



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113149567 A

(43) 申请公布日 2021.07.23

(21) 申请号 202110505330.6

(22) 申请日 2021.05.10

(71) 申请人 湖南工业大学

地址 412000 湖南省株洲市天元区泰山路  
88号

(72) 发明人 张哲 袁彬铖 马永春 李帅帅  
蒋高旭

(74) 专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司 44102

代理人 杨千寻 杜梅花

(51) Int. Cl.

C04B 28/04 (2006.01)

权利要求书1页 说明书5页

### (54) 发明名称

一种节能环保的结构用超高性能纤维增强  
混凝土

### (57) 摘要

一种节能环保的结构用超高性能纤维增强混凝土,属于建筑材料技术领域,由水泥、硅灰、矿物掺合料、石英砂、混杂纤维、水和高效减水剂配制而成;其中各组分质量配置比为:水泥1份、硅灰0.2~0.4份、矿物掺合料0.6~1.5份、石英砂1~1.2份、水0.17~0.25份;高效减水剂掺量为1.9%~2.1%,水胶比为0.14~0.20,混杂纤维体积总掺量为3%~9%。该UHPFRC材料采用矿物掺合料替代传统UHPFRC材料中40%~60%的水泥用量,同时将非金属类纤维部分替代钢纤维,形成钢纤维与非金属类纤维的多尺度纤维混杂体系,可有效利用各组分特性以提高工程结构的承载力,减少水泥和钢纤维用量,降低能源消耗及环境有害气体排放量,实现节能减排和环境友好目标,有利于促进UHPFRC材料在土木工程结构中的应用。

1. 一种节能环保的结构用超高性能纤维增强混凝土,其特征在于,由水泥、硅灰、矿物掺合料、石英砂、混杂纤维、水和高效减水剂配制而成;其中各组分质量配置比为:水泥1份、硅灰0.2~0.4份、矿物掺合料0.6~1.5份、石英砂1~1.2份、水0.17~0.25份;高效减水剂掺量为1.9%~2.1%,水胶比为0.14~0.20,混杂纤维体积总掺量为3%~9%。

2. 根据权利要求1所述的节能环保的结构用超高性能纤维增强混凝土,其特征在于,所述矿物掺合料采用石灰石矿粉、磨细石英砂、粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、钢渣粉及磷渣粉中的一种或两种以上。

3. 根据权利要求2所述的节能环保的结构用超高性能纤维增强混凝土,其特征在于,所述矿物掺合料平均粒径为2~10 $\mu\text{m}$ 。

4. 根据权利要求1所述的节能环保的结构用超高性能纤维增强混凝土,其特征在于,所述混杂纤维包含镀铜钢纤维和非金属类纤维。

5. 根据权利要求4所述的节能环保的结构用超高性能纤维增强混凝土,其特征在于,所述镀铜钢纤维包含平直型钢纤维、端钩型钢纤维、扭转型钢纤维及异形钢纤维中的一种或多种。

6. 根据权利要求4所述的节能环保的结构用超高性能纤维增强混凝土,其特征在于,所述非金属类纤维包含超高分子聚乙烯纤维、玻璃纤维、芳酰胺纤维及聚对苯撑苯并二噁唑纤维的一种或多种。

7. 根据权利要求1所述的节能环保的结构用超高性能纤维增强混凝土,其特征在于,所述水泥为强度等级52.5级以上的普通硅酸盐水泥。

8. 根据权利要求1所述的节能环保的结构用超高性能纤维增强混凝土,其特征在于,所述硅灰平均粒径为200nm。

9. 根据权利要求1所述的节能环保的结构用超高性能纤维增强混凝土,其特征在于,所述石英砂平均粒径为0.2mm。

10. 根据权利要求1所述的节能环保的结构用超高性能纤维增强混凝土,其特征在于,所述高效减水剂为聚羧酸高效减水剂,其减水效能可达40%。

## 一种节能环保的结构用超高性能纤维增强混凝土

### 技术领域

[0001] 本发明属于建筑材料技术领域,更具体地,涉及一种节能环保的结构用超高性能纤维增强混凝土。

### 背景技术

[0002] 二十世纪以来,我国建筑领域发展日趋激烈,各方面基础设施建设正在逐步完善,给人们生产生活带来便利的同时却对自然环境造成了极大的影响。据统计,全球基础设施建设、运营及后期维护所消耗的资源占全球总能源消耗的36%,而二氧化碳排放量占比可达40%。传统混凝土结构中水泥用量较高,其在生产过程中不仅会过多地消耗自然资源、提高生产成本,而且还会大幅增加水泥浇筑过程中产生的水化热和温室气体的排放量,过多的水化热会导致混凝土结构面层开裂从而影响结构的耐久性和服役寿命,而温室气体排放量的增加会进一步加快全球气候变暖的趋势、破坏生态平衡,有悖于国家现阶段所提倡的可持续发展战略。

[0003] 超高性能纤维增强混凝土(Ultra-high Performance Fiber Reinforced Concrete,UHPFRC)材料因基体高致密性而具有超高强度和优异的耐久性,是工程结构趋向大跨度、轻型化及装配化发展的理想应用材料。然而,有关研究表明UHPFRC材料生产过程中释放的二氧化碳(引起全球变暖的主因)中95%以上源自钢纤维的冶炼成型和水泥的生产制备及水化反应,而UHPFRC凝结硬化过程中水泥的水化反应参与程度较低(28天龄期水泥水化30%左右),大多数水泥颗粒并未发生水化反应而仅作为掺合料来提高基体致密性,与普通矿物掺合料填充效应相同。采用惰性矿物掺合料作为细集料不仅生产能耗降低,而且不参与水化反应而释放温室气体。另外,传统UHPFRC中钢纤维不仅受结构尺寸的影响分散性及取向性难以保证,而且因约束收缩作用使得UHPFRC材料内部产生较高的自内应力,甚至产生较多微裂缝从而影响结构耐久性。因此,如何优化UHPFRC各原材料组分的配合比而不降低其宏观力学性能成为UHPFRC结构在土木工程应用中亟待解决的问题之一。

[0004] 公布号为CN110482914A,名为一种超高性能混凝土检查井盖的发明专利,为了达到高抗压强度、耐久性好等性能,混凝土的配方中包含了水泥和镀铜钢纤维,其中水泥的质量占比达到了19%—37%,钢纤维的质量占比达到了3%—9%,可见,混凝土要想达到优异的性能,水泥和钢纤维的用量是需要有保证的,不能随意被大比例替换/减少。

### 发明内容

[0005] 针对上述存在的技术问题,本发明提出一种节能环保的结构用超高性能纤维增强混凝土,制备一种既能保证传统UHPFRC材料超高的耐久性、优异的力学性能和变形能力又节能减排、环境友好的一种新型UHPFRC材料。

[0006] 本申请采用以下具体的技术方案:

[0007] 一种节能环保的结构用超高性能纤维增强混凝土,由水泥、硅灰、矿物掺合料、石英砂、混杂纤维、水和高效减水剂配制而成;其中各组分质量配置比为:水泥1份、硅灰0.2~

0.4份、矿物掺合料0.6~1.5份、石英砂1~1.2份、水0.17~0.25份；高效减水剂掺量为1.9%~2.1%，水胶比为0.14~0.20，混杂纤维体积总掺量为3%~9%。

[0008] 优选的，所述矿物掺合料采用石灰石矿粉、磨细石英砂、粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、钢渣粉及磷渣粉中的一种或两种以上。

[0009] 优选的，所述矿物掺合料平均粒径为2~10 $\mu\text{m}$ 。

[0010] 优选的，所述混杂纤维包含镀铜钢纤维和非金属类纤维。

[0011] 优选的，所述镀铜钢纤维包含平直型钢纤维、端钩型钢纤维、扭转型钢纤维及异形钢纤维中的一种或多种。

[0012] 优选的，所述非金属类纤维包含超高分子聚乙烯纤维、玻璃纤维、芳酰胺纤维及聚对苯撑苯并二噁唑纤维的一种或多种。

[0013] 优选的，所述水泥为强度等级52.5级以上的普通硅酸盐水泥。

[0014] 优选的，所述硅灰平均粒径为200nm。

[0015] 优选的，所述石英砂平均粒径为0.2mm。

[0016] 优选的，所述高效减水剂为聚羧酸高效减水剂，其减水效能可达40%。

[0017] 本发明的有益效果为：

[0018] (1) 本申请中的节能环保的结构用UHPFRC材料采用矿物掺合料替代传统UHPFRC材料中40%~60%的水泥用量，可节约水泥用量，有效降低能源消耗及二氧化碳排放量，实现节能减排和环境友好。

[0019] (2) 节能环保的结构用UHPFRC材料将非金属类纤维部分替代钢纤维，形成钢纤维与其它类纤维混合的多尺度纤维混杂体系，可充分利用各组分特性以提高工程结构的承载力，有效减少钢纤维的用量，降低能源消耗；钢纤维力学性能优异，非金属类纤维的取向性和分散性较好，可从细观到宏观层次实现UHPFRC优异的力学性能，提升其纤维体系分散性及效用，提高结构承载力。

[0020] (3) 节能环保的结构用UHPFRC材料具有高抗拉强度和优异的变形能力；UHPFRC材料因水泥用量及钢纤维掺量低而自生内应力低，相较于不替代和仅替代掺合料的传统钢纤维UHPFRC材料，材料内应力可分别降低70%和50%，既能提高结构承载力，亦能延长结构使用寿命。

[0021] (4) 节能环保的结构用UHPFRC材料具有优异的抗压强度、抗裂性能和抗渗透性能；UHPFRC材料基体微观结构致密、抗渗性好，可减少水、氯离子、碳化、冻融、配筋锈蚀等因素对结构的影响，可提高结构耐久性；UHPFRC材料环境影响小，相较于预应力混凝土结构和传统UHPFRC结构，新型UHPFRC结构全寿命周期内二氧化碳及有毒物质排放量分别可降低55%和34%，实现节能减排和环境友好。

## 具体实施方式

[0022] 下面结合具体实施例进一步说明本发明。除非特别说明，本发明实施例中采用的原料和方法为本领域常规市购的原料和常规使用的方法。

[0023] 一种节能环保的结构用超高性能纤维增强混凝土，由水泥、硅灰、矿物掺合料、石英砂、混杂纤维、水和高效减水剂配制而成；其中各组分质量配置比为：水泥1份、硅灰0.2~0.4份、矿物掺合料0.6~1.5份、石英砂1~1.2份、水0.17~0.25份；高效减水剂掺量为

1.9%~2.1%，水胶比为0.14~0.20，混杂纤维体积总掺量为3%~9%。水泥为强度等级52.5级以上的普通硅酸盐水泥，硅灰平均粒径为200nm，石英砂平均粒径为0.2mm。

[0024] 矿物掺合料采用石灰石矿粉、磨细石英砂、粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、钢渣粉及磷渣粉中的一种或两种以上，平均粒径为2~10 $\mu$ m。矿物掺合料代替传统UHPFRC类材料中40%~60%的水泥，可节约水泥用量，有效降低能源消耗及二氧化碳排放量；还可提高材料的堆积密度、改善其力学性能和耐久性，还可降低内部孔隙率、减小自收缩效应、增加粘弹性效应从而减小自身内应力。

[0025] 混杂纤维包含镀铜钢纤维和非金属类纤维，镀铜钢纤维包含平直型钢纤维、端钩型钢纤维、扭转型钢纤维及异形钢纤维中的一种或多种；非金属类纤维包含超高分子量聚乙烯纤维(PE纤维)、玻璃纤维(GF纤维)、芳酰胺纤维(AF纤维)、聚对苯撑苯并二噁唑纤维(PBO纤维)的一种或多种。非金属类纤维的取向性和分散性较好，可与钢纤维形成多尺度的纤维混杂体系，可从细观到宏观层次实现UHPFRC优异的力学性能，提高纤维体系的分散性及效用。

[0026] 高效减水剂采用聚羧酸高效减水剂，其减水效能可达40%，减水效率较高，既能改善新型UHPFRC的工作性能和拌合物的流动性，亦能降低水胶比、减少内部孔隙率并增加微观结构致密性，有效保证UHPFRC优异的力学性能和耐久性。

[0027] 上述的节能环保的结构用UHPFRC材料，同时具有高抗压强度、高抗拉强度和优异的变形能力，抗压强度可达150MPa，高抗拉强度表现为初裂强度不小于7.0MPa和峰值抗拉强度不低于8.5MPa；自然养护条件下抗压强度可达150MPa，抗渗等级远高于P12；优异的应变硬化能力表现为峰值抗拉应变不小于0.5%；UHPFRC材料力学性能稳定，因水泥用量及钢纤维掺量低而自生内应力低，相较于不替代和仅替代掺合料的传统钢纤维UHPFRC材料，材料内应力可分别降低70%和50%，可有效提高结构承载力。

[0028] 还具有优异的抗裂性能和抗渗透性能。优异的抗裂性能表现为拉应变水平超过0.2%时UHPFRC结构的裂缝宽度不超过0.05mm，而拉应变水平超过4.5%时裂缝宽度不大于0.1mm；UHPFRC材料微观结构致密、耐久性好，可作为工程结构作防水层。

[0029] 同时，相较于预应力混凝土结构和传统UHPFRC结构，本节能环保的结构用UHPFRC材料全寿命周期内二氧化碳及有毒物质排放量分别可降低55%和34%，节能减排，环境友好。

[0030] 最后，该材料在自然条件下养护成型即可达到设计强度，无需进行高温高压养护和蒸汽养护。

[0031] 实施例1

[0032] 本实施例的UHPFRC材料由水泥、硅灰、两种石灰石掺合料、钢纤维和PE纤维、水、石英砂和高效减水剂配置而成。其中，水泥采用CEM I型52.5R级普通硅酸盐水泥，用量为508.9kg/m<sup>3</sup>；硅灰平均粒径为200nm，用量为178.0kg/m<sup>3</sup>；所用两种石灰石粉均为惰性胶凝材料，其中石灰石粉1平均粒径为10 $\mu$ m，用量为170.2kg/m<sup>3</sup>，石灰石粉2平均粒径为2 $\mu$ m，用量为379.1kg/m<sup>3</sup>；混杂纤维采用直径为0.2mm、长度为10mm的平直钢纤维和直径为0.012mm、长度为6mm的PE纤维，其中钢纤维体积掺量3%，用量为235.5kg/m<sup>3</sup>，PE纤维体积掺量2%，用量为19.6kg/m<sup>3</sup>；所用水的用量为119.6kg/m<sup>3</sup>；石英砂平均粒径为0.2mm，用量为525.2kg/m<sup>3</sup>；高效减水剂采用聚羧酸高效减水剂，用量为10.2kg/m<sup>3</sup>。本实施例1的UHPC采用两种不同粒

径的惰性石灰石粉1和石灰石粉2分别替代对比例1UHPC中16%和36%的水泥用量,同时采用PE纤维替代40%的平直钢纤维用量。对比例1UHPC(传统超高性能纤维增强混凝土)的配比详见表1。

[0033] 实例的制备包括如下步骤:

[0034] 第一步,混合:按照上述所述的配合比称取各组分质量,检查搅拌机并预湿;然后将一半的胶凝材料、骨料加入到混凝土搅拌机中搅拌2分钟;随后加入所有的水,搅拌1.5分钟后加入所有减水剂,搅拌1.5~3.5分钟;之后在2分钟内逐渐加入剩下的混合料,搅拌约13分钟;最后添加钢纤维和PE纤维,搅拌10~12分钟得到均匀的混凝土拌合物。

[0035] 第二步,成型和振捣:将混凝土拌合物装入模具中并振捣1分钟,然后将混凝土试块表面抹平。

[0036] 第三步,养护和性能测试:采用塑料薄膜覆盖并在自然条件下养护24h后拆模,然后环境条件养护28d。

[0037] 表1

材料	类别	对比例 1 UHPC	实例 1 UHPC
		( $kg/m^3$ )	( $kg/m^3$ )
[0038]	水泥	1058.2	508.9
	硅灰	178	178.0
	石英砂	525.2	525.2
	石灰石粉 1	—	170.2
	石灰石粉 2	—	379.1
	钢纤维	392.5	235.5
	PE 纤维	—	19.6
	水	215.2	119.6
	聚羧酸高效减水剂	10.2	10.2
[0039]	抗压强度 (MPa)	120	150
	抗拉强度 (MPa)	7.9	9.6

[0040] 对比例1与实例1的抗压强度和抗拉强度见表1,采用本申请的配方制成的新型超高性能纤维增强混凝土(大量水泥用量和部分钢纤维用两种矿物掺合料代替)的抗压强度与抗拉强度明显优于对比例1采用传统配方制成的UHPC。

[0041] 实施例2

[0042] 本实施例的新型UHPFRC材料由水泥、硅灰、石灰石粉、钢纤维和PBO纤维、水、石英砂和高效减水剂配置而成。其中,水泥采用CEMI型52.5R级普通硅酸盐水泥,用量为508.9kg/m<sup>3</sup>;硅灰平均粒径为200nm,用量为178.0kg/m<sup>3</sup>;石灰石粉用量为344.4kg/m<sup>3</sup>;混杂纤维采用直径为0.2mm、长度为10mm的平直钢纤维和直径为0.04mm、长度为4mm的PBO纤维,

其中钢纤维体积掺量为3%，用量为235.5kg/m<sup>3</sup>，PBO纤维体积掺量为2%，用量为31.2kg/m<sup>3</sup>；所用水的用量为125.1kg/m<sup>3</sup>；石英砂平均粒径0.2mm，用量为525.1kg/m<sup>3</sup>；高效减水剂采用聚羧酸高效减水剂，用量为10.2kg/m<sup>3</sup>。本实施例2的UHPC采用一种惰性石灰石粉替代对比例2UHPC中40%的水泥用量，同时采用PBO纤维替代40%的平直钢纤维用量。对比例2的配比详见表2。制备方法(步骤)同实施例1。

[0043] 表2

材料	类别	对比例 2 UHPC	实例 2 UHPC
		(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )
[0044]	水泥	853.3	508.9
	硅灰	178	178.0
	石英砂	525.2	525.1
	石灰石粉 1	—	—
	石灰石粉 2	—	344.4
	钢纤维	392.5	235.5
	PBO 纤维	—	31.2
	水	187.8	125.1
	聚羧酸高效减水剂	10.2	10.2
[0045]	抗压强度 (MPa)	118	148
	抗拉强度 (MPa)	7.6	9.8

[0046] 对比例2与实例2的抗压强度和抗拉强度见表2，采用本申请的配方制成的新型超高性能纤维增强混凝土(减少水泥、钢纤维用量并用一种矿物掺合料代替)的抗压强度与抗拉强度明显优于对比例2采用传统配方制成的UHPC。

[0047] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已，并不用于限制本发明，对于本领域的技术人员来说，本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均包含在本发明的保护范围之内。