

文章编号:1000-582X(2010)07-115-08

阳离子 P(AM-DAC) 污泥脱水剂的合成、表征与应用

郑怀礼^{1,2}, 唐 雪¹, 沈烈翔², 高 旭¹, 王 薇¹, 尤艳飞¹

(1. 重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045;

2. 浙江嘉善海峡净水灵化工有限公司, 浙江 嘉善 314100)

摘 要:采用无机引发剂和有机引发剂 A 作为复合引发剂, 通过水溶液聚合法合成了高分子量阳离子聚丙烯酰胺 P(AM-DAC)。优化合成条件为: 无机引发剂质量分数 0.15%、有机引发剂 A 质量分数 0.50%、单体总质量分数 30%、阳离子度 40% 和增溶剂 B 用量 0.20%。在该条件下, 所得产物分子量为 1.2×10^7 , 溶解时间为 3 h。IR 分析证实了产物结构。DTA-TGA 分析表明 P(AM-DAC) 在常温下不分解。浓缩污泥脱水实验结果表明: 阳离子度为 40%~80% 的自制 P(AM-DAC) 均能取得良好的污泥脱水效果, 滤液透光率大于 92%, 滤饼含水率低于 68%。当投加量为 1.47 kg/t dry sludge 时, 分子量为 1.2×10^7 , 阳离子度 40% 的 P(AM-DAC) 处理效果最好, 滤液透光率达 96.90%, 滤饼含水率达 64.50%。污泥脱水效果和处理成本优于国内污水处理厂一些常用絮凝剂。

关键词:阳离子聚丙烯酰胺; 污泥脱水; 共聚合; 絮凝剂

中图分类号: X703.1; TQ314.2

文献标志码: A

Synthesis, characterization and application of cationic P(AM-DMC) used for sludge dewatering

ZHENG Huai-li^{1,2}, TANG Xue¹, SHEN Lie-xiang², GAO Xu², WANG Wei¹, YOU Yan-fei¹

(1. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 2. Jiashan Haixia Jingshuiling Chemical Industry Co. Ltd, Jiashan 314100, Zhejiang, P. R. China)

Abstract: Cationic polyacrylamide (P(AM-DAC)) is synthesized by aqueous copolymerization using composite initiator system consists of redox initiator and organic initiator A. The optimum conditions used are as follows: the mass fraction of the redox initiator is 0.15%, the mass fraction of the organic initiator A is 0.50%, the gross mass fraction of monomer is 30%, the cationic degree is 40%, and the amount of solubilizer B is 0.20%. Under these conditions, the molecular weight of the product got is 1.2×10^7 , the dissolving time is 3 h. The structure is proved by IR analysis. DTA-TGA analysis shows that P(AM-DAC) can not be decomposed at room temperature. The results of concentrated sludge dewatering test show that good sludge dewatering results can be achieved using self-made P(AM-DAC) with 40%~80% cationic degree, the transmittance of filtrate is higher than 92%, and the water content ratio of filter cake is lower than 68%. The best sludge dewatering result can be achieved by using the self-made P(AM-DAC) with molecular weight 1.2×10^7 , cationic degree 40%, the optimum dosage 1.47 kg/t dry sludge, and the transmittance of filtrate is 96.90%, the water ratio of filter cake is 64.50%. The sludge dewatering performance is better than flocculants used in domestic sewage treatment works.

Key words: cationic polyacrylamide; sludge dewatering; copolymerization; flocculant

收稿日期: 2010-01-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(20777095); 重庆市重点科技攻关资助项目(CSTC, 2006AB7055); 浙江省科技资助项目(2009C33072)

作者简介: 郑怀礼(1957-), 男, 重庆大学教授, 博士生导师, 主要从事污水处理方向的研究, (Tel)023-65120827; (E-mail)zhenghl@cta.cq.cn.

近年来,随着中国城镇化进程的加快,污泥处理量迅速增加。污泥中含有大量水、有机物和有毒有害物质,散发恶臭,稳定性差,危害环境,急于处理^[1-5]。污泥颗粒细小,呈絮状及胶状结构,不易沉降、压实,故在进行过滤和机械压缩前,需用絮凝法进行预处理以改善其脱水性能,实现污泥处置的减容化^[6-11]。在絮凝处理过程中,絮凝剂种类、性质是絮凝处理效果好坏的关键因素。有了性能优越的絮凝剂,通过控制加药量及混合方法,加之合理的后续处理工艺,可获得良好的处理效果,因此絮凝剂研究是实现絮凝处理过程优化的重要途径^[12-13]。由于阳离子聚丙烯酰胺具有正电荷密度高、水溶性好、相对分子质量易控制、能强化固液分离过程、高效无毒和造价低廉等优点^[14-20],故目前在城镇污水处理厂得到广泛应用,但多采用进口产品,价格较高,且不能较好的适用于当地污泥的处理,因此结合我国城镇污泥的特点,研究和开发性能优异的国产污泥脱水絮凝剂,有利于降低处理成本和提高处理效果,具有良好的应用前景^[21]。

近年来,丙烯酰胺(AM)同甲基丙烯酰氧乙基三甲基氯化铵(DMC)共聚物絮凝剂的研究较多^[20,22]。丙烯酰氧乙基三甲基氯化铵(DAC)比DMC少了一个疏水的一CH₃支链,其与AM的共聚物具有更好的亲水性和柔顺性,有利于溶解性和絮凝性能的提高,日益受到重视,成为研究的热点^[21,23]。目前,国内外大多单独采用无机或有机引发剂合成阳离子聚丙烯酰胺。由于无机引发剂易发生链转移,有机引发剂分解温度高,使合成的产物分子量较低、稳定性和溶解性较差。采用无机引发剂和有机引发剂A作为复合引发剂,通过水溶液共聚法制备了丙烯酰胺和丙烯酰氧乙基三甲基氯化铵的共聚物P(AM-DAC),产物分子量高、溶解性好,对其进行IR和DTA-TGA表征,并将其用于实际浓缩污泥的脱水处理,对其污泥脱水絮凝性能进行了研究。

1 实验部分

1.1 试剂和仪器

丙烯酰胺(AM)(工业品);丙烯酰氧乙基三甲基氯化铵(DAC)水溶液,质量分数80%(工业品);无机引发剂;有机引发剂A;无水乙醇;丙酮,以上试剂均为分析纯,普通氮气。电热恒温水浴锅(DK-S22,上海精宏实验设备有限公司);真空干燥箱(DZF-6021,上海精宏实验设备有限公司);超级恒温水槽(DKB-501A,上海精宏实验设备有限公司);

增力电动搅拌机(JJ-1,江苏金坛市新航仪器有限公司);非稀释型乌氏粘度计($\Phi=0.5\text{ mm}$);TU-1810紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)。

1.2 合成方法

在三颈瓶内加入定量的AM、DAC和蒸馏水,搅拌均匀,通氮气一定时间,在30℃时加入定量的复合引发剂,继续通氮气一定时间,密闭聚合,反应5h后,取出胶体,用丙酮浸泡24h,再用无水乙醇浸泡24h,得白色块状固体,将其置于60℃下的真空干燥箱中,烘干粉碎,可得到粉状阳离子聚丙烯酰胺产物P(AM-DAC)。

1.3 产物特性粘数和溶解性的测定

按照GB 12005.1-89,用一点法在(30±0.05)℃,1 mol/L NaCl水溶液条件下,用乌氏粘度计测定其特性粘数。在30℃条件下,称取0.1g产品溶解于200 mL蒸馏水中,用产品全部溶解时所需要的时间来考察产物的溶解性。

1.4 产物结构的红外光谱表征

采用KBr压片法,用日本SHIMADZU公司的IRPrestige-21型红外光谱仪对所得产物的结构进行表征。

1.5 产物的DTA-TGA热分析

将汽提干燥后的P(AM-DAC)固体磨成粉末,放入加盖的氧化铝坩埚中,用日本岛津公司的DTG-60H差热/热重分析仪在氮气气氛下以10℃/min的升温速率从20℃升至600℃,进行DTA-TGA分析。

1.6 污泥脱水实验方法

将100 mL污泥加入到250 mL烧杯中,加入一定量的污泥脱水絮凝剂,用玻璃棒快搅15次,慢搅30次,倒入布氏漏斗,打开真空泵,在真空度 $5\times 10^4\text{ Pa}$ 下,抽滤,测定所得滤液的透光率和滤饼含水率。滤液的透光率用TU-1810紫外可见分光光度计在650 nm下测量。滤饼含水率为絮体经布氏漏斗抽滤后所得的滤饼,在105℃下烘干前后的失重百分率。

2 结果和讨论

2.1 无机引发剂质量分数对P(AM-DAC)分子量的影响

固定其它因素,研究无机引发剂质量分数对P(AM-DAC)分子量的影响,研究结果见图1。从图1知:随着无机引发剂质量分数的增加,P(AM-DAC)分子量先增大后减小。这是因为引发剂用量太少,

链反应难以进行,甚至导致笼蔽效应而损耗引发剂,不利于分子量的提高。引发剂用量太多,链反应过快导致体系温度骤升,聚合热来不及散出,易发生爆聚,使产物分子量和溶解性下降。当无机引发剂用量在0.15%附近时,可制得分子量高和溶解性好的P(AM-DAC)。故选择无机引发剂用量为0.15%为宜。

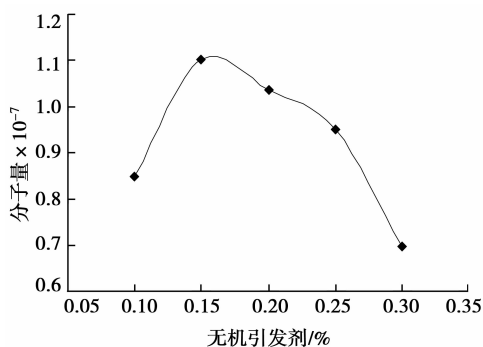


图1 无机引发剂质量分数对P(AM-DAC)分子量的影响

2.2 有机引发剂A质量分数对P(AM-DAC)分子量的影响

固定其它因素,研究有机引发剂A质量分数对P(AM-DAC)分子量的影响,研究结果见图2。从图2知:随着有机引发剂A用量的增加,P(AM-DAC)分子量先增大后减小。这是因为当引发剂的浓度较低时,聚合反应速率慢,活性自由基少,链增长不能顺利进行,导致产物分子量较低;随着引发剂的浓度增加,反应活性中心增加,聚合反应完全,相对分子质量增大,但当引发剂质量分数大于0.5%时,引发速率增加过快,导致升温速率过大,反应热不易散开,致使分子链断裂,产物分子量降低。故选择有机引发剂A的用量为0.5%为宜。

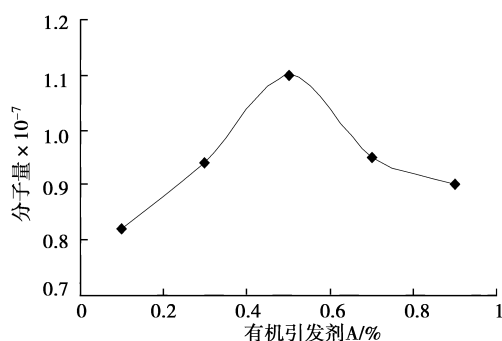


图2 有机引发剂A质量分数对P(AM-DAC)分子量的影响

2.3 单体总质量分数对P(AM-DAC)分子量的影响

固定其它因素,研究单体总质量分数对P(AM-DAC)分子量的影响,研究结果见图3。从图3知:随着单体总质量分数的增加,分子量先增大后减小。当单体总质量分数在25%~30%之间时,制得了分子量高、溶解性好的P(AM-DAC)。这是因为单体浓度过低时,单体之间接触和碰撞的几率小,不利于分子链的增长,且反应速率慢,聚合不完全。单体浓度过高,聚合放出的热量不能及时散开,聚合体系内温度升高,聚合速度加快,同时链终止速度和链转移速度加快,抑制分子量的进一步增长,使产物相对分子质量降低,溶解性变差。由于高固含量的产品有利于降低产品干燥等后续处理成本,故选择单体质量分数为30%为宜。

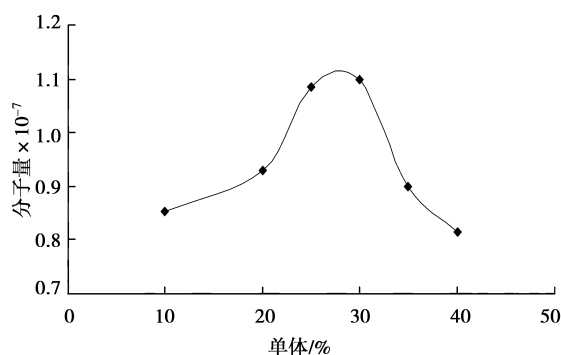


图3 单体总质量分数对P(AM-DAC)分子量的影响

2.4 阳离子度对P(AM-DAC)分子量的影响

固定其它因素,研究阳离子度(即阳离子单体占总单体的摩尔百分比)对P(AM-DAC)分子量的影响,研究结果见图4。从图4知:随着阳离子度的增加,分子量先增大后减小。当阳离子度在30%~

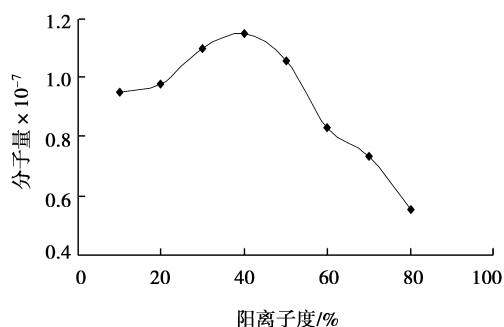


图4 阳离子度对P(AM-DAC)分子量的影响

50%之间时,产物分子量均超过了1 000万;当阳离子度在60%~80%之间时,合成的产物分子量仍较高,介于550万到850万之间;当阳离子度为40%时,P(AM-DAC)的分子量最高,达到了1150万。这是因为AM和DAC的竞聚率分别为 $r_{AM} = 2.2864$ 、 $r_{DAC} = 0.3835$ ^[24],故丙烯酰胺的活性大于阳离子单体,在引发反应中释放的自由基较阳离子多,其推动反应进行的作用比阳离子大。阳离子度较低时,活性较高的丙烯酰胺的含量较高,导致聚合反应速率加快,使体系产生大量的反应热,造成聚合体系温度升高,易产生凝胶、交联效应,使产物分子量和溶解性降低;阳离子度较高时,活性较低的DAC含量增多,增加了反应的诱导期和到达聚合反应最高温度时间,使单体聚合不完全,降低了产物的分子量。故选择阳离子度为40%为宜。

2.5 增溶剂 B 用量对分子量的影响

固定其它因素,研究了增溶剂 B 的用量对 P(AM-DAC)分子量的影响,研究结果见图 5。从图 5 知:随着增溶剂 B 用量的增加,P(AM-DAC)的分子量先增大后减小。这是因为当增溶剂 B 用量较少时,增溶剂 B 可作为辅助还原剂,参与氧化还原过程,有利于动力学链长增长,从而提高产品分子量。当增溶剂 B 用量过多,增加了链转移的几率,不利于分子量的提高。

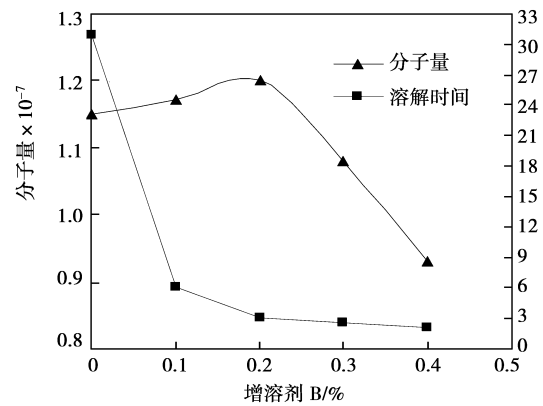


图 5 增溶剂 B 用量对 P(AM-DAC)分子量和溶解性的影响

随着增溶剂 B 用量的增加,P(AM-DAC)的溶解时间减小。这是因为增溶剂 B 中的活泼酰胺基团与大分子中的酰胺基团发生反应,可有效防止聚合物分子内发生交联,提高产物水溶性^[21]。与不加增溶剂 B 相比,当增溶剂 B 用量为 0.2%时,溶解时间从 31 h 迅速减少到 3 h;继续增加增溶剂 B 用量,溶解时间变化不大;可见添加增溶剂 B 有利于聚合产物溶解性的改善。从产物的分子量和溶解时间综合考虑,选择增溶剂 B 用量为 0.2%为宜。

3 结构表征

3.1 P(AM-DAC)的 IR 分析

选用阳离子度为 40%的 P(AM-DAC)产品做红外光谱扫描,得到共聚物 P(AM-DAC)的红外光谱图,如图 6 所示:

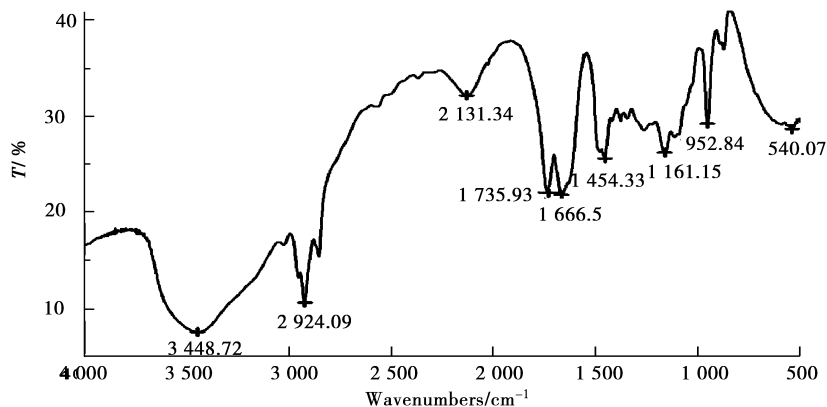


图 6 P(AM-DAC)的红外光谱图

从图 6 知,3 448.72 cm^{-1} 处为 $-\text{NH}_2$ 的伸缩性振动吸收峰,1 666.50 cm^{-1} 处为 $-\text{CONH}_2$ 的特征吸收峰;2 924.09 cm^{-1} 处为 $-\text{CH}_3$ 和 $-\text{CH}_2$ 的非对称吸收峰;1 735.93 cm^{-1} 处为 $-\text{COOCH}_2-$ 中 C=

O 的伸缩振动吸收峰,1 611.15 cm^{-1} 处为 $-\text{COOCH}_2-$ 中 C—O—C 的不对称伸缩振动吸收峰;1 454.33 cm^{-1} 处为 $-\text{CH}_2-\text{N}+(\text{CH}_3)_3$ 亚甲基的弯曲振动吸收峰,952.84 cm^{-1} 处为季铵基的吸收

峰,IR分析结果表明所得产物确实是AM和DAC的共聚产物P(AM-DAC)。同时对比波数 3448.72 cm^{-1} , 1666.50 cm^{-1} 和 1735.93 cm^{-1} , 952.84 cm^{-1} 处吸收峰面积的大小,可以定性地判定酰胺基的含量远大于酯基和季铵基的含量,与P(AM-DAC)的阳离子度参数大致相符。

3.2 P(AM-DAC)的DTA-TGA分析

从图7知:当温度升高至 $261.09\text{ }^{\circ}\text{C}$,出现第1次失重,开始有化学分解反应发生,主要是酰胺基的亚胺反应及季铵基上的甲基脱离,同时脱去氯化氢^[12],试样迅速失重 48.25% 。温度继续升高至 $442.44\text{ }^{\circ}\text{C}$,出现第2次明显的失重,聚合物主链开始发生热降解,试样迅速失重 38.28% 。DTA-TGA曲线表明,常温下P(AM-DAC)聚合物是稳定可靠的,不会发生分解。

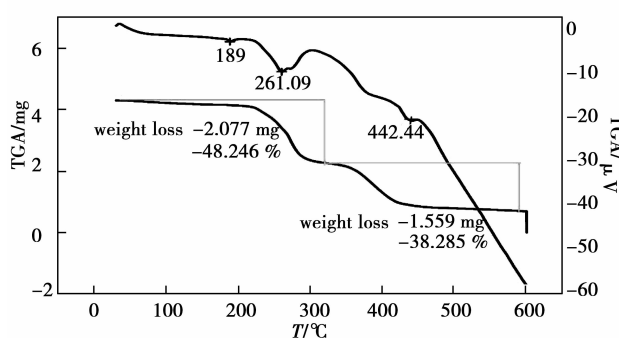


图7 P(AM-DAC)的TGA-DTA图

4 P(AM-DAC)在城市污水处理厂浓缩污泥脱水处理中的应用

用自制的P(AM-DAC)进行污泥脱水试验,研究阳离子度和投加量对絮凝性能的影响,并与国内污水处理厂常用絮凝剂进行比较。试验用絮凝剂水溶液质量分数均为 0.5% ,试验用污泥为取自重庆市某污水处理厂重力浓缩池的活性污泥,黑色、恶臭且颗粒细致,含水率为 95% ,密度 1.02 kg/L ,透光率 70.1% ,pH为7。

4.1 P(AM-DAC)阳离子度对污泥脱水性能的影响

用自制的阳离子度为 $10\% \sim 80\%$ 的P(AM-DAC)水溶液进行污泥脱水实验,投加量为 $1.96\text{ kg/t dry sludge}$,滤液透光率、滤饼含水率的变化见图8所示。从图8知,随着阳离子度的增加,滤液透光率先增大后减小,滤饼含水率先减小后增大。

这是因为随着阳离子度的增大,一方面,聚合物链间静电斥力增强,高分子链变得更加伸展,有利于

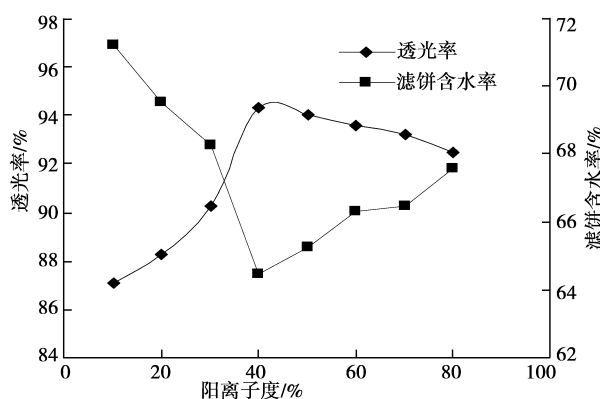


图8 P(AM-DAC)阳离子度对污泥脱水性能的影响

架桥效应;另一方面,与带负电荷的污泥颗粒之间的电中和作用得到加强,使带负电的颗粒脱稳,容易相互聚集而絮凝沉降。当阳离子度过大,P(AM-DAC)分子链上阳离子基团过多,过剩的正电荷会使颗粒表面电性反转,增大颗粒间斥力,不利于絮凝^[20]。当阳离子度为 40% 时,絮凝效果最好。与阳离子度 40% 的产品相比,阳离子度 $50\% \sim 80\%$ 的P(AM-DAC)污泥脱水效果略有下降,滤液透光率均大于 92% ,滤饼含水率均低于 68% ,可达到实际应用的要求。

4.2 自制P(AM-DAC)与国内污水处理厂常用絮凝剂污泥脱水性能的比较

用自制P(AM-DAC)(分子量 1200 万)与四种国内污水处理厂常用絮凝剂(日本1#,分子量 300 万 ;日本2#,分子量 400 万 ;浙江,分子量 390 万 ;江苏,分子量 220 万)的水溶液进行污泥脱水对比实验,质量分数均为 0.5% ,滤液透光率、滤饼含水率的变化见图9所示。

从图9知,随着投加量的增大,透光率先增大后减小,滤饼含水率则先减小后增大。投加量过少,吸附架桥和电中和作用较弱,形成的絮体小而松散,极易破碎,不足以改善污泥的脱水性能;投加量过大,一方面,污泥颗粒因吸附了聚合物而带上正电荷,胶体颗粒因电荷排斥而重新分散稳定,导致处理效果下降^[20]。另一方面,由于聚电解质的大分子结构,使污泥絮体结构较疏松,刚性较强,絮体水分难以脱离,不利于污泥脱水。自制P(AM-DAC)投加量在 $1.47\text{ kg/t dry sludge}$ 时污泥脱水效果最好,滤液透光率和滤饼含水率分别为 96.90% 、 64.50% 。当投加量为 $1.57\text{ kg/t dry sludge}$ 时,滤液和絮体明显变粘,用玻璃棒可拉起细丝,说明絮凝剂已经过量了,因为污泥粘度增加会加强污泥与滤布的粘连,影响

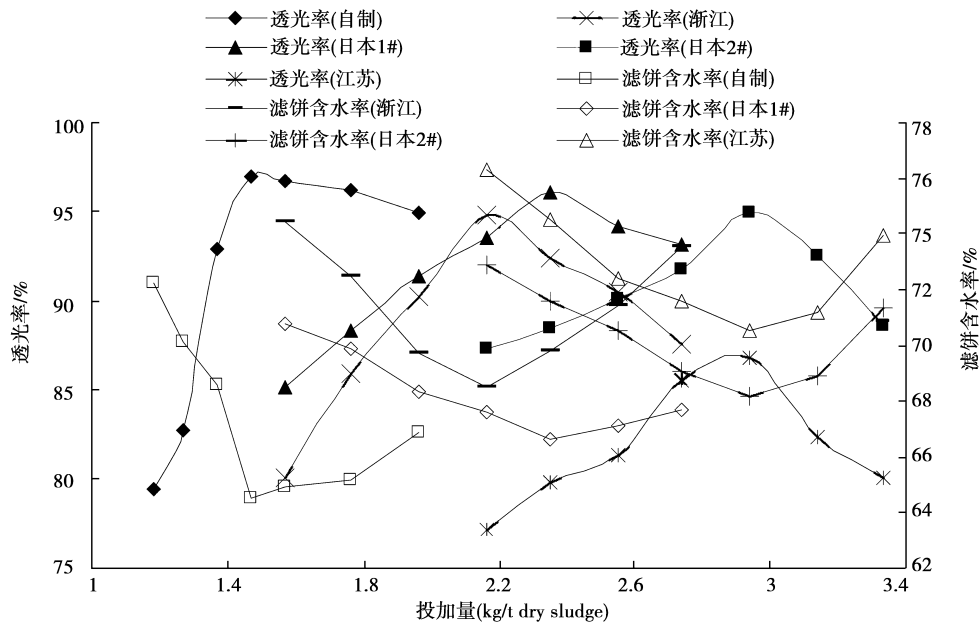


图 9 自制 P(AM-DAC)与国内污水处理厂常用絮凝剂污泥脱水性能的比较

泥饼的剥离性能^[25],所以絮凝剂用量过大,既使污泥脱水性能降低,还增加经济成本,也不利于实际应用。日本 1#、日本 2#、浙江和江苏的产品优化投加量分别为 2.35 kg/t dry sludge、2.94 kg/t dry sludge、2.35 kg/t dry sludge 和 2.94 kg/t dry sludge;滤液透光率分别为 96.10%、94.90%、94.80%和 86.80%;滤饼含水率分别为 66.63%、68.18%、68.50%和 70.50%。

4.3 自制 P(AM-DAC)与国内污水处理厂常用污泥脱水絮凝剂处理成本的比较

由图 9 知,自制 P(AM-DAC)、日本 1#、日本 2#、浙江和江苏产品优化投加量分别为 1.47 kg/t dry sludge、2.35 kg/t dry sludge、2.94 kg/t dry sludge、2.35 kg/t dry sludge 和 2.94 kg/t dry sludge。自制 P(AM-DAC)、日本 1#、日本 2#、浙江和江苏产品的价格分别为 24000 元/吨、37800 元/吨、36000 元/吨、36000 元/吨和 32000 元/吨。则自制 P(AM-DAC)、日本 1#、日本 2#、浙江和江苏产品的处理成本分别为 35.28 元/吨干污泥、88.83 元/吨干污泥、105.84 元/吨干污泥、84.60 元/吨干污泥和 94.08 元/吨干污泥。可见,自制 P(AM-DAC)的污泥脱水效果和成本均优于国内污水处理厂常用污泥脱水絮凝剂。

5 结论

1)用无机引发剂和有机引发剂 A 作为复合引发剂,通过水溶液聚合合成了高分子量阳离子聚丙烯酰胺 P(AM-DAC)。

优化合成条件为:无机引发剂总质量分数 0.15%,有机引发剂 A 质量分数 0.5%,单体总质量分数 30%,阳离子度 40%,增溶剂 B 用量 0.2%。在该条件下,合成的 P(AM-DAC)的分子量为 1200 万,溶解时间为 3 h。IR 分析证明所得产物确实是 AM 和 DAC 的共聚产物。TGA-DTA 分析表明:聚合物在 261.09 °C 以上发生热分解,且 P(AM-DAC)聚合物在常温下是稳定可靠的,不会分解。

2)污泥脱水实验结果表明:自制的 P(AM-DAC)分子量高,阳离子度可调,阳离子度为 40%~80%的产品均能取得良好的污泥脱水处理效果,滤液透光率均大于 92%,滤饼含水率均低于 68%。优化絮凝条件为:分子量为 1200 万,阳离子度 40%,投加量 1.47 kg/t dry sludge。将自制 P(AM-DAC)与国内污水处理厂常用絮凝剂进行了污泥脱水对比实验,优化投加量分别为 1.47 kg/t dry sludge、2.35 kg/t dry sludge、2.94 kg/t dry sludge、2.35 kg/t dry sludge 和 2.94 kg/t dry sludge;滤液透光率分别为 96.90%、96.10%、94.90%、94.80%和 86.80%;滤饼含水率分别为 64.50%、66.63%、68.18%、68.50%和 70.5%;处理成本分别为 35.28 元/吨干污泥、88.83 元/吨干污泥、105.84 元/吨干污泥、84.60 元/吨干污泥和 94.08 元/吨干污泥。可见,自制 P(AM-DAC)的污泥脱水效果和成本均优于国内污水处理厂常用污泥脱水絮凝剂。

参考文献:

- [1] 方俊华,周健,唐德昕,等. 中国小城镇污泥资源化方案决策方法的探讨[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2007,30(2):75-80.
FANG JUN-HUA, ZHOU JIAN, TANG DE-XIN, et al. Decision on the program for chinese little towns' sludge utilization[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2007,30(2):75-80.
- [2] 罗固源,韦玮,许晓毅,等. 小城镇水厂污泥处置及资源化方向分析[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2005,28(9):79-82.
LUO GU-YUAN, WEI WEI, XU XIAO-YI, et al. Analysis of waterworks sludge disposal and reclamation for small town[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2005, 28(9):79-82.
- [3] UGGETTI E, LLORENS E, PEDESCOLL A, et al. Sludge dewatering and stabilization in drying reed beds; characterization of three full-scale systems in Catalonia, Spain[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(17): 3882-3890.
- [4] ZHANG S H, ZHENG P, HUA Y M. Nitrogen removal from sludge dewatering effluent through anaerobic ammonia oxidation process [J]. Journal of Environmental Sciences,2005,17(3): 1030-1033.
- [5] NORTHYCOTTA K A, SNAPEB I, SCALES P J, et al. Dewatering behaviour of water treatment sludges associated with contaminated site remediation in Antarctica[J]. Chemical Engineering Science, 2005,60(24):6835-6843.
- [6] 何强,邹建,黄明. 三峡库区污水处理厂污泥处置现状研究[J]. 重庆建筑大学学报,2007,29(3):1-4.
HE QIANG, ZHOU JIAN, HUANG MIN. Existing situation on disposal of sludge from wastewater treatment plant in Three-Gorges Reservoir area [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2007, 29(3): 1-4.
- [7] OHM T I, CHAE J S, KIM J E, et al. A study on the dewatering of industrial waste sludge by fry-drying technology[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 168(1): 445-450.
- [8] STOLL M S, SIEVERS M, SCHROEADER C, et al. Aggregate characterization by using the Flock Former system to improve sludge dewatering[J]. Water Science and Technology, 2009,59(10):2009-2015.
- [9] YOICHI Y. Water supply sludge treatment in Japan [J]. Water,2005,21(12):26-29.
- [10] ORMECI B, AHMAD A. Measurement of additional shear during sludge conditioning and dewatering [J]. Water Research, 2009, 43(13): 3249-3260.
- [11] 施周,谢敏. 混凝剂对水厂排泥水沉降及脱水性能的改善[J]. 中国给水排水,2003,19(12):40-42.
SHI ZHOU, XIE MIN. Improvement of settlement and dewatering performance of sludge water by adding coagulants [J]. China Water & China Wastewater, 2003,19(12):40-42.
- [12] ZHENG H L, SUN X P, HE Q, et al. Study on synthesis and trapping property of dithiocarbamates macromolecule heavy metal flocculant [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2008,110(4): 2461-2466.
- [13] 郑怀礼,王白雪,张占梅,等. 无机高分子复合絮凝剂PFSS中硅的形态分析[J]. 化工学报,2007,54(11): 1591-1595.
ZHENG HUAI-LI, WANG BAI-XUE, ZHANG ZHAN-MEI, et al. Si speciation analysis of inorganic high polymer flocculant PFSS[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2007,54(11): 1591-1595.
- [14] SONG H, WU D, ZHANG R Q, et al. Synthesis and application of amphoteric starch graft polymer [J]. Carbohydrate Polymers, 2009,78(2):253-257.
- [15] FU J J, JIANG B, CAI W M. Synthesis and characterisation of new cationic polyelectrolytes by inverse emulsion polymerisation and their application in activated sludge dewatering[J]. International Journal of Environment and Pollution,2009, 38(4): 397-414.
- [16] NURKEENAU Z S, MUN G A, KOBLANOV S M, et al. Radiation synthesis of novel cationic flocculants based on copolymers of vinyl ethers of monoethanolamine and ethyleneglycol [J]. Radiation Physics and Chemistry,2002,64(1): 9-12.
- [17] WANG L J, WANG J P, ZHANG S J, et al. A water-soluble cationic flocculant synthesized by dispersion polymerization in aqueous salts solution[J]. Separation and Purification Technology, 2009, 67(3): 331-335.
- [18] LU S J, LIN S B, YAO K D. Study on the synthesis and application of starch-graft- poly (AM-co-DADMAC) by using a complex initiation system of CS-KPS[J]. Starch/Starke, 2004, 56:138-143
- [19] 卢红霞,刘福胜,于世涛,等. 阳离子聚丙烯酰胺的制备及其絮凝性能[J]. 应用化学,2008,25(1):101-105.
LU HONG-XIA, LIU FU-SHENG, YU SHI-TAO, et al. Preparation and flocculating performance of ationic poly-acrylamide[J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2008,25(1):101-105.
- [20] 沈一丁,张宇. P(DMC-AM)高分子絮凝剂的制备及絮凝性能[J]. 精细化工,2005,22(8):607-612.
SHEN Yi-DING, ZHANG YU. Preparation and study of flocculating performance of cationic P(DMC-AM) [J]. Fine Chemicals, 2005,22(8):607-612.

- [21] 郑怀礼,李凌春,蔚阳,等. 阳离子聚丙烯酰胺污泥脱水絮凝剂的制备[J]. 化工进展,2008,27(4):564-568.
ZHENG HUAI-LI, LI LING-CHUN, YU YANG, et al. Synthesis of cationic polyacrylamide flocculant for sludge dewatering [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2008,27(4):564-568.
- [22] 卢红霞,刘福胜,于世涛,等. 阳离子聚丙烯酰胺制备条件研究[J]. 化学工程,2008,36(3):72-75.
LU HONG-XIA, LIU FU-SHENG, YU SHI-TA, et al. Study on preparation conditions of cationic polyacrylamide[J]. Chemical Engineering, 2008,36(3):72-75.
- [23] 杭春涛,蒋平平,韩月丽,等. 水溶液聚合制备高固含量阳离子絮凝剂及其应用[J]. 精细化工,2006,23(7):692-695.
HANG CHUN-TAO, JIANG PING-PING, HAN YUE-LI, et al. Preparation and application of high concentration cationic flocculant by aqueous solution copolymerization[J]. Fine Chemicals, 2006,23(7):692-695.
- [24] 丁伟,于涛,曲光森,等. 丙烯酰胺-丙烯酸氧乙基三甲基氯化铵共聚合的竞聚率测定[J]. 应用化学,2009,26(4):392-395
DING WEI, YU TAO, QU GUANG-MIAO, et al. Investigation of the reactivity ratios of acrylamide and 2-acyloyloxyethyl trimethylammonium chloride copolymerization [J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2009,26(4):392-395.
- [25] 张勤,张幸涛,陈滨,等. 城市污水处理厂污泥调质用絮凝剂的选择[J]. 重庆建筑大学学报,2006,28(1):80-83.
ZHANG QIN, ZHANG XIN-TAO, CHEN BIN, et al. Selection of polymeric flocculant for adjusting the sludge quality of municipal wastewater treatment plant [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2006,28(1):80-83.

(编辑 赵 静)

~~~~~

(上接第 114 页)

- [10] CARDOSA M A, COELHO S T, MATOS J S, et al. A new approach to the diagnosis and rehabilitation of sewerage systems through the development of performance indicators[C]// Proceedings of the Eighth International Conference Urban Storm Drainage, 30 August-3 September, 1999, Sydney, Australia. [S. l]: IEEE,1999: 610-617.
- [11] MWENGE KAHINDA J, TAIGBENU A E, SEJAMOHOLO B B P, et al. A GIS-based decision support system for rainwater harvesting (RHADESS) [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2009, 34(13/16):767-775.
- [12] 荆平,贾海峰. 基于 MATLAB 与 GIS 的污水回用决策支持系统开发与应用[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2008, 48(3):352-356.  
JING PING, JIA HAI-FENG. Development and application of MATLAB and GIS-based decision support system for wastewater reuse[J]. Journal of Tsinghua University, 2008, 48(3):352-356.
- [13] TSIHRINTZIS V A, FUENTES H R, GADIPUDI R K. Source: GIS-aided modeling of nonpoint source pollution impacts on surface and ground waters [J]. Water Resources Management, 1997, 11(3):207-218.
- [14] BERNER L, BOGOYAVLENSKAYA N, ILIUSHIN S A, et al. Integrated approach to urban facilities maintenance and alarm management [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 1995, 19(3):201-206.
- [15] 颜文涛,陈朝晖,龙腾锐,等. 城市污水管道维护优化决策模型的研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(5):95-99.  
YAN WEN-TAO, CHEN ZHAO-HUI, LONG TENG-RUI, et al. Research on municipal sewer maintenance optimization decision model [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(5):95-99.

(编辑 赵 静)