

# 吹填泥浆的混凝沉降特性试验

陈宏<sup>1,2</sup>, 刘胜宇<sup>3</sup>, 陈绍文<sup>3</sup>, 黄良材<sup>3</sup>, 余关龙<sup>1,2</sup>, 陈晨<sup>1,2</sup>

(1. 长沙理工大学水利工程学院, 湖南长沙 410004; 2. 水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室, 湖南长沙 410004;  
3. 广东金东海集团公司, 广东汕头 515041)

**摘要:**为解决水力吹填泥浆自由沉降所需时间较长,退水排放会带走大量淤泥,以及吹填土地基自然固结时间长等问题,向泥水混合液分别投加聚合氯化铝(PAC)和聚丙烯酰胺(PAM),搅拌静置沉淀后测定混合液剩余浊度、剩余固体悬浮物质量浓度(SS)及泥水界面高度,考察其混凝沉降性能。试验结果表明,投加混凝剂能在一定程度上加速吹填泥浆的沉降分离,提高出水水质。随着PAC和PAM投加量的增加,混合液剩余浊度和剩余SS值均呈现先降低后升高的趋势,而泥水界面高度基本保持不变。当PAC投加量为360 mg/L时,混合液剩余浊度和剩余SS达到最小值,分别为287.4和1.45 g/L;当PAM投加量为2.8 mg/L时,混合液剩余浊度和剩余SS最小,分别为752.7和2.83 g/L。

**关键词:**吹填泥浆;混凝沉降特性;聚合氯化铝;聚丙烯酰胺

**中图分类号:**TU411      **文献标志码:**A      **文章编号:**1006-7647(2013)05-0069-04

**Laboratory study on coagulation-sedimentation behaviors of hydraulic-dredged mud//CHEN Hong<sup>1,2</sup>, LIU Shengyu<sup>3</sup>, CHEN Shaowen<sup>3</sup>, HUANG Liangcai<sup>3</sup>, YU Guanlong<sup>1,2</sup>, CHEN Chen<sup>1,2</sup>** (1. College of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410004, China; 2. Key Laboratory of Water & Sediment Science and Water Hazard Prevention of Hunan Province, Changsha 410004, China; 3. Guangdong Jindonghai Group Co. Ltd., Shantou 515041, China)

**Abstract:** In order to solve the problems that a long period is needed in the free settlement of the hydraulic-dredged mud, a large quantity of silt particles is brought away during the discharge of the recession flow, and a long period is also needed for the natural consolidation of the dredged mud foundation, PAC or PAM was added into the mud mixture individually in the study. After the agitation and precipitation, the residual turbidity, the residual SS of the supernatant and the height of the interface between supernatant and sediments were measured to investigate the coagulation sedimentation property. The experimental results show that both residual turbidity and SS value decrease first and then increase, and the interface remains unchanged with an increased dosage of PAC or PAM. When a PAC dosage of 360 mg/L was added, the minimum residual turbidity and SS value were obtained with the values of 287.4 and 1.45 g/L, respectively. When a PAM dosage of 2.8 mg/L was added, the minimum residual turbidity and SS value were obtained with the values of 752.7 and 2.83 g/L, respectively. The addition of coagulants could in some extent promote the settling and separation of the hydraulic-dredged mud, and enhance the water quality of the recession flow.

**Key words:** hydraulic-dredged mud; coagulation sedimentation property; PAC; PAM

海底淤泥的水力吹填技术已得到了广泛应用。然而,吹填淤泥中黏粒含量高,含水率高,压缩性大,强度低,渗透性能差,排水固结缓慢<sup>[1-3]</sup>,导致自由沉降性能差<sup>[4-6]</sup>,且吹填过程外排水中通常含有大量的淤泥颗粒<sup>[7-8]</sup>,给实际工程带来了许多重大问题,如延误施工进度,降低工程效益,导致生态环境恶化等<sup>[9-10]</sup>。因此,加速吹填淤泥的固液分离过程,实现

淤泥中固体颗粒与水的快速分离,在实际吹填过程中具有显著的经济、环境和社会效益。

针对吹填泥浆在填筑场内自由沉降所需时间较长,退水排放带走大量淤泥以及吹填土地基自然固结时间长等问题,结合淤泥吹填泥浆的特性和淤泥中水的结合形态特征,以吹填现场采集的淤泥原样为试验对象,研究投加混凝剂对吹填泥浆混合液沉

降性能的影响,考察混凝法对吹填泥浆固液分离过程的改善效果,为解决吹填泥浆自然沉降所需时间较长,退水排放带走大量淤泥等问题提供技术依据。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

淤泥样品采自天津某海岸吹填工地,将样品在105℃下在干燥箱内烘干、研碎后,过筛100目,收集筛下部分作为研究对象。混合液呈灰黄色,配合比(干淤泥与蒸馏水的质量之比)为1:20,水质检测结果如下:浊度为37450,固体悬浮物质量浓度(SS)为42.12 g/L,水温为28℃。混凝剂使用普通市售的聚合氯化铝(PAC,工业纯)和聚丙烯酰胺(PAM,分析纯)。

### 1.2 参数测试方法

水温采用普通玻璃温度计测定;浊度采用分光光度法按照GB 13200—1991《水质浊度的测定》来测定;SS采用重量法按GB 11901—1989《水质悬浮物的测定重量法》测定;泥水界面高度采用量筒目测读取(设定初始高度为100 mm)。

### 1.3 试验步骤

- 步骤1 配制原混合液,测定其水质指标。
- 步骤2 配制混凝剂溶液,进行混凝沉淀试验:取适当原混合液,在其中添加药剂,先快速搅拌1 min(转速为150 r/min),再慢速搅拌10 min(转速为50 r/min),然后静置并沉淀,最后测定混合液的剩余浊度、剩余SS以及泥水界面高度等指标。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 不同沉淀时间的原水样沉降效果

将原混合液分别静置0 min、15 min、30 min、45 min、60 min,测定混合液剩余浊度、剩余SS以及泥水界面高度,结果如表1所示。

| 表1 原混合液沉降性能 |       |                           |           |
|-------------|-------|---------------------------|-----------|
| 沉淀时间/min    | 剩余浊度  | 剩余SS/(g·L <sup>-1</sup> ) | 泥水界面高度/mm |
| 0           | 37450 | 42.12                     | 100.0     |
| 15          | 821   | 3.11                      | 12.8      |
| 30          | 583   | 2.05                      | 12.1      |
| 45          | 314   | 1.46                      | 11.6      |
| 60          | 241   | 1.21                      | 11.5      |

由表1可知,静置15 min,混合液中剩余浊度和剩余SS显著下降,分别为821和3.11 g/L,去除率分别为97.8%和92.6%。延长沉淀时间,混合液剩余浊度和剩余SS变化很小,混合液的泥水界面高度下降比较缓慢。根据水中悬浮颗粒的凝聚性能和浓度,沉淀可分成4种类型:自由沉淀、絮凝沉淀、成层沉淀和压缩沉淀。初始是自由沉淀,沉降速度较快;

随着混凝反应的不断进行,固体颗粒物浓度增大,体积也不断增大,逐渐转变为其他3种沉淀类型,沉降速度变慢;此后出现颗粒的重力等于或小于其下沉产生的阻力时的等速下沉和减速下沉现象。

### 2.2 PAC投加量的影响

设定沉淀时间为30 min,考察PAC投加量分别为225 mg/L、240 mg/L、280 mg/L、320 mg/L、360 mg/L、375 mg/L时的混合液剩余浊度和剩余SS及泥水界面高度,结果如图1所示。

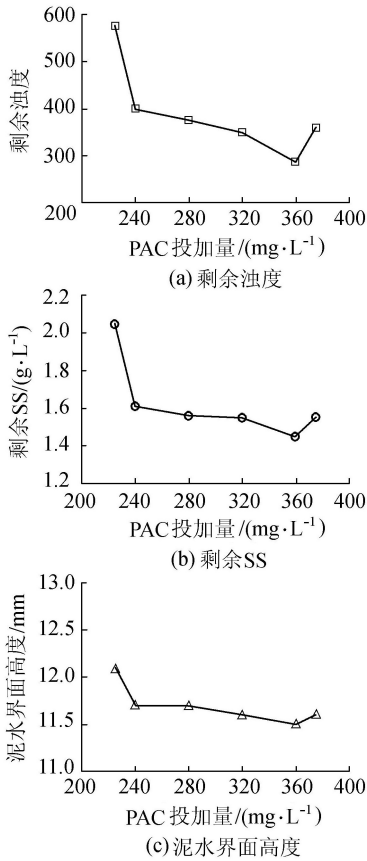


图1 PAC投加量对剩余浊度、剩余SS及泥水界面高度的影响

投加PAC后,出现较明显矾花现象,矾花较细,很快也出现了泥水分层现象,泥水界面下降速度较快。由图1可知,随着PAC投加量的增加,混合液剩余浊度和剩余SS均先减小再增大。当投加量为360 mg/L时,剩余浊度和剩余SS达到最小值,分别为287.4和1.45 g/L。泥水界面高度也在PAC投加量为360 mg/L时达到最小值,但总体上变化不明显。若继续增大PAC投加量,混合液剩余浊度和剩余SS均增大。

### 2.3 沉淀时间对PAC处理效果的影响

在PAC投加量分别为10 mg/L、20 mg/L、40 mg/L、60 mg/L,沉淀时间分别为15 min、30 min、45 min、60 min时,测定混合液剩余浊度,结果如表2所示。

混合液沉淀15 min以后,随着时间的延长,泥水界面位置基本保持不变。由表2可知,静置15 min

表 2 不同沉淀时间和 PAC 投加量  
对应的混合液剩余浊度

| 沉淀时间/<br>min | 不同 PAC 投加量的混合液剩余浊度 |         |         |         |
|--------------|--------------------|---------|---------|---------|
|              | 10 mg/L            | 20 mg/L | 40 mg/L | 60 mg/L |
| 15           | 376                | 326     | 407     | 472     |
| 30           | 326                | 283     | 299     | 345     |
| 45           | 283                | 214     | 226     | 287     |
| 60           | 210                | 187     | 207     | 218     |

后,混合液剩余浊度已经较低;继续增大沉淀时间,混合液中固体悬浮物的沉降速度较缓慢,浊度降低较少,延长沉淀时间对混合液去除效率的影响不大。

2.4 PAM 投加量的影响

考察 PAM 投加量分别为 0.4 mg/L、1.0 mg/L、1.6 mg/L、2.0 mg/L、2.4 mg/L、2.8 mg/L、3.0 mg/L、4 mg/L 时的混合液剩余浊度、剩余 SS 及泥水界面高度,结果如图 2 所示。

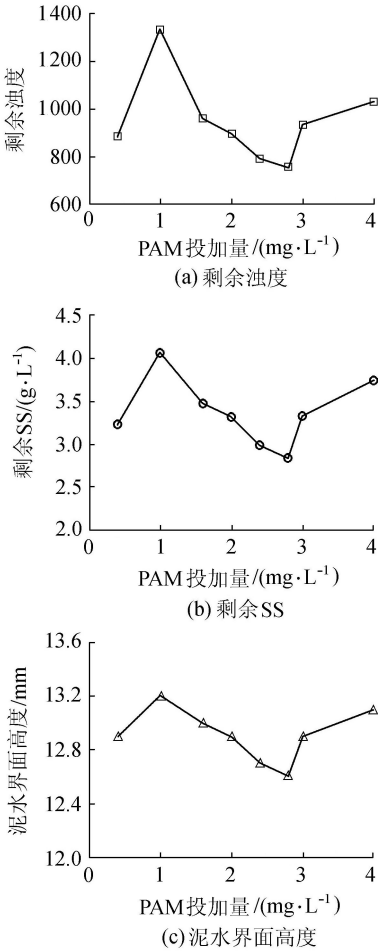


图 2 PAM 投加量对剩余浊度、剩余 SS 及  
泥水界面高度的影响

投加 PAM 时,矾花出现不明显,混合液分层较慢,泥水界面沉降速度也较慢。由图 2 可知,随着 PAM 投加量的增加(0.4 mg/L 除外),混合液剩余浊度和剩余 SS 均先减小再增大。当投加量为 2.8 mg/L 时,剩余浊度和剩余 SS 达到最小值,分别为 752.7

和 2.83 g/L。泥水界面高度也在 PAM 投加量为 2.8 mg/L 时达到最小值,但总体上变化不明显。若继续增大 PAM 投加量,混合液剩余浊度和剩余 SS 均增大。

2.5 沉淀时间对 PAM 处理效果的影响

为考察沉淀时间对 PAM 处理效果的影响,设定 PAM 投加量分别为 0.2 mg/L、0.4 mg/L、1.2 mg/L,沉淀时间分别为 15 min、30 min、45 min、60 min,测定混合液剩余浊度,结果如表 3 所示。

表 3 不同沉淀时间和 PAM 投加量  
对应的混合液剩余浊度

| 沉淀时间/<br>min | 不同 PAM 投加量的混合液剩余浊度 |          |          |
|--------------|--------------------|----------|----------|
|              | 0.2 mg/L           | 0.4 mg/L | 1.2 mg/L |
| 15           | 591                | 557      | 541      |
| 30           | 380                | 364      | 390      |
| 45           | 310                | 295      | 283      |
| 60           | 291                | 268      | 268      |

由表 3 可以看出,投放 PAM 并静置 15min 后,混合液剩余浊度值较未投放 PAM 的原混合液的剩余浊度值低;静置 30 min 后,混合液剩余浊度仍有较大降低趋势;静置 45 min 后,随着沉淀时间的延长,混合液剩余浊度已经变化不大,但其值仍然较大。对比表 2、表 3 可知,投加 PAM 的混凝沉淀作用时间略长于投加 PAC。

对比图 1 和图 2 可知,PAC 投加量较大时,混合液剩余浊度和剩余 SS 值均较小,泥水界面高度也略低,混凝沉淀的效果较好。分析其原因:PAM 属于有机高分子絮凝剂,对混凝反应条件如 pH 值较敏感;PAC 属于无机混凝剂,矾花形成快,颗粒大而重,因而沉淀性能好。

由以上结果可知,通过投加混凝剂,可以在一定程度上促进泥水混合液的沉淀,降低剩余浊度和剩余 SS 值。混凝剂一般具有以下作用:①降低胶粒的ζ 电位,减小颗粒间的静电斥力,实现胶粒“脱稳”;②发挥高分子混凝剂的吸附架桥作用;③具有网捕作用,能促使颗粒凝聚。在混凝反应中,混合液中颗粒的表面性质如动电位、黏度、浊度及 pH 值等因子直接影响混凝效果。尽管胶粒间的静电斥力和胶粒表面的水化作用促使混合液维持稳定的悬浮状态,但吹填淤泥颗粒表面带有大量负电荷,会吸附带极性的水分子和水合阳离子,以致在其表面形成一定厚度的吸附水层。由于颗粒表面的动电位是颗粒阻聚的主要原因,通过加入表面电荷相反的 PAM,降低了动电位从而使颗粒聚集起来<sup>[11]</sup>。

与此同时,因药剂消耗和能耗会增加系统运行费用,需进行经济效益分析。若 PAM 投加量为

1.6 mg/L,按吹填速率 2 500 m<sup>3</sup>/h、每天工作 20 h, PAM 价格 16 元/kg 计算,则每日花费药剂费用为 1 280 元,每月药剂费用小于 38 400 元。药剂消耗为主要支出,能耗等其他运行费用支出增加不多,因此,本方法具有经济可行性。此外,由于减少了余水中淤泥颗粒的排放量,减轻了对施工周围环境的污染,同时显著提高了泥浆沉降效果,减少了吹填泥浆的总量,从而缩短了施工工期,产生了较大的经济、环保和社会效益。

3 结 语

投加 PAC 和 PAM 均能提高泥水混合液的沉降效果,并且随着投加量的增加,混合液剩余浊度和剩余 SS 值均出现先减小后增大的趋势,而泥水界面高度略有降低但变化不大。当 PAC 投加量为 360 mg/L 时,混合液剩余浊度和剩余 SS 达到最小值,分别为 287.4 和 1.45 g/L;当 PAM 投加量为 2.8 mg/L 时,混合液剩余浊度和剩余 SS 最小值分别为 752.7 和 2.83 g/L。PAC 的混凝作用时间较短,15 min 即可达到较好的沉淀分离效果;PAM 混凝作用时间稍长。投加混凝剂能在一定程度上提高吹填泥浆的沉降分离效果,减少余水中淤泥颗粒的排放量,减轻对施工周边环境的污染。

参考文献:

[ 1 ] 王琦,李中华. 环保疏浚底泥堆场余水处理方法及实施装置研究[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(2): 179-181. ( WANG qi, LI Zhonghua. Study on treatment device and method to residual water at environmental dredging sediment storage area [ J ]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2012, 23 ( 2 ): 179-181. ( in Chinese ) )

[ 2 ] 杨爱武,杜东菊,赵瑞斌,等. 吹填泥浆沉积模拟试验研究[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2010,29(4): 617-620. ( YANG Aiwu, DU Dongju, ZHAO Ruibin, et al. Simulation on sedimentation of mud fluid of dredger fill [ J ]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2010, 29 ( 4 ): 617-620. ( in Chinese ) )

[ 3 ] 张春雷,朱伟,范公俊. 水泥固化高含水率淤泥的收缩性质[J]. 河海大学学报:自然科学版,2010,38(3): 295-299. ( ZHANG Chunlei, ZHU Wei, FAN gongjun. Shrinkage properties of cement solidified sludge with high water content [ J ]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2010, 38 ( 3 ): 295-299. ( in Chinese ) )

[ 4 ] 詹良通,童军,徐洁. 吹填土自重沉积固结特性试验研究[J]. 水利学报,2008,39(2): 201-205. ( ZHAN Liangtong, TONG Jun, XU Jie. Laboratory study on self-

weight sedimentation and consolidation behaviors of hydraulic-dredged mud [ J ]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39 ( 2 ): 201-205. ( in Chinese ) )

[ 5 ] 曹玉鹏,吉锋. 吹填淤泥沉积规律室内试验[J]. 水利水电科技进展,2011,31(3): 36-39. ( CAO Yupeng, JI Feng. Model tests on sedimentation behavior of dredged sludge [ J ]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31 ( 3 ): 36-39. ( in Chinese ) )

[ 6 ] 刘莹,王清. 水泥与生石灰处理吹填土对比试验研究[J]. 工程地质学报,2006,14(3): 424-427. ( LIU Ying, WANG Qing. Laboratory model tests on consolidation of hydraulic fills treated with lime or cement additives [ J ]. Journal of Engineering Geology, 2006, 14 ( 3 ): 424-427. ( in Chinese ) )

[ 7 ] 张庆河,王殿志,赵子丹. 扰动淤泥与沉积淤泥的流变特性研究[J]. 水利学报,2002,33(6): 77-82. ( ZHANG Qinghe, WANG Dianzhi, ZHAO Zidan. Rheological properties of man mixed mud and natural deposited mud [ J ]. Journal of Hydraulic Engineering, 2002, 33 ( 6 ): 77-82. ( in Chinese ) )

[ 8 ] 彭劼,苏波,董江平,等. 双层滤管无砂垫层真空预压法处理超软海底吹填淤泥[J]. 河海大学学报:自然科学版,2011,39(6): 676-681. ( PENG Jie, SU Bo, DONG Jiangping, et al. Application of vacuum preloading method with double-layer filter pipe in non-sand-mat layer to ultra-soft seabed silt hydraulic filling [ J ]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2011, 39 ( 6 ): 676-681. ( in Chinese ) )

[ 9 ] 陈荷生. 太湖底泥的生态疏浚工程[J]. 水利水电科技进展,2004,24(6): 34-37. ( CHEN Hesheng. Eco-dredging project of sediment in Taihu Lake [ J ]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2004, 24 ( 6 ): 34-37. ( in Chinese ) )

[ 10 ] 储旭,陈波,周建芑,等. 真空电渗降水及动力挤密脱水加固淤泥技术[J]. 水利水电科技进展,2008,28(5): 78-79. ( CHU Xu, CHEN Bo, ZHOU Jianpeng, et al. A novel sediment technique integrating electro-osmotic drainage and vibro-densification [ J ]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28 ( 5 ): 78-79. ( in Chinese ) )

[ 11 ] 唐云飞,王荣昌,马利民,等. 河道疏浚底泥余水强化絮凝处理工艺优化与机理[J]. 净水技术,2012,31(3): 93-96. ( TANG Yunfei, WANG Rongchang, MA Limin, et al. Mechanism and optimization of enhanced flocculation process for sediment water treatment of river dredging [ J ]. Water Purification Technology, 2012, 31 ( 3 ): 93-96. ( in Chinese ) )

( 收稿日期:2012-11-12 编辑:骆超 )