



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113427836 B

(45) 授权公告日 2022.03.04

(21) 申请号 202110672568.8

B29C 64/118 (2017.01)

(22) 申请日 2021.06.17

B33Y 10/00 (2015.01)

B33Y 80/00 (2015.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113427836 A

审查员 陈根宝

(43) 申请公布日 2021.09.24

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 宋宏伟 康帅 刘文峰 袁武

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理

事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51) Int. Cl.

B32B 3/12 (2006.01)

B32B 33/00 (2006.01)

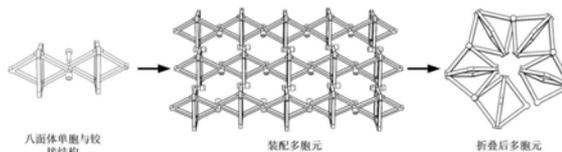
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

三维可展曲面自适应点阵结构及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种三维可展曲面自适应点阵结构及其制备方法,首次释放了点阵夹芯胞元间转动自由度。所述三维可展曲面自适应点阵结构包括至少一列胞元链,所述胞元链包括多个胞元,相邻的两个胞元之间相互铰接,所述胞元为镂空的八面体点阵构型或者镂空的金字塔点阵构型;在所述胞元链的列数不小于两列的情形下,相邻的两个所述胞元链之间为平行设置,并且所述相邻的两个所述胞元链之间相互铰接。这种新型嵌锁-铰接方法实现了点阵夹芯三维可展曲面随形自适应,利用铰接部分的转动,解决了现有技术中点阵夹层结构存在的装配后面芯不匹配力学性能下降和尺寸效应带来的问题。



1. 一种三维可展曲面自适应点阵结构,其特征在于:所述三维可展曲面自适应点阵结构包括至少一列胞元链,所述胞元链包括多个胞元,相邻的两个胞元之间相互铰接,同一所述胞元链的首尾之间能够铰接成环,所述胞元为镂空的八面体点阵构型或者镂空的金字塔点阵构型;

在所述胞元链的列数不小于两列的情形下,相邻的两个所述胞元链之间为平行设置,并且所述相邻的两个所述胞元链之间相互铰接;

所述八面体点阵构型是由八根杆件组成的八面体结构;

在所述三维可展曲面自适应点阵结构为一列胞元链的情形下,所述八面体点阵构型的两个尖端处设置有第一铰接点(1)以用于铰接,两个所述第一铰接点(1)位于同一对称轴上;

在所述胞元链的列数不小于两列的情形下,所述八面体点阵构型的四个尖端处设置有第一铰接点(1)以用于铰接,两对共四个所述第一铰接点(1)中的每对所述第一铰接点(1)均位于同一平面上;其中位于一条对称轴上的两个所述第一铰接点(1)用于铰接同一所述胞元链上的相邻的所述胞元,位于另一条对称轴上的两个所述第一铰接点(1)分别用于铰接相邻胞元链上的所述胞元;

所述金字塔点阵构型是由四根杆件组成的金字塔结构,形成有一个尖端和一个四边形的底面;

在所述三维可展曲面自适应点阵结构为一列胞元链的情形下,其中两个所述杆件上均设置有第二铰接点(2),两个所述第二铰接点(2)位于所述底面的对角线上;

在所述胞元链的列数不小于两列的情形下,四个所述杆件上均设置有第二铰接点(2),四个所述第二铰接点(2)分别位于所述底面的四个顶点处。

2. 根据权利要求1所述的三维可展曲面自适应点阵结构,其特征在于:所述胞元为八面体点阵构型,相邻胞元间的最大转动角度为 $180^{\circ}$ 。

3. 根据权利要求1所述的三维可展曲面自适应点阵结构,其特征在于:所述胞元的金字塔点阵构型,相邻胞元间的最大转动角度为 $270^{\circ}$ 。

4. 根据权利要求1-3中任意一项所述的三维可展曲面自适应点阵结构,其特征在于:所述铰接为嵌锁-铰接,所述嵌锁-铰接包括异线型铰接,所述异线型铰接中同一铰接处的两个相邻的所述杆件的轴线在平面内投影不共线。

5. 根据权利要求4所述的三维可展曲面自适应点阵结构,其特征在于:所述异线型铰接包括:同一铰接处的两个相邻的所述杆件的铰接点均设置有安装孔,两个安装孔内设置有固接件,所述安装孔的厚度与所述杆件的厚度相同。

6. 根据权利要求5所述的三维可展曲面自适应点阵结构,其特征在于:所述固接件为螺栓和与所述螺栓相匹配的螺母;或者为销钉。

## 三维可展曲面自适应点阵结构及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及点阵结构,具体涉及三维可展曲面自适应点阵结构及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 点阵夹层结构集多种优异性能于一身,已经在火箭支撑仓、卫星承力筒和适配器、深海潜艇耐压仓等重大结构上投入了使用。点阵夹芯的基本单元拓扑构型的多样性、母材的性能、相对密度以及可能对最终结构性能产生影响的各种复杂因素都对制备工艺提出挑战。

[0003] 传统制备工艺需要根据率先确定的包覆内外壳体结构形状来设计和固定夹芯的形状,成型时可能会因为微小的生产误差、装配误差以及缺陷等导致面芯连接不良,从而引起点阵夹层结构力学性能的下降。同时随着点阵夹层结构特征长度的增加,尺寸效应带来的新的困难也会大大增加。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种三维可展曲面自适应点阵结构及其制备方法,首次释放了点阵夹芯胞元间转动自由度,实现了点阵夹芯三维可展曲面随形自适应,以解决现有技术中点阵夹层结构存在的装配后力学性能下降和尺寸效应带来的问题。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明具体提供下述技术方案:

[0006] 本发明提供了一种三维可展曲面自适应点阵结构,所述三维可展曲面自适应点阵结构包括至少一列胞元链,所述胞元链包括多个胞元,通过释放胞元间转动自由度,相邻的两个胞元之间相互铰接,同一所述胞元链的首尾之间能够铰接成环,所述胞元为镂空的八面体点阵构型或者镂空的金字塔点阵构型;

[0007] 在所述胞元链的列数不小于两列的情形下,相邻的两个所述胞元链之间为平行设置,并且所述相邻的两个所述胞元链之间相互铰接。

[0008] 优选地,所述八面体点阵构型是由八根杆件组成的八面体结构;

[0009] 在所述三维可展曲面自适应点阵结构为一列胞元链的情形下,所述八面体点阵构型的两个尖端处设置有第一铰接点以用于铰接,两个所述第一铰接点位于同一对称轴上;

[0010] 在所述胞元链的列数不小于两列的情形下,所述八面体点阵构型的四个尖端处设置有第一铰接点以用于铰接,四个所述第一铰接点位于同一平面上;其中位于一条对称轴上的两个所述第一铰接点用于铰接同一所述胞元链上的相邻的所述胞元,位于另一条对称轴上的两个所述第一铰接点分别用于铰接相邻胞元链上的所述胞元。

[0011] 优选地,所述胞元为八面体点阵构型,相邻胞元间的最大转动角度为 $180^{\circ}$ 。

[0012] 优选地,所述金字塔点阵构型是由四根杆件组成的金字塔结构,形成有一个尖端和一个四边形的底面;

[0013] 在所述三维可展曲面自适应点阵结构为一列胞元链的情形下,其中两个所述杆件上均设置有第二铰接点,两个所述第二铰接点位于所述底面的对角线上;

[0014] 在所述胞元链的列数不小于两列的情形下,四个所述杆件上均设置有第二铰接点,四个所述第二铰接点分别位于所述底面的四个顶点处。

[0015] 优选地,所述胞元的金字塔点阵构型,相邻胞元间的最大转动角度为 $270^{\circ}$ 。

[0016] 优选地,所述铰接为嵌锁-铰接,所述嵌锁-铰接包括异线型铰接,所述异线型铰接中同一铰接处的两个相邻的所述杆件的轴线在平面内投影不共线。

[0017] 优选地,所述异线型铰接包括:同一铰接处的两个相邻的所述杆件的铰接点均设置有安装孔,两个安装孔内设置有固接件,所述安装孔的厚度与所述杆件的厚度相同。

[0018] 优选地,所述固接件为螺栓和与所述螺栓相匹配的螺母;或者为销钉。

[0019] 本发明还提供了一种基于嵌锁-铰接制备上述的三维可展曲面自适应点阵结构的方法,所述方法包括:将多个胞元依次铰接形成胞元链;

[0020] 在所述胞元链的列数不小于两列的情形下,所述方法还包括:将多个胞元链平行设置并相互铰接。

[0021] 优选地,所述方法还包括:将同一所述胞元链的首尾铰接成环。

[0022] 传统的多胞元点阵结构,胞元之间通过母材直接连接形成一体(如直接3D打印成型),称之为嵌锁-组装(Snap-fit),如图5-1和图5-3中所示Snap-fit组装方式。如图5-2和图5-4,本发明中,胞元之间采用异线型铰接(Snap-pin-non-collinear),借助八面体点阵构型或者金字塔点阵构型具有良好的对称性,通过一个共有节点进行重新设计,便可极大地释放胞元间的转动自由度,增强夹芯(三维可展曲面自适应点阵结构)形状对于包覆壳体或面板的适应性。由此,面芯在接触连接过程中,胞元间的铰接结构将不断调整自身的形状实现紧密贴合,保证了面芯连接的强度。

[0023] 相较于传统的制备工艺,铰接增加了包覆壳体或面板的可设计和制备的形状种类,进一步拓展了点阵夹芯结构的设计和应用空间。

## 附图说明

[0024] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图引伸获得其它的实施附图。

[0025] 图1为八面体点阵构型和金字塔点阵构型单胞铰接机构的引入方法示意图;

[0026] 图2是异线型八面体点阵结构和金字塔点阵结构绕铰接部分可转动情况;其中,上半幅为相邻八面体点阵结构绕铰接机构转动的过程图,下半幅为相邻金字塔点阵结构绕铰接机构转动的过程图;

[0027] 图3是基于嵌锁-铰接制备的可调密度金字塔多胞元链、可调密度柱壳夹芯和任意三维可展曲面自适应夹芯演化过程图;

[0028] 图4是基于嵌锁-铰接制备的八面体折纸超材料折叠的过程示意图;

[0029] 图5-1为本发明提供的八面体点阵构型通过嵌锁-铰接(snap-fit)而形成的 $3 \times 3$ 点阵结构的一种优选实施方式的结构示意图;

[0030] 图5-2为本发明提供的八面体点阵构型通过异线型铰接(Snap-pin-non-collinear)而成的三维可展曲面自适应点阵结构的一种优选实施方式的结构示意图;

[0031] 图5-3为本发明提供的金字塔点阵构型通过嵌锁-铰接(snap-fit)而形成的 $3 \times 3$ 点阵结构的一种优选实施方式的结构示意图;

[0032] 图5-4为本发明提供的金字塔点阵构型通过异线型铰接(Snap-pin-non-collinear)而形成的三维可展曲面自适应点阵结构的一种优选实施方式的结构示意图。

[0033] 图中的标号分别表示如下:

[0034] 1、第一铰接点2、第二铰接点。

### 具体实施方式

[0035] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0036] 本发明提供了一种新型嵌锁-铰接方法来制备三维可展曲面自适应点阵结构,所述三维可展曲面自适应点阵结构包括至少一列胞元链,所述胞元链包括多个胞元,相邻的两个胞元之间相互铰接,同一所述胞元链的首尾之间能够铰接成环,所述胞元为镂空的八面体点阵构型或者镂空的金字塔点阵构型;

[0037] 在所述胞元链的列数不小于两列的情形下,相邻的两个所述胞元链之间为平行设置,并且所述相邻的两个所述胞元链之间相互铰接。

[0038] 在本发明中,对八面体点阵构型的结构不作具体的限定,但是为了进一步提高所述八面体点阵构型的安装便捷性,同时为了改善所述八面体点阵构型的在面芯结构中的相对密度;优选地,如图1中a和图2所示,所述八面体点阵构型是由八根杆件组成的八面体结构。

[0039] 在上述实施方式中,八面体点阵构型中铰接位置可以在宽的范围选择,但是为了进一步地释放各胞元间的转动自由度,优选地,在所述三维可展曲面自适应点阵结构为一列胞元链的情形下,所述八面体点阵构型的两个尖端处设置有第一铰接点1以用于铰接,两个所述第一铰接点1位于同一对称轴上;

[0040] 在所述胞元链的列数不小于两列的情形下,所述八面体点阵构型的四个尖端处设置有第一铰接点1以用于铰接,四个所述第一铰接点1位于同一平面上;其中位于一条对称轴上的两个所述第一铰接点1用于铰接同一所述胞元链上的相邻的所述胞元,位于另一条对称轴上的两个所述第一铰接点1分别用于铰接相邻胞元链上的所述胞元。

[0041] 在上述实施方式中,在同一铰接处,其中一个八面体点阵构型可以绕另一个八面体点阵构型转动,转动角度可以在宽的范围选择,但是为了尽可能大地释放各胞元间的转动自由度,优选地,所述胞元为八面体点阵构型,相邻胞元间的最大转动角度为 $180^\circ$ 。

[0042] 同理,对金字塔点阵构型的结构不作具体的限定,但是为了进一步提高所述金字塔点阵构型的安装便捷性,同时为了改善所述八面体点阵构型的在面芯结构中的相对密度;优选地,如图1中b和图2所示,所述金字塔点阵构型是由四根杆件组成的金字塔结构,形成一个尖端和一个四边形的底面。

[0043] 在上述实施方式中,金字塔点阵构型中铰接位置可以在宽的范围选择,但是为了进一步地释放各胞元间的转动自由度,优选地,在所述三维可展曲面自适应点阵结构为

一列胞元链的情形下,其中两个所述杆件上均设置有第二铰接点2,两个所述第二铰接点2位于所述底面的对角线上;

[0044] 在所述胞元链的列数不小于两列的情形下,四个所述杆件上均设置有第二铰接点2,四个所述第二铰接点2分别位于所述底面的四个顶点处。

[0045] 在上述实施方式中,在同一铰接处,其中一个金字塔点阵构型可以绕另一个金字塔点阵构型转动,转动角度可以在宽的范围选择,但是为了尽可能大地释放各胞元间的转动自由度,优选地,所述胞元的金字塔点阵构型,相邻胞元间的最大转动角度为 $270^{\circ}$ 。

[0046] 不同具体结构对应了不同的连接形式,在上述实施方式中,为了和传统嵌锁-组装进行更明确得区分,优选地,图5-2和图5-4所示,所述连接形式为嵌锁-铰接,所述嵌锁-铰接包括异线型铰接,所述异线型铰接中同一铰接处的两个相邻的所述杆件的轴线在平面内投影不共线,杆件的轴线无论如何投影也不能共线。

[0047] 在上述实施方式中,异线型铰接的连接方式可以在宽的范围选择,优选地,如图5-2和图5-4所示,所述异线型铰接包括异线型铰接(Snap-pin-non-colinear)包括:同一铰接处的两个相邻的所述杆件的铰接点均设置有安装孔,即第一铰接点1和所述第二铰接点2均为铰接孔,两个安装孔内设置有固接件,所述安装孔的厚度与所述杆件的厚度相同。

[0048] 在上述实施方式中,所述固接件的种类可以在宽的范围选择,但是为了进一步便于安装,优选地,所述固接件为螺栓和与所述螺栓相匹配的螺母;或者为销钉。

[0049] 本发明还提供了一种基于嵌锁-铰接制备上述的三维可展曲面自适应点阵结构的方法,所述方法包括:将多个胞元依次铰接形成胞元链;

[0050] 在所述胞元链的列数不小于两列的情形下,所述方法还包括:将多个胞元链平行设置并相互铰接。

[0051] 在上述方法中,为了针对曲面壳体,使得三维可展曲面自适应点阵结构与曲面壳体更好地贴合,优选地,所述方法还包括:将同一所述胞元链的首尾铰接成环。

[0052] 以下通过实例对本发明作进一步说明。

[0053] 实施例1

[0054] 如图3所示,提供了基于嵌锁-铰接制备的可调密度金字塔多胞元链、可调密度柱壳夹芯和任意三维可展曲面自适应夹芯演化过程点阵夹芯层示意图。

[0055] 首先利用嵌锁-铰接的方法制备出10个金字塔点阵双胞元,胞元之间通过异线型的铰接结构进行连接。通过调整铰接结构所连杆件的角,使得胞元最内侧的销钉以及内侧节点所形成的线型和内曲面壳线型吻合,此时可形成相应的点阵柱壳;进一步地,调整铰接机构所连杆件的角使得内侧节点和销钉组成的夹角增大,构成的线形所围成的面积增大,此时金字塔点阵夹心层的相对密度,由于总的结构尺寸相对较小,夹芯层的体积相对较小,在母材的体积在不变的情况下,因此该金字塔点阵结构具有较低的相对密度。同样的材料和结构,通过铰接机构的引入,释放胞元间的转动自由度,可调整胞元之间的相对位置,实现宏观整体结构尺寸的改变和相对密度的调整。类似的八面体构型也可以实现相应的过程。

[0056] 另外,除了调整密度之外,线形的变化使得夹芯也可以实现面芯自适应。若通过熔融沉积(FDM)3D打印的方法制备柔性圆柱壳蒙皮。这种蒙皮在受到外载荷后可以实现极大的变形。将柔性蒙皮套在基于嵌锁-铰接方法设计制备的八面体或金字塔点阵夹芯层上,保

证内侧蒙皮的周长和夹芯层外侧线型周长一致。在受到压力之后,柔性蒙皮发生了形状改变,此时由于铰接结构的存在,夹芯层会自适应调整位置、形状以及大小,使得点阵夹芯和蒙皮始终贴合在一起。若通过熔融沉积(FDM)3D打印的方法制备异型曲面刚性蒙皮,如机翼型、柱壳型、心型等等三维可展曲面,可将多胞元链围在相关蒙皮上通过调整铰接结构进行转动与单个配件的增减来完美适应内外壳;最后将内外壳和夹芯胶结、胶结部分胶结固化成型。

[0057] 实施例2

[0058] 图4给出了基于嵌锁-铰接制备的八面体折纸超材料。若利用PloyJet3D打印技术,通过嵌锁-组装的方法制备了点阵八面体点阵胞元。将单胞在二维平面进行阵列排布形成3×5多胞元点阵。胞元之间通过打印出来的销钉进行连接,由于转动自由度的释放,形成的多胞结构可以通过铰接机构进行转形成整体的折叠的效果。由于释放了两个方向共有节点的连接,因此结构整体拥有两个方向的可折叠方向。

[0059] 实施例3

[0060] 根据图5-2和图5-4两个连接方式制备形成完整的八面体点阵夹层板和金字塔点阵夹层板。面板上带有相应的凹槽和余量来点阵夹芯匹配,且做一定的镂空处理来降低其所用的耗材和整体结构的质量。最后装配组装形成相对密度约在2%-2.3%的具有不同连接方式的八面体点阵夹层平板和金字塔点阵夹层平板。

[0061] 以上实施例仅为本申请的示例性实施例,不用于限制本申请,本申请的保护范围由权利要求书限定。本领域技术人员可以在本申请的实质和保护范围内,对本申请做出各种修改或等同替换,这种修改或等同替换也应视为落在本申请的保护范围内。

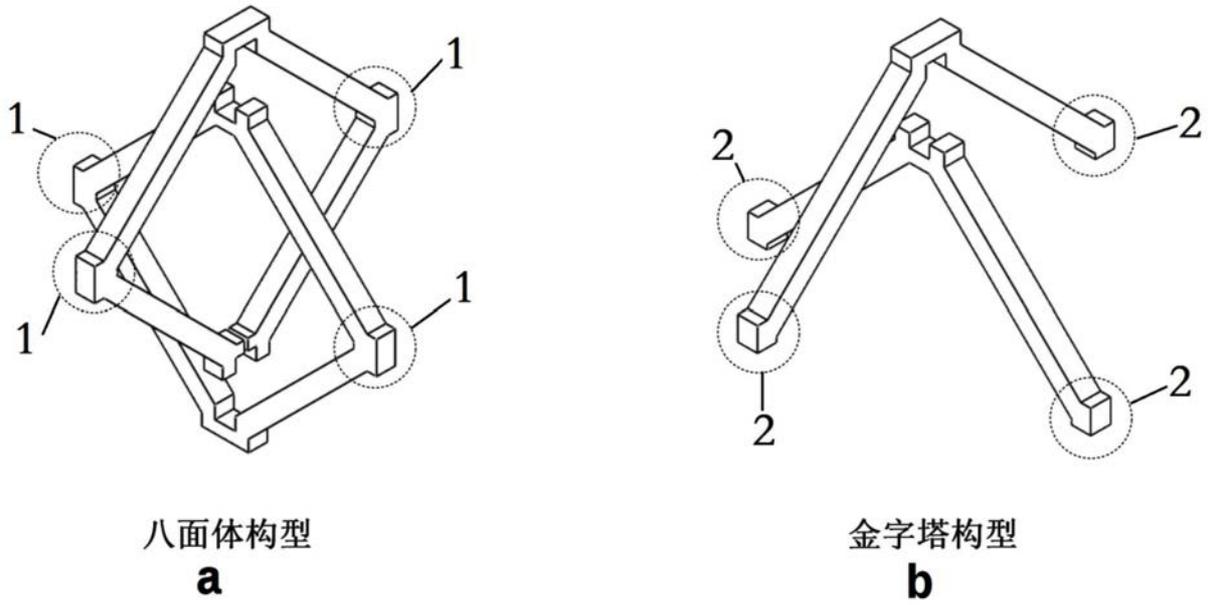


图1

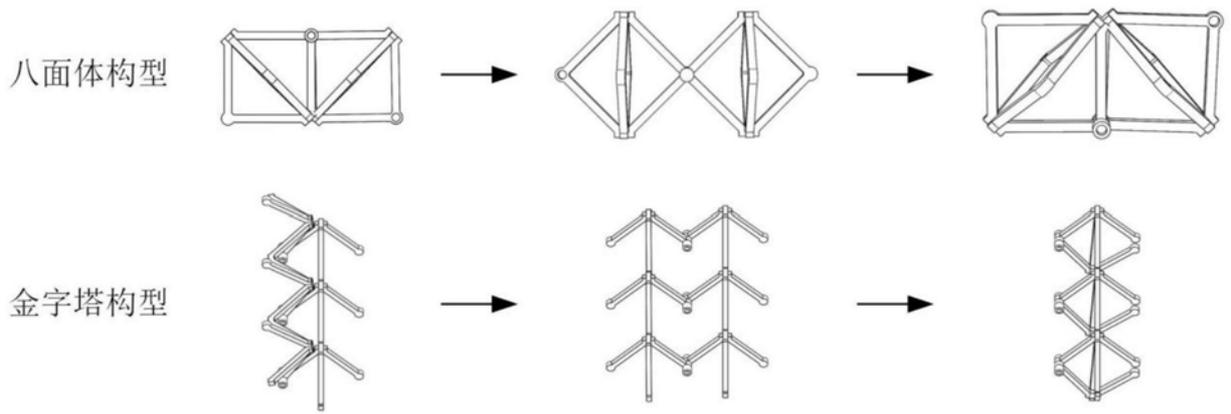


图2

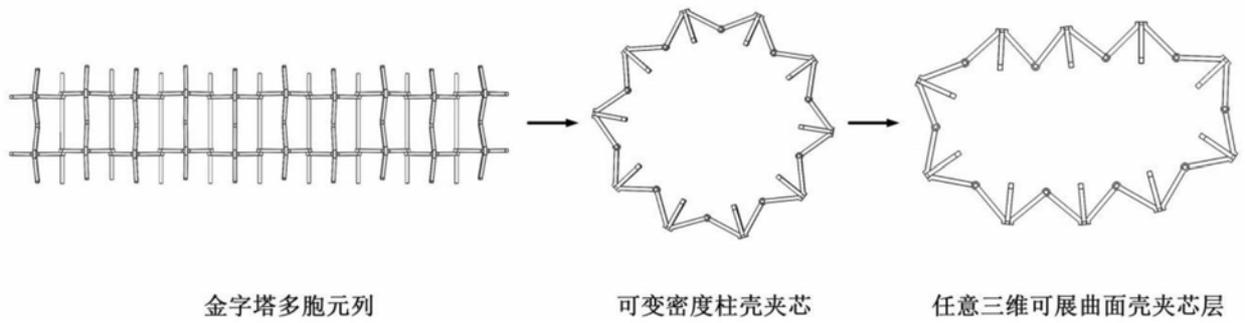


图3

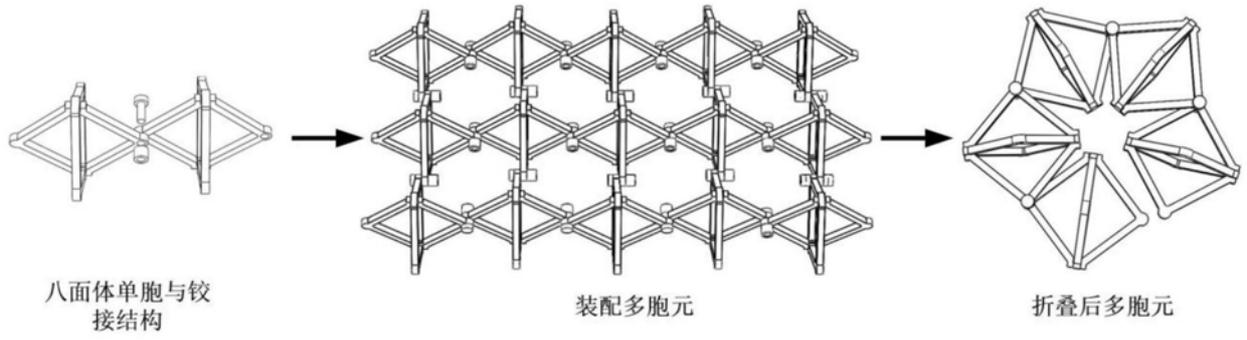


图4

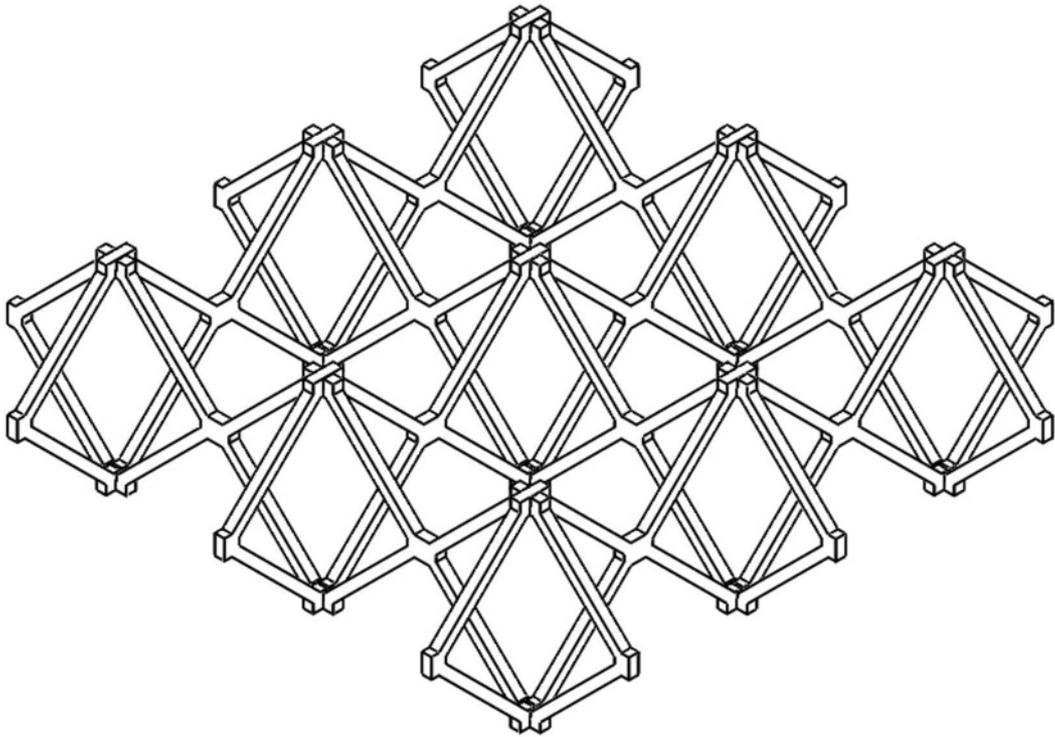


图5-1

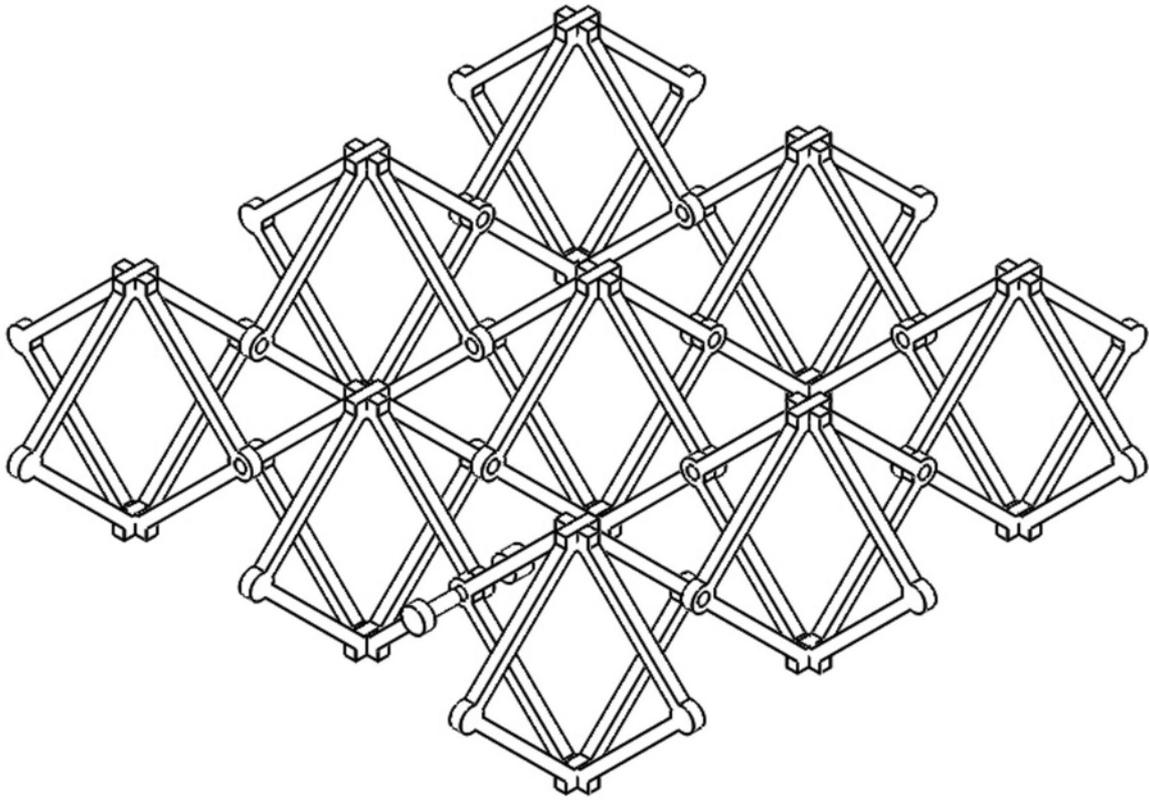


图5-2

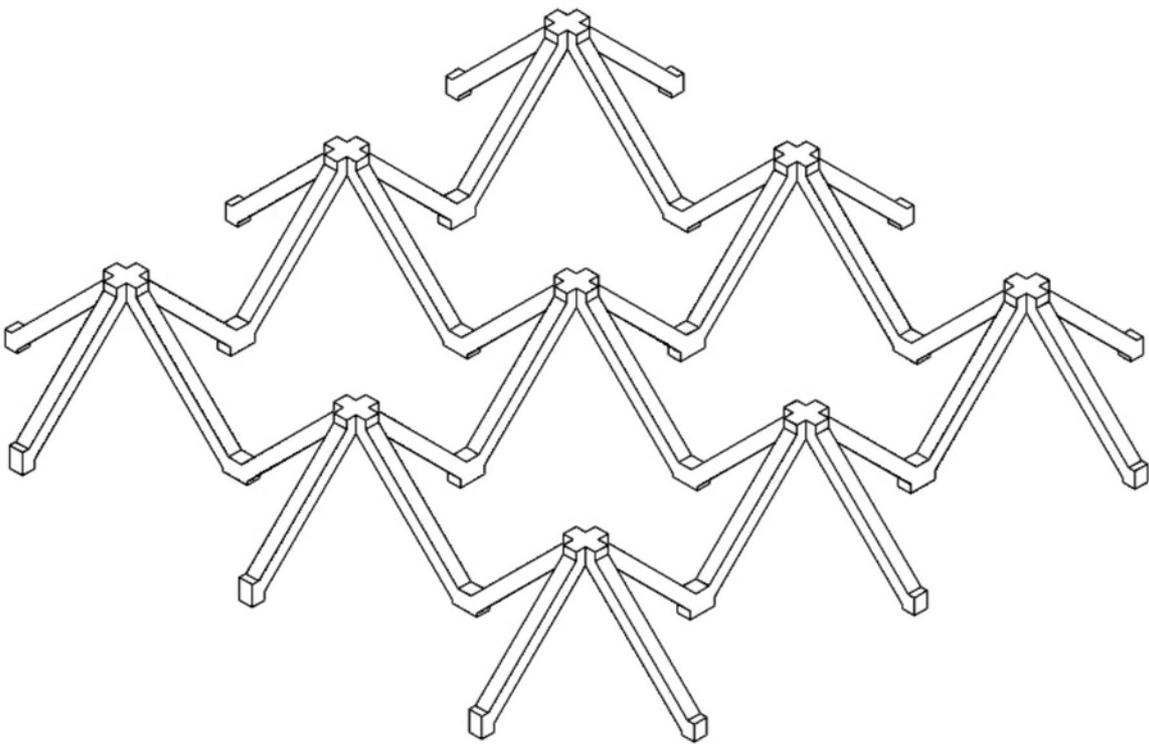


图5-3

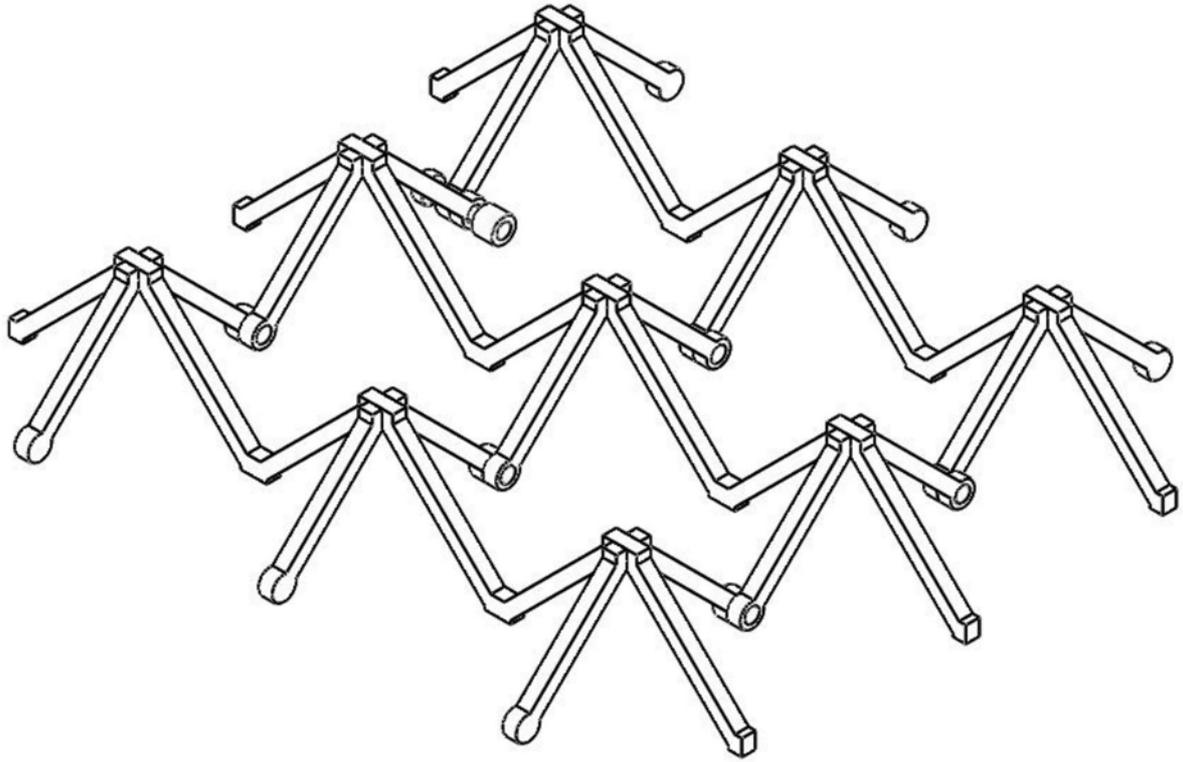


图5-4