



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113733595 B

(45) 授权公告日 2022.06.14

(21) 申请号 202111006834.X

(22) 申请日 2021.08.30

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113733595 A

(43) 申请公布日 2021.12.03

(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 马东立 杨小鹏 李新军 张良  
余亚鋆 姚远 杨穆清

(74) 专利代理机构 北京永创新实专利事务所  
11121  
专利代理师 周长琪

(51) Int. Cl.  
B29C 70/34 (2006.01)  
B29L 31/30 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 101214853 A, 2008.07.09
- CN 102424107 A, 2012.04.25
- CN 107571985 A, 2018.01.12
- CN 209191346 U, 2019.08.02
- US 10577076 B1, 2020.03.03
- US 2016009365 A1, 2016.01.14

审查员 李双江

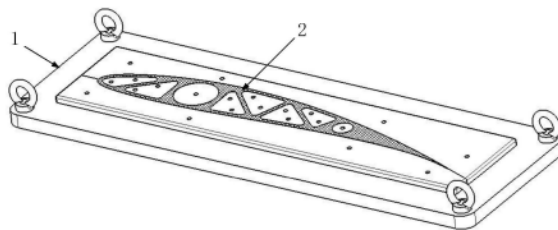
权利要求书1页 说明书5页 附图7页

## (54) 发明名称

一种全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋加工方法

## (57) 摘要

本发明公开了一种全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋加工方法,内部采用PMI泡沫作为夹芯材料,外表面采用碳纤维编制布全包裹形成复合材料壳体,翼肋上表面有凹槽用于布置太阳能电池板。本发明采用阴模加真空袋抽真空固化成型,翼肋模具包含下模具、上模具以及镶嵌块,固化前对PMI泡沫的每一个裸露面敷上碳纤维编制布,并在碳纤维编织布搭接处内埋一束碳丝以保证碳纤维铺层的连续性和搭接强度,从而得到全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋。通过本发明加工方法所得到的翼肋重量轻,弦长为275mm的单个翼肋重量为14.9g,平均密度为114.2kg/m<sup>3</sup>;强度高,在10倍气动力载荷下未出现分层、断裂现象;刚度大,在10倍气动力载荷下翼肋最大变形为0.3cm。



1. 一种全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋加工方法,其特征在于:具体步骤如下:

步骤一:制作待加工翼肋的轮廓,包括外轮廓以及六个三角形减轻孔和两个用于与机翼前后圆梁装配的圆孔;

步骤二:通过碳纤维编织布包裹待加工翼肋;碳纤维编制布的包裹方法为:

a、包裹待加工翼肋上下表面肋条

在待加工翼肋上下表面肋条一侧侧面上铺设一张矩形长条的碳纤维编织布,并将碳纤维编织布围绕上下表面肋条周向包裹肋条,在肋条棱边处翻折,实现待加工翼肋上下表面肋条周向三个侧面的包裹;在待加工翼肋上下表面肋条与各斜肋及圆孔交界位置将多余的碳纤维编织布裁去;最后,在上下表面肋条的剩余侧面两侧棱边处将碳纤维编织布相对两侧对折,并使碳纤维编织布相对两侧边缘在待加工翼肋剩余侧面上相接;

b、包裹待加工翼肋中各斜肋

各斜肋的包裹方式与步骤a中待加工翼肋上下表面肋条包裹方式相同,先在斜肋一个侧面铺设碳纤维布,随后包裹斜肋的三个侧面后,在剩余侧面两侧棱边处将碳纤维编织布相对两侧对折,并使碳纤维编织布相对两侧边缘在斜肋剩余侧面上相接;

c、包裹各个圆孔孔壁

圆孔处长条碳纤维编织布沿圆孔内壁铺设,并在圆孔两侧圆弧棱边位置与待加工翼肋上下表面肋条包裹的碳纤维编制布相接,相接位置等间隔埋设碳丝,增加碳纤维连续性,增大翼肋整体强度;

d、包裹圆孔与同其相邻三角孔间部分

通过碳纤维编织布将圆孔与同其相邻三角形孔间周向三个侧壁进行包裹并在圆孔的圆弧棱边处裁剪多余碳纤维编织布,使圆孔与同其相邻三角孔间部分的碳纤维编织布与待加工翼肋上下表面肋条及圆孔处的碳纤维编织布相接;

上述在碳纤维编制布相接位置等间隔埋设碳丝,使所包裹的碳纤维编织布铺层连续;

步骤三:将步骤二中经碳纤维编织布包裹后的待加工翼肋放置在下模具上;

步骤四:将上模具A与上模具B沿水平方向合模,使整个待加工翼肋位于由上模具A与上模具B构成的待加工翼肋的外轮廓内,并通过销钉固定上模具A与下模具B;

步骤五:在待加工翼肋的各个减轻孔与圆孔内安装镶嵌块,并通过销钉固定;

步骤六:在上模具上表面覆盖真空袋,并将真空袋周向通过密封胶条固定在下模具上,随后抽真空、加热固化;

步骤七:脱模

脱模时先将上模具A和上模具B、各个镶嵌块与下模具间的连接销钉取下,随后沿水平方向向两侧移动上模具A与上模具B,沿竖直方向取下各个镶嵌块,使上模具A、上模具B和镶嵌块脱离加工完成的翼肋。

2. 如权利要求1所述一种全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋加工方法,其特征在于:步骤一中待加工翼肋上表面具有太阳能板设置槽。

3. 如权利要求1所述一种全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋加工方法,其特征在于:碳纤维编织布采用外部面密度为 $110\text{g}/\text{m}^2$ ,厚度为 $0.1\text{mm}$ 的T300型1k预浸环氧树脂的碳纤维编织布。

## 一种全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋加工方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于飞行器设计领域,涉及一种全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋加工方法,具体来说是一种加工得到强度刚度高、质量轻、且各表面均覆盖有连续碳纤维的新型复合材料泡沫夹芯翼肋的方法。

### 背景技术

[0002] 绝大多数飞机都会使用翼肋来支撑蒙皮以及传递气动力,对于临近空间太阳能无人机而言,为了尽可能减轻结构重量,通常采用复合材料作为翼肋材料。现有层合板式翼肋加工方法得到的纯碳纤维翼肋,厚度大、重量大,会导致太阳能无人机严重超重;现有夹芯层板式翼肋加工方法得到的复合材料泡沫夹芯翼肋,仅在翼肋的两个侧面包裹有碳纤维,局部泡沫外露,强度低、刚度差,受到较大气动力时容易出现脱胶、分层,会导致太阳能无人机在大过载下结构失效。因此,对于太阳能无人机而言,需要寻求一种新的翼肋加工方法,以得到更加轻质高效的翼肋结构。

### 发明内容

[0003] 为解决现有复合材料翼肋加工方法的不足,本发明提出一种用于太阳能无人机的新型全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋加工方法,相比于现有加工方法,应用用本发明所得到的翼肋在同等重量下可以承受更大的载荷。

[0004] 本发明提出一种全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋的加工方法,采用阴模加真空袋抽真空固化成型,翼肋模具包含下模具、上模具以及镶嵌块,固化前对PMI泡沫的每一个裸露面敷上碳纤维编制布,并在碳纤维编织布搭接处内埋一束碳丝以保证碳纤维铺层的连续性,从而得到全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋。

[0005] 所述全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋包括内部PMI泡沫夹芯材料和外部碳纤维编制布全包裹壳体,翼肋的每一根肋条四周都由连续的碳纤维编制布包裹而成,可以大幅度提升翼肋整体强度与刚度。

[0006] 所述全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋侧面开有三角形减轻孔,形成桁架式支柱,用来传递气动力;开有前后两个圆形孔,用来配合机翼前后圆梁;上表面有凹槽用于布置太阳能电池板。

[0007] 加工过程中,用碳纤维编制布包裹PMI泡沫每一根肋条的四周,并在碳纤维编织布交界处搭接,在搭接处内埋一束碳纤维丝以保证碳纤维铺层连续性以及搭接强度。包裹后的翼肋整体放入翼肋模具,覆盖真空袋抽真空固化。

[0008] 所述翼肋模具包括下模具,上模具以及镶嵌块。

[0009] 所述上模具分为两块,翼肋脱模时将两块上模具沿水平相反的方向平移,便于脱模。上模具和镶嵌块通过销钉固定在下模具上。

[0010] 本发明的创新点和优点在于:

[0011] 1、本发明全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋加工方法,用碳纤维编织布全包裹内部

PMI泡沫,形成壳体结构,无泡沫外露,使得翼肋相比于现有的夹芯层板式复合材料泡沫夹芯翼肋有更大的强度和刚度,在受到复杂气动力时不易出现分层与脱胶。

[0012] 2、本发明全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋加工方法,在保证碳纤维编织布全包裹内部PMI泡沫的同时,在碳纤维编织布交界处内埋一束宽度为2mm的碳丝,并在这束碳丝上搭接。这种搭接方式使翼肋碳纤维层连续,搭接处外表面光滑,加工出来的全包裹复合材料泡沫夹芯翼肋强度高、重量轻。

[0013] 3、本发明全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋加工方法,可广泛应用于太阳能无人机的翼肋结构加工,对于太阳能无人机降低结构重量、增大结构强度刚度具有重要意义。

### 附图说明

[0014] 图1为本发明全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋加工方法中应用的翼肋模具与待加工翼肋整体组装结构示意图。

[0015] 图2为翼肋模具结构示意图。

[0016] 图3为待加工翼肋示意图。

[0017] 图4为待加工翼肋的上下表面肋条包裹碳纤维编织布方法示意图。

[0018] 图5为待加工翼肋的斜肋包裹碳纤维编织布方法示意图。

[0019] 图6为图3中截面A局部剖视图。

[0020] 图7为待加工翼肋的圆孔处包裹碳纤维编织布方法示意图。

[0021] 图8为图7中截面B局部剖视图。

[0022] 图9为待加工翼肋中所相邻的圆孔与三角间部分包裹碳纤维编织布方法示意图。

[0023] 图10为待加工翼肋加工过程中合模与脱模方式示意图。

[0024] 图11为本发明加工方法加工后的翼肋在某型高空长航时太阳能无人机中的应用示意图。

[0025] 图12为在2倍气动力载荷下现有方法所加工的翼肋局部位移云图。

[0026] 图13为在2倍气动力载荷下本发明方法所加工的翼肋局部位移云图。

[0027] 图14为在10倍气动力载荷下现有方法所加工的翼肋局部位移云图。

[0028] 图15为在10倍气动力载荷下本发明方法所加工的翼肋局部位移云图。

[0029] 图16为在2倍与10倍气动力载荷下本发明方法与现有方法加工的翼肋上表面局部位移分布对比图。

[0030] 1-翼肋模具            2-待加工翼肋            3-碳纤维编织布            4-碳丝

[0031] 5-太阳能电池板    101-下模具            102-上模具            103-镶嵌块

[0032] 104-吊环螺丝

### 具体实施方式

[0033] 下面结合附图对本发明作进一步说明。

[0034] 本发明全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋加工方法,包括翼肋模具1与待加工翼肋2,如图1所示。

[0035] 所述翼肋模具1为45#钢制作的金属制品,包括下模具101、上模具102、镶嵌块103与吊环螺丝104。

[0036] 其中,下模具101为20mm厚的矩形板,其上表面四角位置打有直径10mm的螺纹孔,用来与吊环螺丝104螺纹连接固定;通过吊环螺丝104以实现模具的搬运。下模具上还打有22个直径为6mm的光孔,分别用来与上模具101以及各个镶嵌块103上的通孔配合,进一步通过定位销实现上模具102与各个镶嵌块103在下模具101上的固定;且光孔为孔深10mm的盲孔,防止抽真空固化时孔隙漏气。

[0037] 所述上模具102包括上模具A与上模具B。其中,上模具A与上模具B前后侧部齐平设置,相对一侧分别设计有凹进部分;上模具A的凹进部分形状与待加工翼肋2上表面轮廓线相同,且凹进中部为一段弧面高于其余部分弧面的凸起段102a。上模具B的凹进部分形状与待加工翼肋2下表面轮廓线相同,由此,使上模具A与上模具B的凹进部分间形成整体待加工翼肋2的外轮廓。上述上模具A与上模具B上沿翼肋展向分别开有4个通孔,共8个通孔,分别与下模具101上的8个通孔一一对应,通过定位销穿过对应的通孔后,实现上模具A与上模具B在下模具101上的固定。

[0038] 所述镶嵌块103包括6个三角形镶嵌块与2个圆形镶嵌块,均设置在下模具上表面,且位于前述上模具A与上模具B凹进部分间形成的待加工翼肋2的外轮廓内。各个镶嵌块103与待加工翼肋2的外轮廓间、以及相邻镶嵌块103间具有间隙,形成桁架结构的待加工翼肋2整体轮廓。其中三角形镶嵌块对应待加工翼肋2的减轻孔;圆形镶嵌块对应机翼前后圆梁的装配孔位。各个三角形镶嵌块上均开有两个通孔,共12个通孔,分别与下模具101上的12个通孔对应,通过定位销穿过对应的通孔后,实现三角形镶嵌块在下模具101上的固定。两个圆形镶嵌块中心开有一个通孔,分别与下模具101上剩余两个通孔对应,通过定位销穿过对应的通孔后,实现圆形镶嵌块在下模具101上的固定。

[0039] 令上述6个三角形镶嵌块由前至后分别为第1~第6三角形镶嵌块,2个圆形镶嵌块分别为大直径圆形镶嵌块与小直径圆形镶嵌块。则在待加工翼肋的外廓内部由前至后依次为第1三角形镶嵌块、第2三角形镶嵌块、大直径圆形镶嵌块、第3三角形镶嵌块、第4三角形镶嵌块、第5三角形镶嵌块、第6三角形镶嵌块与小直径圆形镶嵌块。各三角形镶嵌块的具体设置方式如下:

[0040] 第1三角形镶嵌块前端外轮廓与待加工翼肋2的外轮廓前端匹配,后部为向后倾斜的斜面A。

[0041] 第2三角形镶嵌块前部为与斜面A平行的斜面B,斜面B与斜面A间的缝隙宽度设计为6mm,作为待加工翼肋2的前部斜肋,与待加工翼肋2的外轮廓横截面间具有40度夹角;第2三角形镶嵌块后部为垂直于待加工翼肋2的外轮廓横截面的平面,该平面与大直径圆形镶嵌块前侧垂直于待加工翼肋2的外轮廓横截面的切面间距设计为6mm。

[0042] 第3三角形镶嵌块前部平面与第2三角形镶嵌块后部平面平行,且与大直径圆后侧垂直于待加工翼肋2的外轮廓横截面的切面间距设计为6mm;第3三角形镶嵌块后部为向前倾斜的斜面C。

[0043] 第4三角形镶嵌块前部为与斜面C平行的斜面D;斜面D与斜面C间的缝隙宽度设计为6mm,作为待加工翼肋2的后部第一斜肋,与待加工翼肋2的外轮廓横截面间具有40度夹角;第4三角形镶嵌块后部为向后倾斜的斜面E。

[0044] 第5三角形镶嵌块前部为与斜面E平行的斜面F;斜面F与斜面E间的缝隙设计为6mm,作为后部第二斜肋,与待加工翼肋2的外轮廓横截面间具有70度夹角。第5三角形镶嵌

块后部为向前倾斜的斜面G。

[0045] 第6三角形镶嵌块前部为与斜面G平行的斜面H,斜面H与斜面G间的缝隙宽度为6mm,作为后部第三斜肋,与待加工翼肋2的外轮廓横截面间具有40度夹角。第6三角形镶嵌块后部为向后倾斜的斜面I,斜面I与小直径圆形镶嵌块前侧平行于斜面I的平面间距设计为6mm。

[0046] 由此通过各个镶嵌块与上模具共同构成了整个待加工翼肋结构,随后通过下述方法生成翼肋,具体步骤如下:

[0047] 步骤1:将一块厚度为10mm,密度为 $50\text{kg}/\text{m}^3$ 的PMI泡沫板雕刻成待加工翼肋的轮廓,包括外轮廓、6个三角形减轻孔和2个用于与机翼前后圆梁装配的圆孔。其中各个三角形孔与圆形孔的位置与形状分别对应前述模具中的各个三角形镶嵌块与圆形镶嵌块。翼肋上表面具有深度为0.5mm的太阳能板设置槽;太阳能板设置槽的深度以及前后端位置分别对应前述上模具A中的凸起段,使两者形状匹配,如图3所示。

[0048] 步骤2:通过外部面密度为 $110\text{g}/\text{m}^2$ ,厚度为0.1mm的T300型1k预浸环氧树脂的碳纤维编织布3包裹步骤1中待加工翼肋2外表面,包裹方法如下:

[0049] a、包裹待加工翼肋2上下表面肋条

[0050] 在待加工翼肋2上下表面肋条一侧侧面上铺设一张矩形长条的碳纤维编织布3,并将碳纤维编织布3围绕上下表面肋条周向包裹肋条,在肋条棱边处翻折,实现待加工翼肋2上下表面肋条周向三个侧面的包裹。在待加工翼肋2上下表面肋条与各斜肋及圆孔交界位置将多余的碳纤维编织布3裁去。此时待加工翼肋2上下表面肋条有3个面覆盖有碳纤维编织布。最后,在上下表面肋条104的剩余侧面两侧棱边处将碳纤维编织布相对两侧对折,如图4所示,并使碳纤维编织布3相对两侧边缘在待加工翼肋2剩余侧面上相接,以确保待加工翼肋2全包裹,没有PMI泡沫外露,如图4所示。

[0051] b、包裹待加工翼肋2中各斜肋

[0052] 各斜肋的包裹方式与步骤a中待加工翼肋2上下表面肋条包裹方式相同,先在斜肋一个侧面铺设碳纤维布,随后包裹斜肋的三个侧面后,在的剩余侧面两侧棱边处将碳纤维编织布相对两侧对折,如图5所示,并使碳纤维编织布3相对两侧边缘在斜肋剩余侧面上相接,以确保待加工翼肋2全包裹,没有PMI泡沫外露。

[0053] 上述待加工翼肋2中斜肋与翼肋上下表面肋条包裹时,还在碳纤维编制布相接位置等间隔埋设碳丝4,使所包裹的碳纤维编织布3铺层连续,如图6所示。

[0054] c、包裹各个圆孔孔壁

[0055] 圆孔处长条碳纤维编织布3沿圆孔内壁铺设,如图7所示,并在圆孔两侧圆弧棱边位置与待加工翼肋2上下表面肋条包裹的碳纤维编制布相接,相接位置等间隔埋设碳丝4,增加碳纤维连续性,增大翼肋整体强度,如图8所示。

[0056] d、包裹圆孔与同其相邻三角孔间部分

[0057] 通过碳纤维编织布3将圆孔与同其相邻三角形孔间周向三个侧壁进行包括并在圆孔的圆弧棱边处裁剪多余碳纤维编织布3,使圆孔与同其相邻三角孔间部分的碳纤维编织布3与待加工翼肋2上下表面肋条及圆孔处的碳纤维编织布3相接,如图9所示,同样相接位置处等间隔埋设碳丝4,使所包裹的碳纤维编织布3铺层连续。

[0058] 步骤三:将步骤二中经碳纤维编织布3包裹后的待加工翼肋2放置在下模具101上。

[0059] 步骤四:将上模具A与上模具B沿水平方向合模,如图10所示,使整个待加工翼肋2位于由上模具A与上模具B构成的待加工翼肋2的外轮廓内,并通过销钉固定上模具A与下模具B。

[0060] 步骤五:将三角形镶嵌块与圆形镶嵌块沿竖直方向合模,分别安装于待加工翼肋2上对应的三角形与圆形孔内,并通过销钉固定,如图10所示。

[0061] 步骤六:在上模具102上表面覆盖真空袋,并将真空袋周向通过密封胶条固定在下模具101上,随后抽真空、加热到80度固化24小时。

[0062] 步骤七:脱模

[0063] 如图10所示,脱模时先将上模具A和上模具B、各个镶嵌块103与下模具间的连接销钉取下,随后沿水平方向向两侧移动上模具A与上模具B,进一步沿竖直方向取下各个镶嵌块103,使上模具A、上模具B和镶嵌块103脱离加工完成的翼肋;然后再取下翼肋,可以保护翼肋在脱模时不受损伤。

[0064] 脱模后的翼肋为全包裹式复合材料泡沫夹芯翼肋,含有上下表面肋条、斜肋以及圆孔这三种特征,通过上述加工方法加工得到的翼肋在某型高空长航时太阳能无人机中的应用如图11所示。图11中为了清晰展示各部件的配合关系,将太阳能电池板5以透明状薄膜进行展示。两个圆孔分别与机翼主梁、机翼后梁配合,翼肋上表面凹槽101与太阳能电池板5配合。

[0065] 如图12~图15所示,通过数值仿真对比可知,在2倍以及10倍气动力载荷下,现有方法所加工的翼肋最大位移是本发明方法的4倍以上。如图16所示,绘制翼肋上表面局部位移曲线,可见本发明方法所加工的翼肋在10倍气动力载荷下的局部位移与现有方法在2倍气动力载荷下的局部位移接近。由此可见,本发明所加工的翼肋相比于现有的夹芯层板式复合材料泡沫夹芯翼肋有更大的强度和刚度,对于提高无人机结构强度有重要意义。

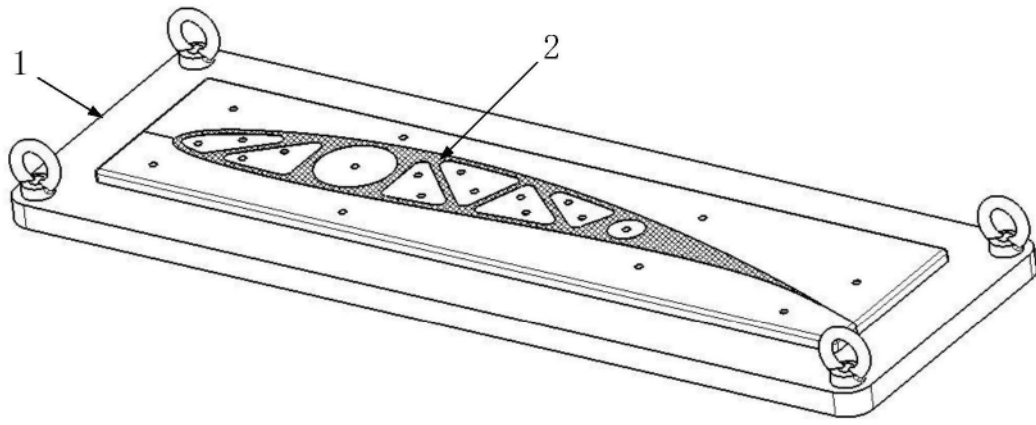


图1

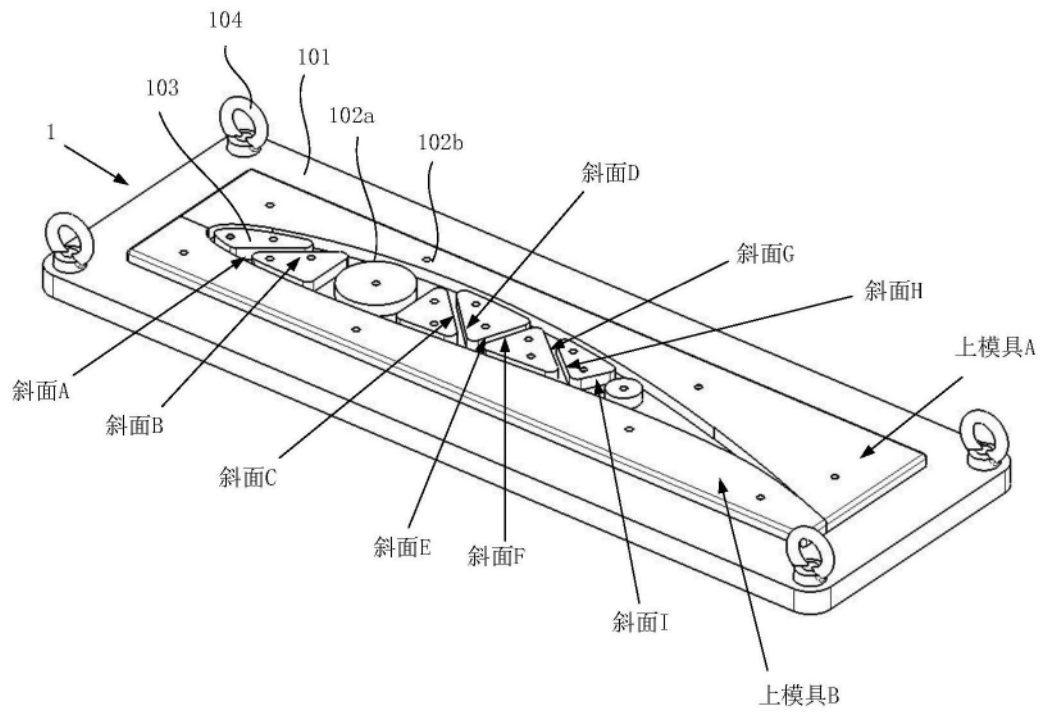


图2

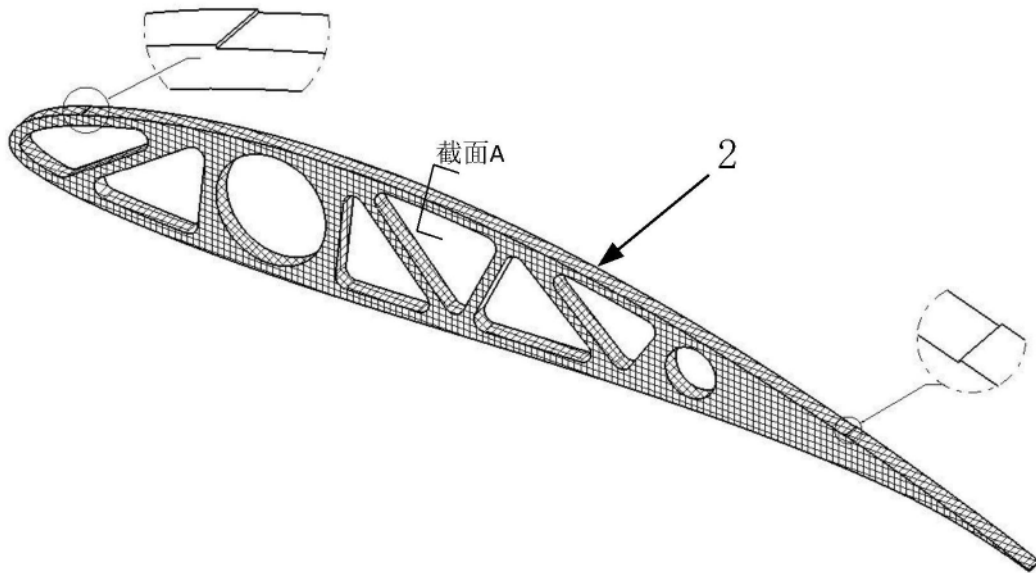


图3

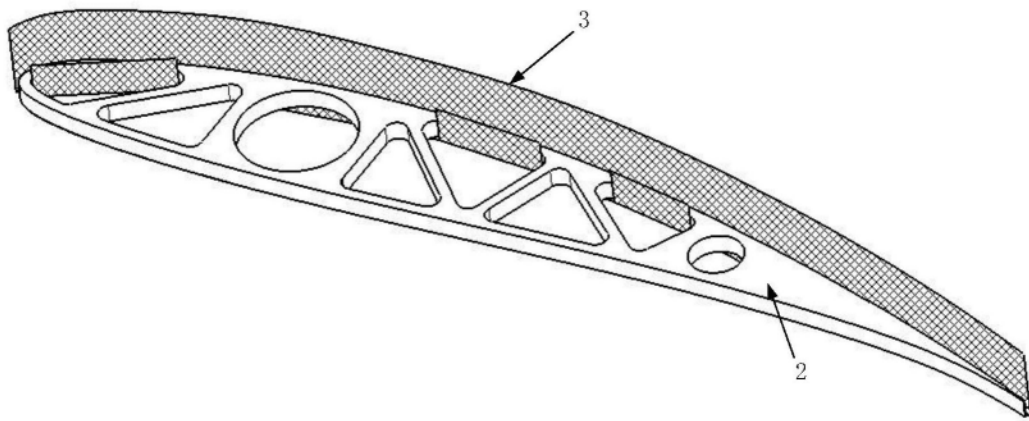


图4

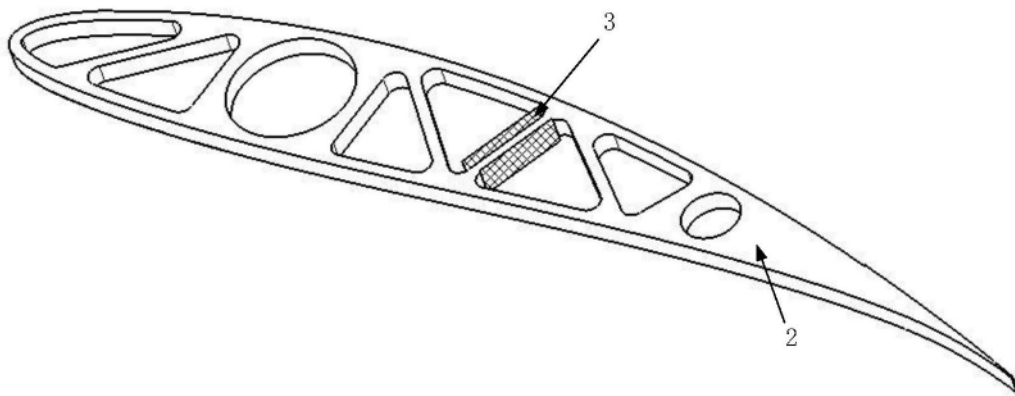


图5

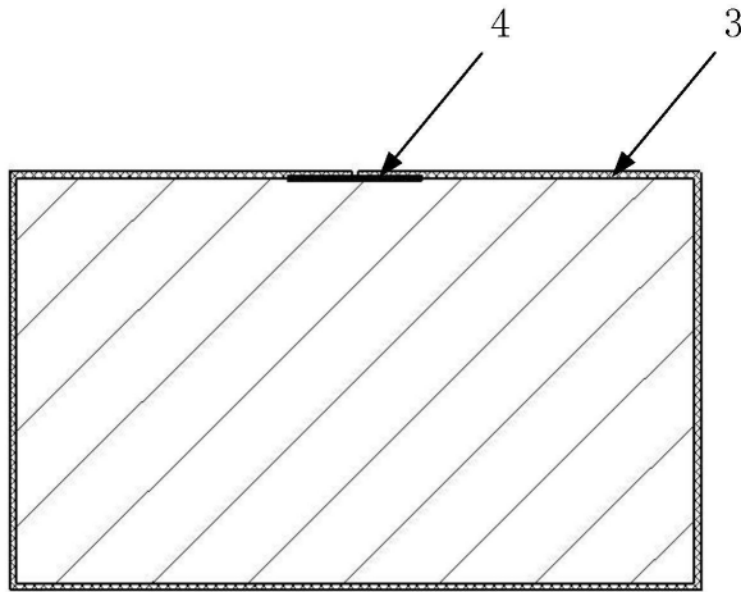


图6

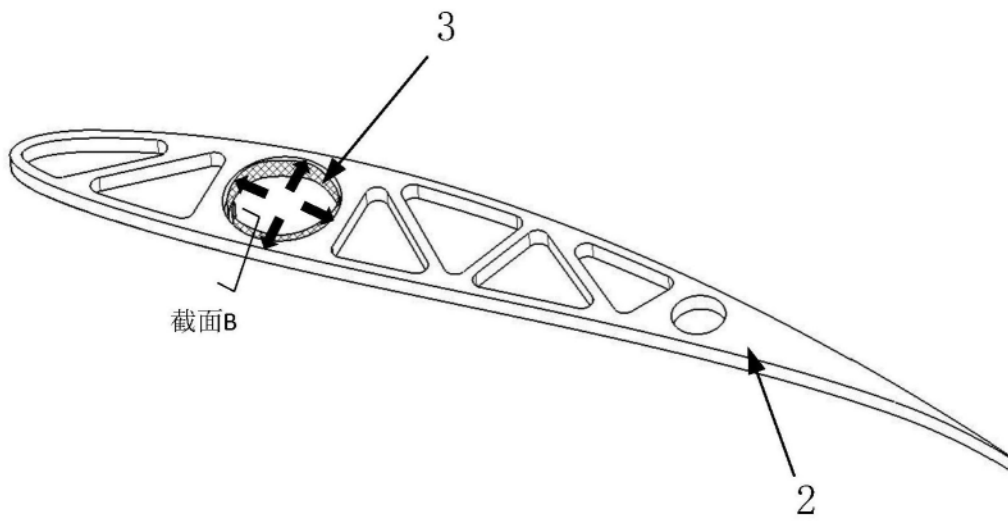


图7

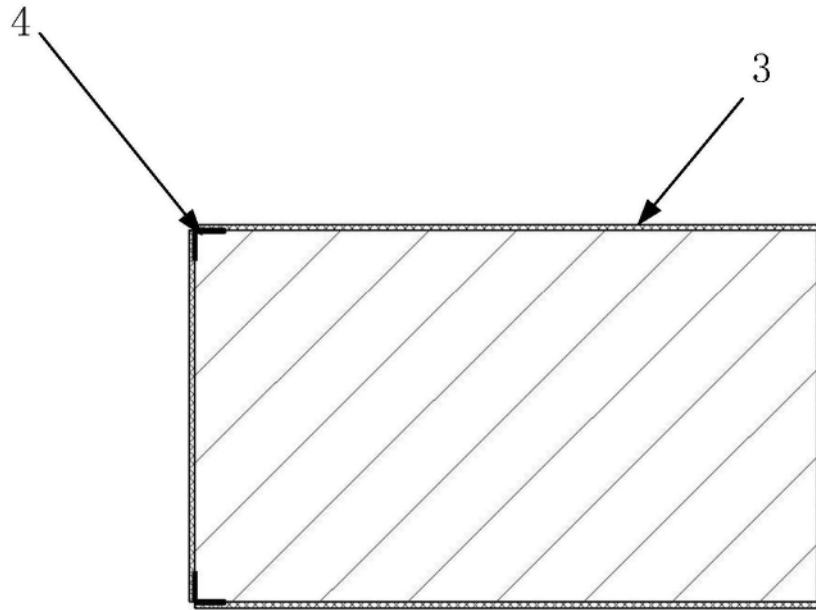


图8

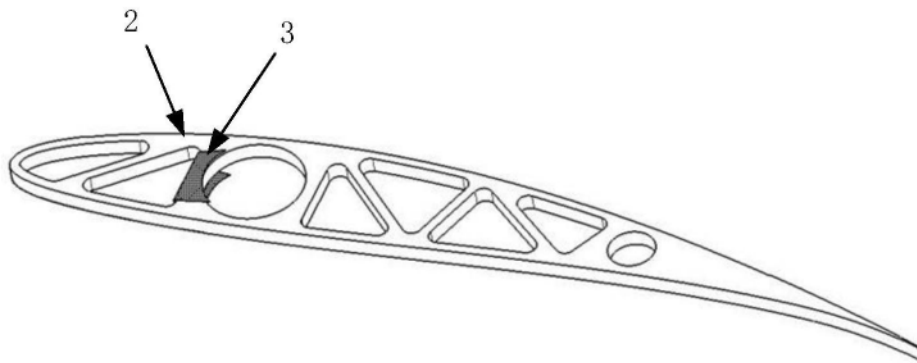


图9

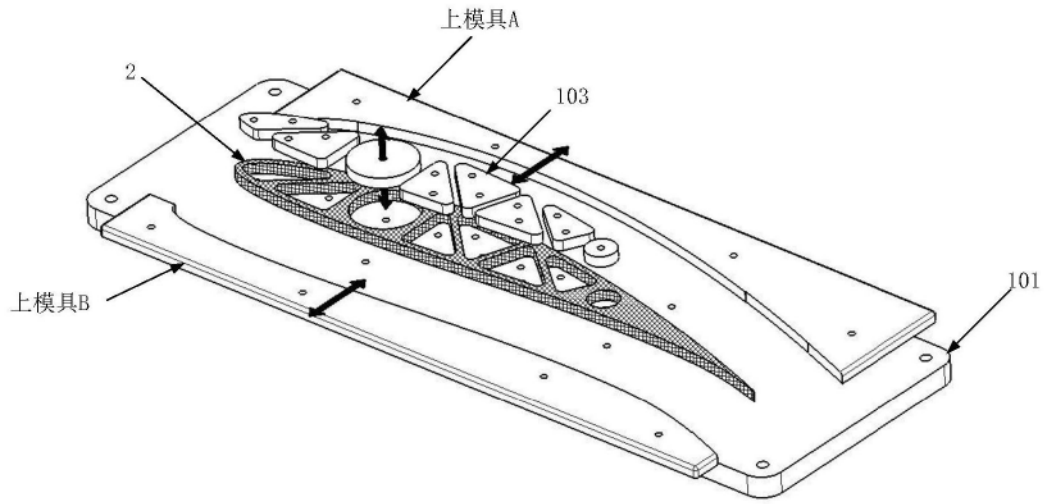


图10

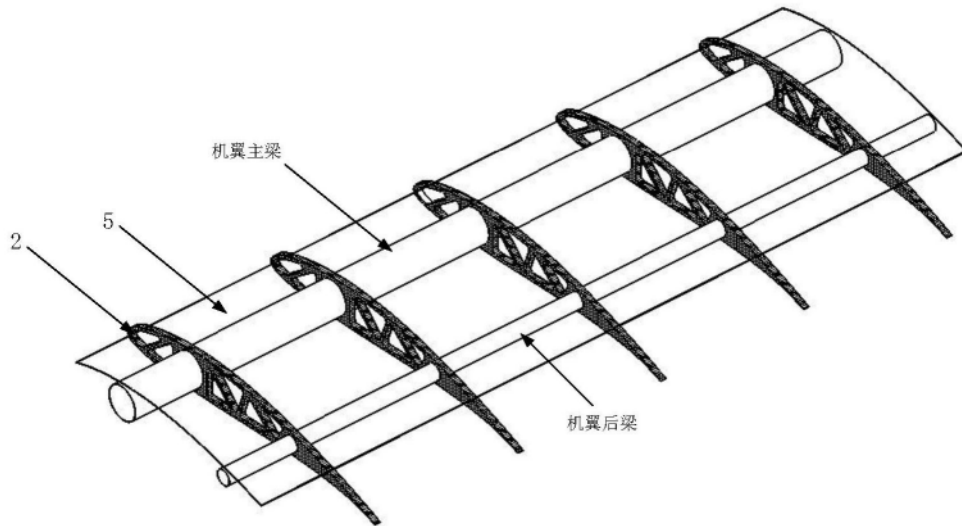


图11

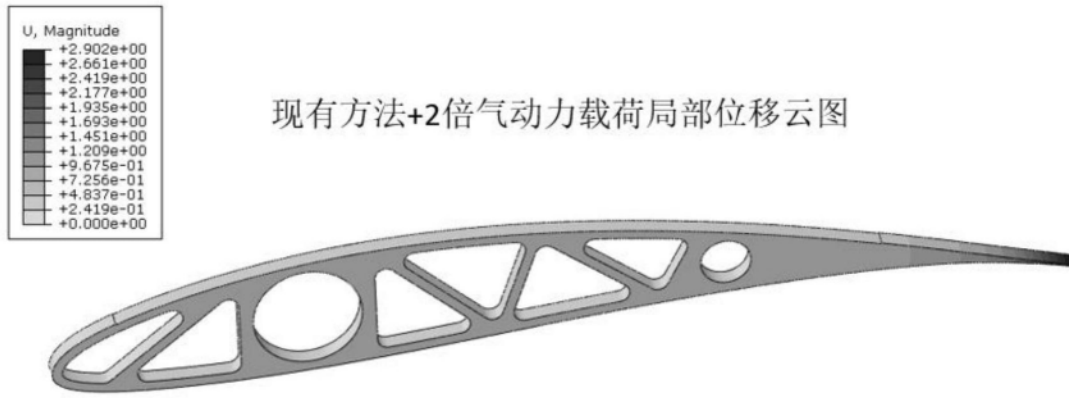


图12

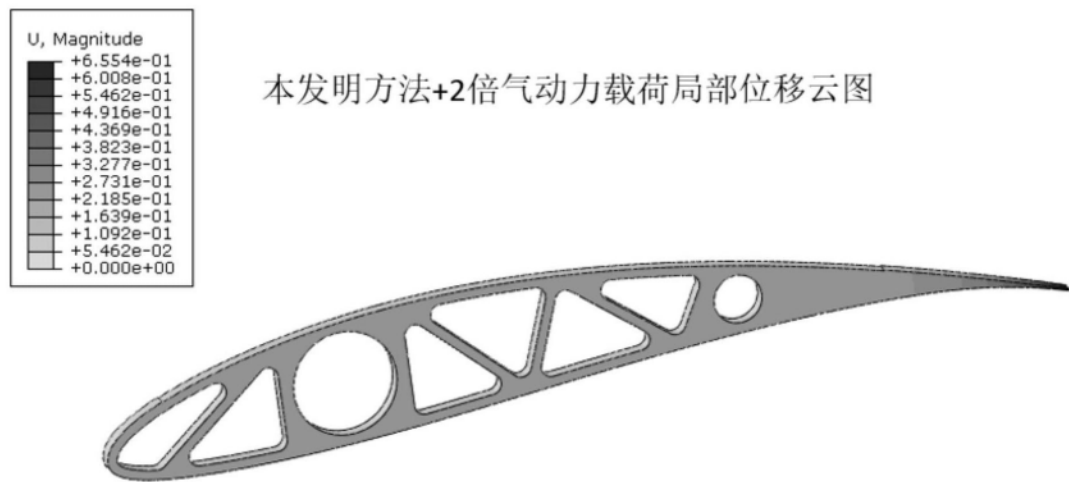


图13

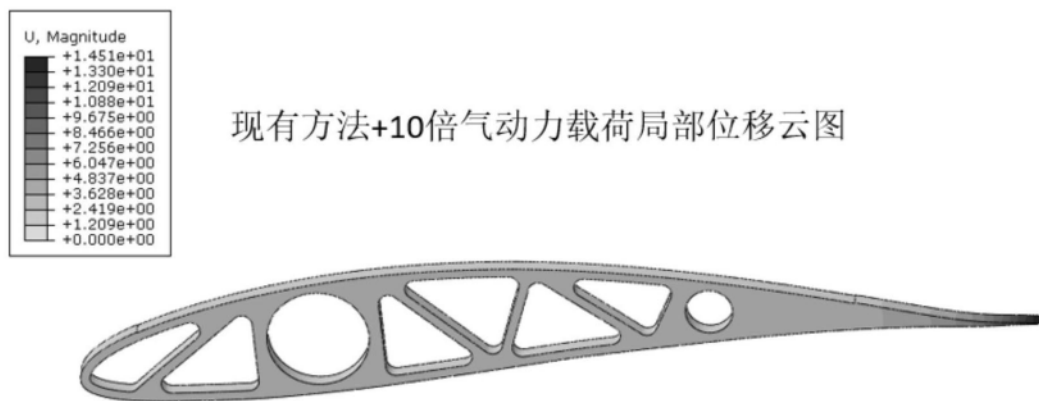


图14

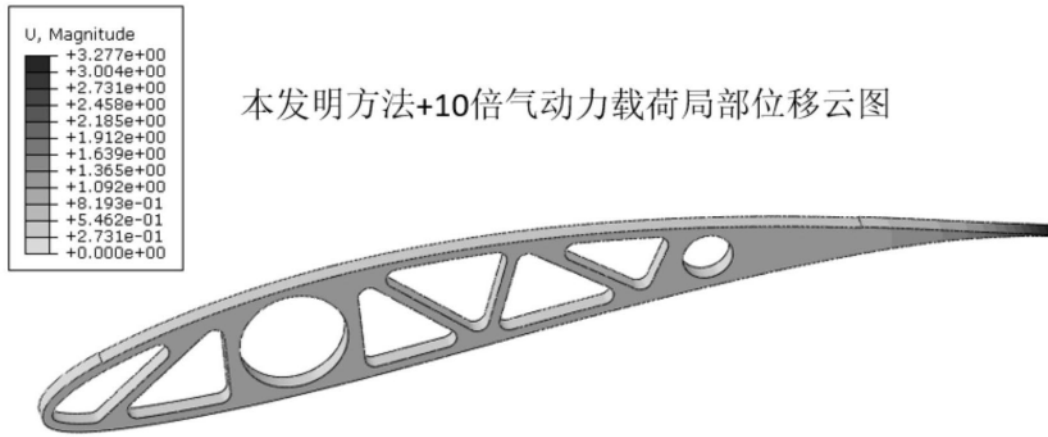


图15

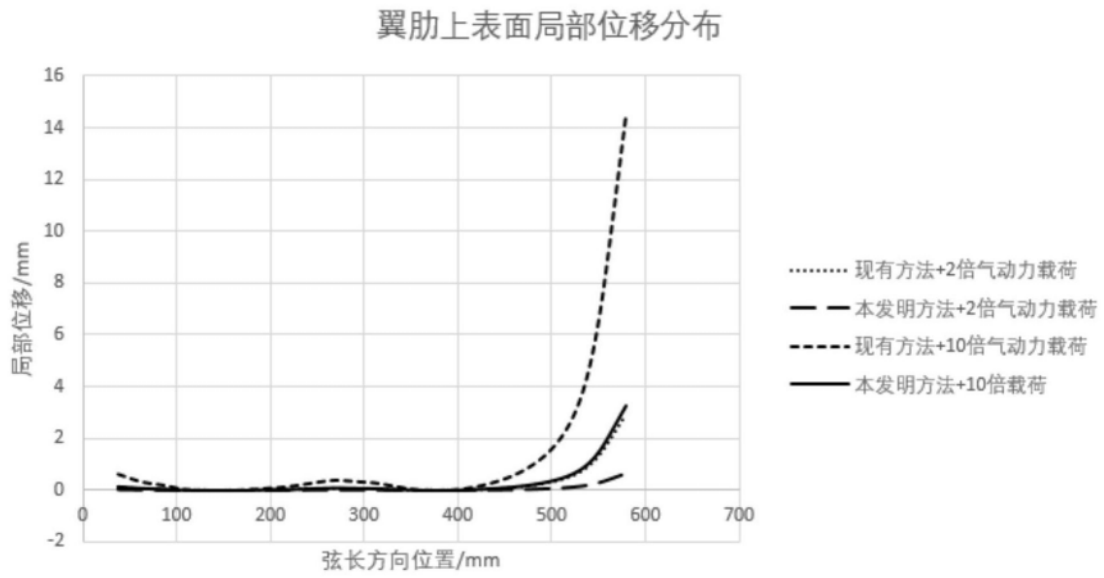


图16