

# Engineering Field Application of Waste Slurry Flocculation Treatment for Cast-in-Situ Bored Pile

Qinxi Zhang<sup>1</sup>, Tao Tao<sup>1</sup>, Xiaojie Wang<sup>1</sup>, Yuxin Zhai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>College of Architecture Engineering, Beijing University of Technology, Beijing

<sup>2</sup>China Railway Construction Corporation, Beijing

Email: hbvcwxj@163.com

Received: Nov. 5<sup>th</sup>, 2015; accepted: Nov. 23<sup>rd</sup>, 2015; published: Nov. 27<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

With the rapid development of construction industry in China, cast-in-situ bored piles have been widely used; however, the problem of waste slurry treatment is also more and more serious and gets a wide attention. Through a large number of indoor experiments, the author found that the chemical coagulation was used in comparison with other methods. Liquid separation is very effective for treating waste slurry. It has the characteristics of fast separation speed and good following treatment effect. It can effectively reduce environmental pollution and save the cost of the construction process. The chemical reagent of this method is to select PAM and CaO. This paper is based on the indoor test, and in the construction site of the slurry on the site treatment; the treatment effect is good, and the indoor experimental results are basically consistent, which proves the advantages and practicality of this method, and it can be applied and popularized.

## Keywords

Waste Slurry, Field Experiments, PAM, Engineering Application

---

# 钻孔灌注桩废弃泥浆絮凝处理工程应用

张钦喜<sup>1</sup>, 陶 韬<sup>1</sup>, 王晓杰<sup>1</sup>, 翟玉新<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北京工业大学, 建筑工程学院, 北京

<sup>2</sup>中铁建设集团有限公司, 北京

Email: hbvcwxj@163.com

收稿日期: 2015年11月5日; 录用日期: 2015年11月23日; 发布日期: 2015年11月27日

## 摘要

随着我国建筑行业的迅速发展, 钻孔灌注桩得到了广泛应用, 然而, 其所造成的废弃泥浆处理问题也愈发严重, 得到了广泛关注。笔者通过大量室内试验发现, 相比较于其他泥浆处理方法, 运用化学絮凝固液分离法处理废弃泥浆具有泥水分离速度快, 后续处理效果好, 可有效减少环境污染, 节约施工处理成本的特点, 本方法化学试剂选择聚丙烯酰胺(阴离子)与生石灰分别加入。本文在室内试验的基础上, 于建筑施工工地进行泥浆现场处理, 处理效果良好, 和室内试验结论基本吻合, 有利佐证了此方法的优势与实用性, 可以得到应用与推广。

## 关键词

废弃泥浆, 现场试验, 聚丙烯酰胺, 工程应用

## 1. 引言

随着我国经济实力的不断增强, 我国基建投资和房地产投资等各方面迅猛增长。巨大投资对建筑业的快速发展起到了关键作用。在大量深基础和地基处理等地基基础施工中, 钻孔灌注桩被大量应用。钻孔灌注桩在施工过程中普遍使用泥浆护壁技术, 通过泥浆对槽壁的静压力和泥浆在槽壁上形成的泥皮可以有效地防止槽、孔壁坍塌, 从而容易达到打桩的要求[1]。但是, 由于目前钻孔灌注桩施工过程中一般都要用泥浆来辅助钻孔施工, 因而成桩后工地现场必然要产生大量待处理的废弃泥浆, 如下图 1 所示。由于废弃泥浆稠度很大, 难以自然下沉, 又不能直接排放, 施工现场往往只能先将废弃泥浆集中蓄存, 集中处理, 导致大面积的泥浆池占用了宝贵的施工场地, 不仅影响了施工进度与施工现场环境, 还可能进一步造成水污染等二次污染[2]。建筑工地一般都采用直接装车拉出工地, 然后随意弃置, 对弃置地周围环境造成了严重的危害。工程废弃泥浆问题俨然已经成为工程界亟需解决的难题之一。

目前国内外对于废弃泥浆的处理方法主要有: 化学固化法、土地耕作法、化学絮凝固液分离处理法、化学絮凝加机械脱水处理法等。笔者认为采用化学絮凝剂使泥浆发生固液分离的方法, 可以有效处理废



Figure 1. Picture of waste slurry on the construction site  
图 1. 施工现场废弃泥浆图

弃泥浆,具有泥水分离速度快,后续处理效果好,可有效减少环境污染,节约施工处理成本的特点[3]。本文通过介绍工程实例,证明化学试剂处理法现场应用的可行性,并通过现场试验证明通过此种方法处理泥浆可再生利用。

化学絮凝剂固液分离处理法的原理为:通过向泥浆中加入絮凝剂,破坏泥浆体系的化学稳定性使水与固相颗粒分离,使废弃泥浆减量化、干化,便于清运,且减少环境污染。絮凝剂主要是增加混凝固体的碰撞,使其水解产物附聚、架桥絮凝形成可沉降的或可过滤的絮凝物[4]。此法处理工艺简单,无需对分离后的固相及液相进行二次处理,适合于建筑施工中产生的废弃泥浆。絮凝作用机理大致分为4种,即压缩双电层理论、吸附电中和理论、吸附架桥理论和卷扫絮凝理论,但在实际絮凝过程中,往往是几种机理综合作用的结果。本方法使用的有机絮凝剂通过絮凝分子与土颗粒之间的作用完成絮凝效果,有机分子对土颗粒的吸附力形成桥架作用,同时高分子链自身保持伸展,就形成了越来越多的土颗粒吸附其上的效果,最后在重力作用下沉淀分离[5]。

通过室内试验,比较多种化学絮凝剂固液分离效果,选择聚丙烯酰胺(阴离子)和生石灰配合使用的方法可得最佳试验效果,粗略得出聚丙烯酰胺(阴离子)最佳加入量为1~1.1 g/L,生石灰最佳加入量为10 g/L,且加药后宜采用均匀快速的搅拌方式,此最佳加入量有待现场试验进行验证。

本方法中,聚丙烯酰胺(阴离子)主要起到吸附架桥的作用。阴离子聚丙烯酰胺线性分子链上存在酰胺基(-CONH<sub>2</sub>),可与粘土颗粒表面亲和、吸附形成氢键,其余部分则伸展在泥浆中,可以与另一个表面有空位的粘土颗粒吸附[6],如图2所示。而且阴离子聚丙烯酰胺有很长的分子链,大数量级的长链在水中有巨大的吸附表面积,在粘土颗粒之间架桥,形成大絮团,加速沉降。

## 2. 化学絮凝固液分离法的现场试验方案与步骤

本文结合室内试验,提出固液分离+排水+外运的废弃泥浆现场处理工艺流程。在现场处理废弃泥浆时,首先测量泥浆沉淀池的尺寸,计算出废弃泥浆的体积,再测定泥浆的密度,然后根据前期试验结果确定加药量。投加絮凝剂,然后用污泥泵搅拌至生成絮团,静置沉淀大约12 h后,上清液排放,底泥直接利用机械外运。

### 2.1. 工程概况与试验准备

#### 2.1.1. 工程概况

工程为中铁建设集团市政分公司承建,拟建建筑为通州区运河核心区 VIII-10~VIII-12 地块,位于北

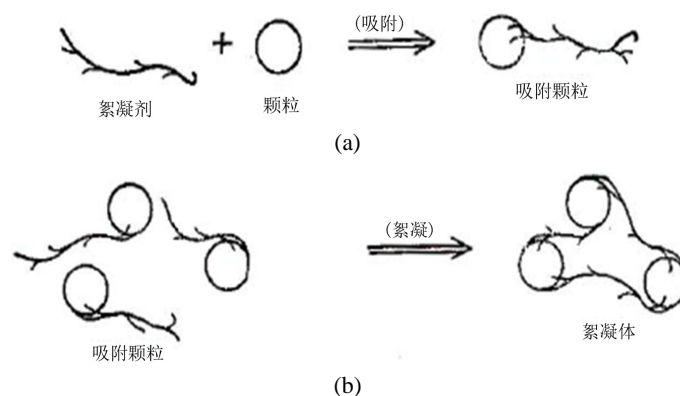


Figure 2. The adsorption mode of bridging flocculant on particles. (a) Initial adsorption; (b) flocculation formation

图2. 高分子絮凝剂对微粒的吸附桥联模式; (a) 初期吸附; (b) 絮凝体形成

京市通州区新华大街北侧，北侧紧邻北关大道，西侧紧邻正在施工的地铁 6 号线新华大街站，东侧紧邻西滨河北路。建筑面积 839,488 m<sup>2</sup>，其中地上建筑面积 517,400 m<sup>2</sup>，地下建筑面积 322,088 m<sup>2</sup>。本工程勘察最大钻孔深度 140 m。钻孔所揭示范围内的地基土自上而下主要由人工填土层(Q4ml)、第四系新近沉积土层(Q4al + pl)、一般第四系全新统冲洪积土层(Q4al + pl)和第四系晚更新统冲洪积土层(Q3al + pl)组成。

### 2.1.2. 试验准备

本次试验在施工现场进行，环境条件温度为外温(15℃~25℃)，试验对象为现场未处理钻孔灌注桩废弃泥浆池两个(大小不一)。所需试验材料及设备如下：泥浆测试三件套(比重，粘度，含砂率)，50 L 塑料桶，pH 测定仪，烧杯(2000 ml) 2 个，玻璃棒若干，过滤装置(滤除泥浆中砂粒)，过滤装置采用网眼布，电子称一台；聚丙烯酰胺(PAM)，生石灰，碳酸钠等。设备为挖掘机，泥浆泵，胶管，三脚架，铰链，皮尺等。

### 2.1.3. 现场废弃泥浆物理指标测定实验

测定分别取出于两个废弃泥浆池泥浆的比重、粘度、含沙率、PH 值，胶体率、失水量、泥皮厚、含水率等 8 种物理指标，采用每种泥浆取 3 组测量，以平均值为最后结果。经测定，2 种泥浆的物理性质见表 1、表 2。由此得出：此工程两处泥浆池所产生的废弃泥浆物理性质接近。

### 2.1.4. 预备实验

在现场正式实验前，为保证试验效果，先进行现场预备实验。方法为：利用 50L 塑料桶取现场钻孔灌注桩废弃泥浆 45 L，(泥浆初始状态见图 3)进行初步搅拌。待泥浆均匀后，由室内试验所得的加药量算得针对 45 L 泥浆加 150 万分子量阴离子聚丙烯酰胺(PAM) 5.32 g，生石灰 49.78 g。加药后，用搅拌棒进行快速均匀搅拌 5 分钟，直到泥浆出现絮状物停止搅拌，静置泥浆 2 小时(泥水分离见图 4)，测定泥水分界面位置，抽去上层清水，加入生石灰，进行快速均匀搅拌。后将泥浆倒入事先准备好的坑中观察，发现和实验室实验结果吻合，可进行现场试验。

## 2.2. 现场试验步骤及方法

现场试验主要步骤如下：

Table 1. Physical indexes of Slurry 1

表 1. 1 号池泥浆物理指标

泥浆组别	比重(g/ml)	粘度(S)	含砂率(%)	pH 值	含水量(%)	胶体率(%)	失水量(ml/30 min)	泥皮厚(mm)
1	1.688	23.75	21	11.1	87.36	63	61.22	2.1
2	1.731	24.00	25	11.2	79.21	64	70.35	2.3
3	1.642	22.44	24	11.0	85.65	68	75.65	2.5
平均值	1.683	23.30	23.33	11.1	83.52	75	71.07	2.3

Table 2. Physical indexes of Slurry 2

表 2. 2 号池泥浆物理指标

泥浆组别	比重(g/ml)	粘度(S)	含砂率(%)	pH 值	含水量(%)	胶体率(%)	失水量(ml/30 min)	泥皮厚(mm)
1	1.423	19.21	18.32	10.9	91.22	58	78.33	1.7
2	1.321	20.41	17.85	11.1	93.46	53	81.61	1.9
3	1.256	21.98	19.65	10.7	99.56	57	82.45	2.0
平均值	1.343	20.63	18.54	10.9	96.75	56	80.33	1.8

(1) 首先用皮尺测得泥浆坑尺寸，计算得泥浆体积。得 1 号泥浆池泥浆体积为  $31.92 \text{ m}^3$ ，2 号泥浆池泥浆体积为  $92.72 \text{ m}^3$ 。(泥浆池见图 5、图 6)并测定泥浆 pH 值，确保泥浆为中性或碱性。若非中性或碱性，则需向泥浆中加入适量的碳酸钠( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )，调节泥浆酸碱度。

(2) 确定聚丙烯酰胺(PAM)的用量。



Figure 3. The initial state of preliminary experimental mud

图 3. 预备实验泥浆初始状态



Figure 4. The separation state of preparative experimental slurry

图 4. 预备实验泥水分离状态



Figure 5. 1# slurry pool

图 5. 1#泥浆池图

由室内试验可得聚丙烯酰胺用量:最佳用量为 1000 g 泥浆对应 0.85 g~1 g, 即聚丙烯酰胺的加入量为 0.085%~0.1%。由于泥浆中砂粒对泥浆胶体性质影响较小。根据泥浆含砂率, 当泥浆含砂率超过 10%时, 聚丙烯酰胺用量取下限 0.085%; 当泥浆含砂率小于 3%时, 聚丙烯酰胺用量取上限 0.1%。含砂率为中间值时采用直线内插法近似取值。当泥浆含砂率超过 10%时, 活性剂用量取下限 0.04%; 当泥浆含砂率小于 3%时, 活性剂用量取上限 0.05%。含砂率为中间值时采用直线内插法近似取值。由物理性质试验得两块泥浆池泥浆样本含砂率均超过 10%, 故聚丙烯酰胺用量选取为 0.85g/L。

(3) 用电子称量取计算得药剂量后, 向泥浆池内加药(见图 7), 为了施工方便, 采用固体加药方式, 试剂需分散加入, 不可集中加入。由此可能需增加搅拌时间, 但更具操作性。加药过程同时对泥浆进行搅拌, 使药剂与泥浆充分混合。要做到边加药边搅拌。切忌统一加药统一搅拌。

(4) 由于聚丙烯酰胺溶解过程缓慢, 在试验过程中, 需要一定时间使得聚丙烯酰胺充分溶解。根据室内试验, 在室温条件下, 聚丙烯酰胺充分溶解至少需要 20 min。在试验过程中, 加药后需对泥浆静置放置 20 min, 若温度较低, 需适当延长静置时间。

(5) 充分快速搅拌(见图 8), 至泥浆出现絮团状。对于体积较小的泥浆池, 可采用挂式螺旋搅拌机搅拌, 或由挖掘机进行搅拌; 对于体积较大的泥浆池, 建议采用多个泥浆泵对泥浆进行循环以达到搅拌效



Figure 6. 2# slurry pool

图 6. 2#泥浆池

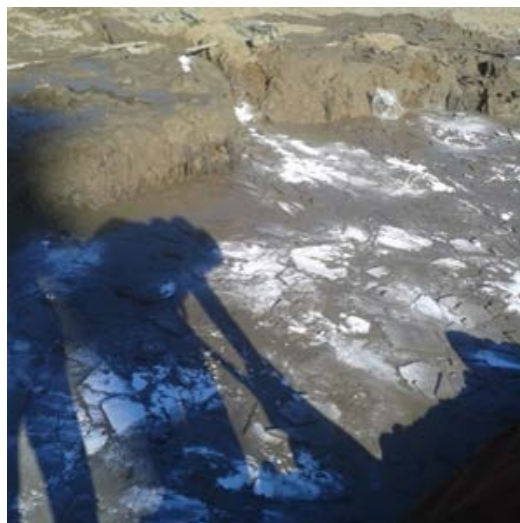


Figure 7. The dosing chart of 1# pool

图 7. 1#池加药图

果。此时搅拌需要迅速，根据泥浆物理性质不同，搅拌时间一般为 20~30 min，若泥浆稠度很大，可适当增加搅拌时间。

(6) 搅拌完成后，泥浆池出现絮状物并开始沉淀。此时开始静置泥浆，使得絮团状泥浆快速沉淀。根据室内试验所得，絮团状泥浆颗粒沉降速度为先快后慢。当沉淀时间达到 3 h 时，沉淀速度趋于平缓。

(7) 泥浆沉淀后，利用水泵(滤网处包裹土工布)抽出上层清液(见图 9)。上层清液可继续循环使用，制备新鲜钻孔泥浆。

(8) 对于抽去上层清液后所剩泥浆，加入一定量的生石灰搅拌(见图 10)。生石灰最佳用量为 1000 g 泥浆对应 8 g~10 g，即聚丙烯酰胺的加入量为 0.8%~1%。此时泥浆已经彻底脱胶破凝，而且含水率较低。所得泥可塑性好，会有一定泌水现象，但可以直接运输或填埋，现场试验结束(取出样本静置 24 h 后如图 11)。



Figure 8. The stirring chart of 2#pool

图 8. 2#池搅拌图



Figure 9. The effect of removing the supernatant in 2# pool

图 9. 2#池取出上层清液后效果



Figure 10. The effect of add lime after stirring in 2# pool

图 10. 2#池加入生石灰搅拌



Figure 11. After removing the sample from the static 24 h

图 11. 取出样本静置 24 h 后

### 2.3. 试验结果分析

现场试验效果与室内试验及预备实验效果基本吻合，有效佐证了运用聚丙烯酰胺和生石灰配合来处理废弃泥浆这种方法的可行性与实用性。对现场试验结果分析我们可得：絮凝剂(PAM)加入后需要投药过程中搅拌，以免聚丙烯酰胺结块，难以起到絮凝作用；试验过程中，搅拌的速度和时间对试验效果影响较大，应采用大型泥浆泵或施工机械完成循环搅拌工作；排出上层清液后，若泥浆含水率仍然较高，直接外运需要加入生石灰或者利用电渗法进一步进行脱水处理；此方法可有效处理膨润土废弃泥浆，该技术在施工现场可以实现及推广。

### 3. 经济效益分析

通过现场试验，与传统废弃泥浆处理方式相比，化学絮凝固液分离法的效果好，且成本低，无污染，具有良好的经济与社会效益。

以处理  $1 \text{ m}^3$  泥浆为例，按照聚丙烯酰胺(阴离子)最佳用量  $1 \text{ g/L}$ ，生石灰最佳用量  $10 \text{ g/L}$ ， $1 \text{ m}^3$  泥浆需要  $1 \text{ kg}$  聚丙烯酰胺(阴离子)和  $10 \text{ kg}$  生石灰。经现行市场价格调查，加上运输费用，计算后，处理  $1 \text{ m}^3$  泥浆所需价格为 20 元左右。经了解，施工现场现行方法运输泥浆到指定处理单位的价格为 30 元左右。



可见,本方法在快速分离处理泥浆,减少环境污染的同时,也节约了施工成本,有很好的实用性。

#### 4. 结论

本文通过在施工工地进行现场试验,证明了运用化学絮凝固液分离法处理钻孔灌注桩废弃泥浆的可行性,化学试剂主要采用聚丙烯酰胺(阴离子)及生石灰配合,从而处理废弃泥浆。

由现场试验取得了较好的效果,可得此方法具有泥水分离速度快,后续处理效果好,可有效减少环境污染,节约施工处理成本的特点,适用于建筑工地上因钻孔灌注桩产生的废弃泥浆,有很好的实用性,可以得到应用与推广。

#### 参考文献 (References)

- [1] 张钦喜,李萍,赵党书. 土质学与土力学[M]. 北京:科学出版社,2005:15-76.
- [2] 张忠苗,房凯,王智杰,骆佳成. 泥浆零排放处理技术及分离土的工程特性研究[J]. 岩土工程学报,2011(9):1457-1461.
- [3] 张钦喜,陶韬,王晓杰. 钻孔灌注桩废弃泥浆处理的试验研究[J]. 水利学报,2015(S1):40-45.
- [4] 刘勇健,沈军,张建龙. 废泥浆固液分离的实验研究[J]. 广东工业大学学报,2000,17(2):53-56.
- [5] 李健,向兴权,罗平亚. 两性复合离子聚合物泥浆处理剂及泥浆体系研究与应用[J]. 天然气工业,1991(5):42-49.
- [6] 胡承雄,马华滨. 京沪高速铁路废弃泥浆处理现场试验[J]. 铁道劳动安全卫生与环保,2009,36(3):112-115.