

低浓度疏浚淤泥透气真空泥水分离模型试验研究

邓东升^{1, 2}, 洪振舜³, 刘传俊⁴, 丁建文³, 洪鹏云³

(1. 河海大学交通学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏水源有限责任公司, 江苏 南京 210029; 3. 东南大学交通学院岩土工程研究所, 江苏 南京 210096;
4. 河海大学土木学院岩土工程科学研究所, 江苏 南京 210098)

摘 要: 基于高含水率疏浚淤泥堆场透气真空快速泥水分离方法的专利, 设计研制了大型透气真空模型装置。对含水量高达液限 3 倍以上的疏浚淤泥进行了泥水分离试验研究。结果表明: 透气真空技术能够使高含水量淤泥实现快速泥水分离, 只需 10 d 时间, 淤泥的体积可以减少三成以上, 连续抽水一个月左右时的淤泥泥面沉降的应变速率仍达 3%/d。基于模型试验结果, 还分析了淤泥平均含水量、淤泥泥面沉降速率、尾水悬浮物浓度的变化规律, 发现沉降速率与淤泥平均含水量密切相关, 尾水悬浮物浓度远低于规范规定的一级排放标准值。

关键词: 低浓度疏浚淤泥; 透气真空; 快速泥水分离; 模型试验; 淤泥体积

中图分类号: TU411

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2009)02-0250-04

作者简介: 邓东升(1966-), 男, 江苏建湖人, 高级工程师, 主要从事疏浚淤泥处置和软土地基处理研究以及施工管理等工作。E-mail: dengdongsheng@hotmail.com。

Large-scale model tests on dewater of dredged clay by use of ventilating vacuum method

DENG Dong-sheng^{1, 2}, HONG Zhen-shun³, LIU Chuan-jun⁴, DING Jian-wen³, HONG Peng-yun³

(1. Transportation School, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Jiangsu Water Resources Co., Ltd., Nanjing 210029, China;

3. Institute of Geotechnical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China; 4. Geotechnical Research Institute, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: A large-scale model equipment was designed and made for dredged clays dewatering with ventilating vacuum method. Dewatering tests were performed on the dredged clays with initial water content being above 3 times liquid limit. The testing results showed that the volume of dredged clays can be decreased by over 30 percent with ventilating vacuum method for dewatering of 10 days, and the volume strain rate of dredged clays at the model still reaches about 3%/day when dewatering continues for one month. This paper also investigated the change law on the average water content and the deformation rate of dredged clays, as well as the suspended solids concentration of separated water from dredged clays. It was found that deformation rate has a good linear relationship with average water content, and the suspended solid concentration is very low.

Key words: high-water-content dredged clay; ventilating vacuum method; high rate dewatering; large-scale model experiment; volume of dredged clay

0 前 言

内陆河道、航道、湖泊的新建、拓宽、清淤工程中必然产生大量的废弃淤泥, 废弃淤泥的处置经常采用堆场放置的处理措施。由于我国一般采用低浓度淤泥疏浚方式, 泥中含有大量的水分, 低浓度疏浚淤泥的堆场处置需要占用大量的土地资源, 而且由于淤泥排水性能差、沉淀慢, 泥水自然分离的时间长, 造成土地占用时间长。大面积、长时间使用土地资源不仅增加社会矛盾, 也必然抬高工程造价。如南水北调东线第一期工程的淤泥存放堆场土地的征用、租用费用已占到相关工程总造价的 60%左右, 成为控制工程造

价的主要因素^[1]。因此, 如何进行泥水的快速分离是一个实际工程中迫切需要解决的问题。

丁永良^[2]介绍了如灌袋筑堤等适用于含沙量较大的物理泥水分离技术以添加絮凝剂为主的化学促沉技术以及适用于小规模泥水分离的离心机或者压滤机的设备泥水分离技术。

化学和设备泥水分离技术由于价格昂贵或者效率

基金项目: 国家高技术研究发展计划 863 项目 (2007AA11Z135); 水利部公益性行业科研专项经费项目 (200701045); 南水北调科技创新项目 (KJ CX-200612)

收稿日期: 2007-12-18

低等原因, 难以在细颗粒含量高的疏浚淤泥大面积处置工程中应用。物理泥水分离适合于大规模工程, 其关键在于从低浓度淤泥中快速将水分排出。目前, 排水的一个主要技术障碍是排水过程中会产生淤堵问题, 如俞亚南等^[3]介绍, 杭州西湖疏浚底泥堆场处置工程中, 曾采用在底泥中埋设排水滤管, 通过在滤管中反复抽气和吸气, 以期冲洗淤堵滤层达到加快排水固结的效果, 但是效果不明显。

为了解决低浓度疏浚淤泥排水过程中的淤堵问题, 本课题组提出了高含水率疏浚淤泥堆场透气真空快速泥水分离技术, 并申请了专利^[4]。本文通过大型模型槽试验, 验证了透气真空快速泥水分离技术的有效性, 并分析了疏浚淤泥泥水分离的变化规律。

1 疏浚淤泥试样的基本物理性质

本试验所用疏浚淤泥取样于江苏省淮安市白马湖疏浚淤泥堆场, 其基本物理力学性质: 含水率=301.0%~369.5%; 液限=89.0%; 塑限=38.0%; >0.074 mm 砂粒含量为 4.3%; 0.074~0.005 mm 粉粒含量为 50.9%; <0.005 mm 黏粒含量为 44.8%; 比重=2.65; 有机质含量=2.8%。其中液塑限是依据《公路土工试验规程》^[5]采用 100 g 锥、30° 锥角的液塑限联合测定仪测定, 有机质采用重铬酸钾氧化法测定, 颗分试验采用 Malvern 公司生产的 Mastersizer Micro (MAF5000) 激光衍射粒度仪测定。白马湖疏浚淤泥细颗粒含量很高, 占 95.7%, 其中黏粒含量占 44.8%, 淤泥的液限高达 89.0%, 尤其值得注意的是, 虽然淤泥试样取样的时间是淤泥堆场吹填施工结束后一周进行的, 其含水率仍然高达液限的 3.4~4.2 倍, 说明高黏粒含量的疏浚淤泥排水性能差、沉淀很慢。

2 淤泥排水淤堵现象

进行透气真空快速泥水分离模型试验之前, 本课题组进行了小型试验箱的真空泥水分离试验, 试验箱由塑料材料制成, 长×宽×高=56 cm×40 cm×45 cm。在距离试验箱底部20 cm的地方沿宽度方向预先架设一根充填粗砂直径为5 cm的砂袋, 砂袋内放置一根直径为3.5 cm的打孔花管, 花管外套上无纺布作为反滤层, 然后将花管与真空抽水装置连接。

将调制均匀的淤泥注入试验箱内进行真空抽水试验。注入淤泥的初始体积为77.5 L, 初始含水率为318.1%, 抽水真空压力为95 kPa。抽水后淤泥含水率随时间的变化如图1所示, 在不到2 min的时间内, 从淤泥中抽出了0.4 kg的水, 淤泥含水率从318.1%降至316.2%。之后, 抽水几乎没有效果, 含水率保持不变。图2

显示了抽水停止后从淤泥中取出的排水砂袋照片, 砂袋表面淤积了一层密实的泥层, 形成了不透水层, 阻止了外围的水进入排水通道, 导致排水通道淤堵。

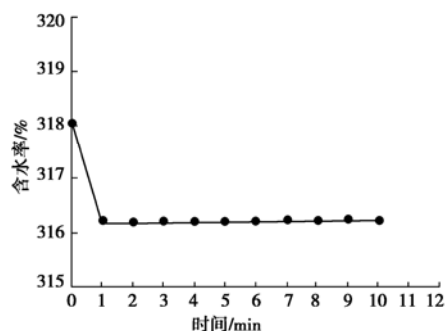


图1 真空抽水试验结果

Fig. 1 Dewatering test results of vacuum method

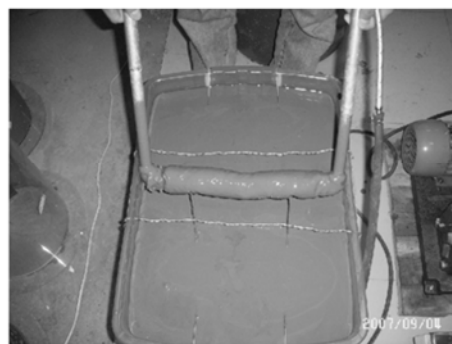


图2 排水通道淤堵现象

Fig. 2 Clogging phenomenon of dewatering sand bag

3 模型装置和模型试验

为了验证本课题组提出的高含水率疏浚淤泥堆场透气真空快速泥水分离技术的有效性, 本文设计加工了模型试验装置, 如图3所示。模型试验装置由模型槽、空间排水体系、真空泵、透气装置和量测系统组成。模型槽由有机玻璃板和钢构架定制而成, 长×宽×高=1.0 m×0.6 m×1.5 m, 采用钢构架支撑有机玻璃槽, 防止有机玻璃槽产生侧向变形; 空间排水体系由PVC管、砂袋和塑料排水板组成, 将空间排水体系架设于模型槽内, 再将空间排水体系连接到由集水缸、真空泵组成的抽水集水装置; 量测系统由安装在模型槽上的厘米刻度尺、集水缸和电子秤组成, 厘米刻度尺用来量测泥面高度, 集水缸和电子秤用来量测抽出水量的重量。

模型试验所用的疏浚淤泥初始状态参数: 初始含水率=306.5%; 初始高度=1.435 m; 总体积=0.861 m³; 总质量=1016.0 kg; 干土质量=250.0 kg; 水质量=766.0 kg。淤泥的总质量超过1 t, 淤泥的初始高度为1.435 m, 初始含水率为液限的3.4倍。注入淤泥后的模型

槽如图4所示,淤泥注入模型槽后,开启透气装置和真空抽水装置,在真空负压抽水的同时,高速气流会通过透气装置进入排水通道,以期防止细颗粒进入排水通道并在排水通道表面形成相对不透水的泥膜层,从而保证泥水分离通道畅通。在此也必须指出,本文主要探讨透气真空抽水的效果,关于透气真空的机理还有待于今后进一步探讨和验证。

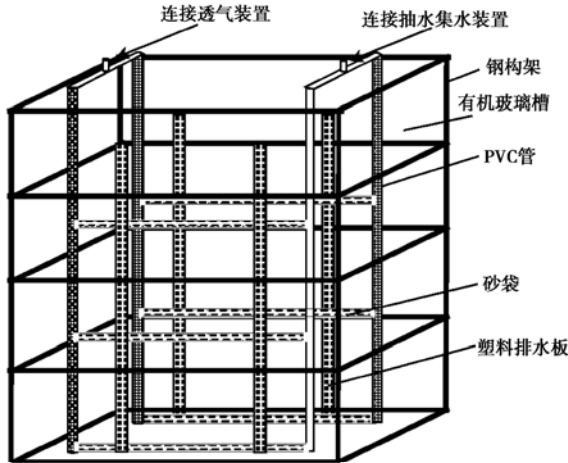


图3 透气真空模型试验装置示意图

Fig. 3 Schematic plot of ventilating vacuum model test equipment



图4 透气真空模型试验初始状态

Fig. 4 Initial state of ventilating vacuum model tests

4 模型试验结果和分析

图5显示了模型槽淤泥泥面随时间的增加而逐渐下降的变化规律,抽水5 d 泥面下降了约37.4 cm,换算为淤泥体积减少了26.1% (如图6所示),10 d 泥面下降了约51.4 cm,淤泥体积减少了35.8%,而到了第32 d,淤泥体积减少了将近一半,说明透气真空技术对具有高液限、高黏粒含量特征的低浓度疏浚淤泥有很好的泥水分离效果。

通过测定抽出的水分重量,不考虑抽出的尾水中

含固率的影响,可以计算模型槽中淤泥的平均含水率,图7显示了淤泥平均含水率随时间的变化。含水率的降低主要发生在前10天,从液限的3.4倍降至2.0倍,到了第32天,含水率变为液限的1.57倍。从图8的淤泥沉降速率随时间变化图中也可以看出,沉降速率随着时间的增长而降低,但即使到了第32天含水率降低到139.7%时,沉降速率仍然维持在2.2 cm/d,换算成应变速率约为3%/d。图9给出了沉降速率与淤泥平均含水率的关系,沉降速率随着含水率的降低而降低,两者之间有良好的线性关系。

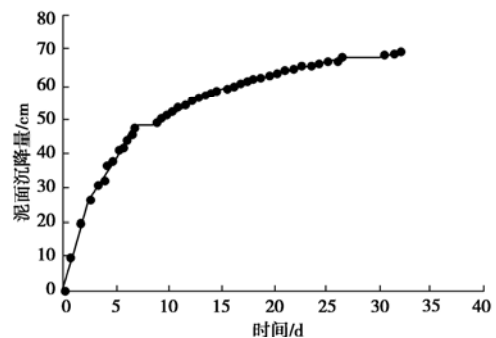


图5 模型槽淤泥泥面随时间的变化

Fig. 5 Variation of height of dredged clays in ventilating vacuum model

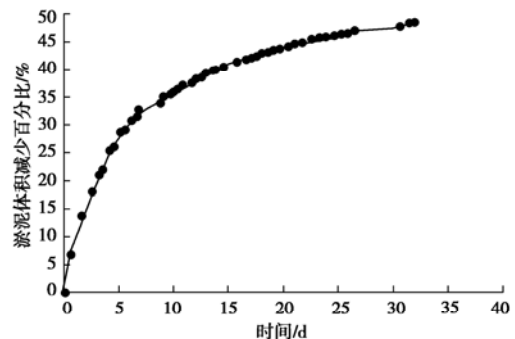


图6 模型槽淤泥体积减少百分比随时间的变化

Fig. 6 Volumetric-decrease of dredged clays in ventilating vacuum model

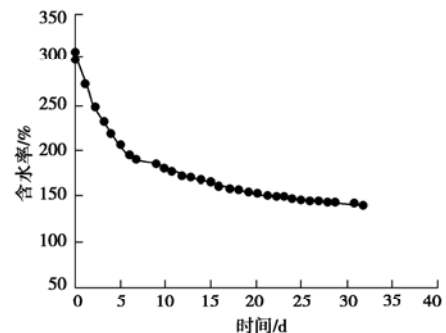


图7 模型槽淤泥平均含水率随时间的变化

Fig. 7 Variation of average water content of dredged clays in ventilating vacuum model

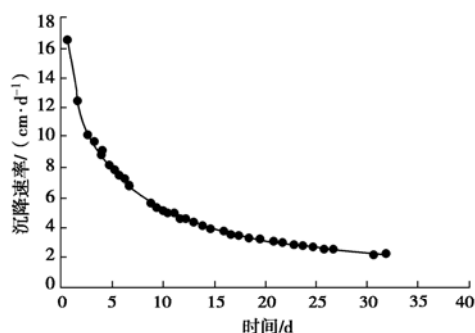


图8 模型槽淤泥沉降速率随时间的变化

Fig. 8 Variation of deformation rate of dredged clays in ventilating vacuum model

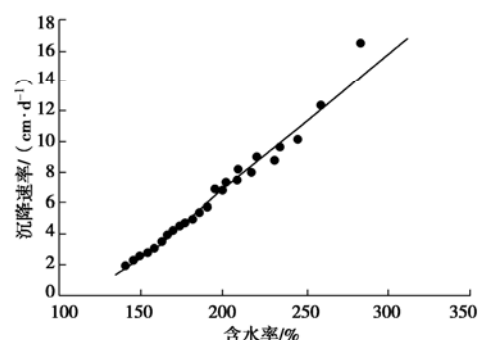


图9 模型槽淤泥沉降速率与含水率的关系

Fig. 9 Relationship between deformation rate and water content for dredged clays in ventilating vacuum model

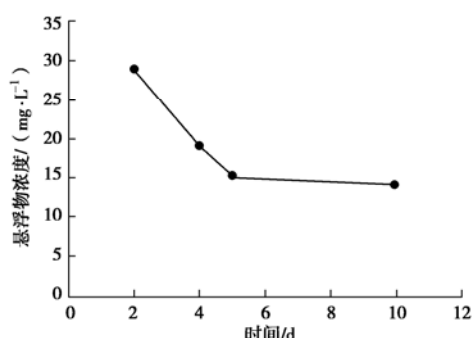


图10 悬浮物浓度试验结果

Fig. 10 Test results of suspended solid concentration

5 尾水悬浮物浓度试验

将模型槽抽水试验过程中抽出的水放置于大塑料桶内, 抽出的水外观清澈。通过提取抽水 2, 4, 5 和 10 d 的水样, 在大塑料桶内搅拌均匀, 然后进行悬浮物浓度的测试, 悬浮物浓度随时间的变化见图 10。透气真空抽取的尾水悬浮物浓度分布在 14~29 mg/L 之间, 远远小于《污水综合排放标准》^[6]规定的悬浮物浓度的一级排放标准 70 mg/L, 说明透气真空抽取的尾水无需处理, 可以直接排放。另外, 由于尾水悬浮物浓度很低, 每立方米水中含有的固体颗粒重量不超过 30 g, 说明本文在计算模型槽的淤泥含水率时没有考虑尾水含固率的影响是可行的。

6 结 论

(1) 透气真空技术能够使高含水率疏浚淤泥实现快速泥水分离, 抽水 10 d 减少淤泥三成以上的体积, 连续抽水一个月, 淤泥泥面沉降的应变速率仍达 3%/d, 有效地攻克了淤泥排水通道淤堵这一传统的技术难题。

(2) 淤泥沉降速率随着淤泥含水率的降低而降低, 两者之间有良好的线性关系。

(3) 透气真空技术抽出的尾水的悬浮物浓度很低, 不高于 30 mg/L, 保证了尾水的质量, 无需处理就可直接排放。

致 谢: 东南大学交通学院岩土工程研究所的硕士研究生张铁军、张帅、河海大学土木学院岩土工程研究所的博士研究生殷杰、硕士研究生满银、周源参加了淤泥模型槽试验; 淤泥颗分试验和尾水悬浮物浓度试验分别由殷杰和河海大学环境学院的硕士生黄高亮完成, 在此一并表示诚挚的谢意。

参考文献:

- [1] 南水北调东线一期工程可行性研究报告[R]. 2005. (The feasibility study report of the first-stage construction of the Eastern Line of The South to North Water Project[R]. 2005. (in Chinese))
- [2] 丁永良. 疏浚工程泥水分离技术与设备[J]. 渔业现代化, 1998(3): 31 - 32. (DING Yong-liang. Dewatering techniques and equipments in dredging engineering[J]. Fishery Modernization, 1998(3): 31 - 32. (in Chinese))
- [3] 俞亚南, 张仪萍. 杭州西湖疏浚底泥工程性质试验研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(4): 579 - 582. (YU Ya-nan, ZHANG Yi-ping. Test study on engineering properties of dredging soil of West Lake in Hangzhou[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(4): 579 - 582. (in Chinese))
- [4] 邓东升, 洪振舜, 朱 伟, 等. 高含水率疏浚淤泥堆场透气真空快速泥水分离方法. 中国: 200710132092.9[P]. 2007. (DENG Dong-shen, HONG Zhen-shun, ZHU Wei, et al. A new method of dewatering for high-water-content dredged clays with ventilating vacuum technique. China: 200710132092.9[P]. 2007. (in Chinese))
- [5] JTJ051-93 公路土工试验规程[S]. 1993. (JTJ051-93 Test methods of soils for highway engineering[S]. 1993. (in Chinese))
- [6] GB8978-96 污水综合排放标准[S]. 1997. (GB8978-96 Integrated wastewater discharge standard[S]. 1997. (in Chinese))