



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102303427 B

(45) 授权公告日 2014.03.26

(21) 申请号 201110193654.7

审查员 孙淑美

(22) 申请日 2011.07.12

(73) 专利权人 北京航空航天大学

地址 100191 北京市海淀区学院路 37 号

(72) 发明人 李典森 江雷

(51) Int. Cl.

B32B 3/18 (2006.01)

B32B 5/26 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 101328955 A, 2008.12.24,

CN 101055058 A, 2007.10.17,

CN 101239513 A, 2008.08.13,

CN 101966764 A, 2011.02.09,

CN 101837664 A, 2010.09.22,

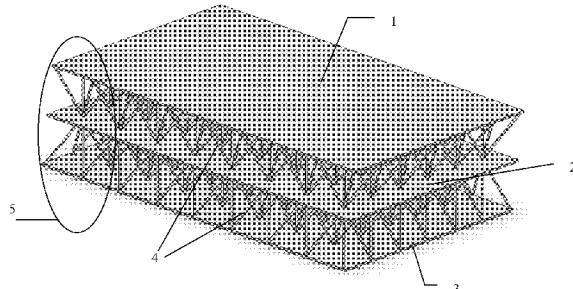
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料及其制备方法

(57) 摘要

本发明涉及一种双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料及其制备方法。该复合材料由上面板层、中面板层、下面板层和设置于上中、中下面板层之间的点阵芯子层构成。其特征在于上、中、下面板层形成双夹层结构，所述的点阵芯子层为孔隙相通周期性排列的对称多棱锥构型单胞组成的空间网络桁架结构，且该点阵芯子层与上、中、下面板层按设计规律编织穿插、缠绕缝合为一个整体，并采用树脂传递工艺一次注脂成型；本发明的制备方法包括：1) 制备上、中、下面板层；2) 钻针孔；3) 制备点阵芯子层；4) 树脂固化成型。本发明制备的复合材料比现有的夹层结构复合材料整体性更好，力学性能更优越，质量更轻，承载效率更高，功能性更好。



1. 一种双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料，该复合材料由上面板层(1)、中面板层(2)和下面板层(3)以及设置在上中、中下面板层之间的点阵芯子层(4)构成，其特征在于上、中、下面板层形成双夹层结构，所述的点阵芯子层为孔隙相通周期性排列的对称多棱锥构型单胞(5)组成的空间网络桁架结构，且该点阵芯子层与上、中、下面板层按设计规律编织穿插、缠绕缝合为一个整体，并采用树脂传递工艺一次注脂成型；

所述点阵芯子层制作前，执行钻针孔的步骤，具体为：

根据设计规律，用钻孔机在所述上、中、下面板层预制品的相应位置上垂直钻针孔，针孔的直径与芯子纱线的直径相匹配；针孔密度为500-8000孔/平方米；所述设计规律是指根据点阵芯子的对称多棱锥构型、芯子纱线的空间取向角来确定；所述的对称多棱锥构型是指对称三棱锥、对称四棱锥、对称五棱锥构型中的一种；所述芯子纱线的空间取向角是指芯子纱线在空间编织穿插的方向与竖直轴向的夹角；

所述点阵芯子层的制作采用下述步骤：

根据设计好的穿孔，芯子纱线在上、中、下面板层预制品之间编织穿插、缠绕缝合成一个中空整体结构，穿插缝合密度与面板上所钻的针孔密度一致，为500-8000根/平方米；对于对称四棱锥构型，芯子纱线在上、中、下面板层编织穿插的路径如下：

首先让纱线从上面板层的上表面棱角处第一个对称四棱锥单胞的第一个结点(8)出发，穿过上面板层的下表面，经中面板层的第二结点(9)，再穿插至下面板层的下表面到达第三结点(10)；纱线从下面板层的下表面沿着Y方向到达第四结点(11)，然后纱线反向从下向上依次倾斜穿插下面板层的上表面、中面板层的结点(9)，上面板层的上表面到达第五结点(12)；纱线从上面板层的上表面沿着X方向到达第六结点(13)，纱线再次反向从上向下依次倾斜穿插上面板层的下表面，中面板层的结点(9)，下面板层的下表面到达第七结点(14)；纱线于下面板层的下表面沿着Y方向，到达第八结点(15)，再从下向上依次穿过下面板层的上表面，中面板层结点(9)及上面板层的上表面，最后到达第九结点(16)，在编织穿插过程中，四根沿对角线方向的纱线于中面板层的结点(9)处进行互相交织缠绕，如此，完成第一个对称四棱锥单胞芯子构型的纱线编织穿插过程；然后，纱线沿着上面板层的上表面到达下一个对称四棱锥单胞的结点，再次按照所述的路径顺序进行编织穿插，缠绕缝合；

依此类推，按照上一步骤的芯子纱线编织穿插方法，以单胞为基础，沿面板的长度方向进行编织穿插，缠绕缝合，在到达面板的端截面上编织过渡，再沿面板的长度方向进行下一层芯子构型的纱线编织穿插，制备出双夹层对称多棱锥构型点阵芯子层。

2. 根据权利要求1所述的双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料，其特征在于：所述的上面板层、中面板层和下面板层是采用四步法三维多向整体编织工艺技术，由高性能纤维材料织造三维多向整体编织预制品来制备得到；所述的高性能纤维材料是指碳纤维、凯夫拉纤维、玻璃纤维、芳纶纤维、高强聚乙烯纤维、玄武岩纤维中的一种；所述的三维多向整体编织预制品是指具有特定编织角、特定纤维体积含量、特定编织结构的三维多向整体编织物；所述的编织角的范围为0°-50°之间，所述的纤维体积含量的范围为20%-70%之间，所述的编织结构是指三维四向、三维五向、三维六向和三维七向编织结构中的一种。

3. 根据权利要求2所述的双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料，其特征

在于：所述的上、中、下面板层选用相同的高性能纤维材料三维多向整体编织物，或选用不同的高性能纤维材料三维多向整体编织物。

4. 根据权利要求 1 所述的双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料，其特征在于：点阵芯子层与上面板层、中面板层和下面板层间为一个完全不分离的整体结构；上中面板层，中下面板层形成双夹层结构；所述的点阵芯子层为孔隙相通周期性排列的对称多棱锥构型单胞组成的空间网络桁架结构；所述的对称多棱锥构型是指对称三棱锥、对称四棱锥、对称五棱锥构型中的一种。

5. 根据权利要求 1 所述的双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料，其特征在于：所述的点阵芯子层是由芯子纱线（6）按设计规律在三维空间与上、中、下面板层编织穿插、缠绕缝合而成；所述的芯子纱线是指有机纤维制成的纱线中的一种，所述有机纤维包括碳纤维、凯夫拉纤维、芳纶纤维、玻璃纤维；所述的设计规律是指根据点阵芯子的对称多棱锥构型、芯子纱线的空间取向角（7）来确定；所述空间取向角是指芯子纱线在空间编织穿插的方向与竖直轴向的夹角，其大小范围为 0° ~ 90° 之间。

6. 根据权利要求 1 所述的双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料，其特征在于：所述的点阵芯子在上中、中下面板层间呈完全的中心对称结构，芯子纱线相互交织缠绕于中面板层，中面板层起着有效的支撑作用。

7. 根据权利要求 1 所述的双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料，其特征在于：所述的点阵芯子层高度可调范围大，为 0~80mm 之间，点阵芯子层连接上、中、下三层面板层形成的整体高度范围为 0~120mm 之间。

8. 根据权利要求 1 所述的双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料，其特征在于：该复合材料的上、中、下面板层的外表面均平整光滑，形状尺寸精确，无需进行二次加工，不会造成复合材料损伤。

9. 一种如权利要求 1 所述双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料的制备方法，其特征在于按如下步骤进行制备：

（1）上、中、下面板层制备

上、中、下面板层采用四步法三维多向整体编织技术，由高性能纤维材料织造出三维多向整体编织预制件来制备得到；所述高性能纤维材料是碳纤维、凯夫拉纤维、玻璃纤维、芳纶纤维、高强聚乙烯纤维、玄武岩纤维中的一种；所述的三维多向整体编织预制件是指具有特定编织角、特定纤维体积含量、特定编织结构的三维多向整体编织物；

（2）所述钻针孔的步骤；

（3）所述点阵芯子层的制作步骤；

（4）树脂固化成型

芯子纱线编织穿插完成后，对预制件进行崩直张拉；克服在编织穿插过程中产生的纱线松紧不一的状况；将编织好的双夹层多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料预成型体，采用树脂传递工艺，注入树脂，使上、中、下面板层和点阵芯子层充分浸渍树脂，放置于烘箱中，复合固化成型；所述的树脂采用环氧树脂、酚醛树脂、不饱和树脂、乙烯基树脂中的一种。

双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及纺织复合材料及其制备技术,特别涉及一种双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料及其制备工艺,属于工程材料制备、结构设计领域。

背景技术

[0002] 夹层结构复合材料因比刚度大的突出优点被越来越多地应用于航空航天和船舶的制造部门,在工程中也愈来愈受重视。在夹层结构的制造过程中,面板的质量及其与夹芯层的粘结强度是影响夹层结构性能的关键因素。现有的夹层结构复合材料,上、下面板层通常采用铺层、层合结构,面板层层间剪切强度低,受力时面板间极易发生分层破坏,且抗弯曲力学性能差。同时,夹层结构的另一破坏模式是面板与夹芯层之间的粘结脱胶破坏,由于复合材料制品的中间夹芯层、与上、下面板的界面构造单一,很容易导致上、下面板层与中间夹芯层脱胶分层剥离,无法正常使用。

[0003] 常见的夹芯层有蜂窝材料和泡沫材料等,这些材料的抗剪能力很弱,为了匹配夹芯层的抗剪强度,面板通常必须很薄,不能充分发挥高性能纤维面板的高强抗拉能力。近年来,国际上发展了一种新型高比强度、高比刚度点阵材料。点阵材料是通过模拟分子点阵构型而设计出来的一种有序超轻多孔材料,类似于现有的空间网架,其内部每一根梁杆的受力都可设计为处于单向拉伸或压缩而不产生弯曲变形,并可获得相同载荷下的最小重量指数。点阵材料常见的拓扑构型包括 Kagome 结构、周期桁架结构、四棱锥结构、八面体结构、四面体和全三角形构架。但目前常见的点阵材料多为金属材料,纤维增强复合材料很少,也缺乏成熟的点阵复合材料制备工艺。而针对现有的单夹层结构点阵复合材料,点阵芯子均不具备较高的高度,即夹层中芯子的高度有限,一般不超过 30mm,且点阵芯子缺乏有效的支撑点,在夹层高度达到 20mm 以上时,芯子易失稳,发生剪切破坏,最终导致复合材料结构无法使用。因此,需要设计和制备新型的夹层结构功能点阵材料,以满足航空航天等领域结构超轻型化,最佳构形设计,结构多功能化的结构设计要求。

发明内容

[0004] 针对现有技术的不足,本发明的目的是提出一种双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料及其制备方法,该复合材料结构整体性好,质量更轻、大大提高了结构的承载效率,结构的稳定性、抗压、抗剪切、抗弯曲等力学性能都得到显著增强,并可方便地实现隐身、智能化以及其他多功能化要求。该制备方法工艺简单,环境污染小,生产效率高,成本相对较低。

[0005] 本发明解决所述复合材料技术问题的技术方案如下:

[0006] 本发明设计的一种双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料,它由上面板层、中面板层和下面板层以及设置在上中面板层、中下面板层之间的点阵芯子层构成,其特征在于:上,中,下面板层形成双夹层结构,所述的点阵芯子层为孔隙相通周期性排列的

对称多棱锥构型单胞组成的空间网络桁架结构,且该点阵芯子层与上、中、下面板层按设计规律编织穿插、缠绕缝合为一个整体,并采用树脂传递工艺一次注脂成型。

[0007] 本发明的进一步特征是所述的上面板层、中面板层和下面板层是采用四步法三维多向整体编织工艺技术,由高性能纤维材料织造三维多向整体编织预制品来制备得到;所述的高性能纤维材料是指碳纤维、凯夫拉纤维、玻璃纤维、芳纶纤维、高强聚乙烯纤维、玄武岩纤维等中的一种。所述的三维多向整体编织预制品是指具有特定编织角、特定纤维体积含量、特定编织结构的三维多向整体编织物。所述的编织角的范围为 0° - 50° 之间,所述的纤维体积含量的范围为20% -70%之间,所述的编织结构是指三维四向、三维五向、三维六向和三维七向编织结构中的一种。所述的上、中、下面板层可以选用相同的高性能纤维材料三维多向整体编织物,也可选用不同的高性能纤维材料三维多向整体编织物。

[0008] 本发明的特征还在于所述的点阵芯子层与上面板层、中面板层和下面板层间为一个完全不分离的整体结构,不存在面板层与芯子层的剥离现象,上中面板层,中下面板层形成双夹层结构;所述的点阵芯子层为孔隙相通周期性排列的对称多棱锥构型单胞组成的空间网络桁架结构;所述的对称多棱锥构型是指对称三棱锥、对称四棱锥、对称五棱锥等构型中的一种。

[0009] 本发明的特征还在于所述的点阵芯子层是由芯子纱线按设计规律在三维空间与上、中、下面板层编织穿插、缠绕缝合而成。所述的芯子纱线是指碳纤维、凯夫拉纤维、芳纶纤维、玻璃纤维等有机纤维制成的纱线中的一种;所述的设计规律是指根据点阵芯子的对称多棱锥构型、芯子纱线的空间取向角来确定;所述空间取向角是指芯子纱线在空间编织穿插的方向与竖直轴向的夹角,其大小范围为 0° - 90° 之间;所述点阵芯子的构型,芯子纱线的空间取向角可以任意设置,形成不同的结构。

[0010] 本发明的特征还在于所述的点阵芯子在上中、中下面板层间呈完全的中心对称结构,芯子纱线相互交织缠绕于中面板层,中面板层起着有效的支撑作用;所述的点阵芯子层高度可调范围大,可达到0-80mm之间,点阵芯子层连接上、中、下三层面板层形成的整体高度范围为0-120mm之间。

[0011] 本发明的特征还在于所述复合材料结构的上、中、下面板层的外表面均平整光滑,形状尺寸精确,无需进行二次加工,不会造成复合材料损伤。

[0012] 所述双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料的制备方法,其特征在于按如下步骤进行制备:

[0013] (1) 制备上、中、下面板层

[0014] 采用四步法三维多向整体编织工艺技术,利用高性能纤维材料织造三维多向整体编织预制品来制备得到上面板层、中面板层和下面板层。所述高性能纤维材料是碳纤维、凯夫拉纤维、玻璃纤维、芳纶纤维、高强聚乙烯纤维、玄武岩纤维等中的一种;所述的三维多向整体编织预制品是指具有特定编织角、特定纤维体积含量、特定编织结构的三维多向整体编织物。

[0015] (2) 钻针孔

[0016] 根据设计规律,用钻孔机在所述上、中、下面板层预制品的相应位置上垂直钻针孔,针孔的直径与芯子纱线的直径相匹配;针孔密度为500-8000孔/平方米。所述设计规律是指根据点阵芯子的对称多棱锥构型、芯子纱线的空间取向角来确定。所述的对称多棱

锥构型是指对称三棱锥、对称四棱锥、对称五棱锥等构型中的一种。所述空间取向角是指芯子纱线在空间编织穿插的方向与竖直轴向的夹角。

[0017] (3) 制备点阵芯子层

[0018] 根据设计好的穿孔，芯子纱线在上、中、下面板层预制品之间编织穿插、缠绕缝合成为一个中空整体结构，穿插缝合密度与针孔密度一致，为 500-8000 根 / 平方米，这样，制备出双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料预成型体。对于对称四棱锥构型，芯子纱线在上、中、下面板层编织穿插的路径如下：

[0019] a. 首先让纱线从上面板层的上表面棱角处第一个对称四棱锥单胞的第一个结点出发，穿过上面板层的下表面，经中面板层的第二结点，再穿插至下面板层的下表面到达第三结点。纱线从下面板层的下表面沿着 Y 方向到达第四结点，然后纱线反向从下向上依次倾斜穿插下面板层的上表面、中面板层的结点，上面板层的上表面到达第五结点。纱线从上面板层的上表面沿着 X 方向到达第六结点，纱线再次反向从上向下依次倾斜穿插上面板层的下表面，中面板层的结点，下面板层的下表面到达第七结点。纱线于下面板层的下表面沿着 Y 方向，到达第八结点，再从下向上依次穿过下面板层的上表面，中面板层结点及上面板层的上表面，最后到达第九结点，在编织穿插过程中，四根沿对角线方向的纱线于中面板层的结点处进行互相交织缠绕，如此，完成第一个对称四棱锥单胞芯子构型的纱线编织穿插过程。然后，纱线沿着上面板层的上表面到达下一个对称四棱锥单胞的结点，再次按照所述的路径顺序进行编织穿插，缠绕缝合。

[0020] b. 依此类推，按照步骤 a 的芯子纱线编织穿插方法，以单胞为基础，沿面板的长度方向进行编织穿插，缠绕缝合，在到达面板的端截面上编织过渡，再沿面板的长度方向进行下一层芯子构型的纱线编织穿插，制备出双夹层对称四棱锥构型点阵芯子层。

[0021] (4) 树脂固化成型

[0022] 芯子纱线编织穿插完成后，对预制品进行崩直张拉。克服在编织穿插过程中产生的纱线松紧不一的状况。将编织好的双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料预成型体，采用树脂传递工艺，注入树脂，使上、中、下面板层和点阵芯子层充分浸渍树脂，放置于烘箱中，复合固化后，即得到本发明的双夹层对称多棱锥夹芯三维整体编织点阵复合材料；所述的树脂采用环氧树脂、酚醛树脂、不饱和树脂、乙烯基树脂等中的一种。

[0023] 本发明与现有技术相比，具有以下优点及突出性效果：本发明采用三维多向整体编织技术制备具有三维多向整体编织结构的上、中、下面板层，从根本上克服了传统铺层，层合结构面板层层间剪切强度低且易分层的致命缺点，大大提高了面板层的力学性能。本发明采用三维编织穿插、缠绕缝合工艺，将点阵芯子层与上面板层、中面板层和下面板层间构成一个完全不分离的整体结构，彻底避免了传统夹层结构的面板层与夹芯层的脱胶分层剥离。本发明采用双夹层点阵结构，克服了现有单夹层结构中，夹层芯子的高度有限以及芯子缺乏有效支撑点的弱点，在双夹层点阵结构中，点阵芯子呈完全的中心对称结构，中面板层对点阵芯子起着有效支撑作用，芯子的高度得到显著增加，具有更大的孔隙率，其密度大大降低，提高了材料的承载效率。同时，本发明制备复合材料的孔隙是连通的，方便了多功能化的设计和实现，如布线、隔热，储油、减震、吸收电磁波、吸声和配置电池等。本发明采用树脂传递工艺一次注脂成型，上、中、下面板层的外表面均平整光滑，形状结构尺寸精确，无需进行二次加工，不会造成复合材料损伤，使复合材料结构具有优良的整体性能。总体来

说，本发明制备的双夹层多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料比传统的夹层结构复合材料整体性更好，力学性能更优越，质量更轻，承载效率更高，功能性更好。能够适用于航空航天、航海、国防装备以及隐身和智能化等多类高新技术产品领域。

[0024] 在申请人检索的范围内，本发明的双夹层对称多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料及其制备方法还未见相关文献报道。

附图说明

[0025] 图 1 是本发明提供的双夹层对称四棱锥构型三维整体编织点阵复合材料的结构示意图。

[0026] 图 2 是图 1 中对称四棱锥构型复合材料单胞的放大图。

[0027] 图 3 是图 1 中对称四棱锥构型点阵芯子单胞的放大图。

[0028] 图 4 是本发明的点阵芯子层结构示意图。

[0029] 图 5 是本发明的芯子纱线编织穿插、缠绕缝合路径示意图。

[0030] 1- 上面板层；2- 中面板层；3- 下面板层；4- 点阵芯子；5- 四棱锥构型单胞；6- 芯子纱线；7- 芯子纱线的空间取向角；8- 第一结点；9- 第二结点；10- 第三结点；11- 第四结点；12- 第五结点；13- 第六结点；14- 第七结点；15- 第八结点；16- 第九结点；

具体实施方式

[0031] 下面结合附图对本发明作进一步的说明。

[0032] 图 1 为本发明提供的一种双夹层对称四棱锥构型三维整体编织点阵复合材料结构示意图，它由上面板层 1、中面板层 2、下面板层 3 以及设置在上中、中下面板层之间点阵芯子层 4 构成，其特征在于：上中面板层、中下面板层形成双夹层结构，所述的点阵芯子层由孔隙相通周期性排列的对称四棱锥构型单胞 5 组成的空间网络桁架结构，且该点阵芯子层与上、中、下面板层按设计规律编织穿插、缠绕缝合为一个整体，并采用树脂传递工艺一次注脂成型。

[0033] 本发明同时设计了所述双夹层对称四棱锥构型三维整体编织点阵复合材料的制备方法，其特征在于按如下步骤进行制备：

[0034] (1) 制备上、中、下面板层

[0035] 按照四步法三维多向整体编织技术，利用高性能纤维材料织造三维多向整体编织预制品来制备上面板层、中面板层和下面板层。选用的高性能纤维材料为 T3006k 碳纤维。三维多向整体编织预制品的编织角为 25°，纤维体积含量为 60%，编织结构为三维五向编织结构。上、中、下面板层选用相同的碳纤维材料三维五向整体编织物，制得的上、中、下面板层预制品的外形尺寸为 500mm(长)×380mm(宽)×6mm(厚)。

[0036] (2) 钻针孔

[0037] 点阵芯子的构型选用对称四棱锥构型，芯子纱线的空间取向角 7 为 45°。采用钻孔机在上、中、下面板层上按照针距 × 行距为 30mm×30mm 垂直钻针孔，针孔的直径为 1.5mm，针孔密度为每平方米竖直穿透芯子纱线 1100 根。针对上、下面板层，从预制品的棱角处开始，首先分别距面板层长度方向和宽度方向为 10mm 的位置钻第一个孔，接着沿面板层的长度方向进行第一排钻孔，在达到面板层的端面后，再沿着面板层的宽度方向过渡到

下一排。如此不断循环,直至完成。针对中面板层,为保证中面板层钻孔与上、下面板层钻孔等间距错开。第一个钻孔位置分别距长度方向和宽度方向 25mm,再类似上、下面板层的钻孔顺序,沿长度和宽度方向间距 30mm 进行钻孔。这样,外形尺寸为 500mm×380mm×6mm 的上、中、下面板层,在上、下面板层上形成 17×13 个钻孔。中面板层上形成 16×12 个钻孔,孔间间距为 30mm。

[0038] (3) 芯子层制备 :

[0039] 根据上、中、下面板层的穿孔设计,芯子层的层高设计为 42.42mm。芯子纱线 6 选用 T30012k 碳纤维。芯子纱线在上、中、下面板层间倾斜编织穿插,在上、中、下面板层上垂直缠绕缝合。这样,芯子纱线将点阵芯子层与上、中、下面板层编织成一个中空整体结构,制备出双夹层对称四棱锥构型三维整体编织点阵复合材料预成型体。参见图 5,芯子纱线在上、中、下面板层编织穿插的路径如下:

[0040] a. 首先让纱线从上面板层的上表面棱角处第一个对称四棱锥单胞的第一个结点 8 出发,穿过上面板层的下表面,经中面板层的第二结点 9,再穿插至下面板层的下表面到达第三结点 10。纱线从下面板层的下表面沿着 Y 方向到达第四结点 11,然后纱线反向从下向上依次倾斜穿插下面板层的上表面、中面板层的结点 9,上面板层的上表面到达第五结点 12。纱线从上面板层的上表面沿着 X 方向到达第六结点 13,纱线再次反向从上向下依次倾斜穿插上面板层的下表面,中面板层的结点 9,下面板层的下表面到达第七结点 14。纱线于下面板层的下表面沿着 Y 方向,到达第八结点 15,再从下向上依次穿过下面板层的上表面,中面板层结点 9 及上面板层的上表面,最后到达第九结点 16,在编织穿插过程中,四根沿对角线方向的纱线于中面板层的结点 9 处进行互相交织缠绕,如此,完成第一个对称四棱锥单胞芯子构型的纱线编织穿插过程。然后,纱线沿着上面板层的上表面到达下一个对称四棱锥单胞的结点,再次按照所述的路径顺序进行编织穿插,缠绕缝合。

[0041] b. 依此类推,按照步骤 a 的芯子纱线编织穿插方法,以单胞为基础,沿面板的长度方向进行编织穿插,缠绕缝合,在到达面板的端截面上编织过渡,再沿面板的长度方向进行下一层芯子构型的纱线编织穿插,制备出双夹层对称四棱锥构型点阵芯子层。

[0042] (4) 树脂固化成型

[0043] 芯子纱线编织穿插完成后,对预制件进行崩直张拉。克服在编织穿插过程中产生的纱线松紧不一的状况。将编织好的双夹层多棱锥构型三维整体编织点阵复合材料预成型体,采用树脂传递工艺,注入环氧树脂,使上、中、下面板层和点阵芯子层充分浸渍环氧树脂,放置于烘箱中,在 80℃下熟化 3 小时,树脂固化成型后,即得到本发明的双夹层对称四棱锥构型三维整体编织点阵复合材料。

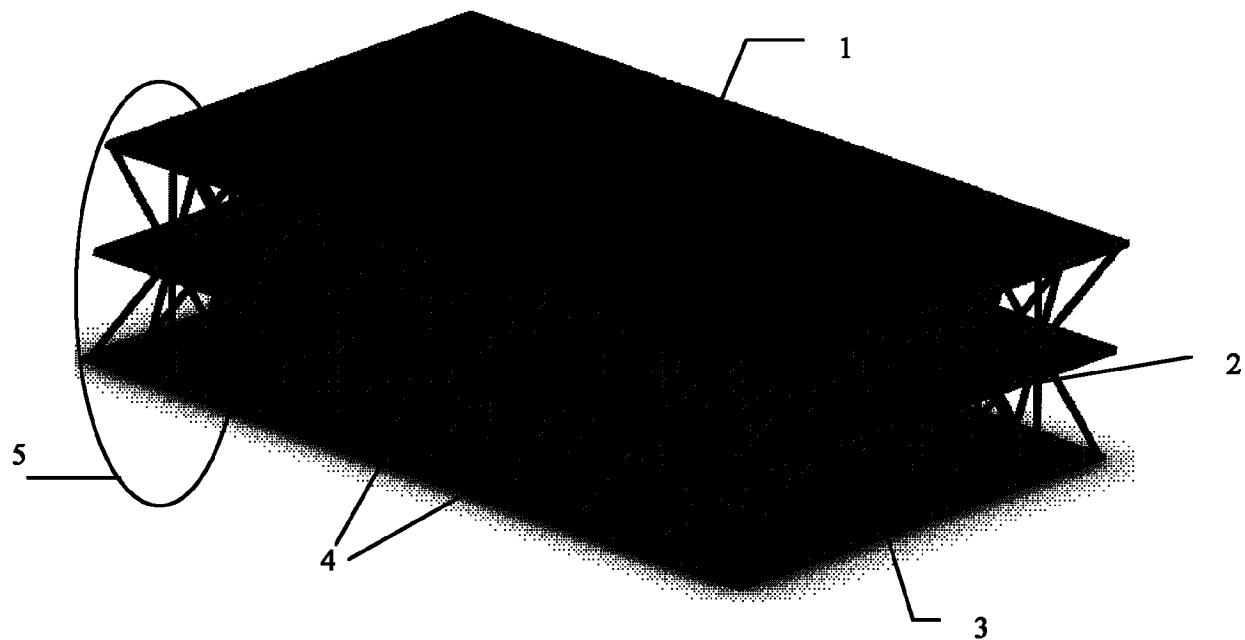


图 1

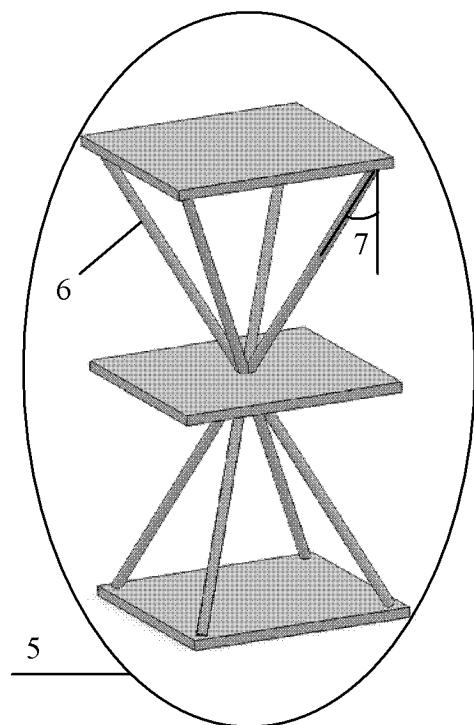


图 2

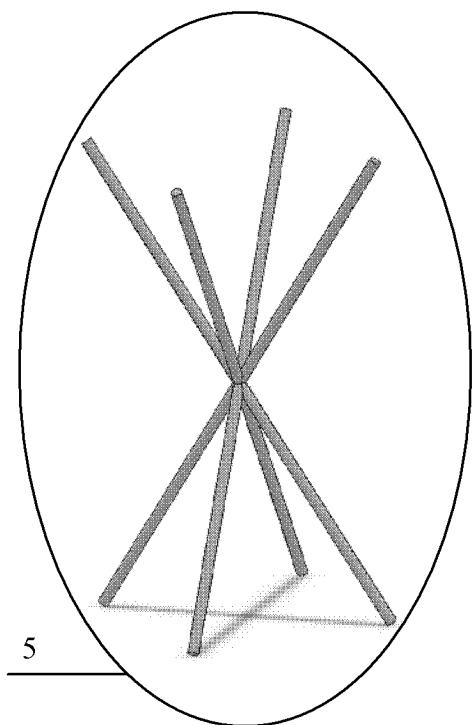


图 3

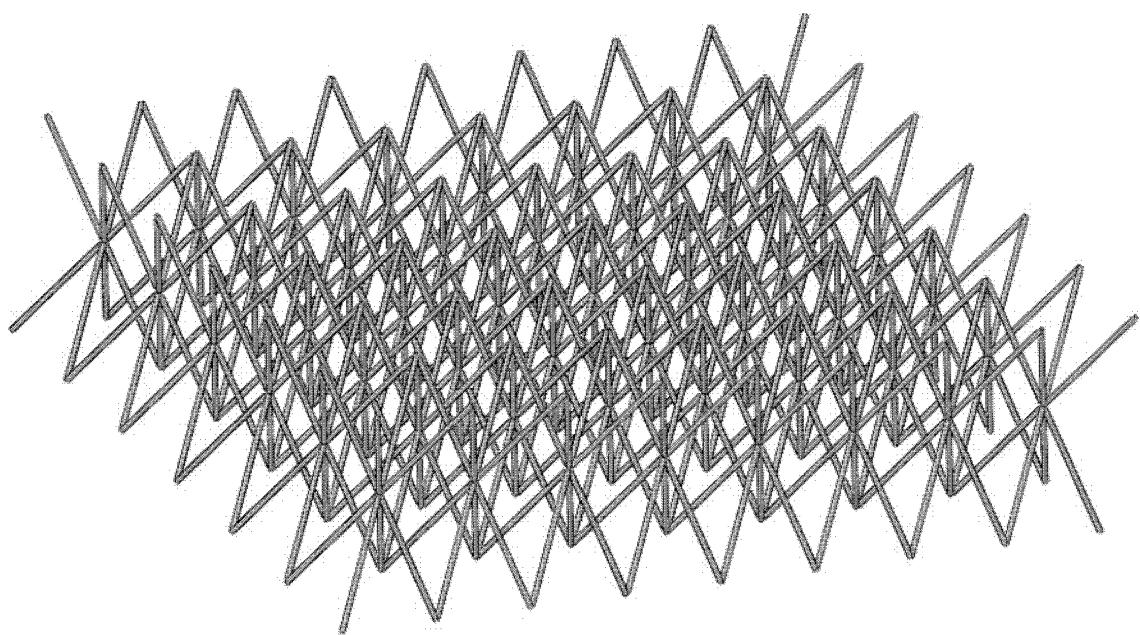


图 4

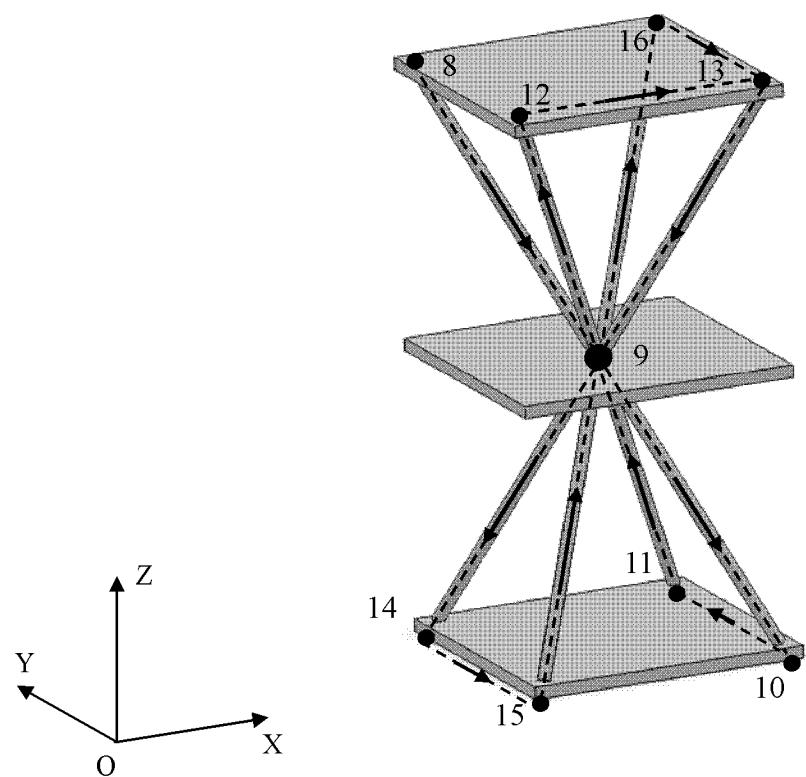


图 5