

基桩施工时废弃泥浆的絮凝试验

王 峥 岩

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

摘 要: 为了提高基桩施工时废弃泥浆的脱水效果, 以雄商高铁站前 8 标基桩施工为研究对象, 阐述了向废弃泥浆中添加絮凝剂、进行烧杯絮凝试验、真空抽滤试验、扫描电镜试验的过程, 研究了絮凝剂的种类以及添加量对絮凝过程的影响, 结果表明: 使用阳离子型聚丙烯酰胺 (CPAM)、非离子型聚丙烯酰胺 (NPAM) 以及它们与聚合氯化铝 (PAC) 的组合均能促进絮团的大块形成, 其滤饼含水率低、颗粒间孔隙占比小、脱水能力强。其中四种效果较好的絮凝剂配比方案为: 单独使用 0.3% 浓度的 CPAM (投加量为 5%) 或 0.3% 浓度的 NPAM (投加量为 4%), 以及这两种聚丙烯酰胺与 5% 浓度的 PAC (投加量为 3%) 的组合。得出基桩施工时对废弃泥浆的脱水处理可以采用以上絮凝剂类型及组合, 能够促进其资源化利用和环境保护的结论。

关键词: 泥浆; 脱水效率; 絮凝剂; 滤饼含水率; 扫描电镜图像; 基桩; 絮凝试验

中图分类号: U215; U215.1; U215.7

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2024)增 2-0024-05

Flocculation Test of Waste Mud during Foundation Pile Construction

WANG Zhengyan

(Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610066)

Abstract: In order to improve the dehydration effect of the waste mud of the foundation piles, taking the construction of foundation piles of the 8 sections in front of Xiongshang High-speed Railway Station as the research object, this paper expounds the influence of the type and amount of flocculants on the flocculation process by adding flocculant to the waste mud, conducting beaker flocculation test, vacuum extraction test, scanning electron microscope test. The results show that the use of cationic polyacrylamide (CPAM), non-ionic polyacrylamide (NPAM), and their combination with polyaluminum chloride (PAC) can promote the formation of large blocks, low water content of filter cake, small proportion of intergranular pores, and strong dehydration ability. Four of the more effective flocculant solutions are: 0.3% CPAM (dosage of 5%) or 0.3% NPAM (dosage of 4%), and a combination of the two polyacrylamide and 5% PAC (dosage of 3%). The above types and combinations of flocculant can be used in the dehydration treatment application of waste mud in foundation pile construction to promote its resource utilization and environmental protection.

Key words: Mud; Dehydration efficiency; Flocculant; Water content of filter cake; Scanning electron microscope image; Foundation pile; Flocculation test

1 概 述

随着我国大力发展交通建设, 废弃泥浆迅速增加。若对废弃泥浆处理不当, 不仅会造成材料的浪费, 更会存在安全隐患、造成板结土壤等不利影响。目前, 大多数工程采用的是挖泥浆池存放泥浆、待泥浆自然沉淀后进行掩埋的方法处理基桩施工产生的废弃泥浆, 不仅会减缓施工进度, 亦会污染施工现场的环境。因此, 施工单位在进行工程建设的同时不仅要保证高质量的施工和低成本

本, 也要对环境负责。实现废弃泥浆的“无毒, 无害, 低成本, 可工业化再利用”, 这也是提高其文明施工水平的重要手段^[1-4]。处理基桩废弃泥浆是实现工程建设可持续发展的重要环节, 对环境保护, 节约资源, 提升经济效益等具有积极的意义。

目前处理废弃泥浆较为普遍的方法是化学絮凝固液分离法。即是在泥浆中加入絮凝剂以打破泥浆的化学稳定, 实现水分与固体颗粒的有效分离^[5-6]。许谨^[7]等以太湖底泥脱水为研究对象,

收稿日期: 2024-06-26

通过脱水体积与出水浊度确定絮凝剂的类型和投加量,最终确定絮凝剂的类型为 CPAM;在王杉杉的研究中,通过对钻屑沉降、废弃泥浆配比进行试验,筛选出了既有效、又环境友好的絮凝剂;王煜轩^[8]等以南京江北新区某工程现场废弃泥浆处理为例,使用有机、无机絮凝剂对废弃泥浆进行絮凝处理,最终确定出最佳的泥水分离絮凝剂。在黄佳音^[9]的研究中,通过进行底泥脱水和土工布袋絮凝试验筛选出效果优异的絮凝剂种类及适宜的添加量。在已进行的废弃泥浆脱水研究中,对于微观结构等机理性的研究存在不足。因此,开展这些方面的研究具有十分重要的意义。

雄商高铁北起京雄城际雄安站,经河北省雄安新区、沧州市、衡水市、邢台市、山东省聊城市、河南省濮阳市、山东省济宁市、菏泽市、河南省商丘市,终至商合杭铁路商丘站,线路总长度为 551.97 km。雄商 8 标桥梁的基桩为

摩擦桩,共计 8 045 根(直径为 1.0 m 的桩 7 580 根,直径为 1.25 m 的桩 168 根,直径为 1.5 m 的桩 297 根),基桩混凝土合计为 321 303.7 m³,最大桩长为 82 m;采用旋挖钻机或反循环钻机成孔,水下浇筑混凝土,桥梁基桩均需要泥浆护壁。

为了提高泥浆脱水固化效率,笔者以雄商高铁站前 8 标基桩施工废弃原状泥浆为研究对象,对其加入各种絮凝剂并开展了烧杯絮凝、真空抽滤和扫描电镜试验,以探究不同絮凝剂的添加量变化对各项试验指标产生的影响,分析了絮凝剂的添加对泥浆产生的处理效果,其中包括对沉淀后泥浆的微观分析等,旨在为后续工程的应用提供依据。

2 试验方案及实施

2.1 试验材料

试验用的泥浆为水电五局雄商高铁站前 8 标基桩施工废弃的原状泥浆。泥浆的物理力学性质指标见表 1。

表 1 泥浆的物理力学性质指标表

名称	含水率 /%	泥浆密度 /(g·cm ⁻³)	泥浆重度 /(kN·m ⁻³)	固体颗粒质量含量 /%	固体颗粒体积含量 /%
泥浆	625.07	1.07	10.70	13.80	9.50

此次研究采用了四种絮凝剂对施工废弃原状泥浆进行处理,其包括阳离子型聚丙烯酰胺(CPAM)、阴离子型聚丙烯酰胺(APAM)、非离子型聚丙烯酰胺(NPAM)和聚合氯化铝(PAC)。前三种絮凝剂最初被调配成浓度为 0.3% 的溶液,并将聚合氯化铝调配成浓度为 5% 的溶液。

根据所采集泥浆的性质制定了单独投加 CPAM、APAM、NPAM、PAC 及组合投加“CPAM+PAC”,“NPAM+PAC”六种絮凝剂投加方案。单独投加泥浆絮凝剂方案见表 2,组合投加泥浆絮凝剂方案见表 3。

2.2 试验方法与仪器

(1)烧杯絮凝试验。选取五个容积为 500 mL 的烧杯,注入 200 mL 采集到的泥浆,然后按试验方案利用胶头滴管加入絮凝剂后充分搅拌并静置,观察烧杯中的泥浆泥水分离效果、沉淀特性以及上清液的清晰度。

(2)真空抽滤泥浆滤饼含水率试验。首先用蒸馏水将滤纸浸湿,打开装置抽成负压;然后将搅拌均匀的泥浆注入布氏漏斗。本次试验每次控制后加入的泥浆量为 150 mL 且限定抽滤时

表 2 单独投加泥浆絮凝剂方案表

絮凝剂种类	投加比例 /%	絮凝剂种类	投加比例 /%
CPAM	1	APAM	1
	2		2
	3		3
	4		4
	5		5
NPAM	1	PAC	1
	2		2
	3		3
	4		4
	5		5

表 3 组合投加泥浆絮凝剂方案表

絮凝剂种类	投加比例	絮凝剂种类	投加比例
PAC+NPAM	2%+1%	PAC+CPAM	2%+1%
	2%+2%		2%+2%
	2%+3%		2%+3%
	2%+4%		2%+4%
	2%+5%		2%+5%
	3%+1%		3%+1%
	3%+2%		3%+2%
	3%+3%		3%+3%
	3%+4%		3%+4%
	3%+5%		3%+5%

间为 5 min,待抽滤结束后测量泥浆滤饼的含水量。

(3)扫描电子显微镜试验。利用 108 ℃烘箱将经过絮凝处理后的泥浆烘干,使用扫描电镜观察烘干土样放大 1 000 倍、2 000 倍、5 000 倍的微观结构,并观察对比添加不同类型絮凝剂及不同投加量下泥浆土的微观结构。本次试验采用的是

PHENOM 扫描电镜。

3 试验结果分析

3.1 絮凝现象分析

笔者分析并整理出各工况条件下的絮凝现象特征。其絮凝现象特征见表 4。

表 4 絮凝现象特征表

絮凝剂类型	投加量 /%	浑浊度	沉降速度	絮凝剂类型	投加量	浑浊度	沉降速度
CPAM(阳离子型聚丙烯酰胺)	1	浑浊	缓慢	PAC(聚合氯化铝)+ NPAM(非离子型聚丙烯酰胺)	2%+1%	浑浊	缓慢
	2	浑浊	缓慢		2%+2%	浑浊	快速
	3	清澈	较快		2%+3%	浑浊	快速
	4	清澈	快速		2%+4%	清澈	快速
	5	清澈	快速		2%+5%	清澈	快速
APAM(阴离子型聚丙烯酰胺)	1	浑浊	缓慢	PAC(聚合氯化铝)+ NPAM(非离子型聚丙烯酰胺)	3%+1%	浑浊	缓慢
	2	较浑浊	较慢		3%+2%	清澈	快速
	3	清澈	较快		3%+3%	清澈	快速
	4	清澈	快速		3%+4%	清澈	快速
	5	清澈	快速		3%+5%	清澈	快速
NPAM(非离子型聚丙烯酰胺)	1	浑浊	缓慢	PAC(聚合氯化铝)+ CPAM(阳离子型聚丙烯酰胺)	2%+1%	浑浊	缓慢
	2	清澈	缓慢		2%+2%	浑浊	缓慢
	3	清澈	快速		2%+3%	清澈	快速
	4	清澈	快速		2%+4%	清澈	快速
	5	清澈	快速		2%+5%	清澈	快速
PAC(聚合氯化铝)	1	浑浊	缓慢	PAC(聚合氯化铝)+ CPAM(阳离子型聚丙烯酰胺)	3%+1%	浑浊	缓慢
	2	浑浊	较慢		3%+2%	浑浊	缓慢
	3	浑浊	较快		3%+3%	清澈	快速
	4	清澈	快速		3%+4%	清澈	快速
	5	清澈	快速		3%+5%	清澈	快速

通过观察泥浆絮凝现象特征可以看出:在每种工况下,泥浆的细颗粒絮凝在一起,沉降速度加快,上清液由浑浊变为清晰。其中,CPAM、NPAM、CPAM+PAC、NPAM+PAC 对泥浆的絮凝效果明显。

3.2 真空抽滤泥浆滤饼含水率试验结果分析

3.2.1 4 种絮凝剂单独作用下抽滤后的泥浆滤饼含水率分析

4 种絮凝剂单独投加作用下投加量与滤饼含水率的关系见图 1。通过对比单独投加 4 种絮凝剂的泥浆滤饼含水率得出,滤饼含水率较低的絮凝剂为 CPAM 和 NPAM,其对泥浆的脱水能力较好。

3.2.2 絮凝剂单独投加与组合投加对泥浆滤饼含水率的影响

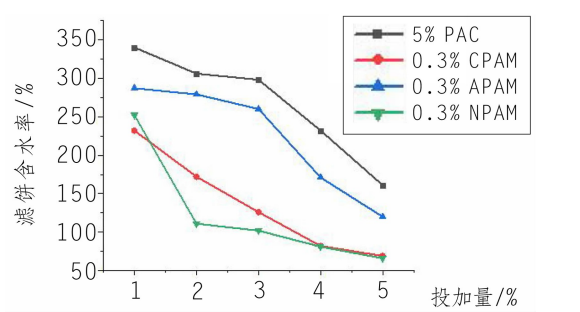


图 1 4 种絮凝剂单独投加作用下投加量与滤饼含水率关系图

(1)单独使用 CPAM 与结合 CPAM 和 PAC 使用时泥浆滤饼的含水率分析

CPAM、CPAM+PAC 滤饼含水率变化情况见图 2。图 2 表明:CPAM 和 PAC 两者结合使用时的泥浆滤饼含水率低于单独使用 CPAM 时的

情况。进一步的对比结果显示:当 PAC 的添加量提升至 3% 时,相较于 2% 的添加量,其能够进一步降低滤饼的含水率。由此可知:PAC 的投加提高了泥浆的脱水能力。

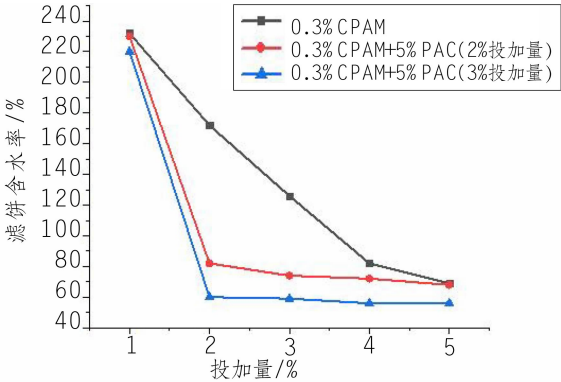


图 2 CPAM、CPAM+PAC 滤饼含水率变化图

(2) 单独使用 NPAM 与 NPAM 和 PAC 结合使用时对泥浆滤饼含水率的影响

NPAM、NPAM+PAC 滤饼含水率变化情况见图 3。图 3 表明:相较于仅使用 NPAM,NPAM 和 PAC 结合使用时滤饼的含水率明显更低。特别是当 PAC 的添加量达到 3% 时,其含水率的减少尤为显著,提高了泥浆的脱水能力。

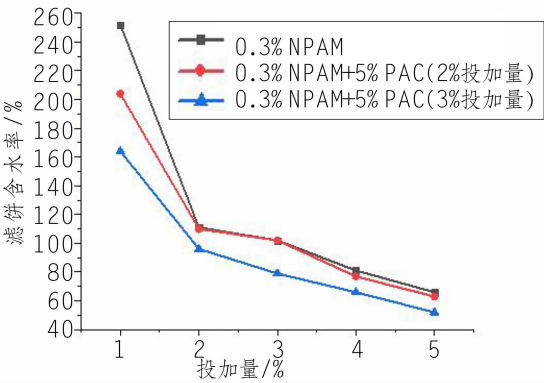


图 3 NPAM、NPAM+PAC 滤饼含水率变化图

试验数据表明:将浓度为 0.3% (投加量为 5%) 的 CPAM,浓度为 0.3% (投加量为 5%) 的 NPAM 分别与浓度为 5% (投加量为 3%) PAC 的组合效果最为明显,含水量分别为 52% 和 56%。

3.3 扫描电镜试验结果分析

本次研究使用扫描电镜观察了泥浆絮凝土在 1 000 倍、2 000 倍和 5 000 倍放大情况下的微观结构图像。为深入探讨其微观孔隙结构的变化,笔者采用 PCAS 软件进行了孔隙参数的统计分析。

为探究絮凝土内部孔隙结构的规律,笔者分析了 CPAM、APAM、NPAM、PAC 单独投加(投加量依次为 1%、2%、3%、4%、5%)以及 CPAM+PAC、NPAM+PAC 组合投加下(投加量依次为 1%+2%、2%+2%、3%+2%、4%+2%、5%+2%)得到的絮凝土扫描图像。结果显示:单独投加 CPAM 时,随着投加量的增加,孔隙占比从 70.62% 减小至 60.95%;单独投加 NPAM 时,随着投加量的增加,孔隙占比从 65.20% 减小至 54.87%;单独投加 APAM 时,随着投加量的增加,孔隙占比从 72.14% 减小至 45.32%;单独投加 PAC 时,随着投加量的增加,孔隙占比从 66% 减小至 54.98%。组合投加 APAM+PAC 时,随着投加量的增加,孔隙占比从 60.50% 减小至 45.15%;组合投加 NPAM+PAC 时,随着投加量的增加,孔隙占比从 66.78% 减小至 52.15%。

笔者使用点线图分析了絮凝剂种类及其添加量变化对泥浆絮凝土孔隙占比的影响,孔隙占比定义为总孔隙区域面积与图像总面积之比。

(1) 四种絮凝剂单独作用下的孔隙占比分析

单独投加 4 种絮凝剂与组合投加 CPAM+PAC、NPAM+PAC 孔隙占比对比分析情况见图 4。图 4 显示:絮凝剂添加后,随着投加量的提高,孔隙占比逐渐减少。与 CPAM 及 PAC 相比,使用 APAM 和 NPAM 时,泥浆中的细颗粒形成的大颗粒更多,导致孔隙占比进一步降低。

(2) 泥浆滤饼含水率分析(单独投加絮凝剂与组合投加絮凝剂)

①单独使用 APAM 与 APAM 和 PAC 结合使用投加作用下的孔隙占比分析。图 4 表明:在 APAM 与 PAC 结合使用的条件下,其填充细颗粒孔隙的效果明显,孔隙占比小。

②单独使用 NPAM 与 NPAM 和 PAC 结合使用投加作用下的孔隙占比分析。图 4 显示:整体而言,与单独使用 NPAM 相比,NPAM 和 PAC 结合投加时,其泥浆的絮凝效果更好。

由试验结果得知:添加絮凝剂后,泥浆中的细颗粒形成了更大的聚集体,从而降低了孔隙占比。特别是在 0.3% APAM(5% 的投加量)及其与 5% PAC(2% 的投加量)的组合下,孔隙占比分别降至 45.14% 和 45.13%,显示出明显的絮凝效果。

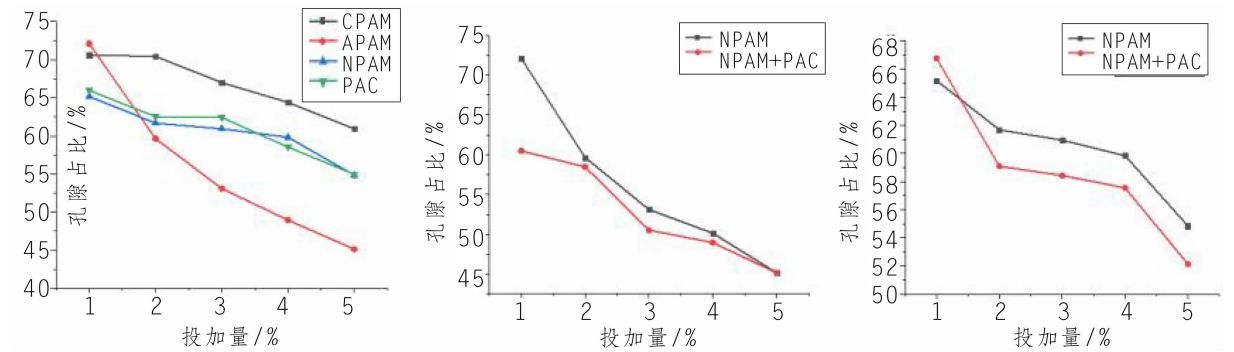


图 4 单独投加 4 种絮凝剂与组合投加 CPAM+PAC、NPAM+PAC 孔隙占比对比分析图

4 结 语

雄商高铁站前 8 标基桩施工废弃原状泥浆为研究对象,进行了单独添加和复合添加絮凝剂的烧杯絮凝试验、真空抽滤试验、扫描电镜试验等,研究了各项试验指标随各类絮凝剂添加量的变化而变化的规律,得到以下结论:

(1)根据烧杯絮凝试验、真空抽滤试验、扫描电镜试验对六种絮凝剂投加方法处理泥浆取得的效果进行对比得知:在废弃泥浆中投加 CPAM、NPAM、CPAM+PAC、NPAM+PAC 四种类型絮凝剂时,烧杯中的上清液清晰度较高,泥浆滤饼含水率较低,孔隙占比较低,颗粒聚集成大粒团,沉降速度快,泥水分离效果尤为明显。

(2)此次研究探索了四种不同的絮凝剂配比方案:单独使用 0.3%浓度的 CPAM(投加量为 5%)和 0.3%浓度的 NPAM(投加量为 4%),以及这两种聚丙烯酰胺与 5%浓度的 PAC(投加量为 3%)的组合。这些方案均显著改善了泥浆的絮凝脱水效果,所取得的研究成果可为类似泥浆絮凝脱水工程参考。

(3)处理基桩废弃泥浆是实现工程建设可持续发展的重要环节,对环境保护、资源节约、经济效益的提升等都具有积极的意义。笔者建议:在实际应用时可采用以上絮凝剂种类的组合及配

比,以促进泥浆固化处理及资源化利用。

参考文献:

[1] 张钦喜,陶韬,王晓杰,等. 钻孔灌注桩废弃泥浆处理的试验研究[J]. 水利学报, 2015, 46 (增刊 1): 40-45.

[2] 房凯,张忠苗,刘兴旺,等. 工程废弃泥浆污染及其防治措施研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(增刊 2): 238-241.

[3] 孙建荣. 钻井法凿井泥浆再生调制与废弃处理[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(1): 25-27.

[4] 赵吉平,任中启,刘爱军,等. 废弃钻井物的二次利用和无害化处理[J]. 石油钻探技术, 2003, 31(1): 37-39.

[5] Fengjun Z, Cui K, Xianyang S, et al. Study on preparation and properties of novel ternary flocculant for rapid separation of underground continuous wall waste mud[J]. Pigment and Resin Technology, 2020, 49(6): 421-429.

[6] 王杉杉. 铁路桥梁施工中废弃泥浆处理技术研究[J]. 工程技术研究, 2024, 9 (4): 70-72.

[7] 许谨,刘中良,魏丽,等. 太湖底泥脱水试验研究[J]. 环境工程, 2013, 31(增刊 1): 273-276.

[8] 王煜轩,王志丰. 钻孔灌注桩废弃泥浆处理及利用研究[C]//中国科学技术协会,交通运输部,中国工程院,湖北省人民政府. 2022 世界交通运输大会(WTC2022)论文集(公路工程篇),长安大学公路学院, 2022.

[9] 黄佳音,杨旺旺,王利桃,等. 基于白洋淀底泥土工管袋脱水工艺试验研究[J]. 人民黄河, 2019, 41(增刊 2): 97-98, 119.

作者简介:

王峥岩(1984-),男,河南巩义人,副高级工程师,注册一级建造师,从事水利水电和铁路工程建设施工技术与管理工

(编辑:李燕辉)