

巢湖淤泥土工管袋脱水效果试验研究

黄 涛¹, 沈保根¹, 鄢 俊², 黄昭杰³

(1. 安徽省交通勘察设计院有限公司, 安徽 合肥 230011; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210024;
3. 安徽瑞迪工程科技有限公司, 安徽 马鞍山 243100)

摘要: 针对巢湖疏浚淤泥处理的土地占用、环境污染及工程建设对湖区环境的影响, 应用土工管袋技术对巢湖淤泥进行脱水固化处置及管袋充填研究。以絮体的体积、密实度和上清液清澈度作为评价指标, 采用单因素分析法进行絮凝剂试验方案设计和结果分析。试验结果表明: 以阳离子型聚丙烯酰胺为主的絮凝剂适用于巢湖淤泥脱水效果处理, 最优投加比例为 0.5% 浓度的絮凝剂, 投加量为 1 mL/100 mL 巢湖泥浆; 固化剂投加量为巢湖淤泥干重的 10%; 巢湖淤泥填充速率为 0.8~1.0 m³/h, 絮凝剂充填速率为 1.0~1.2 m³/h, 固化剂充填速率为 0.08~0.10 m³/h。检测结果表明管袋滤出水中总磷 (TP) 明显降低, 管袋脱水固化处理对周边环境不会造成二次污染, 利用土工管袋进行淤泥脱水从环保角度是安全的。

关键词: 巢湖淤泥; 土工管袋; 絮凝剂; 固化剂; 充填速率

中图分类号: U 6; TV 4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)04-0025-05

Experimental research on dewatering effect of geotextile tube on Chaohu Lake silt

HUANG Tao¹, SHEN Bao-gen¹, YAN Jun², HUANG Zhao-jie³

(1. Anhui Transport Survey&Design Institute Co., Ltd., Hefei 230011, China;
2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China;
3. Anhui R & D Hi-Tech Engineering Co., Ltd., Ma'anshan 243100, China)

Abstract: In view of the problems of land occupation and environmental pollution for Chaohu slit treatment, as well as the impact of engineering construction on the environment, we study the dewatering, solidification and tube filling of Chaohu silt using the geotextile tube technology. Taking the volume, density and supernatant of the flocculant as the evaluation indices, we use the single factor analysis method to conduct the flocculant pilot tests design and result analysis. The results show that the flocculant based on cationic polyacrylamide is suitable for the treatment of Chaohu Lake silt dewatering effect, the optimal dosage of 0.5% concentration of flocculant is 1 mL/100 mL mud in Chaohu, and the optimal dosage of curing agent is 10% of the dry weight of Chaohu Lake silt; the Chaohu Lake silt filling rate is 0.8~1.0 m³/h, the flocculant filling rate is 1.0~1.2 m³/h, and the curing agent filling rate is 0.08~0.10 m³/h. The test results show that the total phosphorus (TP) in the filtered water is significantly reduced, the dewatering and solidification treatment of silt will not cause extra pollution to the surrounding environment, and the use of geotechnical pipe bags for sludge dewatering is safe for environmental protection.

Keywords: Chaohu Lake silt; geotextile tube; flocculant; hardener; filling rate

土工管袋填芯底泥的填充及排水是土工管袋制作的重要环节, 对于黏粒含量较高的黏质粉土, 泥浆充填后泥沙颗粒的沉淀速度慢且容易堵塞管袋孔隙, 从而降低脱水效率^[1]。针对土工管袋脱

水絮凝问题, 黄佳音等^[2]对白洋淀底泥进行絮凝脱水试验, 提出适用于白洋淀土工管袋脱水的絮凝方案; 王菲等^[3]研究了 3 种絮凝剂对武汉官桥湖底泥脱水特性的影响, 发现单一絮凝剂能显著

改善淤泥脱水性能, 但不能稳定泥饼中的污染物; 毕涛等^[4]结合天津滨海地区某水库的底泥疏浚治理工程, 在疏浚船舶和絮凝剂的配合下, 对土工管袋填充过程展开研究, 筛选出最佳管袋类型、底泥脱水后含水率变化以及施工中的控制方法等技术指标。上述研究虽然可以为淤泥管袋工程实践提供一些参考, 但由于各区域自然条件、底泥理化特性及外源控制等存在差异, 目前对于巢湖湖区底泥特性和管袋填充技术尚待进一步研究。而随着巢湖湖区水环境保护力度的逐年加大, 对底泥处理的环境安全性也提出更高的要求。

本文依托巢湖入湖航道口门拦沙导堤建设工程, 设计不同的絮凝剂小试方案, 开展实验室淤泥脱水固结小试试验, 应用单因素分析法对试验结果进行分析, 得到最优絮凝剂和固化剂添加比例。在此基础上, 开展现场土工管袋中试试验, 得出最佳的淤泥充填流速与试剂充填流速之比, 并对固化底泥和排放滤水环保指标进行检测, 以期为后续土工管袋导堤工程实践提供数据支撑和施工指导。

1 工程概况

白石天河位于安徽省庐江县北部、巢湖西南口, 由西向东流, 于吴家圩注入巢湖, 全长 35.5 km, 按Ⅲ级航道标准建设, 航道总挖方为 308.3 万 m³ (含

超宽、超深量)。为减轻风浪对白石天河河口处泥沙运动的影响、减少航道回淤, 拟在航道入湖口门处实施拦沙导堤工程, 项目地理位置见图 1。导堤在航道中心两侧按整治宽度对称布置, 长 2.0 km, 宽 120 m, 堤纵轴线向外侧拐折形成凹角 ($>150^\circ$)。为尽量减小工程建设对于湖区生态环境的影响, 导堤堤心拟采用航道疏浚底泥充填土工管袋方案。口门处地质特征岩性自下而上为中砂、细砂、稍密性粉土、可塑性粉质黏土、淤泥质粉质黏土、松散性粉土、软塑性粉质黏土、淤泥。表 1 列出工程位置湖底疏浚淤泥重金属及总磷总氮检测指标, 依据沉积物重金属质量基准法^[5], 口门采样点处淤泥重金属沉积成份属于低生态风险。

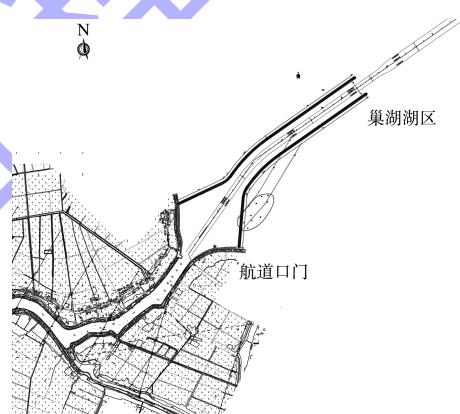


图 1 项目地理位置

表 1 疏浚淤泥重金属及总磷总氮检测指标

成分	Cu	Zn	Pb	Cr	Cd	As	Hg	Ni	总磷	总氮
浓度/(mg·kg ⁻¹)	18.2	59.1	30.3	55.6	0.11	4.7	0.036	23.6	432.5	635.7

2 试验方案设计

2.1 小试试验

2.1.1 试验原材料

1) 淤泥样品。在航道入湖口门处采样湖底淤泥, 通过添加一定比例的原水配置泥浆模拟工程疏挖形成的疏浚泥浆。

2) 絮凝剂。絮凝剂可分为无机絮凝剂、有机絮凝剂和复合絮凝剂等。本试验主要选取有机絮凝剂聚丙烯酰胺(PAM)、聚合氯化铝(PAC)。试验根据不同絮凝剂种类分为 A (PAM 中性)、B (PAM 阴离子型, 带负电荷)、C (PAM 阳离子型,

带正电荷)、D (聚合氯化铝)、E (聚合硫酸铝)、F (聚合氯化铁)、G (聚合硫酸铁)、H (改性活化硅酸)、I (聚硅酸硫酸铝) 共 9 个方案。

3) 固化剂。聚电解质类外加剂。

2.1.2 方案设计

1) 按照上述絮凝剂方案, 配置浓度 0.5% 的絮凝剂溶液 100 mL, 加入到装有 200 mL 泥浆的烧杯中, 用玻璃棒搅拌均匀, 直至上清液澄清, 静置 30 s 观察泥水分离效果、絮团大小和絮团密实度, 综合评价絮凝剂的絮凝效果。

2) 选取上一步试验中的最佳絮凝剂, 浓度分

别配置为0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%，将上述不同浓度的絮凝剂加入到装有200 mL泥浆的烧杯中，玻璃棒搅拌均匀，静置30 s观察泥水分离效果、絮团大小及上清液水质情况，综合评价絮凝剂的絮凝效果。

3) 选取上一步试验中的最佳絮凝剂，设计添加量梯度比试验，向5个装有200 mL的泥浆杯中分别加入1、2、5、10、15、20 mL的絮凝剂，玻璃棒搅拌均匀，静置30 s观察泥水分离效果、絮团大小及上清液水质情况，综合评价絮凝剂添加量效果。

4) 通过向絮凝脱水后的淤泥中加入一定量的固化剂，使改良后的淤泥经过干燥后具有一定的疏水性能，保证回水后的改性淤泥不会被再度溶解。由于工程进度要求，根据类似工程经验，采用向絮凝后的淤泥中加入10%固化剂的方案，观察试样结果，判断改性底泥固化后遇水是否稳定。

2.2 中试试验

在上述小试试验结果的基础上，开展现场中试试验，选取距白石天河口1 km处的空旷区域作为本试验的中试场地，为试验所需用水及淤泥制浆、充填及脱水提供便利。中试试验布置现场见图2，中试内容包括准备堆场、布设土工管袋、疏浚泥浆充填、脱水干化等全过程环节，为充泥管袋导堤工程实施提供参考。



图2 中试试验现场布置

2.2.1 试验原材料

试验使用湖底表层淤泥，通过水力冲挖泵吸的方式储集于淤泥池内，淤泥浓度控制在20%~30%。絮凝剂和固化剂均为实验室小试所得最优类型。土工管袋满足GB/T 17641—1998《土工合成

材料 裂膜丝机制土工布》相关指标要求。

2.2.2 试验方案设计

利用气动隔膜泵向管路中输送絮凝剂及固化剂，淤泥通过泵输送至管路中，三者在管路中进行充分混合，充填入土工管袋中并进行脱水固结。通过调节加药箱流速控制絮凝剂及固化剂的添加量，始终保证出水澄清且出水黏度较低，得出最佳的淤泥充填流速与试剂充填流速之比。中试试验流程见图3。

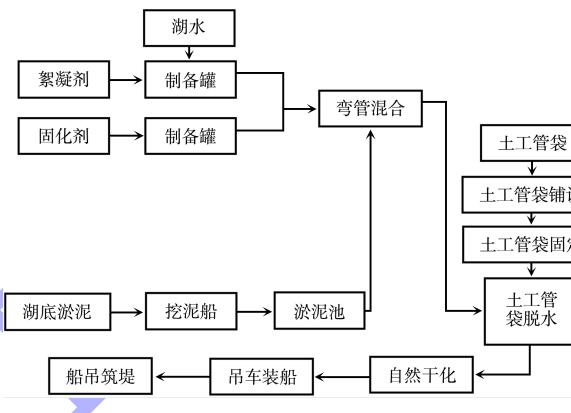


图3 中试试验流程

3 试验结果分析

3.1 小试试验结果

采用单因素试验的方法研究絮凝剂对淤泥泥水分离效果的影响。影响泥水分离效果的主要因素有絮凝剂的种类、浓度、用量。小试试验中，通过调整絮凝剂的投加量，研究不同类型絮凝剂的絮凝效果，试验结果见表2。

表2 不同方案絮凝剂脱水絮凝效果

絮凝剂	絮凝剂加入量/mL	絮体体积/mL	絮体密实度	上层液体澄清度
A	30	-	-	浑浊
B	10	122	松散	澄清
C	1	125	密实	澄清
D	22	120	较密实	澄清
E	20	123	密实	澄清
F	30	-	-	浑浊
G	30	128	较松散	澄清
H	30	-	-	浑浊
I	30	-	-	浑浊

对比絮凝剂方案可知：A、F、H、I上层液体呈现浑浊状态，说明上述方案絮凝剂对泥浆试样

无絮凝作用; B、G 方案的絮凝剂絮凝效果较差, 絮体密实度松散; C、E 方案絮凝效果较好, 而 C 方案中絮凝剂相较于 E 方案用量明显较小。考虑经济因素, 选取 C 方案絮凝剂进行后续试验。

使用 C 方案絮凝剂研究不同絮凝剂浓度的对絮凝效果的影响, 试验结果见表 3。

表 3 不同浓度的絮凝剂絮凝效果

絮凝剂浓度/%	絮凝剂加入量/mL	絮体体积/mL	絮体密实度	上层液体澄清度
0.1	5.50	145	松散	澄清
0.2	2.50	140	松散	澄清
0.3	1.80	137	较松散	澄清
0.4	1.30	130	较密实	澄清
0.5	1.00	125	密实	澄清
0.6	0.80	125	密实	澄清
0.7	0.68	125	密实	澄清

从表 3 可知, 随着絮凝剂浓度的增加, 絯体密实度相应增大, 相应絮凝剂的黏度也随之增加。考虑到后续环节絮凝剂需通过泵送的方式进入混合管中, 絯凝剂的黏度不宜过大, 因此选取浓度为 0.5% 的絮凝剂进行添加量影响试验。设计 6 种不同添加量参数, 观察絮凝剂絮凝效果, 试验结果见表 4。

表 4 不同添加量的絮凝效果

絮凝剂添加量/mL	絮体体积/mL	絮体密实度	上层液体澄清度
1	86	较密实	较澄清
2	120	密实	澄清
5	123	密实	较澄清
10	117	密实	较浑浊
15	115	密实	较浑浊
20	114	密实	较浑浊

试验结果表明, 随着絮凝剂添加量的增加, 絯体密实度相应增大, 但添加量增加到一定量后沉降性能反而下降, 上层液体澄清度表现出逐渐下降的趋势。根据试验中最佳絮凝效果, 确定 0.5% 浓度的絮凝剂添加量为 1 mL/100 mL 泥浆。

添加絮凝剂并加入固化剂混合、干化后的底泥见图 4。与未加入固化剂的试样对比, 固化底泥颜色呈灰白色。取一小块固化底泥置于水中, 观察 7 d 后未出现溶解及溢散现象, 试样对比见

图 5。固化剂的加入使底泥具备了一定强度, 且整体的疏水性能增强, 具有足够的水稳定性。



图 4 固化剂添加淤泥前、后对比



a) 第 1 d



b) 第 7 d

图 5 固化底泥变化情况

3.2 中试试验结果

通过现场试验控制以保证管袋出水澄清且黏度较低(图 6), 同时考虑试剂的经济效益因素, 最终确定絮凝剂的掺量为 3.3~3.4 kg/m³ 干方淤泥, 固化剂的掺量为淤泥干方量的 10%。淤泥的充填速率为 0.8~1.0 m³/h, 絯凝剂的充填速率为 1.0~1.2 m³/h, 固化剂的充填速率为 0.08~0.10 m³/h。由于淤泥池不同区域淤泥浓度存在差异, 若管袋出现水浑浊现象, 需及时调节絮凝剂的充填速率。



图6 滤出水情况

对土工管袋滤水和固化底泥进行采样检测, 水质检测结果见表5, 固化底泥成分见表6。

表5 土工管袋滤出水质检测结果

成分	土工管袋滤出水/(mg·L ⁻¹)	原水/(mg·L ⁻¹)
总磷	0.04	0.11
氨氮	7.84	0.56
硝态氮	6.29	1.18

表6 固化底泥氧化物成分含量

成分	含量/%	成分	含量/%	成分	含量/%
SiO ₂	50.530 0	TiO ₂	0.750 0	Rb ₂ O	0.009 1
Al ₂ O ₃	11.840 0	SO ₃	0.120 0	NiO	0.002 4
Fe ₂ O ₃	4.630 0	BaO	0.077 0	PbO	0.003 4
MnO	0.130 0	SrO	0.043 0	As ₂ O ₃	0.002 7
CaO	15.240 0	ZrO ₂	0.034 0	Co ₃ O ₄	0.001 2
MgO	1.190 0	Cl	0.019 0	CuO	0.001 9
K ₂ O	2.180 0	ZnO	0.014 0	Nb ₂ O ₅	0.001 6
Na ₂ O	1.610 0	Cr ₂ O ₃	0.016 0	Ga ₂ O ₃	0.002 8
P ₂ O ₅	0.110 0	V ₂ O ₅	0.014 0	烧失量	11.420 0

由上述检测结果可知, 土工管袋脱水技术能够降低排放的总磷含量, 但因选用了含氮元素类絮凝剂导致氨氮含量增加。管袋滤水中磷酸盐(以P计)和氨氮浓度均低于GB 8978—1996《污水综合排放标准》允许排放浓度(一级标准)0.5 mg/L和15 mg/L; 固化底泥主要为硅酸盐黏土成分, 重金属含量(Cr、As、Pb、Ni、Zn和Cu)低于GB 15618—2018《土壤环境质量农用土壤污染风险管控标准(试行)》的要求。

4 结论

1)实验室小试试验结果表明, 以阳离子型聚丙烯酰胺为主的絮凝剂比较适用于巢湖淤泥脱水效果处理, 0.5%浓度的絮凝剂最佳投加量为1 mL(100 mL泥浆); 固化剂最佳投加量为淤泥干方量的10%。上述组合可使底泥泥浆达到快速脱水减容的效果。

2)通过现场中试并结合经济性分析, 絮凝剂掺量为3.3~3.4 kg/m³干方巢湖淤泥; 巢湖淤泥填充速率为0.8~1.0 m³/h; 絮凝剂充填速率为1.0~1.2 m³/h; 固化剂充填速率为0.08~0.10 m³/h。

3)对巢湖滤水水质和固化底泥进行检测, 滤水中总磷(TP)去除率达63.6%且氨氮含量、底泥所含重金属均符合相关环保标准, 利用土工管袋进行淤泥脱水从环保角度是安全的。

4)本文试验结果是在施工区域小范围内采样并在实验室理想试验条件下得到的, 利用土工管袋进行淤泥脱水的实际应用结果尚待工程实践检验。

参考文献:

- [1] 常广品, 束一鸣, 尹家春, 等. 管袋充填高含粘量泥浆的高效脱水方法[J]. 水电能源科学, 2014, 32(3): 129-133.
- [2] 黄佳音, 王占军, 肖博, 等. 白洋淀疏浚底泥絮凝脱水试验及应用[J]. 水运工程, 2020(S1): 21-24.
- [3] 王菲, 王贤平. 三种絮凝剂对疏浚淤泥脱水降污特性的影响: 以武汉市官桥湖底泥为例[J]. 水利水电快报, 2021, 42(3): 61-64.
- [4] 毕涛, 张景辉, 西伟力, 等. 土工管袋技术在湖库底泥脱水中的应用研究[J]. 环境保护科学, 2013, 39(6): 44-47.
- [5] SMITH S L, MACDONALD D D, KEENLEYSIDE K A. The development and implementation of Canadian sediment quality guidelines[M]//Development and progress in sediment quality assessment: rational, challenge, techniques&strategies. Amsterdam: SPB Academic Publishing, 1996: 233-249.