



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117088649 A

(43) 申请公布日 2023. 11. 21

(21) 申请号 202311097465.9

C04B 111/34 (2006.01)

(22) 申请日 2023.08.29

(71) 申请人 东北林业大学

地址 150040 黑龙江省哈尔滨市香坊区和
兴路26号东北林业大学

(72) 发明人 程东辉 王丽 董兴野 陈深深
王麒光 李科

(74) 专利代理机构 齐齐哈尔鹤城专利代理有限
公司 23207

专利代理师 叶仲刚

(51) Int. Cl.

C04B 28/00 (2006.01)

C04B 7/153 (2006.01)

C04B 7/24 (2006.01)

C04B 16/06 (2006.01)

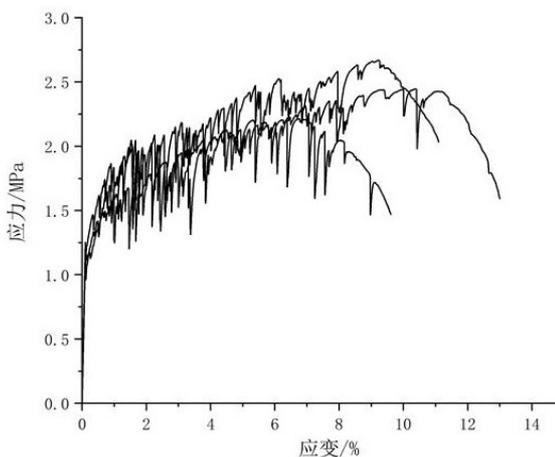
权利要求书1页 说明书7页 附图6页

(54) 发明名称

一种基于矿渣和煅烧煤矸石的早强型超韧性地聚物材料

(57) 摘要

本发明公开了一种基于矿渣和煅烧煤矸石的早强型超韧性地聚物材料,属于建筑材料技术领域。包括矿渣、煅烧煤矸石、细砂、硅酸钠溶液、氢氧化钠固体、水和聚乙烯纤维;组分按质量比计算,矿渣:煅烧煤矸石:细砂:硅酸钠溶液:氢氧化钠:水=0.6-1.0:0-0.4:0.1-0.3:0.29-0.43:0.07-0.11:0.11-0.20,以所有组分混合均匀后的总体积为基数,聚乙烯纤维的掺量为19.4kg/m³。本超高韧性地聚物材料是一种以固废为原材料的早强型、兼具高强度和高韧性的建筑材料,该材料在保证抗压强度的同时,体现出高延性、高韧性的能力,拉伸变形能力之大,足可以与铝、钢等金属材料相媲美。



1. 一种基于矿渣和煅烧煤矸石的早强型超韧性地聚物材料,其特征在於:包括矿渣、煅烧煤矸石、细砂、硅酸钠溶液、氢氧化钠固体、水和聚乙烯纤维;组分按质量比计算,矿渣:煅烧煤矸石:细砂:硅酸钠溶液:氢氧化钠:水=0.6-1.0:0-0.4:0.1-0.3:0.29-0.43:0.07-0.11:0.11-0.20,以所有组分混合均匀后的总体积为基数,聚乙烯纤维的掺量为 $19.4\text{kg}/\text{m}^3$ 。

2. 一种基于矿渣和煅烧煤矸石的早强型超韧性地聚物材料,其特征在於:组分按质量比计算,矿渣:煅烧煤矸石:河砂:硅酸钠溶液:氢氧化钠:水=0.8:0.2:0.2:0.361:0.0895:0.157,以所有组分混合均匀后的总体积为基数,聚乙烯纤维掺量为 $19.4\text{kg}/\text{m}^3$,聚乙烯纤维的长度12mm,直径 $25\mu\text{m}$,纤维长径比480。

3. 一种基于矿渣和煅烧煤矸石的早强型超韧性地聚物材料,其特征在於:组分按质量比计算,矿渣:煅烧煤矸石:河砂:硅酸钠溶液:氢氧化钠:水=0.7:0.3:0.2:0.361:0.0895:0.157,以所有组分混合均匀后的总体积为基数,聚乙烯纤维掺量为 $19.4\text{kg}/\text{m}^3$,聚乙烯纤维的长度12mm,直径 $25\mu\text{m}$,纤维长径比480。

4. 一种基于矿渣和煅烧煤矸石的早强型超韧性地聚物材料,其特征在於:组分按质量比计算,矿渣:煅烧煤矸石:河砂:硅酸钠溶液:氢氧化钠:水=0.7:0.3:0.2:0.361:0.0895:0.157,以所有组分混合均匀后的总体积为基数,聚乙烯纤维掺量为 $19.4\text{kg}/\text{m}^3$,聚乙烯纤维的长度12mm,直径 $15\mu\text{m}$,纤维长径比800。

5. 根据权利要求1所述的一种基于矿渣和煅烧煤矸石的早强型超韧性地聚物材料,其特征在於:矿渣选用符合GB/T 18046-2008标准规定的S95级粒化高炉矿渣微粉,此外,矿渣各化学成分含量按质量比应满足: $1.0 \leq \text{CaO}/\text{SiO}_2 \leq 2.0$, $0.1 \leq \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 \leq 0.3$, $(\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{SiO}_2 \geq 1.4$ 。

6. 根据权利要求1所述的一种基于矿渣和煅烧煤矸石的早强型超韧性地聚物材料,其特征在於:煅烧煤矸石按以下方式制备而来:煤矸石在 700°C 温度下煅烧2小时后球磨成粉状,并使其比表面积 $\geq 450\text{m}^2/\text{kg}$,其化学成分 Al_2O_3 和 SiO_2 占90%以上。

7. 根据权利要求1所述的一种基于矿渣和煅烧煤矸石的早强型超韧性地聚物材料,其特征在於:硅酸钠溶液、氢氧化钠固体和水需混合配制为复合碱激发剂,按以下方式制备而来:将99%纯度的氢氧化钠固体加水配制成氢氧化钠溶液,待冷却后加入到初始模数为3.3,固体含量为35.5wt%的硅酸钠溶液中,最终配置成模数为1.0的硅酸钠溶液。

8. 根据权利要求1所述的一种基于矿渣和煅烧煤矸石的早强型超韧性地聚物材料,其特征在於:细砂的种类可为河砂、海砂、沙漠砂或机制砂,细砂的最大粒径不超过1.0mm,平均粒径不超过 $520\mu\text{m}$,且级配良好。

9. 根据权利要求1所述的一种基于矿渣和煅烧煤矸石的早强型超韧性地聚物材料,其特征在於:聚乙烯纤维的长度为12mm-18mm,直径为15- $25\mu\text{m}$,弹性模量 $\geq 110\text{GPa}$,抗拉强度 $\geq 3000\text{MPa}$ 。

一种基于矿渣和煅烧煤矸石的早强型超韧性地聚物材料

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于矿渣和煅烧煤矸石的早强型超韧性地聚物材料,属于建筑材料技术领域。

背景技术

[0002] 水泥作为当前建筑行业中应用广泛的胶凝材料却并不节能环保。我国每年水泥工业的 CO_2 排放量约占全国 CO_2 排放总量的 10% 左右。因此,探索与研发绿色建筑材料势在必行。地聚物是由碱激发剂激发富硅铝质矿物或工业副产物粉体而形成的具有三维网络状结构的新型的无机胶凝材料。1 kg 地聚物制备过程中碳排放量为 0.18 kg,仅为普通硅酸盐水泥的 24%,其能耗可以降到水泥生产的 10%,因此,地聚物被认为是最具前景的一种新型绿色胶凝材料。此外,地聚物价格低廉、来源广泛,具有高强度、高耐腐蚀性、热稳定性好等特性。因此,地聚物目前在土木工程材料、快速修补材料、防护涂料、固化化学污染和放射性废物等方面得到广泛应用,被看作是第三代水泥材料。

[0003] 尽管有这些优点,但地聚物本身就很脆,在使用过程中容易开裂,为水分和有害介质的侵入提供了便捷通道,从而加速材料破坏,导致耐久性能劣化。而地聚物中掺加纤维是一项提高其韧性的关键技术措施。聚乙烯纤维具有高强度、高模量、耐磨等优点,它与地聚物的粘结强度高,能够大幅提升其变形性能,从根本上解决其脆性问题,大大提高结构的耐久性和安全性,具有重要价值。

发明内容

[0004] 为了解决上述现有技术存在的不足,本发明提供了一种基于矿渣和煅烧煤矸石的早强型超韧性地聚物材料,该材料具有高强度、超高韧性、破坏时产生细密裂缝和耐久性良好的优点。

[0005] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:一种基于矿渣和煅烧煤矸石的早强型超韧性地聚物材料,包括矿渣、煅烧煤矸石、细砂、硅酸钠溶液、氢氧化钠固体、水和聚乙烯纤维;组分按质量比计算,矿渣:煅烧煤矸石:细砂:硅酸钠溶液:氢氧化钠:水=0.6-1.0:0-0.4:0.1-0.3:0.29-0.43:0.07-0.11:0.11-0.20,以所有组分混合均匀后的总体积为基数,聚乙烯纤维的掺量为 $19.4\text{kg}/\text{m}^3$ 。

[0006] 进一步的,所述矿渣选用符合 GB/T 18046-2008 标准规定的 S95 级粒化高炉矿渣微粉。此外,矿渣各化学成分含量按质量比应满足: $1.0 \leq \text{CaO}/\text{SiO}_2 \leq 2.0$, $0.1 \leq \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 \leq 0.3$, $(\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{SiO}_2 \geq 1.4$ 。

[0007] 进一步的,所述煅烧煤矸石按以下方式制备而来:煤矸石在 700°C 温度下煅烧 2 小时后球磨成粉状,并使其比表面积 $\geq 450\text{m}^2/\text{kg}$,其化学成分 Al_2O_3 和 SiO_2 占 90% 以上。

[0008] 进一步的,所述硅酸钠溶液、氢氧化钠固体和水需混合配制为复合碱激发剂,按以下方式制备而来:将 99% 纯度的氢氧化钠固体加水配制成氢氧化钠溶液,待冷却后加入到初始模数为 3.3,固体含量为 35.5wt% 的硅酸钠溶液中,最终配置成模数为 1.0 的硅酸钠溶液。

[0009] 进一步的,所述细砂的种类可为河砂、海砂、沙漠砂或机制砂,细砂的最大粒径不超过1.0mm,平均粒径不超过520 μm ,且级配良好。

[0010] 进一步的,所述聚乙烯纤维的长度为12mm-18mm,直径为15-25 μm ,弹性模量 \geq 110GPa,抗拉强度 \geq 3000MPa。

[0011] 制备方法:

步骤1:由硅酸钠溶液、氢氧化钠和水混合进行碱激发剂的制备。按0.29-0.43:0.07-0.11:0.11-0.20的质量比计取硅酸钠溶液、氢氧化钠和水,首先混合固体氢氧化钠和水,搅拌使其充分溶解,待冷却后加入硅酸钠溶液,再次搅拌均匀,并冷却后方可使用。

[0012] 步骤2:矿渣、煅烧煤矸石、细砂的干料拌和。将矿渣、煅烧煤矸石和细砂放入JJ-5搅拌机中,慢速搅拌2分钟,转速145rad/min,得到混合干料。

[0013] 步骤3:碱激发剂的添加。将步骤1制备的碱激发剂添加到混合干料中,在JJ-5搅拌机中慢速搅拌2分钟,转速145rad/min,得到混合浆料。

[0014] 步骤4:聚乙烯纤维的添加及超高韧性地聚物材料的制成。向混合料浆中添加聚乙烯纤维并快速搅拌5分钟,直至纤维分散均匀,即得超高韧性地聚物材料。

[0015] 本发明的有益效果是:

本超高韧性地聚物材料是一种以固废为原材料的早强型、兼具高强度和高韧性的建筑材料,7天龄期试件测得的该材料各项力学指标为:抗压强度70.45MPa-85.0MPa,极限拉应变8.80%-13.63%,抗拉强度2.50-3.54MPa。该材料在保证抗压强度的同时,体现出高延性、高韧性的能力,拉伸变形能力之大,足可以与铝、钢等金属材料相媲美。

[0016] 本材料具有抗压强度高,超高韧性、极限拉伸应变大、抗变形能力强、裂缝细而密的特点。该材料可以作为“无缝混凝土”进行使用,极大延长了建筑结构的服役寿命、减少了维修次数、降低了维护费用。对结构阻止有害物质侵蚀材料、结构构件进行防腐、防水和抗震都有重要意义,也可作为修复材料广泛用于堤坝边坡、桥梁工程、道路路面工程等大面积修复。

[0017] 由于不使用水泥,采用工业固废为胶凝材料,从而降低成本。

[0018] 掺入煅烧煤矸石作为原材料,大大提高了地聚物胶凝材料的水化反应,增加水化产物,使得密实度增大,进而提高早期强度。掺入了长径比较大的聚乙烯纤维,使得超高韧性地聚物材料在拉伸荷载作用下具有多缝开裂、应变硬化的特性。

附图说明

[0019] 下面结合附图和具体实施方式对本发明进一步说明。

[0020] 图1为本发明实施例1制得的哑铃型试件的拉伸应力—应变曲线图。

[0021] 图2为本发明实施例2制得的哑铃型试件的拉伸应力—应变曲线图。

[0022] 图3为本发明实施例3制得的哑铃型试件的拉伸应力—应变曲线图。

[0023] 图4为本发明实施例4制得的哑铃型试件的拉伸应力—应变曲线图。

[0024] 图5为本发明实施例5制得的哑铃型试件的拉伸应力—应变曲线图。

[0025] 图6为本发明实施例6制得的哑铃型试件的拉伸应力—应变曲线图。

具体实施方式

[0026] 一种基于矿渣和煅烧煤矸石的早强型超韧性地聚物材料,包括矿渣、煅烧煤矸石、细砂、硅酸钠溶液、氢氧化钠固体、水和聚乙烯纤维;组分按质量比计算,矿渣、煅烧煤矸石、细砂、硅酸钠溶液、氢氧化钠和水为0.6-1.0:0.4:0.1-0.3:0.29-0.43:0.07-0.11:0.11-0.20,以所有组分混合均匀后的总体积为基数,聚乙烯纤维的掺量为 $19.4\text{kg}/\text{m}^3$ 。

[0027] 以下实施例中所用原料与设备均为以下要求:

所述矿渣选用符合GB/T 18046-2008标准规定的S95级粒化高炉矿渣微粉。此外,矿渣各化学成分含量按质量比应满足: $0 \leq \text{CaO}/\text{SiO}_2 \leq 2.0$, $0.1 \leq \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 \leq 0.3$, $(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3)/\text{SiO}_2 \geq 1.4$ 。矿渣作为钙源材料,保证较大的Ca/Si可促进早期反应时 Ca^{2+} 与 Na^+ 的交换,产物由N-A-S-H凝胶转变成C-(A)-S-H凝胶,生成更高Ca/Si比的C-(A)-S-H凝胶,进而产生较高的力学强度;而保证合适的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 比值以及较大的 $(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3)/\text{SiO}_2$ 比值,则可增加碱激发反应程度,减小(N,C)-(A)-S-H相的链长,可保证早期强度较快增长。

[0028] 所述煅烧煤矸石按以下方式制备而来:煤矸石在 700°C 温度下煅烧2小时后球磨成粉状,并使其比表面积 $\geq 450\text{m}^2/\text{kg}$,其化学成分 Al_2O_3 和 SiO_2 占90%以上。与其他温度相比, 700°C 煅烧可使煤矸石获得最高的反应活性。此外,较高的 Al_2O_3 和 SiO_2 含量,可保证活性 SiO_2 和 Al_2O_3 在强碱作用下溶解,促进矿渣-煤矸石解聚体缩聚反应的早期快速发生,生成更多的水化硅铝酸钙凝胶(C-A-S-H)和铝硅酸钠凝胶(N-A-S-H)产物并交联形成稳定的三维空间结构,提高密实度,进而提高早期强度。

[0029] 所述的硅酸钠溶液、氢氧化钠固体和水需混合配制为复合碱激发剂,按以下方式制备而来:将99%纯度的氢氧化钠固体加水配制成氢氧化钠溶液,待冷却后加入到初始模数为3.3,固体含量为35.5wt%的硅酸钠溶液中,最终配置成模数为1.0的硅酸钠溶液,作为碱激发剂。碱激发剂模数越低,激发剂中氧化钠的质量占比会越高,会导致同样碱当量硅铝原料对激发剂用量变少,影响施工的和易性和力学强度。而模数过高会导致环境体系中碱性不够,同样影响到强度,因此,本发明确定碱激发剂的模数为1.0。

[0030] 所述细砂的种类可为河砂、海砂、沙漠砂或机制砂;所述细砂的最大粒径不超过1mm,平均粒径不超过 $520\mu\text{m}$,且级配良好。本发明摒弃了目前现有材料对磨细石英砂(最大粒径 $250\mu\text{m}$ 、平均粒径 $110\mu\text{m}$)的依赖,选用大粒径细砂作为集料,在保证力学性能的同时可实现就地取材,更加经济环保。

[0031] 所述聚乙烯纤维的长度为12mm-18mm,直径为15-25 μm ,弹性模量 $\geq 110\text{GPa}$,抗拉强度 $\geq 3000\text{MPa}$ 。聚乙烯纤维决定了地聚物材料的韧性:当受到拉伸荷载作用时,地聚物依靠骨料间的摩擦力和粘结力消耗能量,一旦试件出现裂缝,将迅速开裂破坏。而地聚物中掺加聚乙烯纤维后,受到拉力时,分散在基体内部的纤维因其较好的拉伸变形能力,发挥其高强度和高弹模特性,通过纤维拔出功和纤维断裂功两种途径来实现耗能作用,进而改善了纤维-基体界面特性,从而实现地聚物的韧性行为。而纤维的长径比越大,使得单位体积的细纤维数量较多,使细纤维紧密分散,从而阻止了更多的裂纹,因而获得更高的断裂韧性。

[0032] 实施例1

按以下质量比计取下列原料组分:矿渣、细砂、硅酸钠溶液、氢氧化钠和水为1.0:0.2:0.361:0.0895:0.157,以所有组分混合均匀后的总体积为基数,聚乙烯纤维掺量为

19.4kg/m³。聚乙烯纤维的长度12mm,直径25μm,纤维长径比480。

[0033] 步骤1:由硅酸钠溶液、氢氧化钠和水混合进行碱激发剂的制备。按0.361:0.0895:0.157的质量比计取硅酸钠溶液、氢氧化钠和水,首先混合固体氢氧化钠和水,搅拌使其充分溶解,待冷却后加入硅酸钠溶液,再次搅拌均匀,并冷却后方可使用。

[0034] 步骤2:矿渣、细砂的干料拌和。将矿渣、细砂放入JJ-5搅拌器中,慢速搅拌2分钟,转速145rad/min,得到混合干料。

[0035] 步骤3:碱激发剂的添加。将步骤1制备的碱激发剂添加到混合干料中,在JJ-5搅拌机中慢速搅拌2分钟,转速145rad/min,得到混合浆料。

[0036] 步骤4:聚乙烯纤维的添加及超高韧性地聚物材料的制成。向混合料浆中少量、多次添加聚乙烯纤维并快速搅拌5分钟,直至纤维分散均匀,即得超高韧性地聚物材料。

[0037] 实施例2

按以下质量比计取下列原料组分:矿渣:煅烧煤矸石:细砂:硅酸钠溶液:氢氧化钠:水=0.9:0.1:0.2:0.361:0.0895:0.157,以所有组分混合均匀后的总体积为基数,聚乙烯纤维掺量为19.4kg/m³。聚乙烯纤维的长度12mm,直径25μm,纤维长径比480。

[0038] 步骤1:由硅酸钠溶液、氢氧化钠和水混合进行碱激发剂的制备。按0.361:0.0895:0.157的质量比计取硅酸钠溶液、氢氧化钠和水,首先混合固体氢氧化钠和水,搅拌使其充分溶解,待冷却后加入硅酸钠溶液,再次搅拌均匀,并冷却后方可使用。

[0039] 步骤2:矿渣、煅烧煤矸石、细砂的干料拌和。将矿渣、煅烧煤矸石和细砂放入JJ-5搅拌器中,慢速搅拌2分钟,转速145rad/min,得到混合干料。

[0040] 步骤3:碱激发剂的添加。将步骤1制备的碱激发剂添加到混合干料中,在JJ-5搅拌机中慢速搅拌2分钟,转速145rad/min,得到混合浆料。

[0041] 步骤4:聚乙烯纤维的添加及超高韧性地聚物材料的制成。向混合料浆中少量、多次添加聚乙烯纤维并快速搅拌5分钟,直至纤维分散均匀,即得超高韧性地聚物材料。

[0042] 实施例3

按以下质量比计取下列原料组分:矿渣:煅烧煤矸石:细砂:硅酸钠溶液:氢氧化钠:水=0.8:0.2:0.2:0.361:0.0895:0.157,以所有组分混合均匀后的总体积为基数,聚乙烯纤维掺量为19.4kg/m³。聚乙烯纤维的长度12mm,直径25μm,纤维长径比480。

[0043] 步骤1:由硅酸钠溶液、氢氧化钠和水混合进行碱激发剂的制备。按0.361:0.0895:0.157的质量比计取硅酸钠溶液、氢氧化钠和水,首先混合固体氢氧化钠和水,搅拌使其充分溶解,待冷却后加入硅酸钠溶液,再次搅拌均匀,并冷却后方可使用。

[0044] 步骤2:矿渣、煅烧煤矸石、细砂的干料拌和。将矿渣、煅烧煤矸石和细砂放入JJ-5搅拌器中,慢速搅拌2分钟,转速145rad/min,得到混合干料。

[0045] 步骤3:碱激发剂的添加。将步骤1制备的碱激发剂添加到混合干料中,在JJ-5搅拌机中慢速搅拌2分钟,转速145rad/min,得到混合浆料。

[0046] 步骤4:聚乙烯纤维的添加及超高韧性地聚物材料的制成。向混合料浆中少量、多次添加聚乙烯纤维并快速搅拌5分钟,直至纤维分散均匀,即得超高韧性地聚物材料。

[0047] 实施例4

按以下质量比计取下列原料组分:矿渣:煅烧煤矸石:细砂:硅酸钠溶液:氢氧化钠:水=0.7:0.3:0.2:0.361:0.0895:0.157,以所有组分混合均匀后的总体积为基数,聚乙

烯纤维掺量为 $19.4\text{kg}/\text{m}^3$ 。聚乙烯纤维的长度 12mm ，直径 $25\mu\text{m}$ ，纤维长径比480。

[0048] 步骤1:由硅酸钠溶液、氢氧化钠和水混合进行碱激发剂的制备。按 $0.361:0.0895:0.157$ 的质量比计取硅酸钠溶液、氢氧化钠和水，首先混合固体氢氧化钠和水，搅拌使其充分溶解，待冷却后加入硅酸钠溶液，再次搅拌均匀，并冷却后方可使用。

[0049] 步骤2:矿渣、煅烧煤矸石、细砂的干料拌和。将矿渣、煅烧煤矸石和细砂放入JJ-5搅拌器中，慢速搅拌2分钟，转速 $145\text{rad}/\text{min}$ ，得到混合干料。

[0050] 步骤3:碱激发剂的添加。将步骤1制备的碱激发剂添加到混合干料中，在JJ-5搅拌机中慢速搅拌2分钟，转速 $145\text{rad}/\text{min}$ ，得到混合浆料。

[0051] 步骤4:聚乙烯纤维的添加及超高韧性地聚物材料的制成。向混合料浆中少量、多次添加聚乙烯纤维并快速搅拌5分钟，直至纤维分散均匀，即得超高韧性地聚物材料。

[0052] 实施例5

按以下质量比计取下列原料组分:矿渣:煅烧煤矸石:细砂:硅酸钠溶液:氢氧化钠:水= $0.6:0.4:0.2:0.361:0.0895:0.157$ ，以所有组分混合均匀后的总体积为基数，聚乙烯纤维掺量为 $19.4\text{kg}/\text{m}^3$ 。聚乙烯纤维的长度 12mm ，直径 $25\mu\text{m}$ ，纤维长径比480。

[0053] 步骤1:由硅酸钠溶液、氢氧化钠和水混合进行碱激发剂的制备。按 $0.361:0.0895:0.157$ 的质量比计取硅酸钠溶液、氢氧化钠和水，首先混合固体氢氧化钠和水，搅拌使其充分溶解，待冷却后加入硅酸钠溶液，再次搅拌均匀，并冷却后方可使用。

[0054] 步骤2:矿渣、煅烧煤矸石、细砂的干料拌和。将矿渣、煅烧煤矸石和细砂放入JJ-5搅拌器中，慢速搅拌2分钟，转速 $145\text{rad}/\text{min}$ ，得到混合干料。

[0055] 步骤3:碱激发剂的添加。将步骤1制备的碱激发剂添加到混合干料中，在JJ-5搅拌机中慢速搅拌2分钟，转速 $145\text{rad}/\text{min}$ ，得到混合浆料。

[0056] 步骤4:聚乙烯纤维的添加及超高韧性地聚物材料的制成。向混合料浆中少量、多次添加聚乙烯纤维并快速搅拌5分钟，直至纤维分散均匀，即得超高韧性地聚物材料。

[0057] 实施例6

按以下质量比计取下列原料组分:矿渣:煅烧煤矸石:细砂:硅酸钠溶液:氢氧化钠:水= $0.7:0.3:0.2:0.361:0.0895:0.157$ ，以所有组分混合均匀后的总体积为基数，聚乙烯纤维掺量为 $19.4\text{kg}/\text{m}^3$ 。聚乙烯纤维的长度 12mm ，直径 $15\mu\text{m}$ ，纤维长径比800。

[0058] 步骤1:由硅酸钠溶液、氢氧化钠和水混合进行碱激发剂的制备。按 $0.361:0.0895:0.157$ 的质量比计取硅酸钠溶液、氢氧化钠和水，首先混合固体氢氧化钠和水，搅拌使其充分溶解，待冷却后加入硅酸钠溶液，再次搅拌均匀，并冷却后方可使用。

[0059] 步骤2:矿渣、煅烧煤矸石、细砂的干料拌和。将矿渣、煅烧煤矸石和细砂放入JJ-5搅拌器中，慢速搅拌2分钟，转速 $145\text{rad}/\text{min}$ ，得到混合干料。

[0060] 步骤3:碱激发剂的添加。将步骤1制备的碱激发剂添加到混合干料中，在JJ-5搅拌机中慢速搅拌2分钟，转速 $145\text{rad}/\text{min}$ ，得到混合浆料。

[0061] 步骤4:聚乙烯纤维的添加及超高韧性地聚物材料的制成。向混合料浆中少量、多次添加聚乙烯纤维并快速搅拌5分钟，直至纤维分散均匀，即得超高韧性地聚物材料。

[0062] 对本发明制备得到的超高韧性地聚物材料进行性能测试，其测试试验和结果如表1-2和图1-6所示。

[0063] 测试试验

1. 单轴拉伸试验:采用13mm×60mm(中间段30mm)×240mm的哑铃型试件,每实施例成型3个试件,室温放置24小时后脱模,在80℃高温养护箱中养护2小时,取出后标准养护6d,养护温度为20±2℃,相对湿度≥95%。测试指标为抗拉强度、极限拉应变。

[0064] 2. 轴心抗压试验:采用50mm×50mm×50mm试件,每实施例成型3个试件室温放置24小时后脱模,在80℃高温养护箱中养护2小时,取出后标准养护6d,养护温度为20±2℃,相对湿度≥95%。测试指标为抗压强度。

[0065] 3. 单纤维丝拔出试验:采用垂直嵌入一根聚乙烯纤维的10mm×10mm×5mm基质试件(不含纤维),每实施例成型10个试件,在80℃高温养护箱中养护2小时,取出后标准养护6d,养护温度为20±2℃,相对湿度≥95%。测试指标为摩擦粘结强度和滑移硬化系数。

[0066] 对实施例1-6制得的试件进行性能测试,测试结果如表1-2所示。

[0067] 表1为力学性能测试结果。

	抗拉强度/MPa	极限拉应变/%	抗压强度/MPa
实施例 1	2.50	8.80	70.45
实施例 2	2.54	9.40	83.27
实施例 3	2.67	9.69	85.00
实施例 4	3.22	12.41	80.18
实施例 5	2.65	11.84	76.84
实施例 6	3.54	13.63	77.60

[0068] 表2为纤维和基质界面性能测试结果。

	摩擦粘结强度/MPa	滑移硬化系数
实施例 1	0.33	0.0062
实施例 4	0.45	0.0081

[0069] 由表1可知,实施例1-5通过改变矿渣、煅烧煤矸石的比例,能使复合材料的性能得以提升。这是因为随着煅烧煤矸石的掺量增加,促进了矿渣-煤矸石解聚体缩聚反应的早期快速发生,生成的水化硅铝酸钙凝胶(C-A-S-H)和铝硅酸钠凝胶(N-A-S-H)产物增多,提高了基体密实度,进而提高了早期的抗压强度。实施例6通过增大聚乙烯纤维的长径比,在抗压强度下降不大的情况下,能使复合材料的拉伸性能进一步提升。这是因为纤维的长径比越大,使得单位体积的细纤维数量较多,使细纤维紧密分散,从而阻止了更多的裂纹,因而获得更高的断裂韧性,进而提高了拉伸性能。

[0070] 为解释高韧性机理,从纤维/基质界面行为来了解超高韧性地聚物材料性能,测定了摩擦粘结强度和滑移硬化系数。由表2可知,实施例4比实施例1的摩擦粘结强度大,而其拉伸强度也高。这归因于随着煅烧煤矸石掺量的增加,生成更多的水化硅铝酸钙凝胶(C-A-S-H)和铝硅酸钠凝胶(N-A-S-H)产物并交联形成稳定的三维空间结构,提高密实度,纤维周

围的界面接触面积也随之增加,从而获得更高的摩擦粘结强度,进而提高拉伸强度。此外,滑移硬化系数越大,纤维在拔出过程中界面磨损作用越高,进而获得更高的拉伸应变硬化能力。

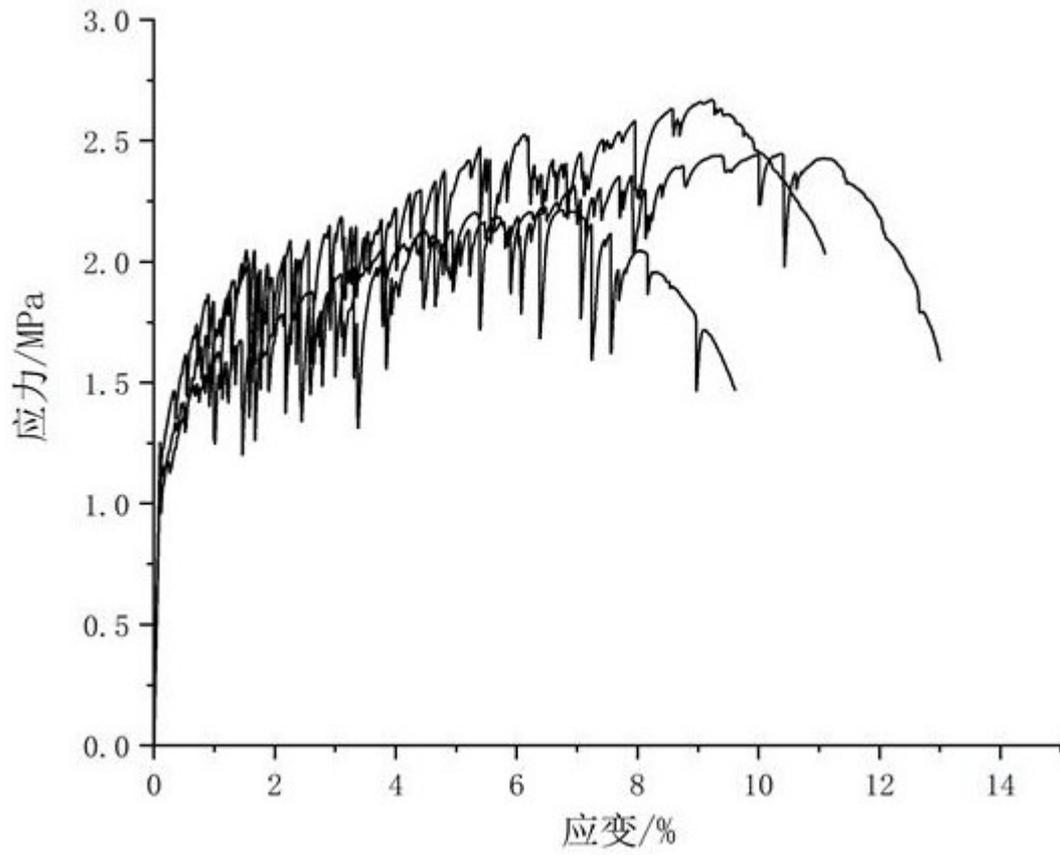


图1

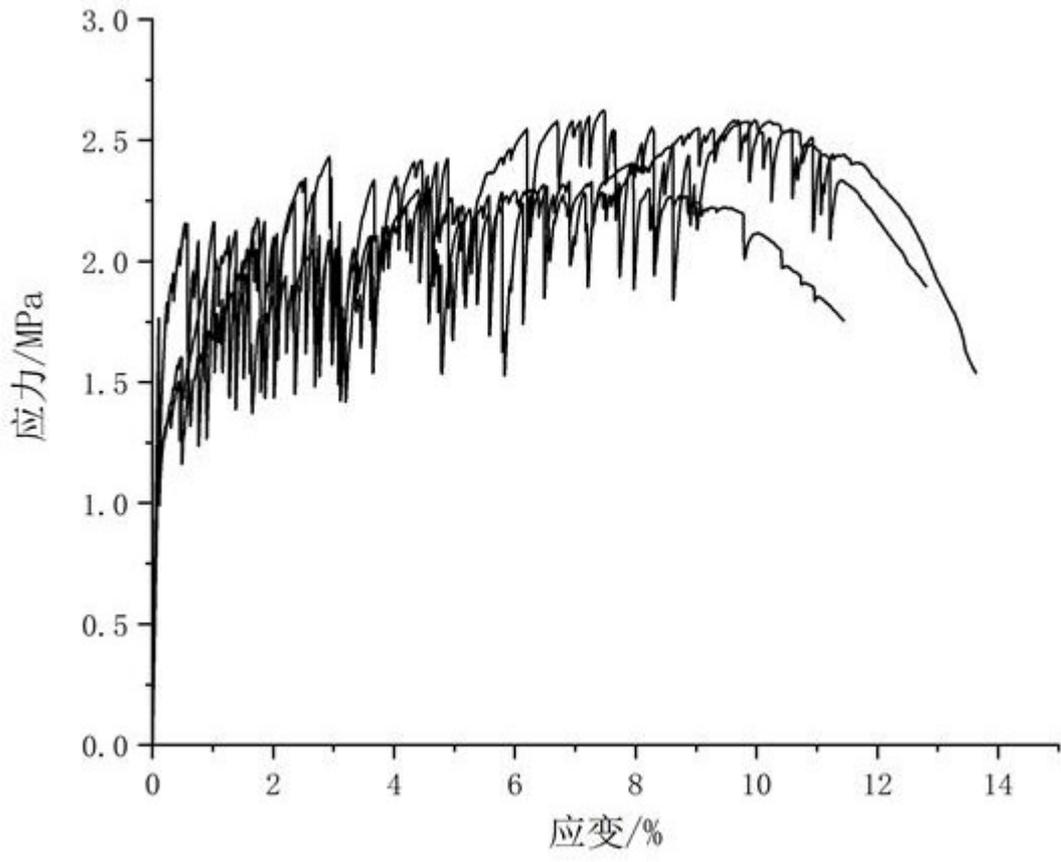


图2

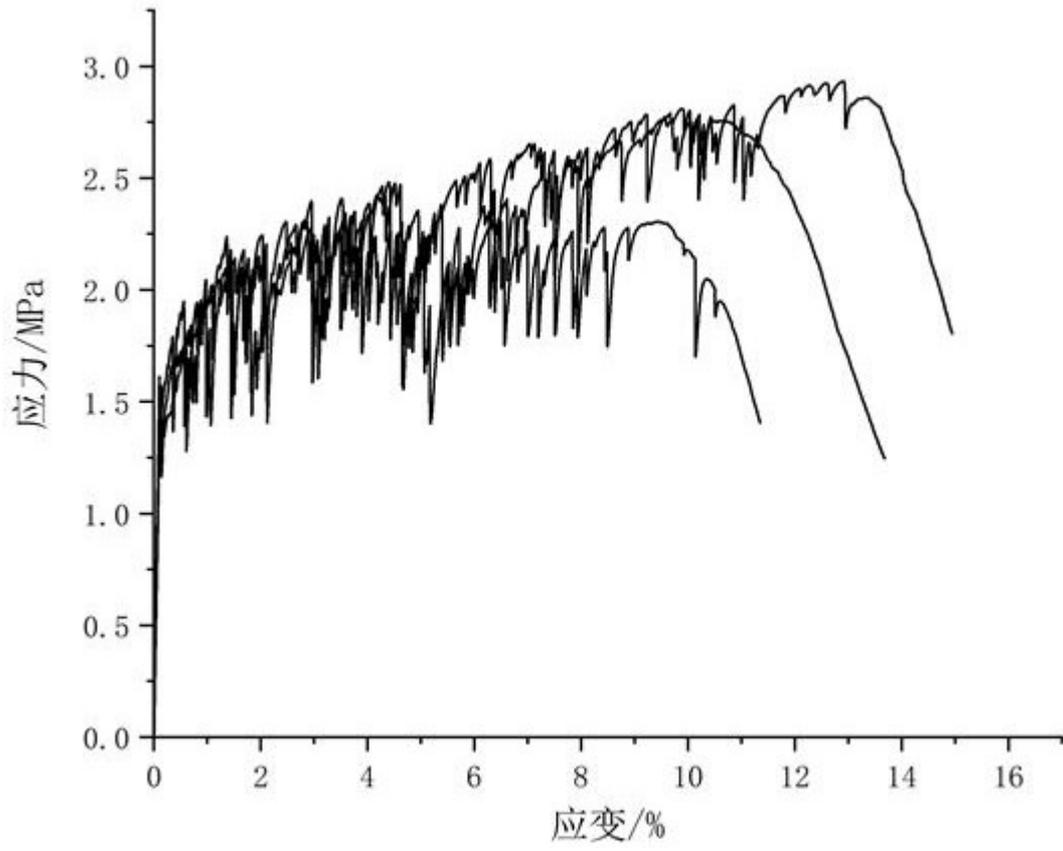


图3

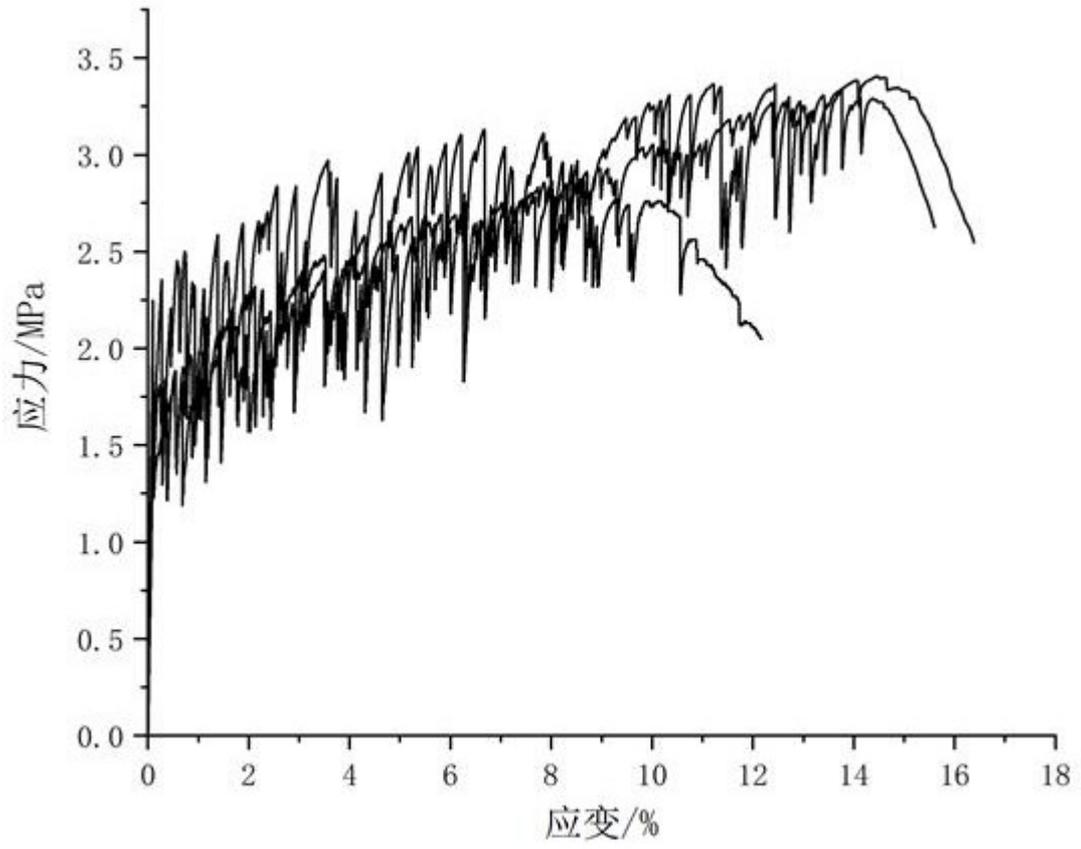


图4

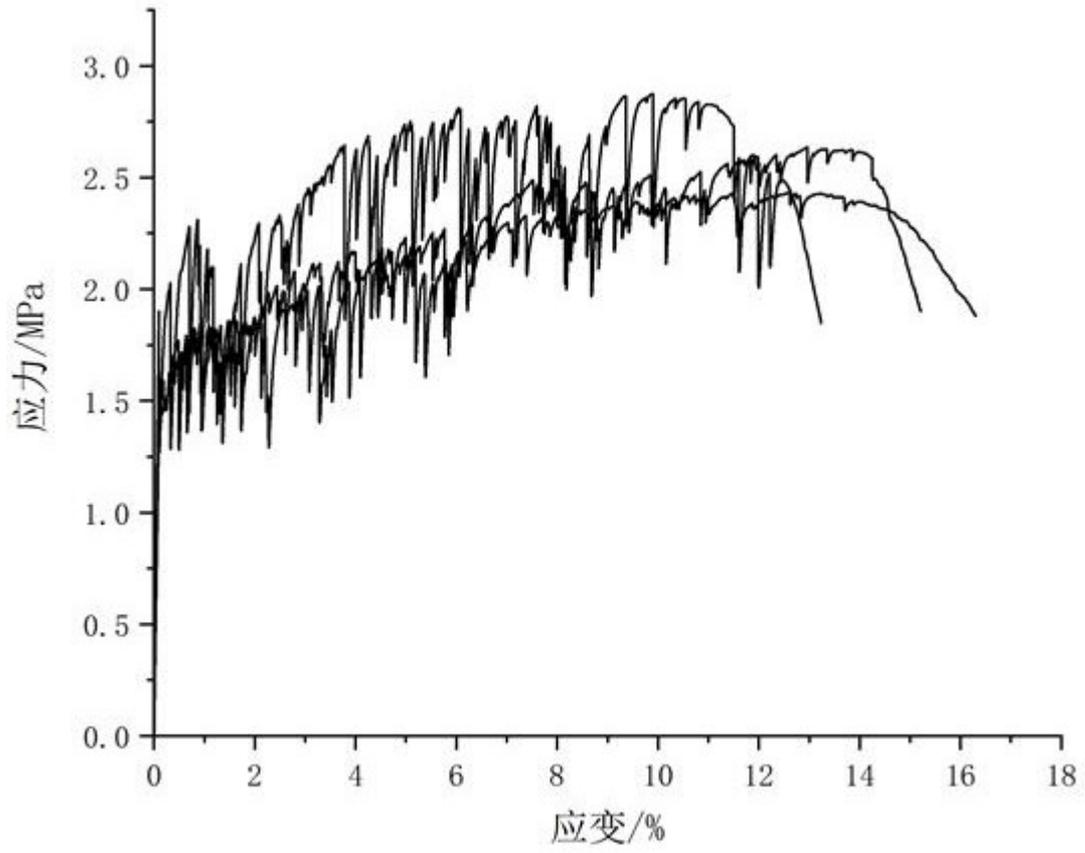


图5

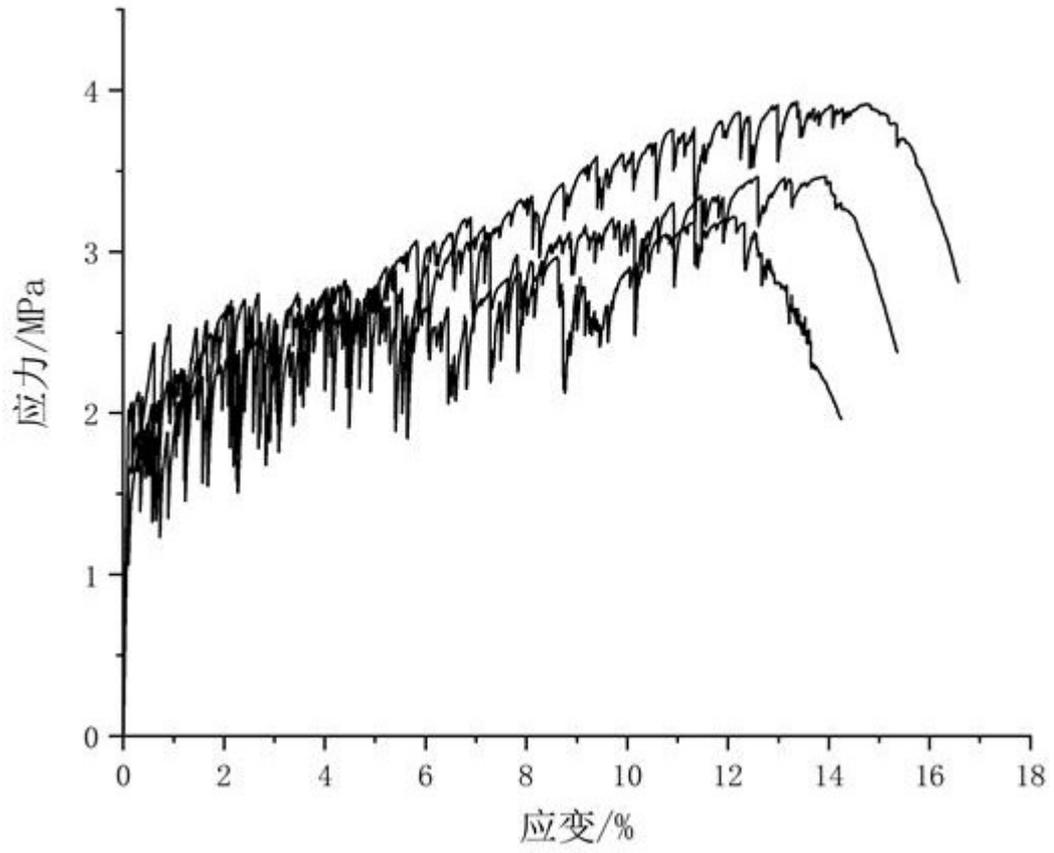


图6