

南京建筑废弃泥浆絮凝减容效果与经济性分析

丁嘉仪¹, 张春雷^{1*}, 陈森¹, 李捷², 曾文超², 王健³

(1. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京环境集团有限公司, 江苏 南京 210026;
3. 南京地铁建设有限责任公司, 江苏 南京 210000)

摘要:以南京市建筑废弃泥浆为研究对象, 分别投加聚合氯化铝(PAC)、聚合硫酸铁(PFS)和阳离子聚丙烯酰胺(CPAM)开展絮凝减容试验, 分析絮凝剂在不同投加量下泥浆沉降、水质指标及泥浆体积和含水率等的变化。结果表明: 上述3种絮凝剂对泥浆均有较好的絮凝沉降效果, 调理后泥浆的沉降速度由快变慢直至稳定, 尾水水质可达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB 31962—2015)排放标准。CPAM调理的泥浆沉降效果最优, 经过20 min的沉降, 泥浆可实现减容80%以上, 相对于直接将泥浆外运处置的费用, 对泥浆絮凝减容后外运可以降低83%的成本。

关键词: 废弃泥浆; 絮凝排水; 减容; 经济分析; 建筑

中图分类号: X799.1

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2022)05-0064-04

Effect and Economical Analysis of Flocculation Volume Reduction of Construction Waste Slurry in Nanjing

DING Jia-yi¹, ZHANG Chun-lei^{1*}, CHEN Sen¹, LI Jie², ZENG Wen-chao², WANG Jian³

(1. College of Environment, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China;

2. Nanjing Environment Group Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210026, China;

3. Nanjing Metro Construction Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210000, China)

Abstract: Taking construction waste slurry in Nanjing as the research object, flocculation volume reduction test was carried out by adding poly aluminum chloride (PAC), polymeric ferric sulfate (PFS) and cationic polyacrylamide (CPAM) respectively for analyzing the changes of slurry sedimentation, water quality index, slurry volume and moisture content under different dosage of flocculant. The results demonstrated that the above three flocculants had good flocculation and sedimentation effects on the slurry. The sedimentation speed of slurry changed from fast to low until stable after conditioning. The quality of tailwater met the discharge standard in "Wastewater quality standards for discharge to municipal sewers" (GB 31962—2015). The sedimentation effect of the slurry conditioned by CPAM was the best. After 20 minutes of sedimentation, the slurry reduced its volume by more than 80%. Compared with direct transportation, the cost could be reduced by 83% when the slurry was transported after flocculation and volume reduction.

Key words: Waste slurry; Flocculation drainage; Volume reduction; Economic analysis; Construction

在城市钻孔灌注桩、地下连续墙、泥水盾构、水平定向钻及泥水顶管施工中, 通常使用泥浆来保持开挖面的平衡稳定^[1-2]。废弃泥浆大多由细颗粒土和黏土矿物组成, 颗粒长期处于悬浮状态, 难以自然沉降^[3-4]。目前, 城市废弃泥浆以直接外运处置为主, 运输和处置成本较高, 部分废弃泥浆还会因处置不规范带来严重的环境污染和占地问

题^[5]。随着可容纳废弃泥浆土地资源的逐渐减

收稿日期: 2021-12-20; 修订日期: 2022-09-03

基金项目: 国家自然科学基金面上基金资助项目(52178387); 江苏省建设系统科技基金资助项目(2020ZD64)

作者简介: 丁嘉仪(1996—), 女, 浙江嘉兴人, 在读研究生, 研究方向为固体废物资源化处理和利用。

* 通信作者: 张春雷 E-mail: zcl_hhu@163.com

少^[6-7],对废弃泥浆进行减量化和资源化处理利用已经成为当今解决泥浆难题的必然趋势^[8-10]。

由于城市建筑工地通常空间狭小且工期较紧,难以采用机械脱水的方法将泥浆压缩成泥饼外运,故考虑对泥浆采用絮凝调理后排除上清液就地减容的方法,以实现降低运输和处置费用的目的。今选取3种絮凝剂开展絮凝沉降试验,通过对泥面高度、上清液水质等指标的测定和分析,探讨不同絮凝剂对泥浆的减容效果,并对泥浆减容后的外运处置做经济分析,以期更好地指导废弃泥浆的处理、处置。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用泥浆取自南京泥浆处置中心泥浆调节池的混合泥浆。取样时利用抓斗取泥器,从调节池中抓取底部的泥,调匀后测定指标。经测定,泥浆的pH值为7.04,密度为 1.03 g/cm^3 ,液限60%,塑限24%,有机质占比为0.42%;泥浆中砂粒(粒径 $\geq 75 \mu\text{m}$)占比为21.2%,粉粒($5 \mu\text{m} \sim 75 \mu\text{m}$)占比为74.5%,黏粒($\leq 5 \mu\text{m}$)占比为4.3%。

研究选用絮凝调理方案为:①聚合氯化铝(PAC),质量分数为2%,投加量(为药剂干质量与干土质量之比)0.5%、0.75%、1.00%、1.25%、1.875%;②阳离子聚丙烯酰胺(CPAM),质量分数为0.3%,投加量0.005%、0.06%、0.07%、0.08%、0.10%;③聚合硫酸铁(PFS),质量分数为2%,投加量1.5%、2.0%、2.5%、3.5%、4.5%。

1.2 试验设备

pH-25型pH计,上海雷磁仪器有限公司;2100Q型浊度仪,上海哈希水质分析有限公司;YP20002型电子天平,上海越平科学仪器有限公司;JJ-6A型六联电动搅拌器,常州普天仪器制造有限公司;2XZ-1型真空过滤装置,浙江黄岩天龙真空泵厂;GZX-9070 MBE型数显鼓风干燥箱,上海博讯实业有限公司。

1.3 泥浆调理试验方法

为了保证试验的一致性,试验前将泥浆混合均匀,调整含水率为90%。分别取1 L泥浆倒入1 L烧杯中,利用六联搅拌器,首先在300 r/min转速下将泥浆快速搅拌5 min以保证均匀,再根据调理方案用移液枪依次向泥浆中滴入不同掺量的絮凝剂,再搅拌1 min,之后在100 r/min转速下慢速搅

拌1 min。将800 mL泥浆倒入1 L量筒中,用橡胶塞盖住量筒上下颠倒5次后,放置在实验台上,立即打开秒表计时,记录不同时间泥面的高度。30 min时在液面下5 cm处采集15 mL上清液,测定上清液的浊度。沉降试验共开展2 h,试验结束后,取出上清液进行常规水质指标测定,每个配比开展3次平行试验,结果取其平均值。

2 结果与讨论

2.1 絮凝调理对泥浆沉降的影响

图1(a)(b)(c)为泥浆在3种絮凝剂不同投加量下的沉降曲线。

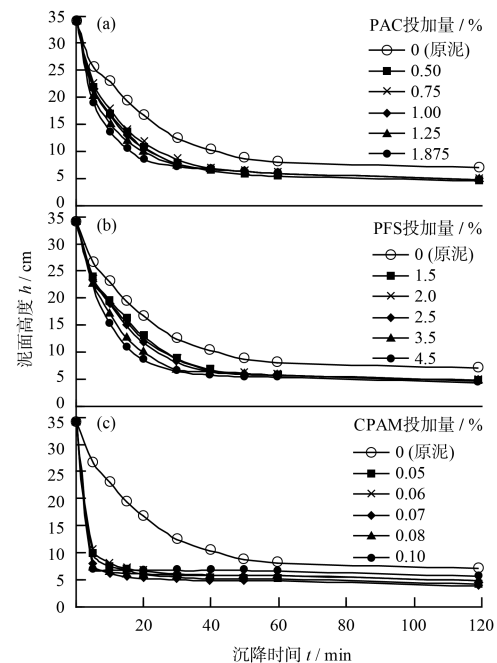


图1 泥面高度随时间的变化

Fig. 1 Variation of slurry height with time

由图1可见,泥面高度随沉降时间的推移而不断下降,在投加絮凝剂后可明显看出泥面下沉速度加快。试验表明,絮凝剂的投加可使泥浆颗粒在沉降过程中逐渐团聚,泥浆的体积不断压缩;随着时间的推移,泥浆絮团不断靠近挤压,颗粒间的作用力不断增强,导致泥面变化趋于稳定。泥浆沉降速度随时间的变化是一段先提升后降低的曲线。与自然沉降(原泥)相比,可以明显发现3种絮凝剂均可以加快整个沉降过程,且在沉降稳定后的泥面高度(5 cm)也相较自然沉降的泥面高度(8 cm)更低,表明加入絮凝剂后,泥浆

沉降后的体积更小。3种絮凝剂中,添加PAC和PFS絮凝剂的泥浆在沉降40 min后,沉降速率趋于平缓,泥水界面线几乎不再变化,沉降过程基本完成;而添加CPAM絮凝剂的泥浆在沉降20 min后即可达到稳定。这是由于无机高分子絮凝剂的分子量和尺度远小于有机高分子絮凝剂,CPAM的长链上所带的阳离子电荷能够中和远距离的负电荷,同时通过吸附架桥的作用形成粒径较大的絮团,易于沉降^[11]。

2.2 絮凝调理对尾水水质的影响

为了更好地研究絮凝调理过程中絮凝剂对尾水水质的影响,分别测定了不同投加量下尾水的TN、NH₃-N、TP、COD和pH值等指标,见表1。试验表明,原泥的TN、NH₃-N、TP、COD和pH值分别为4.01 mg/L、1.60 mg/L、0.22 mg/L、13.22 mg/L和7.04,《污水排入城镇下水道水质标准》(GB 31962—2015)中各指标的限值分别为

70 mg/L、45 mg/L、8 mg/L、500 mg/L和6.5~9.5,《地表水环境质量标准》(GB 3833—2002)中各指标限值分别为1.5 mg/L、1.5 mg/L、0.3 mg/L、30 mg/L和6~9。

在投加絮凝剂后可以看出,PAC和CPAM对浊度的去除优于PFS,且随着絮凝剂的投加,上清液浊度呈现先下降后上升的趋势,认为浊度最低值时的PAC、PFS和CPAM投加量为最佳投加量,即1.25%、3.5%和0.07%。COD在处理过程中波动最大,除了TP指标以外,其他均没有达到地表水标准,表明水质仍须进一步处理才能被排入地表。尾水排放应在技术可行、经济合理的前提下,根据接纳水体的水质情况和实际工况进行选择。而对于建筑泥浆尾水,3种絮凝剂的水质指标均符合《污水排入城镇下水道水质标准》(GB 31962—2015),说明尾水未经处理可直接排入城镇下水道,不会对环境造成二次污染。

表1 水质测定结果

Table 1 Water quality measurement results

絮凝剂及投加量/%	$\rho(\text{TN})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{NH}_3 - \text{N})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{COD})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	浊度(NTU)	pH值	
PAC	0.50	3.48	0.63	0.22	18.50	28.40	6.30
	0.75	4.29	1.06	0.23	25.04	23.30	6.60
	1.00	4.69	1.18	0.18	47.34	23.50	6.60
	1.25	5.02	1.42	0.30	49.30	14.30	6.52
	1.875	5.99	1.72	0.23	186.53	16.20	6.56
PFS	1.5	3.01	4.08	0.23	32.77	62.10	6.93
	2.0	9.44	4.94	0.23	33.47	56.50	6.75
	2.5	10.98	5.48	0.31	42.58	49.10	6.53
	3.5	11.01	6.94	0.32	56.56	42.30	6.36
	4.5	11.12	8.45	0.27	111.58	49.10	5.91
CPAM	0.05	2.90	0.82	0.25	34.55	124.00	9.17
	0.06	3.56	1.24	0.25	38.42	43.70	8.60
	0.07	4.23	1.54	0.30	46.45	18.80	8.53
	0.08	4.92	2.21	0.33	50.61	18.70	8.72
	0.10	6.23	2.51	0.26	59.24	12.59	8.84

2.3 絮凝调理对泥浆含水率及减容率的影响

为了更好地说明絮凝剂在城市废弃泥浆减量化过程中的作用,提出泥浆减容率(上清液体积占初始泥浆总体积的百分比)来分析3种絮凝剂对泥浆的处理效果。

3种絮凝剂在最佳投加量下泥浆含水率和减容率随时间的变化曲线分别见图2和图3。由图2可见,3种絮凝剂均能够促进泥浆含水率的降低,缩短泥浆处理时间。PAC的含水率和减容率变化

趋势与PFS相似,沉降结束后的含水率分别为52%和50%,减容率分别达到79%和80%;而CPAM的含水率变化幅度在沉降初期比较大,沉降20 min时的泥浆含水率为43%,此时的减容率为83%。显然,CPAM能够在更短时间内达到较低的含水率,在实际工程中更具有可行性。

根据对沉降速率、泥浆含水率、减容率及水质等指标分析得出,有机絮凝剂CPAM的减容效果优于无机絮凝剂PAC和PFS,在20 min时可减容

83%,减少了絮凝剂和泥浆外运的成本,也提高了泥浆处理效率。

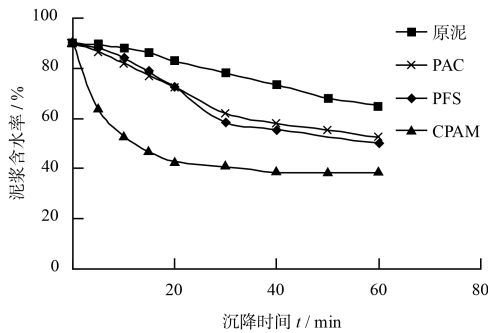


图2 泥浆含水率随时间的变化

Fig. 2 Variation of slurry moisture content with time

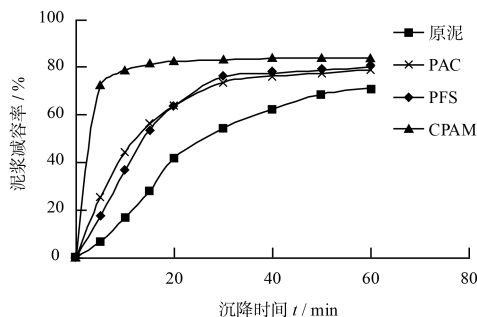


图3 泥浆减容率随时间的变化

Fig. 3 Variation of slurry volume reduction rate with time

2.4 絮凝排水对泥浆外运处置的经济性分析

泥浆脱水处理设备包括溶药加药装置,絮凝剂直接加入泥浆输送管道进行混合,混合后利用工地原有的泥浆沉淀池进行沉淀,上清液直接排放。上述研究提出的絮凝调理排水方案主要费用包括药剂费、人工费、水电费、设备费等。其中,药剂费以CPAM为例,最优掺加量为0.07%,每立方米泥浆中约加入75 g CPAM,按照CPAM 18 000元/t计,药剂费为1.35元/m³,泥浆的综合处理成本约为4元/m³(人工费0.4元/m³,水电费0.35元/m³,管理费0.7元/m³,设备费1.2元/m³)。

对于废弃泥浆目前通常以直接外运处置为主,费用包括运输费和处置费两部分。参考《关于核定城市建筑渣土处理费标准的通知》(甬价费〔2010〕139号)建筑泥浆5 km起运基价为20.0元/t,超起运里程运价为每公里1.1元/t。以外运50 km为例,1 000 m³泥浆经处理后可节约成本59 417元,节省83%。由此可见,对泥浆采用絮

凝调理后排除上清液就地减容,不但经济效益明显,还能有效减少占地面积,减轻环境影响,具有良好的社会和环境效益。

3 结语

PAC、PFS和CPAM均可有效促进废弃泥浆的沉降及减容,其最佳投加量分别为1.25%、3.5%和0.07%,其中,CPAM絮凝剂的减容效果最优,沉降20 min时即可减少泥浆83%的体积。絮凝调理后的泥浆上清液水质可满足《污水排入城镇下水道水质标准》(GB 31962—2015)相关指标要求,不会对泥浆上清液的直接排放产生影响。

该研究成果可以为城市废弃泥浆的絮凝减容应用提供参考,特别是对于大中城市泥浆产量大、直接外运处置困难且工期较紧的工程,通过在泥浆中直接投加絮凝剂减容,不但可以解决工程问题,还具有显著的经济效益和社会效益。

[参考文献]

- [1] 王东星,伍林峰,唐弈锴,等. 建筑废弃泥浆泥水分离过程与效果评价[J]. 浙江大学学报(工学版),2020(6):1049-1057.
- [2] 李兴文. 城市建筑泥浆处理技术及资源化利用新途径——以宁波市为例[J]. 再生资源与循环经济,2015,8(12):39-41.
- [3] 徐国栋,吴大志,王俊. 工程废弃泥浆的絮凝试验研究[J]. 科技通报,2021,37(5):97-103.
- [4] 徐佩佩. 建筑泥浆高效综合脱水技术研究[D]. 南京:东南大学,2015.
- [5] ZHANG F J, KONG C, SUN X Y, et al. Study on preparation and properties of novel ternary flocculant for rapid separation of underground continuous wall waste mud[J]. Pigment & Resin Technology,2020,49(6):421-429.
- [6] 梁止水,杨才千,高海鹰,等. 建筑工程废弃泥浆快速泥水分离试验研究[J]. 东南大学学报(自然科学版),2016,46(2):427-433.
- [7] 朱伟,闵凡路,吕一彦,等. “泥科学与应用技术”的提出及研究进展[J]. 岩土力学,2013(11):3041-3054.
- [8] 张云,向地玖,余玲. 一种新型微生物絮凝剂的制备及对Cu²⁺去除性能的探究[J]. 环境监测管理与技术,2020,32(1):53-55.
- [9] 黄俊好,张春雷. 城市建筑泥浆的管理现状、污染问题及对策建议[J]. 四川环境,2019,38(1):165-169.
- [10] 肖飞,董文明,王维红. 基于活性污泥微生物冻后再生对废水基质降解效能的研究[J]. 环境监测管理与技术,2021,33(4):57-60.
- [11] 徐欢. 污泥调质与机械脱水实验研究[D]. 湘潭:湖南科技大学,2017.