均 GT 值 $\geq 2 \times 10^4$ 时浊

度去除率一般大于 70% . 无论递减还是等速搅拌,三级搅拌时气浮除浊率的效果较两级搅拌的稍好一些,唯有单级搅拌差了许多. 这表明,活塞流的絮凝反应器的结果优于 CSTR 型的絮凝反应器. 絮凝-DAF 工艺对絮凝段的搅拌强度比沉淀工艺 ($G = 20 \sim 40s^{-1}$)^[8] 的高,停留时间反而较其短,在高 G 值条件下搅拌较短时间,形成的絮体粒度应在数十微米级,即絮凝-DAF 工艺要求针尖大小的絮体^[4]. 凝聚絮凝反应的水力条件(搅拌方式、强度和时)对浊度去除率的影响没有絮凝的化学因素(絮凝剂种类、投药量、pH 等)显著,这也符合文献的结论^[9].

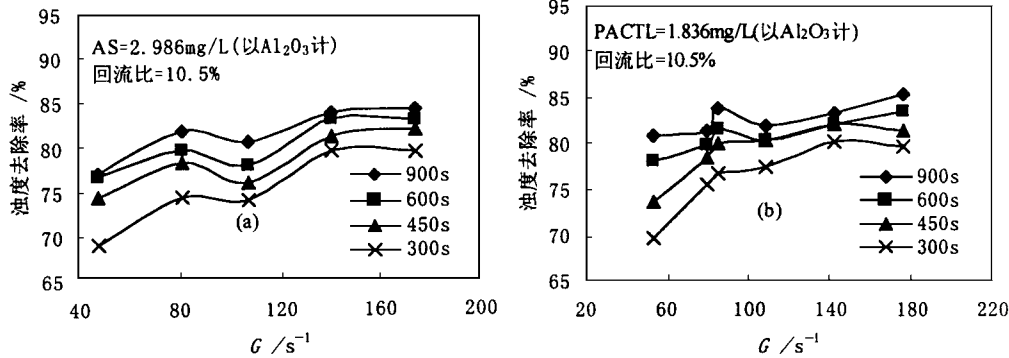


图 3 三级递减搅拌强度和停留时间对絮凝-DAF 工艺浊度去除率的影响

Fig.3 Effect of taper mixing intensity and residence time on DAF turbidity removal efficiency

2.3 DAF 压力、回流比对絮凝-DAF 工艺处理效果的影响

图 6 表明以 AS、PACTL 为絮凝剂时的压力和回流比对除浊效果的影响;在 3 种不同的

释气压力下,浊度去除率均随回流比而逐渐上升,在实验范围内 $5.0\% \sim 8.3\%$ 的回流比较为合适,而且释气压力升高也有助于除浊效果. 一般情况下:

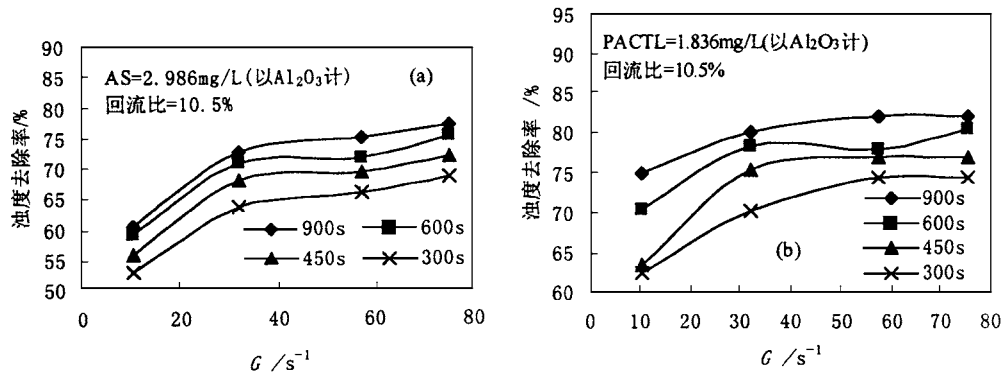


图 4 三级等速搅拌强度和停留时间对絮凝-DAF 工艺浊度去除率的影响

Fig.4 Effect of equal-speed mixing intensity and residence time on DAF turbidity removal efficiency

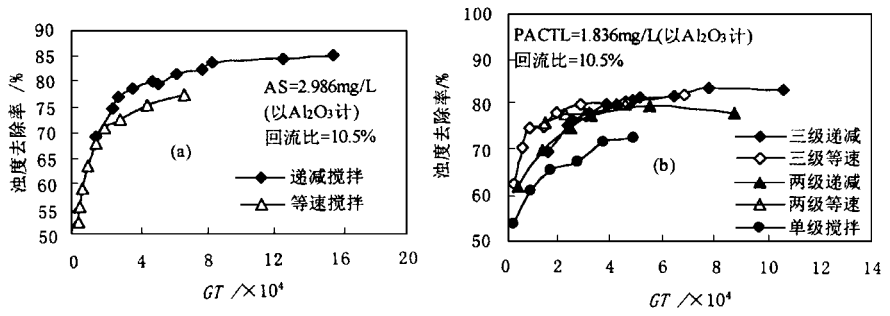


图 5 搅拌级数和方式对絮凝-DAF 工艺浊度去除率的影响

Fig.5 Effect of compartmentations and mixing means on PAF turbidity removal efficiency

$$R_{min} = 2 a_{g/l} / \Delta p \tag{1}$$

式中, R_{min} :最小气泡半径; $a_{g/l}$:气-液表面张力系数; Δp :表压差。

可以看出,压差与气泡粒径成反比,压力升高有利于形成较小的气泡,其粘附絮体的表面活性大。对低浊水释气压力为 $3.3\text{kg}/\text{cm}^2$ 时,回流比在 3 % 也可达到 56 % 的除浊效果。而且从图 6 可以看出,压力和回流比对以聚铝为絮凝剂时的处理效果影响较为显著, PAC 絮凝剂在特征上介于传统絮凝剂与阳离子型有机高分子絮凝剂之间,由于其形态对水解反应有一定的惰性,从而减缓水解和延迟沉淀并形成与铝盐水解聚合物不同电荷、溶解特性及结构的絮体颗粒^[6,7],因此可能使其絮体的疏水性强于 AS 的絮体颗粒,从而它与气泡的粘附能力较 AS 的絮体颗粒与气泡的粘附能力强,并且呈现与气泡较为敏感的粘附作用。

2.4 气浮池接触区和分离区水力负荷对絮凝-DAF 工艺处理效果的影响

从图 7 可以看出,对于 PACTL、AS 絮凝剂,接触室负荷或气浮池总负荷的变化对絮凝气浮除浊效果的影响趋势相近,均是在实验范围内随着负荷的增大而除浊率逐渐下降,其主要原因是气泡和絮体进行异相絮凝反应的时间减少和紊流扰动的不利影响。实验表明接触室负荷在 $20.00 \sim 60.00 \text{ m}^2 / (\text{m}^3 \cdot \text{h})$ 之间(停留时间 1.5 ~ 4.0 min)变化时,除浊率变化为 12 % ~ 20 % 左右。

3 结论

(1) 聚铝和传统的硫酸铝相比较,前者的高速混合时间为 15s,而后者则为 30s 以上,二者对混合强度的要求为 $G = 300 \sim 1000 \text{ s}^{-1}$ 。聚铝絮凝反应时间比硫酸铝稍短,前者为 5.0 min 以

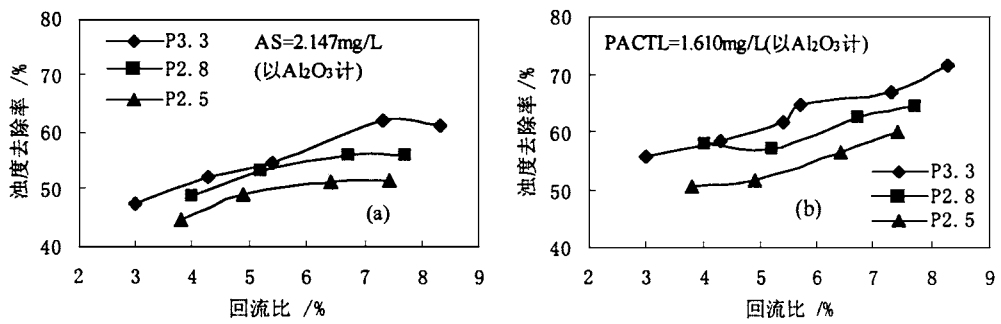


图 6 压力和回流比对 DAF 除浊效果的影响

Fig. 6 Effect of pressure and recycle ration on DAF turbidity removal efficiency

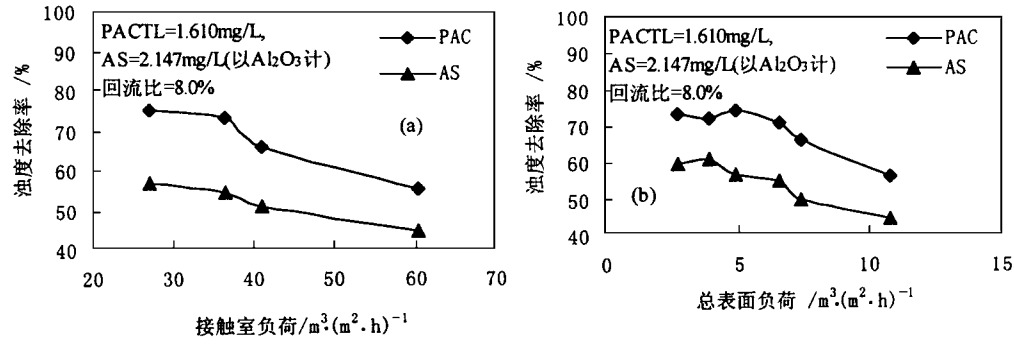


图 7 气浮池水力负荷对 DAF 除浊效果的影响

Fig. 7 Effect of hydraulic loads in flotation tank on DAF turbidity removal efficiency

上,后者为 7.5 min 以上,而且搅拌强度范围平均 $G = 40 \sim 140s^{-1}$;确定合适的总平均 GT 值 $\geq 2 \times 10^4$.絮凝-DAF 工艺要求搅拌强度 G 值比絮凝-沉淀工艺 ($20 \sim 40s^{-1}$) 高,而搅拌时间较后者短;当应用聚铝为絮凝剂时,可以采用两级或三级等速搅拌.对于仿 MJ 型的释放器,在实验的范围内释气压力为 $2.5 \sim 3.3kg/cm^2$ 时,5.0%~8.3%的回流比较为合适.

(2) PAC 是一种预聚合形态的絮凝剂,其结构相对较为稳定,在形态上对水解反应有一定的惰性,从而减缓水解和延迟沉淀并形成与铝盐聚合不同电荷、溶解特性及结构的絮体颗粒,因此可能使其絮体的疏水性强于 AS 的絮体颗粒,从而它与气泡的粘附能力较 AS 的絮体强,并且呈现与气泡较为敏感的粘附作用.

(3) 气浮接触区的水力条件和停留时间对絮凝气浮的除浊效果有较大影响.

参考文献:

- 1 霍明昕,刘馨远.低温低浊水的特性分析.中国给水排水,1998,14(6):33~34.
- 2 Edzwald J K. Principles and applications of dissolved air flotation. Water Sci. & Tech.,1995,31(3~4):1~24.
- 3 Vlasiki A, van Breen A Net al. The role of particle size and density in dissolved air flotation and sedimentation. Water Sci. & Tech.,1997,36(4):177~189.
- 4 Edzwald J K, Walsh J P et al. Flocculation and air requirements for dissolved air flotation. JAWWA,1992,84(3):92~100.
- 5 Gregory J. The density of particle aggregates. Water Sci. & Tech.,1997,36(4):1~13.
- 6 汤鸿霄,栾兆坤.聚合氯化铝与传统混凝剂的凝聚-絮凝行为差异.环境化学,1997,16(6):497~505.
- 7 栾兆坤,曲久辉,汤鸿霄.聚合铝的形态稳定性及其动电特性的研究.环境化学,1997,16(6):506~514.
- 8 Φdegarrd H. Optimization of flocculation/flotation in chemical wastewater treatment. Water Sci. & Tech.:1995,31(3~4):73~82.
- 9 Mattev T. Valade et al. Particle removal by flotation and filtration. JAWWA,1996,86(12):35~47.