

基于长江疏浚砂碱激发矿粉砂浆基本力学性能试验研究

王卫^{1,*}, 姜毅¹, 吴斌¹

1. 南京理工大学泰州科技学院, 江苏 泰州, 225300

摘要: 以矿粉、粉煤灰、水玻璃, 长江疏浚砂等为原料制备了 16 组碱激发砂浆, 测试了砂浆流动度以及 3d, 7d, 28d 龄期的抗折和抗压强度值。研究结果表明碱激发砂浆的早期强度发展较快, 粉煤灰的掺入可以有效增加砂浆的流动度, 但是会降低砂浆的强度, 碱当量的增多可以有效提升砂浆的强度, 碱激发模数的增大可以提升砂浆的流动度与强度, 但会使得砂浆的凝结时间过短。砂浆流动度随着疏浚砂的增多呈现下降的趋势, 砂浆抗压和抗折强度随着疏浚砂的增多呈现先增大后降低的趋势, 其中疏浚砂的掺量为 30% 的时候, 28d 的抗折和抗压强度呈现最大值。

关键词: 疏浚砂; 碱激发; 砂浆; 流动度; 抗压强度

Experimental study on basic mechanical properties of alkali-activated mineral powder mortar based on dredged sand from the Yangtze River

Wang Wei^{1,*}, Jiang Yi¹, Wu Bin¹

1. Taizhou Institute of Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology Jiangsu
Taizhou 225300, China

Abstract: Sixteen groups of alkali-activated mortars were prepared using raw materials such as mineral powder, fly ash, water glass, and dredged sand from the Yangtze River. The fluidity of the mortar, as well as its flexural and compressive strength values at 3d, 7d, and 28d ages, were tested. The research results indicate that the early strength development of alkali-activated mortar is relatively rapid. The incorporation of fly ash can effectively increase the fluidity of the mortar, but it reduces its strength. An increase in alkali equivalent can effectively enhance the strength of the mortar, and an increase in alkali-activated modulus can improve both the fluidity and strength of the mortar, but it can make the setting time of the mortar too short. The fluidity of the mortar tends to decrease with an increase in dredged sand content, while the compressive and flexural strengths of the mortar first increase and then decrease with an increase in dredged sand content. When the dredged sand content is 30%, the compressive and flexural strengths at 28d reach their maximum values.

Keywords: Dredged sand ; Alkali excitation mortar ; Fluidity ; Compressive strength

为了保证航道的正常通行, 航道部门会对航道进行大规模的清淤疏浚以改善通航能力^[1]。在疏浚工程实施的同时将产生大量疏浚砂土, 由于疏浚砂土中细粉砂居多, 更加难以利用, 对于这些疏浚砂如果采用传统的水抛方式处理^[2-4], 会对河流以及海洋生态环境以及水生态环境产生一定负面影响。合理处理这些疏浚砂, 不仅可减轻对环境的影响, 有着可观的经济效益, 从可持续发展角度, 也有着深远的现实意义和社会意义。碱激发材料是以活性硅铝酸盐作为原材料, 在碱性条件下生产的具有胶凝性的材料, 可以减少水泥的需求量, 降低碳排放, 已经成为具有发展潜力的绿色低碳胶

凝材料之一。鉴于此，本文利用长江疏浚砂制备了碱激发砂浆，研究碱当量，水玻璃细度模数，粉煤灰掺量，疏浚砂的掺量等因素对于碱激发砂浆性能的影响，研究成果可以为碱激发砂浆以及疏浚砂的工程应用的规范的建立提供依据。

1 试验材料及方法

1.1 原材料

试验中使用的矿粉为 S95 型，碱激发剂采用液体水玻璃，模数为 3.4，试验中采用 NaOH 调节水玻璃模数。砂为机制砂，细度模数为 3.19，级配良好，疏浚砂来源于泰州高港段，细度模数为 0.62。

1.2 试验方法

试验试件采用的尺寸是 40mm×40mm×160mm，将试验材料称量之后，按照规范《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》使用搅拌机进行搅拌，搅拌后进行砂浆的流动测试。砂浆流动度试验后，进行装模振捣密实成型，脱模后在标准养护条件下养护至规定龄期后进行砂浆抗折和抗压强度实验。

1.3 试验配合比设计

本次试验采用碱激发矿粉和矿粉+粉煤灰作为胶凝材料体系，胶凝材料用量为 400kg/m³。碱溶液作为液相成分加入砂浆中，水玻璃碱当量为 4%，4.5%，5.0%，5.5%，激发剂模数为 0.75，1.0，1.25 和 1.5，水灰比采用 0.45，疏浚砂掺量为 10%，20%，30%，40%，50%，具体试验配合比以及流动度测试结果见表 1 所示。

表 1 试验配合比设计及流动度测试结果
Table 1 Experimental mix ratio design and fluidity test results

序号	FA 质量 (kg/m ³)	碱当量	激发剂 模数	矿粉 (kg/m ³)	砂 (kg/m ³)	疏浚砂掺量 (kg/m ³)	砂浆流动度 (cm)
1	0	5%	1.0	400	724	0	15
2	60	5%	1.0	360	724	0	18
3	120	5%	1.0	280	724	0	21.5
4	180	5%	1.0	220	724	0	25
5	240	5%	1.0	160	724	0	28
6	120	4%	1.0	280	724	0	21
7	120	4.5%	1.0	280	724	0	20
8	120	5%	1.0	280	724	0	20
9	120	5.5%	0.75	280	724	0	19
10	120	5%	1.25	280	724	0	22.5
11	120	5%	1.5	280	724	0	24
12	120	5%	1.0	280	654.6	72.4	20.5
13	120	5%	1.0	280	579	144.8	20
14	120	5%	1.0	280	506.8	217.2	18
15	120	5%	1.0	280	434.4	289.6	17.5
16	120	5%	1.0	280	362	362	17

2 试验结果及分析

2.1 粉煤灰掺量对砂浆的性能影响

试验以矿粉基砂浆作为对照组，粉煤灰取代矿粉的取代率为 0%、15%、30%、45%和 60%，碱当量为 5%，水玻璃的模数为 1.0，疏浚砂掺量为 0%。

流动度结果显示随着粉煤灰的用量增多，砂浆流动度不断增大，其中不掺粉煤灰时砂浆流动度

最小为15cm, 粉煤灰掺量为60%时, 流动度达到28cm, 粉煤灰掺量增加15%, 流动度增加3cm, 这是由于粉煤灰的颗粒呈现圆珠颗粒状, 粉煤灰用量的增多, 粉煤灰的微珠滚动润滑使得胶砂的流动度不断增大。

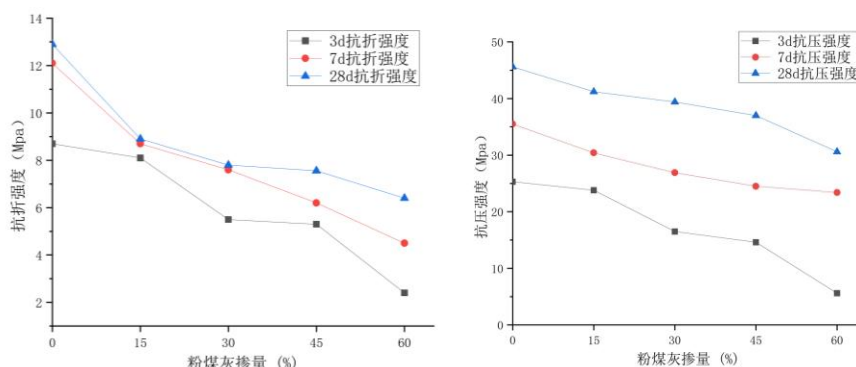


图1 粉煤灰对碱激发砂浆抗折和抗压强度的影响

Fig. 1 Effect of fly ash on flexural and compressive strength of alkali-excited mortar

图1显示砂浆的抗折强度和抗压强度随着粉煤灰掺量的增加呈现下降趋势, 并且砂浆的早期强度较高。当粉煤灰的取代率小于30%时, 粉煤灰的用量增加15%, 砂浆的28d抗压强度损失率为9%-10%。当粉煤灰取代率为30%时, 与不掺粉煤灰的纯矿粉组相比较, 其28d的抗压强度损失了13%。然而当粉煤灰的取代率为60%时, 砂浆的28d强度只有30.6MPa, 较取代率为30%时抗压强度下降了23%, 可以发现当粉煤灰取代率超过45%时, 砂浆的抗压强度下降幅度明显增大。这是因为粉煤灰中的玻璃体的解聚能力是比较弱的, 其被激发的能力是远远弱于矿粉系的。因此在水化前期, 主要参与水化反应的是矿粉并生成C-S-H凝胶, 粉煤灰基本不参与水化反应, 而水化反应的主体是矿粉, 并且水化反应后可以生成C-S-H凝胶, 粉煤灰主要在水化反应后期参加反应产生C-A-S-H和N-A-S-H, 增加后期的砂浆强度。

2.2 碱当量对砂浆的性能影响分析

本次设计的碱当量为4%, 4.5%, 5%以及5.5%, 其中粉煤灰的取代率为30%, 激发剂模数为1.0, 实验结果见图2所示。

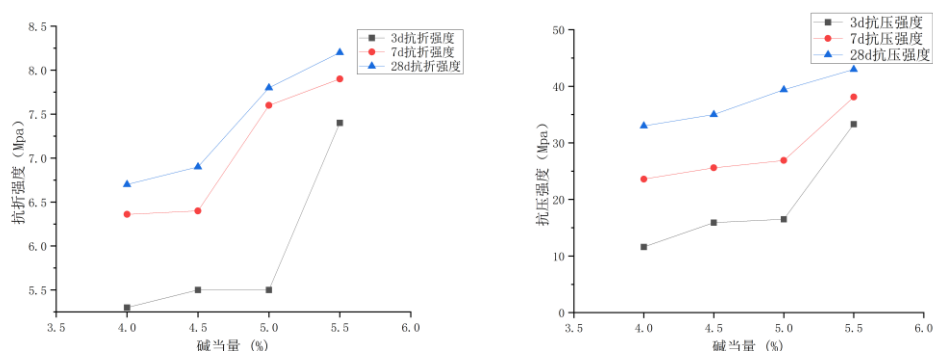


图2 碱当量对碱激发砂浆抗折和抗压强度的影响

Fig. 2 Effect of alkali equivalent on flexural and compressive strength of alkali-excited mortar

流动度测试结果显示碱当量对于砂浆的流动度影响较小, 图2显示随着碱含量的增多, 砂浆的抗折和抗压强度呈现增大的趋势, 并且砂浆的早期强度较高。其中砂浆的28d抗压强度最低为碱当量为4%时, 抗压强度为33MPa, 最高为碱当量为5.5%时, 抗压强度为43MPa。这是因为水玻璃水解产生OH⁻与含水硅胶, 其中OH⁻离子会破坏矿粉和粉煤灰的表面, 其中当粉煤灰和矿粉的表面受到

OH-的破坏后会释放出硅氧和铝氧四面体进而进一步发生聚合反应增强碱激发水化体系。当碱浓度增加的时候,溶液中的 Na_2O 的含量会增多,溶液中的 OH-的含量也会增多,会进一步破坏矿粉和粉煤灰的表面,同时溶液中的 SiO_2 含量也会增多,因此 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 数量也会增多,使得砂浆的聚合反应得到加强,砂浆强度呈现上升的趋势。

2.3 激发剂模数对砂浆的性能影响分析

本次试验中采用的激发剂模数为 0.75, 1.0, 1.25 以及 1.5, 粉煤灰的替代率为 30%, 具体试验结果见图 3 所示。

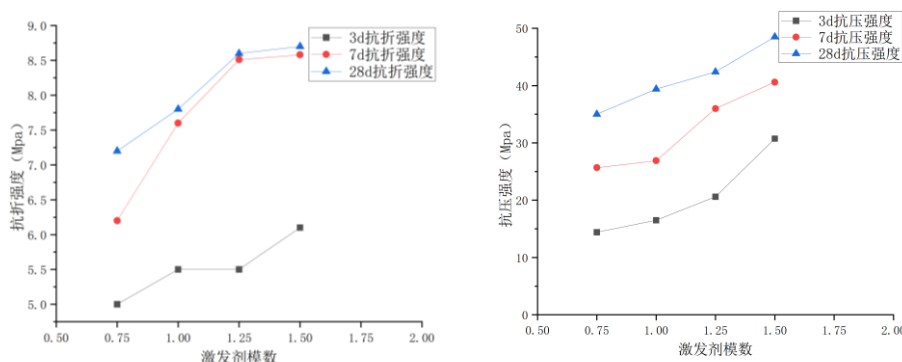


图3 碱激发模数对于砂浆抗折和抗压强度的影响

Fig. 3 Effect of Alkali Excitation Modulus on Flexural and Compressive Strength of Mortar

由图 3 显示的结果可以发现,随着碱激发模数的增大,砂浆的流动度呈现增长趋势。其中最小为碱激发模数 0.75 时,流动度为 19cm,当碱激发模数为 1.5 时,流动度为 24cm。由图 3 显示随着碱激发模数的增大,砂浆的抗折和抗压强度都逐渐增大,并且早期强度较高,当激发剂模数为 1.0 和 1.5 的时候,7d 的抗折强度已经接近 28d 的抗折强度。其中碱激发模数增加 0.25,砂浆 28 天抗压强度增加 4MPa-6MPa。主要原因是因为在本次试验中粉煤灰的掺量较少,因此在水化前期提供强度和参与反应的以矿粉为主,因此砂浆强度的发展规律是与矿粉一致的。

2.4 疏浚砂的掺量对砂浆的性能影响分析

本次试验以疏浚砂的代替机制砂来拌合砂浆,设计了 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%六组不同的掺量,具体试验结果见图 4 所示。随着疏浚砂的掺量的增多,砂浆的流动度是下降的,疏浚砂的掺量增加 10%,砂浆流动度下降 0.5-1.5cm。这是由于本次疏浚砂的细度模数为 0.62,颗粒多集中与 0.15mm 这一粒径,随着疏浚砂的掺量越来越多,混合砂的整体比表面积是增大的,因此需要的更多的胶凝材料来包裹砂的表面,砂浆流动度不断下降。

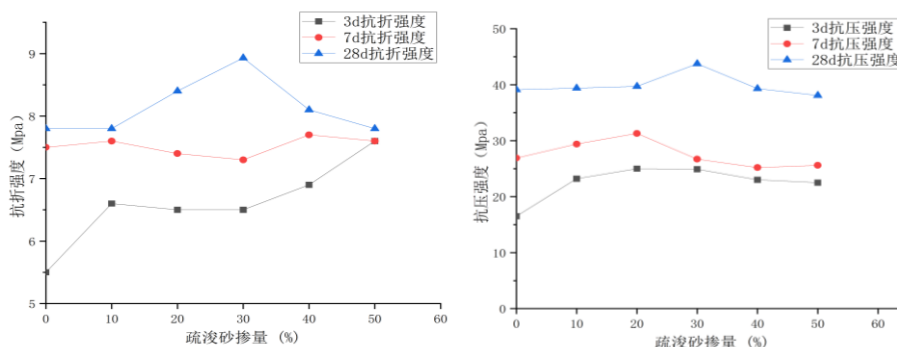


图4 疏浚砂的掺量对砂浆的抗压强度的影响

Fig. 4 Effect of Dredging Sand Addition on Compressive Strength of Mortar

图4显示随着疏浚砂掺量的增多,3d的抗折强度呈现逐渐上升的趋势,7d的抗折强度变化较为平缓,均在7.3MPa-7.6MPa之间。而28d的抗折强度呈现先上升后下降的趋势,其中当疏浚砂的掺量为30%的时候,其抗折强度最大,为8.93MPa。比较3d、7d和28天的抗折强度,也可以发现其早期的抗折强度是发展较快的,后期抗折强度发展较慢。而砂浆的抗压强度随着疏浚砂的掺量增多呈现先上升后下降的趋势,对比其3d、7d和28天的抗压强度,其早期强度发展较快,后期强度发展较慢,其中当疏浚砂掺量为30%的时候,28d的抗压强度呈现最大值,为43.75MPa,而疏浚砂掺量为0的时候,砂浆抗压强度为39.1MPa,疏浚砂掺量为50%的时候,砂浆抗压强度为38.1MPa。这是由于疏浚砂的颗粒较小,主要集中于0.15mm,在掺入后可以有效填充粗骨料与细骨料之间的孔隙,可以减少试件的孔隙率,使得强度有所提升,但是随着疏浚砂的掺量增多,骨料的比表面积不断增大的,因此所需的胶凝材料的用量越来越多,若胶凝材料用量不足,则其不足以包裹骨料的表面,因此强度也是不断下降的。

3 结论

(1) 试验结果表明,碱激发砂浆的流动度随着粉煤灰的掺量的增大而增大,但是抗压和抗折强度是随着粉煤灰的掺量增大而减小,并且其28天的抗折和抗压强度下降呈现非线性关系。

(2) 碱当量的变化对于碱激发砂浆的流动度影响不大,但是随着碱当量的变化,其抗压与抗折强度不断增加。

(3) 随着激发剂模数的增大,碱激发砂浆的流动度不断增大,其28d抗折和抗压强度也不断增加。

(4) 随着疏浚砂的掺量增多,流动度不断下降,但其抗压和抗折强度随着疏浚砂的增多呈现先增大后降低的趋势,因此适当的疏浚砂掺入可以较小砂浆硬化后的孔隙,本次试验当疏浚砂的掺量为30%的时候,抗折和抗压强度呈现最大值。

参考文献

- [1] 江朝华,李智成,方佳敏等.废弃疏浚沙土固化利用研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2020,39(12):111-116+129.
- [2] 罗文东,臧英平,汤徐伟,诸裕良,江朝华.航道整治废弃超细砂高强砂浆力学性能试验研究[J].中国水运(下半月),2019,19(10):144-146.
- [3] 赵德招,刘杰,吴华林等.长江口疏浚物处置问题探讨[J].水运工程,2013, (11):12-17.
- [4] 张亮亮,秦拥军,李慧鹏,刘雪梅.关于特/超细砂混凝土研究现状及发展前景的思考[J].混凝土,2023, (2):62-65.

项目基金: 南京理工大学泰州科技学院校内科研项目 (2024lgyb04); 江苏省大学生创新项目: (202413842025Y)

1.*第一作者&通讯作者简介: 王卫(1986-),男,硕士,讲师。研究方向:新型建筑材料。

E-mail:wangwei_njusttz@163.com