

文章编号:2095-7386(2019)06-0044-05

DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2019.06.009

地聚合物砂浆早期力学性能的影响因素分析

张同同,刘杰胜,付弯弯,石淦汛

(武汉轻工大学 土木工程与建筑学院,湖北 武汉 430023)

摘 要:为了提高地聚合物砂浆的早期强度,采用对照试验,研究了水泥掺量、碱激发的模数以及激固比三个方面对地聚合物砂浆的早期力学性能的影响。研究表明,通过调节这三个因素的比例可以有效地提高地聚合物的早期强度,在水泥掺量为40%、水玻璃模数为1.6、激固比为0.25时,地聚合物早期力学性能最佳。本文为地聚合物用于快速修补材料的研究提供了理论依据。

关键词:偏高岭土;地聚合物;水玻璃;激固比;早期力学性能

中图分类号:TU 528.41

文献标识码:A

Analysis of influencing factors on early-age mechanical properties of geopolymer

ZHANG Tong-tong, LIU Jie-sheng, FU Wan-wan, SHI Bo-Xun

(School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: To improve the early strength of geopolymer mortar, using the method of controlled experiment, the effects of cement content, alkali-excited modulus and ignition ratio on the early-age mechanical properties of geopolymer mortar were studied systematically. The results showed that by adjusting the proportion of these three factors, the early-age strength of geopolymer could be improved effectively. In the range of this test, when the cement content is 40%, the soil-glass modulus is 1.6 and the excitation-solid ratio is 0.25, and the early mechanical properties of geopolymers are the best. This paper provides a theoretical basis for the study of geopolymer rapid repair materials.

Key words: metakaolin; geopolymer; sodium silicate; excitation-solid ratio; early-age mechanical properties

1 引言

相比于普通硅酸盐水泥,地聚合物(Geopolymer)是一种新型的胶凝材料^[1]。1978年,法国科学家J·Davidovits率先提出这个概念:地聚合物是一种由硅铝材料和碱性激发剂混合反应形成的高分子材料^[2]。一般情况下,制备地聚合物的材料有很

多,最常见的是偏高岭土和粉煤灰,后来随着研究的不断深入,制备地聚合物的材料也就越来越多,而这些材料又是其他产业的废弃物,如高炉矿渣粉、钢渣、尾矿以及硅灰等^[3]。地聚合物的许多性能优于传统的硅酸盐水泥,具有凝结时间快、耐久性能好等优点^[4],而且制作成本低、施工工艺简单^[5]。普通硅酸盐水泥制备过程复杂,而制备地聚合物仅需水

收稿时间:2019-10-22.

作者简介:张同同(1995-),男,硕士研究生,E-mail:zt684226@163.com.

通信作者:刘杰胜(1980-),男,副教授,E-mail:ljs628@163.com.

基金项目:国家自然科学基金青年基金(51409203);武汉轻工大学校立科研项目(2018Y05).

泥施工工艺的 60% 左右^[6]。水泥在制备过程中会释放大量的 CO₂,而制备地聚合物释放出的 CO₂ 则会减少 80%^[7]。地聚合物的主要材料符合现在绿色环保、可持续发展的国策。

地聚合物用作快速修补材料必须具备快硬早强的物理性能要求,因此,早期力学性能是衡量地聚合物材料的一项重要指标,为其用于实际工程提供理论依据。目前有关偏高岭土地聚合物早期强度性能的研究较少^[8],为了解决这个问题,笔者主要研究了偏高岭土地聚合物砂浆早期力学性能的影响因素,三个变量分别为水泥掺量、水玻璃的模数以及激固比(碱性激发剂与制备地聚合物的胶凝材料的

质量比)。通过分别测试地聚合物砂浆在 8 h、1 d 和 3 d 的抗折抗压强度,分析地聚合物砂浆早期强度的变化规律,确定最优的配合比。研究对提高地聚合物砂浆的早期强度进行了探讨分析,便于其早日应用于道路以及建筑等实际工程中。

2 试验

2.1 原材料

偏高岭土:本次试验所用的偏高岭土均采用山西琚丰新材料科技有限公司生产的煅烧高岭土,其各项性能均符合 GB/T 14563—2008 等有关规范。成分及含量如表 1 所示:

表 1 偏高岭土成分及含量

化学成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
指标 (%)	≤55	>42	<0.5	<0.5	<0.5	<0.3	<0.3	<0.3
含量 (%)	53.25	43.95	0.24	0.42	0.24	0.23	0.17	0.07

水泥:试验所用水泥均采用华新水泥厂生产的 P·O 42.5 普通硅酸盐水泥,其各项性能均符合 GB 175—2007 等有关规范。

砂:试验所用砂均为标准砂,其各项性能均符合 JGJ 52—2006 等规范。

水玻璃各成分的参数如表 2 所示:

表 2 水玻璃相关参数

参数	化学成分及含量		波美度	模数
	二氧化硅	氧化钠		
指标	≥26.0	≥8.0	38~40	3.1~3.4
实际结果	27.45	8.55	39	3.2

氢氧化钠:纯度不小于 96%。

水:试验所用水均为满足试验规范要求的自来水。

2.2 碱性激发剂的制备

将一定质量的氢氧化钠(NaOH)溶于水玻璃中,所得到的混合物就是碱性激发剂。根据不同的需求配置不同模数的碱性激发剂。由于试验为测试地聚合物的早期强度,所以碱性激发剂制作完成后直接备用。

2.3 地聚合物砂浆的制备

本次试验主要研究水泥掺量、水玻璃的模数以及激固比对地聚合物早期力学性能的影响。试验中所采用的水灰比为 0.4,胶砂比为 1.5,水泥掺量分别为 20%、30%、40%、50%,水玻璃的模数分别为 1.4、1.5、1.6、1.7,激固比分别为 20%、25%、30%、35%。

将称好的偏高岭土和水泥加入搅拌锅中,搅拌均匀后加入碱激发剂和水拌制成地聚合物净浆,然后加入标准砂,将搅拌完成后的地聚合物砂浆装入模具(40 mm×40 mm×160 mm)中,在振捣台振捣 60 次,刮掉多余砂浆,抹平。待其凝结硬化之后拆模,放入养护箱进行恒温(20±2℃)恒湿(相对湿

度大于 50%)养护。分别测试试块在养护了 8 h、1 d、3 d 的力学性能,然后根据数据来分析地聚合物砂浆早期力学性能的影响因素,得出最优配合比。

2.4 力学性能测试

地聚合物的力学性能包括抗折强度和抗压强度。地聚合物的抗折强度是指其单位面积内承受弯矩时的极限折断应力,抗压强度是指外力施压时的强度极限,这两个强度性能是材料用于结构必须测定的重要指标^[9]。抗折强度以及抗压强度的大小与水泥产量、水玻璃的模数以及激固比的含量有很大的关系。

2.4.1 抗折强度

根据 GB/T 17671—1999《水泥胶砂强度检测方法(ISO 法)》,试验过程中抗折强度 f_b 的计算公式如下:

$$f_b = 1.5 Pl/b^3$$

式中 f_b 为试验过程中试块所承受的荷载,单位为 N; l 为试块下端两个支点之间的距离,单位为 mm; b 为棱柱体正方形截面的边长,单位为 mm。

2.4.2 抗压强度

根据 GB/T 17671—1999《水泥胶砂强度检测方法(ISO 法)》,抗压强度 $f_{m,cu}$ 的计算公式如下:

$$f_{m,cu} = N_u / A$$

式中 $f_{m,cu}$ 为地聚合物砂浆试块所受荷载,单位为 N ; A 为受力面积,单位为 mm^2 。

3 结果与分析

3.1 水泥掺量

如图 1 和图 2 所示,当水泥掺量的范围在 20% ~ 50% 之间时,地聚合物砂浆的抗折强度与抗压强度呈现相同的变化规律:水泥掺量小于 40% 时,随着水泥掺量的增多,强度逐渐增大;掺量大于 40% 时,随着水泥掺量增多强度反而降低。当水泥掺量为 40% 的时候,地聚合物砂浆的早期力学性能最佳。8 h 的最高抗折和抗压强度分别为 3.63 MPa 和 13.83 MPa,1 d 的最高抗折和抗压强度为 4.32 MPa 和 23.51 MPa,3 d 的最高抗折和抗压强度分别为 5.78 MPa 和 34.74 MPa。综合地聚合物砂浆强度的变化曲线可以发现,水泥掺量在 20% ~ 50% 之间时,最佳掺量为 40%。

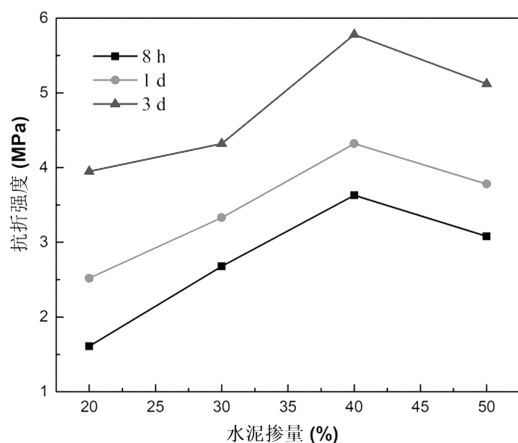


图 1 抗折强度变化图

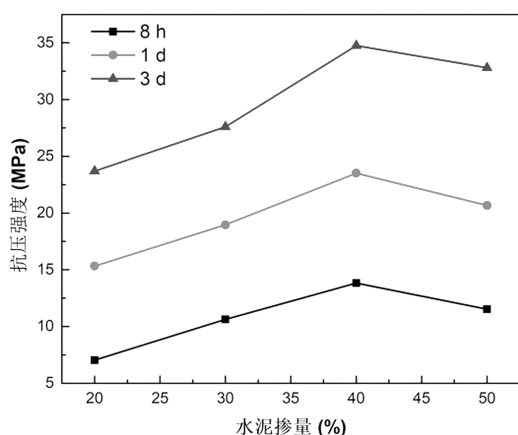


图 2 抗压强度变化图

在偏高岭土基聚合物制备过程中掺入水泥是为了加速试块的凝结硬化,水泥中的成分主要为硅酸盐,这些成分在遇水时极易发生水化反应。在地聚合物成型养护的过程中,由于偏高岭土的分子活性较高,这些分子会与水泥的水化产物 $Ca(OH)_2$ 发生一种火山灰反应,产生许多含有钙离子的盐^[10],如水化硅酸钙($C-S-H$)、水化铝酸钙($C-A-H$)以及水化硅铝酸钙($C-A-S-H$)等,这些产物使砂浆内部的孔径细化,从而提高了地聚合物砂浆的早期力学性能^[11]。如果加入的水泥较多,偏高岭土就会相对较少,火山灰反应完成后,多余的水泥会影响偏高岭土自身在碱性环境中的反应,从而降低了地聚合物早期的强度^[12]。这也证明了水泥掺量在 20% ~ 50% 时,40% 的掺量能有效提高试件的早期力学性能。

3.2 水玻璃模数

如图 3 和图 4 所示,水玻璃的模数在 1.4 ~ 1.7 之间时,地聚合物的抗折强度和抗压强度都随着模数的增长呈现出先增长后下降的趋势。当水玻璃模数在 1.4 ~ 1.6 之间时,地聚合物砂浆的强度随着水玻璃模数的增长而增长;当水玻璃模数大于 1.6 时,地聚合物的强度反而逐渐下降。由图可知,在其他因素不变的情况下,水玻璃模数为 1.6 时,地聚合物的力学性能最好。8 h 的最高抗折和抗压强度分别为 3.58 MPa 和 13.67 MPa,1 d 的最高抗折和抗压强度分别为 4.33 MPa 和 23.32 MPa,3 d 的最高抗折和抗压强度分别为 5.94 MPa 和 33.46 MPa。

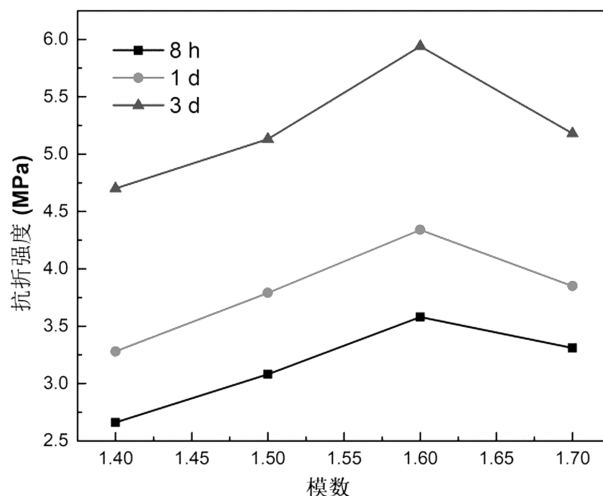


图 3 抗折强度变化图

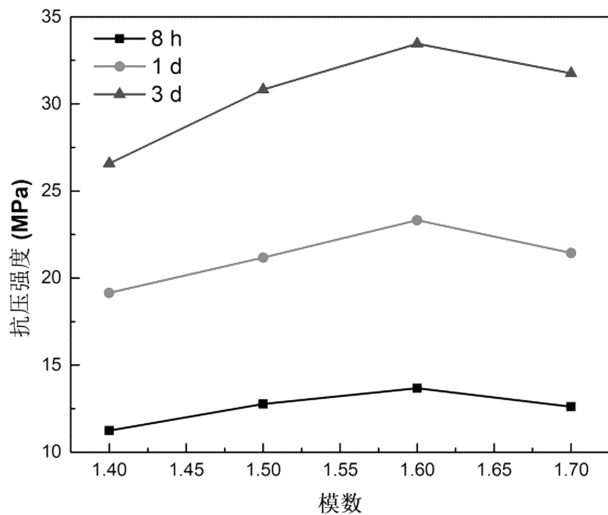


图4 抗压强度变化图

水玻璃的模数对地聚合物早期力学性能的影响出现这种先增长后下降的情况,主要是和偏高岭土在碱性环境中发生的化学反应有关。用 NaOH 调配水玻璃的模数时,加的 NaOH 越多模数越小,即水玻璃模数越小碱性越高。当水玻璃模数小于 1.6 时,水玻璃模数的增长有利于偏高岭土中的 —O—Si—O—Al—O— 链先发生解聚,生成 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 四面体和 $[\text{AlO}_4]^{5-}$ 四面体^[13],然后发生聚合反应形成新的 —O—Si—O—Al—O— 链,组成一种三维的网状结构,从而使地聚合物的早期强度较高^[14]。当水玻璃模数大于 1.6 时,碱性逐渐降低,偏高岭土的解聚反应变慢,同时由于水玻璃模数较高,单体 $[\text{SiO}_4]$ 的含量较多,这会影响地聚合物的聚合反应,使得地聚合物的早期强度逐渐下降^[15]。当水玻璃模数为 1.6 时,偏高岭土发生化学反应的环境适宜,能加快自身的解聚和聚合,提高了地聚合物砂浆的早期强度。

3.3 激固比

如图 5 和图 6 所示,激固比为 0.2~0.35 时,地聚合物砂浆强度的变化规律如下:激固比小于 0.25 时,抗折抗压强度随着激固比增大而增大;激固比大于 0.25 时,抗折抗压强度随着激固比的增大反而出现下降趋势。由图可知,地聚合物砂浆的最佳激固比为 0.25,这时偏高岭土地聚合物砂浆的早期性能最好。8 h 的最大抗折和抗压强度分别为 3.71 MPa 和 14.35 MPa,1 d 的最大抗折和抗压强度分别为 4.46 MPa 和 24.25 MPa,3 d 的最大抗折和抗压强度分别为 5.98 MPa 和 34.87 MPa。

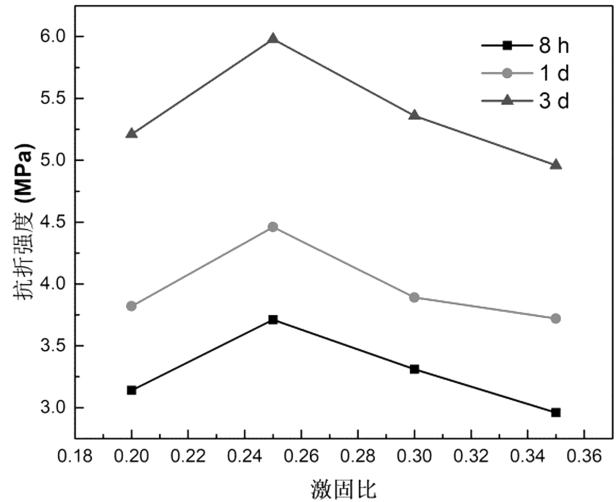


图5 抗折强度变化图

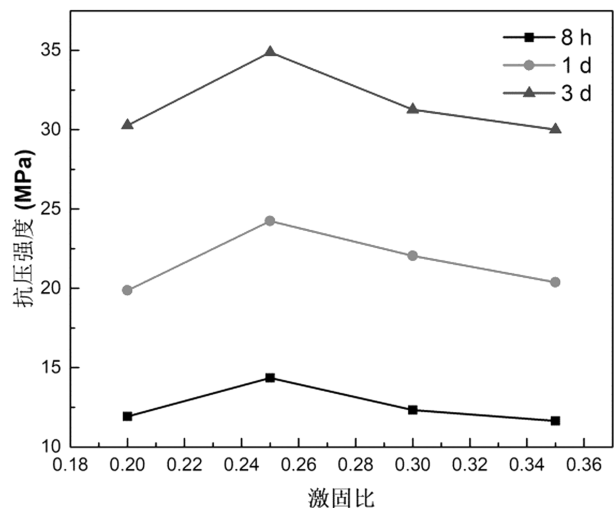


图6 抗压强度变化图

激固比的大小对于偏高岭土地聚合物砂浆早期强度的影响十分显著。当激固比低于 0.25 时,随着激固比的不断增大,碱含量由低到高,增加了混合后的碱度,促使偏高岭土发生解聚和聚合反应。激固比越大,地聚合物所处的碱性环境范围就越广,这为偏高岭土中的活性分子发生解聚提供了优越的条件,让其更易形成凝胶物质,降低试块的孔隙率,使地聚合物内部结构排列紧密^[16],从而提高了地聚合物砂浆的抗折和抗压强度。而当激固比大于 0.25 时,随着激固比的不断增大,地聚合物力学强度有所下降,这主要是因为碱含量过高不仅不会对偏高岭土的反应起到促进作用,还会对这个反应有一定的抑制作用^[17]。激固比越大,使得偏高岭土反应完成后,碱激发未能完全参与反应,从而降低了地聚合物的早期力学性能。

4 结论

笔者主要研究了偏高岭土基聚合物砂浆早期强度的影响因素,采用对照试验的方法,将水泥掺量、水玻璃模数以及激固比分别作变量来分析它们三个因素对偏高岭土基聚合物的作用机理。试验研究发现,水泥掺量、水玻璃模数以及激固比三个因素对偏高岭土基聚合物的早期强度影响规律大致相同,都呈现出先增大后减小的趋势,其最优配合比是水泥掺量为30%、水玻璃模数为1.6、激固比为0.25。在此配比下,偏高岭土分子活性最高,化学反应条件最适宜,地聚合物早期力学性能最好。实验通过调节水泥掺量、水玻璃模数以及激固比三个变量,确定了地聚合物砂浆早期强度最高的配合比,大大提高了地聚合物砂浆的早期强度。

本次试验探究了地聚合物砂浆的早期力学性能,为以后地聚合物用于修补材料提供了新的思路,同时这也是新型建筑材料开发与应用的一个新方向,为提高地聚合物早期强度提供了新的方法。

参考文献:

- [1] 杜保聪,张鸣,杨鼎宜,等.地聚合物材料研究与应用现状[J].四川建材,2018,44(12):38-41.
- [2] 刘路路,范凤英,郭鑫鑫.关于地质聚合物的综述[J].四川水泥,2019,(04):311.
- [3] Hongling Wang, Haihong Li, Fengyuan Yan. Synthesis and mechanical properties of metakaolinite-based geopolymer[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2005, 268(1): 1-6.
- [4] 焦向科,徐晶,严群,等.地聚合物的制备及其在性能增强方面的研究进展[J].硅酸盐通报,2015,34(08):2214-2220.
- [5] 马腾博,杨旭彤,张小会,等.地聚合物胶凝材料的研究进展[J].粘接,2015,36(10):90-93.
- [6] 薛彩红,孙丙岩,缪轶,等.偏高岭土基聚合物制备及性能研究[J].非金属矿,2014,37(01):19-21.
- [7] 孙道胜,王爱国,胡普华.地质聚合物的研究与应用发展前景[J].材料导报,2009,23(07):61-65.
- [8] 马强,张锋.地聚合物路面快速修补材料的研究与应用[J].公路交通科技:应用技术版,2019,15(02):4-5.
- [9] 刘杰胜,周梦林,胡秋锦,等.钠基膨润土改性水泥砂浆制备与基本性能研究[J].武汉轻工大学学报,2017,36(04):45-47,90.
- [10] 陈迎晓,彭小芹,王淑萍,等.水泥熟料对偏高岭土基聚合物凝结硬化性能的影响[J].混凝土,2019,(05):81-84.
- [11] 张云升,孙伟,贾艳涛,等.用IR探索地聚合物水泥硬化产物的组成和结构[J].武汉理工大学学报,2005,(11):31-34.
- [12] 校云鹏,赵媛莉,校云超,等.聚合物水泥复合材料的水化机理研究[J].广东化工,2015,42(02):79-80,71.
- [13] 何卓名,邹家强,刘爱华,等.水玻璃模数对偏高岭土基聚合物物理力学性能的影响[J].广东公路交通,2017,43(04):6-10,19.
- [14] 常利,艾涛,延西利,等.地聚合物水泥路面快速修补材料性能研究[J].武汉理工大学学报,2014,36(05):49-54.
- [15] 付兴华,陶文宏,孙凤金.水玻璃对地聚物胶凝材料性能影响的研究[J].水泥工程,2008,(02):6-9,28.
- [16] 彭晖,崔潮,蔡春声,等.激发剂浓度对偏高岭土基聚合物性能的影响机制[J].复合材料学报,2016,33(12):2952-2960.
- [17] 陈潇,王杰,朱国瑞,等.地聚合物力学性能主要调控因素的研究综述[J].硅酸盐通报,2017,36(09):2994-3002.