



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117534419 A

(43) 申请公布日 2024. 02. 09

(21) 申请号 202311850510.3

B33Y 50/02 (2015.01)

(22) 申请日 2023.12.29

C04B 28/06 (2006.01)

(71) 申请人 内蒙古众合增材制造科技有限公司
地址 010010 内蒙古自治区呼和浩特市和林格尔县盛乐现代服务业集聚区创客中心万创空间3号楼C225室

(72) 发明人 郭鋈 张永虹 陈海波 刘晓民
王欣欣 杨博豪

(74) 专利代理机构 上海伯瑞杰知识产权代理有限公司 31227

专利代理师 王晓丽

(51) Int. Cl.

C04B 28/04 (2006.01)

B33Y 70/10 (2020.01)

B33Y 10/00 (2015.01)

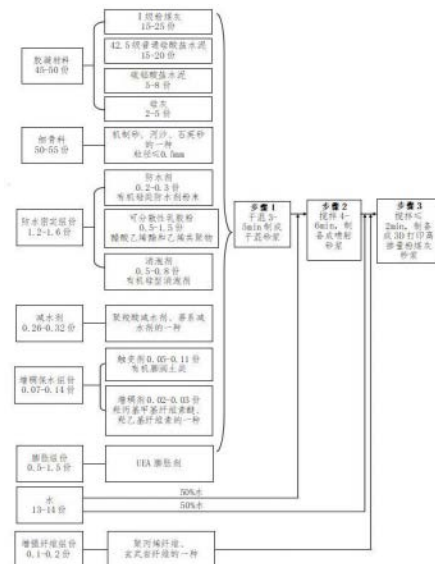
权利要求书2页 说明书13页 附图3页

(54) 发明名称

一种3D打印混凝土、3D打印高掺量粉煤灰砂浆及其应用

(57) 摘要

本发明公开一种3D打印混凝土、3D打印高掺量粉煤灰砂浆及其应用,3D打印混凝土,包括胶凝材料40-50份;细骨料45-55份,粉煤灰微珠3-5份,减水剂0.135-0.14份,增稠保水组份0.023-0.025份,增强纤维组份0.2-0.4份,消泡剂0.4-0.5份、水13-14份;3D打印高掺量粉煤灰砂浆,包括胶凝材料45-50份;细骨料50-55份,防水密实组份1.2-1.6份,减水剂0.26-0.32份,增稠保水组份0.07-0.14份,膨胀组份为0.5-1.5份,增强纤维组份为0.1-0.2份,水13-14份;将本发明3D打印混凝土、3D打印高掺量粉煤灰砂浆制备成建筑构件,性能良好。



1. 一种3D打印混凝土,其特征在于,按质量份数计,包括如下组份:胶凝材料40-50份;细骨料45-55份,粉煤灰微珠3-5份,减水剂0.135-0.14份,增稠保水组份0.023-0.025份,增强纤维组份0.2-0.4份,消泡剂0.4-0.5份、水13-14份;

所述胶凝材料包括42.5级普通硅酸盐水泥20-25份、I级粉煤灰15-18.75份、S95级矿粉5-6.25份;

所述细骨料为中砂或铁尾矿的一种,所述中砂、铁尾矿的粒径均 $<0.5\text{mm}$;

所述粉煤灰微珠的粒径为1.5-2.5mm、容重为 $700-750\text{kg}/\text{m}^3$ 、内部中空,吸水率为35-45%;

所述减水剂为聚羧酸减水剂;

所述增稠保水组份为羟乙基纤维素醚;

所述增强纤维组份为玄武岩纤维,所述玄武岩纤维的长度为10-20mm;

所述消泡剂为有机硅型消泡剂。

2. 如权利要求1所述的一种3D打印混凝土,其特征在于,制备方法包括如下步骤:

S31、将粉煤灰微珠预处理24h-48h备用;

S32、将胶凝材料、细骨料、减水剂、增稠保水组份和消泡剂混合后干拌搅匀,制备成3D打印胶凝料混合料;

S33、将步骤S32制备的3D打印胶凝料混合料加入水搅拌,加入步骤S31预处理过的粉煤灰微珠,搅拌均匀后再均匀撒入增强纤维组份,再次搅拌 $\leq 20\text{min}$ 使其均匀,制得3D打印混凝土。

3. 如权利要求2所述的一种3D打印混凝土,其特征在于,所述步骤S31中,预处理的方式为将粉煤灰微珠浸泡于装水容器中24h-48h。

4. 如权利要求2所述的一种3D打印混凝土,其特征在于,步骤S33中,将步骤S32制备的3D打印胶凝料混合料加入水搅拌2-4min,转速为 $60 \pm 4\text{r}/\text{min}$ 。

5. 一种3D打印高掺量粉煤灰砂浆,其特征在于,按质量份数计,包括胶凝材料45-50份;细骨料50-55份,防水密实组份1.2-1.6份,减水剂0.26-0.32份,增稠保水组份0.07-0.14份,膨胀组份为0.5-1.5份,增强纤维组份为0.1-0.2份,水13-14份;

所述胶凝材料包括I级粉煤灰15-25份、42.5级普通硅酸盐水泥15-20份、硫铝酸盐水泥5-8份、硅灰2-5份;

所述细骨料为机制砂、河砂、石英砂的一种;所述机制砂、河砂、石英砂的粒径均 $\leq 0.5\text{mm}$;

所述防水密实组份由可分散性乳胶粉、防水剂及消泡剂组成;按质量份数计,所述防水剂为0.2-0.3份;所述可分散性乳胶粉为0.5-1.5份;所述消泡剂为0.5-0.8份;

所述减水剂为聚羧酸减水剂、萘系减水剂的一种;

所述增稠保水组份由增稠剂、触变剂组成;按质量份数计,所述增稠剂为0.02-0.03份;所述触变剂为0.05-0.11份;

所述膨胀组份为UEA膨胀剂;

所述增强纤维组份为聚丙烯纤维、玄武岩纤维的一种;

所述防水剂为有机硅类防水剂粉末;所述消泡剂为有机硅型消泡剂;所述可分散性乳胶粉为醋酸乙烯酯和乙烯共聚物组成的可再分散乳胶粉;

所述增稠剂为羟丙基甲基纤维素醚、羟乙基纤维素中的一种,羟丙基甲基纤维素醚、羟乙基纤维素在20℃,2%浓度下的粘度为30000mPa·s;所述触变剂为有机膨润土。

6.如权利要求5所述的一种3D打印高掺量粉煤灰砂浆,其特征在于,制备方法如下:

S81、将胶凝材料、细骨料、防水密实组分、减水剂、增稠保水组份、膨胀组份混合干搅拌3-5min,制备成干混砂浆;

S82、在干混砂浆中加入50%的水搅拌4-6min,制备成喷射砂浆;

S83、将增强纤维组份和其余50%的水加入,搅拌 ≤ 2 min,制备成3D打印高掺量粉煤灰砂浆。

7.一种3D打印混凝土、3D打印高掺量粉煤灰砂浆的应用,其特征在于,包括如下步骤:

S91、使用切片软件对将要建造的3D打印构件的3D模型进行切片分析,生成打印路径文件,确定层高和打印层数;

S92、将权利要求1-5任一项3D打印混凝土送入3D打印机中,逐层打印,制备成3D打印主体结构;

S93、在3D打印主体结构初凝后、终凝前,将权利要求6-9任一项3D打印高掺量粉煤灰砂浆分为两层喷涂到3D打印构件的表面;第一层延打印方向呈S型平行喷涂2-4mm薄层,喷射压强 ≤ 0.1 MPa,喷涂的具体位置位于条带与条带接缝,覆盖每层条带与相邻条带的接缝处;待第一层表干后,垂直于第一层的方向,呈S型进行第二层喷射,厚度为4-6mm,喷射时压强为0.4-0.5MPa;

S94、于干燥自然通风的环境中进行养护25-30天得到3D打印混凝土构件。

一种3D打印混凝土、3D打印高掺量粉煤灰砂浆及其应用

技术领域

[0001] 本发明属于建筑3D打印材料技术领域,具体涉及一种3D打印混凝土、3D打印高掺量粉煤灰砂浆及其应用。

背景技术

[0002] 近年来随着建筑3D打印技术的快速发展,该项技术的应用范围也越来越广泛,目前在工业建筑、民用建筑、水利基础设施建设、电力基础设施建设、城市雕塑及景观小品等方面也得到了广泛的应用。传统建筑3D打印材料受原材料复杂的生产和制备过程等因素影响,已无法满足日益增长的社会需求。经实际大量的工程及试验证明,传统建筑3D打印技术制备的构件,层间与条间的薄弱部位防水及抗渗效果不尽人意,为保证外层防水抗渗材料的性能,现有技术中往往增加外加剂和纤维的用量,而外加剂和纤维的增加又会堵塞管道和喷头、喷射面薄厚不均匀等问题,从而降低3D打印构件的性能。

[0003] 另一方面,目前我国燃煤火电厂每年大量排放粉煤灰等大宗固废,不能被利用,造成了大量的资源浪费及环境污染,本发明为了提高火电厂粉煤灰的综合利用率,降低碳排放,也为了进一步提高建筑3D打印材料的各项指标,亟待一种将粉煤灰等大宗固废应用到3D打印混凝土构件中的3D打印混凝土和3D打印高掺量粉煤灰砂浆。

发明内容

[0004] 为解决上述技术问题,本发明提出一种3D打印混凝土、3D打印高掺量粉煤灰砂浆及其应用,在保证3D打印构件性能的同时,将粉煤灰等大宗固废最大限度应用到3D打印混凝土构件中,具体如下:

一种3D打印混凝土,按质量份数计,包括如下组份:胶凝材料40-50份;细骨料45-55份,粉煤灰微珠3-5份,减水剂0.135-0.14份,增稠保水组份0.023-0.025份,增强纤维组份0.2-0.4份,消泡剂0.4-0.5份、水13-14份。

[0005] 而且,按质量份数计,所述胶凝材料包括42.5级普通硅酸盐水泥20-25份、I级粉煤灰15-18.75份、S95级矿粉5-6.25份;

所述细骨料为中砂或铁尾矿的一种,所述中砂、铁尾矿的粒径均 $<0.5\text{mm}$;

所述粉煤灰微珠的粒径为 $1.5-2.5\text{mm}$ 、容重为 $700-750\text{kg}/\text{m}^3$ 、内部中空,吸水率为35-45%;

所述减水剂为聚羧酸减水剂;

所述增稠保水组份为羟乙基纤维素醚;

所述增强纤维组份为玄武岩纤维,所述玄武岩纤维的长度为 $10-20\text{mm}$;

所述消泡剂为有机硅型消泡剂。

[0006] 而且,3D打印混凝土的制备方法包括如下步骤:

S31、将粉煤灰微珠预处理24h-48h备用;预处理的方式为将粉煤灰微珠浸泡于装水容器中24h-48h。

[0007] S32、将胶凝材料、细骨料、减水剂、增稠保水组份和消泡剂混合后干拌搅匀,制备成3D打印胶凝料混合料;

S33、将步骤S32制备的3D打印胶凝料混合料加入水搅拌,加入步骤S31预处理过的粉煤灰微珠,搅拌均匀后再均匀撒入增强纤维组份,再次搅拌 $\leq 20\text{min}$ 使其均匀,制得3D打印混凝土。

[0008] 而且,步骤S33中,将步骤S32制备的3D打印胶凝料混合料加入水搅拌2-4min,转速为 $60 \pm 4\text{r/min}$ 。

[0009] 制备过程见图1。

[0010] 另一方面,本发明提供一种3D打印高掺量粉煤灰砂浆,按质量份数计,包括胶凝材料45-50份;细骨料50-55份,防水密实组份1.2-1.6份,减水剂0.26-0.32份,增稠保水组份0.07-0.14份,膨胀组份为0.5-1.5份,增强纤维组份为0.1-0.2份,水13-14份。

[0011] 而且,按质量份数计,所述胶凝材料包括I级粉煤灰15-25份、42.5级普通硅酸盐水泥15-20份、硫铝酸盐水泥5-8份、硅灰2-5份;

所述细骨料为机制砂、河砂、石英砂的一种;所述机制砂、河砂、石英砂的粒径均 $\leq 0.5\text{mm}$;

所述防水密实组份由可分散性乳胶粉、防水剂及消泡剂组成;按质量份数计,所述防水剂为0.2-0.3份;所述可分散性乳胶粉为0.5-1.5份;所述消泡剂为0.5-0.8份;

所述减水剂为聚羧酸减水剂、萘系减水剂的一种;

所述增稠保水组份由增稠剂、触变剂组成;按质量份数计,所述增稠剂为0.02-0.03份;所述触变剂为0.05-0.11份;

所述膨胀组份为UEA膨胀剂;

所述增强纤维组份为聚丙烯纤维、玄武岩纤维的一种。

[0012] 而且,所述防水剂为有机硅类防水剂粉末;所述消泡剂为有机硅型消泡剂;所述可分散性乳胶粉为醋酸乙烯酯和乙烯共聚物组成的可再分散乳胶粉;

所述增稠剂为羟丙基甲基纤维素醚、羟乙基纤维素的一种,羟丙基甲基纤维素醚、羟乙基纤维素在 20°C ,2%浓度下的粘度均为 $30000\text{mPa}\cdot\text{s}$;所述触变剂为有机膨润土。

[0013] 而且,3D打印高掺量粉煤灰砂浆的制备方法如下:

S91、将胶凝材料、细骨料、防水密实组分、减水剂、增稠保水组份、膨胀组份混合干搅拌3-5min,制备成干混砂浆;

S92、在干混砂浆中加入50%的水搅拌4-6min,制备成喷射砂浆;

S93、将增强纤维组份和其余50%的水加入,搅拌 $\leq 2\text{min}$,制备成3D打印高掺量粉煤灰砂浆。

[0014] 制备过程见图2。

[0015] 另一方面,本发明提供了一种3D打印混凝土、3D打印高掺量粉煤灰砂浆的应用,其特征在于,包括如下步骤:

S101、使用切片软件对将要建造的3D打印构件的3D模型进行切片分析,生成打印路径文件,确定层高和打印层数;

S102、将3D打印混凝土送入3D打印机中,逐层打印,制备成3D打印主体结构;

S103、在3D打印主体结构初凝后、终凝前,将3D打印高掺量粉煤灰砂浆分为两层喷

涂到3D打印构件的表面；第一层延打印方向呈S型平行喷涂2-4mm薄层，喷射压强 $\leq 0.1\text{MPa}$ ，喷涂的具体位置位于条带与条带接缝，覆盖每层条带与相邻条带的接缝处；待第一层表干后，垂直于第一层的方向，呈S型进行第二层喷射，厚度为4-6mm，喷射时压强为0.4-0.5MPa；

S104、于干燥自然通风的环境中进行养护25-30天得到3D打印混凝土构件。测试

[0016] 与现有技术相比，本发明的有益效果如下：

1、本发明在制备3D打印混凝土时，将粉煤灰微珠浸泡水中24h-48h进行预湿处理：

(1)、由于3D打印混凝土打印的3D打印主体结构在终凝之前就被外层3D打印高掺量粉煤灰砂浆包裹，通过喷淋或洒水等方式进行养护无法做到充分的硬化和水化，会导致后期3D打印主体结构强度损失过多，用粉煤灰微珠先吸收一部分水分，混入3D打印混凝土中，在水化过程中3D打印主体结构会出现体积收缩，通过挤压会将粉煤灰微珠中的水分逐渐释放出来，提供自养护的环境，减少因养护不充分导致的强度不佳；(2)、掺入粉煤灰微珠，可以平衡水化过程中3D打印主体结构的体积变化，减少因体积收缩而引起与3D打印高掺量粉煤灰砂浆的分离，导致硬化后的喷涂砂浆开裂、剥落；

2、本发明在制备3D打印混凝土、3D打印高掺量粉煤灰砂浆时，将I级粉煤灰作为胶凝材料的一种成分：(1)、根据I级粉煤灰具有“滚珠轴承”形态效应，增加喷射砂浆的泵送性能，防止掺入纤维后堵管的情况；(2)、I级粉煤灰具有减水作用，能够降低喷射砂浆的水胶比，减少不良空隙带来的强度降低，增加涂层的密实度；(3)、I级粉煤灰掺入砂浆中会发生二次水化，生成的C-H-S凝胶进一步填充了水泥水化后的空隙，使硬化后的砂浆更致密，降低氯离子渗透，降低毛细孔吸水率，增加防水性能；(4)、本发明在3D打印主体结构上喷涂3D打印高掺量粉煤灰砂浆，I级粉煤灰的二次水化作用会使3D打印高掺量粉煤灰砂浆和3D打印主体结构接触面更牢固；(5)、对于喷射施工来讲，掺入I级粉煤灰可以减少回弹；(6)、由于体系中加入硫铝酸盐水泥，体系早期强度较高，后期强度会有损失，而I级粉煤灰的加入，可以降低的后期的强度损失。

[0017] 3、本发明将第一层3D打印高掺量粉煤灰砂浆喷射在3D打印主体结构每层条带与条带的接缝处，可以提升条带间薄弱部位的防水性能；第二层垂直于第一层的喷涂方向进行喷涂，可以保证防水层的防水作用严密，以防未喷涂的部位产生防水薄弱部分。

[0018] 4、采用本发明的3D打印高掺量粉煤灰砂浆和3D打印混凝土制备的构件，外表面开始渗水时间为1h，渗水面积仅为 20cm^2 ，渗水1.5h结束，性能良好。

附图说明

[0019] 图1为本发明3D打印混凝土的制备过程；

图2为本发明3D打印高掺量粉煤灰砂浆的制备过程；

图3为本发明实施例9制备的3D打印主体结构效果图；

图4为本发明实施例9中喷涂第二层3D打印高掺量粉煤灰砂浆后的效果图。

具体实施方式

[0020] 实施例1

[0021] 一种3D打印混凝土，按质量份数计，包括如下组份：胶凝材料50份；细骨料55份，粉煤灰微珠5份，减水剂0.14份，增稠保水组份0.025份，增强纤维组份0.4份，消泡剂0.5份、水

14份。

[0022] 优选地,按质量份数计,所述胶凝材料包括42.5级普通硅酸盐水泥25份、I级粉煤灰18.75份、S95级矿粉6.25份;

所述细骨料为中砂,所述中砂的粒径 $<0.5\text{mm}$;

所述粉煤灰微珠的粒径为 2.5mm 、容重为 $750\text{kg}/\text{m}^3$ 、内部中空,吸水率为45%;

所述减水剂为聚羧酸减水剂;

所述增稠保水组份为羟乙基纤维素醚;

所述增强纤维组份为玄武岩纤维,所述玄武岩纤维的长度为 20mm ;

所述消泡剂为有机硅型消泡剂。

[0023] 优选地,一种3D打印混凝土的制备方法包括如下步骤:

步骤1、将粉煤灰微珠预处理48h备用;预处理的方式为将粉煤灰微珠浸泡于装水容器中48h;

步骤2、将胶凝材料、细骨料、减水剂、增稠保水组份和消泡剂混合后干拌搅匀,制备成3D打印胶凝料混合料;

步骤3、将步骤2制备的3D打印胶凝料混合料加入水搅拌,加入步骤1浸泡过的粉煤灰微珠,搅拌均匀后再均匀撒入增强纤维组份,再次搅拌 20min 使其均匀,制得3D打印混凝土。

[0024] 优选地,步骤3中,将步骤2制备的3D打印胶凝料混合料加入水搅拌 4min ,转速为 $604\text{r}/\text{min}$ 。

[0025] 实施例2

[0026] 一种3D打印混凝土,按质量份数计,包括如下组份:胶凝材料40份;细骨料45份,粉煤灰微珠3份,减水剂 0.135 份,增稠保水组份 0.023 份,增强纤维组份 0.2 份,消泡剂 0.4 份、水 13 份。

[0027] 优选地,按质量份数计,所述胶凝材料包括42.5级普通硅酸盐水泥20份、I级粉煤灰15份、S95级矿粉5份;

所述细骨料为铁尾矿,所述铁尾矿的粒径 $<0.5\text{mm}$;

所述粉煤灰微珠的粒径为 1.5mm 、容重为 $700\text{kg}/\text{m}^3$ 、内部中空,吸水率为35%;

所述减水剂为聚羧酸减水剂;

所述增稠保水组份为羟乙基纤维素醚;

所述增强纤维组份为玄武岩纤维,所述玄武岩纤维的长度为 10mm ;

所述消泡剂为有机硅型消泡剂。

[0028] 优选地,一种3D打印混凝土的制备方法包括如下步骤:

步骤1、将粉煤灰微珠预处理24h备用;预处理的方式为将粉煤灰微珠浸泡于装水容器中24h;

步骤2、将胶凝材料、细骨料、减水剂、增稠保水组份和消泡剂混合后干拌搅匀,制备成3D打印胶凝料混合料;

步骤3、将步骤2制备的3D打印胶凝料混合料加入水搅拌,加入步骤1浸泡过的粉煤灰微珠,搅拌均匀后再均匀撒入增强纤维组份,再次搅拌 20min 使其均匀,制得3D打印混凝土。

[0029] 优选地,步骤3中,将步骤2制备的3D打印胶凝料混合料加入水搅拌2min,转速为56r/min。

[0030] 实施例3

[0031] 一种3D打印混凝土,按质量份数计,包括如下组份:胶凝材料45份;细骨料50份,粉煤灰微珠4份,减水剂0.138份,增稠保水组份0.024份,增强纤维组份0.3份,消泡剂0.45份、水13.5份。

[0032] 优选地,按质量份数计,所述胶凝材料包括42.5级普通硅酸盐水泥22份、I级粉煤灰16.5份、S95级矿粉5.8份;

所述细骨料为中砂,所述中砂的粒径 $<0.5\text{mm}$;

所述粉煤灰微珠的粒径为2mm、容重为 $725\text{kg}/\text{m}^3$ 、内部中空,吸水率为40%;

所述减水剂为聚羧酸减水剂;

所述增稠保水组份为羟乙基纤维素醚;

所述增强纤维组份为玄武岩纤维,所述玄武岩纤维的长度为15mm;

所述消泡剂为有机硅型消泡剂。

[0033] 优选地,一种3D打印混凝土的制备方法包括如下步骤:

步骤1、将粉煤灰微珠预处理36h备用;预处理的方式为将粉煤灰微珠浸泡于装水容器中36h;

步骤2、将胶凝材料、细骨料、减水剂、增稠保水组份和消泡剂混合后干拌搅匀,制备成3D打印胶凝料混合料;

步骤3、将步骤2制备的3D打印胶凝料混合料加入水搅拌,加入步骤1浸泡过的粉煤灰微珠,搅拌均匀后再均匀撒入增强纤维组份,再次搅拌20min使其均匀,制得3D打印混凝土。

[0034] 优选地,步骤3中,将步骤2制备的3D打印胶凝料混合料加入水搅拌3min,转速为60r/min。

[0035] 实施例4

[0036] 一种3D打印高掺量粉煤灰砂浆,按质量份数计,包括胶凝材料50份;细骨料55份,防水密实组份1.6份,减水剂0.32份,增稠保水组份0.14份,膨胀组份为1.5份,增强纤维组份为0.2份,水14份。

[0037] 优选地,按质量份数计,所述胶凝材料包括I级粉煤灰15份、42.5级普通硅酸盐水泥15份、硫铝酸盐水泥5份、硅灰2份;

所述细骨料为机制砂;所述机制砂的粒径为 $\leq 0.5\text{mm}$;

所述防水密实组份由可分散性乳胶粉、防水剂及消泡剂组成;按质量份数计,所述防水剂为0.2份;所述可分散性乳胶粉为0.5份;所述消泡剂为0.5份;

优选地,所述防水剂为有机硅类防水剂粉末;所述消泡剂为有机硅型消泡剂;所述可分散性乳胶粉为醋酸乙烯酯和乙烯共聚物组成的可再分散乳胶粉;

所述减水剂为聚羧酸减水剂;

所述增稠保水组份由增稠剂、触变剂组成;按质量份数计,所述增稠剂为0.02份;所述触变剂为0.05份。

[0038] 所述增稠剂为羟乙基纤维素,羟乙基纤维素在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$,2%浓度下的粘度均为

30000mPa·s;所述触变剂为有机膨润土。

[0039] 所述增稠剂为羟丙基甲基纤维素醚,羟丙基甲基纤维素醚在20℃,2%浓度下的粘度均为30000mPa·s;所述触变剂为有机膨润土。

[0040] 所述膨胀组份为UEA膨胀剂;

所述增强纤维组份为聚丙烯纤维;

优选地,一种3D打印高掺量粉煤灰砂浆的制备方法如下:

步骤1、将胶凝材料、细骨料、防水密实组分、减水剂、增稠保水组份、膨胀组份混合干搅拌3min,制备成干混砂浆;

步骤2、在干混砂浆中加入50%的水搅拌4min,制备成喷射砂浆;

步骤3、将增强纤维组份和其余50%的水加入,搅拌 ≤ 2 min,制备成3D打印高掺量粉煤灰砂浆。

[0041] 实施例5

[0042] 一种3D打印高掺量粉煤灰砂浆,按质量份数计,包括胶凝材料50份;细骨料55份,防水密实组份1.6份,减水剂0.32份,增稠保水组份0.14份,膨胀组份为1.5份,增强纤维组份为0.2份,水4份。

[0043] 优选地,按质量份数计,所述胶凝材料包括I级粉煤灰25份、42.5级普通硅酸盐水泥20份、硫铝酸盐水泥8份、硅灰5份;

所述细骨料为河砂;所述河砂的粒径 ≤ 0.5 mm;

所述防水密实组份由可分散性乳胶粉、防水剂及消泡剂组成;按质量份数计,所述防水剂为0.3份;所述可分散性乳胶粉为1.5份;所述消泡剂为0.8份。

[0044] 优选地,所述防水剂为有机硅类防水剂粉末;所述消泡剂为有机硅型消泡剂;所述可分散性乳胶粉为醋酸乙烯酯和乙烯共聚物组成的可再分散乳胶粉;

所述减水剂为萘系减水剂;

所述增稠保水组份由增稠剂、触变剂组成;按质量份数计,所述增稠剂为0.03份;所述触变剂为0.11份;

所述增稠剂为羟乙基纤维素,羟乙基纤维素在20℃,2%浓度下的粘度为30000mPa·s;所述触变剂为有机膨润土。

[0045] 所述膨胀组份为UEA膨胀剂;

所述增强纤维组份为玄武岩纤维。

[0046] 优选地,一种3D打印高掺量粉煤灰砂浆的制备方法如下:

步骤1、将胶凝材料、细骨料、防水密实组分、减水剂、增稠保水组份、膨胀组份混合干搅拌5min,制备成干混砂浆;

步骤2、在干混砂浆中加入50%的水搅拌6min,制备成喷射砂浆;

步骤3、将增强纤维组份和其余50%的水加入,搅拌 ≤ 2 min,制备成3D打印高掺量粉煤灰砂浆。

[0047] 实施例6

[0048] 一种3D打印高掺量粉煤灰砂浆,按质量份数计,包括胶凝材料48份;细骨料52份,防水密实组份1.4份,减水剂0.29份,增稠保水组份0.1份,膨胀组份为1份,增强纤维组份为0.15份,水13.5份。

[0049] 优选地,按质量份数计,所述胶凝材料包括I级粉煤灰20份、42.5级普通硅酸盐水泥18份、硫铝酸盐水泥6.5份、硅灰3份;

所述细骨料为石英砂;所述石英砂的粒径 $\leq 0.5\text{mm}$;

所述防水密实组份由可分散性乳胶粉、防水剂及消泡剂组成;按质量份数计,所述防水剂为0.25份;所述可分散性乳胶粉为1份;所述消泡剂为0.65份。

[0050] 优选地,所述防水剂为有机硅类防水剂粉末;所述消泡剂为有机硅型消泡剂;所述可分散性乳胶粉为醋酸乙烯酯和乙烯共聚物组成的可再分散乳胶粉;

所述减水剂为萘系减水剂;

所述增稠保水组份由增稠剂、触变剂组成;按质量份数计,所述增稠剂为0.025份;所述触变剂为0.08份。

[0051] 所述增稠剂为羟丙基甲基纤维素醚,羟丙基甲基纤维素醚在 20°C ,2%浓度下的粘度为 $30000\text{mPa}\cdot\text{s}$;所述触变剂为有机膨润土。

[0052] 所述膨胀组份为UEA膨胀剂;

所述增强纤维组份为聚丙烯纤维。

[0053] 优选地,一种3D打印高掺量粉煤灰砂浆的制备方法如下:

步骤1、将胶凝材料、细骨料、防水密实组分、减水剂、增稠保水组份、膨胀组份混合干搅拌3-5min,制备成干混砂浆;

步骤2、在干混砂浆中加入50%的水搅拌5min,制备成喷射砂浆;

步骤3、将增强纤维组份和其余50%的水加入,搅拌2min,制备成3D打印高掺量粉煤灰砂浆。

[0054] 实施例7

[0055] 一种3D打印混凝土、3D打印高掺量粉煤灰砂浆的应用,包括如下步骤:

步骤1、使用切片软件对将要建造的3D打印构件的3D模型进行切片分析,生成打印路径文件,确定层高和打印层数;

步骤2、将实施例3制备的3D打印混凝土送入3D打印机中,逐层打印,制备成3D打印主体结构;

步骤3、在3D打印主体结构初凝后、终凝前,将实施例6制备的3D打印高掺量粉煤灰砂浆分为两层喷涂到3D打印构件的表面;第一层延打印方向呈S型平行喷涂2mm薄层,喷射压强 $\leq 0.1\text{MPa}$,喷涂的具体位置位于条带与条带接缝,覆盖每层条带与相邻条带的接缝处;待第一层表干后,垂直于第一层的方向,呈S型进行第二层喷射,厚度为4mm,喷射时压强为 0.4MPa ;

步骤4、于干燥自然通风的环境中进行养护25天得到3D打印混凝土构件。

[0056] 实施例8

[0057] 一种3D打印混凝土、3D打印高掺量粉煤灰砂浆的应用,包括如下步骤:

步骤1、使用切片软件对将要建造的3D打印构件的3D模型进行切片分析,生成打印路径文件,确定层高和打印层数;

步骤2、将实施例3制备的3D打印混凝土送入3D打印机中,逐层打印,制备成3D打印主体结构;

步骤3、在3D打印主体结构初凝后、终凝前,将实施例6制备的3D打印高掺量粉煤灰

砂浆分为两层喷涂到3D打印构件的表面;第一层延打印方向呈S型平行喷涂4mm薄层,喷射压强 $\leq 0.1\text{MPa}$,喷涂的具体位置位于条带与条带接缝,覆盖每层条带与相邻条带的接缝处;待第一层表干后,垂直于第一层的方向,呈S型进行第二层喷射,厚度为6mm,喷射时压强为0.5MPa;

步骤4、于干燥自然通风的环境中进行养护30天得到3D打印混凝土构件。

[0058] 实施例9

[0059] 一种3D打印混凝土、3D打印高掺量粉煤灰砂浆的应用,包括如下步骤:

步骤1、使用切片软件对将要建造的3D打印构件的3D模型进行切片分析,生成打印路径文件,确定层高和打印层数;

步骤2、将实施例3制备的3D打印混凝土送入3D打印机中,逐层打印,制备成3D打印主体结构,效果见图3;

步骤3、在3D打印主体结构初凝后、终凝前,将实施例6制备的3D打印高掺量粉煤灰砂浆分为两层喷涂到3D打印构件的表面;第一层延打印方向呈S型平行喷涂3mm薄层,喷射压强 $\leq 0.1\text{MPa}$,喷涂的具体位置位于条带与条带接缝,覆盖每层条带与相邻条带的接缝处;待第一层表干后,垂直于第一层的方向,呈S型进行第二层喷射,厚度为5mm,喷射时压强为0.45MPa,效果见图4;

步骤4、于干燥自然通风的环境中进行养护28天得到3D打印混凝土构件。

[0060] 对比例1

[0061] 本对比例除粉煤灰微珠的添加量为8份外,其他均与实施例3相同。

[0062] 对比例2

[0063] 本对比例除未添加粉煤灰微珠外,其他均与实施例3相同。

[0064] 对比例3

[0065] 本对比例除I级粉煤灰的添加量为25份外,其他均与实施例3相同。

[0066] 对比例4

[0067] 本对比例除I级粉煤灰的添加量为10份外,其他均与实施例3相同。

[0068] 性能测试

[0069] 为了验证3D打印混凝土的性能,参照GB/T 2419-2005《水泥胶砂流动度测试方法》测试3D打印混凝土流动度;再将实施例1-3及对比例1-4制备的3D打印混凝土根据GB/T 17671-1999《普通混凝土用砂浆强度试验方法》制备成测试试件,完成后在20℃条件下养护28d;然后参照GB/T 50080-2016《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》测试初凝和终凝时间;参照中国建筑材料协会标准《3D打印混凝土拌合物性能试验方法》(T/CBMF184-2022、T/CCPA 34-2022)测试可打印性(试件的条带宽度偏差)和可建造性(试件可建造层数);参照GB/T 50081-2019《混凝土物理力学性能试验方法标准》测试试件的28d抗压强度、28d抗折强度;测试结果见表1。

[0070] 表1 3D打印混凝土的性能测试

测试项目	流动度 /mm	初凝 /min	终凝 /min	条带宽度 偏差/%	可建造 层数	28d 抗 折强度 /MPa	28d 抗压强 度/MPa
实施例 1	185	120	320	1.3	≥10	6.8	52.9
实施例 2	187	115	305	1.5	≥10	7.2	58.4
实施例 3	190	115	300	1.9	≥10	7.6	59.7
对比例 1	178	125	310	1.7	≥10	6.4	47.3
对比例 2	187	125	330	1.4	≥10	7.3	48.1
对比例 3	198	130	325	4.1	≤8	6.9	44.6
对比例 4	185	120	230	2.8	≤8	6.2	47.5

[0071] 由表1可以看出,实施例1-3所述的3D打印混凝土28d抗折强度最高为7.6MPa,28d抗压强度最高为59.7MPa,条带宽度偏差最低为1.3%,流动度最高为190mm;证明本发明制备的3D打印混凝土挤出性能良好,能够保证打印构件的稳定性,具有良好的力学强度和打印性能。

[0072] 对比例1的粉煤灰微珠为8份,较本发明增加,3D打印混凝土28d抗折强度为6.4MPa,28d抗压强度为47.3MPa,较实施例下降,流动度也较实施例下降;

对比例2未掺加粉煤灰微珠,3D打印混凝土28d抗压强度为48.1MPa,较实施例1-3强度下降;说明本发明添加3-5份粉煤灰微珠具有提升3D打印混凝土力学性能的效果,有利于改善由于养护环境不佳的情况下力学性能的提升。

[0073] 对比例3的I级粉煤灰为25份,较本发明增加,3D打印混凝土28d抗折强度6.9MPa,28d抗压强度44.6MPa,较本发明实施例1-3下降;打印8层时打印的试件歪塌,说明本发明中添加I级粉煤灰15-18.75份,具有提升3D打印混凝土力学性能的效果,并且有利于改善3D打印混凝土流动度和打印稳定性。

[0074] 对比例4的I级粉煤灰为10份,较本发明减少,试件28d抗折强度6.2,28d抗压强度47.5MPa,较本发明实施例1-3下降;打印8层试件出现歪塌现象,说明本发明中添加I级粉煤灰15-18.75份,具有提升3D打印混凝土力学性能的效果,并且有利于改善3D打印混凝土流动度和打印稳定性。

[0075] 对比例5

[0076] 本对比例除未添加防水剂外,其他均与实施例6相同。

[0077] 对比例6

[0078] 本对比例除添加I级粉煤灰30份、硫铝酸盐水泥3份外,其他均与实施例6相同。

[0079] 对比例7

[0080] 该对比例除将I级粉煤灰替换为II级粉煤灰外,其他均与实施例6相同。

[0081] 对比例8

[0082] 该对比例除未添加可分散性乳胶粉外,其他均与实施例6相同。

[0083] 对比例9

[0084] 该对比例除未添加可膨胀组份外,其他均与实施例6相同。

[0085] 对比例10

- [0086] 该对比例除未添加消泡剂外,其他均与实施例6相同。
- [0087] 对比例11
- [0088] 该对比例除防水剂的添加量为0.1份外,其他均与实施例6相同。
- [0089] 对比例12
- [0090] 该对比例除防水剂的添加量为0.4份外,其他均与实施例6相同。
- [0091] 对比例13
- [0092] 该对比例除可分散性乳胶粉的添加量为0.4份外,其他均与实施例6相同。
- [0093] 对比例14
- [0094] 该对比例除可分散性乳胶粉的添加量为1.6份外,其他均与实施例6相同。
- [0095] 对比例15
- [0096] 该对比例除膨胀组份的添加量为0.4份外,其他均与实施例6相同。
- [0097] 对比例16
- [0098] 该对比例除膨胀组份的添加量为1.6份外,其他均与实施例6相同。
- [0099] 性能测试
- [0100] 为了验证本发明的3D打印高掺量粉煤灰砂浆的流动度损失及抗渗性能,参照GB/T 2419-2005《水泥胶砂流动度测试方法》测试3D打印高掺量粉煤灰砂浆流动度;再将实施例4-6及对比例5-16制备的3D打印高掺量粉煤灰砂浆根据GB/T 17671-1999《普通混凝土用砂浆强度试验方法》制备成测试试件,养护28d;
参照GB/T 50080-2016《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》测试3D打印高掺量粉煤灰砂浆的初凝和终凝时间;参照GB/T 50081-2019《混凝土物理力学性能试验方法标准》测试试件28d抗压强度、28d抗折强度;参照GB/T 50081-2019《混凝土物理力学性能试验方法》测试试件的28d吸水率;参照GB/T 50082-2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》中水渗逐级加压法对测试试件的抗渗等级进行评定;根据JC/T984—2011《聚合物水泥防水砂浆》标准测试试件的粘结强度;测试结果见表2。
- [0101] 表2 3D打印高掺量粉煤灰砂浆的性能测试

测试项目	流动度/mm	初凝时间/min	终凝时间/min	28d抗折强度/MPa	28d抗压强度/MPa	28d吸水率/%	抗渗等级	粘结强度/MPa
实施例 4	195	65	150	11.2	69.8	0.6	P12	1.61
实施例 5	190	55	160	10.2	68.9	0.5	P12	1.57
实施例 6	194	70	180	10.6	64.1	0.7	P12	1.63
对比例 5	185	50	125	11.9	53.7	1.9	P10	1.53
对比例 6	183	55	130	7.6	51.3	2.0	P8	1.43
对比例 7	176	45	125	8.8	54.6	1.8	P10	1.43
对比例 8	189	50	120	7.5	61.3	1.7	P10	1.25
对比例 9	195	55	120	7.1	49.0	2.9	P8	1.57
对比例 10	178	45	130	12.1	56.9	1.5	P10	1.45
对比例 11	187	45	135	8.1	56.4	1.2	P10	1.39
对比例 12	186	50	135	9.1	50.2	0.9	P8	1.17
对比例 13	184	40	120	9.3	56.1	1.7	P10	1.35
对比例 14	192	50	140	10.1	57.8	0.9	P10	1.55
对比例 15	182	40	125	8.0	60.7	1.8	P10	1.43
对比例 16	188	45	135	10.3	65.2	1.0	P10	1.28

[0102] 由表2可以看出,本发明制备的3D打印高掺量粉煤灰砂浆抗渗等级均为P12,28d吸水率小于 0.7%,证明本发明的3D打印高掺量粉煤灰砂浆可以降低吸水率提高抗渗等级;本发明制备的3D打印高掺量粉煤灰砂浆28d抗折强度最高为11.2MPa,28d抗压强度最高69.8MPa,界面粘结强度大于1.57MPa,流动度最高为195mm,有利于喷射施工,综合性能均较高。

[0103] 对比例5未添加防水剂,3D打印高掺量粉煤灰砂浆28d吸水率1.9%,28d抗压强度53.7MPa,吸水率高于实施例4-6,28d抗压强度较实施例4-6下降,抗渗等级也降为P10,粘结强度降低,流动度也有所下降,较本发明效果差。

[0104] 对比例6中I级粉煤灰为30份,硫铝酸盐水泥3份,喷射砂浆28d吸水率2.0%,较本发明大幅度提高;28d抗压强度51.3MPa,28d抗折强度7.6MPa,粘结强度为1.43MPa,抗渗等级仅能达到P8,较本发明效果降低。

[0105] 对比例7将I级粉煤灰替换成II级粉煤灰,3D打印高掺量粉煤灰砂浆流动度仅为176mm,不利于喷射施工;28d吸水率1.8%,28d抗压强度为54.6MPa,28d抗折强度为8.8MPa,抗渗等级为P10,粘结强度降低,较本发明效果降低。

[0106] 对比例8未添加可分散性胶粉,3D打印高掺量粉煤灰砂浆28d吸水率1.7%,吸水率高于本发明;抗渗等级为P10,28d抗压强度为61.3MPa,28d抗折强度为7.5MPa,虽然28d抗压强度稍有提升,但28d抗折强度下降,粘结强度降低,说明本发明中适量的可分散性胶粉具有明显降低3D打印高掺量粉煤灰砂浆吸水率,提高抗折强度、抗渗等级、粘结强度的效果,

有利于改善其防水抗渗性能。

[0107] 对比例9未添加膨胀组份,3D打印高掺量粉煤灰砂浆28d吸水率提升至2.9%,较本发明大幅度提高,抗渗等级为P8,28d抗压强度仅为49.0MPa,28d抗折强度仅为7.1MPa,较本发明效果降低,流动度和粘结强度也下降。

[0108] 对比例10未添加消泡剂,3D打印高掺量粉煤灰砂浆28d吸水率1.5%,流动度为178mm,粘结强度为1.45MPa;流动度较差,粘结较差,吸水率偏高,防水抗渗性能下降。

[0109] 对比例11仅添加0.1份防水剂,较本发明减少,3D打印高掺量粉煤灰砂浆28d吸水率1.2%,偏高;28d抗折强度下降为8.1MPa,流动度下降为187mm,较本发明效果降低。

[0110] 对比例12防水剂的添加量为0.4份,较本发明增加,3D打印高掺量粉煤灰砂浆28d吸水率0.9%;28d抗折强度下降为9.1MPa;流动度下降为186mm;28d抗压强度为50.2MPa;抗渗等级仅能达到P8;较本发明效果降低。

[0111] 对比例13仅添加0.4份可分散性胶粉,较本发明降低,3D打印高掺量粉煤灰砂浆28d吸水率1.7%,明显高于本发明,抗渗等级下降为P10,流动度、粘结强度也明显下降,说明本发明中适宜的可分散性胶粉添加量具有降低3D打印高掺量粉煤灰砂浆吸水率,提高材料抗渗等级、流动度、粘结强度的效果,有利于改善3D打印高掺量粉煤灰砂浆的防水抗渗性能。

[0112] 对比例14可分散性乳胶粉的添加量为1.6份,较本发明增加,3D打印高掺量粉煤灰砂浆28d吸水率0.9%;28d抗折强度下降为10.1MPa,28d抗压强度为57.8,较本发明下降;抗渗等级为P10;较本发明效果降低。

[0113] 对比例15仅添加0.4份膨胀组份,较本发明减少,3D打印高掺量粉煤灰砂浆28d吸水率为1.8%,流动度为182mm,28d抗压强度为60.7MPa,28d抗折强度为8.0MPa,吸水率偏高,流动度降低,虽然28d抗压强度有提升,28d抗折强度下降,说明本发明中适宜的膨胀剂的添加量具有降低3D打印高掺量粉煤灰砂浆吸水率、增加流动度、提高抗折强度的效果,有利于改善其防水抗渗及综合性能,有利于施工。

[0114] 对比例16膨胀组份的添加量为1.6份,较本发明增加,3D打印高掺量粉煤灰砂浆28d吸水率1.0%,偏高;流动度下降为188mm,较本发明效果降低。

[0115] 对比例17

[0116] 本对比例除步骤3中,仅喷涂第一层3D打印高掺量粉煤灰砂浆外,其他均与实施例9相同。

[0117] 对比例18

[0118] 本对比例除步骤3中,未喷涂第一层3D打印高掺量粉煤灰砂浆外,其他均与实施例9相同。

[0119] 性能测试

[0120] 将实施例9和对比例17、对比例18制备的3D打印混凝土构件养护28d时,将3D打印混凝土构件中注入水,观察表面渗水情况,记录从注水开始到外表面开始渗水的时间和外表面渗水结束的时间,测试水池表面渗水面积,结果如表3所示。

[0121] 表3 构件注水情况

测试项目	外表面开始渗水时间	外表面渗水结束时间	表面渗水面积
实施例 9	/	/	0cm ²
对比例 17	0.5h	3h	200cm ²
对比例 18	0.5h	4h	600cm ²

[0122] 由表3看出,实施例9制备的3D打印混凝土构件在实验过程中并未发现渗水现象,而对比例17、18的外表面开始渗水时间均为0.5h,外表面渗水结束时间分别为3h、4h,表面渗水面积为200cm²、600cm²;证明本发明制备的3D打印混凝土构件性能良好;实验结束后,未将构件中水清空,一周后观察到实施例9制备的构件仍未出现渗水现象。

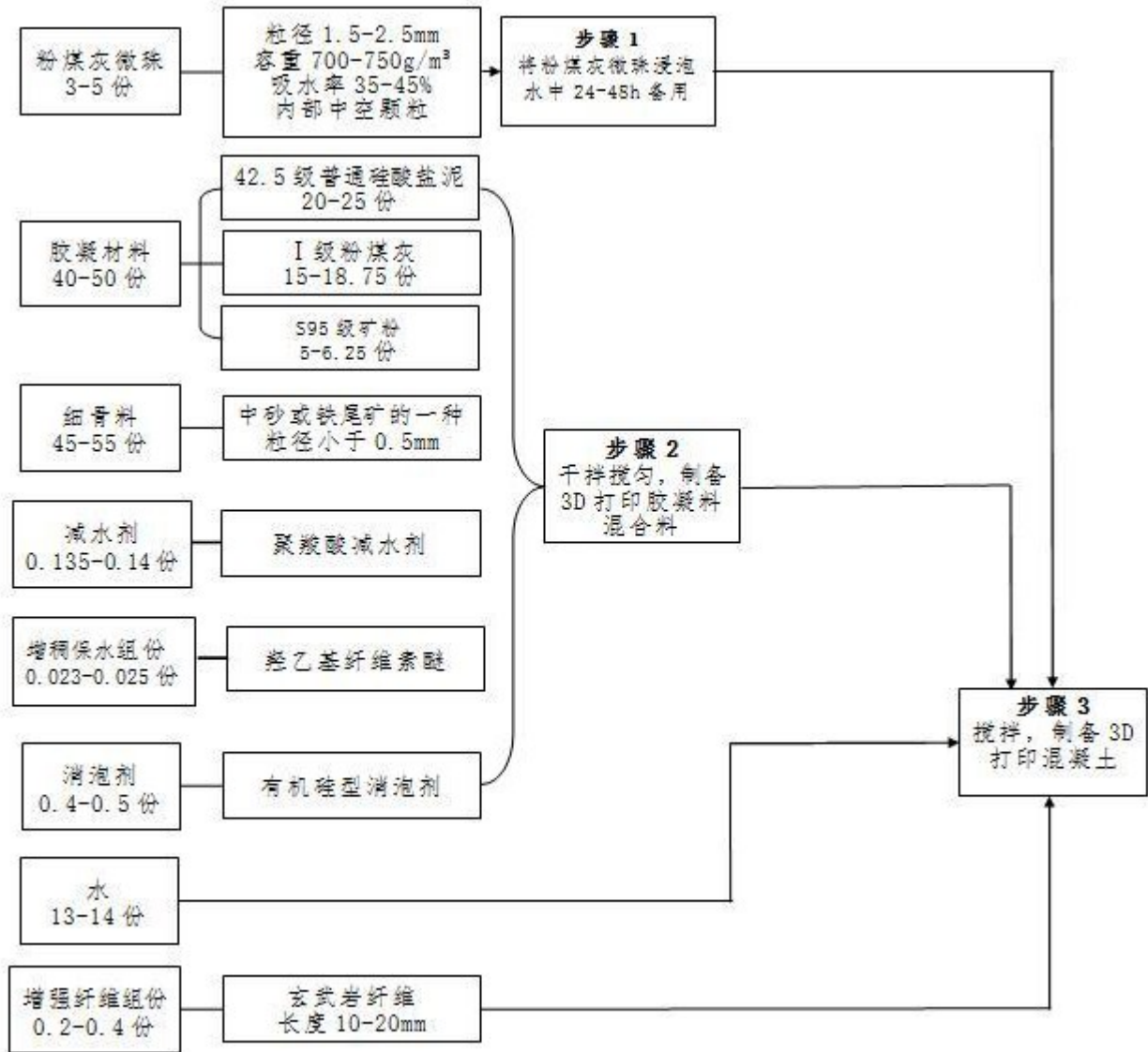


图 1

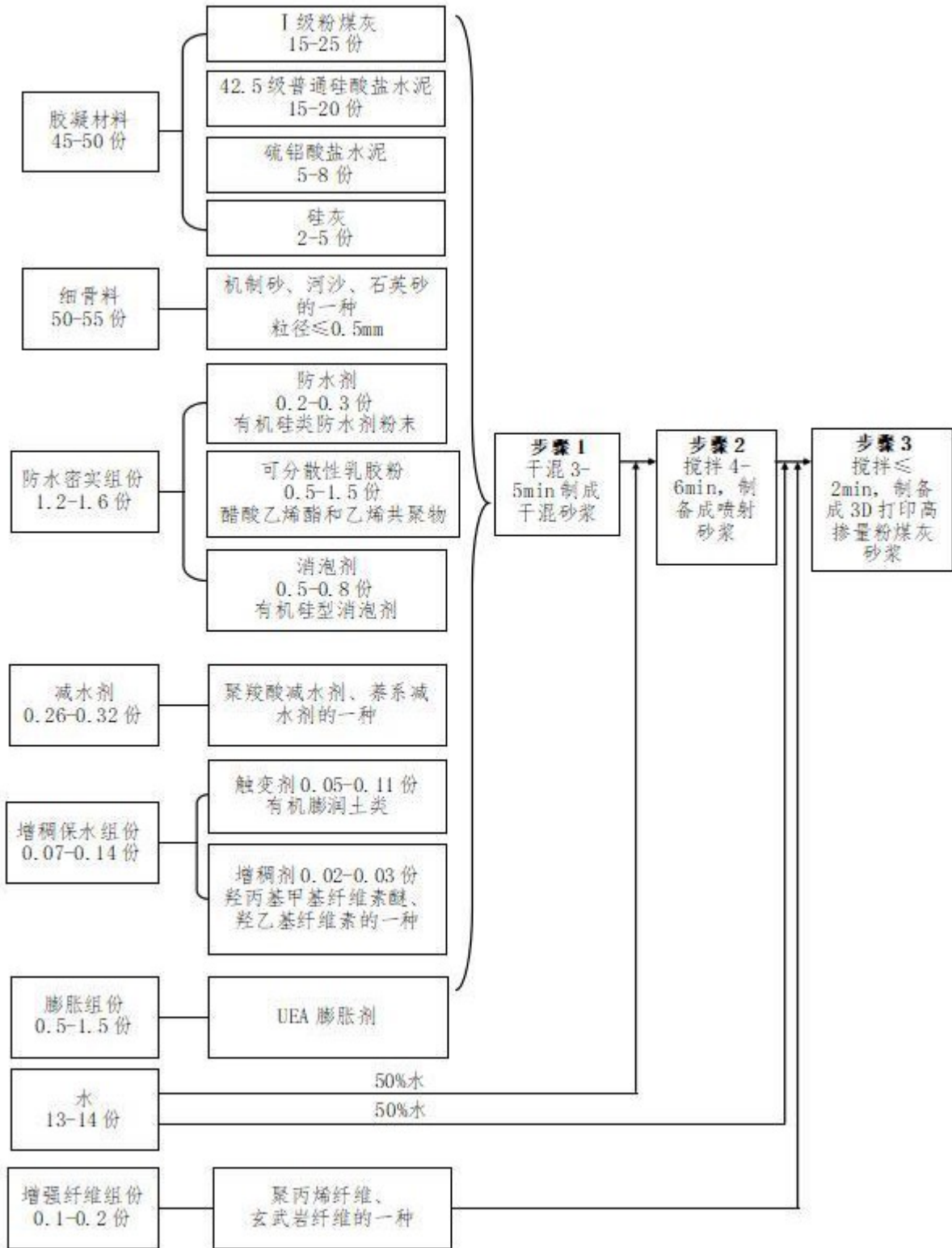


图 2

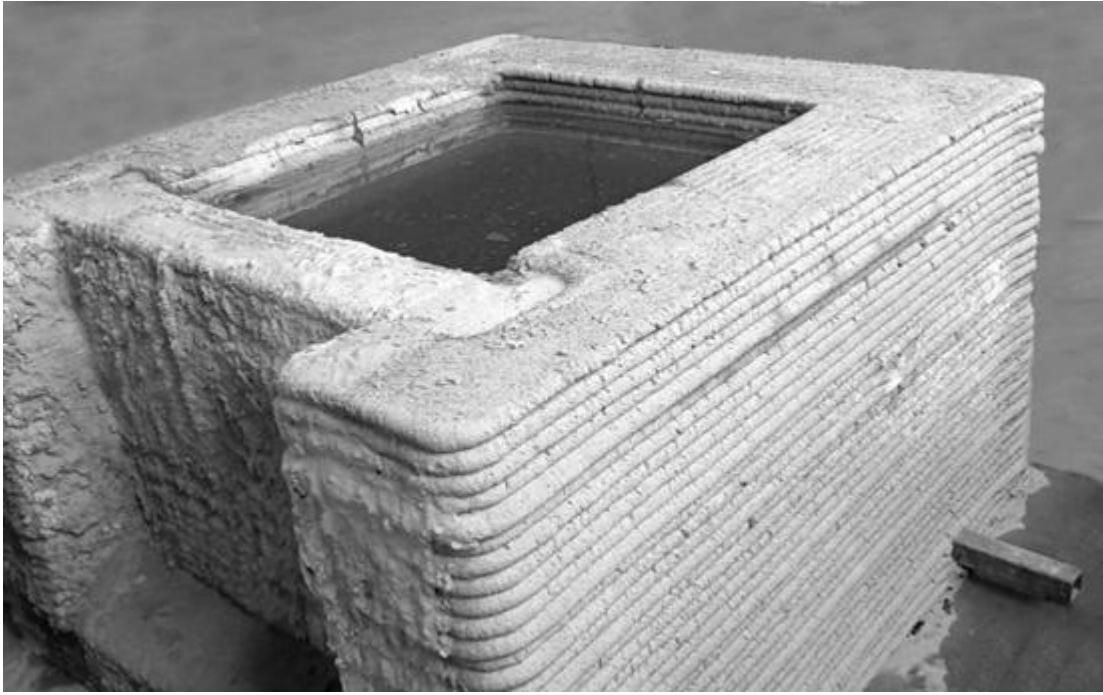


图 3

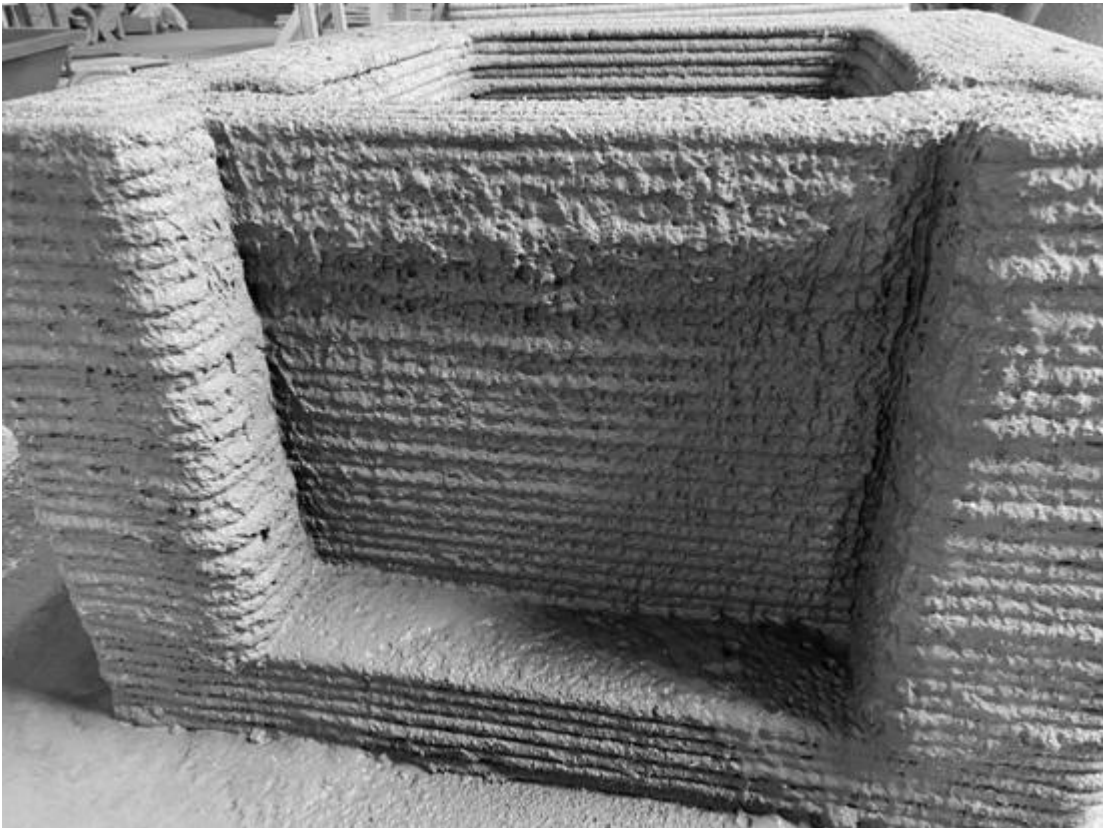


图 4