

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.11.014

CPAM 对河道泥水混合物的絮凝效果研究

孙军波, 朱建文, 胡惠宁, 李碧科, 舒俊杰
(杭州市水务集团有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘 要: 河道淤泥使水体变黑发臭,严重影响水体环境。近年来,利用清淤船吸取河道底部泥水混合物,然后添加絮凝剂加速泥水分离,从而达到清淤效果的应用研究已初步展开。但絮凝剂投加量对河道泥水混合物絮凝效果的影响尚未有系统的研究,严重影响了清淤船的设计。基于此,通过絮凝实验研究了阳离子型聚丙烯酰胺(CPAM)投加量对泥水混合物分离沉降效果的影响,以及分离后的出水水质。结果表明,当 CPAM 投加量达到 0.79 mg/g 时,泥水快速分离效果明显,出水浊度和 COD 值显著降低。

关键词: 河道清淤; 阳离子型聚丙烯酰胺; 絮凝; 泥水混合物; 浊度; COD

中图分类号: TU993 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)11-0084-05

Flocculation Effect of Cationic Polyacrylamide on Mud-water Mixture in River

SUN Jun-bo, ZHU Jian-wen, HU Hui-ning, LI Bi-ke, SHU Jun-jie
(Hangzhou Water Group Co. Ltd., Hangzhou 310000, China)

Abstract: River silt makes the water black and smelly, which seriously affects the water environmental quality. In recent years, dredging boat has been preliminarily applied in river dredging. It absorbs the mud-water mixture at the bottom of the river and then adds flocculants to accelerate the separation of mud and water, so as to achieve dredging of the rivers. However, the effect of flocculant dosage on flocculation performance has not been systematically investigated, which seriously affects the design of dredging boat. Therefore, effects of dosage of cationic polyacrylamide (CPAM) on separation of mud-water mixture and quality of the effluent after separation were explored through flocculation experiments. When the dosage of CPAM reached 0.79 mg/g, obvious mud-water separation performance was achieved, and turbidity and COD in the effluent were significantly reduced.

Key words: river dredging; cationic polyacrylamide; flocculation; mud-water mixture; turbidity; COD

目前,我国在河道淤泥的疏浚工作中主要采用排干淤泥处理和水下淤泥清理两大类方法^[1]。城市河道更多采用水下淤泥清理,陈威^[2]、包建平^[3]等整理了常用水下清理方式,包括抓斗式淤泥清理、绞吸式淤泥清理和斗轮式淤泥清理。这 3 种水下清淤方式都是通过单纯的机械汲取河底淤泥而实现清

淤,但汲取河底淤泥过程中不可避免地会夹带大量河水,后续将河水再次排入河道时,部分淤泥又会随排水再次进入河道,产生回淤现象,严重影响清淤效率。申长璞等人^[4]研究发现,抓斗式的淤泥清除率在 30% 左右、斗轮式的淤泥清除率在 50% 左右、绞吸式的淤泥清除率在 70% 左右。为进一步提高淤

泥的清除率,有技术人员提出在绞吸式淤泥清理方法的基础上,利用絮凝剂将绞吸上的淤泥通过絮凝沉降而快速完成泥水分离,不仅提高了清淤效率,并能使分离后的泥质更易脱水处理,降低卸泥场的容积压力^[5]。

由于河道底泥水混合物的淤泥含量较高、浊度大,对絮凝剂絮凝能力的要求较高。聚丙烯酰胺(PAM)是由丙烯酰胺聚合而成的高分子聚合物,作为絮凝剂已被广泛应用,尤其是阳离子型聚丙烯酰胺(CPAM)是目前被认为用于处理高浊度水最有效的高分子絮凝剂之一^[6-9]。王琦^[10]、刘娟^[11]等研究了CPAM的絮凝机理,发现CPAM可与体系中微小粒子产生静电吸附、吸附架桥和包络作用,从而使微小粒子聚集形成絮体沉淀。

采用絮凝方式的清淤船尚处于设计试验阶段。而絮凝剂用量对絮凝时间、出水水质的影响是清淤船设计中需要考虑的关键因素。笔者查阅相关文献,并未发现有针对CPAM作为絮凝剂在河道清淤中投加的相关报道。实际生产中,如果絮凝剂投加量不足则会导致淤泥清除率降低、出水水质差;投加量过多则会导致淤泥含水率高、卸泥场容积压力大以及生产成本浪费。针对这一问题,本研究以河道淤泥干质为基准,探讨了CPAM投加量对泥水分离效果的影响,即通过絮凝实验研究沉降效果随絮凝剂投加量和时间的变化情况,并结合出水水质、絮体含固率探究较为合适的CPAM投加量,旨在为清淤船设计过程中的CPAM投加量、混凝沉降时间提供理论支持;同时创新性地结合不同投加量的絮体形貌,探讨絮凝沉降机理。

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

实验原料:河道淤泥(杭州市某河道底部泥水混合物,密度为 1.14 g/cm^3 、含水率为85.5%)。CPAM溶液(阳离子型聚丙烯酰胺,相对分子质量为 $1\,400\times 10^4$,含固量>90%,离子度为30%~50%,配制成 1 g/L 溶液,充分溶解)。

实验仪器:六联混凝搅拌器(ZR4-6),浊度计(2100Q),COD消解器(DRB-200)。

1.2 实验方法

① 使用六联混凝搅拌器进行混凝实验。取 $1\,000\text{ mL}$ 河道底泥水混合物于 1.5 L 圆形烧杯中,分别投加CPAM溶液0、50、70、90、110、130、150、

170、190 mL和纯水190、140、120、100、80、60、40、20、0 mL(此投加量换算成CPAM/干泥为0、0.30、0.42、0.55、0.67、0.79、0.91、1.03、1.15 mg/g)。启动搅拌程序,以 300 r/min 搅拌30 s后,继续以 50 r/min 搅拌120 s,停止搅拌。

② 取上述混凝后的泥水混合物 200 mL 于 200 mL 量筒内静置并开始计时,分别在1、5、10、15、30 min时,读取并记录泥、水体积,计算泥质层所占体积分数。

③ 取步骤②中混凝后静置沉降时间达到5 min时的上层水样,分别测定浊度、COD浓度。

④ 取步骤①中混凝后泥水混合物 100 mL ,利用布氏漏斗抽滤后取泥样测定含水率。

2 结果与讨论

2.1 CPAM投加量对河道底泥絮凝效果的影响

研究了不同CPAM投加量、不同沉降时间下淤泥的沉降效果,得到的泥层体积分数如图1所示。

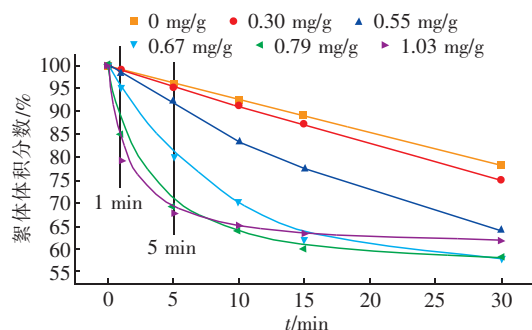


图1 不同CPAM投加量下絮体体积随时间的变化

Fig.1 Changes of floc volume with time under different CPAM dosage

由图1可以看出,在未添加CPAM时,河道底泥水混合物能自然分层,但分层速率较慢,随着沉降时间的增加,淤泥絮体体积含量几乎呈线性变小。提高CPAM的投加量至 0.30 mg/g ,沉降10 min之内,泥水分离效果与未添加CPAM时基本相近,并且在沉降1 min之内,没有明显的泥水分离出现,说明在低投加量下,CPAM对淤泥的絮凝沉降效果不明显。继续提高CPAM投加量至 0.55 mg/g ,在静置分层1 min后,絮体开始与水发生分层,淤泥开始沉降,但沉降速度不佳,表现为沉降5 min之内絮体体积含量并没有较大降低;随着沉降时间的延长,淤泥絮体的体积含量逐渐降低,泥水分离效果也趋于明显。当CPAM投加量为 0.67 mg/g 时,淤泥絮体的体积含量下降速度加快,但短时间内下降速度不佳。当

CPAM 投加量进一步达到 0.79 mg/g 时,淤泥絮体的体积含量在短时间内迅速下降,达到了泥水快速分离的效果。

进一步提高 CPAM 投加量,淤泥絮体体积的减小速率加快,但是随着沉降时间的推移,絮体体积趋于稳定。当 CPAM 投加量为 1.03 mg/g ,沉降 5 min 之内,絮体体积随时间的下降较快,泥水快速分离;但是沉降 5 min 之后,絮体体积含量随时间下降幅度趋于平缓。

实际生产中,快速实现絮体沉降能有效提高泥水分离效率。从图 1 可以看出,CPAM 投加量达到 0.67 mg/g 时,河道泥水混合物中的泥质可以在相对较小絮凝剂投加量下发生明显的絮凝沉降效果,并在投加量达到 0.79 mg/g 时,实现泥水快速分离。

2.2 不同 CPAM 投加量下出水水质

由于河道清淤过程中,泥水分离后的出水通常直接排入河道。因此,出水水质也是考量絮凝沉降效果的重要指标。通过研究不同 CPAM 投加量下,沉降 5 min 时的出水 COD 浓度和浊度,探讨 CPAM 絮凝对出水水质的影响,结果如图 2 所示。

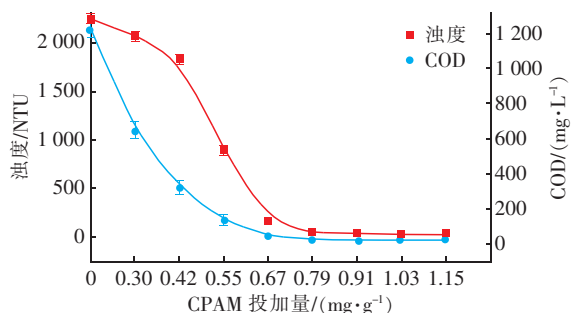


图 2 CPAM 投加量对出水浊度和 COD 的影响

Fig.2 Effect of CPAM dosage on effluent turbidity and COD

如图 2 所示,未投加 CPAM 时,由于泥水未充分分离,出水中混杂泥沙,导致 COD 浓度与浊度较大。随着 CPAM 的投加,淤泥逐渐絮凝沉降,上层水样逐渐清晰。由浊度变化曲线可以看出,当 CPAM 投加量 $< 0.42 \text{ mg/g}$ 时,出水浊度稍有下降,降幅不大;提高 CPAM 投加量到 0.55 mg/g 时,浊度下降明显;当 CPAM 投加量达到 0.67 mg/g 之后,出水浊度开始趋于稳定;此后进一步提高 CPAM 的投加量,出水浊度降低不明显。这可能是因为,当 CPAM 投加量较小时,未能形成有效的絮凝沉降现象,仍然有大量淤泥微粒没有完成絮凝而悬浮,从而导致出水浊度降幅较小;在一定范围内进一步提高 CPAM 投

加量,泥水分离效果开始显现,出水浊度迅速降低;当 CPAM 投加量超过 0.79 mg/g 时,泥水已经完全分离,出水水质基本稳定,继续提高 CPAM 投加量对出水浊度影响不大。

与浊度不同的是,投加少量 CPAM 条件下,出水 COD 值即有大幅降低,这是因为虽然投加少量 CPAM 时浊度没有明显变化,但泥水混合物中较大颗粒的有机质在 CPAM 的絮凝作用下快速下沉,从而有效降低了出水 COD 值;当 CPAM 投加量达到 0.67 mg/g 时,继续增加 CPAM 投加量,COD 值降低不明显;当 CPAM 投加量超过 0.79 mg/g 时,出水 COD 值趋于平稳。

综合絮凝出水浊度和 COD 值,当 CPAM 投加量为 0.79 mg/g 时,对河道底泥水混合物的絮凝沉降效果较好,泥水实现完全分离。

2.3 不同 CPAM 投加量对淤泥絮体含固率的影响

絮凝沉降的泥水混合物通过布氏漏斗抽滤后,测定淤泥絮体的含固率,结果如图 3 所示。可以看出,在投加 CPAM 之前,经过布氏漏斗抽滤之后的淤泥絮体含固率为 69.4% ;随着 CPAM 的投加,淤泥絮体含固率出现明显下降。造成这种现象的原因可能是:聚合物 CPAM 在聚集淤泥粒子形成大颗粒的下沉过程中会夹带水分子,这些水分子会被“锁”在 CPAM 与淤泥粒子形成的“网笼”内,在抽滤过程中不会被抽滤分离,只会在加热干燥过程中挥发^[11-12],从而使得淤泥絮体含固率随着 CPAM 投加量的增加而下降。

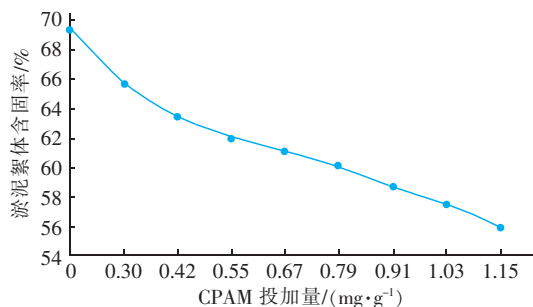


图 3 CPAM 投加量对淤泥絮体含固率的影响

Fig.3 Effect of CPAM dosage on solids content of floc

2.4 CPAM 沉降河道淤泥的原理分析

CPAM 吸附于淤泥粒子的形式通常认为有两种:一是 CPAM 携带的大量酰胺基团与淤泥粒子表面的活性基团形成化学吸附;二是由于大部分淤泥粒子表面形成双电层,双电层的外层通常带负电,阳

离子型 CPAM 与淤泥粒子发生静电吸附。所以,向泥水混合物中投加 CPAM 之后,其能迅速吸附在淤泥粒子的表面,形成一层夹带水分子的 CPAM 膜层,从而使得淤泥粒子与 CPAM 结合体的体积进一步增大,这种体积的增大通常是不利于淤泥粒子下沉的,而易形成胶体粒子;但 CPAM 是长链聚合物,继续增加 CPAM 含量,有些聚合物一端吸附在淤泥粒子上,另一端则游离于溶液中;当两个吸附了 CPAM 分子链的淤泥粒子在溶液中相互“接触时”,由于分子间作用力使两者“黏连”在一起;当淤泥粒子聚集到一定数量而形成“大颗粒”时,胶体的平衡被打破,“抱团”的淤泥粒子快速下沉。CPAM 沉降淤泥的原理示意图 4。

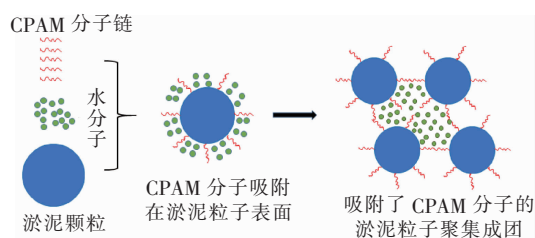


图 4 CPAM 絮凝沉降原理示意

Fig. 4 Schematic diagram of CPAM flocculation settling

不同 CPAM 投加量下絮体形貌如图 5 所示。

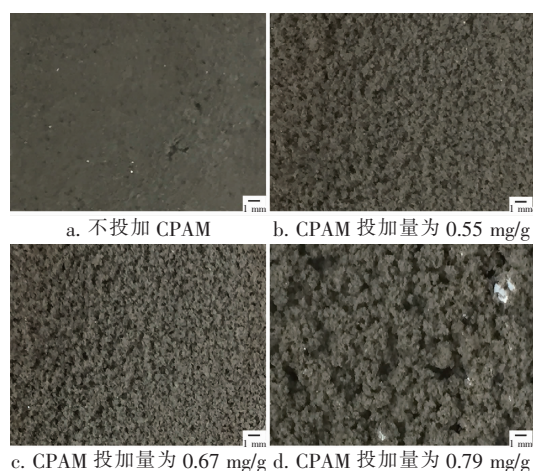


图 5 不同 CPAM 投加量下絮体形貌

Fig. 5 Morphology of floc with different CPAM dosage

图 5(a)是未投加 CPAM 的河道淤泥水混合物,可以看出此时河道淤泥是以细小微粒存在的,这种细小的淤泥粒子不易沉降,从而导致泥水难以分离。随着 CPAM 投加量的增加,絮体尺寸随之变大。图 5(b)、(c)分别是 CPAM 投加量为 0.55、0.67 mg/g 时絮体的形貌,此时絮体尺寸达到百微米级别,呈

“沙状”,絮体较易完成泥水分离。图 5(d)是 CPAM 投加量为 0.79 mg/g 时絮体的形貌,可见此时絮体已达到毫米级尺度,这种较大一点的尺寸更易完成泥水分离,絮体沉降速度更快,出水浊度和 COD 值较低;但同时,较大絮体内裹挟的大量水分子也使得泥水分离后淤泥含固率较低。

3 结论

针对河道清淤过程中存在回淤率高的问题,结合 CPAM 作为絮凝剂在絮凝沉降过程中的应用,探讨了不同 CPAM 投加量下泥水分离效果。实验结果显示:

① 在河道底泥水混合物中投加 CPAM 能有效形成絮体,加速泥水分离。在投加量为 0.67 mg/g 时,实现了相对较小投加量下的泥水分离,并在 CPAM 投加量达到 0.79 mg/g 后,实现了实验条件下最佳的泥水分离效果。

② 随着 CPAM 投加量的增加,泥水分离后的出水水质得到明显改善,出水浊度和 COD 值快速降低,这种降低趋势在投加量达到 0.79 mg/g 后趋于平缓。

③ 随着 CPAM 的投加,淤泥絮体的尺寸逐渐增大,从而更利于泥水分离,但也导致分离后的淤泥含固率降低。

参考文献:

- [1] 徐杨,阎长虹,许宝田,等. 城市河道淤泥特性及改良试验初探[J]. 水文地质工程地质, 2013, 40(1): 110 - 114.
XU Yang, YAN Changhong, XU Baotian, et al. A study on the properties and modification test of the dredged material of an urban river [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2013, 40 (1): 110 - 114 (in Chinese).
- [2] 陈威,张雨晴. 某河道清淤与截污综合整治工程初步设计探讨[J]. 中国给水排水, 2015, 31(12): 68 - 70, 81.
CHEN Wei, ZHANG Yuqing. Analysis on preliminary design of a river dredging and sewage interception comprehensive improvement project[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(12): 68 - 70, 81 (in Chinese).
- [3] 包建平,朱伟,闵佳华. 中小河道治理中的清淤及淤泥处理技术[J]. 水资源保护, 2015, 31(1): 56 - 62, 68.

- BAO Jianping, ZHU Wei, MIN Jiahua. Technology of dredging and sludge treatment in small and medium-sized river regulation[J]. Water Resources Protection, 2015, 31(1): 56–62, 68 (in Chinese).
- [4] 申长璞, 李永祥, 王明旭. 国内外城市河道淤泥清理设备发展现状的探讨[J]. 现代制造技术与装备, 2015(6): 165–167.
- SHEN Changpu, LI Yongxiang, WANG Mingxu. Discussion on the development status of urban river silt cleaning equipment at home and abroad[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2015(6): 165–167 (in Chinese).
- [5] 费逸华, 周成蹊, 钱健航. 船载离心脱水系统在河道清淤工程中的应用[J]. 中国给水排水, 2014, 30(12): 60–62.
- FEI Yihua, ZHOU Chengxi, QIAN Jianhang. Application of shipboard centrifugal dewatering system in river dredging project[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(12): 60–62 (in Chinese).
- [6] FENG L, ZHENG H, GAO B, *et al.* Fabricating an anionic polyacrylamide (APAM) with an anionic block structure for high turbidity water separation and purification[J]. RSC Advances, 2017, 7: 28918–28930.
- [7] SUN Y J, GUO G F, YANG Y L. Preparation of anionic polyacrylamide-grafted starch flocculant and its application[J]. Advanced Materials Research, 2013, 815: 432–436.
- [8] LI X, ZHENG H L, GAO B Y, *et al.* UV-initiated template copolymerization of AM and MAPTAC: microblock structure, copolymerization mechanism, and flocculation performance[J]. Chemosphere, 2017, 167: 71–81.
- [9] GUAN Q Q, ZHENG H L, ZHAI J, *et al.* Effect of template on structure and properties of cationic polyacrylamide: characterization and mechanism[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2014, 53(14): 5624–5635.
- [10] 王琦, 蒋展鹏. 聚丙烯酰胺絮凝机理的研究[J]. 环境科学, 1989, 10(5): 2–7.
- WANG Qi, JIANG Zhanpeng. Study on flocculation mechanism of polyacrylamide[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 1989, 10(5): 2–7 (in Chinese).
- [11] 刘娟, 武耀锋, 张晓慷. 水分散型阳离子聚丙烯酰胺絮凝剂的絮凝性能及其机理[J]. 环境工程学报, 2015, 9(1): 119–124.
- LIU Juan, WU Yaofeng, ZHANG Xiaokang. Flocculation capability of aqueous dispersion polyacrylamide flocculant and its mechanism[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015, 9(1): 119–124 (in Chinese).
- [12] 郭利芳, 迟姚玲, 赵华章. 新型复合絮凝剂对疏浚底泥脱水和重金属固化的研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2019, 55(2): 329–334.
- GUO Lifang, CHI Yaoling, ZHAO Huazhang. Study on new composite flocculants in dewatering of dredged sediments and solidification of heavy metals[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2019, 55(2): 329–334 (in Chinese).

作者简介: 孙军波(1986–), 男, 浙江杭州人, 本科, 工程师, 主要从事水质检测、污水处理和水环境治理工作。

E-mail: itissoso@163.com

收稿日期: 2020–01–19

修回日期: 2020–07–10

(编辑: 任莹莹)