

CaO 添加顺序对废弃泥浆絮凝效果的影响

周 庆¹, 黄伟钧², 卢烈听²

(1.苏宁置业集团有限公司,江苏 南京 210042; 2.温州浙南地质工程有限公司,浙江 温州 325000)

摘要:针对温州某钻孔灌注桩废弃泥浆进行了沉降柱试验和颗粒分析实验,研究有机絮凝剂 APAM 以及无机絮凝剂 CaO 对泥浆沉降性能和颗粒粒径的影响,着重探究了无机絮凝剂 CaO 的不同添加顺序对有机絮凝剂 APAM 絮凝效果的影响。结果表明:在较少 APAM 添加量(10 mL)下后添加 CaO 能增大泥浆的初始沉降量;先添加 CaO 再添加 APAM,不利于 APAM 絮凝作用的发挥;后添加 CaO 的情况下,CaO 对于最终的絮体粒径的影响主要取决于絮体本身的强度及搅拌强度。

关键词:废弃泥浆;沉降柱试验;絮凝剂;CaO;搅拌强度

中图分类号:TU473.1⁺4;X703 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)07-0077-07

Influence of Addition Order of CaO on Flocculation Effect of Waste Slurry/ZHOU Qing¹, HUANG Wei-jun², LU Lie-ting²(1.Suning Real Estate Group Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210042, China; 2.Wenzhou Zhenan Geology Engineering Co., Ltd., Wenzhou Zhejiang 325000, China)

Abstract: The sedimentation column tests and particle analysis experiments are performed on the waste slurry of a bored pile in Wenzhou to study the influence of organic flocculant APAM and inorganic flocculant CaO on the mud settling property and particle size. The influence of different addition order of inorganic flocculant CaO on the flocculation effect of organic flocculant APAM are focused on. The results show that: on the basis of less APAM addition (10mL), CaO adding can increase the mud initial sedimentation amount; adding CaO then adding APAM is not conducive to APAM flocculation; in case of adding CaO later, the effect of CaO on the final flocs particle size mainly depends on the strength of the floc itself and the stirring intensity.

Key words: waste slurry; sedimentation column tests; flocculant; CaO; stirring intensity

0 引言

近年来,人们的环保意识不断提升,工程废弃泥浆引起的环境问题已逐渐成为学者研究的焦点,废弃泥浆的无害化处理也已经提到日程^[1-6]。

工程废弃泥浆由于成分复杂且含有较多的带负电荷的粘土颗粒,自然沉降速度较慢,难以快速有效的分离,而絮凝剂具有电中和、吸附架桥及网络卷扫作用,能够改善泥浆的沉降和脱水性能,故絮凝剂能够作为泥浆固液分离的一种方法。絮凝剂通常分为无机絮凝剂、有机絮凝剂和微生物絮凝剂。无机絮凝剂主要包括小分子无机絮凝剂和高分子无机絮凝剂,常见的有:三氯化铁、硫酸亚铁和硫酸铝、聚合氯化铝(PAC)、聚合硫酸铝(PAS)、聚合硫酸铁(PFS)、聚合氯化铁(PFC)等。

其中小分子无机絮凝剂经常应用于固体颗粒较少的城市污水净化处理工程。有机高分子絮凝剂,

包括天然有机高分子絮凝剂和有机合成高分子絮凝剂两种,具有固液分离效果明显、絮凝速度快、添加量少的优点,应用较为广泛。常见的有机絮凝剂有:聚丙烯酰胺系列、聚二甲基二丙烯基氯化铵等。在工程废弃泥浆处理中通常使用有机絮凝剂或者联合使用无机絮凝剂与有机絮凝剂。微生物絮凝剂受其微生物生长环境的限制,主要应用在城市污水处理方面^[7]。

梁止水等^[8]采用化学絮凝的方法对建筑废弃泥浆快速泥水分离性能进行试验研究,发现有机絮凝剂对建筑泥浆具有较好的快速泥水分离效果。

李冲等^[9]研究了 APAM 投加量、分子量、泥浆 pH 值等因素及聚合氯化铝(PAC)与 APAM 复合使用对絮凝效果的影响;PAC 与 APAM 的复合使用可以降低上清液浊度,但形成的絮团会略有减小;泥浆 pH 值对上清液浊度影响明显。

收稿日期:2018-05-03; 修回日期:2018-06-27

作者简介:周庆,男,汉族,1981年生,工程师,主要从事地产开发工作;黄伟钧,男,汉族,1983年生,工程师,主要从事基础工程、基坑支护和地基处理等方面的工作,浙江省温州市瓯海区新桥街道站前路199号。

刘智峰等^[10]考察了几种无机絮凝剂和有机絮凝剂对泥浆絮凝效果的影响,发现在泥浆固液分离实验中,阴离子聚丙烯酰胺(APAM)对泥浆的絮凝效果最好。

张忠苗等^[11]研究了运用化学絮凝剂进行废弃泥浆固液分离的一种方法,通过加入聚丙烯酰胺和生石灰实现了泥浆的快速泥水分离。

多个学者研究表明:絮凝沉淀法能够起到降低废弃泥浆含水率的作用,有机絮凝剂中的阴离子聚丙烯酰胺(APAM)对工程废弃泥浆的处理具有一定的优势。

本文针对温州某钻孔灌注桩的废弃泥浆进行了沉降柱试验以及颗粒分析试验,着重研究了无机絮凝剂CaO的不同添加顺序对有机絮凝剂APAM絮凝效果以及絮体颗粒粒径的影响。

1 废弃泥浆的沉降柱试验

1.1 废浆试样

针对温州地区工程废浆测试后的泥浆颗粒组成曲线如图1所示。从图中可以看出,温州原始泥浆以粉粘细颗粒为主,粒径 >0.075 mm的砂粒约占14.0%, $0.005\sim 0.075$ mm的粉粒约占56.0%,粒径 <0.005 mm的粘粒约占30.0%。泥浆含水率163.00%、pH值7.6、密度 1.285 g/cm^3 。矿物成分相对含量为:石英41%,碱性长石4%,斜长石9%,方解石3%,白云石3%,高岭石11%,伊利石28%,角闪石1%。

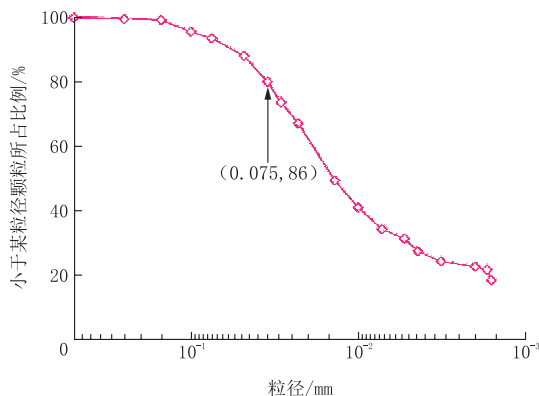


图1 温州原始泥浆颗粒分曲线

1.2 试验药剂

有机高分子絮凝剂阴离子聚丙烯酰胺(APAM)的主要作用原理是“架桥”絮凝作用,即有机高分子长链通过颗粒表面的空白部分连接颗粒彼

此,使得小颗粒逐渐结合成为大颗粒加速沉降。

无机絮凝剂CaO絮凝作用机理为金属阳离子进入胶体颗粒的表面中和一部分负电荷而使胶体颗粒的扩散层被压缩,使胶体颗粒的 ξ 电位降低,在范德华力的作用下形成松散的大胶体颗粒沉降下来。

试验过程中有机絮凝剂APAM相对分子量为2000万,CaO纯度 $<98\%$ 。

1.3 试验仪器

500 mL烧杯、500 mL量筒、玻璃棒、滴定管、移液管、电子天平、计时器等。

1.4 试验步骤

取200 mL工程废弃泥浆倒入500 mL烧杯中,向装有泥浆的烧杯中加入所需量的药剂,充分搅拌(搅拌速率控制在 120 r/min 左右,搅拌时间为2 min)倒入量筒中,然后记录泥水混液面读数。

每次试验所取泥浆均为200 mL;有机絮凝剂APAM配制成质量分数2%的溶液,添加量按溶液体积10、20、30及40 mL添加;CaO添加量按泥浆的总质量乘以质量分数计算,添加方式为固体添加。最终形成的沉降柱如图2所示。

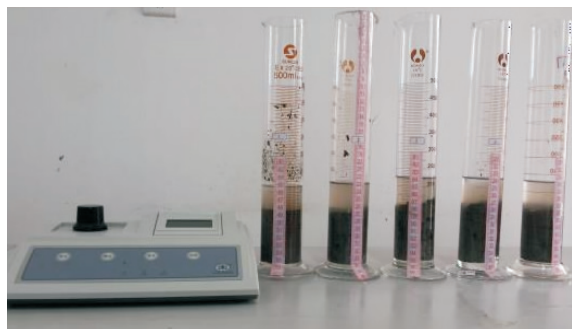


图2 沉降柱试验

1.5 沉降柱试验结果分析

1.5.1 APAM絮凝沉降性能

图3为单加APAM絮凝剂的沉降量与时间关系曲线;图4为APAM絮体密度曲线。

从图3中可以看出:

(1)加入10 mL的APAM溶液初始沉降量较低,沉降速率较快;加入20、30及40 mL的APAM溶液,初始沉降量较大,沉降速率较慢。这是由于加入20、30及40 mL APAM溶液,充分搅拌后絮体骨架已经形成,在初始阶段就直接进入固结阶段,絮体在自重作用下达到“沉降”的效果,故沉降速率较慢;而加入10 mL APAM溶液初始阶段,絮体骨架尚未

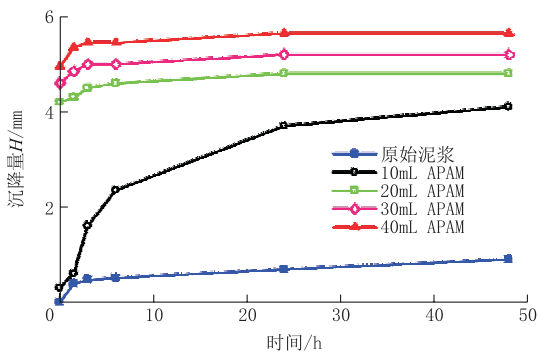


图 3 APAM 沉降量与时间关系曲线

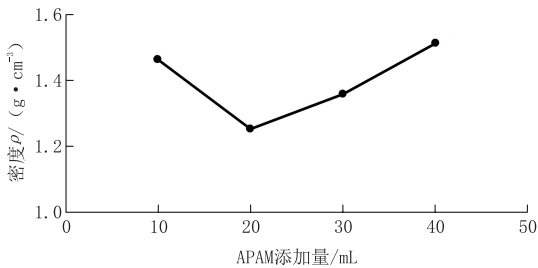


图 4 APAM 絮体密度曲线

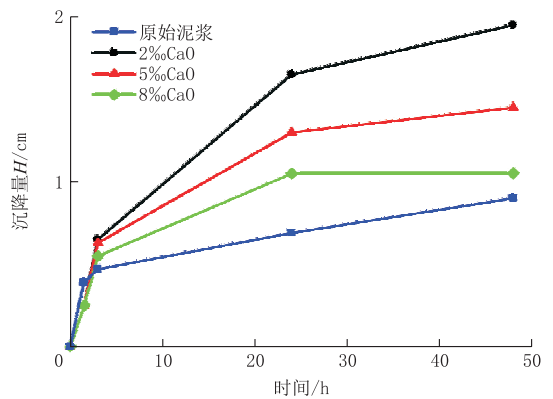


图 5 CaO 沉降量与时间关系曲线

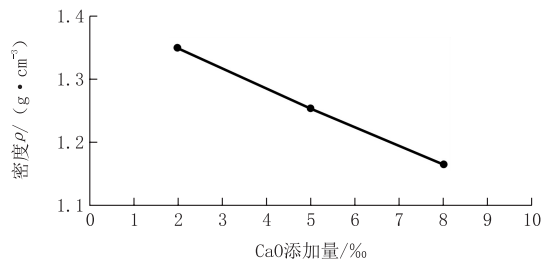


图 6 CaO 絮体密度曲线

形成,未进入固结阶段,故沉降速率较快。

(2)加入 20、30 及 40 mL APAM 溶液的沉降量曲线趋势接近,24 h 后沉降稳定;加入 10 mL APAM 溶液及原始泥浆 24 h 后沉降尚未稳定。

(3)对比加入 20、30 及 40 mL APAM 溶液,沉降量 H 大小关系为: $H_{20\text{ mL}} < H_{30\text{ mL}} < H_{40\text{ mL}}$ 。又已知沉降量大小与上清液析出水的体积呈正比(量筒直径相同),说明总出水量 V 大小关系: $V_{20\text{ mL}} < V_{30\text{ mL}} < V_{40\text{ mL}}$,其中总出水量=净出水量+添加絮凝剂体积(20、30、40 mL)。根据量筒的直径、沉降量大小可计算出最终总出水量分别为:100.0、108.3、117.7 mL,净出水量分别为:80.0、78.3、77.7 mL,净出水量大小 V' 关系 $V'_{20\text{ mL}} > V'_{30\text{ mL}} > V'_{40\text{ mL}}$ 。

如图 4 所示:絮凝沉降 48 h 后排出上清液,测量量筒与絮体质量,推算出絮体密度 ρ 。絮体密度大小关系为: $\rho_{20\text{ mL}} < \rho_{30\text{ mL}} < \rho_{10\text{ mL}} < \rho_{40\text{ mL}}$ 。絮体密度说明了絮体的致密程度,添加 20 mL APAM 溶液形成的絮体密度 $\rho_{20\text{ mL}}$ 最小。

1.5.2 CaO 絮凝沉降性能

单加 CaO 的沉降量与时间关系曲线如图 5,密度曲线如图 6 所示。CaO 质量与泥浆质量比值分别为 2‰、5‰、8‰。

从图 5 中可以看出:加入无机絮凝剂 CaO 后 24 h 内沉降速率高于原始泥浆。这是由于泥浆胶粒吸附层中的 Na^+ 、 K^+ 与 Ca^{2+} 进行了离子交换,减薄了胶粒的双电层,泥浆胶粒发生脱稳凝聚。此外,加入 CaO 量越多,沉降速率 v 越慢($v_{8‰} < v_{5‰} < v_{2‰}$),这是因为加入 CaO 后,泥浆稠度变大,稠度的增加使沉降过程所需克服的阻力也变大,沉降越慢。

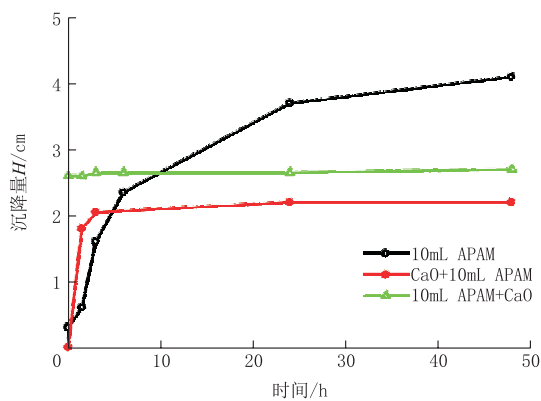
从图 6 中可以看出密度 ρ 的大小关系: $\rho_{8‰} < \rho_{5‰} < \rho_{2‰}$,与沉降量关系一致。需要说明的是,虽然加入 CaO 量越大泥浆越稠密,但并不是越稠密密度越大。稠度是描述物体的流动性,是材料内部摩擦的一种表现,泥浆内部摩擦力越大,沉降时需要克服的阻力也就越大,这与沉降速率大小相对应。

1.5.3 CaO 添加顺序对 APAM 絮凝效果的影响

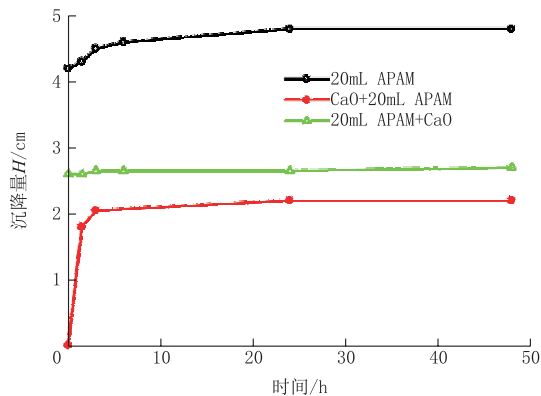
为探究 CaO 的添加顺序对于 APAM 絮凝沉降性能的影响,本文对废浆进行了单加 APAM、CaO + APAM 及 APAM + CaO 的沉降柱试验。试验结果如图 7 所示,APAM 的加量分别为 10、20、30、40 mL,CaO 质量与泥浆质量比值均为 2‰。

通过图 7(a)可以看出:

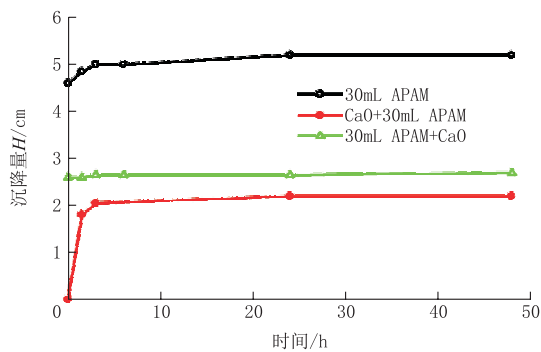
(1)当 APAM 加入量为 10 mL 时,CaO + APAM 初始沉降量为 0,而单加 APAM 初始沉降 > 0 。说明先添加 CaO 不利于 APAM 发生絮凝作用。



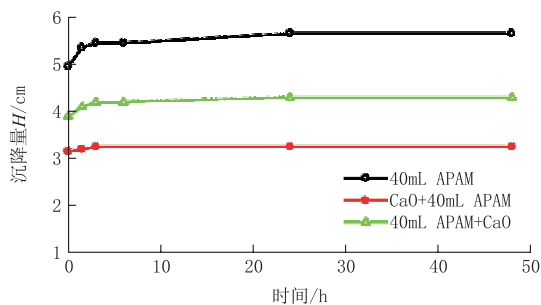
(a) 10 mL APAM



(b) 20 mL APAM



(c) 30 mL APAM



(d) 40 mL APAM

图7 不同APAM添加量下沉降性能对比曲线

主要原因可能是:加入CaO后泥浆的pH值碱度增加,抑制了APAM的絮凝作用;Ca²⁺与泥浆中的粘

土胶粒发生离子交换增大了胶粒的粒径,而APAM更易吸附粒径较小的颗粒。

(2)APAM及APAM+CaO初始沉降均不为0,泥浆加药后立即出现分层现象,且APAM+CaO初始沉降量大于APAM沉降量,说明在添加少量APAM前提下,后加CaO能够取得比单加APAM更好的絮凝效果。其主要原因是:后加的CaO在不影响APAM絮凝剂的絮凝环境的情况下,继续和废浆中未沉降的小颗粒发生絮凝作用,使上部的小颗粒继续沉降。

(3)单加APAM及CaO+APAM前期沉降速率均较快而APAM+CaO较慢,这是因为APAM及CaO+APAM絮体前期较为松散,沉降时更易压缩絮体内部的空隙、排水。单加APAM后期沉降量比CaO+APAM更大,主要原因是:沉降后期主要为絮体自重进行固结作用,而CaO的固化作用增大絮体模量,絮体不易压缩。

从图7(b)、(c)、(d)可以看出:单加APAM初始沉降量以及最终沉降量均大于APAM+CaO,虽然APAM+CaO絮凝效果更好,但由于CaO的增稠作用及固化作用,使得APAM+CaO的絮体沉降量小于单加APAM产生的沉降量。

2 絮体颗粒粒径

为了探究絮凝前后颗粒粒径变化,对不同絮凝剂、相同絮凝剂不同掺量下的絮体进行颗粒粒径分析。由于添加APAM后形成的絮体强度较小,常用的烘干碾碎法会破坏其絮体结构,故采用湿筛法测量其颗粒组成。湿筛用的标准筛孔径分别为:3、1、0.5、0.25、0.15、0.1及0.075 mm。

2.1 药剂种类对颗粒粒径的影响

2.1.1 APAM的影响

图8为添加不同量的APAM溶液后形成的絮体颗粒组成曲线。

从图8中可以看出:

(1)加入有机絮凝剂APAM的颗分曲线整体在原始泥浆颗分曲线的左下方,泥浆絮凝后土颗粒整体变大,0.075 mm以上各粒组土颗粒都有所增加。添加10 mL APAM溶液絮凝作用不明显,絮体并未形成结构且较为散状。加入20~50 mL APAM溶液后絮凝作用明显,絮体有较好的结构。

(2)加入10~50 mL APAM溶液后,大于

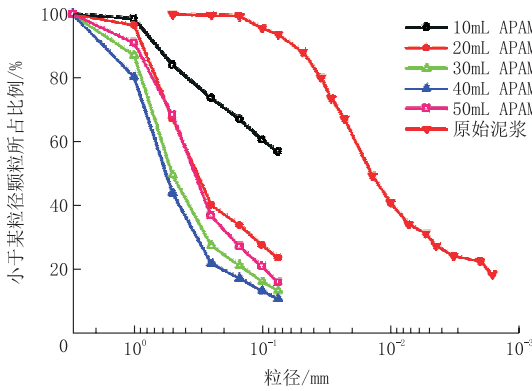


图 8 APAM 颗粒分析曲线

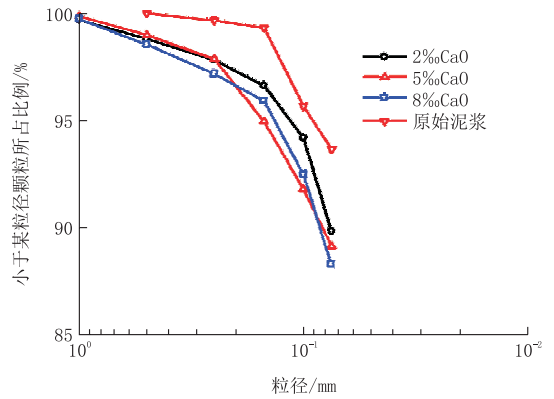


图 9 CaO 颗粒分析曲线

0.075 mm 颗粒占总质量的比例从原来的 6.34% 分别增加到了 44.18%、66.40%、76.70%、89.18%、84.15% 及 85.72%，土颗粒粒径从絮凝前的微米级增大到了絮凝后的毫米级。

(3) 添加 10 mL APAM 颗分曲线与原始泥浆及添加 20 mL APAM 颗分曲线间隔较大,说明 10 mL 与 20 mL APAM 土颗粒粒径增大幅度较大。加入 APAM 溶液超过 20 mL 后再继续添加(不超过 40 mL),土颗粒粒径增大幅度减小。这里的增大幅度指:每多添加 10 mL APAM 溶液形成的大于 0.075 mm 颗粒多少。

(4) 当添加过量的絮凝剂时(50 mL),大于 0.075 mm 的土颗粒含量反而比加入 40 mL 时少。这主要是因为微小颗粒表面被过量的絮凝剂长链包裹,小颗粒没有剩余的空白表面供絮凝剂长链进行吸附架桥作用,故大于 0.075 mm 颗粒含量反而减少。

2.1.2 CaO 的影响

由于 Ca^{2+} 具有一定的絮凝作用,研究了 CaO 不同添加量下泥浆颗粒粒径变化。添加 2%、5% 及 8%CaO 形成的絮体粒径组成曲线如图 9 所示。

从图 9 中可以看出:CaO 对于泥浆颗粒粒径大小有一定的增大作用,但增加幅度较小。主要原因有:

(1)CaO 絮凝机理主要是通过 Ca^{2+} 进行了离子交换,压缩双电层,使泥浆胶粒发生脱稳凝聚。CaO 添加量较少,泥浆中 Ca^{2+} 较少,故絮凝效果不明显。

(2)CaO 加入泥浆中生成 $Ca(OH)_2$ 微溶物质,故泥浆中含有的 Ca^{2+} 较少,絮凝效果不明显。

(3)另外,与有机絮凝剂 APAM 形成的絮团相比,CaO 形成的胶团之间没有高分子链相连接,

形成的小絮团之间无法连接,故颗粒增大不明显。

2.2 添加顺序对颗粒粒径的影响

由前文分析可知:无机絮凝剂 CaO 在添加量 2% 下絮凝后颗粒粒径增加小,添加无机及有机混合絮凝剂时,有机絮凝剂 APAM 起主要絮凝作用,而 CaO 主要起增加絮体骨架强度作用。为了探究无机絮凝剂 CaO 对于 APAM 絮凝后颗粒粒径的影响,对单加 APAM、CaO+APAM 及 APAM+CaO 颗粒组成(主要针对大于 0.075 mm 颗粒)进行对比。不同 APAM 添加量下 APAM、CaO+APAM 及 APAM+CaO 颗粒组成对比曲线如图 10 所示。大于 0.075 mm 絮体颗粒所占比例如表 1 所示。

表 1 粒径大于 0.075 mm 土颗粒含量 %

添加剂	APAM 添加量			
	10 mL	20 mL	30 mL	40 mL
APAM	44.18	66.40	86.70	89.18
CaO+APAM	30.00	48.16	66.19	84.80
APAM+CaO	35.69	78.56	83.43	90.53

从图 10(a)中可以看出:添加 10 mL APAM 溶液前提下,大于 0.075 mm 颗粒含量大小关系:APAM>APAM+CaO>CaO+APAM;这种大小关系与沉降中初始沉降的大小关系(APAM+CaO>APAM>CaO+APAM)不太一致,分析其主要原因:先加 10 mL APAM 后再添加 CaO 虽然会进一步絮凝小颗粒,但由于 10 mL APAM 形成的絮体较松散加入 CaO 搅拌时会使其破碎,同时 CaO 对 APAM 絮凝的抑制作用(主要体现在 CaO 增强了碱性及增大了颗粒的粒径)使 APAM 再絮凝时生成的絮体小于单加 APAM 絮体粒径。

从图 10(b)中可以看出:添加 20 mL APAM 溶液前提下大于 0.075 mm 颗粒含量大小关系:APAM

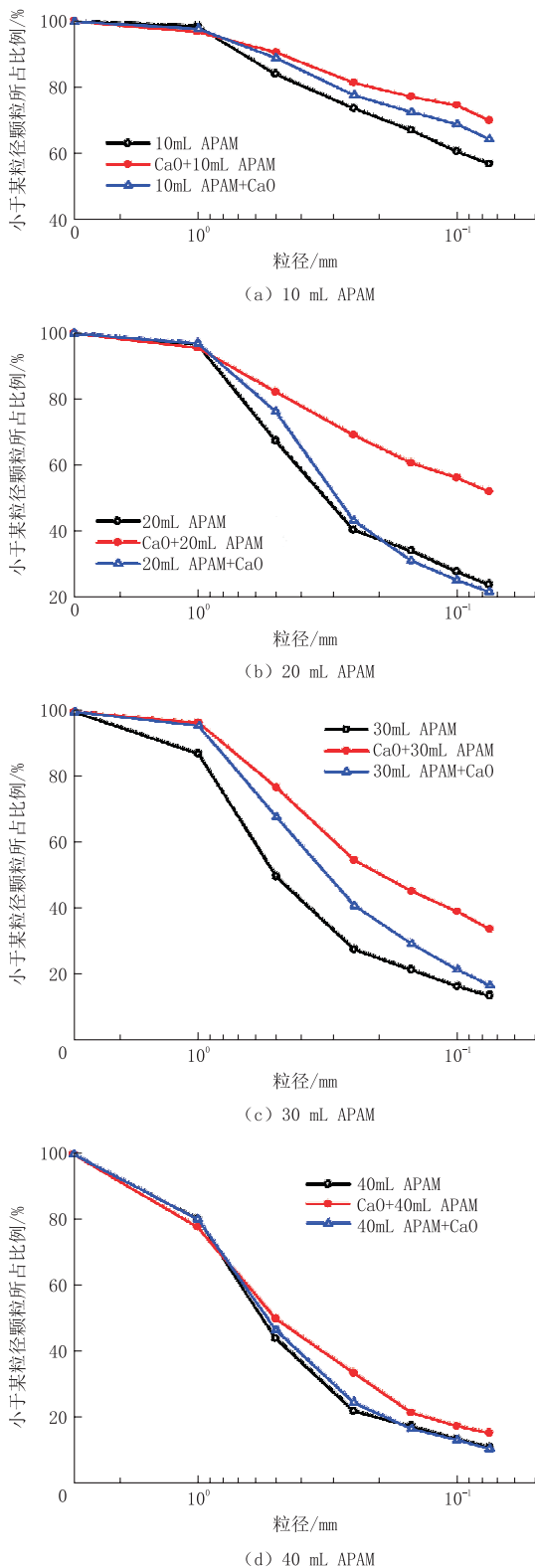


图 10 不同 APAM 添加量下颗分对比曲线

+CaO>APAM>CaO+APAM。与加入 10mL 大小关系不同的原因是:加入 20 mL APAM 初始絮凝效果较好,后期沉降量最小、絮体结构性最好、絮

体强度最大,此时加入 CaO 搅拌时絮体不易破碎,此时 CaO 主要与剩余的小颗粒发生絮凝作用,即在 APAM 加量为 20 mL 时再添加 CaO 反而对絮体颗粒增大起一定促进作用。

从图 10(d)可以看出与图 10(b)类似规律,但图 10(c)又有所不同,其大于 0.075 mm 颗粒含量大小关系反而是 APAM>APAM+CaO。

综合图 10(a)、(b)、(c)、(d)分析,后添加 CaO 对于 APAM 絮凝后颗粒粒径的影响主要取决于加入 CaO 的搅拌时絮体破坏程度:(1)在相同 APAM 添加量的前提下,如果在加入 CaO 时搅拌过快或者加入 APAM 后絮体本身强度较小,絮体发生破坏较多,絮体所含大于 0.075 mm 颗粒含量关系:APAM>APAM+CaO;(2)搅拌速度慢或者加入 APAM 后絮体强度本身较大时,絮体发生破坏较少,大颗粒含量关系:APAM+CaO>APAM。

3 结论与展望

3.1 结论

针对温州泥浆研究了无机絮凝剂 CaO 的不同添加顺序对有机絮凝剂 APAM 絮凝效果以及泥浆颗粒粒径大小的影响,得出如下主要结论。

(1) APAM 的絮凝效果明显。添加少量的 APAM 溶液(10 mL)初始沉降量小,但沉降速率快,达到稳定的时间较长;增加 APAM 溶液的剂量,泥浆初始沉降变大,沉降速率较慢,沉降稳定所需的时间较短(约 24 h);添加 20 mL APAM 溶液,沉降稳定后絮体体积密度最小,说明加入 20 mL APAM 溶液形成的絮体骨架强度最高。

(2)CaO 具有一定的絮凝作用,但在较低添加量下效果不明显。加入 CaO 量越多,泥浆稠度越大,沉降速率越慢($v_{8\%} < v_{5\%} < v_{2\%}$),絮体密度越小。

(3)先添加 CaO 再添加 APAM,不利于 APAM 絮凝作用的发挥。这是因为 CaO 使泥浆的 pH 值碱度增加,抑制 APAM 的絮凝作用,此外 Ca^{2+} 与泥浆中的粘土胶粒发生离子交换增大了胶粒的粒径,而 APAM 更易吸附小粒径颗粒。

(4)先加 APAM 再加 CaO,此时 CaO 会继续和废浆中未沉降的小颗粒发生絮凝沉降。后添加 CaO 情况下,CaO 对于最终的絮体粒径的影响主要取决于絮体本身的强度及搅拌强度。

3.2 展望

(1) 泥浆中加入无机和有机化学药剂,通过电中和、压缩双电层、架桥吸附和网捕等共同作用,将泥浆中的细小颗粒连接起来生成粗大颗粒,从而达到絮凝。无机与有机絮凝材料协同作用需要进一步研究。

(2) 本文中无机絮凝剂 CaO 的添加量(针对温州地区泥浆)为最佳絮凝区域数值。添加量过小则絮凝效果不明显,添加量过大则出现固化现象,在经济上不可取。但针对不同地区废弃泥浆的絮凝沉降特性的研究仍需探讨。

(3) 无机絮凝剂 CaO 添加顺序明显影响絮凝体的沉降量和颗粒粒径,但是否是影响絮凝效果的主要因素,值得进一步探索和研究。

参考文献:

[1] 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

究[J].岩土工程学报,2011,33(S2):238-241.

- [2] 武亚军,陆逸天,牛坤,等.药剂真空预压法处理工程废浆试验[J].岩土工程学报,2016,38(8):1365-1373.
- [3] 武亚军,陆逸天,骆嘉成,等.药剂真空预压法在工程废浆处理中的防淤堵作用[J].岩土工程学报,2017,39(3):525-532.
- [4] 武亚军,牛坤,陆逸天,等.工程废浆处理过程中药剂真空预压法的防淤堵机理[J].土木工程学报,2017,50(6):95-103.
- [5] 彭园,杨旭,孙长健.废弃泥浆无害化处理方法研究[J].环境科学与管理,2007,32(4):102-104.
- [6] 黄伟钧.药剂真空预压排水方法处理废弃泥浆的试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(9):81-84.
- [7] 王艳,苗康康,胡登卫,等.絮凝剂的研究进展[J].化工时刊,2010,24(8):53-58
- [8] 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
- [9] 李冲,吕志刚,陈洪龄,等.阴离子型聚丙烯酰胺在废弃桩基废浆处理中的应用[J].环境科技,2012,25(1):33-37.
- [10] 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,(22):181-183
- [11] 张忠苗,房凯,王智杰,等.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,2011,33(9):1456-1461.

(上接第 86 页)

井筒周围围岩进行预帷幕注浆处理,能够有效地降低第四系和孔隙水的渗漏造成井壁周围岩石的破坏。

(2) 针对可溶性钾盐矿地层的特殊性——可溶于水 and 强腐蚀性,注浆材料需要具备对地层的接触性和强抑制性能。

(3) 对于已有所损伤的井筒进行帷幕注浆时,考虑到井筒的安全,注浆压力需要低于 0.5 MPa。

(4) 应对卤水+氧化镁浆液进行进一步研究,以准确测量凝固特征参数,以便于采用注浆自动记录仪进行准确控制注浆效果。

参考文献:

[1] 李洪波.老挝万象钾盐矿井筒施工防水治水方案探讨[J].化工

矿物与加工,2011,40(5):29-31.

- [2] 杨伟才,陈光林.竖井壁后溶腔处理方法浅析[J].科协论坛(下半月),2013,(8):13-15.
- [3] 陈哲,张兆楠,石逊.福清核电站边坡工程高压旋喷与帷幕灌浆止水施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5):71-75.
- [4] 彭春雷.矿山防治水及深部帷幕灌浆技术若干问题探讨[J].金属矿山,2010,(S1):251-255.
- [5] 徐大宽.岩溶充水矿床帷幕注浆堵水技术研究[J].水文地质工程地质,1991,(1):17-21.
- [6] 周范松.浅谈钻孔帷幕灌浆施工技术[J].探矿工程,1990,(5):42-45.
- [7] 张建国.钻孔帷幕灌浆特殊情况的预防和处理[J].探矿工程,1991,(6):37-38.
- [8] 宫述林,赵光贞,栾元滇,等.钾盐矿床钻探工艺技术[J].探矿工程(岩土钻掘工),2011,38(7):25-28.
- [9] 游红江.帷幕灌浆在中关铁矿治水中的应用[J].西部探矿工程,2017,29(4):174-176.