

新型聚氯化铝混凝剂(ZR-PAC) 混凝性能及经济比较研究^{*}

宁寻安¹, 温 勇², 李润生³, 温琰茂¹

- (1. 中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州510275;
2. 国家环保总局华南环境科学研究所, 广东 广州510655;
3. 深圳市中润水工业技术发展有限公司, 广东 深圳 518057)

摘 要: 为了在给水处理、废水处理中, 对其高浊度水质进行有效的、低成本的处理, 自行研发了一系列复合无机高分子混凝剂, 聚氯化铝混凝剂(ZR-PAC系列产品)。ZR-PAC系列混凝剂与国内外部分品牌的聚铝混凝剂一起, 对自来水、水库水和江河水进行了混凝沉淀对比试验, 结果表明, ZR-PAC系列混凝剂对各水质净化后的剩余浊度, 均低于各试验混凝剂, 而且在价格上进行了试验药剂费用的比较, 其费用均低于各试验混凝剂。

关键词: 混凝剂; 聚氯化铝; 烧杯试验; 经济比较

中图分类号: O619 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) 05-0127-04

目前的无机混凝剂正处于由单一无机高分子混凝剂向复合无机高分子混凝剂过渡的发展时期。而复合无机高分子混凝剂又在向精细化方向发展, 即针对不同水质, 专门开发适用于该水质的专属混凝剂。由于无机高分子混凝剂较传统混凝剂能成倍提高混凝效能而价格相应较低, 因此已逐步成为主流药剂^[1,2]。

聚合氯化铝是我国最早开发成功并应用于生产的无机高分子混凝剂, 在我国, 有很多学者先后对聚合氯化铝的制备过程和混凝机理进行了广泛的探讨和研究^[3-5], 现在该药剂已经成为给水处理、废水处理领域应用最多的混凝剂。

随着各国改革开放进程的加快, 世界经济一体化和贸易自由化的浪潮正朝我们袭来, 资本、产品、市场、技术的国界正在淡化。世界知名的水处理剂大公司和五花八门的水处理剂正纷纷涌进中国的国门。为了知己知彼, 本文将重点介绍国际聚氯化铝首创企业—日本某公司、国际最大混凝剂生产企业—瑞典某公司的聚氯化铝产品, 与我们研究开发出的聚氯化铝混凝剂(ZR-PAC系列产品)、以及部分国内优秀产品在混凝性能及经济参数等方面的对比试验结果^[6]。

宁波市自来水总公司的自来水水源, 具有多水源、低浊、药耗大和药剂选择困难等特点, 用这类水源作对比试验, 既具有典型意义, 又不失普遍性。为了扩大比较范围, 还利用香港和深圳共用的水源——深圳水库源水和浊度较高的重庆长江水进

行了补充试验。并在试验数据的基础上分析比较了各种混凝剂的经济参数。

1 试验条件

1.1 试验水质 试验选用宁波、深圳和重庆等地的自来水源水。宁波市东钱湖水源水受到地面径流和污水的污染, 耗氧量、氨氮和色度指标较高。宁波市北渡水样直接取自水库, 该水质特点为耗氧量、氨氮、色度和浊度指标较低, 碱度也偏低。深圳水库水则色度高、浊度和碱度偏低。重庆长江源水的浊度、色度、碱度均较高。以上水样均属自来水厂中较难处理的水质。

1.2 试验用混凝剂 试验用混凝剂共15种, 其中日本和瑞典各一种, ZR-PAC系列4种, 聚硫酸铁(PFS)2种, 上海和吉林聚氯化铝(PAC)产品均达到国外先进产品标准指标, 有机复合PAC为江苏产品, 已通过江苏省科委鉴定。本试验选用的各种混凝剂主要指标见表1。

混凝剂的计量采用商品质量计, 聚氯化铝商品按 $w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 10\%$ 计, 聚硫酸铁(PFS)商品按 $w(\text{Fe})$ 为11%计, 单位为 g/t 。其余混凝剂试验均按有效成分 Al_2O_3 计, 单位为 mg/L 。

1.3 混凝沉淀条件 在快速搅拌下(转速300 r/min)投加混凝剂, 反应1 min后, 改变搅拌速度为180 r/min, 继续搅拌2 min, 改变搅拌速度为50 r/min, 继续搅拌3 min, 静沉15 min后于距上清液面约3 cm处吸取混凝沉淀后的净化水测定剩余浊度, 以评价混凝剂的混凝效果。

^{*} 收稿日期: 2004-06-07

作者简介: 宁寻安(1967年生), 男, 博士生, 讲师, 现在广东工业大学工作;

通讯联系人: 温琰茂; E-mail: ningxunan@tom.com

表 1 试验用国内外混凝剂主要指标

Tab 1 Major indication of different coagulants using for test

混凝剂	外观指标	$w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ %	$w(\text{Fe})$ %	盐基度 %	密度 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	售价 (元 $\cdot\text{t}^{-1}$)
日本×公司 PAC	淡黄粉末	27.6	/	60.9	/	5376
瑞典×公司 PAC	淡黄液体	16.6	/	44.*	1.355	2169
ZR-PAC W46A	微黄液体	12.0	/	65.3	1.276	1040
ZR-PAC W53	微黄液体	10.0	/	57.0	1.1	1100
ZR-PAC 宁 1	淡黄液体	12.0	/	66.4	1.284	1040
ZR-PAC TZ10、13	淡黄液体	12.0	/	83.0	1.297	900
ZR-PAC CR2	微黄液体	12.0	/	62.2	1.296	1040
上海 PAC	无色液体	17.5	/	47.0	1.368	1000
深圳 PAC	淡褐液体	12.0	/	83.0	1.285	1000
市售 PAC	淡褐液体	12.0	/	83.0	1.287	750
有机复合 PAC	淡黄液体	12.0	/	70.0	1.279	1500
吉林 PAC	无色液体	17.5	/	49.0	1.360	1000
重庆 PFS	深褐液体	/	11.5	12.0	1.356	700
重庆有机复合 PFS	深褐液体	/	11.5	12.0	1.342	1500
硫酸铝	淡黄液体	5.0	/	/	1.200	280

1.4 试验仪器

搅拌器：深圳中润公司智能型 ZR4 6 混凝搅拌器。

浊度计：美国产 HACH 浊度计。

2 混凝试验结果与分析

2.1 混凝试验结果 按照确定的混凝试验条件，加入不同种类的混凝剂，处理不同类型的水源水，得到的试验结果如图 1。

(1) 宁波东钱湖源水混凝试验

源水条件：水温为 25℃，浊度为 25.5 度，色度为 38 度，碱度为 20.36 mg/L，pH 为 7.1。试验结果见图 1 (a)。

(2) 宁波北渡水库源水混凝试验

源水条件：水温为 26℃，浊度为 8.1 度，色度为 15 度，碱度为 15.27 mg/L，pH 为 6.95。试验结果见图 1 (b)。

(3) 深圳水库源水混凝试验

源水条件：水温为 24℃，浊度为 6.4 度，色度为 11 度，碱度为 13.24 mg/L，pH 为 6.80。试验结果见图 1 (c)。

(4) 重庆长江源水混凝试验

源水条件：水温为 24℃，浊度为 497 度，色度为 46 度，碱度为 23.4 mg/L，pH 为 6.91。试验结果见图 1 (d)。

2.2 混凝试验结果分析 现将各种源水混凝试验结果总结分析如下：

(1) 在各种试验源水条件下，ZR-PAC 聚合氯化铝混凝剂净化水剩余浊度，在同等加药下，均低于

国内外比较的混凝剂，水质污染越重，差别越大。

(2) 国内普通聚合氯化铝产品，在同等投药量下对于宁波源水，净化水剩余浊度与国外混凝剂比相当或略高。

(3) 对于低碱度、低浊度源水（如北渡源水等），硫酸铝、国内普通 PAC 和瑞典 PAC，投加范围较窄。药剂稍加多后，即出现剩余浊度上升现象。与此相反，ZR-PAC 系列和日本 PAC 产品，剩余浊度随加药量增加而降低，未见剩余浊度随加药量上升情况。

(4) 深圳水库源水，ZR-PAC 系列混凝剂净化水剩余浊度，在同等加药量条件下，均低于比较的国内外混凝剂，有机复合的 PAC 略优于一般 PAC（深圳）和国外 PAC。

(5) 重庆长江源水，ZR-PAC 混凝剂净化水剩余浊度远远低于市售 PAC、PFS 和有机复合的 PAC 和 PFS 产品，有机复配的 PAC 和 PFS 与未复配的 PAC 和 PFS 比较效果相近或略优。

3 混凝试验药剂费用比较与分析

3.1 混凝试验药剂费用比较结果 使用各种药剂处理不同水源水，计算其最终浊度相同时的药剂用量，然后根据药剂价格求得处理每千吨水的药剂成本，并以此比较各种药剂的经济性能。

(1) 宁波源水混凝试验药剂费用比较结果。宁波源水混凝试验以最终浊度为 5 度时的药剂用量为准，宁波源水为东钱湖。混凝试验药剂费用比较结果见表 2。

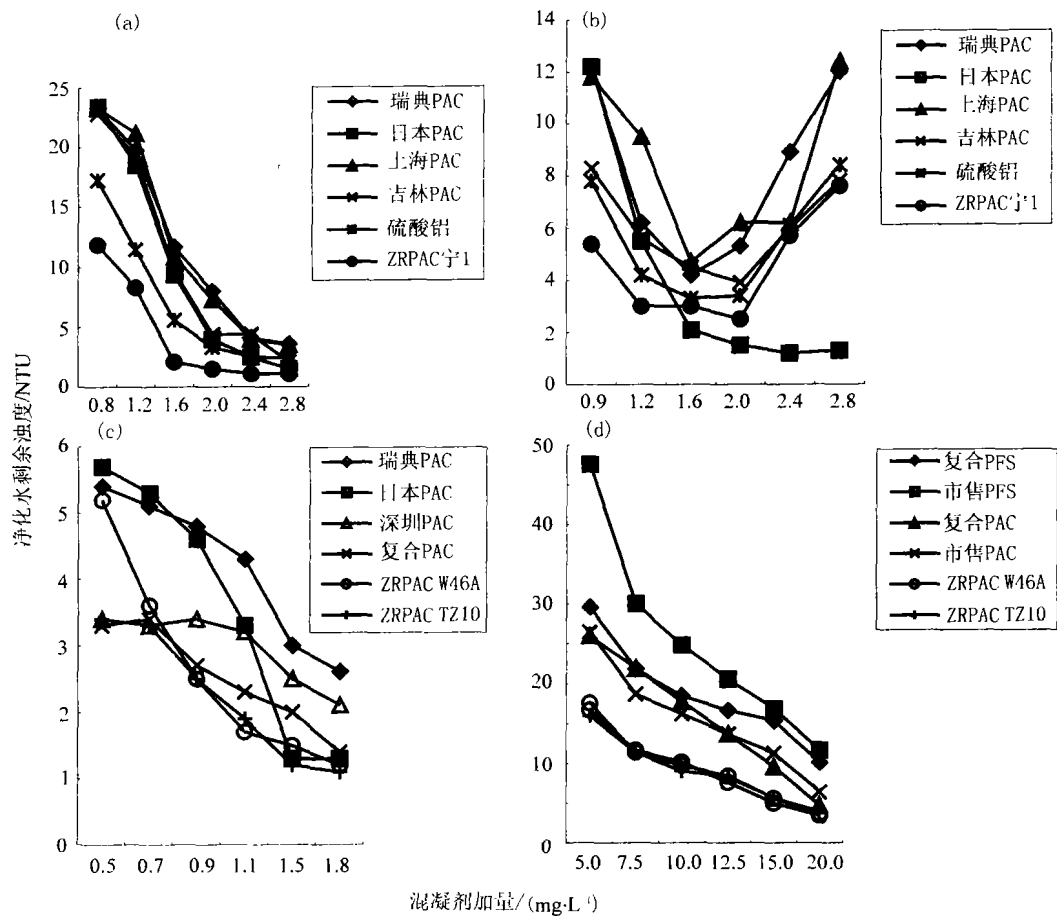


图 1 源水混凝试验结果

Fig. 1 Effect of different coagulant and water

(a) 宁波东钱湖; (b) 宁波北渡水库; (c) 深圳水库; (d) 重庆长江

表 2 宁波东钱湖源水混凝试验药剂费用比较

Tah 2 Comparison of coagulant cost
at Lake Dongqian, Ningbo City

项目	硫酸 铝	ZR 宁 1	ZR W53	ZR TZ13	深圳 PAC	日本 PAC	瑞典 PAC
加药量/(mg·L ⁻¹)	1.7	1.37	0.85	1.16	1.84	1.2	1.96
药剂费/(元·kt ⁻¹)	9.5	14.2	9.4	10.4	18.4	22.2	42.5

(2) 深圳源水混凝试验药剂费用比较结果。深圳源水混凝试验以最终浊度为 3 度时的药剂用量为准，深圳源水混凝试验药剂费用比较结果见表 3。

表 3 深圳源水混凝试验药剂费用比较

Tah 3 Comparison of coagulant cost at Shenzhen

项目	瑞典 PAC	日本 PAC	ZR W46A	ZR W53	ZR TZ10	复合 PAC	深圳 PAC
加药量/(mg·L ⁻¹)	1.5	1.13	0.8	0.82	0.77	0.81	1.16
药剂费/(元·kt ⁻¹)	32.5	21.6	8.3	9.0	6.9	12.2	11.6

果。重庆长江源水混凝试验以最终浊度为 10 度时的药剂用量为准，重庆长江源水混凝试验药剂费用比较结果见表 4。

表 4 重庆长江源水混凝试验药剂费用比较

Tah 4 Comparison of coagulant cost
at Yangzi River, Zhongqing City

项目	ZR CR2	ZR W46A	ZR W53	ZR TZ10	复合 PAC	复合 PFS	市售 PFS
加药量/(mg·L ⁻¹)	0.98	1.01	0.95	0.98	1.48	2.1	2.26
药剂费/(元·kt ⁻¹)	10.2	10.5	10.4	7.7	22.2	31.5	15.8

3.2 混凝试验药剂费用比较分析 现将各种源水混凝试验药剂费用比较结果总结分析如下：

(1) ZR-PAC 聚氯化铝投药量低于瑞典和日本 PAC。等效投药量比值为 1:1.3 ~ 2.3。瑞典和日本 PAC 产品售价远远高于 ZR-PAC，所以药剂费用也远远高于 ZR-PAC。

(2) ZR-PAC 处理宁波地区源水，加药量均低于硫酸铝。按有效成分氧化铝计的投药量比值为

1.1 ~3.5 倍, 按商品计的投药量比值为 1:3.2 ~7.0, 在宁波市自来水总公司各水厂采用 ZR-PAC 取代硫酸铝, 可提高净化水质, 并可降低药剂费用。对于宁波地区水质污染程度低, 碱度偏低的北渡等源水, ZR-PAC 的投药量仍低于硫酸铝, 但采用时应作具体经济比较。

国内普通 PAC 产品, 投药量与日本和瑞典 PAC 相当或略高, 但单价远远低于国内 PAC 产品, 所以净化水药剂费用低于国外产品。

国内普通 PAC 产品, 投药量高于 ZR-PAC, 但产品单价相差不大, 所以净化药剂费用高于 ZR-PAC。

(3) 净化深圳水库源水, 瑞典 PAC 加药量高于国内外各种比较药剂; 日本 PAC 加药量与深圳 PAC 相当, 但高于 (除瑞典外) 其他药剂。日本和瑞典 PAC 净化水药剂费用高于国内 PAC 较多, 缺乏竞争性。ZR-PAC 3 种药剂投加量和药剂费用均低于国内外各种比较的 PAC 产品。

(4) 在试验的重庆长江源水条件下, ZR-PAC 净化水加药量和药剂费用, 均低于比较的各种聚合氯化铝和聚硫酸铁 (PFS) 产品。聚合氯化铝加药量和药剂费用低于聚硫酸铁, 有机复合产品药剂费用高于未复合产品。

4 小 结

在试验源水条件下, ZR-PAC 聚合氯化铝净化后的剩余浊度, 低于国内外各种比较的混凝剂。ZR-PAC 等效投药量低于国内外各种比较好的混凝剂。ZR-PAC 净化水的药剂费用低于瑞典和日本 PAC,

也低于宁波市自来水总公司各水厂现用硫酸铝及国内各种比较的混凝剂。对各种水源, 特别是高浊度污染水有较好适应性。

国内 (深圳、上海、吉林等地) 普通 PAC 与日本 PAC 相比, 在外观、净化水剩余浊度和等效加药量等方面尚存在一定差距, 但效果与瑞典 PAC 产品基本相当。

国外 PAC 产品目前价格较高, 性能较国内普通 PAC 略优, 如在境外生产, 近期内对国内市场尚不构成较大冲击; ZR-PAC 在性能和价格上与国外产品相比较, 有很大优势, 具备较强的国际市场竞争能力。

参考文献:

- [1] 李润生, 李凯. 聚合氯化铝水解聚合形态与混凝效果研究 [J]. 中国给水排水, 2002, 18(10): 45—48.
- [2] 李润生, 李凯. 不同聚合氯化铝系列的水解聚合形态研究 [J]. 中国给水排水, 2003, 19(10): 55—57.
- [3] 高宝玉, 王燕. 聚合铝基复合絮凝剂的电荷特性及絮凝作用 [J]. 环境科学, 2003, 24(1): 103—106.
- [4] 谢磊, 胡勇有, 仲海涛. 聚合氯化铝与有机高分子复合絮凝剂形态分布研究 [J]. 环境科学与技术, 2003(3): 15—16, 22.
- [5] 李惠萍. 混凝剂聚合氯化铝与硫酸铝在水处理中的实验研究 [J]. 云南环境科学, 2003, 22(1): 101—102.
- [6] 侯曼玲, 卫艳新, 盛利元, 等. 无机高分子絮凝剂混凝吸附性能的比较研究 [J]. 工业水处理, 2003, 23(11): 47—49.

Study on Coagulation Capacity and Cost Analyses for Polyaluminium Chloride (ZR-PAC) as A New Type of Coagulant

NING Xu nan¹, WEN Yong², LI Run sheng³, WEN Yan mao¹

(1. School of Environment Sciences & Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. South China Institute of Environmental Sciences, Guangzhou 510655, China;

3. Shenzhen Zhong Run Water Industry & Technology Corp. Ltd., Shenzhen 518057, Guangdong, China)

Abstract: Series of multiple inorganic macromolecule coagulants and ZR-PAC are studied to treat waste water of high turbidity effectively at low cost. A contrast experiment was done to compare ZR-PAC with some other polyaluminium coagulants, which tested coagulation and deposition capacity in tap water, river water and reservoir river. The results show that, after disposal the turbidity of water treated by ZR-PAC was lower than that treated by other coagulants, and the cost of ZR-PAC is lower than those of any other coagulants.

Key words: coagulant; polymeric aluminum chloride; jar test; economical comparison