

要的因素。一般而言, 河道底泥脱水至含水率 50%以下才能满足运输条件, 常用的土工管袋和真空预压工艺脱水周期较长, 且处理后的底泥含水率较高, 离心脱水机和带式压滤机处理后污泥含水率一般为 78%左右^[1], 隔膜式板框压滤机处理后底泥含水率可达到 50%~60%^[2], 满足底泥运输要求。隔膜式板框压滤机脱水工艺原理为: 在进料后, 通过空压机往压滤机隔膜板中鼓风, 利用鼓风后的隔膜张力, 对注入的底泥进行挤压脱水。滤液通过滤板上包覆的滤布排至输水管道流出, 固体物料被滤布阻断, 形成含水率低的干物质, 一定时间后停止鼓风, 将隔膜板中的空气释放, 拉开滤板, 将物料卸载^[3-4]。隔膜式板框压滤机运行关键参数为底泥预处理调理剂(絮凝剂)、进料含水率、固体污泥量、挤压时间和挤压压力等。本试验的目的是在 3 种常见的絮凝剂中确定一种效果最佳的絮凝剂, 使其对底泥絮凝效果较好, 且调理后泥浆料的板框压滤效果较好, 并且寻找最佳的隔膜板框压滤挤压时间, 提高经济效益。

1 工程应用试验

1.1 试验目的

本试验主要采用 3 种常见的絮凝剂对官渡区海河底泥进行絮凝试验, 筛选出絮凝效果较好的 2 种对底泥进行脱水减容, 再将脱水后的底泥进行板框压滤, 从泥饼成型效果、泥饼含水率及出水水质等方面比较得出效果最佳的絮凝剂以进行板框压滤试验, 指导工程应用。

1.2 试验材料与药剂

以昆明市官渡区海河底泥为试验材料, 其基本物理参数见表 1。

表 1 试验底泥的物理参数

含水率/%	密度/(g·cm ⁻³)	pH 值	含盐量/%	有机质/%	孔隙率/%	中值粒径/μm
90	2.03	6.8~7.2	0.041	7.32	34.26	4.78

试验药剂采用 1#阴离子聚丙烯酰胺(CPAM)、2#阳离子聚丙烯酰胺(APAM)和 3#非离子聚丙烯酰胺(NPAM)3 种絮凝剂, 其基本理化性质见表 2。

表 2 试验絮凝剂的理化性质

编号	种类	分子量	水解度/%	固含量/%	特性黏数	使用浓度/%
1#	CPAM	1 500 万	14	94.0	17.5~19.4	0.1
2#	APAM	800 万	-	37.9	-	0.1
3#	NPAM	900 万	15	98.0	-	0.1

1.3 试验设备

采用的脱水设备为 ZSC470 型试验压滤机, 设备参数与配套设施见表 3。

表 3 设备参数与配套设施

名称	设备参数
ZSC470 型试验压滤机	KD40 头板隔膜板 1 块、KD40 尾板隔膜板 1 块、KD40 双面隔膜板 2 块、隔板 1 块、厢式板 3 块(滤室深度为 KD20、KD40、KD60 各 1 块)
G25-1 型螺杆泵	流量 2 m ³ /h, 扬程 60 m
空压机	1.0 MPa
储泥桶	V=1 000 L
配药桶	V=200 L
絮凝桶	V=500 L

1.4 试验方法

1.4.1 絮凝剂筛选步骤

- 1) 分别配置质量浓度为 0.1% 的 1#、2# 和 3# 絮凝剂各 20 L 备用。
- 2) 取 3 个 200 L 的容器装满含水率为 90% 的疏浚泥浆, 并用滤网去除里面的贝壳和大块石子。
- 3) 分别往 3 个容器中逐步加入配置好的絮凝剂, 边搅拌边观察 3 个容器的絮凝情况。
- 4) 根据絮凝时间、加药量、絮体形貌、絮凝出水量以及絮体含水率等指标确定絮凝剂的最佳用量。
- 5) 底泥含水率测试方法: 烧杯称重 w_1 , 取定量污泥放入烧杯称重 w_2 , 放入烘箱内烘干后, 称重并记录 w_3 , 采用含水率计算公式:

$$\text{含水率} = (w_2 - w_3) / (w_2 - w_1) \times 100\% \quad (1)$$

1.4.2 板框压滤试验步骤

选择絮凝效果较好的 1# 和 2# 絮凝剂进行疏浚底泥初步脱水, 将浓缩后的泥浆用于隔膜式板框压滤试验。

- 1) 进料过滤: 开启螺杆泵进料, 持续进料 10 min, 停止进料后开启空压机进行压滤, 采用 KD20 板作

为填充泥浆腔室，挤压压力为 0.8 MPa。

2) 测出水速率：前 10 min 每间隔 1 min 测 1 次累计出水量，随后每 5 min 测 1 次，45 min 后停止。

3) 拉板卸料：拆卸板框压滤机，观察泥饼形貌，测量泥饼厚度。

4) 检测出水水质。

5) 对比 1# 和 2# 絮凝剂试验效果选出相对较好的絮凝剂，再进行板框压滤挤压时间的影响试验。



c) NPAM 调理

图 1 3 种絮凝剂调理后絮体形貌

2 试验分析与结果讨论

2.1 不同絮凝剂对疏浚底泥脱水效果的影响

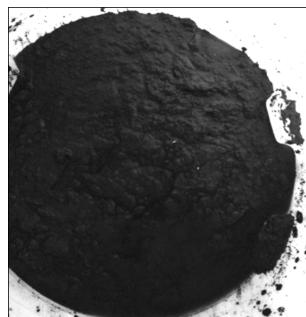
将 3 种絮凝剂加入疏浚底泥，其絮凝时间、加药量、絮体形貌、絮凝出水量以及絮体含水率等指标见表 4 和图 1；3 种絮凝剂各自达到最佳絮凝效果时，各指标对比见图 2。

表 4 3 种絮凝剂试验结果

编号	反应时间/s	加药量/L	絮体颗粒	出水量/L	絮体含水率/%
1#	30	2.2	大	170.2	75.38
2#	38	2.5	小	167.5	77.15
3#	60	3.1	极小	166.4	78.02



a) CPAM 调理



b) APAM 调理

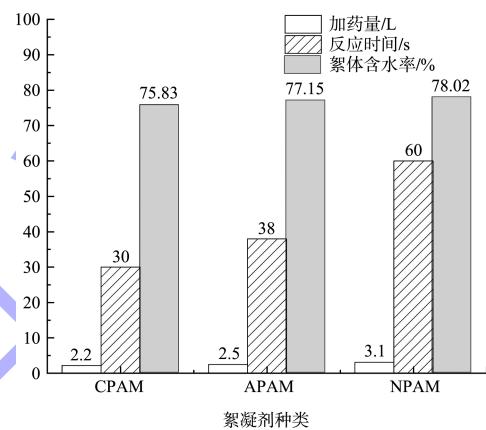


图 2 3 种絮凝剂最佳絮凝效果时各指标对比

从试验结果可以看出，经过调理的泥浆达到最佳絮凝效果时，3 种絮凝剂用药量和疏浚泥浆含水率分别为：1# 絮凝剂为 2.2 L/200 L、泥浆含水率为 75.83%；2# 絮凝剂为 2.5 L/200 L、泥浆含水率 77.15%；3# 絮凝剂为 3.1 L/200 L、泥浆含水率为 90%，且 1# 絮凝反应时间最短，2# 絮凝剂次之，3# 絮凝反应时间最长。从图 1 可以看出，1# 絮凝剂产生的絮体颗粒最大，2# 次之，3# 最小。

2.2 不同浓缩泥浆压滤后泥饼形貌

通过不同絮凝剂对疏浚底泥脱水效果的研究，发现 1#、2# 絮凝剂效果较好。对经 2 种絮凝剂处理后的浓缩泥浆进行板框压滤，挤压 45 min，成型过程见图 3。

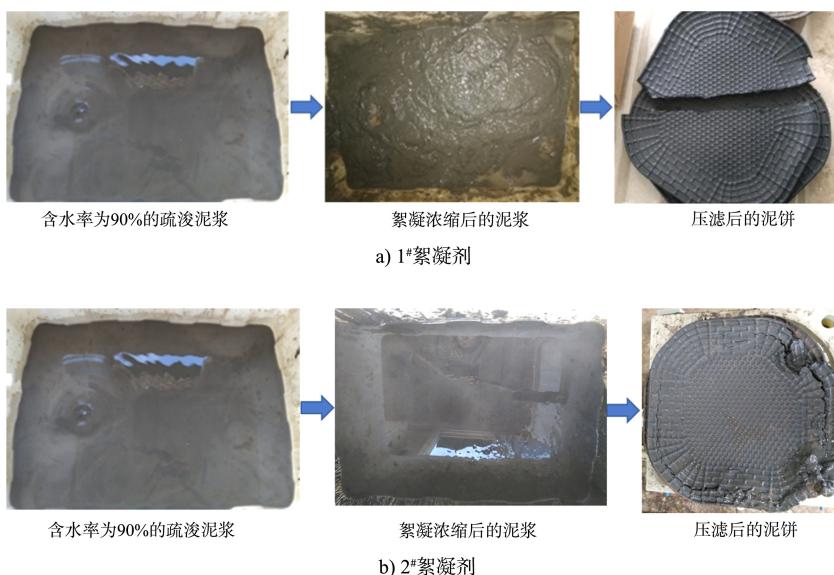


图 3 添加絮凝剂的泥饼成型过程

从试验结果看出, 经 1# 絮凝剂絮凝后的浓缩泥浆经板框挤压后的泥饼易成型脱落, 厚度为 16 mm, 含水率为 38.4%, 出水水质较好; 经过 2# 絮凝剂絮凝后的浓缩泥浆经板框挤压后的泥饼较难脱落, 局部位置存在“溏心”现象, 厚度为 12 mm, 含水率为 48.6%。

2.3 不同浓缩泥浆板框压滤累积出水量及出水水质

对经 2 种絮凝剂絮凝后的浓缩泥浆分别进行板框压滤, 分别挤压 45 min, 累计出水量随时间变化曲线见图 4, 出水水质情况见表 5。

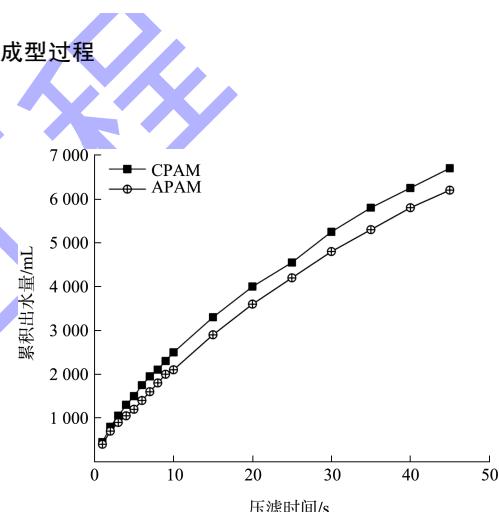


图 4 2 种浓缩泥浆压滤累计出水量随时间的变化

表 5 板框压滤出水水质

编号	NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)	COD/(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	pH 值	SS/(mg·L ⁻¹)
1#	0.42	25.76	0.04	12.5	5.9	6.98	4
2#	0.45	25.82	0.05	12.4	6.4	6.78	6

从试验结果可以看出, 经过 2 种絮凝剂调理后的浓缩泥浆分别进入板框压滤机挤压 45 min, 1# 絮凝剂调理后的浓缩泥浆累计出水量为 6.8 L, 出水悬浮物较少; 2# 絮凝剂调理后的浓缩泥浆累计出水量为 6.2 L, 出水悬浮物较多。

2.4 不同挤压时间对泥饼含水率影响

通过以上试验研究, 选择试验效果较好的 1# 絮凝剂浓缩泥浆进行不同挤压时间的试验。将泥浆(含水率为 75.83%)输送至隔膜式板框压滤机, 挤压压力为 0.8 MPa, 进料时间为 10 min, 每隔 1 min 测量 1 次挤压滤液量, 计算滤室中泥饼含水

率随隔膜挤压时间的变化曲线, 见图 5。

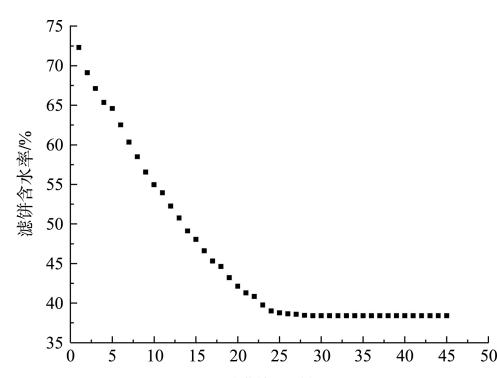


图 5 不同隔膜挤压时间下泥饼的含水率曲线

从板框压滤试验可以看出, 前 30 min 内脱水泥饼含水率随着隔膜挤压时间的延长而降低, 30~45 min 后泥饼含水率基本不再变化。在有限的滤室空间中, 随着进入滤室中的底泥量增加, 底泥中的自由水分过滤排出, 进料结束时, 压滤机中底泥含水率降低至 55% 以内, 加压隔膜挤压, 底泥含水率持续下降。随着挤压时间的延长, 底泥含水率曲线斜率逐渐减小, 含水率降低速度逐渐减缓。这种现象的主要原因是随着底泥脱水过程的进行, 板框滤布上泥饼厚度逐渐增加, 过滤阻力逐渐增大^[5]。板框压滤脱水是依靠过滤介质两边压力差作为推动力, 强制泥水分离, 在相同的压力差推动下, 过滤阻力增大, 过滤速率减缓, 含水率的降低速度逐渐减缓。底泥含水率逐渐降低, 底泥中的固体物质可能会吸附在一起, 使其中的内部结合水量变多^[6], 这也是引起脱水速率逐渐减缓的原因。

3 结论

1) 1#絮凝剂对官渡区海河底泥的絮凝效果较好, 且絮凝剂用量较少。

2) 经过 1#絮凝剂调理后的疏浚泥浆进行板框压滤, 挤压 45 min 后泥饼成型较好, 且压滤出水质好。

3) 絮凝浓缩后的泥浆通过隔膜板框压滤机挤压 30 min 后, 泥饼含水率可降至 40% 以下, 满足

(上接第 48 页)

- [7] 丁刚. 基于 Solidworks 的农机底盘部件结构参数化设计[J]. 农机化研究, 2019, 41(11): 264-268.
- [8] NING X B, JIANG Q S. A digital design method of geometric model for centrifugal fan impeller based on SolidWorks and VB[C]//Proceedings of 2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology. New York: IEEE, 2011: 4023-4026.
- [9] 孙智慧, 刘卓群, 晏祖根, 等. 基于 SolidWorks 二次开发的食品搅拌机的搅拌器参数化设计[J]. 包装与食品机

运输要求。

4) 以上试验结果可作为工程应用的参考依据, 但尚有许多因素需要进一步探讨。首先, 可扩大絮凝剂筛选范围, 寻找效果更佳的絮凝剂; 其次, 可研究挤压压力对泥饼成型效果影响; 再次, 可研究在浓缩后的泥浆中添助滤剂对泥饼成型的影响; 最后, 需综合考虑筛选最为经济的板框压滤工艺。

参考文献:

- [1] 陈柏校, 张辰, 王国华, 等. 污泥深度脱水工艺在杭州七格污水处理厂的应用[J]. 中国给水排水, 2011, 27(8): 83-85.
- [2] 郭望渊, 陈科庆. 隔膜压滤机在污泥深度脱水中的应用研究[J]. 中国设备工程, 2019(18): 175-176.
- [3] 许金泉, 程文, 耿震. 隔膜式板框压滤机在污泥深度脱水中的应用[J]. 给水排水, 2013, 49(3): 87-90.
- [4] TU Y T, TIAN S H, KONG L J, et al. Co-catalytic effect of sewage sludge-derived char as the support of Fenton-like catalyst[J]. Chemical engineering journal, 2012, 185/186: 44-51.
- [5] 刘锐, 徐强, 郭松杰, 等. PAC 调理剂对全自动板框压滤机污泥深度脱水的影响[J]. 净水技术, 2021, 40(9): 158-162.
- [6] 徐振佳, 张雪英, 周俊, 等. 城市污水厂剩余污泥脱水技术综述[J]. 净水技术, 2018, 37(2): 38-44.

(本文编辑 王传瑜)

械, 2020, 38(3): 39-44.

- [10] 陈永康. SOLIDWORKS API 二次开发实例详解[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.
- [11] 赵辉, 屈雷. ANSI-C 实现面向对象编程及应用[J]. 咸阳师范学院学报, 2015, 30(6): 61-64.
- [12] 唐李白, 唐亚鸣, 张鹏, 等. 基于 PRO/E 仿生绞刀三维设计[J]. 机电技术, 2016(3): 62-65.
- [13] 王谷谦. 疏浚工程手册[M]. 上海: 中交上海航道局有限公司, 1994.

(本文编辑 武亚庆)