

文章编号:1007-9629(2022)08-0814-09

不同因素对建筑渣土泥浆流变性能的影响

钟翼进^{1,2}, 何 倍^{1,2}, 任 强^{1,2}, 蒋正武^{1,2,*}

(1. 同济大学 先进土木工程材料教育部重点实验室, 上海 201804;

2. 同济大学 材料科学与工程学院, 上海 201804)

摘要:采用赫切尔-巴尔克模型拟合流变曲线,研究了含水率、外加剂(聚羧酸减水剂和季铵盐型表面活性剂)对建筑渣土泥浆在不同静置时间下流变性能的影响,并阐明了外加剂的作用机理.结果表明:随着含水率的增大,建筑渣土泥浆的流变性能参数均减小;随着2种外加剂掺量的增大,建筑渣土泥浆的初始表观黏度和塑性黏度先增大后减小;建筑渣土泥浆的屈服应力随着季铵盐型表面活性剂掺量的增加而一直增大,随着聚羧酸减水剂掺量的增大先增大后减小,相同掺量下聚羧酸减水剂的作用效果更好;外加剂分子间的排斥力与黏土对外加剂的吸附力两者之间的主导作用决定建筑渣土泥浆的流变性能.

关键词:渣土泥浆;流变性能;表观黏度;流变保持性

中图分类号:TU521.3

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1007-9629.2022.08.007

Influence of Different Factors on the Rheological Properties of Construction Waste Mud

ZHONG Yijin^{1,2}, HE Bei^{1,2}, REN Qiang^{1,2}, JIANG Zhengwu^{1,2,*}

(1. Key Laboratory of Advanced Civil Engineering Materials of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: The effect of water content, additives (polycarboxylic acid water reducer and quaternary ammonium surfactant) on the rheological properties of construction waste mud under different rest time were studied by fitting the rheological curve with Herschel-Bulkley model, and the action mechanism of additives was clarified. The results show that with the increase of water content, the rheological parameters of construction waste mud decrease. With the increase of the two additives content, the initial apparent viscosity and plastic viscosity of the construction waste mud first increase and then decrease. The yield stress of waste mud keeps increasing with increasing of the quaternary ammonium surfactant content, and first increase and then decrease with the increasing of the polycarboxylate superplasticizer content. The effect of polycarboxylate superplasticizer on the rheological properties of construction waste mud is better than that of quaternary ammonium surfactant under the same content. The dominant effect between the repulsive force of additive molecules and the adsorption force of the clay determines the rheological properties of construction waste mud.

Key words: waste mud; rheological property; apparent viscosity; rheological retention

随着中国城市基础设施的加快建设,大量建筑渣土和废弃泥浆堆积已严重影响施工安全和城市绿色发展^[1].目前处置建筑渣土泥浆的方法主要以运输

填埋和固化回填为主,常用的固化剂有石灰^[2-3]、水泥^[4-5]、矿物掺和料^[6]及其他固化材料^[7-8],且需要在低含水率的情况下实现固化土强度的发展,导致其在

收稿日期:2021-06-16; 修订日期:2021-07-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51878480, 52078369);宁波市科技创新 2025 重大专项项目(2019B10048);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目

第一作者:钟翼进(1998—),男,重庆开州人,同济大学硕士生.E-mail:1930615@tongji.edu.cn

通讯作者:蒋正武(1974—),男,安徽潜山人,同济大学教授,博士生导师,博士.E-mail:jzhw@tongji.edu.cn

施工过程中工作性不理想,常需碾压夯实才可作为回填材料,附加值和资源转化率低^[9].

灌浆材料和浇筑式材料是常见的高附加值材料,具有初始流动性能好、经时损失小和后期强度高 等性能.对渣土泥浆的流变行为进行研究,在不改变浆体水固比的情况下实现浆体流变性能的可调节,使其具有低含水率、高流态的施工性能,具有重要的现实意义.泥浆是典型的非牛顿流体,可采用宾汉姆流变模型拟合其流变曲线^[10-11].但当含水率低或是浆体中含有大量黏土矿物时,泥浆的流变行为更加类似于假塑性液体^[12-13].赫切尔-巴尔克流变模型被广泛应用于拟合水泥浆体^[14]、泥浆^[15]及陶瓷料浆^[16-17]等假塑性流体.

浆体中黏土颗粒易吸附外加剂^[18-20],由此可使颗粒间产生排斥力,释放被包裹的自由水,从而达到改善渣土泥浆流变性的目的.基于此,本文针对低含水率建筑

渣土泥浆流变性能差的问题,研究了含水率、外加剂对建筑渣土泥浆流变性能的影响,确定其流变性能最优的外加剂及其掺量,并阐明了外加剂的作用机理.

1 试验

1.1 原材料

建筑渣土泥浆(后文简称渣土泥浆)为宁波市海曙区施工开挖的砂土质渣土,其含水率¹⁾(以烘干渣土的质量计)在25%左右,真密度为2.85 g/cm³,pH值为8.9,呈弱碱性.为使渣土泥浆均质化,将其烘干破碎并过0.6 mm网筛得到磨细渣土.渣土泥浆的粒径分布和XRD图见图1,其化学组成见表1.由图1可见,渣土泥浆的主要成分为石英、白云母、绿泥石、高岭土和蒙脱土.外加剂为上海英杉新材料科技有限公司产PC-200高性能聚羧酸减水剂(SP)和季铵盐型表面活性剂(YZ),其基本性能指标见表2.

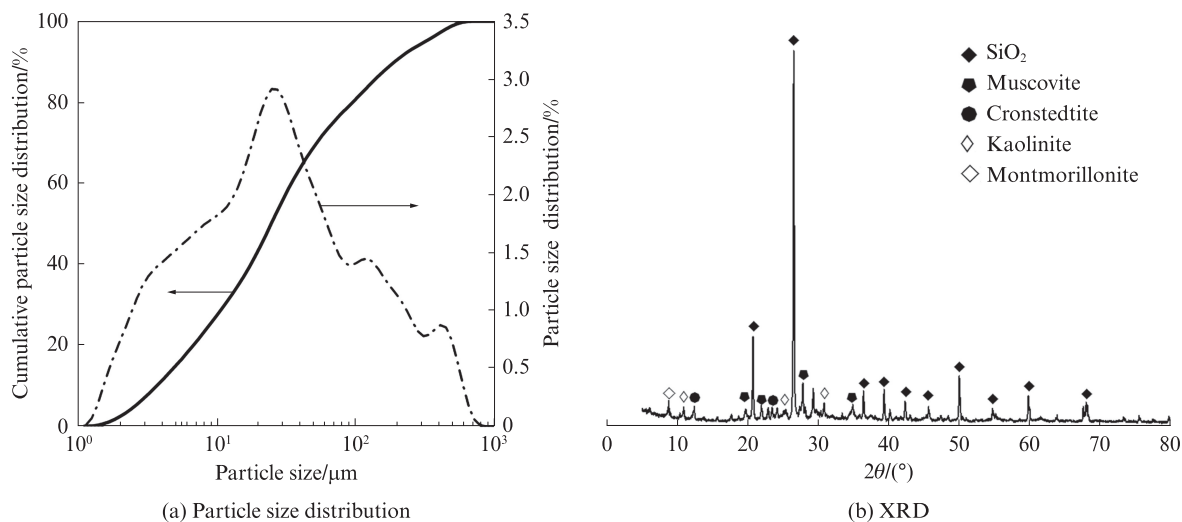


图1 渣土泥浆的粒径分布和XRD图
Fig. 1 Particle size distribution and XRD pattern of waste mud

表1 渣土泥浆的化学组成
Table1 Chemical composition of waste mud

										w/%
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	Cl
5.10	61.04	17.65	1.82	6.80	2.58	2.96	0.45	0.17	1.04	0.09

表2 外加剂的基本性能指标
Table 2 Basic performance indexes of additives

Additive	Active content (by mass)/%	Bulk density /(kg·m ⁻³)	Water-reducing ratio (by mass)/%	pH value
SP	≥90	300~600	≥21	6.5~7.5
YZ	≥50		≥15	7.0~8.5

1.2 试验方法

采用NJ-160水泥净浆搅拌机,按表3所示配合

比将渣土泥浆和水快速搅拌1 min,再静置5 min,并将此时作为计时起点,即静置时间t=0 min.以

1)文中涉及的含水率、水灰比等均为质量分数或质量比.

渣土泥浆的质量计,设定渣土泥浆的含水率 w_w 分别为40%、50%、60%,外加剂YZ、SP的掺量 w 分别为0.1%、0.2%、0.3%,研究不同静置时间 t 下含

水率 w_w 对渣土泥浆以及外加剂掺量 w 对不同含水率渣土泥浆流变性的影响.渣土泥浆的配合比及其静置时间见表3.

表3 渣土泥浆的配合比及其静置时间
Table 3 Mix proportions and rest time of waste mud

Specimen	Mix proportion/g			t/min
	Waste mud	Water	Additive	
WS40	1 000	400	0	0, 30, 60, 90, 120
WS50	1 000	500	0	0, 30, 60, 90, 120
WS60	1 000	600	0	0, 30, 60, 90, 120
WS50-YZ0.1%	1 000	500	1	0
WS50-YZ0.2%	1 000	500	2	0
WS50-YZ0.3%	1 000	500	3	0
WS50-SP0.1%	1 000	500	1	0, 30, 60, 90, 120
WS50-SP0.2%	1 000	500	2	0, 30, 60, 90, 120
WS50-SP0.3%	1 000	500	3	0, 30, 60, 90, 120

采用Brookfield DVNext流变仪测试渣土泥浆的流变性能,剪切速率为 $0\sim 60\text{ s}^{-1}$.动态剪切测试主要分为预拌阶段、剪切速率上升阶段、剪切速率下降阶段3个阶段.其中预拌阶段剪切速率为 60 s^{-1} ,使浆体达到均质状态;上升阶段剪切速率以 2.5 s^{-1} 阶梯式上升;剪切速率达到 60 s^{-1} 后,保持10 s后开始以 2.5 s^{-1} 阶梯式下降,每1个阶梯剪切速率持续2 s.动态剪切测试中剪切速率随时间的变化见图2.渣土泥浆的表观黏度根据流变仪默认设置由仪器直接测得,塑性黏度和屈服应力通过测得的试验数据拟合计算得到.

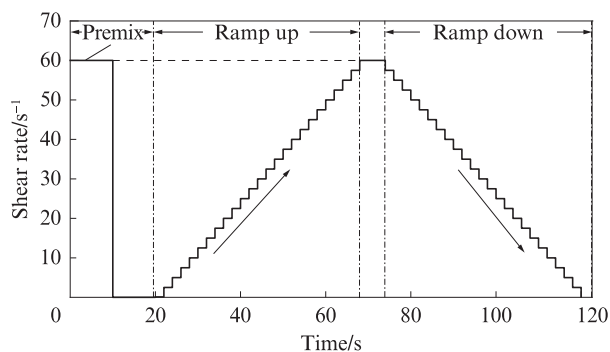


图2 动态剪切测试中剪切速率随时间的变化

Fig. 2 Change of shear rate with time in dynamic shear test

2 结果与讨论

2.1 含水率对渣土泥浆流变性能的影响

不同含水率渣土泥浆的表观黏度见图3.由图3可见:随着剪切速率的增大,渣土泥浆的表观黏度先下降,然后小幅度上升,最后下降并趋于稳定;随着含水率的增加,渣土泥浆表观黏度上升阶段变短,拐点出现

的剪切速率变小,如WS40的拐点剪切速率为 55 s^{-1} ,WS50的拐点剪切速率提前至 37.5 s^{-1} ,而WS60的拐点剪切速率大幅提前至 7.5 s^{-1} ;WS60的表观黏度在拐点之后逐渐减小并趋于稳定,其稳定表观黏度值最小.静置时渣土泥浆中含有大量固体颗粒,其与黏土矿物形成“卡片屋”结构^[21-22],具有一定抵抗外部剪切应力的能力,且固体颗粒占比越多,其相互作用力越大,从而导致宏观上表现为屈服应力和初始表观黏度较大^[23].渣土泥浆初始阶段表观黏度随着剪切速率的增大逐渐下降,这是源于“卡片屋”结构在剪切应力作用下逐渐受到破坏.此时固体颗粒分散分布在溶液中,其表观黏度主要取决于类似于固体的布朗扩散运动^[21,24].随着剪切速率的继续增大,渣土泥浆表现出剪切变稠的流变状态即流变曲线的上升阶段.随着剪切速率的进一步增大,渣土泥浆中被颗粒所包裹的自由水在剪切运动中释放出来并产生离析现象即表观黏度曲线拐点,使得渣土泥浆呈剪切变稀的流变行为即流变曲线的下降稳定阶段.

不同含水率对渣土泥浆流变性能的影响见图4.由图4可见:在相同剪切速率下,随着静置时间的增加,不同含水率渣土泥浆的剪切应力均增大;不同含水率渣土泥浆的流变曲线形状不同,WS40的流变曲线在剪切速率 60 s^{-1} 内均呈现为剪切变稠,WS50的流变曲线在剪切速率 40 s^{-1} 内表现为剪切变稠, $40\sim 60\text{ s}^{-1}$ 表现为剪切变稀,WS60的流变曲线在剪切速率 10 s^{-1} 内表现为剪切变稠, $10\sim 60\text{ s}^{-1}$ 表现为剪切变稀.

在 $0\sim 60\text{ s}^{-1}$ 剪切速率范围内,不同含水率渣土泥浆的流变曲线形状不同.为了能够更加真实地表征渣土泥浆的流变性能,舍弃 10 s^{-1} 以下的剪切速率区域,将试验数据代入赫切尔-巴尔克流变模型中进

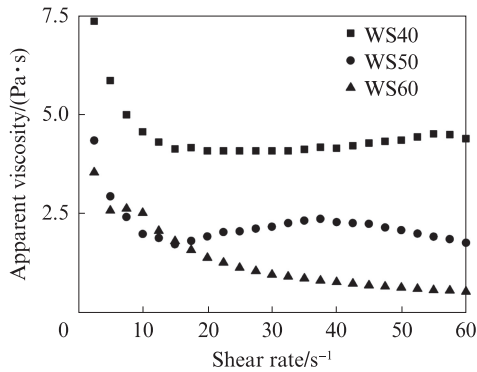


图3 不同含水率渣土泥浆的表现黏度
Fig. 3 Apparent viscosity of waste mud with different water contents

行非线性拟合(WS50的流变曲线含有2个阶段,选择其剪切变稠阶段进行拟合),拟合曲线见图4,其整体拟合优度 R^2 均大于0.99.由此可见,赫切尔-巴尔克流变模型能够有效地描述渣土泥浆的流变行为.

由图4中的拟合曲线可以得到不同含水率渣土泥浆的屈服应力和塑性黏度,结果见图5.由图5可见:在相同含水率下,随着静置时间的增加,渣土泥浆的屈服应力和塑性黏度均出现一定程度的增大,表明渣土泥浆流变性能变差;在相同静置时间下,随着渣土泥浆含水率的增加,渣土泥浆的屈服应力和塑性黏度均减小,表明渣土泥浆流变性能变好.渣土泥浆的塑性黏度反映其流动过程中所受到的阻力,塑性黏度的变化表征其流变保持性或经时损失.由图5还可见,静置时间120 min内:WS40的塑性黏度增加了3.54 Pa·s,表明其流变经时损失较大,流变保持性能差;WS50的塑性黏度增加了0.47 Pa·s,相较于WS40,其流变保持性有大幅度提升;WS60的塑性黏度仅增加了0.16 Pa·s,表明其流变保持性最好.综上,随着含水率的增加,渣土泥浆的流变性能受静置时间影响减小,流变保持性变好.

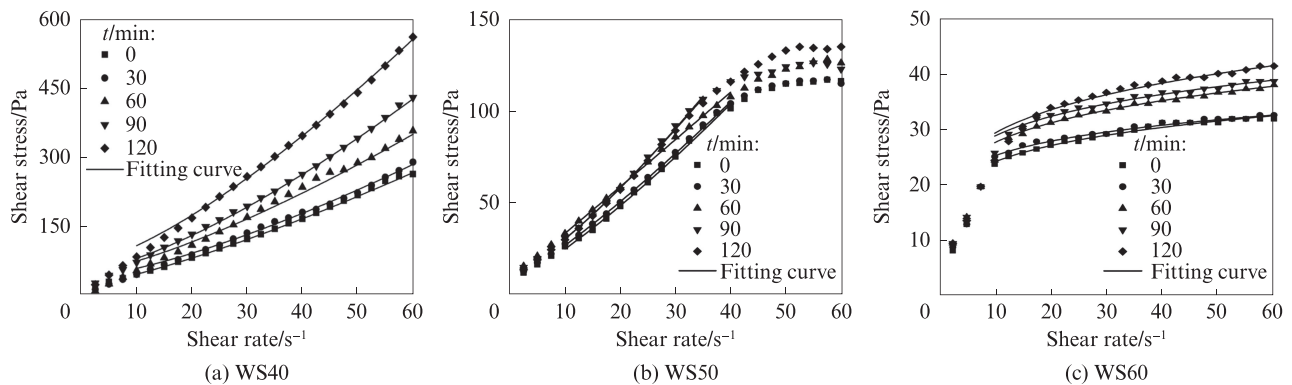


图4 不同含水率对渣土泥浆流变性能的影响
Fig. 4 Effects of different water contents on rheological properties of waste mud

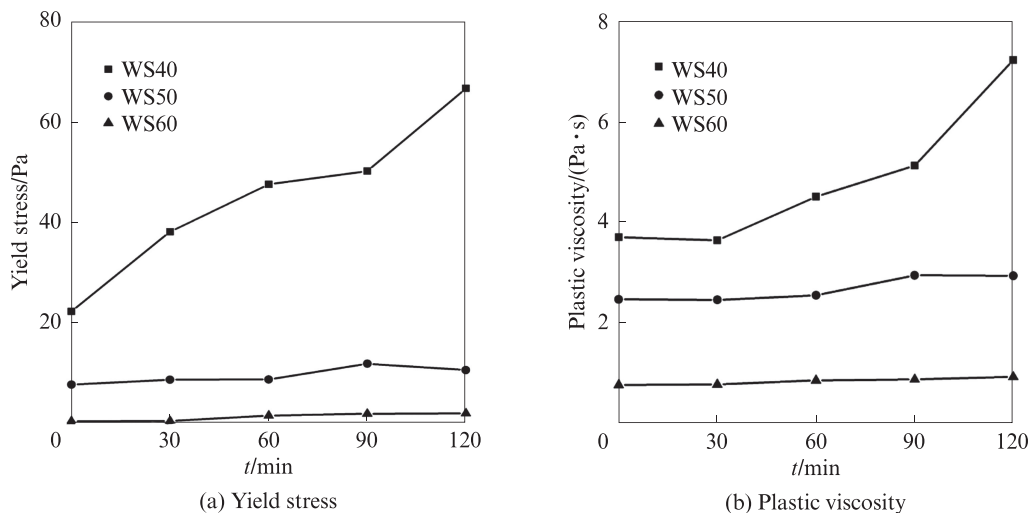


图5 不同含水率渣土泥浆的屈服应力和塑性黏度
Fig. 5 Yield stress and plastic viscosity of waste mud with different w_w

2.2 聚羧酸减水剂掺量对渣土泥浆流变性能的影响

不同聚羧酸减水剂掺量对WS50表现黏度的影

响见图6.由图6可见:随着剪切速率的增大,不同聚羧酸减水剂掺量下的WS50流变行为不同;与WS50

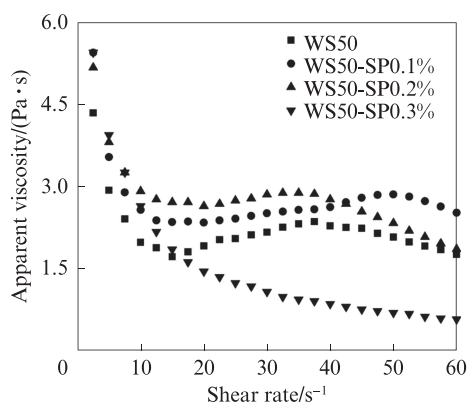


图6 不同聚羧酸减水剂掺量对WS50表观黏度的影响

Fig. 6 Effects of different contents of SP on apparent viscosity of WS50

相比, WS50-SP0.1%、WS50-SP0.2% 流变行为相似, 均呈现三段式; 随着聚羧酸减水剂掺量的增加, 初始下降阶段和中间小幅度上升阶段的渣土泥浆表观黏度均增大, 其原因在于聚羧酸减水剂掺量小, 使得部分渣土泥浆“卡片屋”结构之间被聚羧酸减水剂分子所链接, 从而导致渣土泥浆的“卡片屋”结构更加稳定^[21, 24], 其表观黏度更大, 同时在“卡片屋”结构被破坏后的渣土泥浆中, 固体颗粒间容易受到聚羧酸减水剂的吸附链接作用, 导致其表观黏度随着聚羧酸减水剂掺量的增加而增大^[17, 28]; 当剪切速率足够

高时, 聚羧酸减水剂分子的链接作用断裂, 吸附在颗粒表面产生排斥力, 加剧固体的布朗扩散运动, 分散颗粒以释放更多自由水, 此时渣土泥浆的表观黏度快速下降, 且随着聚羧酸减水剂掺量的增加下降速率加快; 当聚羧酸减水剂掺量为 0.3% 时, WS50-SP0.3% 的流变曲线仅有下降稳定阶段, 表明聚羧酸减水剂产生了足够的排斥力, 破坏了原有的“卡片屋”结构^[22, 24], 直接释放了大量的自由水, 并大幅度提升了渣土泥浆的流变性能。

不同聚羧酸减水剂掺量下的 WS50 流变性能见图 7。由图 7 可见: 在相同剪切速率下, 随着静置时间的增加, 不同聚羧酸减水剂掺量下的 WS50 剪切应力均增大; 不同聚羧酸减水剂掺量下的 WS50 流变曲线形状不同, WS50-SP0.1% 和 WS50-SP0.2% 的流变曲线在剪切速率 40 s^{-1} 内均表现为剪切变稠, $40 \sim 60 \text{ s}^{-1}$ 表现为剪切变稀; WS50-SP0.3% 在剪切速率 15 s^{-1} 内表现为剪切变稠, 在 $15 \sim 60 \text{ s}^{-1}$ 表现为剪切变稀。因此, 选择 WS50-SP0.1% 和 WS50-SP0.2% 在单一流变剪切变稠阶段下的数据, 以及 WS50-SP0.3% 在相同剪切速率下的数据代入赫切尔-巴尔克流变模型中, 所得拟合曲线的拟合优度 R^2 均在 0.96 以上。由此可见, 赫切尔-巴尔克流变模型能够有效反映掺入聚羧酸减水剂渣土泥浆的流变行为。

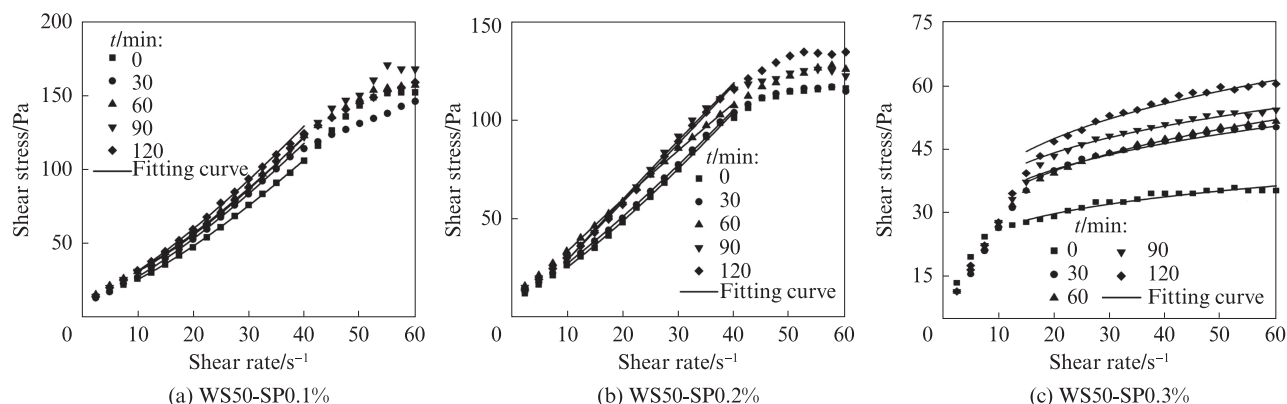


图7 不同聚羧酸减水剂掺量下的WS50流变性能

Fig. 7 Rheological properties of WS50 with different contents of SP

由图 7 中的拟合曲线可以得到不同聚羧酸减水剂掺量下的 WS50 屈服应力和塑性黏度, 结果见图 8。由图 8 可见: 在相同静置时间下, 随着聚羧酸减水剂掺量的增加, WS50 的塑性黏度先增大后减小, 这是由于低聚羧酸减水剂掺量下其对渣土泥浆中的“卡片屋”结构起到链接加固的作用, 使渣土泥浆的塑性黏度随聚羧酸减水剂掺量增大而增大, 当聚羧酸减水剂掺量达到 0.3% 时, 渣土泥浆的塑性黏度大幅度减小至 $0.82 \text{ Pa}\cdot\text{s}$; 渣土泥浆的屈服应力也随着聚羧酸

减水剂掺量的增加呈先增大后减小的趋势, 与未掺聚羧酸减水剂的 WS50 相比, WS50-SP0.2% 的初始屈服应力提升了近 1 倍 (16.9 Pa), 而 WS50-SP0.3% 的初始屈服应力却大幅度降低 (仅有 0.7 Pa), 故掺入 0.3% 聚羧酸减水剂对 WS50 流变性能有大幅度的提升; 相同聚羧酸减水剂掺量下, 渣土泥浆的塑性黏度随静置时间的增加而增大, WS50 在 $t=120 \text{ min}$ 内塑性黏度增加了 $0.47 \text{ Pa}\cdot\text{s}$; 随着聚羧酸减水剂掺量的增加, 渣土泥浆在 $t=120 \text{ min}$ 内的塑性黏度变化从

WS50-SP0.1%的 $0.57 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 减小至WS50-SP0.3%的 $0.41 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 。由此可见,掺入聚羧酸减水剂对渣土泥浆的

流变性和流变保持性均有大幅度的改善,且WS50的聚羧酸减水剂适宜掺量为0.3%。

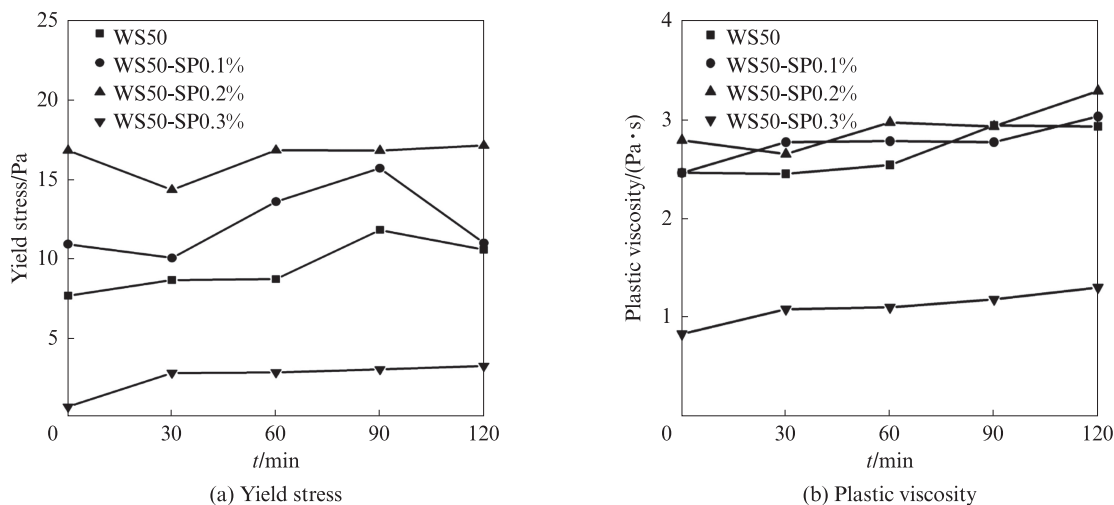


图8 不同聚羧酸减水剂掺量下的WS50屈服应力和塑性黏度
Fig. 8 Yield stress and plastic viscosity of WS50 with different SP contents

2.3 季铵盐型表面活性剂掺量对渣土泥浆流变性能的影响

不同季铵盐型表面活性剂掺量对渣土泥浆表观黏度和初始流变性能的影响见图9。由图9可见,在表观黏度下降稳定阶段(50 s^{-1} 以后),渣土泥浆的表观黏度随季铵盐型表面活性剂掺量的增加而增大,且均高于未掺季铵盐表面活性剂的WS50。季铵盐型表面活性剂主要是通过牺牲阳离

子优先吸附于渣土泥浆颗粒表面上^[25],使得渣土泥浆在一定季铵盐表面活性剂掺量范围内,掺量越高吸附效果越好,且其颗粒间的团聚更加稳定,表观黏度更大。选择 $10\sim 40 \text{ s}^{-1}$ 区间数据代入赫切-巴尔克流变模型,得到的流变拟合曲线拟合优度均达到0.999,因此赫切-巴尔克流变模型能够有效反映掺入季铵盐型表面活性剂的渣土泥浆流变行为。

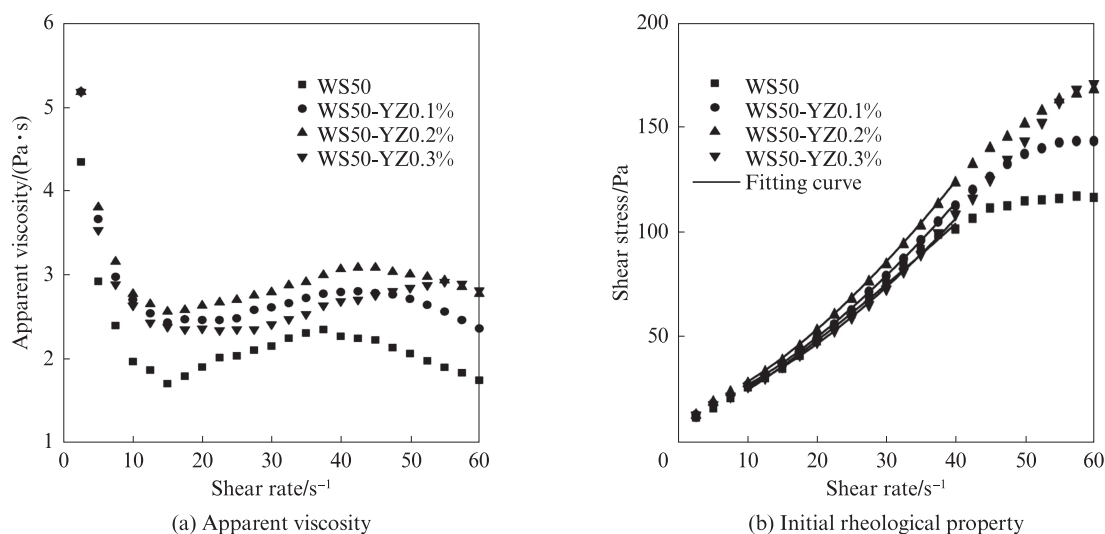


图9 不同季铵盐型表面活性剂掺量对渣土泥浆表观黏度和初始流变性能的影响
Fig. 9 Effect of different YZ contents on apparent viscosity and initial rheological properties of waste mud

通过赫切-巴尔克流变模型拟合,可得到不同季铵盐型表面活性剂掺量下的渣土泥浆屈服应力和塑性黏度,结果见图10。由图10可见:渣土泥浆的屈服应力随着季铵盐型表面活性剂掺量的增大而增大,当

其掺量为0.3%时,渣土泥浆的屈服应力增大了107%,表明季铵盐型表面活性剂的吸附对渣土泥浆的“卡片屋”结构起到团聚的作用,导致其发生流动所需的屈服应力增大;渣土泥浆的塑性黏度随着季铵盐

型表面活性剂掺量的增大先增大后减小,当其掺量为0.2%时,渣土泥浆的塑性黏度高达2.84 Pa·s,当掺量达到0.3%时,其塑性黏度下降至2.38 Pa·s,这表明季铵盐型表面活性剂的掺入使渣土泥浆颗粒间的吸附力更大,维持其流动所需的力更大,但季铵盐型表

面活性剂掺量过高时,其吸附作用使渣土泥浆的屈服应力增大,同时也会导致“卡片屋”结构在剪切作用下被破坏后,渣土泥浆内部存在的季铵盐型表面活性剂分子间的排斥力更大,渣土泥浆维持流动所需的力减小,从而使其塑性黏度减小。

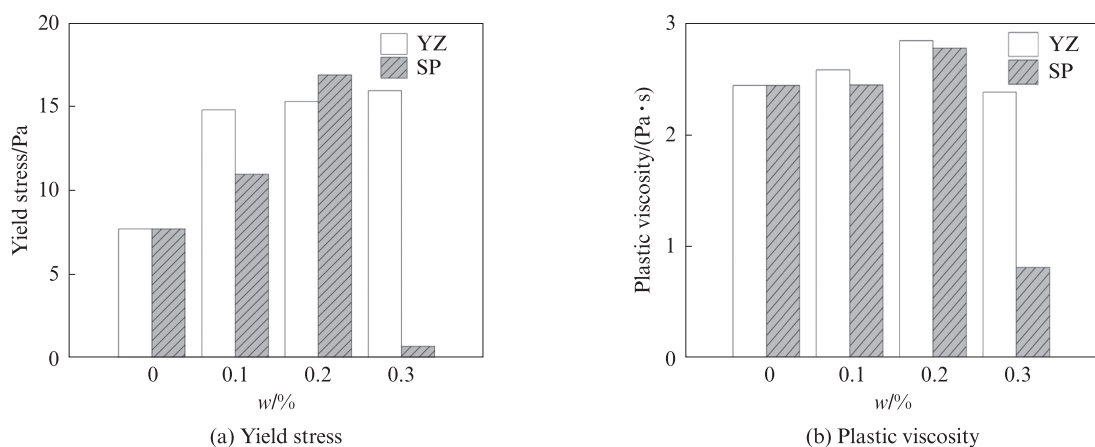


图10 不同外加剂掺量下的渣土泥浆屈服应力和塑性黏度

Fig. 10 Yield stress and plastic viscosity of waste mud with different additive contents

当 $w \leq 0.2\%$ 时,由于外加剂掺量低,其排斥力不足以破坏原有的结构,聚羧酸减水剂和季铵盐型表面活性剂均对渣土泥浆流变性能起到负面效果,泥浆的屈服应力和塑性黏度均增大.当 $w = 0.3\%$ 时,由于季铵盐型表面活性剂的电荷密度较低、排斥力较小,不足以在渣土泥浆静止时破坏其“卡片屋”结构,导致泥浆的屈服应力继续增大,但当渣土泥浆发生流动后,在剪切力的作用下其“卡片屋”结构被破坏,内部颗粒间存在季铵盐型表面活性剂之间的排斥力,使得维持流动所需的力减小,渣土泥浆塑性黏度减小.聚羧酸减水剂电荷密度大,在渣土泥浆静止时产生的排斥力足以直接破坏其“卡片屋”结构^[21-22],导致渣土泥浆屈服应力大幅度减小,并且在渣土泥浆维持流动中提供颗粒间排斥力,大幅度减小其塑性黏度,有效改善渣土泥浆的流变性能.由此可见,电荷密度更高、排斥力更大的聚羧酸减水剂对渣土泥浆流变性能的改善效果优于吸附性更好的季铵盐型表面活性剂.

2.4 外加剂对渣土泥浆流变性能作用机理分析

内部自由水是影响渣土泥浆流变性能的关键.在不改变含水率的情况下,调节渣土泥浆流变性能只能通过增大颗粒间距,同时释放被黏土包裹的自由水.外加剂分子与黏土颗粒的作用机理主要是黏土颗粒吸附和分子间的排斥作用,其分子结构示意图见图11.由图11可知,聚羧酸减水剂具有更长的侧链及更大的电荷密度,而季铵盐型表面活性剂具有

更强的吸附性^[18].2种外加剂的吸附方式相同且均为表面吸附和层间吸附(见图12),都存在外加剂分子间的排斥力和黏土颗粒对外加剂的吸附力,2种分子作用力的大小共同决定了外加剂对渣土泥浆流变性能的影响.渣土泥浆对同种外加剂的吸附存在饱和性^[20],故在其对外加剂吸附量未达到饱和时,外加剂主要起吸附黏土颗粒的作用(见图13(a)).外加剂通

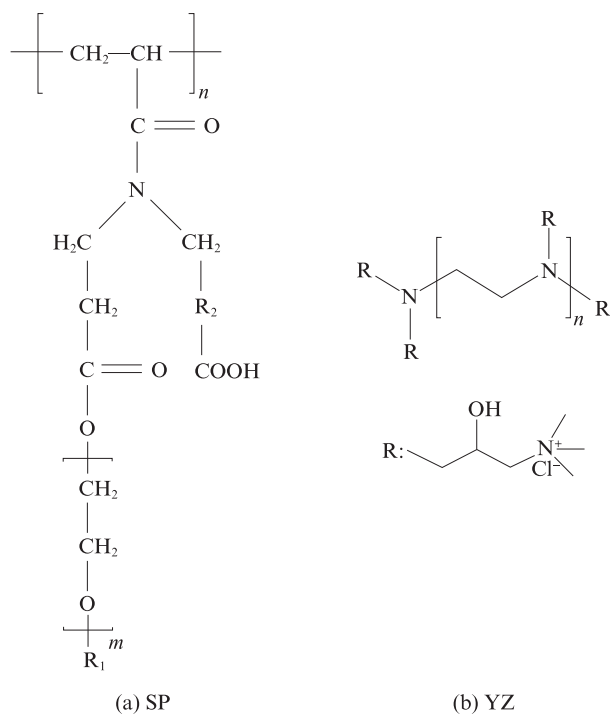


图11 外加剂的分子结构示意图

Fig. 11 Molecular structure diagrams of additives

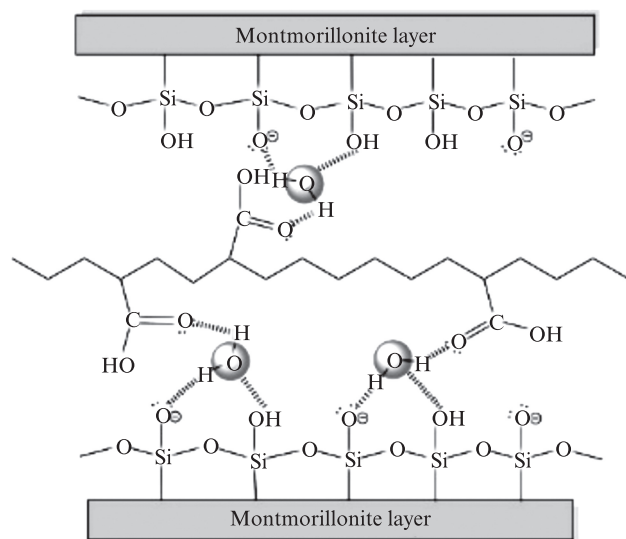
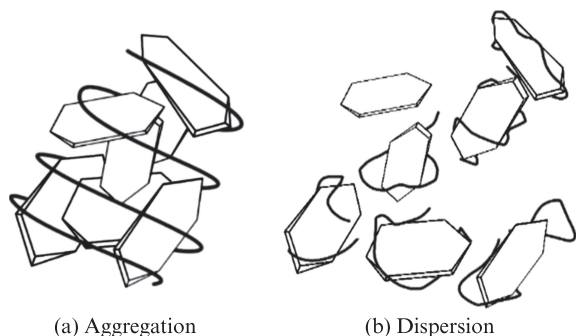


图12 外加剂与黏土的层间吸附作用

Fig. 12 Interlayer absorption between additive and clay



(a) Aggregation

(b) Dispersion

图13 不同掺量下外加剂对黏土的作用示意图

Fig. 13 Schematic diagrams of the effect of additives on clay under different contents

过层间吸附和颗粒表面吸附,不仅链接了颗粒原有的“卡片屋”结构,并且加剧了颗粒间的团聚^[24-25],从而包裹更多的自由水使得渣土泥浆流态大幅度下降。当外加剂掺量高出渣土泥浆对外加剂的饱和吸附量时,外加剂分子间排斥力起作用(见图13(b)),其颗粒间排斥力足够大,直接破坏了颗粒结构,从而释放了被包裹的自由水,使得渣土泥浆流态大幅度提升。其中,具有高电荷密度的聚羧酸减水剂静电排斥力更大,使渣土泥浆静止状态下的“卡片屋”结构被破坏^[22],从而释放大量自由水,大幅度改善了渣土泥浆流变性能;季铵盐型表面活性剂虽然具有更好的吸附性,但静电排斥力小,未能直接破坏渣土泥浆的“卡片屋”结构。故而,聚羧酸减水剂对渣土泥浆流变性能的改善效果更好。

3 结论

(1)随着建筑渣土泥浆含水率从40%增加至60%,建筑渣土泥浆的表观黏度、屈服应力、塑性黏

度均减小,但其流变经时损失减小,流变保持性更好;建筑渣土泥浆的屈服应力和塑性黏度均随着静置时间的增加而增大。

(2)建筑渣土泥浆的表观黏度、屈服应力、塑性黏度和流变经时损失随聚羧酸减水剂掺量增加先增大后减小;随着季铵盐型表面活性剂掺量的增加,渣土泥浆屈服应力增大,表观黏度和塑性黏度先增大后减小;当聚羧酸减水剂掺量达到0.3%时,建筑渣土泥浆塑性黏度减小至0.82 Pa·s,其效果明显优于相同掺量下的季铵盐型表面活性剂(2.38 Pa·s)。

(3)在外加剂掺量较低的情况下,外加剂主要起到吸附黏土、团聚泥浆的作用,使建筑渣土泥浆屈服应力、塑性黏度和表观黏度均增大;在外加剂掺量较高的情况下,外加剂主要起静电排斥作用,使建筑渣土泥浆中的颗粒结构破坏,减小其塑性黏度和表观黏度;具有更高电荷密度的聚羧酸减水剂静电排斥力更大,对建筑渣土泥浆的流变性能改善效果更好。

参考文献:

- [1] 李丹,孙占琦,苏颖,等.深圳市余泥渣土现状及策略分析[J].施工技术,2018,47(增刊3):129-131.
LI Dan, SUN Zhanqi, SU Ying, et al. Current situation and strategy analysis of residual sludge in Shenzhen [J]. Construction Technology, 2018, 47(Suppl 3):129-131.(in Chinese)
- [2] 畅帅.杭州软土固化优化研究[D].杭州:浙江大学,2014.
CHANG Shuai. Optimization research for soft soils stabilization in Hangzhou[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.(in Chinese)
- [3] 刘宏伟. SH及石灰固化土吸水性和失水性能研究[D].兰州:兰州大学,2019.
LIU Hongwei. Study on water absorption and water loss performance of SH and lime solidified soil[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2019.(in Chinese)
- [4] VALLS S, VAZQUEZ E. Stabilisation and solidification of sewage sludges with Portland cement[J]. Cement and Concrete Research, 2000, 30(10):1671-1678.
- [5] PAKBAZ M S, ALIPOUR R. Influence of cement addition on the geotechnical properties of an Iranian clay[J]. Applied Clay Science, 2012, 68:1-4.
- [6] 朱伟.工程废弃泥浆和渣土的化学固化与性能表征[D].合肥:安徽工业大学,2018.
ZHU Wei. Chemical solidifying and performance characterization of abandoned slurry and soil[D]. Hefei: Anhui University of Technology, 2018.(in Chinese)
- [7] BEHNOOD A. Soil and clay stabilization with calcium and non-calcium based additives: A state of the art review of challenges, approaches and techniques [J]. Transportation Geotechnics, 2018, 17:14-32.

- [8] 胡明君,李立寒,崔华杰.生活垃圾焚烧炉渣集料处治土性能与处治机理[J]. 建筑材料学报, 2019, 22(2):308-313.
HU Mingjun, LI Lihan, CUI Huajie. Property and treatment mechanism of municipal solid waste incineration bottom ash aggregate treated soil[J]. Journal of Building Materials, 2019, 22(2):308-313. (in Chinese)
- [9] YANG G, ZHANG G M, WANG H C. Current state of sludge production, management, treatment and disposal in China[J]. Water Research, 2015, 78:60-73.
- [10] 朱艳梅,张翼,蒋正武.羟丙基甲基纤维素对3D打印砂浆性能的影响[J]. 建筑材料学报, 2021, 24(6):1123-1130.
ZHU Yanmei, ZHANG Yi, JIANG Zhengwu. Effect of hydroxypropyl methylcellulose ether on properties of 3D printing mortar [J]. Journal of Building Materials, 2021, 24(6): 1123-1130. (in Chinese)
- [11] ZHANG Y, JIANG Z W, ZHU Y M, et al. Effects of redispersible polymer powders on the structural build-up of 3D printing cement paste with and without hydroxypropyl methylcellulose[J]. Construction and Building Materials, 2021, 267:551-567.
- [12] CRUZ N, PENG Y J, WIGHTMAN E, et al. The interaction of clay minerals with gypsum and its effects on copper-gold flotation[J]. Minerals Engineering, 2015, 77:121-130.
- [13] FORBES E, DAVEY K J, SMITH L. Decoupling rheology and slime coatings effect on the natural flotability of chalcopyrite in a clay-rich flotation pulp[J]. Minerals Engineering, 2014, 56: 136-144.
- [14] CHEN J J, FUNG W W S, KWAN A K H. Effects of CSF on strength, rheology and cohesiveness of cement paste [J]. Construction and Building Materials, 2012, 35:979-987.
- [15] ROOKI R, ARDEJANI F D, MORADZADEH A, et al. Optimal determination of rheological parameters for herschel-bulkley drilling fluids using genetic algorithms (GAs) [J]. Korea-Australia Rheology Journal, 2012, 24(3):163-170.
- [16] POWELL J, ASSABUMRUNGRAT S, BLACKBURN S. Design of ceramic paste formulations for co-extrusion [J]. Powder Technology, 2013, 245:21-27.
- [17] WELLS L J, NIGHTINGALE S A, SPINKS G M. The effect of temperature on the extrusion behavior of a polymer/ceramic refractory paste[J]. Journal of Materials Science, 2005, 40(2): 315-321.
- [18] 张光华,王爽,张策,等.双子季铵盐改善聚羧酸减水剂对黏土的敏感性能[J]. 建筑材料学报, 2019, 22(1):81-86.
ZHANG Guanghua, WANG Shuang, ZHANG Ce, et al. Improvement of clay sensitivity of polycarboxylate superplasticizer by gemini quaternary ammonium salt [J]. Journal of Building Materials, 2019, 22(1):81-86. (in Chinese)
- [19] 王子明,吴昊,徐莹,等.黏土对聚羧酸减水剂应用性能的抑制机理[J]. 建筑材料学报, 2014, 17(2):234-238, 279.
WANG Ziming, WU Hao, XU Ying, et al. Inhibition mechanism of clays on applying performances of polycarboxylate superplasticizer[J]. Journal of Building Materials, 2014, 17(2): 234-238, 279. (in Chinese)
- [20] 王智,考友哲,王林龙,等.单矿物黏土对聚羧酸减水剂分散性的影响与机理[J]. 建筑材料学报, 2015, 18(5):879-887.
WANG Zhi, KAO Youzhe, WANG Linlong, et al. Effect and mechanism of single mineral clay on dispensability of polycarboxylate superplasticizer[J]. Journal of Building Materials, 2015, 18(5):879-887. (in Chinese)
- [21] TADROS T. Rheology of dispersions: Principles and applications [M]. Singapore: Wiley-VCH, 2010:41-60.
- [22] GOODWIN J W, HUGHES R W. Rheology for chemists: An introduction[M]. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2008: 146-211.
- [23] SCALES P, JOHNSON S, HEALY T, et al. Shear yield stress of partially flocculated colloidal suspensions[J]. AIChE Journal, 1998, 44:538-544.
- [24] PAINEAU E, BIHANNIC I, BARAVIAN C, et al. Aqueous suspensions of natural swelling clay minerals. 1. Structure and electrostatic interactions[J]. Langmuir, 2011, 27(9):5562-5573.
- [25] LAGALY G. Chapter 5 colloid clay science [J]. Developments in Clay Science, 2006, 1:141-245.