



文章栏目: 水污染防治

DOI 10.12030/j.cjee.201908077

中图分类号 X703

文献标识码 A

王昶, 王远东, 郝林林, 等. 蒙脱石絮凝剂对疏浚底泥的絮凝快速分离[J]. 环境工程学报, 2020, 14(6): 1465-1470.

WANG Chang, WANG Yuandong, HAO Linlin, et al. Rapid separation of dredged sludges by montmorillonite flocculant[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(6): 1465-1470.

蒙脱石絮凝剂对疏浚底泥的絮凝快速分离

王昶*, 王远东, 郝林林, 邓瑞, 曾明

天津科技大学海洋与环境学院, 天津 300457

第一作者: 王昶(1958—), 男, 博士, 教授。研究方向: 污水处理等。E-mail: wangc88@163.com

*通信作者

摘要 为了快速对污染的河道湖泊进行清淤, 使用酸改性的蒙脱石絮凝剂(MTSF)对底泥泥水进行了一级强化处理研究。结果表明: MTSF对底泥泥水具有很好的絮凝效果, 当MTSF为0.3 g时, 上清液的Zeta电位大约为0 mV, 浑浊的泥水变为清澈透明, 此时浊度、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP、SS和COD的去除率分别为98.8%、29.8%、99.6%、97.7%和56.9%; C-PAM助凝剂的少量投加, 有助于絮凝过程, MTSF为0.3 g, C-PAM为 $8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 上清液的浊度和COD将会进一步降低, 分别从9.0 NTU和 $51.6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 减少到4.7 NTU和 $15.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; C-PAM助凝剂能够将絮体进一步结团, 形成更大的絮体, 促进絮体的快速沉降, 同时还有助于对水相中污染物的进一步去除。两者的结合可以减少MTSF用量, 达到更好的效果。

关键词 蒙脱石絮凝剂; 絮凝机理; 沉降性能; 聚丙烯酰胺(C-PAM); 疏浚底泥处理

由于人类工业化的迅速发展及现代化进程的加速, 所造成的环境污染也越来越严重, 对江河湖泊的影响也越来越大, 受污染的底泥也已成为环境安全的重大隐患^[1]。受污染的底泥是在静水或流速极缓慢的水环境中沉积的一种伴有微生物作用的结构土, 是以一种极细的黏土胶状物质为主的极其复杂的非均质体, 不仅是河流、湖泊营养物质循环的中心环节, 还是持久性有机污染物、营养物、重金属等的主要聚集库^[2-3]。滇池、巢湖和白洋淀等湖泊以及城市的主干河流的底部都不同程度淤积大量的底泥^[4-8], 虽然外源被有效控制, 但是物理或生物因子等作用促使沉积物释放仍可导致水体在相当长的时期内水质继续恶化或维持富营养化等不良状态。

江河湖海的疏浚工程^[9]作为能有效移除含有重金属、有毒有害有机物以及高含氮磷等物质的底泥的有效手段^[10], 其中耙吸式^[11]、绞吸式和吸扬式挖泥船已经在国内外被广泛应用于实际工程^[12-13]。通过环保疏浚, 底泥中的污染物质能与底泥一起被移出水体, 从而达到减轻污染物对水体以及水体生物的毒性威胁。但在疏浚过程中抽吸上来的泥水需要快速分离, 才能够实现连续作业, 而且又不造成二次污染; 因此, 为解决这些技术难题, 应该从絮凝机理的角度来考虑, 更重要的是要利用自然界的规律去解决问题, 用生态的方法实现自身的无毒化、絮凝过程的高效化和沉降过程的快速化。现有的聚合氯化铝(PAC)和聚合硫酸铁(PFS)等无机高分子聚合物因其具有生物毒性^[14], 难以直接用于江河湖海的疏浚工程。因此, 迫切需要开发无毒性、絮凝效果好、沉降速

收稿日期: 2019-08-14; 录用日期: 2019-11-06

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划重大(重点)项目(2019BBF02024)

度快、分离效果好的絮凝剂,并将其用于连续化的疏浚过程。

本研究采用自制的酸改性蒙脱石絮凝剂(MTSF),针对某高校泰达校区的景观湖底泥,研究了不同投加量的MTSF对底泥泥水的絮凝效果,考察了絮凝前后上清液的Zeta电位、浊度、pH、电导率、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP、化学需氧量(COD)的变化,分析了MTSF的絮凝效果、沉降速度和最佳的投加量,此外,还研究了MTSF在阳离子助凝剂C-PAM作用下的协同效应,探讨其絮凝机理,为实际应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料与试剂

实验用底泥取自某高校泰达校区景观湖,实验中所使用的无机矿物蒙脱石(MTS)来自于河北省灵寿县,蒙脱石(MTS)主要化学成分为20.60% SiO_2 、57.50% Al_2O_3 、4.69% Fe_2O_3 、3.50% MgO 、2.36% CaO 、1.68% K_2O 、1.22% TiO_2 和0.26% SO_3 ,其比表面积为 $46.24 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ 。实验用的抗坏血酸、重铬酸钾、过硫酸钾、硫酸银、硫酸、PAC和PAM等化学试剂均来自于化学试剂专业销售商。

1.2 实验仪器

实验所使用的仪器主要有混凝实验搅拌仪器MY3000-6F(武汉市梅宇仪器有限公司),pH3210精密酸度仪(德国WTW公司),Turb550便携式浊度仪(德国WTW公司),ZETASIZER Nano-ZS 90(美国马尔文仪器有限公司),便携式电导率测试仪Cond 3210(德国WTW公司),氨氮、硝态氮水质在线分析仪(德国WTW,DIQ/S 182),立式压力蒸汽灭菌锅(上海博讯实验有限公司),紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)以及CR2200 COD消解仪(德国WTW公司)等。

1.3 实验方法

将MTS经粉碎机粉碎成一定粒径的粉体,再加入一定质量比的硫酸改性蒙脱石粉体,将硫酸与蒙脱石在室温下充分混合,干燥并且加以粉碎,最后,得到酸改性蒙脱石絮凝剂,具体实验步骤可参照文献中的方法^[15]。

在絮凝实验过程中,取13 g底泥置于250 mL的烧杯中,加入250 mL景观湖水,快速搅拌($200 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$)1 min,使其底泥全部分散。其原水的各项水质指标分别为浊度622 NTU、电导率 $171.50 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 、SS $1364 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、TP $2.90 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、Zeta电位 -1.61 mV 、 $\text{pH}=8.71$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ $2.18 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和COD $119.55 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。然后投加一定量自制的蒙脱石絮凝剂,快速搅拌30 s,如果要考察C-PAM添加后的助凝效果,则加入一定量的C-PAM水溶液,继续搅拌30 s。接着调整转速至 $50 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,慢搅拌30 s,最后静置30 min,于液面下2 cm处取水样测定其上清液的浊度、Zeta电位等参数。

2 结果与讨论

2.1 蒙脱石絮凝剂投加量对景观湖底泥泥水絮凝后上清液水质的影响

对上清液浊度和Zeta电位的影响。依靠虹吸工艺提升上来的泥水浊度很高,为622 NTU。泥水中不仅混有大量的颗粒态的泥沙,还含有很多的胶体和可溶态的污染物,可通过物理化学的絮凝方法与水分离沉降。图1表示不同投加量的MTSF对底泥泥水的浊度和Zeta电位的影响。由图1可知,底泥泥水经过絮凝沉降后,随着MTSF投加量的增加,絮凝沉降后上清液的浊度呈现急剧下降的趋势。当投加量为0.3 g时,上清液的浊度只有9.07 NTU,相当于自然河流的浊度;随后即使投加量再增加,浊度也变化很小,当投加量为0.6 g时,浊度为7.22 NTU。而上清液的Zeta电位随着MTSF投加量的增加,由 -1.61 mV 增加到 1.35 mV ,而溶液也由原来的浑浊变为清澈透明。一般来说,浑浊的泥水中含有大量的固体颗粒和胶体,其Zeta电位表现为负值^[16]。在投加MTSF后,其中的可溶态金属离子,可与水溶液中的胶体发生电中和,减少胶体之间的排斥力,使

之脱稳，从而产生絮凝。随着 MTSF 投加量的增加，Zeta 电位也在相应增加，当 Zeta 电位接近零时，从实验的絮凝效果来看，上清液已经达到了清澈透明，浊度去除率高达 98.8%，此时可确定 0.3 g 的 MTSF 投加量为最佳投加量。

对上清液中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TP 的影响。底泥泥水中可溶态的污染物 TP 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的浓度分别高达 $2.90 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $2.18 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。如果在河道湖泊疏浚过程中不能有效降低二者的浓度，将会严重影响其水质和生物生存。图 2 为不同投加量的 MTSF 对底泥泥水的 TP 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的影响。由图 2 可知，MTSF 对可溶态含磷化合物具有很好的选择性，在 MTSF 中约有 25% 的可溶态物质中的 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 以及少量的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等。其均能够与磷生成难以溶解的盐类而分离，当 MTSF 的投加量为 0.3 g 时，上清液中的磷含量从 $2.90 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 降低到 $0.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，去除率高达 99.6%。而 MTSF 对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率并不是很高，在相同条件下，仅有 29.8%。这是由于 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 中的 NH_4^+ 与水形成 NH_4OH ，以分子形态稳定地分散在水溶液中^[17]，其自身不是胶体，但是在絮凝过程中，这些分子就有可能被所形成的絮体所吸附、夹带以及网捕从水中去除。MTSF 投加量越多， $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率就越高，但毕竟该过程为物理吸附过程，所以去除率是有限的。这一结果说明 MTSF 对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除选择性较差，但对 TP 具有很高的选择性。另外，随着 MTSF 投加量的增加，pH 会有所降低，但变化很小，在此实验基础上，只在中性范围内波动 0.5 左右。

对上清液 SS 和 COD 的影响时，底泥经过虹吸搅拌后，底泥中的固体悬浮物 (SS) 和大量逸出的耗氧有机污染物 (以 COD 计)，分别高达 $1364 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $119.55 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，不加以有效分离，会严重污染水体。图 3 为不同投加量的 MTSF 对底泥泥水的 SS 和 COD 的影响结果。由图 3 可知，随着 MTSF 投加量的增加，上清液的 SS 和 COD 均急剧下降，当 MTSF 投加量为 0.3 g 时，上清液的 SS 和 COD 分别为 $32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $51.6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，去除率分别为 97.7% 和 56.9%。SS 的有效去除使得上清液清澈透明，COD 的降低也明显改善上清液的水质，当清淤疏浚工程连续作业时，上清液回流

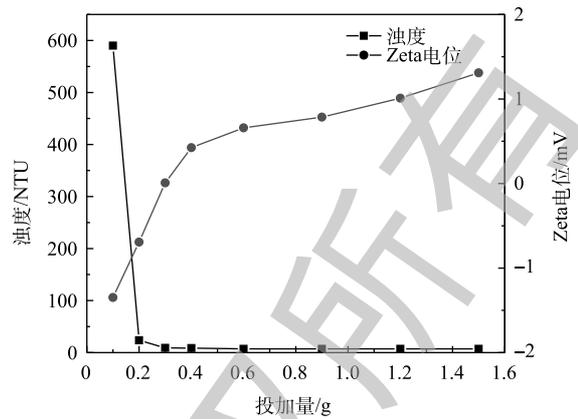


图 1 不同 MTSF 投加量对底泥泥水的浊度和 Zeta 电位的影响

Fig. 1 Effects of different MTSF dosages on turbidity and Zeta potential of the dredging sludge suspensions

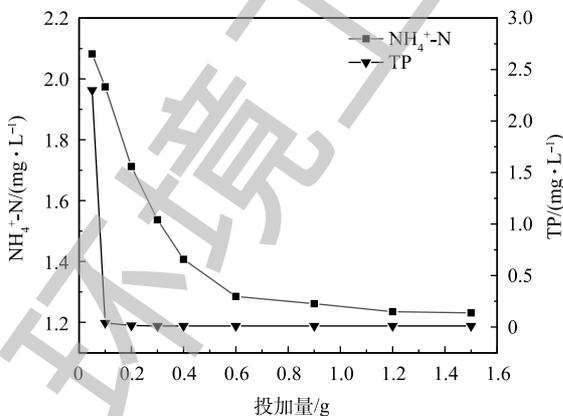


图 2 不同 MTSF 投加量对底泥泥水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TP 的影响
Fig. 2 Effect of different MTSF dosages on $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and TP in the dredging sludge suspensions

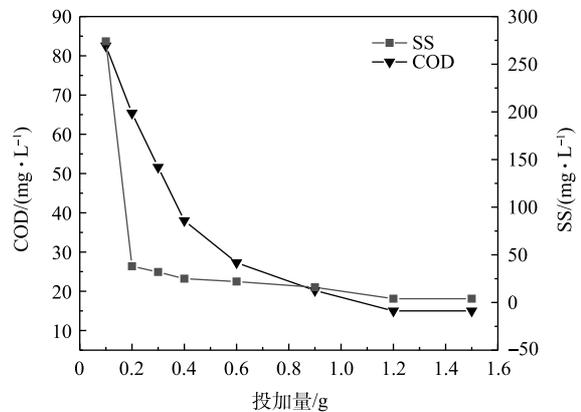


图 3 不同 MTSF 投加量对底泥泥水 COD 和 SS 的影响
Fig. 3 Effects of different MTSF dosages on COD and SS in the dredging sludge suspensions

到水体就不会造成水环境的二次污染。随着 MTSF 投加量的继续增加, 上清液的 SS 和 COD 仍然会有所降低, 但幅度相对缓慢, 考虑到实际应用的经济性, MTSF 投加量在 0.3 g 时, 上清液的 Zeta 电位大致为零, 胶体基本被电中和, 各项指标均相对较好。

2.2 MTSF 在助凝剂 C-PAM 作用下对景观湖底泥泥水的絮凝效果

提高 MTSF 投加量虽然能够提高上清液的水质, 但毕竟 MTSF 投加量的增加会增加絮凝剂的成本, 在适当的投加量下, 同时使用助凝剂, 可进一步提高 MTSF 的絮凝效果, 进而达到降低成本和实现高效处理的目的。

1) 助凝剂 C-PAM 对上清液浊度和 Zeta 电位的影响。为进一步探明 MTSF 与 C-PAM 之间的协同作用, 选用 Zeta 电位接近零时的 0.3 g MTSF 和不同浓度的 C-PAM 进行复配。由图 4 可知, 上清液的浊度在添加 C-PAM 后又得到了进一步降低, 当 C-PAM 添加量为 $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 上清液的浊度从 9.07 NTU 降至 4.7 NTU, 上清液更加清澈, 絮体更大密实, 沉降速度也更快。这是由于 C-PAM 具有“架桥”作用, 能够使水中悬浮细小微粒聚集成大颗粒, 在提高吸附和网捕的能力的同时, 还加快了沉降速度。随着 MTSF 添加量的继续增加, 上清液的浊度变化减慢。此外, 由于加入的是阳离子型 C-PAM, 故上清液的 Zeta 电位随着 C-PAM 投加量的增加而升高, 其变化范围在 0~0.25 mV。

2) 助凝剂 C-PAM 对上清液 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 COD 的影响。由上述的实验结果可知, 在加入 0.3 g MTSF 后, 底泥泥水中可溶态的污染物 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 COD 值分别为 $1.54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $51.62 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。根据地表水环境质量标准 GB 3838-2002 出水标准的规定, COD 的含量大于地表 I 类标准限制 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。如果在河道湖泊疏浚过程不能有效降低 COD, 将会严重影响其水质, 甚至影响生物的生存。但在进一步添加 C-PAM 后, 由图 5 可知, 随着 C-PAM 投加量的增加, 虽然 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的变化量不大, 在 C-PAM 为 $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 相比于未添加 C-PAM 前, 其去除率为 17.4%; 但 COD 降低幅度较大, 在添加 $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ C-PAM 后, COD 为 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 较在单独的 0.3 g MTSF 条件下提高了 70.9%, 二者的总去除率为 87.4%。究其原因是, C-PAM 添加使絮体结团变大的同时, 也对絮体内部的水分会进一步挤压, 使其变得密实, 而对有机物的亲和, 增加了这些絮体对有机物的吸附, 有效地助推了絮凝效果, 实现了二者的协同效应。

3) C-PAM 对絮凝沉降效果对比。图 6 为 0.3 g MTSF 和 0.3 g MTSF+ $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ C-PAM 在静置 30 min

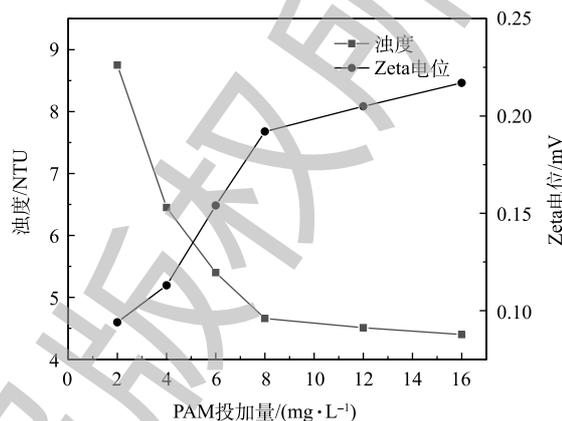


图 4 0.3 g MTSF 与不同浓度的 C-PAM 配合对底泥泥水浊度和 Zeta 电位的影响

Fig. 4 Effect of 0.3 g MTSF and C-PAM with different concentrations on turbidity and Zeta potential of the dredging sludge suspensions

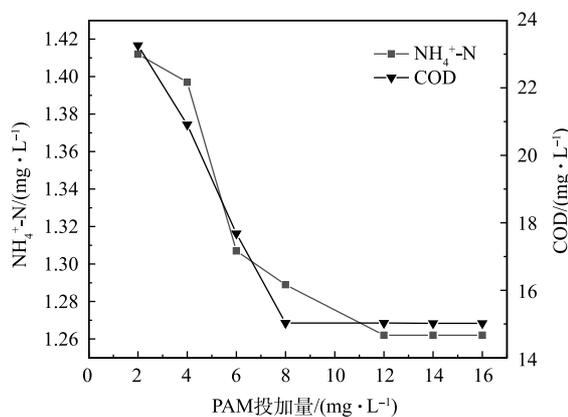


图 5 0.3 g MTSF 与不同浓度 C-PAM 的组合对底泥泥水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 COD 的影响

Fig. 5 Effect of 0.3 g MTSF and C-PAM with different concentrations on $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and COD of the dredging sludge suspensions

后的外观变化。由图 6 可知, 右侧水样比左侧更加澄清, 在实验过程中也可以看到, 在 $0.3 \text{ g MTSF}+8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1} \text{ C-PAM}$ 的条件下, 絮凝絮体沉降速度更快, 随着慢搅拌的进行, 絮体最终沉降完全。将沉降后的絮体置于显微镜下进行观察, 结果如图 7 所示。由图 7 可知, 0.3 g MTSF 絮凝的絮体细小, 而 $0.3 \text{ g MTSF}+8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1} \text{ C-PAM}$ 絮体进一步增大而结团; 在显微镜下仅有 MTSF 时, 絮体粒径小, 没有形成较大的团块; 而 $0.3 \text{ g MTSF}+8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1} \text{ C-PAM}$ 时的絮体结团, 明显增大, 从而实现了快速沉降。由此可见, C-PAM 助凝剂能进一步将细小的絮体再次凝聚, 形成粗大的絮体, 形成结团, 增强了夹带吸附作用, 使水质澄清; 结团的絮体颗粒大而密实, 相对直径也大, 沉降的阻力变小, 提高了沉降速度。由实验现场对沉降速度的测定可知, 在单独的 MTSF 情况下, 实现完全沉降, 大约需要 5 min 。但在助凝剂 C-PAM 添加后, 较小的絮体很快增大结团, 边搅拌边沉降, 搅匀后就已经基本完成絮凝过程。因此, 助凝剂 C-PAM 的添加不仅可以减少 MTSF 用量, 而且还可以提高絮凝过程中的絮凝效果。

3 结论

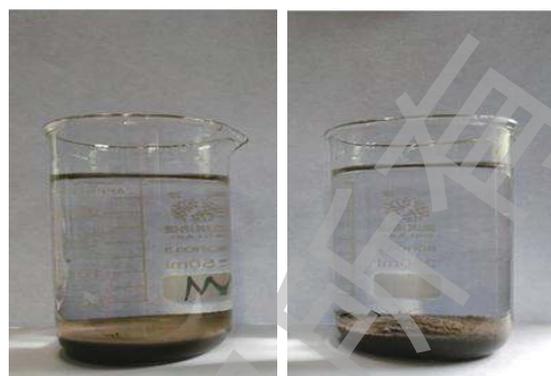
1) 自制的 MTSF 对底泥泥水具有很好的絮凝效果, 当 MTSF 为 0.3 g 时, 上清液的 Zeta 电位几乎为零, 浑浊的泥水变为清澈透明, 对浊度、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、TP、SS 和 COD 的去除率分别为 98.8% 、 29.8% 、 99.6% 、 97.7% 和 56.9% 。从上清液的 Zeta 零电位可以确认最佳的投加量, 投加量对系统的 pH 影响很小。

2) C-PAM 助凝剂的少量投加有助于絮凝过程, 进一步提高了上清液的水质, 在 MTSF 为 0.3 g , C-PAM 为 $8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 上清液的浊度和 COD 将会进一步降低, 分别从 9.0 NTU 和 $51.6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 降低至 4.7 NTU 和 $15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

3) C-PAM 助凝剂能够将絮体进一步结团, 形成更大的絮体, 促进絮体的快速沉降, 同时还有助于对水相中污染物的进一步去除。二者的结合可以减少 MTSF 用量, 达到更好的效果。

参考文献

- [1] 魏高峰. 江河湖库污染内源治理中的环保疏浚[J]. 浙江水利科技, 2002, 6(6): 78-79.
- [2] 江江. 巢湖蓝藻聚集生长对重金属迁移释放影响的研究[D]. 合肥: 安徽大学, 2017.
- [3] 杨卓, 李贵宝, 王殿武, 等. 白洋淀底泥重金属的污染及其潜在生态危害评价[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(5): 945-951.
- [4] 杨卓. 白洋淀底泥现状评价及在芦苇生境下演变机理研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2006.
- [5] 黄可, 张先智, 张恒明, 等. 滇池入湖河流治污新技术体系构建及案例分析[J]. 环境科学与技术, 2016, 39(7): 64-70.



(a) 0.3 g MTSF (b) $0.3 \text{ g MTSF}+8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1} \text{ C-PAM}$

图 6 不同水样静置 30 min 后的照片

Fig. 6 Photos of different water samples after 30 min settlement



(a) 0.3 g MTSF (b) $0.3 \text{ g MTSF}+8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1} \text{ C-PAM}$

图 7 不同絮体放大 10 倍的显微镜照片

Fig. 7 Microscopic picture of different flocs with 10 times magnification

- [6] 胡小贞, 相灿, 刘倩. 滇池污染底泥环保疏浚一期工程实施后环境效益评估[J]. *环境监控与预警*, 2010, 2(4): 46-49.
- [7] 王智, 王岩, 张志勇, 等. 水葫芦对滇池底泥氮磷营养盐释放的影响[J]. *环境工程学报*, 2012, 6(12): 39-44.
- [8] 刘伟, 徐南妮. 巢湖清淤合肥项目区域污染底泥调查研究[J]. *环境导报*, 2000, 2(2): 30-31.
- [9] 包建平, 朱伟, 闵佳华, 等. 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.
- [10] 鲍林林, 李叙勇. 河流沉积物磷的吸附释放特征及其影响因素[J]. *生态环境学报*, 2017, 26(2): 350-356.
- [11] 逯新星, 魏建峰, 陈少军. 大型耙吸式挖泥船泥舱格栅设计与装舱溢流损失探讨[J]. *中国港湾建设*, 2018, 38(10): 72-76.
- [12] 涂益敏, 吴波, 邓飞. 浅谈绞吸式挖泥船在河湖疏浚工程中的应用[J]. *江西水利科技*, 2008, 34(1): 70-71.
- [13] 王青. 绞吸式挖泥船在航道疏浚施工中的应用研究[J]. *住宅与房地产*, 2016, 30(3): 286-295.
- [14] 魏锦程, 高宝玉, 王燕, 等. 聚合铁复合絮凝剂用于城镇纳污河水化学强化处理的性能及机理研究[J]. *精细化工*, 2008, 25(2): 171-176.
- [15] 王昶, 林鹏, 豆宝娟, 等. 黏土矿物为原料絮凝剂的制备及应用研究[J]. *天津科技大学学报*, 2015, 30(1): 62-66.
- [16] 李冲, 吕志刚, 陈洪龄, 等. 河湖疏浚淤泥的表征、絮凝和脱水[J]. *环境工程学报*, 2013, 7(2): 737-742.
- [17] 钟常明, 王汝胜, 吴昆泽, 等. 铁盐絮凝+MBR处理钨冶炼含砷含氮废水[J]. *环境工程学报*, 2014, 8(5): 1840-1844.
- (本文编辑: 曲娜, 郑晓梅, 张利田)

Rapid separation of dredged sludges by montmorillonite flocculant

WANG Chang*, WANG Yuandong, HAO Linlin, DENG Rui, ZENG Ming

Department of Marine and Environmental Sciences, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China

*Corresponding author, E-mail: wangc88@163.com

Abstract In order to rapidly dredge the polluted rivers or lakes, an acid-modified montmorillonite flocculant (MTSF) was used to study the enhanced primary treatment of the dredged sludges. The experimental results showed that MTSF had a very good performance on the dredging sludge flocculation, when MTSF dosage was 0.3 g, the Zeta potential of the supernatants approached to 0 mV, the muddy water became clear and transparent, the corresponding removal efficiencies of turbidity, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TP, SS and COD were 98.8%, 29.8%, 99.6%, 97.7% and 56.9%, respectively. A small amount of flocculation aid C-PAM could facilitate the flocculation process, when MTSF and C-PAM dosages were 0.3 g and $8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, turbidity and COD of the supernatants were further reduced from 9.0 NTU and $51.6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ to 4.7 NTU and $15.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively. C-PAM could further agglomerate flocs to larger ones, so as to promote their rapid settlement, and was also helpful to further remove other pollutants from the aqueous phase. The combination of MTSF and C-PAM can significantly reduce the dosage of MTSF and achieve better results.

Keywords montmorillonite flocculant; flocculation mechanism; settlement property; polyacrylamide (C-PAM); treatment of dredged sludge