



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110774407 A

(43)申请公布日 2020.02.11

(21)申请号 201911000935.9

(22)申请日 2019.10.21

(71)申请人 浙江大学

地址 310013 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72)发明人 孙晓燕 王海龙 叶柏兴 陈龙
张治成 黄海燕

(74)专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限公司 33224

代理人 白静兰

(51)Int.Cl.

B28B 1/00(2006.01)

B33Y 10/00(2015.01)

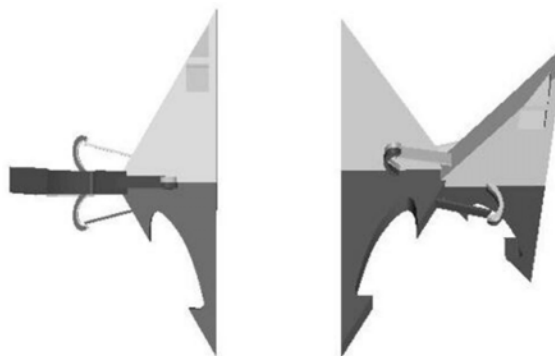
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种空间骨料增强3D打印混凝土结构的建造方法

(57)摘要

本发明公开了一种空间骨料增强3D打印混凝土结构的建造方法:选取结构构件,进行力学分析,确定植入筋材或编入绳/线材的基本用量和打印编织流程;确定空间骨料类型、定位和掺量;配制3D打印材料;根据选定的空间刚性骨料的定位和掺量,编辑空间骨料的电磁信号和定位推送程序;沿打印编织流程路径挤出3D打印材料和植入筋材或编入绳/线材,同时均匀撒入空间刚性骨料,分别实现空间骨料间的链接和空间骨料与筋材、绳材或线材的链接,逐层建造后叠加、硬化成型后一次性形成;或分段打印后形成空间骨料增强3D打印混凝土结构。该建造方法可以形成连续增强空间骨料,有效改善混凝土结构空间的受力性能,提高混凝土结构空间的抗拉强度和抗裂能力。



1. 一种空间骨料增强3D打印混凝土结构的建造方法,其特征在于,所述建造方法包括以下步骤:

(1) 选取结构构件,进行力学分析,根据结构构件承载力极限状态下应力分布和大小确定植入筋材或编入绳/线材的基本用量和打印编织流程;

(2) 根据结构构件正常使用极限状态下应力分布和大小,确定空间骨料类型、定位和掺量,所述空间骨料为不同形状的骨料形成的仿生结构所组成的空间刚性骨料,所述骨料具有空间多肢结构,所述骨料的尾部设有用于空间骨料间链接的卡扣和端锚,所述空间骨料的中心带有用于与绳/线材套接的碰扣;

(3) 配制3D打印材料;根据选定的空间刚性骨料的定位和掺量,编辑空间骨料的电磁信号和定位推送程序;

(4) 沿步骤(1)中的打印编织流程路径挤出3D打印材料,植入筋材或编入绳/线材的同时,均匀撒入空间刚性骨料,利用步骤(2)中的电磁信号和定位推送程序分别实现空间骨料间的链接和空间骨料与筋材或绳/线材的链接,逐层建造后叠加、硬化成型后一次性形成空间骨料增强3D打印混凝土结构;或分段打印后通过预设榫卯和筋材或绳/线材搭接设计进行构件节点连接,形成空间骨料增强3D打印混凝土结构。

2. 根据权利要求1所述的空间骨料增强3D打印混凝土构件的建造方法,其特征在于,在步骤(2)中,所述骨料形成的仿生结构为疾藜、苍耳或海胆仿生结构中的一种或至少两种组合的仿生结构。

3. 根据权利要求2所述的空间骨料增强3D打印混凝土构件的建造方法,其特征在于,所述骨料的材质选自钢材、合金、纤维复合材料或纳米刚性材料中的一种或者或至少两种的组合;所述骨料尾部的形状选自铣削、波纹、弓型或尾钩中的一种或至少两种的组合。

4. 根据权利要求1-3任一所述的空间骨料增强3D打印混凝土构件的建造方法,其特征在于,在步骤(2)中,根据结构正常使用极限状态下应力分布和大小确定空间骨料的类型、定位和掺量的方法为:

(2-1) 根据剪应力的分布选择空间骨料类型,根据剪应力大小选择尾部中的端锚和卡扣的设计参数,根据剪应力空间分布确定空间骨料的肢数;

(2-2) 根据主应力/材料强度比值确定的安全系数可设计空间刚性骨料掺入量,根据掺入区域和结构构件的外形进行空间骨料定位,;

(2-3) 根据安全系数与阈值的大小和区域分布,确定空间骨料掺入加密区域,所述阈值根据实际值确定。

5. 根据权利要求1所述的空间骨料增强3D打印混凝土构件的建造方法,其特征在于,在步骤(3)中,所述3D打印材料选自水泥基材料、石膏材料或尼龙材料中的一种或至少两种的组合。

6. 根据权利要求1所述的空间骨料增强3D打印混凝土构件的建造方法,其特征在于,在步骤(3)中,所述3D打印材料还包括增强组分,所述增强组分选自各类纤维及其聚合物、膨化微珠、中空微粒或纳米材料中的一种或至少两种的组合。

7. 根据权利要求1所述的空间骨料增强3D打印混凝土构件的建造方法,其特征在于,在步骤(4)中,植入筋材或编入绳/线材的方法为:在平行打印方向上,3D打印材料在打印基体时一体化植入筋材或编入绳/线材;在垂直打印方向上,3D打印基体后,在打印材料初凝前

植入筋材或编入绳/线材,形成空间增强网格。

8.根据权利要求1所述的空间骨料增强3D打印混凝土构件的建造方法,其特征在于,所述筋材和绳/线材的材质选自钢绞线、纤维复合线材或纳米线材中的一种或者或至少两种的组合。

一种空间骨料增强3D打印混凝土结构的建造方法

技术领域

[0001] 本发明属于建筑材料、建筑结构和造型设计等技术领域,特别涉及一种空间骨料增强3D打印混凝土结构的建造方法。

背景技术

[0002] 3D打印作为一种快速成型、增材制造技术,自发明以来,在各个行业得到迅速广泛的推广。3D打印建筑及构筑物能够有效减少建筑垃圾,提升施工效率,缩短工期,减少人工,提升机械化水平,整体上做到节能减排,有助于环境改善。由于3D打印可由计算机控制实现空间任意造型设计,能够将结构受力与建筑美学相结合,体现出建筑的艺术性。由于技术的独特性,无法在3D打印的混凝土之中进行配筋,导致大部分3D打印建筑为纯混凝土结构,由于打印工艺导致成型结构呈现各向异性,存在明显层条缺陷。即使添加各种柔性纤维,也难以按照承载需求空间连续分布,导致材料抗拉强度严重不足,破坏模式呈现明显脆性特征。

[0003] CN 104961367 A提出一种利用条形钢纤维混凝土3D打印建筑物的专利,采用直径5厘米以内,长度10厘米以内的钢纤维按需要精准进行分布设计,在打印时投入混凝土增强混凝土受力性能。但这种钢纤维的长细范围和空间不连续分布的增强方式,对打印层间界面抗剪性能的提升非常有限,很难满足结构功能和安全需求。CN 106738898 A提出一种可编程定向短纤维复合材料3D打印方法及装置,利用磁力定位长度为0.05-2mm,长径比为2-10的短细磁化纤维制作复合材料板。CN 10971985 A提出一种3D打印电磁吸波混凝土定向辖内分级供料系统。本课题组提出一种3D打印编织混凝土结构的建造方法CN109227875A,把柔性的绳/线材通过射钉定位一体化编织建造增强混凝土结构,实现了连续增强打印混凝土结构。现有的植筋技术对打印流程适应有限,而且很难适应空间变化增强需求。本课题组提出的绳、线编织尽管适应打印工艺和空间增强需求,实现了一体化增强制造工艺,但由于绳、线只能放在层条间隙,而绳、线材表面的机械咬合和摩擦提供的粘结性能不足以保持结构在各个工况下的承载性能,导致结构的开裂集中在个别裂缝,空间抗剪性能薄弱,结构正常使用极限状态性能亟待提升。德国发明家Kai Parthy提出网状钢纤维填充的解决思路,利用空间环通过喷头或者手工,填入混凝土之中,以保证打印结构在XYZ三个方向上均有较强的承载能力,且改善结构破坏模式。但这种空间环长径比过大很难在打印过程中保持空间角度,边界光滑造成粘结作用有限,对整体结构性能的增强效率不佳。

[0004] 因此,如何解决3D打印混凝土结构空间配筋的不足和困难,增强3D打印混凝土结构整体空间受力性能,是目前亟需解决的问题。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种空间骨料增强3D打印混凝土结构的建造方法,可以形成连续增强空间骨料,有效改善混凝土结构空间的受力性能,提高混凝土结构空间的抗拉强度和抗裂能力。

[0006] 本发明提供如下技术方案:

[0007] 一种空间骨料增强3D打印混凝土结构的建造方法,所述建造方法包括以下步骤:

[0008] (1) 选取结构构件,进行力学分析,根据结构构件承载力极限状态下应力分布和大小确定植入筋材或编入绳/线材的基本用量和打印编织流程;

[0009] (2) 根据结构构件正常使用极限状态下应力分布和大小,确定空间骨料类型、定位和掺量,所述空间骨料为不同形状的骨料形成的仿生结构所组成的空间刚性骨料,所述骨料具有空间多肢结构,所述骨料的尾部设有用于空间骨料间链接的卡扣和端锚,所述空间骨料的中心带有用于与绳/线材套接的碰扣;

[0010] (3) 配制3D打印材料;根据选定的空间刚性骨料的定位和掺量,编辑空间骨料的电磁信号和定位推送程序;

[0011] (4) 沿步骤(1)中的打印编织流程路径挤出3D打印材料,植入筋材或编入绳/线材的同时,均匀撒入空间刚性骨料,利用步骤(2)中的电磁信号和定为推送程序分别实现空间骨料间的链接和空间骨料与筋材或绳/线材的链接,逐层建造后叠加、硬化成型后一次性形成空间骨料增强3D打印混凝土结构;或分段打印后通过预设榫卯和筋材或绳/线材搭接设计进行构件节点连接,形成空间骨料增强3D打印混凝土结构。

[0012] 在本发明提供空间骨料增强3D打印混凝土结构中,空间骨料、3D打印材料打印的基体和筋材、绳材或线材形成连续空间骨架;空间骨料可适应多种打印路径,通过磁性定位、卡口设计和碰扣链接实现连续整体协同受力,高效改善混凝土结构的抗拉强度和抗裂能力,提升混凝土结构的抗剪性能、承载能力和变形性能。

[0013] 在本发明中,空间骨料的多肢及端锚设计有效改善层间/条间粘结强度,在打印时掺入,空间骨料用电磁对位和卡扣链接成空间柔性筋骨,随着混凝土的硬化和空间骨料的仿生设计有效实现二者协同受力;有效增强结构整体承载力,改善失效模式。空间骨料中心设置有碰扣,可通过定位机械推送与编织在打印材料中的连续绳/线材套接,形成整体性良好的空间骨架,与基体协同受力,保障结构在偶然荷载和极端工况下安全。

[0014] 本发明融合了现有3D打印材料快速成型的技术优越性和空间骨料便捷掺入、精准控量的施工便捷性,在3D打印基体的同时掺入一定比例的高强空间骨料(轻质高强,仿生造型,几何可变,具有较高的表面摩擦系数),并且利用电磁定向技术、空间骨料的造型设计和机械咬合原理,提升粘结性能,实现骨料间、骨料与筋材、绳材、线材各类连续增强材料间实现卡扣链接,形成连续空间增强骨料,有效改善结构空间受力性能,特别针对抗剪强度和弯曲韧度的不足有明显改善,形成有别于传统钢筋混凝土结构的一体化成型的新建筑形式,既解决了现有3D打印基体性能缺陷,又弥补了结构空间跨越能力的不足,施工便捷,快速适用的同时,空间骨料、筋材、线材、绳材和3D打印材料协同受力形成空间骨架,代替钢筋笼,保障空间骨料增强3D打印混凝土结构的力学性能,疲劳性能和耐久性。

[0015] 在步骤(2)中,所述骨料形成的仿生结构为疾藜、苍耳或海胆等一种或至少两种组合的仿生结构。

[0016] 作为优选,所述骨料的材质选自钢材、合金、纤维复合材料或纳米刚性材料中的一种或者或至少两种的组合;所述骨料尾部的形状选自铣削、波纹、弓型或尾钩中的一种或至少两种的组合。

[0017] 步骤(2)中,根据结构正常使用极限状态下应力分布和大小确定空间骨料的类型、定位和掺量的方法为:

[0018] (2-1) 根据剪应力的分布选择空间骨料类型,根据剪应力大小选择尾部中的端锚和卡扣的设计参数,根据剪应力空间分布确定空间骨料的肢数;

[0019] (2-2) 根据主应力/材料强度比值确定的安全系数可设计空间刚性骨料掺入量,根据掺入区域和结构构件的外形进行空间骨料定位,;

[0020] (2-3) 根据安全系数与阈值的大小和区域分布,确定空间骨料掺入加密区域,所述阈值根据实际值确定。

[0021] 在步骤(2-1)中,所述端锚的设计参数包括端锚的尖端的长度和宽度,这些设计参数将会直接决定卡扣的抗剪能力。空间骨料间通过一尾部的端锚或卡扣与另一空间骨料间尾部的卡扣或端锚链接。

[0022] 在步骤(3)中,所述3D打印材料选自水泥基材料、石膏材料或尼龙材料中的一种或至少两种的组合。

[0023] 在步骤(3)中,所述3D打印材料还包括增强组分,所述增强组分选自各类纤维及其聚合物、膨化微珠、中空微粒或纳米材料中的一种或至少两种的组合。

[0024] 在步骤(4)中,植入筋材或编入绳/线材的方法为:在平行打印方向上,3D打印材料在打印基体时一体化植入筋材或编入绳/线材;在垂直打印方向上,3D打印基体后,在打印材料初凝前植入筋材或编入绳/线材,形成空间增强网格。

[0025] 其中,在打印编织流程中设置有编织定位点,在编入绳/线材时喷射螺钉到编织定位点,编入的绳/线缠绕在喷射的螺钉上。

[0026] 在步骤(4)中,所述分段打印的方法为:3D打印基体和空间骨料按照结构构件的构造要求分段打印掺入形成局部,打印预制的分段构件通过后浇/后张法打印榫接结构连接。

[0027] 在本发明中,所述筋材和绳/线材的材质选自钢绞线、纤维复合线材或纳米线材中的一种或者或至少两种的组合。

[0028] 鉴于现有3D打印基体在空间强度和韧性方面的不足,导致难以突破打印结构空间跨度和承载力方面的局限,本发明提出了一种空间骨料增强3D打印混凝土结构的建造方法,该建造方法在解决了现有3D打印混凝土结构无法配筋的不足,增强了结构的受力性能,极大改善了打印混凝土的抗拉抗折强度和破坏模式,保障了3D打印混凝土结构在抗拉,抗弯,抗裂,抗冲击,抗疲劳等方面的性能,并且空间多变、便捷施工和减少了生产建造过程中的碳排放。

[0029] 本发明由于采用以上技术方案,使其具有以下有益效果:

[0030] 1. 采用3D打印基体替代传统混凝土,采用高强空间骨料替代钢筋,采用空间定位成型技术代替传统建筑结构工艺,形成空间受力体系,不仅减少了建筑施工程序,降低了劳动强度,而且美化了结构立面造型。

[0031] 2. 高强空间骨料通与现有筋材、绳材、线材进行组合设计施工,有效改善了3D打印基体抗拉、抗剪、抗磨和抗裂性能,大大增强结构断裂韧性和抗冲击性能,提升结构的疲劳性能及其耐久性,使3D打印建筑物的优势全面凸显,不局限于小型建筑结构。

[0032] 3. 采用结构体型空间优化设计,合理选择结构形式,采用空间定位,将高强骨料一体化成型,形成强韧空间结构,使建筑物各个部位既能达到结构力学的不同要求,又可以在安全可靠的基础上可达到经济美观,造型艺术。

[0033] 4. 对于大型空间复杂结构构件,可以分区域单独打印局部,再组装成为整体,采用

预设榫接构件和后张预应力工艺加强整体性。该新型强韧结构与传统建筑结构组合,具有灵活多变的兼容性和普适性。

附图说明

- [0034] 图1为实施例中的空间骨料的结构示意图;
- [0035] 图2为实施例中空骨料电磁卡扣链接示意图;
- [0036] 图3为实施例多个空间骨料复合的结构示意图;
- [0037] 图4为实施例中空骨料组合与绳线材定位链接示意图;
- [0038] 图5为本发明提供的建造方法的打印流程图;
- [0039] 图6为实施例中空骨料增强3D打印梁的工序示意图;
- [0040] 图7为实施例中空骨料增强3D打印柱的工序示意图。

具体实施方式:

[0041] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步的说明:

[0042] 本发明提供的空间骨料增强3D打印混凝土结构的流程为:3D打印装置根据预设结构空间造型分层打印建筑物构件或者功能辅件,在采用3D打印材料空间打印建筑基体的同时,将高强空间骨料采用空间精准定位和质量控制掺入体积的方法弥散在结构的层间和条件缺陷位置,通过空间骨料尾部的端锚和卡口设计,可以利用电磁信号编辑技术实现骨料之间的空间定位和链接,通过骨料形心的碰扣设计可与现有筋材等刚性增强、钢绞线或钢丝绳等柔性增强组合链接,该建造方法可适应多种打印流程和空间造型。通过打印基体挤压和水硬化,形成协同受力,一致变形的空间强韧结构,可具有更高的承载能力,变形能力,多向抗裂能力,满足结构功能需要。

[0043] 本发明提供的新型空间骨料增强3D打印结构的建造方法,包括以下步骤:

[0044] (1) 选取基本结构构件,空间建模后采用计算机拓扑优化关键荷载组合下,结合应力云图确定最佳空间形态;

[0045] (2) 对确定的结构构件的空间形态进行计算分析,确定结构受力不利的关键位置,确定结构构件的打印流程,确定植入筋材或编入绳/线材的基本用量和打印编织流程,确定空间骨料类型、掺入量,进行空间骨料的布置。空间骨料的不同方向透视图如图1,空间造型、肢数、锚钩和卡扣设计不局限这种形式;

[0046] (3) 根据结构构件空间外形确定打印流程;

[0047] (4) 配制3D打印材料;

[0048] (5) 根据打印路径编辑电磁信号和定位推送程序;

[0049] (6) 打印的同时由机械臂撒入空间刚性骨料,空间骨料间、空间骨料与筋材、绳材或线材实现链接,逐层建造后叠加、硬化成型后一次性形成空间骨料增强3D打印混凝土结构;或分段打印后通过预设榫卯和筋材、绳材或线材材搭接设计进行构件节点连接,形成空间骨料增强3D打印混凝土结构。

[0050] 其中,在步骤(2)中,确定编入绳/线材的基本用量和打印编织流程的方法为:根据结构受力薄弱面确定线材的编织范围和编织密度,再根据结构构件骨架以及线材的编织范围和编织密度确定打印流程和编织流程,具体为:根据应力/强度比值确定的安全系数去确

定编织范围;根据安全系数与阈值的大小,确定加密编织和普通编织范围,所述阈值根据实际值确定。

[0051] 实施例1空间桁架梁作为桥梁的结构构件的建造方法

[0052] 1、根据结构功能要求确定结构形式和空间结构。桥梁的主要受力构件一般为梁式或者拱式结构,3D打印水泥基材料的抗压强度高,抗拉强度低,选择梁式结构作为桥梁的主要受力结构可以充分利用新型空间骨料增强水泥基材料抗拉强度的特点。梁式结构的造型通过建模后的计算机拓扑优化进行选型,优化后的结构形状作为3D打印桥梁的结构构件。

[0053] 2、对结构构件进行力学计算分析,根据结构承载力极限状态和正常使用极限状态分别确定打印编织流程和加入该结构构件中的空间骨料类型(如图1)以及掺入量。

[0054] 3、配制3D打印材料;根据选定的空间刚性骨料的定位和掺量,编辑空间骨料的电磁信号和定位推送程序。

[0055] 4、根据打印编织流程,逐层打印3D打印基体,打印头旁配有一个机械臂携带有空间骨料仓,随打印路径进行电磁信号编辑,利用尾端的机械卡口设计和电磁定位实现空间骨料间嵌固,如图2所示,a、b、c分别为两个空间骨料由单个骨料电磁卡扣链接成一个复合骨料的链接前的侧视图、链接后的俯视线框图、链接后的侧视图,a中的1为端锚,2为卡扣。空间骨料通过空间搭接实现各个方向的连续增强,如图3所示,d和e为多个空间骨料以不同方式链接而成的复合骨料结构图。利用空间骨料中心的形心的碰扣设计和机械推送实现空间骨料与筋材、绳材或线材的链接,如图4所示为绳材与空间骨料的链接组合,图4中的3为用来链接的筋、绳、线材等,4为空间骨料。本发明提供的打印流程图如图5所示。3D打印基体与空间骨料在上层重力作用下粘结固化成型,在内部形成结实可靠的空间连续骨架,进一步提升打印结构抗弯,抗剪和抗裂性能。

[0056] 具体的,在本实施例中,根据设计计算后的结果,如图6所示,桁架梁的打印以A为起始点,打印路径为AB、BD、DA、AC、CD、DF、FC、CE、EF、FH、HE、EG、GH、JI、IK、KJ、JL、LK、KM、ML、LN、NM、MO、ON、NP、PO,机械臂携带空间骨料沿打印路径根据设计数量添加,在空间骨料链接部分进行定位推送。

[0057] 按照打印流程和预先设计的结构构件的形状逐层打印建造,空间骨料与筋材、绳材或线材链接,空间骨料间在条间嵌扣,形成空间骨架,与打印基体形成整体构件,构件养护后可以吊装组合并形成整体结构。

[0058] 实施例2涉及圆形柱为桥梁的结构构件的建造方法

[0059] 1、对柱进行力学计算分析,根据结构承载力极限状态和正常使用极限状态选择分别确定打印编织流程和加入该结构构件中的刚性骨料类型以及掺入量。

[0060] 3、配制3D打印材料;根据选定的空间刚性骨料的定位和掺量,编辑空间骨料的电磁信号和定位推送程序。

[0061] 3、根据打印编织流程,逐层打印3D打印基体,打印头旁配有一个机械臂携带新型空间骨料仓,随打印路径进行电磁信号编辑,利用尾端的机械卡口设计和电磁定位实现空间骨料间嵌固。各空间骨料通过空间搭接实现各个方向的连续增强。利用空间骨料中心的形心的碰扣设计和机械推送实现空间骨料与筋材、绳材或线材的链接。3D打印基体与空间骨料在上层重力作用下粘结固化成型,在内部形成结实可靠的空间连续骨架,进一步提

升打印结构抗弯、抗剪和抗裂性能。

[0062] 具体的,在本实施例中,根据设计计算后的结果,柱从底层逆时针打印,逐层叠加,机械臂携带空间骨料沿打印路径根据设计数量添加,在骨料链接部分进行定位推送,如图7所示,其中5为打印挤出装置,6为电磁编辑装置和机械臂,7为图4所示筋材、绳材或线材与空间骨料的链接组合,8为嵌扣在打印基体内的如图1所示空间骨料,9为如图3中的b中的纵向空间骨料组合,10为打印机的打印方向。

[0063] 最后、按照打印流程和预先设计的结构形状逐层打印建造,层间骨料与筋材、绳材或线材材链接,条间骨料间嵌扣,形成空间骨架,与打印基体形成整体构件。

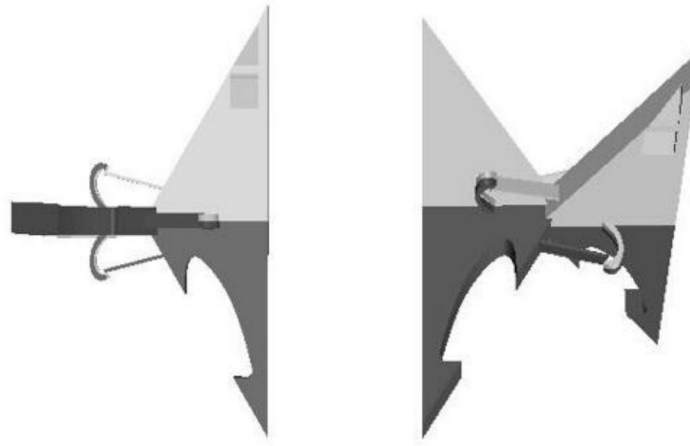


图1

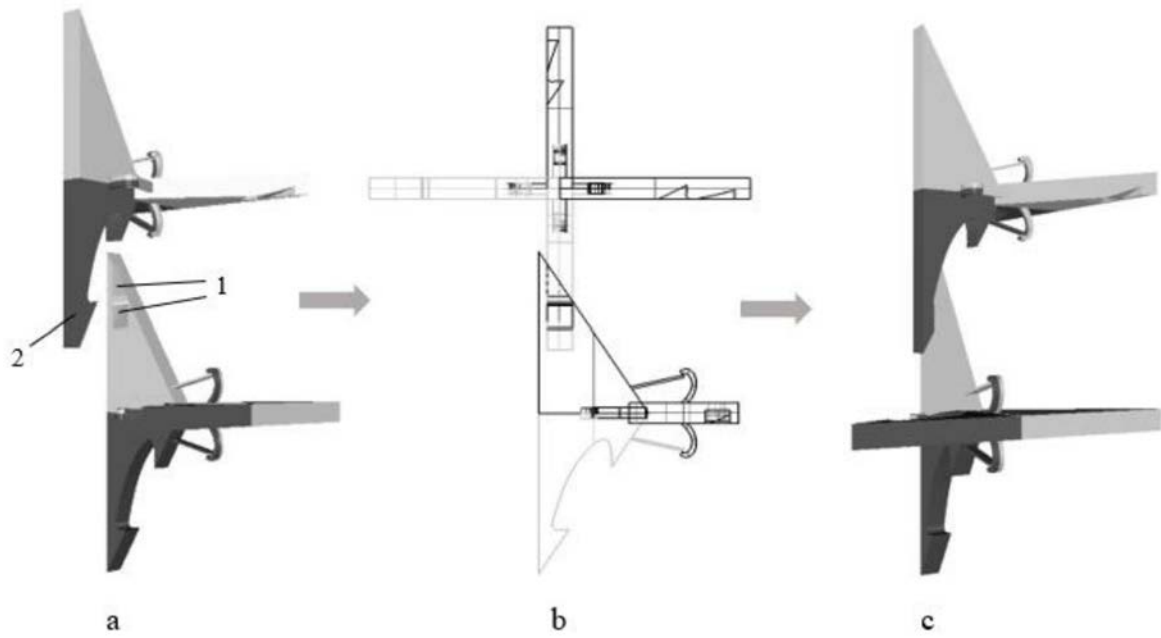


图2

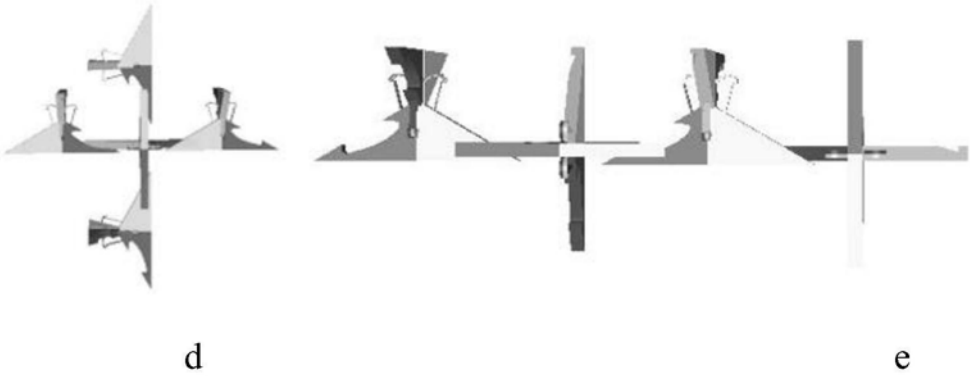


图3

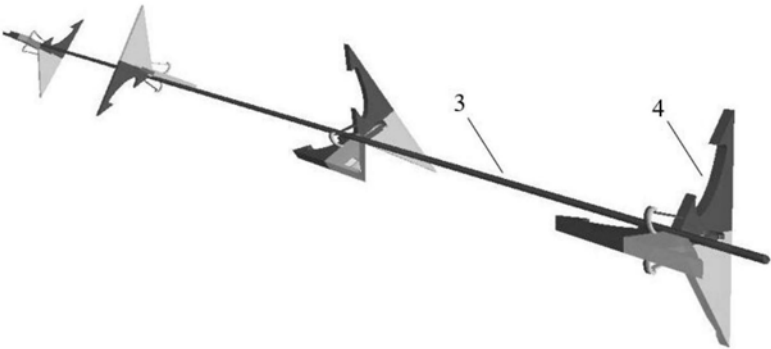


图4

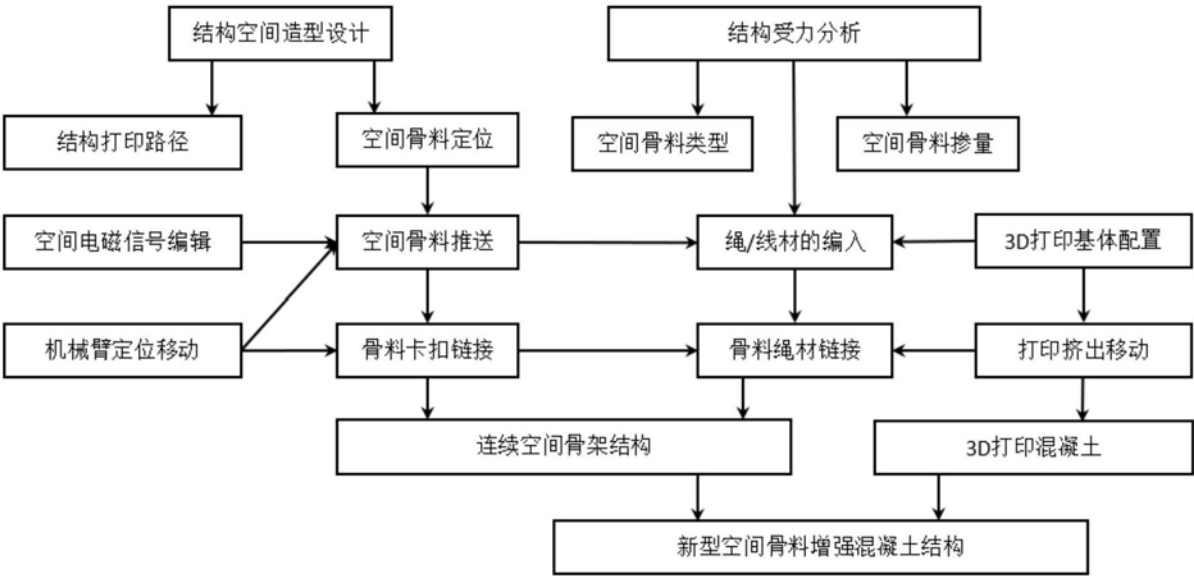


图5

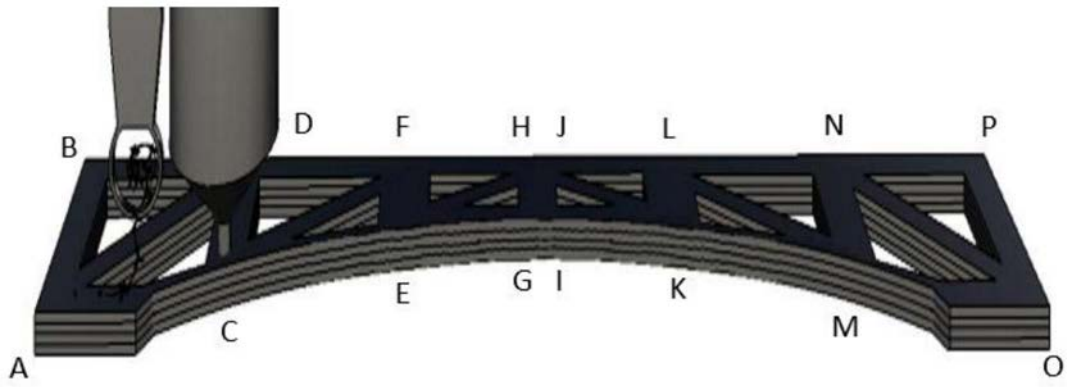


图6

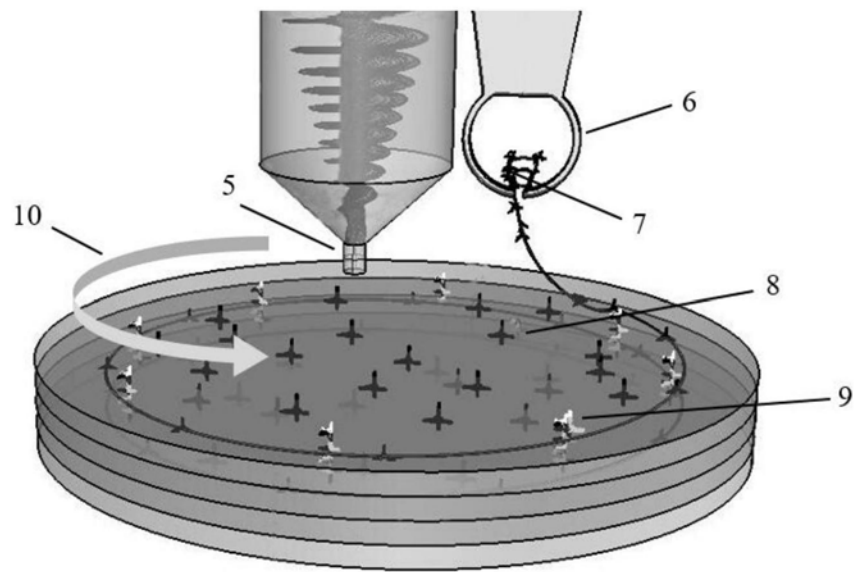


图7