

淤泥絮凝脱水的室内试验研究

李 享¹, 雷学文¹, 孟庆山², 郑祖嘉¹

(1. 武汉科技大学 城市建设学院 湖北 武汉 430070; 2. 中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程
国家重点实验室 湖北 武汉 430071)

摘要: 自然状态下淤泥中细颗粒泥沙难以形成大的絮团, 对其进行自然或者机械脱水都是极度困难的。因此, 在运输河湖疏浚淤泥过程中, 极易造成二次污染。通过在淤泥中添加阴离子型絮凝剂(PAM), 对淤泥的絮凝脱水效果进行了分析, 探讨了淤泥絮凝脱水的影响因素和颗粒粒径变化规律。结果表明, 絮凝剂加入比例和淤泥含水率对淤泥絮凝脱水均有影响; 随着絮凝剂加入量的增加, 絮团颗粒的当量粒径呈增大趋势; 当投加量超过一定值后, 淤泥颗粒级配基本保持稳定; 当絮凝剂比例在0.3%, 淤泥含水率在200%时, 淤泥脱水效果最佳。

关键词: 淤泥脱水; 絮凝剂; 淤泥含水率; 絮凝体
中图分类号: TV14 **文献标志码:** A

武汉市出台的《中心城区38个湖泊保护规划》指出, 到2020年, 湖泊污染治理和水体修复投资将达18.318亿元, 38个城中湖共要清污约630万 m^3 。作为全国最大的城市淡水湖——东湖, 湖底平均淤泥厚度为1.06 m, 最深淤泥厚度达4 m, 淤泥总量达到3522万 m^3 , 淤泥疏浚费用估计要以10亿元计。按这一比例估算, 武汉市城区的总体水底淤泥量可能达1亿 m^3 。底泥疏浚是湖泊治理、航道疏通、港口维护中常用的工程举措, 目前国内挖泥船挖除的淤泥含水量通常在80%以上, 为液限含水率的2.0~3.0倍^[1]。这样大的含水率在通过管道输送到指定位置时, 能耗大且效率低; 挖除的淤泥主要采取堆泥场的方式进行处理, 该方法虽操作简便、运行成本低, 但脱水效果受自然天气影响大、占地面积大且易产生二次污染。自然状态下淤泥中细颗粒泥沙难以形成大的絮团, 如果不对淤泥体系中极细颗粒的淤泥内部特性进行调理, 营造脱水环境, 淤泥的自然或者机械脱水都是极度困难的。因此, 一方面必须深入研究泥水环境系统中的絮凝机理和沉降特性; 另一方面, 需通过物理化学方法研

究絮凝尺度、沉降效率以及泥水分离的可能性^[2]。

目前, 国内外对于淤泥脱水的研究还处于试验观察阶段^[3-6]。近年的研究热点集中在淤泥固化时水分转化机理^[7]和絮凝剂絮凝特性等方面。黄娟凤等用阴、阳、非离子高分子絮凝剂对某湖底淤泥进行了絮凝脱水实验研究^[8]。王党伟等针对江河湖泊清淤产生的高含水率淤泥的絮凝脱水问题进行了试验研究, 指出絮凝剂加入比例与淤泥初始含水量之间存在一定的关联, 并提出了水铰链假说, 说明了淤泥颗粒在絮凝过程中絮团的形成过程^[2]。刘林双等通过实验着重研究了淤泥在絮凝剂作用下的絮凝沉降效果和脱水速率, 探讨了絮凝淤泥体脱水的影响因素^[9]。吕斌等通过测定淤泥比阻值来评价淤泥的脱水性能, 探讨采用机械脱水的方法处理武汉某湖泊疏浚底泥的可行性和经济性^[10]。范杨臻等^[11]研究了 $AlCl_3$ 和 $FeCl_3$ 加入量对淤泥絮凝沉降特性以及清混分界面沉降速度的影响, 并选取工农业生产中产量高、热值大且弃用和浪费极多的木屑颗粒和麦麸颗粒作为研究对象, 研究了不同质量分数的木屑颗粒和麦麸颗粒加入后清混分界面

收稿日期: 2012-12-27

基金项目: 湖北省科技计划自然科学基金重点项目

作者简介: 李 享, 男, 硕士研究生, 主要从事湖泊环保疏浚方面的研究。E-mail: 350586940@qq.com

沉降速度,以及浑浊度变化情况。这些研究主要针对含水率较低的淤泥,且是在一定龄期下进行的试验,未考虑高含水率和快速脱水,而颗粒粒径的变化规律研究也还较少。因此,本文将通过试验对高含水率淤泥在快速脱水条件下的絮凝脱水影响因素和颗粒粒径变化规律进行研究。

1 絮凝剂作用原理

絮凝剂在水中的组分对胶体粒子主要有压缩双电层作用、吸附电中和作用、吸附架桥作用和网捕作用。一般来说,这4种作用究竟以哪种为主,取决于絮凝剂的种类和浓度、胶体粒子的含量及胶体溶液的pH值。不过这4种作用往往交叉协同,使胶体粒子脱水絮凝。胶粒表面电荷的中和可以通过无机或有机阳离子絮凝剂相互作用来实现。吸附架桥理论指出,只有在絮凝剂投加量适当时,即胶体粒子部分表面被覆盖,才能在微粒间产生有效的吸附架桥作用,并获得最佳絮凝效果^[9]。

2 淤泥絮凝脱水试验

2.1 试验材料和方法

试验所用淤泥取自武汉市某湖泊,经风干磨碎后过2mm筛。试验用絮凝剂为PAM(聚丙烯酰胺,阴离子型)。试验在1000mL的量筒中进行。采用电子天平称量絮凝剂,精确度为1/10000g,在250mL烧杯中配制絮凝剂溶液。采用密度计法和筛分法联合测定加入絮凝剂前后的颗粒级配。

2.2 试验过程

将筛选过后的淤泥按照含水率120%,160%,200%进行配置,絮凝剂比例按淤泥固体颗粒质量的0.1%、0.2%、0.3%添加,对各组不同含水率的淤泥分别加入一定量的絮凝剂,充分搅拌1min后进行颗粒分析试验。

3 试验结果及分析

3.1 絮凝剂比例对淤泥快速脱水的影响

在一定含水率的淤泥中按照不同比例加入絮凝剂,并通过密度计法和筛分法联合测定淤泥的颗粒级配变化。测定结果如图1~3所示。

从图1~3可见,相同含水率的淤泥中,在一定的剂量范围之内,随着絮凝剂加入量的增加,絮团颗粒的当量粒径呈增大趋势。当投加量超过一定值后,淤泥颗粒级配基本保持稳定。絮凝剂加入量存在一个上临界剂量,大于此临界值时,絮体粒径不再增大。

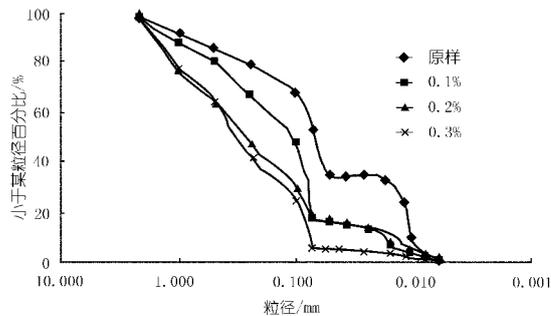


图1 含水率为120%时不同絮凝剂加入量下淤泥颗粒级配

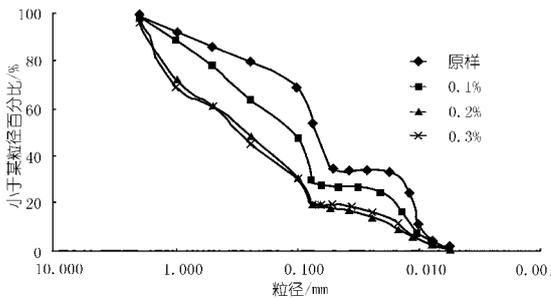


图2 含水率为160%时不同絮凝剂加入量下淤泥颗粒级配

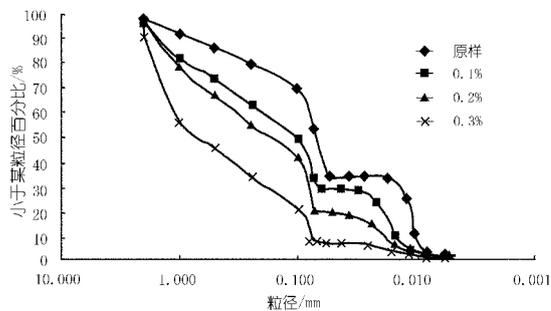


图3 含水率为200%时不同絮凝剂加入量下淤泥颗粒级配

3.2 淤泥含水率对淤泥快速脱水的影响

比较图4~6可看出,在不同的絮凝剂加入比例情况下,淤泥体的颗粒级配变化随淤泥含水率变化不同,且规律不一。淤泥含水率对于淤泥絮凝脱水有明显影响,在图4和图5中,添加量低时(本试验为0.1%和0.2%),颗粒级配受含水率的变化影响不明显,而加入量增加到0.3%时,含水率增加对颗粒级配影响较明显。

3.3 粒径变化规律

通过在不同含水率情况下比较研究絮凝淤泥体粒径随絮凝剂添加比例变化情况,绘制曲线如图7~9。

淤泥在脱水过程中,添加絮凝剂后,淤泥体各粒径变化规律随絮凝剂添加比例和含水率的变化而不同。在横向上,即在同一含水率时,添加量较低时(本试验为0.1%),各粒径变化量无明显差别,随着添加量的增加,淤泥颗粒粒径变化曲线呈“N”字型变化,粒径为

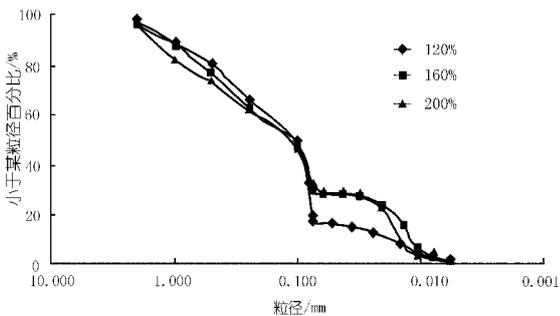


图 4 加入量为 0.1% 时不同淤泥含水率下淤泥颗粒级配

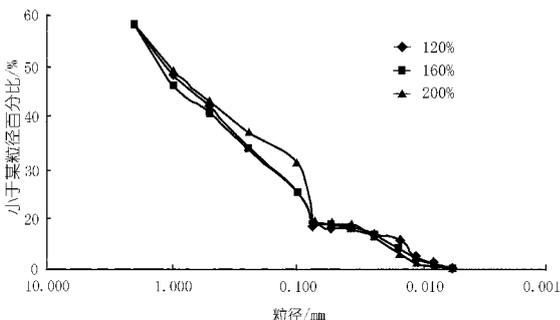


图 5 加入量为 0.2% 时不同淤泥含水率下淤泥颗粒级配

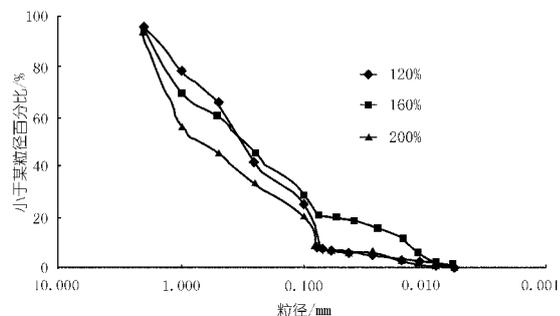


图 6 加入量为 0.3% 时不同淤泥含水率下淤泥颗粒级配

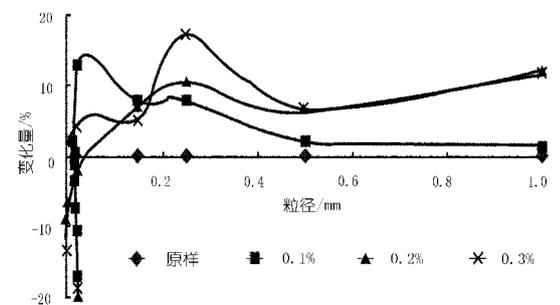


图 7 含水率为 120% 时粒径随絮凝剂添加比例变化曲线
1 mm 和 0.25 mm 的颗粒的数量增加显著,而粒径为 0.1 mm 下的颗粒数量显著减少,说明絮凝剂的加入,能有效提高 1 mm 和 0.25 mm 粒径的颗粒数量,减少 0.1 mm 以下粒径的颗粒数量。在纵向上 随着含水率的增加,1 mm 粒径的颗粒含量增加。

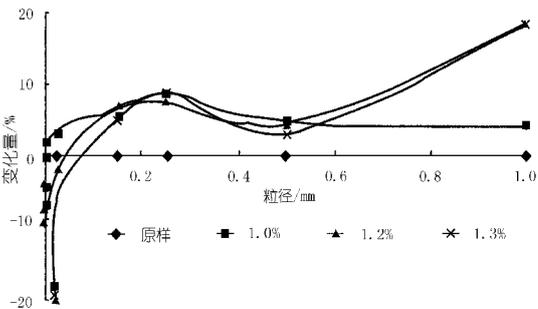


图 8 含水率为 160% 时粒径随絮凝剂添加比例变化曲线

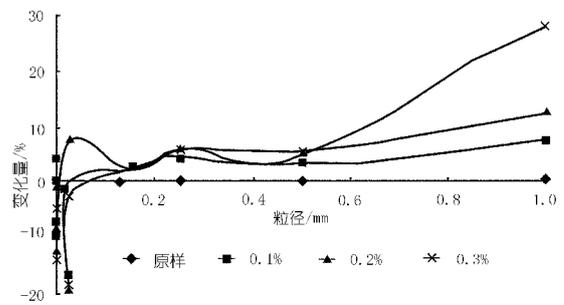


图 9 含水率为 200% 时粒径随絮凝剂添加比例变化曲线

4 结 语

通过试验研究絮凝剂加入量和淤泥含水率与淤泥颗粒絮凝状态的关系,得出以下主要结论。

(1) 在一定的剂量范围之类,随着絮凝剂加入量的增加,絮团颗粒的当量粒径呈增大趋势。且絮凝剂加入量存在一个上临界剂量,大于此临界值时,絮体粒径不再增大。

(2) 添加量低时(本试验为 0.1% 和 0.2%) 颗粒级配受含水率的变化影响不明显,而达到 0.3% 时,含水率增加对颗粒级配影响较明显。

(3) 絮凝剂的加入使 1 mm 和 0.25 mm 粒径颗粒数量增加显著,且该粒径颗粒含量随含水率的提高而增加。

参考文献:

- [1] 丁健文,洪振舜,刘松玉. 疏浚淤泥流动固化处理与流动性试验研究[J]. 岩土力学,2011,32(增1): 280-284.
- [2] 王党伟,杨国录. 淤泥絮凝脱水试验研究及水较链假说的提出[J]. 水利水运工程学报,2011,(4): 69-73
- [3] Besra L, Sengupta D K, Roy S K, et al. Studies of flocculation and dewatering of kaolin suspensions by anionic polyacrylamide flocculants in the presence of some surfactants [J]. International Journal of Mineral Processing, 2002, (66): 1-28.
- [4] Gao J L, Luan Y X, Wu J P. Sullage dewatering property in municipal wastewater treatment plant [J]. Environmental Science and Technology, 2008, (31): 108-111.
- [5] Buddenberg T, Hermann H, Pawel H, et al Method for accelerated dehydration of sludges, esp rivers and harbor dredgings, in their disposal area using anionic polymer flocculants [P]. WO: 2005 019122, 2005

- 03-03.
- [6] Lovanov F I, Shtoporov V N, Kuryatnikova I V, et al. Method for dehydration of sediments [P]. RU: 2 275 339, 2006-04-27.
- [7] 张春雷. 基于水分转化模型的淤泥固化机理研究 [D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [8] 黄娟凤. 有机高分子絮凝剂用于淤泥脱水初步研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
- [9] 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, 7(4): 57-59.
- [10] 吕斌, 杨开, 杨小俊, 等. 武汉某湖泊底泥的机械脱水性能研究 [J]. 中国给水排水, 2008, 24(3): 68-71.
- [11] 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.

(编辑: 常汉生)

Experimental research on flocculation and dewatering of sludge

LI Xiang¹, LEI Xuwen¹, MENG Qingshan², ZHENG Zujia¹

(1. College of Urban Construction, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430070, China; 2. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: The fine sediment in sludge under natural state is difficult to form large floccules and its natural or mechanical dewatering is extremely difficult. In the transport process of dredged sludge, the secondary pollution happens very easily. By adding anion-flocculation agent, the flocculation dewatering effect, influential factors and variation laws of particle size are analyzed. The results show that the ratio of flocculation agent and the water content have influence on the flocculation and dewatering of sludge; with increment of flocculation agent, the equivalent grain size of floccules increases with content of the adding agent and finally reaches a steady state when the adding agent exceeds a certain value; when the flocculating agent ratio is 0.3% and water content is approximately 200%, the sludge flocculation and dewatering has the optimum effect.

Key words: sludge dewatering; flocculating agent; water content of sludge; flocc unit

(上接第 57 页)

参考文献:

- [1] 史斌, 包中进, 陆芳春. 曹娥江枢纽闸下冲刷试验研究 [J]. 浙江水利科技, 2004, (6): 32-34.
- [2] 侯斌. 低水头航电枢纽泄水闸下游局部冲刷问题研究 [D]. 长沙: 长沙理工大学, 2010.
- [3] 吴国君. 低水头水利枢纽泄水闸前局部冲刷问题研究 [D]. 长沙: 长沙理工大学, 2011.
- [4] 史志鹏. 低水头泄水建筑物消能措施数值模拟研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [5] 陈冲, 魏文礼. 基于 FLUENT 软件的闸后水跃二维数值模拟 [J]. 水利电力科技, 2008, 34(3): 17-23.
- [6] 王月华, 包中进, 王斌. 基于 Flow-3D 软件的消力池三维水流数值模拟 [J]. 武汉大学学报: 工学版, 2012, 45(4): 454-457.
- [7] 赵雁飞. 海上风电支撑结构波浪力及基础冲刷的三维数值模拟研究 [D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [8] 孟然. 海底管道后挖沟技术实验研究及数值模拟 [D]. 天津: 天津大学, 2011.
- [9] 王斌. 永嘉县乌牛新闸水工模型试验研究报告 [R]. 杭州: 浙江省水利河口研究院, 2010.

(编辑: 徐诗银)

Numerical simulation research on downstream three-dimensional flow and scouring of new Wuniu sluice in Zhejiang Province

WANG Bin, WANG Yuehua, BAO Zhongjin

(Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary Hangzhou 310020, China)

Abstract: The sluices with low water head often have larger unit width discharge, which leads to concentrated energy of discharge flow. The flow at the downstream of the sluices is always turbulent and has very complex three-dimensional features, so it is difficult to visually reflect the actual hydrodynamic situation and sediment scouring by conventional mathematical model. The hydrodynamic situation of new Wuniu sluice in Zhejiang Province and the scouring at the downstream were simulated by using Flow-3D software. The flow state, flow velocity distribution, water surface profile as well as scouring patterns have been analyzed according to the results of hydraulic model test. The computation results are consistent with the experimental data, therefore, the software is feasible in simulating the three-dimensional flow and sediment.

Key words: three-dimensional numerical simulation; flow state; downstream scouring; new Wuniu sluice