

# 聚磷氯化铝的制备新方法及其性能研究

郑怀礼, 余炳宏, 阳春, 马江雅, 范伟, 蒋贞贞, 杨志

(重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

**摘要:**以磷矿粉为原料,用超声波分散、酸浸,碱法制备复合聚磷氯化铝,并研究其优化制备条件和水处理混凝性能。研究内容包括:盐酸投加量、温度、加热时间、磷铝摩尔比对产物中氧化铝含量的影响,对产物进行红外分析、电镜分析,并将产物用于生活污水处理试验。研究结果显示:加盐酸量为48 mL,温度为100℃,加热时间为180 min,磷铝摩尔比为0.20时,产物中氧化铝含量最高,红外分析证明了产物的结构,电镜分析表明产物表面积较大,且凝聚态强,将试验制备的聚磷氯化铝用于处理生活污水时,当混凝剂投加量为0.32 mL/L, pH值范围处于7.5~10.0,快速搅拌时间为4.0 min时,COD去除率可达到73.1%,浊度去除率可达到99.0%。

**关键词:**水处理剂;磷矿粉;超声酸浸;聚磷氯化铝;混凝性能

**中图分类号:**X703.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2011)05-0125-07

## On Novel Synthetic Method and Performance of Polymeric Phosphate-aluminum Chloride (PPAC)

ZHENG Huai-li, YU Bing-hong, YANG Chun, MA Jiang-ya, FAN Wei, JIANG Zhen-zhen, YANG Zhi

(Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Econ-Environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

**Abstract:** The optimal preparation conditions and coagulation/flocculation performance of polymeric phosphate-aluminum chloride (PPAC) were measured. Some parameters such as acid dosage, temperature, reaction time and P/AL molar ratio were investigated. Also, infrared spectroscopy and scattering electron were used to characterize the structure of PPAC. In addition, the coagulation/flocculation process was carried out for wastewater treatment. It is shown that the maximum alumina content is achieved when acid dosage, temperature, time and P/AL molar ratio are 48 ml, 100 °C, 180 min and 0.2 respectively; infrared spectroscopy analysis fits well with the product' structure; scattering electron analysis suggests a large surface area and a strong condensed state for PPAC; the removal efficiency of 73.1% and 99.0% for COD and turbidity respectively are obtained when coagulant dosage, pH value and agitation speed are 0.32 ml/L, 7.5~10.0 and 4.0 min respectively.

**Key words:** water treatment chemicals; powdered rock phosphate; ultrasonic alkaline process; polymeric phosphate-aluminum chloride; coagulation/flocculation performance

中国目前工业固体废弃物每年的产生量约10亿t,堆存量超过67亿t,占用了大量土地,造成资源浪费的同时也对土壤、水域、大气都造成了污染,而其中的一些废弃物随着时间推移会对人类造成极大

收稿日期:2011-03-28

基金项目:国家水污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07424-004);重庆市工业发展资金(产研专项)项目(10-cxy-09);国家自然科学基金(51078366);重庆大学大学生科研训练计划

作者简介:郑怀礼(1957-),教授,博士生导师,主要从事水污染防治研究,(E-mail)zhl@cqu.edu.cn; ZHL6512@126.com。

危害。为了提高资源利用率,降低能源消耗,改善环境质量,工业固体废弃物的资源化已成为一个亟待解决的问题。磷矿粉作为工业生产中大量产生的尾料,具有原料易得、成本低廉的优点,其化学成分主要有:  $P_2O_5$ 、 $CaO$ 、 $MgO$ 、 $KO$  等,其中  $P_2O_5$  含量在  $10\% \sim 35\%$ <sup>[1-4]</sup>。如果能通过对其中的 P 元素提取、利用,来制备水处理剂就不但能暂时缓解社会快速发展对无机复合混凝剂的需求越来越大的压力,还能降低生产成本。因此将磷矿粉中所含的磷作为混凝剂聚磷氯化铝的合成原料不但可以变废为宝,实现对工业生产尾料磷矿粉的回收再利用,还可为工业废弃物的资源化,无害化处理开辟有益途径。

混凝法是最常用、最重要的水处理方法之一,混凝剂是混凝水处理方法的核心和关键。聚磷氯化铝是在聚合氯化铝制备基础上,利用磷酸根对  $Al(III)$  溶液水解—聚合过程的显著增聚作用,引入磷酸根离子而得到的阴离子高分子复合型絮凝剂<sup>[5-6]</sup>;其结构形态中,由于增加了新的比聚合氯化铝分子量更大的带磷酸根的多核络合物,能发挥更好的粘接架桥作用,从而促使胶体凝聚,同时还发生了物理化学变化,能中和胶体微粒及悬浮物表面的电荷,降低 Zeta 电位,使胶体粒子由原来的相斥变成相吸,破坏胶团稳定性,促使胶体微粒相互碰撞,从而形成絮状混凝沉淀使得水处理的效果优于普通的聚合氯化铝混凝剂,适用于生活污水与废水的净化处理,尤其是对高浊度污水处理效果更好,在使用中不会引起处理后水中含磷的增加<sup>[7-9]</sup>。

本文以磷矿粉作为聚磷氯化铝混凝剂中引入磷元素的原料,通过超声波分散、酸浸,碱法等步骤制备出水处理剂聚磷氯化铝。由于在 PAC 中引入  $PO_4^{3-}$  阴离子,使得 PAC 中产生了新一类高电荷带  $PO_4^{3-}$  的多核中间络合物,其不仅具有 PAC 的优点,而且会通过  $PO_4^{3-}$  与 PAC 发生共聚作用,在一定程度上改变了聚合物的结构及形态分布,使 PPAC 的电中和能力、卷扫网捕能力比 PAC 更强。本文从加盐酸量、磷铝摩尔比、聚合温度、聚合时间等方面研究其优化制备条件;通过混凝剂的投加量、水体的 pH 值以及搅拌时间等研究其混凝性能。水处理混凝试验研究表明,研究制备的聚磷氯化铝有良好的水处理效果<sup>[10-12]</sup>。

## 1 实验部分

### 1.1 主要试剂与仪器

实验材料:磷矿粉(其中  $P_2O_5$  含量  $28\%$ ),浓盐酸(分析纯,重庆川东化工集团),氢氧化铝(温州东

升化工试剂厂)。

实验仪器: DZF—6021 型真空干燥箱(上海精宏实验设备有限公司); YHCOD—100 型 COD 自动消解回流仪(江苏省金坛市正基仪器有限公司); SHZ—D(III)循环水式真空泵(上海精宏实验设备有限公司); KQ—250VDB 型双频数控超声波清洗器; TU—1901 双光束紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器责任有限公司); IRPrestige—21 型红外光谱仪(日本 SHIMADZU 公司); E201—C 型 pH 计(上海精宏实验设备有限公司); ZR4—6 型混凝实验搅拌机(深圳中润水工业技术发展有限公司); HACH2008 型多功能 COD 测定仪(美国 HACH)。

### 1.2 制备方法

1)称取 15 g 氢氧化铝,置于锥形瓶中,再加入一定量的浓盐酸,搅拌 5 min 后置于  $100^\circ C$  自动消解回流仪上加热合成。

2)将磷矿粉置于马弗炉中在  $400^\circ C$  时烘干 1 h 以上,取出冷却后,称取磷矿粉 45 g 于烧杯中,并量取浓盐酸 90 mL 倒入盛有磷矿粉的烧杯里,充分搅拌后,置于 KQ—250VDB 型双频数控超声波清洗器中,每隔 10 min 用玻璃棒搅拌数分钟,溶液变成粘稠的黄色液体,底部余留黑色沉淀不溶解为止。再用 SHZ—D(III)循环水式真空泵进行抽滤,取上清液即得到磷矿粉提取液。然后将该提取液按比例滴加到步骤 1)中进行合成反应的锥形瓶里,再加热聚合 3 h 后取出,熟化 2 d,取样滤去沉渣即为粘稠黄色的液体聚磷氯化铝。

### 1.3 红外光谱分析

将研究中用磷矿粉制得的聚磷氯化铝与用磷酸制备的聚磷氯化铝进行红外光谱分析比较。

### 1.4 电镜扫描分析

将制备获得的聚磷氯化铝在  $50\ \mu m$  与  $20\ \mu m$  下进行电镜扫描分析。

### 1.5 水处理混凝实验

水处理混凝实验的生活污水均用 1 000 mL 的烧杯盛装,并用 0.50 mol/L 盐酸或 0.50 mol/L 氢氧化钠调节生活污水的 pH 值。将生活污水在混凝试验搅拌仪上搅拌后,静置沉淀约 30 min,观察絮体形状及分离效果,然后取上清液进行浊度和 COD 含量的测定,并与工业产品聚合氯化铝的水处理效果进行比较。

## 2 结果与讨论

### 2.1 制备条件研究

2.1.1 混凝剂加酸量的影响 固定磷铝摩尔比(P/

Al)为0.20,聚合温度为100℃,加热聚合时间为3 h,进行加酸量优化实验。在5个实验样品中分别加入1:1盐酸38 mL、43 mL、48 mL、53 mL、58 mL,将制得的聚磷氯化铝均熟化48 h。实验结果见图1。

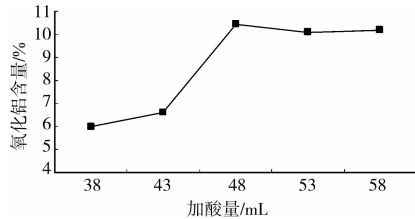


图1 盐酸对产物中氧化铝含量的影响

由图1可知:氧化铝溶出率在一定范围内随盐酸浓度增高而增大,当盐酸滴加量小于43 mL时,盐基度虽然相应上升,但AcO含量却较低,当盐酸滴加量高于48 mL时,氧化铝含量略有下降。这是因为加酸量低于48 mL时,聚合反应不完全,当加酸量超过48 mL时,氧化铝溶出量并未增加,但由于加入了更多的盐酸,反应体积增大,同时磷矿粉中的Na、K、Si等元素的溶出增多,使得氧化铝含量在溶液中的总体比例下降,导致氧化铝溶出率略有下降。而加酸量的增加不但增加了成本,而且使加热过程中盐酸的挥发损失多,对环境有不利影响。加酸量为48 mL的产物氧化铝含量和盐基度分别为10.40%,55.19%,均达到了GB 15892—2009中所规定的同类产品聚合氯化铝一等品标准。因此,结合不同投加量下的氧化铝含量及制备成本问题,确定优化加酸量为48 mL。

2.1.2 磷铝摩尔比的影响 固定加热时间为2 h,聚合温度为100℃,1:1盐酸滴加量为48 mL,研究不同P/Al对产物氧化铝含量的影响。P/Al摩尔比分别为0.05、0.10、0.20、0.30、0.40,制备出聚磷氯化铝后均熟化48 h。实验结果见图2。

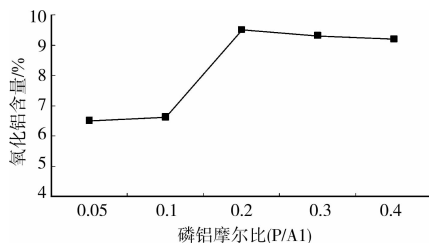


图2 不同磷铝摩尔比时产物中氧化铝含量

由图2可知:当磷铝摩尔比(P/Al)为0.20时氧化铝含量为9.32%。这是由于在磷铝摩尔比(P/Al)为0.20时的聚磷氯化铝比其他配比的产物能更好地增强PAC的配位络合能力,合成更多带电荷的多核中间络合物——聚磷氯化铝(PPAC),同时由于

$\text{PO}_4^{3-}$ 是高价阴离子,与 $\text{Al}^{3+}$ 亲和力较强,能置换聚合铝中的羟基,并能在铝原子之间形成多核络合物,对生活污水中带负电胶体的吸附架桥作用加强,从而比PAC能发挥更好的粘接架桥作用,促使胶体凝聚;另一方面,当磷铝摩尔比(P/Al)为0.20时zeta电位接近于0,电中和能力最强。此时由于 $\text{PO}_4^{3-}$ 增加,容易形成 $\text{Al-PO}_4^{3-}\text{-Al}$ 桥键, $\text{Al}^{3+}$ 多核聚合态增加,也就使PPAC的卷扫混凝、网捕能力和架桥吸附能力增强。此时其形态的主要特征是大分子、高电荷,总体形态分布比PAC更为理想<sup>[13]</sup>。

2.1.3 聚合时间的影响 固定P/Al摩尔比为0.20,聚合温度为100℃,1:1盐酸滴加量为48 mL,研究不同加热时间对产物的影响。加热时间分别为60 min、120 min、180 min、240 min、300 min,制得聚磷氯化铝后均放置熟化48 h。实验结果见图3。

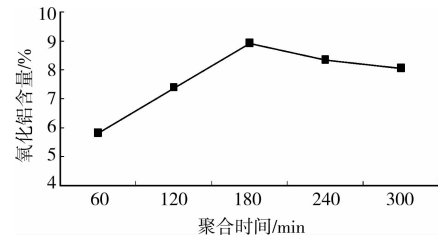


图3 不同聚合时间产物中氧化铝含量

由图3可知:加热180 min时的产物中氧化铝含量为8.92%,盐基度为52.62%,而加热时间为60、300、120、240 min时产物中氧化铝含量与加热180 min的产物中氧化铝含量相比均偏低。主要原因是:聚合时间低于180 min时,聚合时间过短,不能有效地使磷铝充分聚合生成聚磷氯化铝,而时间超过180 min后,氧化铝溶出量不再增加,同时磷矿粉中的Na、P、Si等元素的溶出增多,使得氧化铝含量在溶液中的总体比例下降,导致氧化铝溶出率略有下降。因此,确定优化聚合时间为180 min。

2.1.4 聚合温度的影响 固定P/Al摩尔比为0.20,加热180 min,1:1盐酸滴加量为48 mL,研究不同聚合温度对混凝剂的影响。聚合温度分别为80、90、100℃,制得聚磷氯化铝后均熟化48 h。实验结果见图4。

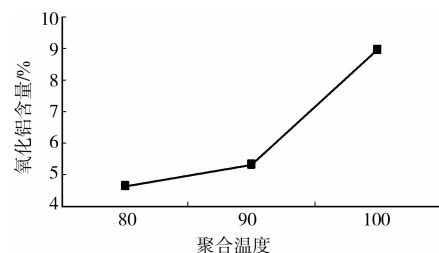


图4 不同聚合温度时产物中氧化铝含量

由图4可知:100℃条件下产物中氧化铝含量为8.95%,在90℃时产物中氧化铝含量为5.30%。在80℃时,加热3h左右,氢氧化铝粉末仍未完全溶解,此时测得的氧化铝含量为4.65%,这是由于聚合温度过低导致磷铝无法聚合,不能形成聚磷氯化铝。而在100℃时,溶解时间只需要30min。因此优化温度为100℃。

2.1.5 正交实验验证各因素之间的影响 根据单因素试验的结果,主要选择了加酸量,磷铝摩尔比(P/Al),聚合时间聚合温度4个条件做正交试验。照三因素三水平正交实验表( $L_{12}(4^3)$ )合成产品(表1)并熟化48h,用合成的产品处理用试剂纯度的硅藻土模拟废水,对投加聚磷氯化铝前后的浊度进行测量,通过浊度去除率来评价混凝效果。

表1 正交实验表

序号	A 加酸量/mL	B P/Al	C 聚合时间/min	D 聚合温度/℃	除浊率
1	1 (38 mL)	1 (0.1)	1 (120)	1 (80)	88.90
2	1	2 (0.2)	2 (180)	2 (90)	89.76
3	1	3 (0.3)	3 (240)	3 (100)	93.12
4	2 (43 mL)	1	2	3	96.34
5	2	2	3	1	87.91
6	2	3	1	2	91.10
7	3 (48 mL)	1	3	2	92.30
8	3	2	1	3	97.56
9	3	3	2	1	90.45
均值1	96.61	92.81	92.09	89.85	/
均值2	91.78	91.27	92.92	91.43	/
均值3	94.07	92.38	91.46	95.19	/
极差(R)	3.46	1.54	1.45	5.33	/

根据正交实验极差分析可以看出: $R_D > R_A > R_B > R_C$ ,因此在合成聚磷氯化铝的过程中,聚合温度是主要影响因素,其次是加酸量,然后是磷铝摩尔比,最后是聚合时间,而由此确定的最佳试验条件是A3B2C1D3,即:加酸量48mL, $n\text{PO}_4^{3-}/n\text{Al}^{3+}=0.2$ ,聚合时间120min,聚合温度100℃。

按此条件合成聚磷氯化铝,并处理用试剂纯度的硅藻土模拟废水。该模拟废水处理前浊度为142,处理后浊度降为22.02,浊度去除率为97.56%,水处理效果良好。

## 2.2 红外光谱分析

图5中a为用磷酸制备的聚磷氯化铝固体压片样品的红外光谱图,b为用磷矿粉制备的聚磷氯化铝固体压片样品的红外光谱图。图5中a显示的主要吸收波数为1200、1700、3220  $\mu\text{m}$ 的强吸收峰;1500、2200  $\mu\text{m}$ 的弱吸收峰。在3220  $\mu\text{m}$ 处为典型的羟基伸缩振动特征吸收峰,在1000  $\mu\text{m}$ 处有端位羟基平移震动吸收峰<sup>[14]</sup>。从图5中可以看出,a曲线在2000~3000  $\mu\text{m}$ 波长处的透光率要大大高于b曲线。红外光谱具有相同的光谱结构,表明聚合氯化铝和磷酸根复合后,PPAC中的水解络合铝离子与共存的磷酸根发生了反应生成Al- $\text{PO}_4$ 聚合

物,说明了利用超声酸浸法可以成功提取磷酸。

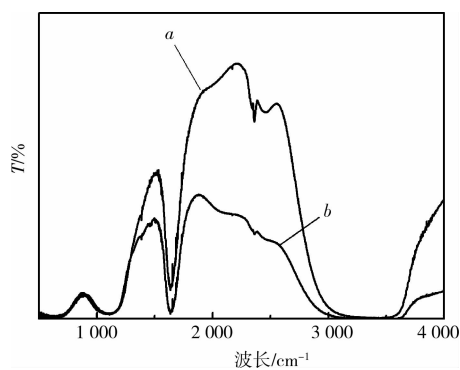


图5 本方法制得的PPAC与用磷酸制备的PPAC红外光谱分析比较

## 2.3 电镜扫描分析

图6为聚磷氯化铝在不同尺寸下的电镜照片,图6中A图与B图分别是50  $\mu\text{m}$ 与20  $\mu\text{m}$ 的电镜图。从图6中可以看出,混凝剂分子的表面积大,电镜图可以观察到混凝剂呈现很强的凝聚态,与实际显示的外观粘稠性相一致。电镜图上周围出现一定的裂痕,这是由于絮凝剂烘干的时间周期短,暴露空间吸水性过强所造成。

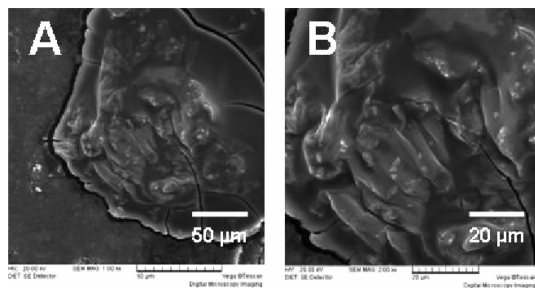


图 6 本方法制得的 PPAC 电镜图

## 2.4 水处理混凝实验

实验水样:重庆大学某宿舍生活污水(水质:浊

度为 131.7, COD 含量为 399, pH 为 8.5)。实验方法:取 1 000 mL 生活污水,加入一定量的混凝剂,快速(300 r/min)搅拌 1 min,中速(160 r/min)搅拌 3 min,慢速(40 r/min)搅拌 5 min,静置沉降 20 min 后取上清液,利用 TU—1901 双光束紫外分光光度计测定浊度, HACH2008 型多功能 COD 测定仪测定 COD 含量。水处理混凝实验使用的混凝剂为本研究优化制备条件下所制得的聚磷氯化铝。

2.4.1 混凝剂投加量的影响 根据聚磷氯化铝混凝剂投加量的不同,进行 8 个对比实验。实验结果见表 2、表 3。

表 2 不同投加量的本产物处理生活污水后浊度测定结果

投加量/(mL·L <sup>-1</sup> )	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36
处理后浊度	40.17	27.62	15.08	24.19	8.10	5.50	2.56	12.04

表 3 不同投加量的本产物处理生活污水后 COD 含量测定结果

投加量/(mL·L <sup>-1</sup> )	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36
处理后 COD 含量	162	205	190	154	166	148	111	136

由表 2、表 3 可见,在一定范围内,随着混凝剂投加量的增加,混凝效果呈增长趋势,研究制得的聚磷氯化铝优化投加量为 0.32 mL/L,此时的浊度去除率为 97.8%, COD 去除率为 72.1%。但是若投加量继续增加混凝效果有所下降。这是因为在一定范围内,当混凝剂用量增大时,其电中和能力和吸附作用增强,所以除浊率提高,但过量时,胶体电荷发

生较大逆变而出现反稳现象,因此混凝效果变差<sup>[15]</sup>。

2.4.2 pH 值的影响 用 0.50 mol/L 的 NaOH 溶液和 0.25 mol/L 的 HCl 溶液调节生活污水 pH 值,设计一个 pH 值 6.0~10.0 的实验序列,进行混凝实验。实验结果见表 4、表 5。

表 4 不同 pH 值下本产物处理生活污水后浊度测定结果

pH 值	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	9.0	9.5	10.0
处理后浊度	4.67	2.14	1.13	1.35	1.16	4.57	4.74	5.14

表 5 不同 pH 值下本产物处理生活污水后 COD 含量测定结果

pH 值	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	9.0	9.5	10.0
处理后 COD 含量	216	200	203	126	108	119	109	115

由表 4、表 5 可知,产品在 pH 值 6.0~10.0 内的浊度去除率在 97%~99% 之间,最佳浊度去除率为 99.0%,此时的废水 pH 值为 7.0。从混凝实验看出, pH 值对浊度去除率的影响并不明显。废水 COD 去除率在 pH 值 7.5、8.0、9.0、9.5、10.0 时分别为 66.7%、70.0%、67.1%、72.4%、69.2%,而 pH 值低于 7.5 时, COD 去除率并不理想,只有 45% 左右,且生成絮体速度慢,沉降速度也较慢。研究制得的聚磷氯化铝处理中性与碱性废水效果更好,这主要是由于 pH 值对水中胶体颗粒表面电荷的电位( $\zeta$ )及絮凝剂的水解产物产生影响,在此范围内聚磷氯化铝水解形成带电荷的含氢氧根的无机高分子离

子,而一般生活污水的胶体颗粒则带负电荷,两者发生强烈的电中和和桥链聚合作用。从而达到最佳处理效果<sup>[16]</sup>。

2.4.3 搅拌时间的影响 根据快速搅拌阶段的时间不同进行 5 组混凝实验。快速搅拌时间分别为 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 min,中速、慢速搅拌条件均不变。实验结果见表 6、表 7。

表 6 不同搅拌时间下本产物处理生活污水后浊度测定结果

搅拌时间/min	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
处理后浊度	2.56	2.47	5.64	1.58	2.02

表 7 不同搅拌时间下本产物处理生活污水后 COD 含量测定结果

搅拌时间/min	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
处理后 COD 含量	111	143	170	107	150

根据表 6、表 7 中的实验数据可得,快转阶段为 1.0~5.0 min 时,浊度去除率在 95.8%~98.9% 之间,快转阶段持续 4.0 min 浊度去除率最高,为 98.9%。通过对搅拌后混凝现象的观察发现:快转时间 3.0、4.0、5.0 min 的絮体比 1.0 和 2.0 min 的絮体生成速度和沉降速度更快,快转时间 4.0 min 的絮体比 5.0 min 的絮体更大。其主要原因是:快速搅拌时间过长会将已形成的絮体打碎,反之,快速

搅拌时间过短,混凝剂与胶体微粒不能充分混合,造成生活污水中的悬浮物吸附不完全。快转时间 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 min 所对应的 COD 去除率分别为 72.1%、69.9%、60.6%、73.1%、62.4% (1.0 min 时的 COD 去除率通过混凝试验 2.4.1 得到),因此综合考虑,快速搅拌时间在 4.0 min 效果相比其它时间来说更好。

2.4.4 研究制得的聚磷氯化铝与工业产品聚合氯化铝(PAC)混凝处理效果比较 通过工业产品聚合氯化铝投加量的不同,确定其优化投加量,并与研究制得的聚磷氯化铝比较混凝处理效果。实验结果见表 8、表 9、表 10、表 11。

表 8 不同投加量的工业产品聚合氯化铝处理生活污水后浊度测定结果

投加量/(mL·L <sup>-1</sup> )	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40	0.44
处理后浊度	19.21	13.86	22.77	9.62	8.30	3.50	2.12	2.14

表 9 不同投加量的工业产品聚合氯化铝处理生活污水后 COD 含量测定结果

投加量/(mL·L <sup>-1</sup> )	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40	0.44
处理后 COD 含量	176	215	188	169	152	146	115	118

表 10 不同 pH 值下工业产品聚合氯化铝处理生活污水浊度测定结果

pH 值	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	9.0	9.5	10.0
处理后浊度	6.05	6.68	3.13	1.31	1.24	3.67	6.74	6.84

表 11 不同 pH 值下工业产品聚合氯化铝处理生活污水 COD 含量测定结果

pH 值	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	9.0	9.5	10.0
处理后 COD 含量	196	176	162	140	114	116	120	118

由表 8、表 9、表 10、表 11 可知,在相同条件下处理相同的生活污水,试验合成的 PPAC 投加量比 PAC 更小就能达到更好的混凝效果。研究制备的聚磷氯化铝混凝剂的优化投加量为 0.32 mL/L,比工业产品聚合氯化铝混凝剂的优化投加量 0.40 mL/L 用量更少,且适用 pH 范围更宽。工业产品 PAC 处理生活污水后,虽产生絮体较大,但沉降速度较 PPAC 慢,静置沉淀 30 min 后仍有部分絮体处于悬浮状态。在一定范围内,2 种混凝剂对生活污水 COD 去除率都随着用量的增加而增大,PPAC 投加量在 0.32 mL/L 时处理生活污水的浊度和 COD 去除率最高。本文合成的 PPAC 在处理生活污水时的浊度和 COD 去除率均高于 PAC,且 pH 值适用范围更宽。因此本研究合成的 PPAC 对处理生活污水的处理效果优于工业产品 PAC。

上述 3 个混凝实验分别从混凝剂投加量、pH 值、搅拌时间 3 个方面对研究制得的聚磷氯化铝的应用进行考查、分析,从而得到产品的优化投加量为 0.32 mL/L,pH 值适用范围是 7.5~10.0,快速搅

拌时间持续 4.0 min 时混凝处理效果相对较好,研究制备的聚磷氯化铝混凝剂优化投加量低于工业产品聚合氯化铝混凝剂的优化投加量,且水处理效果更好,pH 值适用范围更宽。

### 3 结 论

1)以磷矿粉为原料,采用超声波分散、酸浸,碱法制备所得的聚磷氯化铝(PPAC),其氧化铝的含量在 8%~13%,盐基度含量为 50%~65%。通过红外光谱分析以及电镜摄像观察,发现在聚合氯化铝中加入磷离子后,通过磷、铝等元素的聚合,水处理剂分子量增大,在比 PAC 更小剂量时就能达到较好的水处理效果。

2)利用磷矿粉制备聚磷氯化铝易于操作,工艺流程简单,能变废为宝,为工业废弃物的资源化、无害化处理开辟有益途径。

3)利用磷矿粉所制备的聚磷氯化铝可用于给水和污水处理,对于高浊度污水处理的效果更为理想。通过混凝实验得出:本产品的优化投加量为 0.32 mL/L,

pH 值适用范围为 7.5~10.0,快速搅拌时间持续 4.0 min 时混凝处理效果相对较好,本研究制备的聚磷氯化铝混凝剂优化投加量低于工业产品聚合氯化铝混凝剂的优化投加量,且水处理效果更好,pH 值适用范围更宽。

#### 参考文献:

- [1] 陈静,何绪文. 聚合氯化铝絮凝剂深度除磷实验研究[J]. 环境工程学报, 2007, 1(8): 31-34.  
CHEN JING, HE XU-WEN. Experimental study on enhancing phosphorus removal by polyaluminum chloride[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2007, 1(8): 31-34.
- [2] 郑怀礼,张海彦,刘克万. 用于市政废水除磷的聚合氯化铝铁絮凝剂研究[J]. 水处理技术, 2006, 32(6): 34-36.  
ZHENG HUAI-LI, ZHANG HAI-YAN, LIU KE-WAN. Study of polyaluminum ferric chloride for phosphorus removal in municipal wastewater treatment[J]. Technology of Water Treatment, 2006, 32(6): 34-36.
- [3] LUIGI RIZZO, ANNAMARIA DI GENNARO, MARIALUISA GALLO, et al. Coagulation/Chlorination of surface water: a comparison between chitosan and metal salts[J]. Separation and Purification Technology, 2008, 62: 79-85.
- [4] 郑怀礼,谢礼国,高旭. 以 TEOS 为硅源的聚硅硫酸铁制备与除藻性能[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31(6): 103-106.  
ZHENG HUAI-LI, XIE LI-GUO, GAO XU. Preparation of poly-ferric silicate sulfate (PFSS) from tetraethylorthosilicate and its algae removal performance[J]. Journal of Civil, Architectural and Environment Engineering, 2009, 31(6): 103-106.
- [5] 郑怀礼,刘克万,龙腾锐. 聚合氯化铝铁(PAFC)絮凝剂污水除磷的研究[J]. 环境化学, 2005(6): 693-695.  
ZHENG HUAI-LI, LIU KE-WAN, LONG TENG-RUI. Study of polyaluminum ferric chloride for phosphorus removal in municipal wastewater treatment[J]. Environment Chemistry, 2005(6): 693-695.
- [6] WANG ZHONG-HUA, BIAN XIAO-QIN. Study on the synthesis and flocculation performance of polysilicate aluminium ferric[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2009(5): 11-12.
- [7] 张占梅. 郑怀礼,陈春艳. 高铁铝矾土制备聚合氯化铝铁及其在污水处理中的应用研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(6): 52-55.  
ZHANG ZHAN-MEI, ZHENG HUAI-LI, CHEN CHUN-YAN. Preparation and application of polymerized aluminum ferrum chloride with bauxite[J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2006, 7(6): 52-55.
- [8] ZHENG HUAI-LI, LIU KE-WAN. Progress in researches on inorganic polymer composite flocculants and developing trend [J]. Technology of Water Treatment, 2004, 30(6): 315-319.
- [9] LI FENG-TING, HE YAN, PAN HONG-JIE. Study of the influential factors of poly-aluminum chloride on the coagulation performance [J]. Industrial Water Treatment, 2008, 28(10): 40-43.
- [10] VOGELS R J M J, KLOPROGGE J T, GEUS J W. Homogeneous forced hydrolysis of aluminum through the thermal decomposition of urea [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2005, 285: 86-93.
- [11] SARAYU M, SHALINI S, JYOTI D. Response surface methodology for optimization of medium for decolorization of textile dye direct black 22 by a novel bacterial consortium [J]. Bioresource Technology, 2007, 99: 562-569.
- [12] 董审伟,李明玉,陈伟红. 聚合氯化铝的盐基度与混凝性能关系研究[J]. 工业水处理, 2007, 27(2): 53-56.  
DONG SHEN-WEI, LI MING-YU, CHEN WEI-HONG. Studies on the relation between coagulative property and basicity of polyaluminium chloride [J]. Industrial Water Treatment, 2007, 27(2): 53-56.
- [13] 周凤山,王世虎,苏金柱. 增效反应中聚合氯化铝红外结构特征的变化[J]. 光谱学与光谱分析, 2004, 24(5): 532-535.  
ZHOU FENG-SHAN, WANG SHI-HU, SU JING-ZHU. Structural characteristics of infrared spectra for polyaluminum chloride in enhanced reactions of modification [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2004, 24(5): 532-535.
- [14] 雷国元,魏晓金,李永成. 阴离子加聚对聚合氯化铝铁混凝除污性能的影响[J]. 武汉科技大学学报, 2005, 28(1): 38-42.  
LEI GUO-YUAN, WEI XIAO-JIN, LI YONG-CHENG. Influence of addition of anions to poly-aluminum-ferric chloride on its efficiency of coagulation [J]. Journal of Wuhan University of science and Technology, 2005, 28(1): 38-42.
- [15] 宁寻安,李润生,温琰茂. 聚合氯化铝中 Alb 和 Al13 的形态分布规律[J]. 环境化学, 2007, 26(3): 352-356.  
NING XUN-AN, LI RUN-SHENG, WEN YAN-MAO. The study of Alb & Al13 species distribution of polyaluminum chloride [J]. Environmental Chemistry, 2007, 26(3): 352-356.
- [16] ZHENG HUAI-LI, ZHU GUO-CHENG, JIANG SHAO-JIE, et al. Investigations of coagulation-flocculation process by performance optimization, model prediction and fractal structure of flocs [J]. Desalination, 2011, 269: 148-156.