



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107500687 A

(43)申请公布日 2017.12.22

(21)申请号 201710974715.0

(22)申请日 2017.10.19

(71)申请人 万玉君

地址 251199 山东省德州市齐河县新华路
261号

(72)发明人 周健

(74)专利代理机构 北京兆君联合知识产权代理
事务所(普通合伙) 11333

代理人 刘俊玲

(51) Int. Cl.

C04B 28/04(2006.01)

C04B 24/38(2006.01)

B33Y 70/00(2015.01)

权利要求书2页 说明书7页

(54)发明名称

一种用于3D打印的高延性纤维增强水泥基
复合材料及其制备方法

(57)摘要

本发明提供一种用于高延性纤维增强水泥基复合材料的外加剂组合物,按重量百分比计,它由以下组分组成:20%~85%的流变调节组分、2%~30%的凝结硬化调节组分、1%~20%的层间黏结强度调节组分、4%~40%的体积稳定剂和1%~10%的减水剂。本发明还提供一种基于所述外加剂的高延性纤维增强水泥基复合材料,通过外加剂组合物与骨料的优化设计调控材料的工作性和凝结硬化速度,提高了高延性纤维增强水泥基复合材料在3D打印中的可打印性、可建造性、层间黏结强度,比现有技术中的3D打印建筑材料具有更优秀的整体性能,该材料制成的构件无需钢筋也可以成型出满足结构要求的延性,解决了现有3D打印建筑材料制备的构件的最终破坏形式为脆性破坏的问题。

1. 一种用于高延性纤维增强水泥基复合材料的外加剂组合物,按重量百分比计,它由以下组分组成:20%~85%的流变调节组分、2%~30%的凝结硬化调节组分、1%~20%的层间黏结强度调节组分、4%~40%的体积稳定剂和1%~10%的减水剂;

所述的流变调节组分由无机组分和有机组分组成,其中所述的无机组分占95%w/w以上;所述的无机组分选自硅灰、稻壳灰、硅藻土、超细矿渣粉、纳米二氧化硅、偏高岭土或纳米黏土中的一种或两种以上的混合物;所述的有机组分选甲基纤维素、羟乙基甲基纤维素醚、羟丙基甲基纤维素醚、羧甲基纤维素、木质纤维素、黄原胶、温轮胶聚、丙烯酸类增稠剂、纤维素醚或淀粉醚中的一种或两种以上的混合物;

所述的凝结硬化调节组分由促强组分和缓凝组分按60:40~90:10的重量比混合组成;所述的促强组分选自锂盐早强剂、氯盐早强剂、硫酸钠、硅酸钠、偏硅酸钠、甲酸钙、硫酸铝溶液、混凝土速凝剂中的一种或两种以上的混合物;所述的缓凝组分选自葡萄糖酸钠缓凝剂、柠檬酸钠缓凝剂、酒石酸盐缓凝剂、木质素类缓凝剂、糖类缓凝剂或磷酸盐纤维素类缓凝剂中的一种或两种以上的混合物;

所述的层间黏结强度调节组分选自乙烯与氯乙烯及月桂酸乙烯酯三元共聚胶粉、醋酸乙烯酯与乙烯及高级脂肪酸乙烯酯三元共聚胶粉、醋酸乙烯酯与高级脂肪酸乙烯酯共聚胶粉、丙烯酸酯与苯乙烯共聚胶粉、醋酸乙烯酯与丙烯酸酯及高级脂肪酸乙烯酯三元共聚胶粉、醋酸乙烯酯均聚胶粉或苯乙烯与丁二烯共聚胶粉中一种或两种以上的混合物;

所述的体积稳定剂选自钙矾石类膨胀剂、氧化钙类膨胀剂或氧化镁类膨胀剂中一种或两种以上的混合物;

所述的减水剂为聚羧酸系高性能减水剂或萘系高效减水剂。

2. 权利要求1所述的外加剂组合物,其特征在于,按重量百分比计,所述的流变调节组分占40%~80%,所述的凝结硬化调节组分占5%~25%,所述的层间黏结强度调节组分占4%~16%,所述的体积稳定剂占4%~25%,所述的减水剂占3%~8%。

3. 权利要求1或2任意一项所述的外加剂组合物,其特征在于,所述的流变调节组分由所述的无机组分和所述的有机组分组成,其中所述的无机组分占流变调节组分的重量百分比为99%~99.8%。

4. 权利要求1或2任意一项所述的外加剂组合物,其特征在于,所述流变调节组分的无机组分选自硅灰、稻壳灰、硅藻土、超细矿渣粉中的任意一种或两种以上的混合物。

5. 权利要求1或2任意一项所述的外加剂组合物,其特征在于,所述流变调节组分的有机组分选自甲基纤维素、羟乙基甲基纤维素醚、木质纤维素、纤维素醚中的任意一种或两种以上的混合物。

6. 权利要求1或2任意一项所述的外加剂组合物,其特征在于,所述的凝结硬化调节剂由所述的促强组分和所述的缓凝组分按60:40~85:15的重量比混合组成。

7. 权利要求1或2任意一项所述的外加剂组合物,其特征在于,所述的层间黏结强度调节组分选自乙烯与氯乙烯及月桂酸乙烯酯三元共聚胶粉、醋酸乙烯酯与乙烯及高级脂肪酸乙烯酯三元共聚胶粉中的一种。

8. 权利要求1或2任意一项所述的外加剂组合物,其特征在于,所述的体积稳定剂为钙矾石类膨胀剂。

9. 一种可用于3D打印建筑的高延性纤维增强水泥基复合材料,按重量百分比计,它由

以下原料制备而成:7.5~72%的水泥、0~68%的矿物掺合料、5~25%的水、0.6~6%的增强纤维、5~25%的骨料,余量为权利要求1所述的外加剂组合物。

10. 权利要求9所述的高延性纤维增强水泥基复合材料,其特征在于,所述的水泥选自硅酸盐水泥、高贝利特硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥或高贝利特硫铝酸盐水泥中的一种或两种以上的混合物;所述的矿物掺合料为粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、磨细钢渣粉、天然火山灰粉、石灰石粉或石英石粉中的一种或两种以上的混合物;所述的纤维选自钢纤维、聚酯纤维、聚丙烯纤维、超高分子量聚乙烯纤维或聚乙烯醇纤维中的一种或两种以上的混合物;所述的骨料选自石英砂、河砂、海砂、山砂、机制砂中的任意一种或两种以上的混合物;所述的骨料直径为0.5mm~10mm,优选为0.5mm~2mm。

一种用于3D打印的高延性纤维增强水泥基复合材料及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于建筑材料领域,具体涉及一种水泥基复合材料外加剂,同时涉及一种用于3D高延性纤维增强水泥基复合材料,及其制备方法。

背景技术

[0002] 3D打印,即增材制造(Additive Manufacturing)技术是采用材料逐渐累加的方法制造实体零件的技术,也被称为快速成型(Rapid Prototyping)或者快速制造(Rapid Manufacturing)技术。自上世纪八十年代兴起,增材制造得到迅速发展,被誉为材料制造领域的重大革新与进步,也被认为是“第三次工业革命的重要标志之一”。

[0003] 近年来,3D打印技术已开始试用于建筑领域,美国、意大利、英国、中国等多国研究人员相继研发出了3D建筑打印机及相应的“油墨”(即材料),目前研发出的用于3D打印建筑的材料以水泥基材料为主,例如中国建筑股份有限公司、同济大学、北京工业大学和马义和等单位和个人都申请了相关的发明专利[201410554607.4,201510225639.4,201510228281.0,201710125656.X]。

[0004] 水泥基材料(混凝土)是一种准脆性材料,其抗拉性能较差、韧性低,很容易受拉破坏。虽然混凝土中常掺加纤维作为增韧材料,但普通纤维混凝土仍呈现出准脆性破坏的特征。鉴于混凝土或普通纤维混凝土抗拉性能较差,结构构件中需要加入钢筋进行增强增韧,保证构件的最终破坏形式为延性破坏而非脆性破坏。然而,由于3D打印工艺原理和技术的限制,3D打印构件中很难植入钢筋。因此,亟需研发一种适用于3D打印建筑的延性材料。

[0005] 高延性纤维增强水泥基复合材料是以纤维作为增强材料,以水泥、矿物掺合料、骨料和混凝土外加剂为基体原材料,经加水搅拌、成型、养护制得。高延性纤维增强水泥基复合材料的最大特点是它在拉伸荷载下呈现出类似于金属的延性破坏特征,其极限延伸率高达1~7%,而普通混凝土和纤维混凝土的延伸率仅为0.01~0.03%。与普通混凝土和纤维混凝土相比,高延性纤维增强水泥基复合材料的抗拉、抗剪、抗冲击和耐疲劳性能优异。因此,高延性纤维增强水泥基复合材料制成的构件无需钢筋也可以成型出满足结构要求的延性,在3D打印建筑方面具有独特的优势。但是,由于现有高延性纤维增强水泥基材料的工作性和凝结硬化过程等性能的限制,这些材料不能满足3D打印工艺对材料的可打印性、可建造性、层间黏结强度等性能的要求。

发明内容

[0006] 鉴于现有技术存在的局限性,本发明的目的在于:通过外加剂组合物与骨料的优化设计调控材料的工作性和凝结硬化速度,以提高高延性纤维增强水泥基复合材料在3D打印中的可打印性、可建造性、层间黏结强度,使其比现有技术中的3D打印建筑材料具有更优秀的整体性能。

[0007] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0008] 提供一种用于高延性纤维增强水泥基复合材料的外加剂组合物,它包括流变调节组分、凝结硬化调节组分、层间黏结强度调节组分、体积稳定剂和减水剂。

[0009] 本发明的外加剂组合物中,所述的流变调节组分的作用在于调节新拌材料的可塑性,以满足3D打印建筑工艺对材料可建造性的要求。所述的流变调节组分可以是有机组分,也可以是无机组分,还可以是有机组分与无机组分的混合物。所述的无机组分可以选自硅灰、稻壳灰、硅藻土、超细矿渣粉、纳米二氧化硅、偏高岭土或纳米黏土中的一种或两种以上的混合物,优选硅灰、稻壳灰、硅藻土、超细矿渣粉中的任意一种或两种以上的混合物;所述的有机组分可以选自甲基纤维素、羟乙基甲基纤维素醚、羟丙基甲基纤维素醚、羧甲基纤维素、木质纤维素、黄原胶、温轮胶聚、丙烯酸类增稠剂、纤维素醚或淀粉醚中的一种或两种以上的混合物,优选甲基纤维素、羟乙基甲基纤维素醚、木质纤维素、纤维素醚中的任意一种或两种以上的混合物。当使用有机、无机混合流变调节组分调节新拌材料的可塑性时,所述的无机组分能够通过引入超细颗粒提高材料的粘度,改善其可塑性,有机组分能够提高材料的保水性,防止出现泌水和泌浆问题,二者配合使用能够调控3D打印材料的可塑性、稳定性和密实度,满足打印工艺对材料可打印性和可建造性的要求。但是实践中发现,当有机组分比例高于5%时,会导致材料稠度过大,难以挤出,不能满足打印工艺对可打印性的要求。经大量试验验证,二者比例控制在一定的范围时能够获得最优的流变调节效果,因此本发明优选的方案中,所述无机组分占流变调节组分的95%w/w以上;更优选所述无机组分占流变调节组分的重量百分比为99%~99.8%;本发明更优选的方案中,上述无机组分和有机组分混合构成的流变调节组分共占外加剂组合物总重量的比例不低于20%且不高于85%,更优选控制在40%~80%。

[0010] 本发明的外加剂组合物中,所述的凝结硬化调节组分可以用于调节新拌材料的凝结硬化过程,以满足3D打印建筑工艺对材料可打印性和可建造性的要求,以期与打印工艺相匹配。所述的凝结硬化调节组分由促强组分或缓凝组分混合构成;所述的促强组分可以选自锂盐早强剂、氯盐早强剂、硫酸钠、硅酸钠、偏硅酸钠、甲酸钙、硫酸铝溶液、混凝土速凝剂中的一种或两种以上的混合物;所述的缓凝组分可以选自葡萄糖酸钠缓凝剂、柠檬酸钠缓凝剂、酒石酸盐缓凝剂、木质素类缓凝剂、糖类缓凝剂或磷酸盐纤维素类缓凝剂中的一种或两种以上的混合物。所述凝结硬化调节组分需要根据类别对用量进行特别的控制,例如,促强组分用量过少时,3D打印材料硬化速度会过慢,先打印出的材料不能承受上层新打印材料的压力而变形,导致打印失败,而用量过多时,会导致材料硬化过快,影响层间黏结强度;缓凝组分用量过少时,打印材料凝结过快,难以从打印机中挤出,而用量过多时,导致材料长时间不凝结硬化,影响打印速度。本发明人经过大量试验验证得到,促强组分和缓凝组分配合使用可有效调控本发明3D打印材料的凝结硬化速度,实现与打印工艺的匹配。优选的凝结硬化调节剂由促强组分和缓凝组分按60:40~90:10的重量比混合组成,更优选60:40~85:15。本发明更优选的方案中,上述最优的凝结硬化调节组分占外加剂组合物总重量的比例不低于2%,且不高于30%,更优选控制在15%~25%。

[0011] 本发明的外加剂组合物中,所述的层间黏结强度调节组分用于提高3D打印物体层间的黏结强度,保证物体的整体力学性能。本发明优选的方案中,所述的层间黏结强度调节组分为可分散乳胶粉,所述的可分散乳胶粉选自乙烯与氯乙烯及月桂酸乙烯醋三元共聚胶粉、醋酸乙烯醋与乙烯及高级脂肪酸乙烯醋三元共聚胶粉、醋酸乙烯醋与高级脂肪酸乙烯

醋共聚胶粉、丙烯酸酯与苯乙烯共聚胶粉、醋酸乙烯酯与丙烯酸酯及高级脂肪酸乙烯酯三元共聚胶粉、醋酸乙烯酯均聚胶粉或苯乙烯与丁二烯共聚胶粉中一种或两种以上的混合物；更优选乙烯与氯乙烯及月桂酸乙烯酯三元共聚胶粉、醋酸乙烯酯与乙烯及高级脂肪酸乙烯酯三元共聚胶粉中的一种。本发明更优选的方案中，上述最优选的可分散乳胶粉占外加剂组合物总重量的比例不低于1%，且不高于20%；更优选控制在4%~16%。

[0012] 本发明的外加剂组合物中，所述的体积稳定剂的作用为减小材料硬化后的收缩，避免开裂。所述的体积稳定剂优选自钙矾石类膨胀剂、氧化钙类膨胀剂或氧化镁类膨胀剂中一种或两种以上的混合物；更优选钙矾石类膨胀剂。本发明更优选的方案中，上述最优选的体积稳定剂占外加剂组合物总重量的比例不低于4%，且不高于40%；更优选控制在4%~25%。

[0013] 本发明的外加剂组合物中，所述的减水剂的作用为调节新拌材料的流动度，以满足3D打印建筑工艺对材料可打印性的要求。所述的减水剂为聚羧酸系高性能减水剂或萘系高效减水剂。本发明更优选的方案中，上述最优选的减水剂占外加剂组合物总重量的比例不低于1%，且不高于10%；更优选控制在3%~8%。

[0014] 在此基础上，本发明进一步提供一种可用于3D打印建筑的高延性纤维增强水泥基复合材料，按重量百分比计，它由以下原料制备而成：7.5~72%的水泥、0~68%的矿物掺合料、5~25%的水、0.6~6%的增强纤维、5~25%的骨料，余量为本发明所述的外加剂组合物。

[0015] 本发明的水泥基复合材料中，水泥、矿物掺合料、水和增强纤维为高延性纤维增强水泥基复合材料的必要组分，这些组分的优化设计保证了材料具有高延性。骨料、无机流变调节组分、有机流变调节组分、凝结硬化调节组分、层间黏结强度调节组分、体积稳定剂和减水剂的组成设计用于调节本发明的工作性和凝结硬化过程，以满足3D打印工艺对材料可打印性、可建造性、层间黏结强度等性能的要求。

[0016] 本发明所述的水泥可以是现有技术中的多种水泥，包括硅酸盐水泥、高贝利特硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥、高贝利特硫铝酸盐水泥、铁铝酸盐水泥、磷酸盐水泥、氟铝酸盐水泥或氯氧镁水泥的一种或两种以上的混合物。本发明优选的方案中，所述的水泥选自硅酸盐水泥、高贝利特硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥或高贝利特硫铝酸盐水泥中的一种或两种以上的混合物。

[0017] 本发明优选的一种实施方式中，所述的水泥为硫铝酸盐水泥或高贝利特硫铝酸盐水泥。硫铝酸盐水泥和高贝利特硫铝酸盐水泥凝结和硬化速度快，其制备的可用于3D打印建筑的高延性纤维增强水泥基复合材料的凝结硬化速度可与3D打印建筑工艺很好地配合，且可加速打印速度。

[0018] 本发明所述的矿物掺合料为粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、磨细钢渣粉、天然火山灰粉、石灰石粉或石英石粉中的一种或两种以上的混合物。

[0019] 本发明所述的增强纤维可以选自：钢纤维、玻璃纤维、碳纤维、聚酯纤维、聚丙烯纤维、聚乙烯醇纤维、超高分子量聚乙烯纤维、芳香族聚酰胺纤维或聚丙烯晴纤维中的一种或两种以上的混合物。本发明优选的方案中，所述的纤维选自钢纤维、聚酯纤维、聚丙烯纤维、超高分子量聚乙烯纤维或聚乙烯醇纤维中的一种或两种以上的混合物。

[0020] 本发明所述的骨料用于调节新拌材料的稳定性，以满足3D打印建筑工艺对材料可

建造性的要求。所述的骨料可以选自石英砂、河砂、海砂、山砂、机制砂、风积砂、陶砂、膨胀珍珠岩、膨胀蛭石、玻化微珠或聚苯乙烯泡沫颗粒中的一种或两种以上的混合物；最优选石英砂、河砂、海砂、山砂、机制砂中的任意一种或两种以上的混合物；所述的骨料优选的直径为0.5mm~10mm，最优为0.5mm~2mm。

[0021] 本发明还提供所述的用于3D打印的高延性纤维增强水泥基复合材料的制备方法，该方法根据具体情况可以是以下任意一种：

[0022] 方法一：将按所述比例称量好的全部原材料加入到搅拌机中，搅拌3~15分钟，即得到所述的用于3D打印的高延性纤维增强水泥基复合材料。

[0023] 方法二：按所述比例称量好原材料；将除纤维外的全部原材料加入到搅拌机中，搅拌2~6分钟；然后加入所述比例的纤维，再搅拌2~6分钟，即得到所述的用于3D打印的高延性纤维增强水泥基复合材料。

[0024] 方法三：按所述比例称量好原材料；将除骨料和纤维外的全部原材料加入到搅拌机中，搅拌2~6分钟；然后，加入所述比例的骨料，继续搅拌1~3分钟；最后，加入所述比例的纤维，再搅拌2~6分钟，即得到所述的用于3D打印的高延性纤维增强水泥基复合材料。

[0025] 或者，

[0026] 方法四：按所述比例称量好原材料；将除骨料和纤维外的全部原材料加入到搅拌机中，搅拌2~6分钟；然后，加入所述比例的纤维，再搅拌2~6分钟；最后，加入所述比例的骨料，继续搅拌1~3分钟，即得到所述的用于3D打印的高延性纤维增强水泥基复合材料。

[0027] 经检测，本发明的用于3D打印的高延性纤维增强水泥基复合材料性能可达到以下标准：

[0028] 1. 强度

[0029] 养护28天后，抗压强度高达52.7MPa~143.5MPa，材料抗拉强度高达4.8MPa~13.2MPa。

[0030] 2. 延性

[0031] 养护28天后，材料抗拉极限延伸率高达3.53%~6.58%，而普通混凝土和纤维混凝土极限延伸率仅为0.01%左右。

[0032] 3. 可打印性

[0033] 本发明可打印性好。不会造成打印喷头堵塞；且工作性保持时间长，打印操作时间可控制在30~120分钟。

[0034] 4. 可建造性

[0035] 本发明可建造性好。新拌浆体塑性好，抗塑性变形能力强，侧向变形可控，且不泌水、不坍塌。

[0036] 5. 层间黏结强度

[0037] 本发明层间黏结强度高达2.8~6.5MPa，保证了打印出构件的结构完整性和力学性能。

[0038] 综上，与现有技术的3D打印建筑材料相比，本发明具有更优异的力学性能，尤其是抗拉延性，同时还具有可打印性和可建造性好、层间黏结强度高等多方面性能优势，整体性能上获得了显著的提高。

具体实施方式

[0039] 实施例1

[0040] 一种可以提高混凝土3D打印适用性的外加剂组合物,其具体组分及用量见下表1:

[0041] 表1

[0042]

组分种类	用量(%)
硅藻土	18
超细矿渣粉	15
羟乙基甲基纤维素醚	0.5
锂盐早强剂	10
葡萄糖酸钠缓凝剂	5
乙烯与氯乙烯及月桂酸乙烯酯三元共聚胶粉	8
氧化钙类膨胀剂	6.5
萘系高效减水剂	5

[0043] 实施例2

[0044] 一种可以提高混凝土3D打印适用性的外加剂组合物,其具体组分及用量见下表2:

[0045] 表2

[0046]

组分种类	用量(%)
硅灰	10
稻壳灰	7
黄原胶	0.2
偏硅酸钠	10
柠檬酸钠缓凝剂	4.8
醋酸乙烯酯与乙烯及高级脂肪酸乙烯酯三元共聚胶粉	10
钙矾石类膨胀剂	16
聚羧酸系高性能减水剂	5

[0047] 实施例3

[0048] 一种可以提高混凝土3D打印适用性的外加剂组合物,其具体组分及用量见下表3:

[0049] 表3

[0050]

组分种类	用量(%)
纳米二氧化硅	10
硅藻土	7
硅灰	8
甲基纤维素	0.2
硫酸铝溶液	7
磷酸盐纤维素类缓凝剂	1.8

丙烯酸酯与苯乙烯共聚胶粉	2
氧化钙类膨胀剂	2
聚羧酸系高性能减水剂	2

[0051] 实施例4~8为使用硅酸盐水泥制备的用于3D打印的高延性纤维增强水泥基复合材料,其中,实施例4、7中添加了实施例1所述的外加剂组合物,实施例5添加了实施例2所述的外加剂组合物,实施例6中添加了实施例3所述的外加剂组合物。各实施例配合比见表4,材料的力学性能见表5。

[0052] 表4:实施例4~8的配合比

原材料	实施例 4	实施例 5	实施例 6	实施例 7	实施例 8
硅酸盐水泥	8	58	45	30	15
粉煤灰	15				
粒化高炉矿渣粉	10		5		15
磨细钢渣粉		1			
天然火山灰粉	2		20		8
石灰石粉			4	7	
石英石粉				20	9
水	9	8	10	20	10
玄武岩纤维			6		
钢纤维	5				
聚丙烯纤维				1.5	
聚酯纤维				1.5	
超高分子量聚乙烯纤维		2			0.6
聚乙烯醇纤维	1				
石英砂	12.5			5	
河砂	3.5			1.4	
海砂		9			
机制砂					
膨胀蛭石		6.4			
膨胀珍珠岩			3.5		14
玻化微珠		3	2.5		10
硅灰		2	0.8		5.6
稻壳灰		1.4			
硅藻土	9		0.7	3.6	2.8
纳米二氧化硅			1		4
黄原胶		0.04			
超细矿渣粉	7.5			3	
纳米二氧化硅					
偏高岭土					

[0053]

	羟乙基甲基纤维素醚	0.25			0.1	
	甲基纤维素			0.02		0.08
	锂盐早强剂	5			2	
	硫酸铝溶液			0.7		2.8
	偏硅酸钠		2			
	柠檬酸钠缓凝剂		0.96			
	葡萄糖酸钠缓凝剂	2.5			1	
[0054]	磷酸盐纤维素类缓凝剂			0.18		0.72
	乙烯与氯乙烯及月桂酸乙烯酯三元共聚胶粉	4			1.6	
	醋酸乙烯酯与乙烯及高级脂肪酸乙烯酯三元共聚胶粉		2			
	丙烯酸酯与苯乙烯共聚胶粉			0.2		0.8
	氧化钙类膨胀剂	3.25		0.2	1.3	0.8
	钙矾石类膨胀剂		3.2			
	萘系高效减水剂	2.5			1	
	聚羧酸系高性能减水剂		1	0.2		0.8

[0055] 表5: 实施例4~8的力学性能

力学性能	实施例 4	实施例 5	实施例 6	实施例 7	实施例 8
28 天抗压强度 /MPa	52.7	143.5	120.9	67.3	85.6
28 天抗拉强度 /MPa	4.8	13.2	12.5	6.1	8.7
28 天极限延伸率/%	4.31	6.58	3.53	5.50	3.96

[0056]