

文章编号:1007-9629(2011)06-

硅酸钠溶液流变特性及其对土聚新拌物性能的影响

文梓芸^{1,2}, 晏锦^{1,2}, 殷素红^{1,2}

(1. 华南理工大学 材料科学与工程学院, 广东 广州 510640;

2. 华南理工大学 特种功能材料教育部重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要: 采用旋转黏度计、流变仪研究了硅酸钠溶液模数、质量分数及温度对硅酸钠溶液及土聚新拌物流变性能的影响;探讨了硅酸钠溶液超声改性对土聚新拌物工作性能的改善效果. 结果表明:常温(18~25℃)下,硅酸钠溶液黏度在其模数为2.2时出现最小值,但随着温度的升高,模数对溶液黏度的影响逐渐减弱. 当硅酸钠溶液处于真溶液区域(模数<1.8)时,土聚新拌物黏度随硅酸钠溶液模数增大变化不大;当硅酸钠溶液处于水玻璃 SiO₂ 聚合区域(模数>2.2)时,土聚新拌物黏度随硅酸钠溶液模数增大急剧增加. 硅酸钠溶液质量分数越高,硅酸钠溶液和土聚新拌物的黏度均越大. 在硅酸钠溶液温度为30℃时,土聚新拌物的黏度达到最低值. 超声改性可改善硅酸钠溶液的黏度,增大土聚新拌物的扩展度,并提高土聚物的抗压强度.

关键词: 土聚新拌物; 工作性能; 硅酸钠溶液; 黏度; 超声改性;

中图分类号: **文献标志码:** **doi:**10.3969/j.issn.1007-9629.2011.06.000

Rheological Characteristics of Sodium Silicate Solution and Its Effects on the Performance of Geopolymer Slurry

WEN Zi-yun^{1,2}, YAN Jin^{1,2}, YIN Su-hong^{1,2}

(1. College of Materials Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Key Laboratory of Specially Functional Materials of Ministry of Education, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The effect of modulus, mass fraction and temperature of sodium silicate solution(SS) on the rheological characteristics of SS and geopolymer slurry(GS) were analyzed by means of viscometer and rheometer. Meanwhile, the effect of SS modified by ultrasonic on the workability of GS was studied. The results show that the viscosity of SS for 2.2 modulus get the minimum value in ambient temperature(18-25℃); but the effect of modulus on viscosity of SS is gradually weaker with the raise of temperature. When SS is in the true solution(high-ionized) zone(modulus<1.8), the difference of GS viscosity of different SS modulus is little; while in the water glass (SiO₂-polymerized) zone(modulus>2.2), the viscosity of GS increases sharply with the increase of modulus of SS. With increasing of the mass fraction of SS, both viscosity of GS and SS are all increased. The viscosity of GS gets the minimum value at 30℃ in different modulus. The SS modified by ultrasonic could improve the fluidity of GS and increase the compressive strength of geopolymer.

Key words: geopolymer slurry(GS); workability; sodium silicate solution(SS); viscosity; ultrasonic modification

土壤聚合物(geopolymer)是以经过煅烧的高岭土(有时加入辅助性的活性硅铝酸盐材料)以及碱性激发剂为主要原料,并采用适当的处理工艺,通过一定的化学反应而得到的具有与陶瓷性能类似的新型材料^[1]. 硅酸钠溶液(俗称水玻璃)是最常用且效果最好的碱性激发剂^[2]. 在应用硅酸钠溶液的过程中,利用苛性钠对硅酸钠溶液的模数进行调整,从而改变硅酸钠溶液的密度、固含量以及化学反应活性等^[3].

但是,煅烧高岭土基土聚新拌物(以下简称为土聚新拌物)工作性能与水泥基材料差别很大,表现为黏度高,屈服应力低,和易性差,硬化后容易收缩开裂等,这大大制约了其应用范围^[4]. 至今仍未发现合适的外加剂来改善土聚新拌物的工作性能. 影响土聚新拌物工作性能的因素很多,其中硅酸钠溶液的黏度就是一个重要内在因素,可以通过改变硅酸钠溶液的黏度来调整土聚新拌物的黏度.

影响硅酸钠溶液黏度的因素主要有温度、浓度、模数等,对它们之间的关系有过大量研究^[5]. 基本认为随着硅酸钠溶液模数和浓度增大,硅酸钠溶液的黏度会变大^[6]. 但对于模数 <2.0 的硅酸钠溶液在不同温度下的黏度研究较少,更鲜有报道土聚新拌物黏度与硅酸钠溶液黏度两者之间的关系. 在金属制造行业中,对水玻璃型砂采用超声改性,以防止其老化,改善其溃散性能^[7],这表明超声改性可降低硅酸钠溶液的黏度. 但超声改性用于改善土聚材料的工作性能则未见报道.

本文研究了硅酸钠溶液黏度与模数、质量分数、温度之间的关系,进而分析了硅酸钠溶液物理特征对土聚新拌物黏度的影响. 在此研究基础上对模数为1.2的硅酸钠溶液进行超声改性,并研究硅酸钠溶液超声改性对土聚新拌物工作性能的改善效果.

1 试验

1.1 试验材料

煅烧高岭土是由湛江高岭土(化学组成见表1)煅烧 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温 2 h ,过 $200\text{ }\mu\text{m}$ 筛制得. 硅酸钠溶液是将工业级硅酸钠溶液、化学纯氢氧化钠、蒸馏水混合并搅拌均匀,调制所需模数和质量分数,并密封静置至室温.

表1 高岭土化学组成

Table 1 Chemical composition (by mass) of kaolin %										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	Crystalline quartz	Crystal water	IL
46.40	36.17	0.51	0.15	0.13	0.64	0.05	0.13	1.50	11.75	13.73

1.2 试验方法

在制备土聚新拌物的搅拌力撤去 $1\sim 2\text{ min}$ 后,采用旋转黏度计测试黏度,此时测得的黏度波动不大,具有代表性. 基于土壤聚合物的性能要求,硅酸钠溶液的质量分数一般不能过小,否则硬化速度过慢,最终强度过低,一般采用质量分数在 $35\%\sim 45\%$ 的硅酸钠溶液.

通过添加氢氧化钠与蒸馏水调配不同模数(1.2~2.6)、不同质量分数(30%~45%)的硅酸钠溶液,密封静置 1 d . 参照 SJ/T 10227—91《电子工业用硅酸钾溶液粘度的测定方法》,将硅酸钠溶液倒入直径大于 70 mm 的烧杯中,放入恒温水浴锅,调节所需温度,并用温度计测定此刻溶液的温度. 将 $1^{\#}$ 转子装在黏度计上并浸入溶液,让液面与转子的液面标志相平. 选择转子转速为 30 r/min ,开启电机开关,使转子在液体中旋转 30 s . 按下指针控制杆,关闭电机,使指针停在读数窗内,读取不少于 5 次数值,取平均值.

采用流变仪(R/S-SST, Brookfield, USA)测定硅酸钠溶液与土聚新拌物的流变性能,剪切速率为 $0\sim 600\text{ s}^{-1}$.

煅烧高岭土与不同模数的硅酸钠溶液均按液固比(质量比) $1.5:1.0$ 进行拌和,制备土聚新拌物. 将土聚新拌物浆体倒入直径为 30 mm 的小烧杯中,选用 $4^{\#}$ 转子和 6 r/min 转速,按上述方法测停止搅拌并放置 $1\sim 2\text{ min}$ 的浆体黏度.

采用 KW1-1002 全系列超声波清洗机(频率(f)为 28 kHz)对硅酸钠溶液(模数1.2,质量分数 40% , $25\text{ }^{\circ}\text{C}$)进行改性. 将改性后的硅酸钠溶液与煅烧高岭土进行拌和,参照 GB/T 8077—2000《混凝土外加剂均质性试验方法》中水泥净浆流动度测试方法,测试土聚新拌物的流动度;同时成型 $2\text{ cm}\times 2\text{ cm}\times 2\text{ cm}$ 的试件,在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度大于 90% 的条件下养护至足够强度脱模,再用保鲜膜包裹试件,在室温条件下放置 14 d 后测试抗压强度. 采用 PQ-250DE 超声清洗装置(频率(f)为 40 kHz)对硅酸钠溶液(模数1.2,质量分数 40% , $35\text{ }^{\circ}\text{C}$)进行改性,测试不同超声振荡功率下硅酸钠溶液的黏度.

2 试验结果与讨论

2.1 流变特性分析

土聚新拌物的触变性见图1. 从图1可看出,该土聚新拌物属正触变性流体,黏度很大(比相同模数的硅酸钠溶液增大 2 个数量级以上),屈服应力却很小.

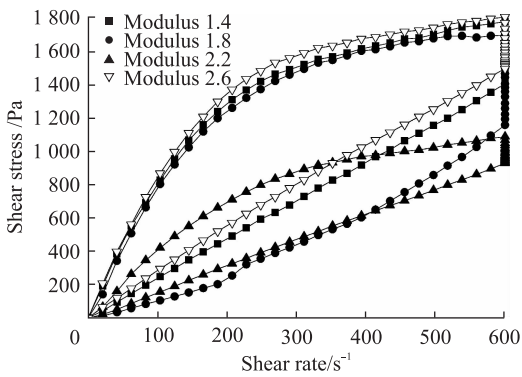


图 1 土聚新拌物的触变性(30 °C)

Fig. 1 Thixotropy of GS(30 °C)

煅烧后的高岭土碎裂形成残缺的片层状结构,畸变破坏的铝氧层带有静电,互相排斥,加强了分散性.这样的铝氧层具有了活性,能与硅酸钠溶液很快发生溶解性的反应,形成分散在溶相中的悬浮体,进一步增大了浓度和黏度.但是,接下来的土聚反应却十分缓慢,反应产物长时间没有形成,凝结时间很长,凝聚体结构较长时间没有建立,因而新拌物的屈服应力很小.又因为煅烧高岭土颗粒的片层与片层相互搭接,会形成包裹有液体的“絮凝体”构造,当搅拌时间延长或搅拌速率增加,可以破坏这种空间构造,使得煅烧高岭土片层按某种方式定向排列,黏度下降至一定数值且保持稳定,当撤去搅拌力,煅烧高岭土片层又会逐渐恢复成一定的空间结构,黏度也会缓慢上升,这是土聚新拌物触变性的来源.

黏度和屈服应力对土聚新拌物的工作性能都有重要影响.因有效控制新拌物的黏度对于其工作性能特别是和易性更为重要,故本文集中在黏度的研究和控制上,把屈服应力的控制作为下一步的研究目标.

图 2 为硅酸钠溶液剪切应力随剪切速率变化曲线.由图 2 可以看出,模数在 1.4~2.6 内的硅酸钠溶液均属于牛顿型流体,屈服应力为 0,剪切应力与

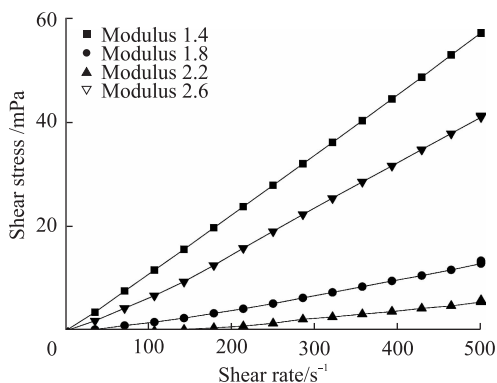


图 2 硅酸钠溶液剪切应力随剪切速率变化曲线

Fig. 2 Variation of shear stress of SS with shear rate

剪切速率呈很好的线性关系.试验中还发现,控制剪切速率为 500 s^{-1} ,持续 10 s,并未发现剪切应力值发生改变,这表明剪切应力不具有依时性.因此在搅拌过程中,硅酸钠溶液黏度基本保持稳定,可以排除搅拌过程中硅酸钠溶液黏度变化对土聚新拌物相关性能的影响.

2.2 硅酸钠溶液模数的影响

2.2.1 常温下硅酸钠溶液模数对其黏度的影响

目前对于低模数(模数 <2.0)硅酸钠溶液黏度性能研究较少,本文对此进行补充.图 3 为硅酸钠溶液黏度随模数变化曲线.由图 3(a)可见:(1)在 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下,硅酸钠溶液黏度随模数变化呈类“U”形,当模数低于 2.2 时,模数越低,硅酸钠溶液的黏度反而越高,出现与高模数规律不同的“反常”现象;质量分数(w_{SS})为 40% 的硅酸钠溶液在模数为 2.2 时出现黏度最小值.(2)在室温($18 \sim 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$)下都有类似上述现象,但随着温度升高,不同模数溶液黏度差别变小.硅酸钠溶液质量分数提高至 45% 时,硅酸钠溶液黏度随模数变化亦呈类“U”形(参见图 3(b)).究其原因,笔者认为可能是低模数的硅酸钠溶液属于电离度很高的离子溶液,而高模数的硅酸钠溶液属于 SiO_2 聚合态的胶体溶液.在高浓度情况下,低模数硅酸钠溶液中除了硅酸根离子和氢氧根离子外,还有大量的 Na^+ 离子. Na^+ 离子的正电性很强,与偶极性强的水分子中的氧原子很容易形成配位键. 1 个 Na^+ 离子可与 6 个氧原子配位,因此 Na^+ 离子形成了主要以水分子包裹的水化离子,这个水化离子的外围又形成水分子中的氢原子与硅酸根离子中的氧原子配位的氢键,把硅酸根离子也链接在一起,这些配位体外面还会有更多通过氢键缔合的水分子,形成 1 个以 Na^+ 离子为核心的体积较大的分子团,这样的结构束缚了大量水分子. Na^+ 离子越多,被束缚的水分子就越多,贡献于流动的水分子就越少;加上高浓度的硅酸根离子本身与水分子之间也存在氢键的连接,致使高浓度的硅酸钠真溶液产生某种类似胶体溶液的结构,导致溶液的黏度上升.显然,这时的 Na^+ 离子数量对溶液黏度的贡献较大.当硅酸钠溶液模数高于 2.2 即其处于水玻璃区域时,硅酸钠溶液中的 SiO_2 完全处于聚合态,而且模数越大,硅酸的聚合度也越高,低聚硅酸的相对含量少,高聚硅酸的相对含量增多,硅酸胶团的体积就越发加大,通过 Na^+ 离子配位的凝聚作用就越强烈,少量的 Na^+ 离子就足以使大胶团凝聚,从而使硅酸钠溶液的黏度逐渐变大.因此,在室温下,硅酸钠溶液呈现出低模数黏度增大的趋势,且在模数为 2.2 时出现最小值.

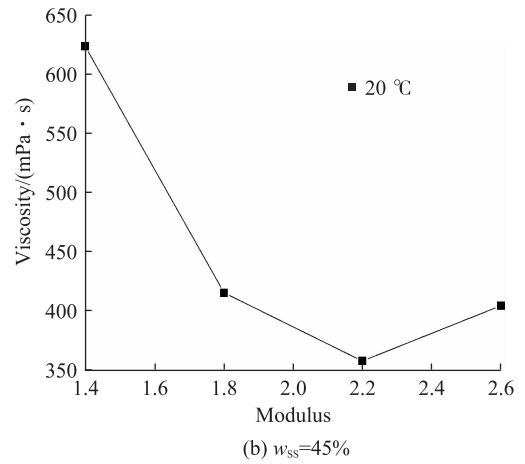
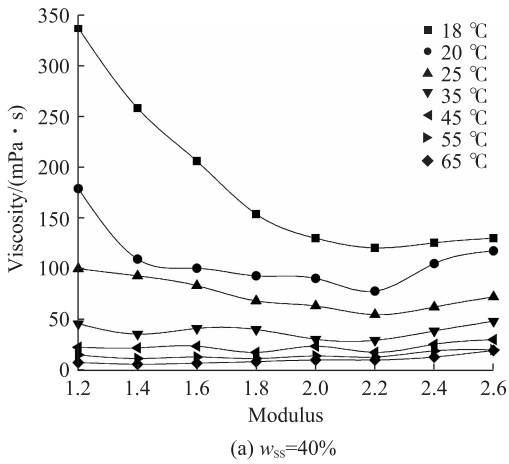


图3 硅酸钠溶液黏度随模数变化曲线

Fig. 3 Variation of viscosity of SS with modulus of SS

2.2.2 较高温度下硅酸钠溶液模数对其黏度的影响

由图3(a)还可看出,硅酸钠溶液黏度与模数的关系并非在所有温度情况下都会出现上述趋势.当温度升高至常温以上时,该种趋势已不再明显.温度越高,曲线的变化越趋于平缓,模数的改变对黏度的影响越不明显.显然,高温下粒子布朗运动加剧,大分子团的缔合链接遭到破坏,黏度随模数下降而增大的现象减弱了.因此,作为激发剂使用的硅酸钠水溶液需要密切注意温度的影响.

2.2.3 硅酸钠溶液模数对土聚新拌物黏度的影响

图4为土聚新拌物黏度随硅酸钠溶液模数变化曲线.将图3与图4进行对比发现:常温下,硅酸钠溶液黏度对模数变化较为敏感,不同模数时,黏度相对变化较大;但土聚新拌物的黏度在较低模数(< 1.8)下相对变化并不大,在模数大于2.2以后,其黏度随模数增加的幅度却大于硅酸钠溶液.这可能表明,低模数硅酸钠溶液中 Na^+ 离子大量束缚水分子

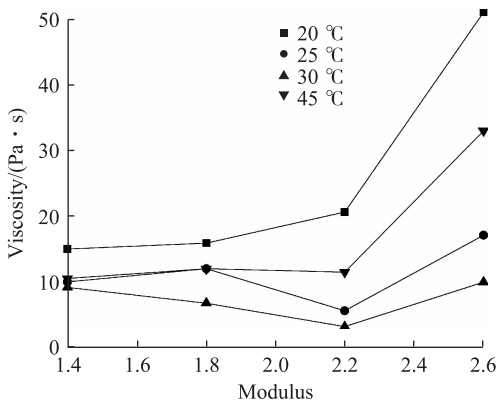


图4 土聚新拌物黏度随硅酸钠溶液模数变化曲线

Fig. 4 Variation of viscosity of GS with modulus of SS ($w_{ss}=40\%$)

的现象被某种程度缓解了,模数越低的溶液这种缓解效果越明显.其中的原因很可能是发生了碱溶液与煅烧高岭土最初的土聚反应,消耗了 Na^+ 离子在煅烧高岭土上的吸附量,使得被束缚的水得到某种程度的释放.模数越低的硅酸钠溶液这种反应越强烈,最初黏度上升的趋势被缓解了,不同模数但相同浓度的硅酸钠溶液配置的土聚新拌物的黏度就趋于一致了.模数高于2.2时,土聚反应的程度大为降低,而煅烧高岭土粉体颗粒团聚引起土聚新拌物黏度上升的效应更为明显,即硅酸钠溶液模数越高,水玻璃的黏度增大,土聚新拌物的黏度也就更大.

2.3 硅酸钠溶液质量分数的影响

2.3.1 硅酸钠溶液质量分数对其黏度的影响

图5为硅酸钠溶液黏度随质量分数变化曲线.由图5可见,随着硅酸钠溶液质量分数的增加,其黏度也逐渐增大,但各个区域黏度的增长速率不一样,其中质量分数在40%~45%时黏度增长速率最快,且模数越低黏度增长速率越大.

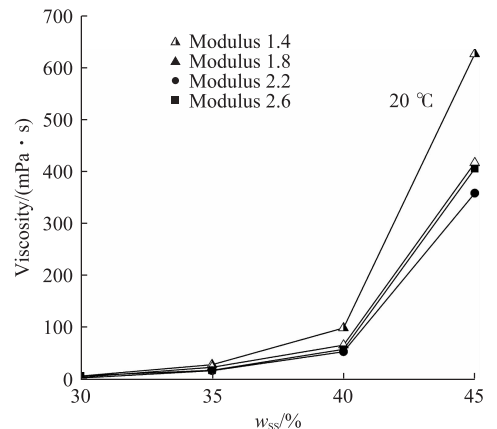


图5 硅酸钠溶液黏度随质量分数变化曲线

Fig. 5 Variation of viscosity of SS with mass fraction of SS

硅酸钠溶液质量分数增大,一方面使硅酸钠溶液中固含量增加,总水量减少;另一方面使碱金属离子增多,其与水分子结合的水化作用增强,游离水减少,内摩擦增大.模数较低时,碱金属离子较多,黏度增加因而较明显.

由图 5 还可见,各模数硅酸钠溶液具有相近的质量分数临界值,一旦达到该值,黏度会急速上升,直至不能流动.这个临界值应在 40% 附近.一过临界值,黏度增加明显,说明溶胶结构迅速形成.

2.3.2 硅酸钠溶液质量分数对土聚新拌物黏度的影响

图 6 为土聚新拌物黏度随硅酸钠溶液质量分数

变化曲线.由图 6 可见,土聚新拌物黏度随硅酸钠溶液质量分数的增加而增大,当质量分数大于 35% 后,黏度增长速率大大增加,这与硅酸钠溶液黏度的变化趋势一致.硅酸钠溶液质量分数越大,其固含量越高,碱金属离子增多,游离水就越少.当向溶液中加入煅烧高岭土颗粒后,煅烧高岭土层状结构在搅拌过程中,吸附与包裹大量游离水,同时硅酸钠溶液也会迅速溶解煅烧高岭土中的硅和铝,溶液的黏度变得更大,使得土聚新拌物黏度迅速增大.原本质量分数高的溶液,形成的浆体黏度更大,增大速度更快或者增大趋势更明显.

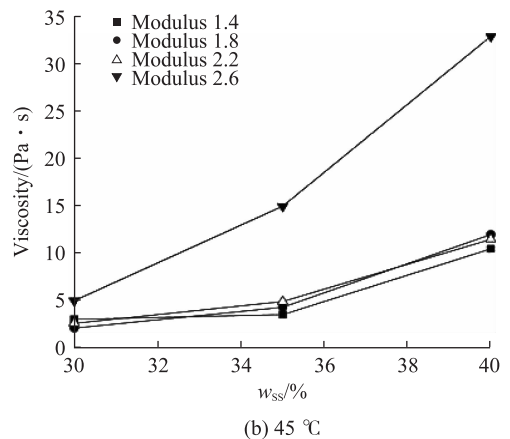
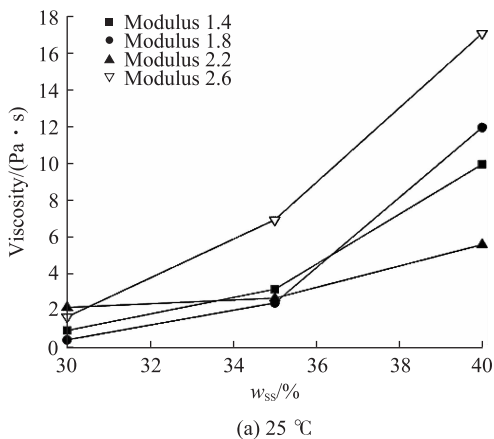


图 6 土聚新拌物黏度随硅酸钠质量分数变化曲线

Fig. 6 Variation of viscosity of GS with mass fraction of SS

2.4 硅酸钠溶液温度的影响

2.4.1 硅酸钠溶液温度对其黏度的影响

在硅酸钠溶液质量分数为 40% 的条件下,测其黏度随温度变化曲线,结果见图 7(a).由图 7(a)可见:硅酸钠溶液温度对其黏度的影响较为明显,温度越高,黏度越小;硅酸钠溶液温度在 18 °C 时,其黏度较大,且受模数的影响较为明显.而当硅酸钠溶液温度升高至 55 °C 以上,其黏度逐渐接近水的黏度,且随模数改变而发生的变化已不明显.温度升高,硅酸钠溶液中的带电质子动能增大,运动加剧,碱金属离子吸附的化合水可能发生脱附作用,成为游离水,胶粒也向着解聚的方向发展,硅酸钠溶液的黏度随之降低,且当温度升高到一定程度时,模数对硅酸钠溶液黏度的影响可忽略.相反,当温度降至到一定值时,黏度会迅速增大,且模数的作用越来越明显.

2.4.2 硅酸钠溶液温度对土聚新拌物黏度的影响

硅酸钠溶液温度对土聚新拌物黏度的影响见图

7(b).比较图 7(a),(b)可见,随着硅酸钠溶液温度升高,硅酸钠溶液的黏度呈下降趋势,但土聚新拌物黏度却呈先减小后又增大的趋势.温度在 30 °C 以下,土聚新拌物黏度与硅酸钠溶液黏度变化一致,而温度达到 45 °C 时,土聚新拌物黏度反而上升.这可能是由于在较低温度下,土聚反应较慢,土聚新拌物黏度的改变主要受硅酸钠溶液黏度的控制;而当温度较高时,土聚反应迅速,强碱溶解出来的硅氧四面体与铝氧四面体迅速发生缩聚反应,同时放出热量,加剧这一反应的进行,初期形成的产物具有链状、网状结构,使得新拌物浆体黏度增大.由图 7(b)还发现,硅酸钠溶液模数越大,上述变化趋势越明显.这是因为模数高于 2.2 的硅酸钠溶液中存在不同聚合度的聚硅酸,模数越高,其含有的高聚硅酸也越多,当温度升高时,聚硅酸往解聚的方向发展,自身黏度相对较高的硅酸钠溶液进而又与煅烧高岭土发生反应形成一定的初期土聚反应产物,使得黏度增大.

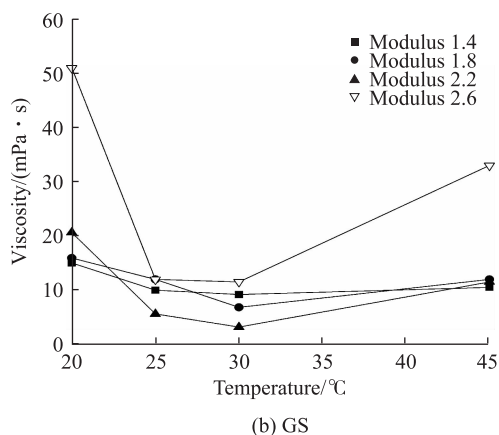
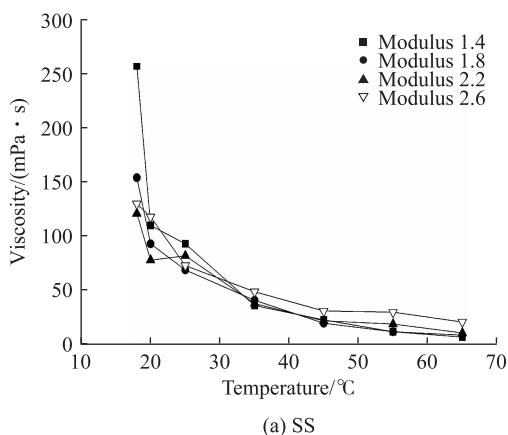


图7 黏度随硅酸钠溶液温度变化曲线

Fig. 7 Variation of viscosity with temperature of SS ($w_{ss} = 40\%$)

2.5 硅酸钠溶液超声改性的影响

超声改性机理源自于超声空化效应. 外加超声振荡时, 胶粒表面会产生大量微小气泡, 从而阻止其进一步长大. 同时, 超声振荡产生的高压冲击波和微射流起到粉碎、搅拌等机械效应, 在一定时间内又能有效阻止胶团的生长与团聚, 使微小颗粒分布更均匀, 分散性更好^[8]. 故利用超声振荡方法对硅酸钠溶液进行改性, 可能降低其黏度, 进而改善土聚新拌物的工作性能.

2.5.1 硅酸钠溶液超声改性对其黏度的影响

硅酸钠溶液黏度随超声振荡时间变化曲线见图8. 由图8可见: 在超声振荡频率(f)为28 kHz时, 随着超声振荡时间的延长, 硅酸钠溶液的黏度逐渐降低, 且在60~120 min内降低幅度较大, 振荡时间超过120 min, 降低黏度的效果已不明显. 这可能是因为超声振荡使溶液中的粒子运动加剧, 动能增加, Na^+ 吸附的结合水发生脱附, 同时使低聚硅酸发生解聚反应, 从而使得硅酸钠溶液黏度下降.

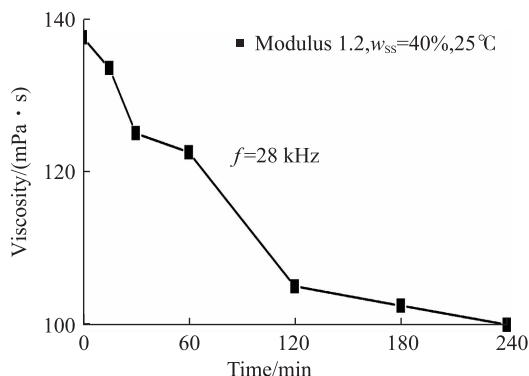


图8 硅酸钠溶液黏度随超声振荡时间变化曲线

Fig. 8 Variation of viscosity of SS with time of ultrasonic modification

图9. 由图9可见: 在超声振荡频率为40 kHz条件下, 增大超声振荡功率, 硅酸钠溶液黏度下降到一定数值后保持稳定; 功率越大, 黏度下降越快. 其原因主要是由于功率增大, 振幅提高, 溶液中粒子运动加剧, 大体积分子团解离速度加快, 而频率一定, 故解离到一定程度后保持不变.

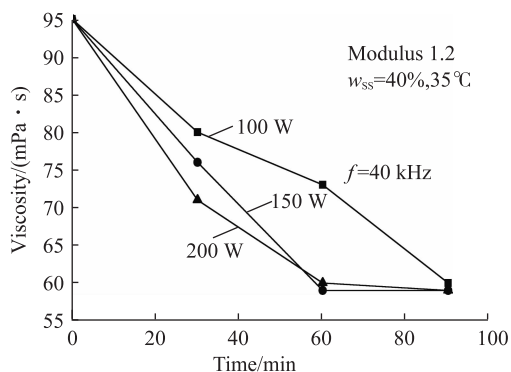


图9 硅酸钠溶液黏度随超声振荡功率变化曲线

Fig. 9 Variation of viscosity of SS with power of ultrasonic modification

2.5.2 硅酸钠溶液超声改性对土聚新拌物扩展度与土聚硬化体强度的影响

采用超声改性后的硅酸钠溶液来制备土聚新拌物, 并测试其扩展度, 结果见图10. 图10表明: 硅酸钠溶液超声振荡时间越长, 土聚新拌物浆体扩展度越大. 因为振荡时间越长, 硅酸钠溶液黏度越低, 在同样的液固比下所制备出的浆体黏度也就越低, 扩展度也就越大.

土聚硬化体(土聚物)抗压强度随硅酸钠溶液超声振荡时间变化见图11. 由图11可知, 硅酸钠溶液超声改性对土聚物抗压强度也起到一定的改善作用, 其中振荡2 h可提高抗压强度10%左右. 改性之后硅酸钠溶液中低聚硅酸解聚成正硅酸的数量增

硅酸钠溶液黏度随超声振荡功率变化曲线见

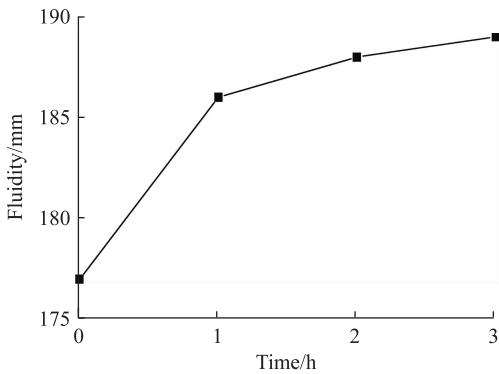


图10 土聚新拌物扩展度随硅酸钠溶液超声振荡时间变化曲线($f=28\text{ kHz}$)

Fig. 10 Variation of fluidity of GS with time of ultrasonic modification of SS

多,激发效果增强,进而使得土聚物抗压强度增加。

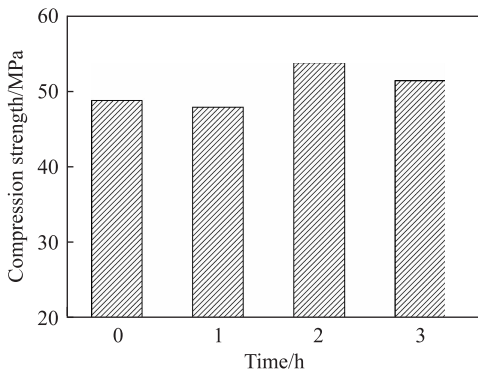


图11 土聚物抗压强度随硅酸钠溶液超声振荡时间变化($f=28\text{ kHz}$)

Fig. 11 Variation of compression strength of geopolymer with time of ultrasonic modification of SS

3 结论

(1)硅酸钠溶液属于牛顿型流体,而煅烧高岭土型土聚新拌物属于正触变性流体,高黏度但屈服应力值很低,因而工作性能,特别是和易性较差。

(2)硅酸钠溶液模数、质量分数、温度是影响其黏度的重要因素。升高温度,降低质量分数,有利于降低硅酸钠溶液黏度;但应注意,常温($18\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$)下硅酸钠溶液黏度随模数变化呈类“U”形,低模数时黏度反而增加,模数在2.2时黏度出现最小值;高于常温后,硅酸钠溶液黏度受模数的影响逐渐减小,直至不同模数的溶液黏度基本没有差别。

(3)当硅酸钠溶液处于完全解离的真溶液区域(模数小于1.8)时,模数的改变对土聚新拌物黏度的影响不大;当硅酸钠溶液处于水玻璃 SiO_2 聚合区域(模数大于2.2)时,模数的改变会显著影响土聚新拌物的黏度,硅酸钠溶液模数越高,土聚新拌物的

黏度越大。土聚新拌物与硅酸钠溶液的黏度均会随硅酸钠溶液质量分数的增加而增大,40%附近是硅酸钠溶液黏度的临界点。温度越高,硅酸钠溶液黏度越小,但土聚新拌物黏度由于存在土聚反应,在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右出现最小值。实际施工中为保证施工质量,应根据气温情况,适当调整配比或硅酸钠溶液的温度。

(4)利用超声改性方法可降低硅酸钠溶液黏度,增大土聚新拌物的扩展度以及提高土聚物的抗压强度,有利于土聚材料的施工。

参考文献:

- [1] DAVIDOVITS J., Geopolymers and geopolymeric materials [J]. Journal of Thermal Analysis, 1989(35):429-441.
- [2] 郭文瑛,文梓芸,殷素红,等.两种土壤聚合物碱激发剂的激发效果对比[J].华南理工大学学报:自然科学版,2007,35(8):103-108.
GUO Wen-ying, WEN Zi-yun, YIN Su-hong, et al. Contrastive investigation into activated effects of two alkalia activators on geopolymers [J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science, 2007, 35(8): 103-108. (in Chinese)
- [3] 郭文瑛.土壤聚合物功能材料的工艺参数,反应机理和专项性能的研究[D].广州:华南理工大学,2006.
GUO Wen-ying. Research on the technological parameters, reaction mechanism and special performances of geopolymeric functional material [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2006. (in Chinese)
- [4] SHROTRI K., Dynamic mechanical properties of geopolymer-polymer composites [D]. Rochester Institute of Technology, 2006.
- [5] ILER R K. The chemistry of silica: solubility, polymerization, colloid and surface properties, and biochemistry [M]. New York: Wiley-Interscience, 1979: 119.
- [6] 朱纯熙,卢晨,季敦生,等.水玻璃砂理论研究的六大成果[J].铸造,1999(10):55-59.
ZHU Chun-xi, LU Chen, JI Den-shen, et al. Six achievement of theoretical study of water-glass sand [J]. Foundry, 1999(10): 55-59. (in Chinese)
- [7] 赵芳霞,王娟利,刘琛,等.超声改性水玻璃及水玻璃型(芯)砂性能的改善[J].陕西工学院学报,1995,11(2):37-41.
ZHAO Fang-xia, WANG Juan-li, LIU Chen, et al. The feature of sodium-silicate modified by supersound and improving the properties of its sand [J]. Journal of shaanxi institute of technology, 1995, 11(2): 37-41. (in Chinese)
- [8] 何寿杰,哈静,王明云,等.超声化学在纳米材料制备中的应用[J].化学通报,2008(11):846-850.
HE Shou-jie, HA Jing, WANG Yun-ming, et al. Applications of sonochemistry in preparing nanosized materials [J]. Chemistry, 2008(11): 846-850. (in Chinese)