

絮凝浓缩武汉市巡司河底淤泥的研究

肖曲¹, 皮科武¹, 陈抒雨², 王会君²

(1.湖北工业大学 资源与环境学院, 武汉 430068;
2.河湖生态修复与藻类利用湖北省重点实验室, 武汉 430068)

摘要: **目的** 研究武汉市巡司河底淤泥在不同无机絮凝剂及 PAM 的助凝作用下淤泥清浑分界面的沉降速率、淤泥浓缩比以及淤泥沉降指数的变化情况。**方法** 采用实验研究的方法, 对巡司河底淤泥进行沉降实验, 并通过沉降分析找到最佳脱水效果的脱水剂。**结果** 当淤泥 质量分数为 10% 时, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 取得的絮凝脱水效果最好, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 投加比为 5 g/L, PAM 投加比为 0.04 g/L 时, 淤泥清浑分界面的沉降速率最大可达到 3.7 cm/min, 淤泥浓缩比为 3.94, 淤泥沉降指数为 24.9%。**结论** $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 PAM 对巡司河底淤泥的脱水有促进效果, 淤泥在 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 PAM 共同作用下先后经历了自由沉降、絮凝沉降、区域沉淀和压缩沉降。

关键词: 河道淤泥; 脱水; 絮凝浓缩; 清浑界面沉降

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2016.04.030

中图分类号: TV851

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2016)04-0185-07

Flocculation-thickening of Silt from Xunsi River in Wuhan

XIAO Qu¹, PI Ke-wu¹, CHEN Shu-yu², WANG Hui-jun²

(1.School of Resources and Environment, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China;

2.Hubei Province Key Laboratory for Ecological Restoration of Lakes and Utilization of Algae, Wuhan 430068, China)

ABSTRACT: Objective To study the variation of sedimentation rate, concentration ratio and sludge settling index of the suspension-water interface of silt from the Xunsi River in Wuhan under different dosages of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and PAM. **Methods** Sedimentation test was carried out for silt from the Xunsi River in Wuhan. The dehydrating agent with optimum dehydration effect was found out through the test. **Results** The results showed that when the mass fraction was 10%, silt dehydration had the optimum effect with the dose ratio of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5 g/L and PAM 0.04 g/L. In the best situation, the sedimentation rate of the suspension-water interface could reach 3.7 cm/min, the concentration ratio 3.94, and the sludge settling index 24.9%. **Conclusion** $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and PAM can promote the dehydration of the silt. Silt has gone through four processes: free sedimentation, flocculation sedimentation, regional sedimentation and compression sedimentation under the combined effect of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and PAM.

KEY WORDS: river silt; dehydration; flocculation sedimentation; suspension-water interface

目前,我国城市河道淤泥积累及由此带来的污染日益严重,由于河道淤泥具有“二高一低”(高含

收稿日期: 2016-03-16; 修订日期: 2016-04-23

Received: 2016-03-16; Revised: 2016-04-23

基金项目: 国家自然科学基金(51209190); 中国国家合作科技项目(2014DFE70070); 湖北省自然科学基金(2013CFB024)

Fund: National Natural Science Foundation(51209190); China's National Cooperation Project of Science and Technology (2014DFE70070); Natural Science Foundation of Hubei Province(2013CFB024)

作者简介: 肖曲(1990—),女,硕士研究生,主要研究方向为城市河道淤泥的脱水。

Biography: XIAO Qu(1990—), Female, Master, Research focus: dehydration of silt from city river.

水率、高压缩性、低渗透性)的特点,给其综合治理带来了极大的困难。对城市河道淤泥脱水方法主要有自然干化法^[1]、离心法^[2]、板框压滤法^[3]、土工管袋法^[4]、化学混凝法^[5-6]及电渗析法^[7]。化学混凝法主要向淤泥中加入混凝剂,通过对淤泥中胶体进行电中和、吸附架桥和网捕卷扫等作用,使胶体脱稳,从而使淤泥中水分脱除,同时化学絮凝对淤泥中有机质、重金属等也有较好的去除效果。因化学混凝操作简便、药剂价格低廉、效果相对较好,从而使其受到研究者的日益青睐。

希莫等人以污泥比阻为判定标准,以 FeCl_3 和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 为脱水剂,通过实验确定其最佳投加量为: $\text{FeCl}_3(0.01 \text{ g/mL})7.9\%$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(0.01 \text{ g/mL})16.6\%$ ^[8]。范杨臻等人以滇池淤泥为脱水对象,分别以 FeCl_3 和 AlCl_3 为脱水剂,通过对清浑分界面沉降速度的分析得出, FeCl_3 和 AlCl_3 的最佳投加浓度分别为 5 mmol/L 和 9 mmol/L 。实验还研究了有机物颗粒(麦麸、木屑)的加入对混凝效果的影响,结果表明,有机颗粒的加入,能够明显加快混凝的沉降速度,对淤泥的浊度也有很好的降低作用^[9]。

为更好地得到脱水作用,研究者们将目光移到了复合脱水剂上,将两种甚至多种脱水剂复合,得到一种全新的复合脱水剂,使其发挥更好的作用。刘林双等人以南湖水为研究对象,通过实验得出一种能使淤泥快速沉降脱水的泥沙脱水剂(FAS: FeCl_3 , PAM, NaNO_3),结果表明:当脱水剂的比例为 $0.015\% \sim 0.035\%$,淤泥初始质量分数在 $18\% \sim 22\%$ 时,淤泥的脱水效果和速率都达到最佳值^[10]。

武汉素有“百湖之市”的称号,在武汉市环境保护“十二五”规划中,就明确指出要大力推进重点流域和湖泊的环境保护,巡司河的整治工作也位列其中^[11]。巡司河位于武昌城区南端,是主城武昌东南地区的主要排水河道,由发源于武昌江夏区八分山北麓的数条溪流汇成,并流入汤逊湖,经南湖武泰闸在鲇鱼套汇入长江。全长 16 km ,汇水面积约 460 km^2 。上游自河源到汤逊湖,沿途多低山丘陵,中游自汤逊湖西北端出口到武泰闸,地势平缓,多农田菜地,下游至河口。

巡司河水体的主要污染物质是耗氧有机物(BOD)、挥发酚与氨态氮。在每年的6—11月为长江汛期,该期间武泰闸关闭,河水不能流动,河内污染物质便大量积累,在武泰闸关闸期间巡司河污染相当严重,属4~5级水质^[12]。上覆水体的污染程度直接决定着下层淤泥的性质。巡司河淤泥的有

机物成分复杂,难降解性有机物毒性较强,并且颗粒较细,比重较小,呈胶体状态且黏度较大,流动性较差^[13]。在淤泥中含量最多的是水,可达总质量的 $80\% \sim 95\%$,在后续的淤泥处理过程中,由于淤泥的高含水率,严重制约了淤泥的处理与处置。因此只有先将淤泥的水分去除,缩小其体积,才有利于淤泥的后续处理,从而实现巡司河的综合治理。

文中拟采用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 PAM 作为巡司河河道淤泥的脱水剂,重点研究淤泥在 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 PAM 的作用下,清浑界面沉降速率、淤泥浓缩比和淤泥沉降指数与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 PAM 之间的关系。欲探索出制约高含水率淤泥脱水困难的根本原因,建立淤泥絮凝脱水效果和脱水过程控制的关系,复配出一种无机-有机复合絮凝脱水剂。用于城市河道淤泥脱水,解决目前无机脱水剂用量大、絮凝效果差,有机脱水剂成本高的问题,为典型的富含有机质城市河道淤泥的脱水提供新的方法、技术及工艺路线。

1 试验

1.1 淤泥材料

试验泥样采自武汉市巡司河湖北工业大学路段,采样点为东经 $114^\circ 19' 5.8116''$ 、北纬 $30^\circ 29' 20.99''$,泥水分层 $0 \sim 50 \text{ cm}$ 。为保证试验底泥的一致性,集中一批采样,采取底泥先用筛网将树枝、石头等杂质去除,再将底泥密封保存在塑料桶中备用。

1.2 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与 PAM 的准备

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 准备:将 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 在 105°C 下去水干燥 24 h ,再用硅钵将其研磨至过 200 目网筛,取筛下物为实验用品。

PAM 的准备:将 PAM 在 105°C 下去水干燥 24 h ,配置质量分数为 0.1% 的 PAM 溶液,放置冰箱待用。

1.3 主要仪器设备

试验所用仪器设备有紫外可见分光光度计(752,中国)、粒度分析仪(MS2000,英国)、电子式数显搅拌器(OS20-S,中国)、Zeta 电位分析仪(SZP-10,德国)、黏度计(NDJ-8S,中国)以及六联搅拌器(ZR4-6,中国)等。

1.4 试验方法

试验在常温下进行, 为保证初始淤泥浓度一致, 每次试验前将备用淤泥用滤纸进行抽滤, 抽滤后滤饼的含固率为 44% 左右。称取一定量滤饼, 置于 500 mL 烧杯中加水搅拌, 配制成不同浓度的淤泥溶液, 然后加入不同絮凝剂, 并迅速置于搅拌机下搅拌。搅拌一定时间后迅速将混合液倒入 500 mL 塑料量筒中沉降实验, 每隔一段时间, 记录清浑分界面下降情况。

试验淤泥的体积分数为 5% ~ 20%, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 PAM 投加量分别为 1 ~ 11 g/L 与 0.01 ~ 0.06 g/L 不等。

1.5 检测手段与方法

1) 清浑界面下降速度:

$$v = \frac{H}{t} \quad (1)$$

式中: v 为清浑界面下降速度, cm/min; t 为混合液进行实验的时间, min; H 为清浑界面在 t 时间内下降的高度, cm。

2) 淤泥浓缩倍数。淤泥浓缩倍数是指混合液的质量与沉降一定时间后底部淤泥的质量之比。

$$C = \frac{m_1 + m_2}{m_1 + m_2 - m_t} \quad (2)$$

式中: m_1 为 500 mL 淤泥混合液中水的质量, g; m_2 为 500 mL 淤泥混合液中干淤泥的质量, g; m_t 为 500 mL 淤泥混合液沉降 t 时间后, 上清液的质量, g。

3) 淤泥沉降比。污泥沉降比又称 30 min 沉降率, 它是指混合液在量筒内静置 30 min 后沉淀污泥的容积占原混合液容积的百分率:

$$SV_{30} = \frac{V_1}{V_2} \times 100\% \quad (3)$$

式中: SV_{30} 为淤泥沉降比, %; V_1 为混合液在 500 mL 量筒内沉降 30 min 后, 底部淤泥的体积, mL; V_0 为原混合液体积, 500 mL;

2 结果与讨论

2.1 淤泥基本性质

由于实验所用淤泥长期处于水下, 结构较为松

散, 空隙比大, 干燥后经 200 目筛分, 测其物化指标: pH 为 7 ~ 8, 含固率为 5% ~ 10%, 有机质体积分数为 4% ~ 6%, 电位为 -11.7 mV, 黏度为 0.859 Pa·s。

淤泥原样粒径分布采用激光粒度分析仪进行测定, 结果如图 1 所示。该淤泥黏粒体积分数 (<0.005 mm) 为 18.47%, 粉粒颗粒 (0.005 ~ 0.074 mm) 为 58.05%, 砂粒颗粒为 (>0.074 mm) 23.48%^[14]。由图 1 可知, 实验淤泥大部分颗粒集中在粒径为 0.005 ~ 0.074 mm。这说明实验所用淤泥原样颗粒较细小, 含水率高, 其粒径分布更接近粉质粘土^[15]。

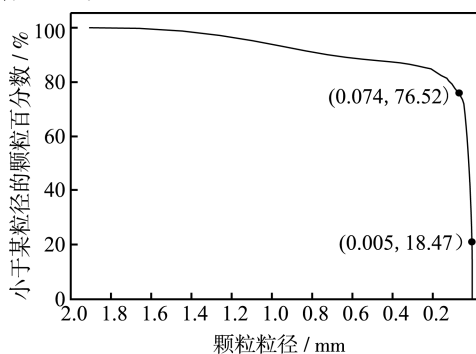


图 1 淤泥原样颗粒级配曲线

Fig.1 Grain-size distribution curves of the silt

2.2 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 投加量对絮凝浓缩淤泥的影响

实验选用淤泥的体积分数为 10%, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 投加量从 1 g/L 到 11 g/L 不等, 试验结果如图 2 所示。随 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 投加量的增加, 淤泥清浑界面沉降速率和浓缩倍数逐渐增大; 当 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 投加量增加到 5 g/L 后, 又逐渐下降, 投加量为 10 g/L 时又取得与 5 g/L 投加量相近效果。一般而言, 絮凝剂越多, 其表面所带的正 (负) 电荷就越多, 当其被吸附到胶粒表面时, 便中和与其电性相反的胶体颗粒, 降低其电势, 逐渐使其处于脱稳状态, 并利用吸附、网捕等作用将这些脱稳颗粒聚集起来, 达到絮凝浓缩的效果^[10]。当絮凝剂投加过量会使已脱稳胶体重新吸附带电离子形成新的电荷平衡, 使颗粒重新聚集, 影响对胶体的絮凝浓缩。因此适量的絮凝剂可以促进淤泥的沉降, 达到最佳的絮凝效果。

淤泥沉降比 (SV_{30}) 随着 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 投加量的增加, 呈现出先增大后减小的现象。一般来说, 沉降比低的淤泥其泥水分离的效果会更好。综上所述, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 投加量为 5 g/L 和 10 g/L 时均能取得最佳的效果。实验中发现, 当 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 投加量达到 10 g/L

时, 淤泥底部有大量 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 粉末未能溶解, 故后 继实验按投加 5 g/L $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 进行淤泥脱水实验。

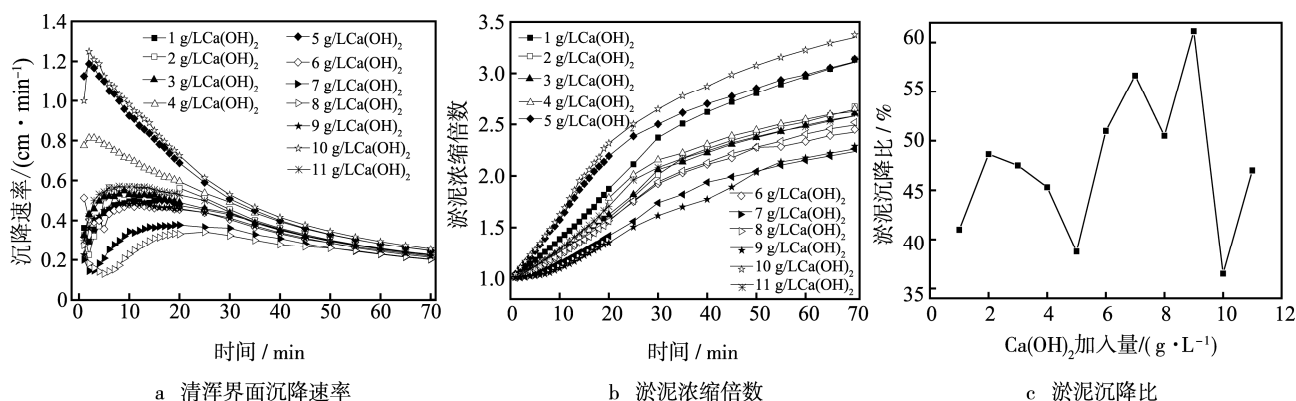


图2 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 投加量对絮凝浓缩淤泥的影响
Fig.2 Effect of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ on flocculation-thickening

2.3 淤泥浓度对 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 絮凝浓缩淤泥的影响

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 投加量按 5 g/L, 淤泥体积分数分别选择 5%, 10%, 15%, 20%, 研究淤泥浓度对 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 絮凝浓缩脱水的影响, 结果如图 3 所示。当淤泥体积分数为 5% 时, 淤泥的沉降速率最快, 前 30 min 清浑界面平均沉降速率为 0.63 cm/min, 70 min 时清浑界面的平均沉降速率为 0.29 cm/min。30 min 和 70 min 相应的浓缩倍数达到 3.96 和 5.10。从沉降比来看, 当淤泥浓度达到 15% 后, 其沉降比基本在 80%, 也就是絮凝沉降 30 min, 清浑界面几乎没有下降, 对淤泥的脱水无明显的影响。虽然淤泥体积分数 5% 时, 清浑界面沉降速率快, 但其含泥量很低, 导致沉泥含水率相对较高, 可达 90%。

当淤泥浓度为 5% 时, 即使沉降 30 min, 沉泥

的质量浓度也在 8.5 mg/L 左右, 此时颗粒间进行的是自由沉淀, 在沉淀过程中颗粒间互不碰撞, 相互作用较小, 呈单颗粒状态, 各自独立的完成沉降过程; 当淤泥体积分数达到 10%, 开始沉降时悬浮物的浓度较低, 主要进行自由沉降, 随着沉降的进行, 30 min 后, 沉泥的质量浓度可达 88 mg/L, 此时颗粒间进行的是絮凝沉淀, 在沉淀过程中, 颗粒之间由于相互碰撞产生絮凝作用, 使得颗粒的粒径和质量逐渐增大, 沉淀速度也不断加快。随着沉降的继续进行, 上层的颗粒不断下降, 并在重力的作用下挤压下层的颗粒, 此时的颗粒浓度越来越大, 并开始伴随区域沉降和压缩沉降的进行, 颗粒之间相互支撑和挤压, 下层颗粒的间隙水不断的被挤出, 使淤泥得到浓缩^[16]。由此可见, 淤泥原样体积分数控制在 10% 左右相对较好。

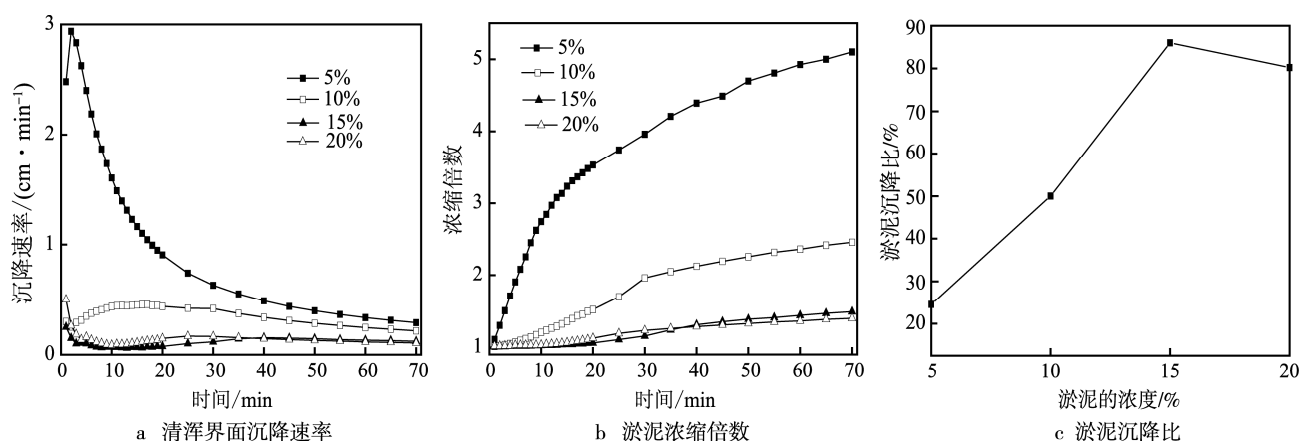


图3 淤泥浓度对 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 絮凝浓缩淤泥的影响
Fig.3 Effect of silt concentration on flocculation-thickening of $\text{Ca}(\text{OH})_2$

2.4 PAM 投加量对絮凝浓缩淤泥过程的影响

控制淤泥体积分数为 10%, PAM 投加量从 0.01

g/L 到 0.06 g/L 不等, 试验结果如图 4 所示。随 PAM 投加量的增加, 淤泥清浑界面沉降速率和浓缩倍数逐渐增大; 当 PAM 投加量从 0.03 g/L 增加到 0.04

g/L 时, 淤泥清浑界面沉降速率和浓缩倍数发生显著的增加, 说明 PAM 投加量从 0.03 g/L 到 0.04 g/L 为絮凝浓缩淤泥的临界点。当 PAM 投加量在 0.04 g/L 以下时, 淤泥絮体形成的颗粒较小, 随着沉降的进行, 颗粒粒径逐渐的增大; 当 PAM 投加量达到 0.04 g/L 时, 可以明显地发现絮体的颗粒较大, 结构松散, 形成较大的絮花。继续增加 PAM 的投加量发现, 刚开始时沉降速率和浓缩倍数继续增加, 且较之前的投加量 (0.04 g/L) 增加幅度更明显, 但是随着沉降的进行, 其效果逐渐恢复到投加量为 0.04 g/L 时的效果, 甚至比 0.04 g/L 的效果更

差。这可能是因为 PAM 达到最佳投加量时, 其所带正电荷将颗粒表面的负电荷中和, 若继续投加 PAM, 过量的正电荷会将颗粒重新包围形成新的稳态结构, 阻止絮凝作用的进行, 影响絮凝浓缩淤泥的过程。因此适量的絮凝剂可以促进淤泥的沉降, 达到最佳的絮凝效果^[17]。

淤泥沉降比随着 PAM 投加量的增加, 呈现先减小后增大的现象过程。一般来说, 沉降比低的淤泥其泥水分离的效果会更好。综上所述, PAM 投加量为 0.04 g/L 时能取得最佳的效果。

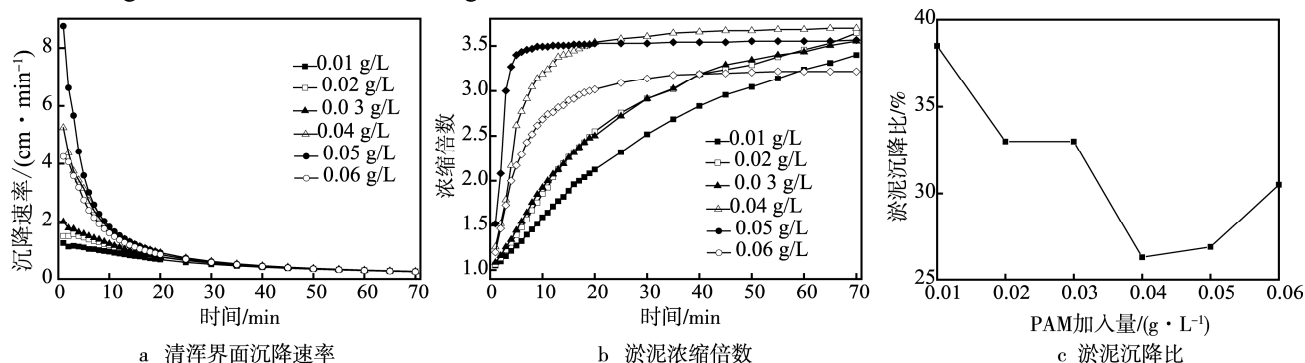


图 4 PAM 投加量对絮凝浓缩淤泥的影响

Fig.4 Effect of PAM on flocculation-thickening

2.5 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 PAM 投加量对絮凝浓缩淤泥过程的影响

控制淤泥的体积分数为 10%, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 投加量为 5 g/L, 加入适当 PAM 作为助凝剂, 探索淤泥浓缩脱水的变化。PAM 按 0 ~ 0.05 g/L 比例进行投加, 结果如图 5 所示。可以看出, 随 PAM 投加量的增加, 淤泥的沉降速率逐渐增大, 浓缩倍数也逐渐增大, 沉降比呈现逐渐减小的趋势; 当投加量达到 0.04 g/L 时, 淤泥的沉降比达到最小值 24.9%; 随

着 PAM 投加量的继续增加, 沉降比反而开始上升, 曲线开始变陡。说明在絮凝剂的投加量较少时, 脱去的主要是表面吸附水、间隙水以及毛细结合水, 随着絮凝剂的不断增加, 内部的结合水也开始逐渐的被脱离出来, 但是当絮凝剂的投加量达到 0.04 g/L 以后, 多余的絮凝剂就会反过来粘连周围的絮体, 使脱水变得更加困难, 絮凝脱水的效果呈现下降的趋势。

综上所述, 在 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的投加量为 5 g/L 时, PAM 投加量为 0.04 g/L 效果较好。

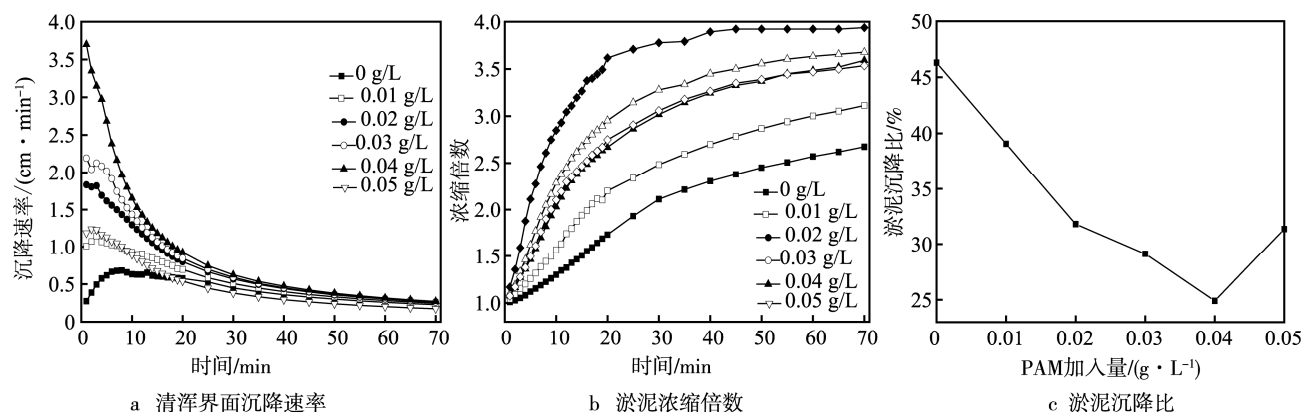


图 5 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 PAM 对淤泥絮凝浓缩的影响

Fig.5 Effect of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and PAM on flocculation-thickening

2.6 PAM 的加入对 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 絮凝浓缩淤泥的影响

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 PAM 最佳投加量分别控制为 5 g/L 和 0.04 g/L, 分别投加 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, PAM, 或 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ +PAM 对淤泥进行浓缩脱水实验, 结果如图 6 所示。当仅投加 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 时, 淤泥的沉降速率和浓缩倍数都比较低, 且沉降比达到 39%。将仅投加 PAM 与同时投加 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ +PAM 比较发现, 两者沉降速率差别不大, 但仅有 PAM 作用时, 20 min 以内, 其浓缩倍数要比两者共同作用时大; 20 min 后, PAM 单独作用时淤泥浓缩倍数趋于平缓, 而 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ +PAM 共同作用时, 其浓缩倍数持续增加, 且明显大于 PAM 单独作用时的浓缩倍数。

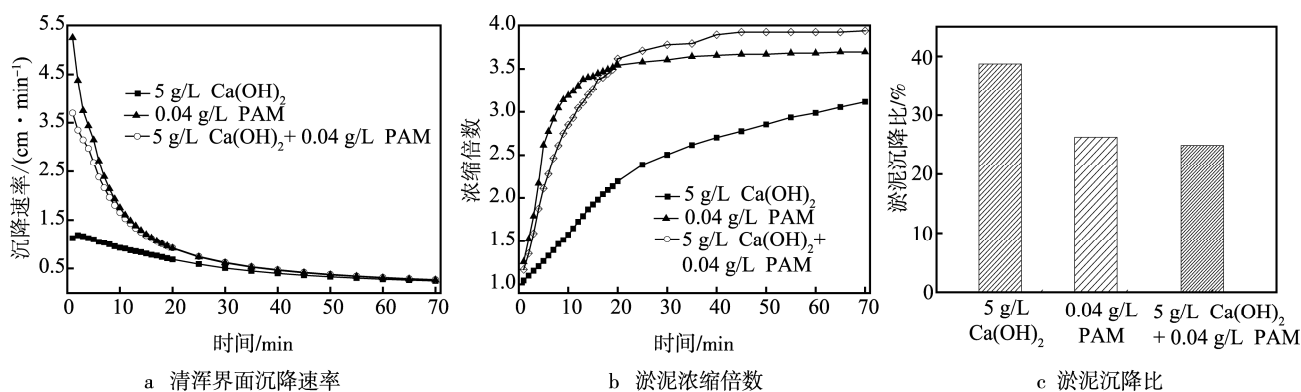


图 6 PAM 的加入对 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 絮凝浓缩淤泥的影响

Fig.6 Effect of PAM on flocculation-thickening of $\text{Ca}(\text{OH})_2$

3 结论

1) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 能够有效地加速淤泥的絮凝沉降速率, 其最佳的投加量为 5 g/L。

2) PAM 对淤泥的沉降有明显的促进作用, 其最佳的投加量为 0.04 g/L。

3) PAM 的添加对 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 絮凝浓缩淤泥有促进作用, 浓缩脱水 70 min 后, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, PAM 与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ +PAM 浓缩脱水的淤泥体系其浓缩倍数分别为 3.11, 3.70 和 3.94, 淤泥的体积可减少 69.25%, 74.4% 和 76.1%。

参考文献:

- [1] ZENTAR R, MIRAOUI M, ABRIAK N E, et al. Natural Dewatering of Marine Dredged Sediments[J]. Drying Technology, 2011, 29(14): 1705—1711.
- [2] 李怀玉, 杨洪波, 陈波. 离心机有效处理含油污泥的问

一般来说, 沉降比低的淤泥其泥水分离的效果更好, 实验发现, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ +PAM 共同作用时, 淤泥沉降比为最低, 达到 24.9%。

PAM 的加入对 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 絮凝浓缩淤泥有明显的促进作用, 分析原因可能是 PAM 的加入, 使絮凝淤泥絮体逐渐结合成大的絮团, 减少了颗粒之间的排斥作用, 使形成的絮状体更大, 更容易沉降^[18]。由图 6b 可知, 20 min 后, 经 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ +PAM 作用的淤泥絮体进一步呈现压缩沉降, 而仅投加 PAM 的淤泥, 其絮体压缩沉降的效果明显下降。70 min 后, 用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, PAM 和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ +PAM 的淤泥体系其浓缩倍数分别为 3.11, 3.70 和 3.94, 此时淤泥的体积仅为絮凝脱水前的 30.75%, 25.60% 和 23.90%。

题分析与对策[J]. 石油化工环境保护, 2006(4): 41—43.

LI Huai-yu, YANG Hong-bo, CHEN Bo. The Centrifuge Effective Treatment of Oily Sludge Problem Analysis and Countermeasures[J]. Environmental Protection in Petrochemical Industry, 2006(4): 41—43.

- [3] 刘景明, 张春, 刘春燕, 等. 带式压滤机化学污泥脱水在生产中的应用[J]. 化工科技, 2005(2): 43—45.

LIU Jing-ming, ZHANG Chun, LIU Chun-yan, et al. The Application of Belt Pressure Filter in the Dewatering[J]. Chemical Process Technology, 2005(2): 43—45.

- [4] 朱远胜. 土工管袋及其应用前景[J]. 纺织导报, 2005(12): 75—76.

ZHU Yuan-sheng. The Application Prospect of Geotextile Tube[J]. China Textile Leader, 2005(12): 75—76.

- [5] 伦宁, 王信东, 李玉江. 两性聚丙烯酰胺在污泥脱水中的应用[J]. 山东建材学院学报, 1999(2): 114—116.

LUN Ning, WANG Xin-dong, LI Yu-jiang. The Application of the Amphoteric Polyacrylamide in Sludge Dewatering[J]. Journal of Shandong Institute of Building Materials, 1999(2): 114—116.

- [6] 李玉江, 吴涛. 高稳定活性硅酸 SPSA 在污泥脱水应用中的研究[J]. 环境科学研究, 1995(6): 32—36.

LI Yu-jiang, WU Tao. The Application of the High Stable

- Activity SPSA Silicate in Sludge Dewatering[J]. Research of Environmental Sciences 1995(6): 32—36.
- [7] IWATA M, SATO M, NAGASE H. Analysis of Constant-current Electro-osmotic Dewatering[J]. Kagaku Kogaku Ronbunshu, 2004, 30(5): 626—632.
- [8] 希莫, 张永利. 不同混凝剂作用下的污泥性能研究[J]. 当代化工, 2010(3): 255—258.
XI Mo, ZHANG Yong-li. The Sludge Performance Study in Different Coagulants[J]. Contemporary Chemical Industry, 2010(3): 255—258.
- [9] 范杨臻, 杨国录, 刘林双. AlCl_3 , FeCl_3 和有机物颗粒对淤泥絮凝沉降特性影响[J]. 节水灌溉, 2011(8): 12—16.
FAN Yang-zhen, YANG Guo-lu, LIU Lin-shuang. The Influence of AlCl_3 , FeCl_3 and Organic Matter Particles to the Settling Character of the Silt[J]. Water Saving Irrigation, 2011(8): 12—16.
- [10] 刘林双, 杨国录, 王党伟. 絮凝剂比例以及淤泥浓度对淤泥脱水速率的影响[J]. 南水北调与水利科技, 2009(4): 57—59.
LIU Lin-shuan, YANG Guo-lu, WANG Dang-wei. The Influence of the Ratio of the Flocculant and the Concentration of the Silt to the Rate of Water Loss of the Silt[J]. The South-North Water Diversion and Water Conservancy Science and Technology, 2009(4): 57—59.
- [11] 朱志超, 李琳, 王海, 等. 武汉市环境保护“十二五”规划[R]. 武汉: 武汉市环境保护局, 2011.
ZHU Zhi-chao, LI Lin, WANG Hai, et al. The "Twelfth Five-year" Plan of Wuhan Environmental Protection[R]. Wuhan: Wuhan Environmental Protection Bureau, 2011.
- [12] 段泽琪, 谢建林. 武昌巡司河水污染综合治理方案可行性研究[J]. 武汉城市建设学院学报, 1987(4): 56—67.
DUAN Ze-qi, XIE Jian-lin. The Feasibility Research of Comprehensive Treatment of the Xun Si River in Wuhan [J]. Journal of Wuhan Institute of Urban Construction, 1987(4): 56—67.
- [13] 呼庆, 雷西萍, 范海宏, 等. 分散剂对脱水污泥流动性能的影响[J]. 环境科学与技术, 2010(7): 61—64.
HU Qing, LEI Xi-pin, FAN Hai-hong, et al. The Influence of the Dispersing agent to the Flowing Property of the Silt[J]. Environmental Science & Technology, 2010, (07): 61—64.
- [14] 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 Chang-hong, XU Bao-tian, et al. Urban River Silt Characteristics and Improvement of Test[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2013, 40(1): 110—114.
- [15] 李炜. 水力计算手册[K]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 575.
LI Wei. Hydraulic Calculation Manual[K]. Beijing: China Water Power Press, 2006: 575.
- [16] 张自杰. 排水工程(下)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000: 637.
ZHANG Zi-jie. Drainage Works (Rudin)[M]. Beijing: China Building Industry Press, 2000: 637.
- [17] 刘晓娜, 孙幼萍, 谭燕, 等. PAM 絮凝剂对污泥脱水性能的影响研究[J]. 广西轻工业, 2011, 27(2): 96—97.
LIU Xiao-na, SUN You-pin, TAN Yan, et al. The Influence of PAM to the Dewaterability of Yhe Silt[J]. Guangxi Journal of Light Industry, 2011, 27(2): 96—97.
- [18] DABANG L. Fractal Geometry of Particle Aggregates Generated in water and Wastewater Treatment Process[J]. Environmental Science and Technology, 1989, 11: 1385—1390.