

絮凝剂对工程废弃泥浆脱水性能的影响

高宇*, 周普玉, 杨霞, 李阳

上海市建筑科学研究院, 上海 201108

摘要 为了提高工程废弃泥浆的脱水效率,以毛细吸水时间(CST)为评价指标,研究了添加不同种类及不同用量的絮凝剂对废弃泥浆脱水性能的影响。结果表明,絮凝剂存在最适添加量,添加不足或过量的絮凝剂均会使絮凝效果下降。阴离子聚丙烯酰胺(APAM)具有较强的吸附架桥能力,脱水效果最好,絮体粒径大,脱水效果改善明显且添加量最少。原泥浆稀释至80%含水率后,APAM的最适添加量为 $60\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,对应的CST值为23.4 s。CST法可作为泥浆调理沉降快速筛选絮凝剂的分析方法。

关键词 聚丙烯酰胺;毛细吸水时间;泥浆脱水;含水率;絮凝剂

中图分类号 X705 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2017)10-5597-06 DOI 10.12030/j.cjee.201611101

Effect of flocculants on dehydration properties of construction waste slurry

GAO Yu*, ZHOU Puyu, YANG Xia, LI Yang

Shanghai Research Institute of Building Science, Shanghai 201108, China

Abstract To improve the dehydration efficiency of construction waste slurry, capillary suction time (CST) was evaluated as an indicator to investigate the influence of different type and amount of flocculants on the dehydration properties. The results indicated that the addition of insufficient or excessive amounts of flocculants resulted in worse effect of flocculation and therefore the flocculant dosage can be optimized. Among all the flocculants tested, the anionic polyacrylamide (APAM) presented large floc particle size, obvious improvement of dehydration properties and less dosage, which was due to the strong adsorption and bridging capabilities and the best dehydration effect. The optimized dosage of APAM was $60\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ when the slurry was diluted to 80% water content, and the corresponding CST value was 23.4 s after slurry conditioning. The CST could be used as an efficient analytical method to select flocculants.

Key words polyacrylamide; capillary suction time (CST); slurry dehydration; water content; flocculant

随着城市地下空间开发朝着“大规模、大空间”方向的发展,巨量废弃泥浆的处理一直是困扰工程建设的巨大难题,2015年上海工程泥浆申报总量达620万t。目前,上海地区地下工程建设产生的废弃泥浆基本上是先用车槽罐车驳运至码头,再用拖船外运至周边地区低洼处倾倒。由于运距远,运输车辆特殊,故处置成本和运输能耗相当高。这种将泥浆当作垃圾处理的方式只是将污染进行了转移,而没有利用泥浆本身的价值,处理方式原始落后且效率低,不仅造成了施工成本的增加,也给城市交通、自然环境及国土资源造成了十分不利的影响。

随着时代的不断进步和人们环保意识的增强,对于环境保护和工程质量的要求越来越高,施工过程排放的大量废弃泥浆不满足环保要求,废弃泥浆的无害化处理已经提上日程,“十三五”期间,上海市将通过强化建筑垃圾的预处理,提升建筑垃圾资源化能力和水平,工程泥浆集中干化能力达到 $950\text{ 万 t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。为了实现泥浆的资源化再利用,泥水分分离减量化是废弃泥浆处置的关键环节,可使泥浆体积减小,承载力增加,对于运输和后期资源化利用有重要意义。目前,国内外主要采用的泥浆处理技术有机械设备脱水

基金项目:上海市科学技术委员会应用技术开发专项资金项目(2015-111)

收稿日期:2016-11-15;录用日期:2017-03-15

第一作者:高宇(1986—),男,博士,工程师,研究方向:化学建材领域的科研和产品开发。E-mail: yuygao@163.com

*通信作者, E-mail: yuygao@163.com

法^[1-4]和化学固化处理法^[5-6]。

隧道工程和其他地下工程排放的泥浆成分复杂,从土性上区分,包括粘性土泥浆、粉性土泥浆和砂类土泥浆;从来源来区分,包括桩基施工、地下连续墙施工和盾构施工过程中产生的各类泥浆。这些泥浆的粒径分布和化学组成成分等有较大差别。考虑到现场处理的泥浆差异较大,施工时需要及时调整絮凝剂的配方及添加量。现有的实验方法仅仅是在泥浆中加入絮凝剂后靠静置分层目测,判断指标定性化、主观化,且静置沉降需时较长^[7-12]。本文引入了可量化的判断依据,达到快速灵活调整絮凝剂配方及添加量的目的,可作为泥浆调理沉降快速筛选絮凝剂的分析方法。

1 实验部分

1.1 实验材料

泥浆取自上海某工程废弃泥浆,原始泥浆特性如表 1 所示。为了便于实验分析,将泥浆稀释至含水率 80% 进行研究。

聚合氯化铝(PAC),使用时配制成质量浓度 5% 的溶液;阳离子聚丙烯酰胺(CPAM)相对分子质量 1 000 万、非离子聚丙烯酰胺(NPAM)相对分子质量 1 200 万、阴离子聚丙烯酰胺(APAM)相对分子质量 1 800 万,使用时均配制成质量浓度为 0.1% 的溶液。

表 1 泥浆特性

Table 1 Properties of the slurry

含水率/%	pH	密度/(g·mL ⁻¹)	CST/s	Zeta 电位/mV
65	9	1.282	288.5	-14.1

1.2 实验仪器

激光粒度分析仪,型号 LS 13 320,美国 Beckman Coulter 公司;毛细吸水时间测定仪,型号 304B,英国 Triton Electronics 公司;X 射线荧光光谱仪,型号 ARL ADVANT[®] X 系列,美国 Thermo Fisher 公司;Zeta 电位分析仪,型号 Zetasizer Nano ZS90,英国 Malvern 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 毛细吸水时间测定

将一定量的泥浆置于圆形套管中,通过标准滤纸产生的毛细吸水压力从泥浆中“吸收”水分,测定水分在标准滤纸上渗透一定距离所需要的时间。通过测定毛细吸水时间(capillary suction time,CST)可评价泥浆的脱水性能,CST 值越小,则表示泥浆的脱水性能越好。

1.3.2 泥浆粒径的测定

取待测泥浆缓慢移入粒度分析仪循环进样器中,在泥浆的转移和稀释过程中应以慢速为宜,避免絮体被打碎。

1.3.3 泥浆含水率的测定

参照《城市污水处理厂污泥检测方法》(CJ/T 221-2005)中含水率的测定——重量法。用已恒重为 m_1 的蒸发皿称取泥浆样品,该样品准确称至 0.001 g 记为 m ,放入 103 ~ 105 ℃ 烘箱中干燥 2 h,取出放入干燥器中冷却至室温,称重,反复多次,直至恒重记为 m_2 。

泥浆的含水率 ω ,以%表示,按式(1)计算:

$$\omega = \frac{m - (m_2 - m_1)}{m} \times 100\%$$

(1)

2 结果与讨论

2.1 泥浆的性质测定

2.1.1 泥浆主要矿物组成

取少量泥浆烘干后的样品在 X 射线荧光光谱仪上进行分析,结果如表 2 所示。由表 2 数据可知,泥浆主要矿物组成为硅铝酸盐类矿物。

2.1.2 泥浆粒径分布

用激光粒度分析仪对泥浆进行粒径分析,结果如图 1 及表 3 所示。

表 2 泥浆主要矿物成分
Table 2 Main mineral compositions of the slurry

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	K ₂ O
65.38	12.03	5.03	3.45	2.22	2.13	1.64

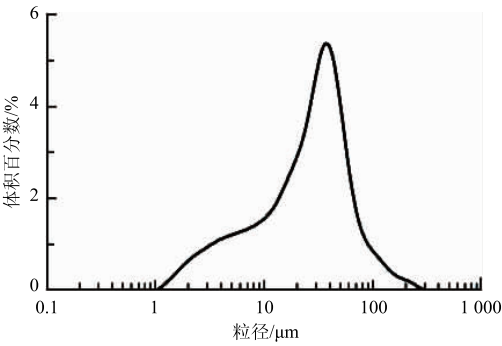


图 1 泥浆粒径分布曲线图

Fig. 1 Particle-size distribution curve of slurry

表 3 泥浆颗粒粒径分布

Table 3 Particle-size distribution of slurry /μm

D10	D50	D90
4.559	29.07	68.88

注:D10、D50 和 D90 分别定义为 10%、50% 和 90% 的颗粒粒径小于该 D 值。

从图 1 可以看出,泥浆的颗粒粒径范围约为 1~340 μm,其中 90% 的颗粒粒径小于 68.88 μm,泥浆颗粒为微米级别。因此,该废弃泥浆是由带负电荷的、微米级别的硅铝酸盐类矿物颗粒形成的高度分散混合悬浮体系。

2.2 不同絮凝剂对泥浆脱水性能的影响

2.2.1 PAC 对泥浆脱水性能的影响

在几组泥浆中分别加入不同量的 PAC 絮凝剂溶液,在搅拌转速 300 r·min⁻¹下搅拌约 40 s 后絮凝彻底,之后进行分析测试。泥浆的脱水速率是表征泥浆脱水性能的关键指标,实验以毛细吸水时间 CST 表征泥浆脱水速率。泥浆粒径参数 D10、D50 和 D90,以及毛细吸水时间 CST 随 PAC 添加量变化曲线如图 2 所示。

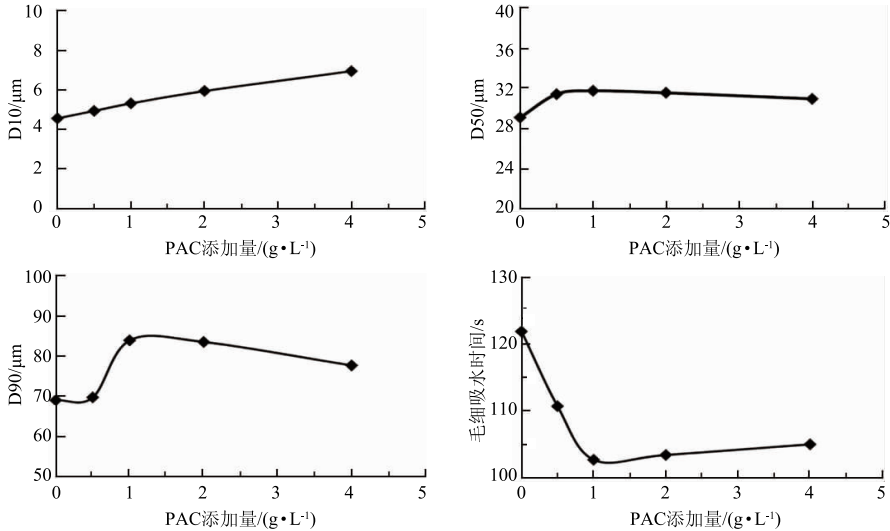


图 2 泥浆粒径参数 D10、D50 和 D90,CST 随 PAC 添加量变化曲线图

Fig. 2 Particle-size parameters of D10, D50, D90 and CST values as a function of PAC dosage

由图 2 可以看出,随着 PAC 添加量的增加,泥浆颗粒粒径缓慢变大,使得泥浆脱水性能指标 CST 值下

降,但变化幅度不大,PAC 最适添加量为 $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,对应的 CST 值为 102.7 s ,PAC 分子链短,主要通过电中和作用形成小絮体,可见 PAC 对泥浆脱水性能改善非常有限。

2.2.2 NPAM 对泥浆脱水性能的影响

进一步研究添加有机高分子絮凝剂对泥浆脱水性能的影响。在几组泥浆中分别加入不同量的非离子聚丙烯酰胺 NPAM 絮凝剂溶液,选择相同的搅拌转速及时间,待絮凝彻底后进行分析测试。泥浆粒径参数 D10、D50 和 D90,以及毛细吸水时间 CST 随 NPAM 添加量变化曲线如图 3 所示。

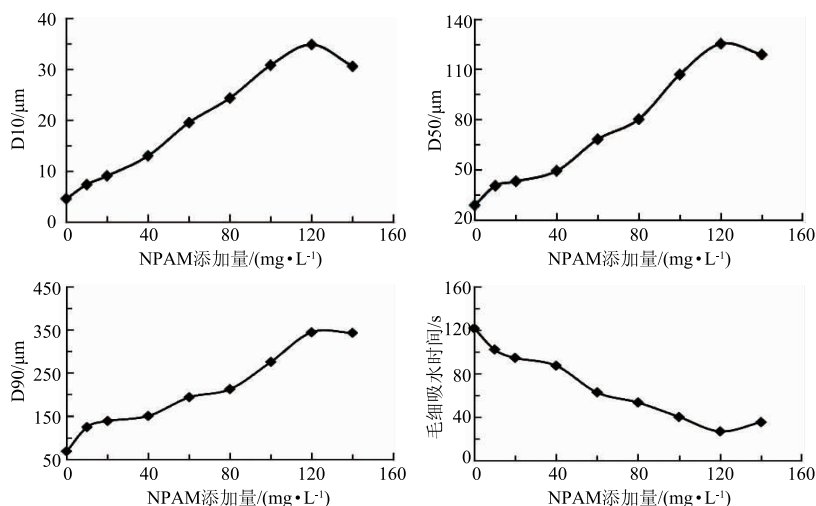


图 3 泥浆粒径参数 D10、D50 和 D90、CST 随 NPAM 添加量变化曲线图

Fig. 3 Particle-size parameters of D10, D50, D90 and CST values as a function of NPAM dosage

由图 3 可以看出,随着 NPAM 的加入,泥浆颗粒粒径参数 D10、D50 及 D90 呈现明显上升趋势,表明 NPAM 絮凝剂的加入有利于颗粒的聚集絮凝。当添加量达到 $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,出现了最佳絮凝效果,此时 CST 值最小,粒径参数值均最大。当进一步提高添加量至 $140 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,粒径参数反而略微下降,同时 CST 值也由最适添加量 $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时的 26.9 s 上升至 35.4 s ,表明添加过量的絮凝剂会使絮凝效果下降。絮凝剂的添加存在最适添加量,用量不足时,颗粒无法有效聚集形成大絮体,而用量过量时,已絮凝好的大絮体重新解体,使得脱水性能劣化。

2.2.3 CPAM 对泥浆脱水性能的影响

进一步考察阳离子聚丙烯酰胺 CPAM 对泥浆脱水性能的影响。泥浆粒径参数 D10、D50 和 D90,以及毛细吸水时间 CST 随 CPAM 添加量变化曲线如图 4 所示。

由图 4 可以看出,随着 CPAM 的加入,泥浆颗粒粒径参数 D10、D50 及 D90 呈现明显上升趋势,与 NPAM 的现象类似。但是 CPAM 添加量高达 $160 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,其对应的 CST 值为 48.3 s ,高于 NPAM 最适添加量 $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时的 26.9 s ,泥浆脱水性能不及 NPAM,可能是由于泥浆呈碱性,限制了 CPAM 在水中解离出阳离子基团,影响了 CPAM 的絮凝效果。

2.2.4 APAM 对泥浆脱水性能的影响

考察阴离子聚丙烯酰胺 APAM 对泥浆脱水性能的影响。泥浆粒径参数 D10、D50 和 D90,以及毛细吸水时间 CST 随 APAM 添加量变化曲线如图 5 所示。

由图 5 可以看出,随着 APAM 的加入,CST 值急剧下降,当添加量为 $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,其 CST 值已降至 23.4 s ,易于脱水。当添加量提高至 $80 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,泥浆液开始发黏,絮凝剂已过量,由于颗粒表面已无吸附空位,架桥作用无法实现,所以无法发挥絮凝效果。

此外,泥浆粒径参数 D10、D50 和 D90 的增加幅度显著大于 NPAM 和 CPAM,是由于 APAM 相对分子质量较大,且分子链上 COO^- 基团间斥力使分子链在水中更展开,从而有较大的吸附表面积,有利于絮凝剂与颗粒碰撞,提高架桥能力;同时分子链与颗粒间仍存在静电斥力,所以生成絮体粒径较大。有相关报

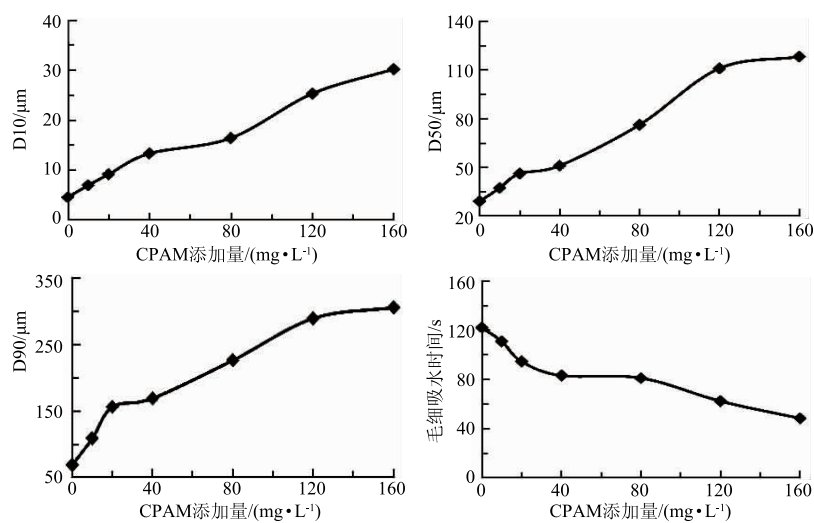


图 4 泥浆粒径参数 D10、D50 和 D90,CST 随 CPAM 添加量变化曲线图

Fig. 4 Particle-size parameters of D10, D50, D90 and CST values as a function of CPAM dosage

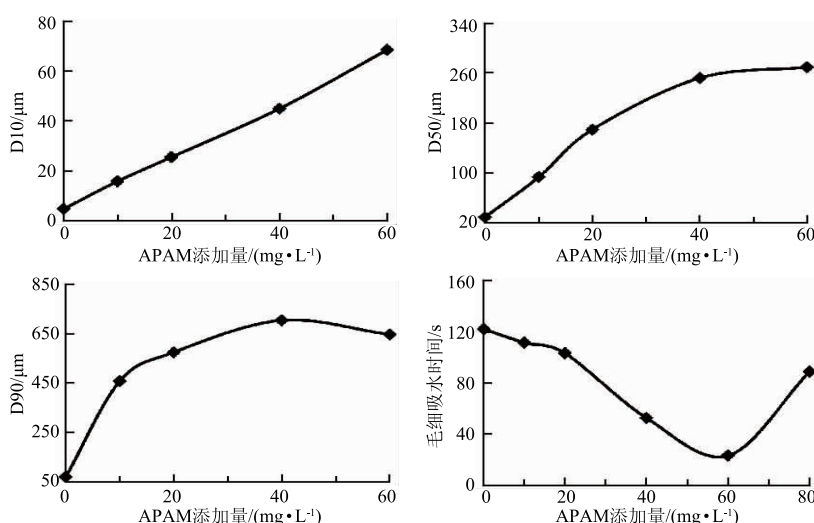


图 5 泥浆粒径参数 D10、D50 和 D90,CST 随 APAM 添加量变化曲线图

Fig. 5 Particle-size parameters of D10, D50, D90 and CST values as a function of APAM dosage

道通过目测法也观察到了该现象^[13-15]。

2.2.5 不同絮凝剂对泥浆脱水性能对比

不同絮凝剂最适添加量与 CST 关系图如图 6 所示。由图 6 可以看出,数据点越靠近原点,表明该絮凝剂处理泥浆时所需的最适添加量越少,且对应的 CST 值越低,也就是说泥浆脱水性能越好,脱水性能优劣排序为 APAM > NPAM > CPAM。

3 种类型的聚丙烯酰胺均可实现泥浆颗粒的絮凝沉降,有机絮凝剂化学调理沉降泥浆的机理主要是吸附架桥和卷扫网捕。有机絮凝剂在水中展开成长分子链,活性基团可与泥浆颗粒吸附架桥,并网捕其他泥浆颗粒,使原来微小的泥浆颗粒聚集成较大的颗粒,改善了泥浆的脱水性能。因此,对于泥浆颗粒,有机絮凝剂分子链段上的活性基团与颗粒表面的氢键作用对吸附起重要作用,有机絮凝剂分子链长对架桥起重要作用。有相关报道发现,絮凝剂相对分子质量的大小比所带电荷类型、电荷密度更为重要^[16]。

不同絮凝剂在各自最适添加量下的粒径分布曲线如图 7 所示,可以看出添加 APAM 絮凝后,泥浆颗粒粒径分布曲线明显向右侧移动,颗粒粒径显著大于添加 NPAM 和 CPAM 后的,对应的泥浆脱水性能提升,泥水分离效果显著。这是由于 NPAM 和 CPAM 中酰胺基团较强的氢键缔合作用,可与分子链上的其他酰

胺基团形成分子内及分子间氢键,从而使分子链不能充分伸展。而 APAM 分子链上存在带负电荷的羧基基团,靠静电斥力作用使分子链更舒展,且 APAM 有更高的相对分子质量,能充分发挥吸附架桥作用。

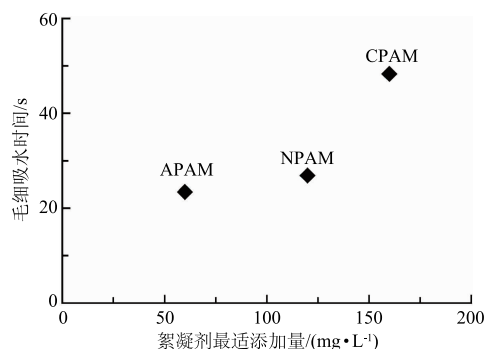


图 6 不同絮凝剂最适添加量与 CST 关系图

Fig. 6 Relationship between optimized dosage of different flocculants and CST values

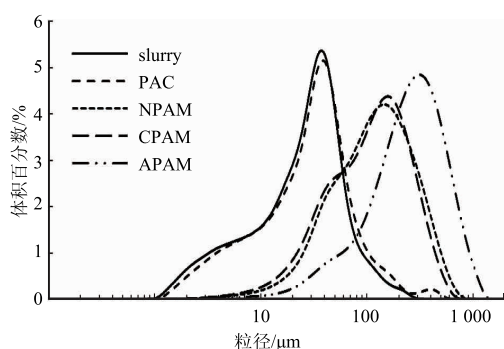


图 7 不同絮凝剂最适添加量下的粒径分布曲线

Fig. 7 Particle-size distribution curves of optimized dosage of different flocculants

泥浆颗粒粒径、絮凝剂种类及添加量影响泥浆脱水性能,粒径越小越难脱水。对比可以看出,无机高分子絮凝剂存在投加大、效果差和易引入杂质的缺点,而有机高分子絮凝剂则具备投加量少、絮凝能力强以及絮体粗大,且脱水性能好等优势^[17]。

3 结论

1)不同的絮凝剂对应的泥浆脱水效果排序为:APAM > NPAM > CPAM > PAC。

2)有机絮凝剂主要通过吸附架桥和卷扫网捕作用絮凝沉降泥浆颗粒,絮凝剂存在最适添加量,添加不足或过量的絮凝剂均会使絮凝效果下降,分子量大小显著影响泥浆的脱水效果,APAM 的最佳投加量为 $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,对应 CST 值为 23.4 s。

3)阴离子型聚丙烯酰胺具有较高的相对分子质量且相对较低的价格,对大规模工程应用较为有利。絮凝剂的投加量直接影响到使用成本,本文的方法可作为泥浆调理沉降快速筛选絮凝剂的分析方法,具有经济高效便捷的优点。今后可进行不同来源工程废弃泥浆的现场泥水分离处置示范应用,拓宽本文方法的适用范围。

参考文献

- [1] 何文锋,邓美龙,白晨光,等. 地铁车站施工废弃泥浆处理方法[J]. 施工技术,2012,41(24):83-86
- [2] 耿朋飞,孙林柱. 泥浆压滤脱水复合絮凝剂的实验研究[J]. 武汉理工大学学报,2014,36(5):118-122
- [3] 张树凯,陈清锁,廖潇,等. 压滤机技术在越江隧道盾构施工中的应用[J]. 工程建设与设计,2013(4):134-136
- [4] 王清江. 振筛分离及沉淀净化技术在施工废弃泥浆处理中的应用[J]. 国防交通工程与技术,2015,13(1):75-77
- [5] 安娜,马秀兰,王富民. 废弃钻井泥浆固化处理技术的研究和进展[J]. 广东化工,2015,42(11):103-104
- [6] MA Jianli, ZHAO Youcai, WANG Jinmei, et al. Effect of magnesium oxychloride cement on stabilization/solidification of sewage sludge[J]. Construction and Building Materials, 2010, 24(1):79-83
- [7] 杨霞. 泥水平衡盾构系统中废弃泥浆的减量化处理[J]. 山西建筑,2014,40(20):196-198
- [8] 常鸽,李春杰,丁光莹,等. 钱江隧道盾构废弃泥浆的混凝分离[J]. 环境工程学报,2012,6(10):3752-3756
- [9] 杨春英,徐薇,白晨光. 施工废弃泥浆絮凝脱水试验及机理分析[J]. 环境科技,2013,26(5):15-17
- [10] 饶运章,陈桢干,朱锋. 复合絮凝剂应用于废泥浆脱水的试验研究[J]. 江西理工大学学报,2014,35(3):29-32
- [11] 张烁,庞建勇,孙林柱,等. PAM 絮凝剂对钻孔粘土废弃泥浆脱水性能的影响[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版),2014,34(1):34-38
- [12] 刘智峰,崔剑峰,蒋勇兵,等. 絮凝剂对打桩废弃泥浆的处理研究[J]. 山西建筑,2015,41(22):181-183
- [13] 李冲,吕志刚,陈洪龄,等. 阴离子型聚丙烯酰胺在废弃桩基泥浆处理中的应用[J]. 环境科技,2012,25(1):33-37
- [14] 李冲,吕志刚,陈洪龄,等. 河湖疏浚淤泥的表征、絮凝和脱水[J]. 环境工程学报,2013,7(2):737-742
- [15] 张钦喜,陶韬,王晓杰,等. 钻孔灌注桩废弃泥浆絮凝处理工程应用[J]. 土木工程,2015,4(6):251-259
- [16] NOVAK J T, O'BRIEN J H. Polymer conditioning of chemical sludges[J]. Journal Water Pollution Control Federation, 1975, 47(10):2397-2410
- [17] 陶乃毕,张鹏,朱希禄,等. 高分子絮凝剂的研究进展[J]. 化工科技,2014,22(1):73-76