**素烧陶瓷粉基地质聚合物性能研究**

刘庆欣，张强\*，刘博，张诗嘉，吕雪杰

(沈阳建筑大学 材料科学与工程学院，沈阳，110168）

**摘要：**本文主要研究了以素烧陶瓷粉、粉煤灰和矿粉为原材料，在水玻璃模数、矿粉与粉煤灰比值、碱当量、矿物掺合料的含量不同的情况下，对地质聚合物强度的影响。试验采用控制变量法，调控原料组成的不同。结果显示：随着水玻璃模数增大，地聚物强度先升高后降低，1.4时最好；随着矿粉与粉煤灰比值的增大，地聚物强度先升高后降低，最佳矿粉与粉煤灰比值为7:3；随着碱当量的增大，地聚物强度先增加后降低，在8%时最好；随着素烧陶瓷粉的掺量增大，地聚物强度先增大后减小，在80%时最好。

**关键词：**地质聚合物 素烧陶瓷粉 抗压强度

**Abstract：**This paper mainly studies the change of geopolymers’ strength based on ceramic waste, fly ash and slag，under different conditions of water glass modulus, ratio of mineral powder to fly ash, alkali equivalent and mineral admixture. The test uses a controlled variable method to regulate the composition of the raw materials. The results show that as the modulus of water glass increases, the strength of the geopolymer first increases and then decreases, which is best at 1.4. As the ratio of slag to fly ash increases, the strength of the geopolymer first increases and then decreases. The best ratio of slag to fly ash is 7:3. As the alkali equivalent increases, the strength of the geopolymer first increases and then decreases, which is best at 8%. As the amount of ceramic waste is increased, the strength of the geopolymer first increases and then decreases, and the strength is maximized at 80%.

**Keywords:** geopolymer, ceramic waste, compressive strength

**1引言**

地质聚合物是使用碱性激发剂激发具有火山灰活性或者潜在水硬性的原料制得的一种新型胶凝材料。它的主要的成分有偏高岭土、粒化高炉矿渣、粉煤灰等。具有投资小、生产工艺简单、不需要煅烧的特点。相较于硅酸盐水泥，其具有成本低、市场广、充分利用工业废料如矿渣、粉煤灰等的优点。引起了绿色建材方向研究人员的广泛注意。

地质聚合物的概念在70年代末由J.Davidovits首次提出[1,2]。目前，地质聚合物的制备方法中所用原材料种类繁多（偏高岭土、矿渣、硅灰、粉煤灰、素烧陶瓷粉等），大多数的研究都是以偏高岭土和粉煤灰为主要原料。八十年代，地质聚合物获得较大的发展，法国科学家采用碳化纤维、玻璃纤维、碳纤维来增强地质聚合物，它的抗弯强度达到了140MPa，175MPa，210MPa。90年代，法国的DavidovitsJ将偏高岭土与一定的碱液混合进行搅拌，并将凝结硬化后所形成的物质称为土壤聚合物[3]。2007年Daniel L.Y.Kong等，在对偏高岭土地质聚合物暴露在高温下性能影响因素的研究中发现，硅/铝比对暴露在高温下性能的损失具有重大影响[4]。

本文采用素烧陶瓷粉、矿粉、粉煤灰为主要原料，低模数水玻璃为碱激发剂，来制备地质聚合物净浆试件，测定其3d、7d、28d抗压强度，探究素烧陶瓷粉基地质聚合物最佳原材料配比组成、激发条件及成型区域。

**2 实验**

2.1实验原材料及仪器

2.1.1 实验原材料

矿渣为鞍山钢铁股份有限公司生产的粒化高炉矿渣。粉煤灰产自宁夏银川地区。素烧陶瓷粉是指800℃下烧得的未施釉的陶瓷胚料经破碎磨细所得，粒径为0.3mm以下。矿渣、粉煤灰、素烧陶瓷废粉成分如表2-1所示。碱性激发剂为氢氧化钠和工业硅酸钠的复合剂，NaOH为国药集团生产的分析纯NaOH，纯度在

95%以上；水玻璃为沈阳方达化工厂生产的市售水玻璃，固含量为36%。

表2-1 矿渣、粉煤灰、素烧陶瓷废粉主要化学组成%

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 化学组成 | SiO2 | Al2O3 | MgO | K2O | Fe2O3 | CaO |
| 矿渣 | 35.0 | 16.2 | 17.4 | - | - | 31.4 |
| 粉煤灰 | 48.5 | 28.3 | 2.4 | 3.9 | 6.4 | 5.5 |
| 素烧陶瓷 | 62.09 | 34.33 | 0.45 | 0.69 | 1.43 | - |

2.1.2 实验仪器

本试验所使用的主要仪器为RGM-100A型微机控制电子万能试验机产自深圳市瑞格尔仪器有限公司。

2.2地质聚合物净浆的制备

按设计的配比，用小塑料盘称量所用的偏高岭土、矿渣、粉煤灰、素烧陶瓷粉、水玻璃、NaOH和水；将称好的NaOH立即加入水玻璃溶液中，加入少量称量的水，用铁棒搅拌均匀；用铁棒一边搅拌原料，一边倒入已冷却至室温的碱激发溶液，在搅拌的过程中，再把剩余的水缓缓加入其中，待均匀混合后停止搅拌；搅拌好的浆体倒入事先准备好，放入水盆中冷却至室温；将称量好的矿渣、粉煤灰、素烧陶瓷粉等原料混合的20mm\*20mm\*20mm的六联模具中，静养一段时间后送到养护室内养护1d后拆模，然后再进行龄期为3d、28d的养护。

**3 结果与讨论**

**3.1** **矿粉与粉煤灰配比对地质聚合物抗压强度的影响**

矿粉与粉煤灰的比值取5:5、6:4、7:3、8:2四种不同的配比，水玻璃模数和碱当量分别取1.4、6%，水胶比为0.4。测定地质聚合物净浆的3d、8d抗压强度，强度如图3-1。



图3-1 矿粉与粉煤灰比值对地质聚合物抗压强度影响折线图

通过图3-1可以看出随着矿粉与粉煤灰比值的增大，地质聚合物的抗压强度呈现先增大后减小然后再增大的趋势，如图3-1所示，在矿粉与粉煤灰比值为7:3时，28d时为39MPa。所以7:3是最佳矿粉与粉煤灰比值。

**3.2碱当量对地质聚合物抗压强度的影响**

矿粉与粉煤灰的比值取7:3，水胶比为0.4，水玻璃模数取1.4，碱当量设置为2%、4%、6%、8%、10%。测定地质聚合物净浆的3d、28d抗压强度，强度如图3-2。



图3-2 碱当量对地质聚合物抗压强度影响折线图

由图3-2可以看出，地质聚合物的强度随着碱当量的增大呈现出先增加后减小的趋势，当碱当量为8%时，地质聚合物的强度达到最大值，3d时为381MPa，28d时为39.7MPa。当碱当量低于8%时，外加入的碱的量不足，激发剂对粉料的激发程度不够，使得地聚物前期强度很低，后期强度也难以有所增加；综合各项性能，8%的碱当量下地质聚合物的性能更为优异，因此选用8%的碱当量。

3.3水玻璃模数对地质聚合物抗压强度的影响

矿粉与粉煤灰的比值取7:3，水胶比为0.4，碱当量取8%，水玻璃模数选取1.0、1.2、1.4、1.6、1.8。测定地质聚合物净浆的3d、28d抗压强度，强度如图3-4。



图3-3 水玻璃模数对地质聚合物抗压强度影响折线图

由图3-3可以看出，水玻璃模数为1.4时3d强度最低，为19.2MPa，但是28d强度却最高，为34.9MPa。当水玻璃模数小于1.4时，体系中加入的碱较多，过多的Na+对Si-Al网络结构有解网作用，所以强度较低;但是当水玻璃模数大于1.4时，体系中加入的碱量较低，对原材料的激发不够，从而导致抗压强度降低，所以将最佳水玻璃模数选为1.4。

**3.4.素烧陶瓷粉掺量对地质聚合物抗压强度的影响**

矿粉与粉煤灰的比值取7:3，水胶比为0.4，碱当量取8%，水玻璃模数选取1.4，素烧陶瓷粉掺量取40%、60%、80%、100%四个梯度。测定地质聚合物净浆的3d、28d抗压强度，强度如图3-4。



图3-4 素烧陶瓷粉掺量对地质聚合物抗压强度影响折线图

如图，素烧陶瓷粉掺量对地质聚合物抗压强度的规律为先降后升然后再降低，素烧陶瓷粉掺量超过60%后强度明显提升，3d强度在80%掺量时取得最大值26.6MPa，28d强度在100%掺量时取得最大值39.0MPa，实验采用3d强度取素烧陶瓷粉掺量80%为最佳。

**4 结论**

（1）矿粉与粉煤灰比值对地质聚合物强度有较大影响，7:3是最佳矿粉与粉煤灰比值。

（2）碱当量作为对地质聚合物净浆试件强度影响最小的因素，其值不能过大，也不能过小。过大时，过量的Na+会对地聚物的网络结构起到分解的作用；过小时，对原料的激发程度不够，导致强度降低，8%为最佳碱当量。

（3）地质聚合物的抗压强度随着水玻璃模数的增加而呈现先增大后减小的趋势，水玻璃模数在1.4时激发效果最好。

（4）素烧陶瓷粉有较好的地质聚合物制备性能，掺量超过60%后地质聚合物强度明显提升，素烧陶瓷废料最佳掺量为80%。

参考文献

[1]J.Davidovits.Geopolymers:Inorganic polymeric new materials. J. Therm. Anal. ,1991,1611~1656.

[2]J.Davidovits.Inorganic polymeric new materials.J.Mater.Educ.,1994,91~139.

[3]J.Davidovits.Geopolymers[J].Journal of Thermal Analysis and Calo-rimetry，1991，37(8),1633.

[4][D.L.Y.Kong](/citations?user=jYNz7foAAAAJ&hl=zh-CN&oi=sra), [J.G. Sanjayan](/citations?user=hIY4l3gAAAAJ&hl=zh-CN&oi=sra), K Sagoe-Crentsil. [Comparative performance of geopolymers made with metakaolin and fly ash after exposure to elevated temperatures](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884607002013).Cement and concrete research, 2007 ,1583~1589.

作者资料：张强、沈阳建筑大学、沈阳市、110168、辽宁省沈阳市浑南区浑南东路9号沈阳建筑大学、15734077336