



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 119222011 B

(45) 授权公告日 2025. 02. 18

(21) 申请号 202411766976.X

(22) 申请日 2024.12.04

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 119222011 A

(43) 申请公布日 2024.12.31

(73) 专利权人 西北工业大学

地址 710068 陕西省西安市友谊西路127号

(72) 发明人 张超 胡睿奇 赵振强 曹俊超

邓言

(74) 专利代理机构 西安正华恒远知识产权代理

事务所(普通合伙) 61271

专利代理师 朱欣

(51) Int. Cl.

F01D 25/24 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 103328192 A, 2013.09.25

CN 111898295 A, 2020.11.06

审查员 牛泽伟

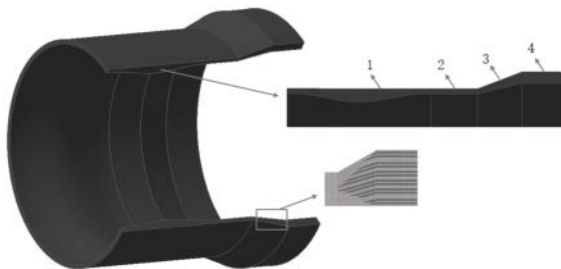
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种复合材料多维变刚度机匣结构

(57) 摘要

本发明公开了一种复合材料多维变刚度机匣结构,涉及航空发动机领域。所述机匣结构具有面内、面外变刚度的多维变刚度特性;面内变刚度,复合材料纤维铺设角度呈连续曲线形式变化,且连续曲线纤维缠绕时,纤维具有张拉应力为机匣包容区域结构提供预应力;面外变刚度,由两种及以上材料交替铺层实现复合材料沿厚度方向的刚度变化,且层内纤维铺设角度呈交替变化,铺层数量、铺层厚度和纤维疏密程度可调节以达到力学性能最佳。本发明通过对机匣结构各区域的变刚度特性依据数值仿真和实验测试结果进行优化,在保证结构强度安全性和轻量化目标的前提下实现多维变刚度和局部强度的精细调控,解决了传统金属发动机机匣结构刚度强度和减重空间不足的问题。



1. 一种复合材料多维变刚度机匣结构,其特征在于,包括依次连接的包容区域(1)、发动机部件安装区域(2)、机匣结构过渡区域(3)和机匣安装边区域(4);

所述包容区域(1)、发动机部件安装区域(2)、机匣结构过渡区域(3)和机匣安装边区域(4)均具有多维变刚度特性;

所述多维变刚度特性体现在:面内变刚度和面外变刚度以及在变厚度区域同时采用面内、面外变刚度;

所述面内变刚度为连续曲线纤维变刚度,其复合材料纤维铺设角度在面内呈连续曲线形式变化,纤维缠绕方向依据结构的几何外形以实现刚度渐变,且连续曲线纤维缠绕时,纤维具有初始张力,为机匣包容区域(1)结构提供预应力,增强其工作强度;

所述面外变刚度为离散型变刚度,两种及以上材料交替铺层实现沿厚度方向的刚度变化,层间纤维铺设角度呈交替变化,铺层数量、铺层厚度和纤维疏密程度可调节;

所述的面内、面外变刚度结合的厚度渐变区域,其连续曲线变角度和离散直纤维铺层交替存在,此外可增加或减少预浸料改变体分含量以实现增加或减小厚度;

所述发动机部件安装区域(2)为等厚度区域,具有面内变刚度特性,通过连续曲线纤维铺层控制面内刚度分布特征,相邻层曲线纤维角度镜像反对称;

所述机匣结构过渡区域(3)厚度渐增,同时具有面内变刚度和面外变刚度两种特性,层内为连续曲线纤维缠绕或离散型直线纤维铺层,层间交替增加离散型直线纤维铺层,在不增加工艺复杂性前提下保证结构力学特性平缓过渡;

所述机匣安装边区域(4)轴向载荷高且结构壁厚大,具备面外变刚度特性,面内通过离散型直线纤维增强轴向刚度,层间增加铺层且相邻层间直线纤维角度为轴向对称交替排列。

2. 根据权利要求1所述的复合材料多维变刚度机匣结构,其特征在于,所述包容区域(1)中间厚两边薄,同时具有面内和面外变刚度特性,以最厚处为中心,向两边渐薄区域纤维缠绕角度逐渐变化,且层厚逐渐减小。

一种复合材料多维变刚度机匣结构

技术领域

[0001] 本发明涉及航空发动机技术领域,特别是涉及一种复合材料多维变刚度机匣结构。

背景技术

[0002] 目前飞机等大型机械设备机匣使用大量的金属材料制造,其存在的问题主要在于重量过大、制造成本高、耐腐蚀性能差等。全复合材料机匣由于其轻量化优势,已在国际上最新一代的大涵道比涡扇发动机上得到应用,极大地提升了发动机的性能和燃油效率,并成为了航空发动机先进性的重要体现,是我国亟待突破的关键技术之一。

[0003] 航空发动机机匣需要具备足够的强度来承受来自飞机飞行时的各种载荷和振动,以及高压气流的冲击。航空发动机机匣还需要具备足够的刚度以保持其形状和尺寸在各种工作条件下的稳定性。航空发动机机匣对油、气、液的密封性要求极高,确保机匣内的气流在高速飞行中不会泄漏,需要承载安装管路、APU(辅助动力装置)等附加组件和附加质量,同时也要防止外部的灰尘、水分等杂质进入机匣内部,从而影响发动机的正常工作。

[0004] 变刚度复合材料,通过对结构刚度分布的优化,可更好的提升工艺、力学性能与结构几何外型的匹配性,提升设计效率。通过融合自动铺丝和混杂纤维成型工艺,结合多尺度多层级思想,可同步达成面内和面外变刚度,实现“变刚度”,更大地发挥复合材料的轻量化优势,实现变刚度复合材料机匣的低成本制造,具有很大的应用潜力。

[0005] 传统航空发动机机匣采用的复材铺层角度相对固定,且壁厚均匀,限制了复合材料机匣包容性能的提升和减重潜力。

发明内容

[0006] 针对现有技术中的上述不足,本发明提供一种复合材料多维变刚度机匣结构,解决了传统金属机匣结构由于材料性能制约,导致刚度设计不灵活、强度和减重设计的提升空间不足等实际问题。

[0007] 为了达到上述发明目的,本发明采用的技术方案为:一种复合材料多维变刚度机匣结构,包括依次连接的包容区域、发动机部件安装区域、机匣结构过渡区域和机匣安装边区域;

[0008] 所述包容区域、发动机部件安装区域、机匣结构过渡区域和机匣安装边区域均具有多维变刚度特性;

[0009] 所述多维变刚度特性体现在:面内变刚度和面外变刚度以及在变厚度区域同时采用面内、面外变刚度;

[0010] 所述面内变刚度为连续曲线纤维变刚度,其复合材料纤维铺设角度在面内呈连续曲线形式变化,纤维缠绕方向依据结构的几何外形以实现刚度渐变,且连续曲线纤维缠绕时,纤维具有初始张力,为机匣包容区域结构提供预应力,增强其工作强度;

[0011] 所述面外变刚度为离散型变刚度,两种及以上材料交替铺层实现沿厚度方向的刚

度变化,层间纤维铺设角度呈交替变化,铺层数量、铺层厚度和纤维疏密程度可调节;

[0012] 所述的面内、面外变刚度结合的厚度渐变区域,其连续曲线变角度和离散直纤维铺层交替存在,此外可增加或减少预浸料改变体分含量以实现增加或减小厚度。

[0013] 进一步地,所述包容区域中间厚两边薄,同时具有面内和面外变刚度特性,以最厚处为中心,向两边渐薄区域纤维缠绕角度逐渐变化,且层厚逐渐减小。

[0014] 进一步地,所述发动机部件安装区域为等厚度区域,具有面内变刚度特性,通过连续曲线纤维铺层控制面内刚度分布特征,相邻层曲线纤维角度镜像反对称。

[0015] 进一步地,所述机匣结构过渡区域厚度渐增,同时具有面内变刚度和面外变刚度两种特性,层内为连续曲线纤维缠绕或离散型直线纤维铺层,层间交替增加离散型直线纤维铺层,在不增加工艺复杂性前提下保证结构力学特性平缓过渡。

[0016] 进一步地,所述机匣安装边区域轴向载荷高且结构壁厚大,具备面外变刚度特性,面内通过离散型直线纤维增强轴向刚度,层间增加铺层且相邻层间直线纤维角度为轴向对称交替排列。

[0017] 本发明的有益效果为:多维变刚度复合材料可根据结构的承载要求进行定制,通过对结构刚度分布的优化,可更好的提升工艺、力学性能与结构几何外型的匹配性,提升设计效率,从而更大限度的发挥复合材料的轻量化优势,提高复合材料机匣结构的包容性能效率,解决了传统复合材料机匣纤维角度固定、刚度强度和减重可提升空间不足的问题,具有很大的应用潜力。

附图说明

[0018] 图1为变刚度机匣结构示意图。

[0019] 图2为机匣区域示意图。

[0020] 图3为变刚度复合材料发动机机匣面内变刚度部分的铺层示意图。

[0021] 图4为变刚度复合材料发动机机匣面外变刚度方案部分的铺层示意图。

[0022] 图5为厚度变化部分示意图。

[0023] 图6为面内变刚度纤维圆柱展开示意图。

[0024] 其中:1、包容区域;2、发动机部件安装区域;3、机匣结构过渡区域;4、机匣安装边区域。

具体实施方式

[0025] 下面结合附图和具体实施例对本发明做进一步说明。

[0026] 如图1和图2所示,一种复合材料多维变刚度机匣结构,包括依次连接的包容区域1、发动机部件安装区域2、机匣结构过渡区域3和机匣安装边区域4;

[0027] 所述包容区域1、发动机部件安装区域2、机匣结构过渡区域3和机匣安装边区域4均具有多维变刚度特性;

[0028] 所述多维变刚度特性体现在:面内变刚度和面外变刚度以及在变厚度区域同时采用面内、面外变刚度;

[0029] 所述面内变刚度为连续曲线纤维变刚度,其复合材料纤维铺设角度在面内呈连续曲线形式变化,纤维缠绕方向依据结构的几何外形以实现刚度渐变,且连续曲线纤维缠绕

时,纤维具有初始张力,为机匣包容区域1结构提供预应力,增强其工作强度;

[0030] 如图3所示,面内变刚度铺层中,单层的连续曲线纤维的角度连续变化,使刚度可以渐变,提高承载区域的刚度,同时减小重量。在曲线纤维缠绕时加入张力,使结构产生预应力,径、环向刚度均相应增加,故提高局部刚度和强度;调控预浸料中树脂基体含量,单层厚度可变化,故机匣截面厚度渐变,可以有效提高结构整体力学性能以及各部分结构力学特性的均衡,实现最优化刚度和强度特性,同时减轻结构自重。

[0031] 曲线纤维轨迹采用多项式函数或非均匀有理B样条曲线,纤维曲线同时沿着曲面周向和结构轴向连续变化。

[0032] 所述面外变刚度为离散型变刚度,两种及以上材料交替铺层实现沿厚度方向的刚度变化,层间纤维铺设角度呈交替变化,铺层数量、铺层厚度和纤维疏密程度可调节;

[0033] 如图4所示,面外变刚度设计中,单层中纤维为直线纤维,多层叠加分段铺设,不同铺层的纤维角度、大小以及数量由机匣结构的工作应力确定;同时使用两种或多种材料,可以有效提高结构整体力学性能以及各部分结构力学特性的均衡,实现最优化刚度和强度特性,同时减轻结构自重。

[0034] 面外变刚度中的分段铺设的特征为:每段复合材料的厚度由基体和纤维增强材料共同控制,逐渐增加/减少预浸料中改变树脂基体的量以增加/减小厚度,实现截面厚度的精细调控。

[0035] 面外变刚度中的使用两种或多种材料具体为:机匣的高承载区域使用高刚度/高强度材料,在非承载区使用轻质材料,弥补避免出现过度变形或失效,实现对结构刚度分布的优化。

[0036] 以上几点可灵活组合,由此实现高性能复合材料多维变刚度,更大限度的发挥复合材料的轻量化优势,提高复合材料机匣结构的包容性能效率。

[0037] 在本实施例中,机匣结构在不同区域根据功能特性具备多维变刚度特性,其离散型和连续型曲线纤维铺设方式以及纤维预张拉所提供的初始预应力效应,可以有效提高结构整体力学性能以及各部分结构力学特性的均衡,实现最优化刚度和强度特性,同时减轻结构自重。

[0038] 发动机机匣结构区域的划分由机匣各部分功用和尺寸特征确定,变刚度方案根据划分区域工况下的应力应变、承载需求、动态响应特性确定。

[0039] 所述包容区域1中间厚两边薄,同时具有面内和面外变刚度特性,以最厚处为中心,向两边渐薄区域纤维缠绕角度逐渐变化,且层厚逐渐减小。

[0040] 在包容区域1,面内曲线纤维连续沿机匣外轮廓环向变化,层间曲线纤维铺设形式可依次交替。此外曲线纤维通过张拉式缠绕,为机匣包容区域1结构提供预应力,增强其工作强度。

[0041] 所述发动机部件安装区域2为等厚度区域,具有面内变刚度特性,通过连续曲线纤维铺层控制面内刚度分布特征,相邻层曲线纤维角度镜像反对称。

[0042] 所述机匣结构过渡区域3厚度渐增,同时具有面内变刚度和面外变刚度两种特性,层内为连续曲线纤维缠绕或离散型直线纤维铺层,层间交替增加离散型直线纤维铺层,如图5所示,在不增加工艺复杂性前提下保证结构力学特性平缓过渡。

[0043] 对于在螺栓连接以及开孔处采用局部周向缠绕,以减少应力集中,保证螺栓孔的

承载能力。

[0044] 所述机匣安装边区域4轴向载荷高且结构壁厚大,具备面外变刚度特性,面内通过离散型直线纤维增强轴向刚度,层间增加铺层且相邻层间直线纤维角度为轴向对称交替排列。

[0045] 在本发明的一个实施例中,认为纤维沿周向铺设为 0° ,沿轴向铺设为 90° ,典型铺设方案如表1所示:

[0046] 表1 典型铺设方案

[0047]

	方案	铺层方案
包容区域1	面内变刚度	最外/内侧铺层角度选择 0° , 内部铺层 0° 、 90° 和连续曲线纤维铺层穿插交替铺设, 总铺层数为28。
发动机部件安装区域2	面内变刚度	最外/内侧铺层角度选择 0° , 内部铺层 0° 、 90° 和连续曲线纤维铺层穿插交替铺设, 总铺层数为28。
机匣结构过渡区域3	面内变刚度和面外变刚度	最外/内侧铺层角度选择 0° , 内部铺层 0° 、 90° 和连续曲线纤维铺层穿插交替铺设, 在铺层中有间隔地加入高强度材料的固定角度的离散铺层, 总铺层数由28渐变为36。
机匣安装边区域4	面外变刚度	铺层 0° 、 $\pm 45^{\circ}$ 、 90° 穿插交替铺设, 连接处可设置铺层方式为[0/-45/45/90/0], 总铺层数为36。

[0048] 面内变刚度中曲线纤维示意图如图6所示,结合纤维预张拉所提供的初始预应力效应,能够更好的优化复合材料结构机匣的刚度和强度;面外变刚度则使用两种或多种单向层合板交替铺层来实现沿机匣厚度方向的变化,使用两种或多种材料交替铺层进而实现复合材料机匣壳体的变刚度结构。上述两种变刚度可灵活组合,有效提升复合材料机匣结构的性能,更大程度的降低机匣结构的整体质量。

[0049] 确定好变刚度设计方案后,进行样机制作和测试,制作机匣样机并进行物理性能测试和加工性能测试,按照实验结果对设计参数和工艺进行微调和调整。

[0050] 在本发明的一个实施例中,复合材料主要针对连续纤维树脂基复合材料,其面内铺设方式采用自动铺丝技术(AFP),亦可以采用3D打印技术实现空间角度变化的变刚度铺层工艺,可使用树脂传递模塑技术(RTM)固化工艺实现纤维与树脂基材的结合。具体的面内变刚度方案选择需要首先明确发动机机匣结构的受力特征和刚度强度需求,实现复合材料发动机机匣的轻量化和高性能的目的。

[0051] 本发明中,不同的曲线纤维路径由机匣包容区的包容性要求或非包容区的安全系数确定纤维角度,使得不同区域表现出不同的刚度特性。在曲线纤维缠绕时加入张力,使结构产生预应力,增大径向刚度,提高界面强度。厚度渐变区域同时存在连续曲线变角度铺层和离散直纤维铺层,增加铺层的数量以增加厚度。形状复杂、载荷复杂的机匣结构过渡区域3和机匣安装边区域4中离散直纤维分段铺设,每段的厚度根据工况进行调整,灵活控制各个区域的厚度。逐渐增加/减少预浸料中改变树脂基体的量以增加/减小厚度,实现截面厚度的精细调控。同时基体的刚度参与机匣整体刚度的调整,配合纤维和铺层的变化实现变刚度。使用两种或多种材料交替铺层,优化刚度和强度,同时达到厚度变化的目的。

[0052] 本发明改善了传统复合材料机匣力学性能均一的特点,通过精细调控刚度,可以提升机匣在各种工况下的性能,避免出现过度变形或失效,机匣可以更好地适应不同的运行条件,能够有效抵御不同工况下的应力变化,能够有效降低机匣的重量,从而提高整体发动机的效率。

[0053] 本发明所设计的复合材料多维变刚度机匣相比传统的机匣优势有以下三个方面:提高机匣强度,降低机匣重量,增加机匣结构的可靠性。变刚度是可以通过曲线纤维角度变化和加入结构预应力的方式实现,可最大限度的发挥复合材料性能,其与恒定刚度复合材料结构相比,变刚度复合材料结构性能可以提高10~30%。

[0054] 采用本发明的复合材料机匣,能够解决传统金属材料机匣所存在的重量过大、制造成本高、耐腐蚀性能差等问题。本发明的变刚度复合材料机匣不仅强度和刚度优于金属材料,且具有更好的耐腐蚀性能和更轻的重量,能够显著提高飞行器的机动性和燃油经济性。

[0055] 本领域的普通技术人员将会意识到,这里所述的实施例是为了帮助读者理解本发明的原理,应被理解为本发明的保护范围并不局限于这样的特别陈述和实施例。本领域的普通技术人员可以根据本发明公开的这些技术启示做出各种不脱离本发明实质的其它各种具体变形和组合,这些变形和组合仍然在发明的保护范围内。

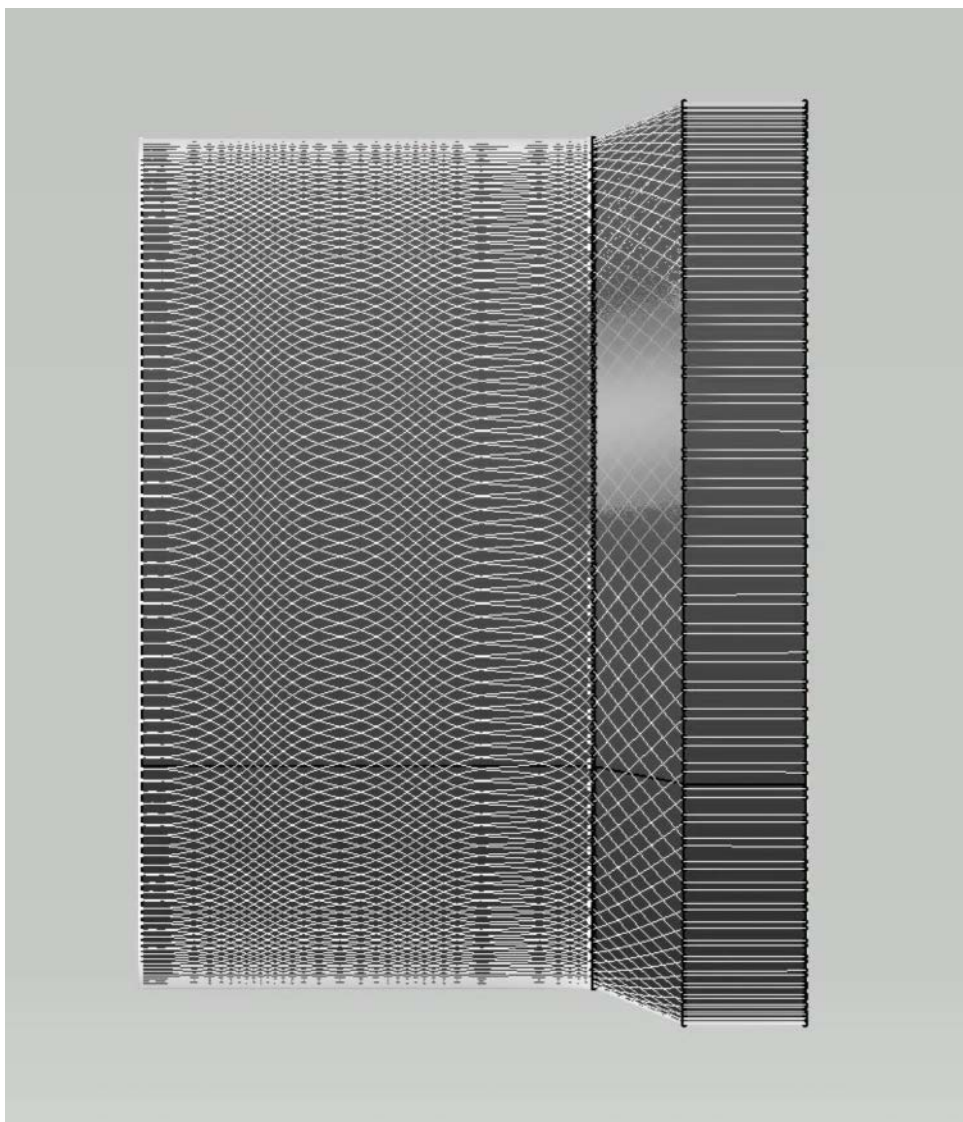


图1

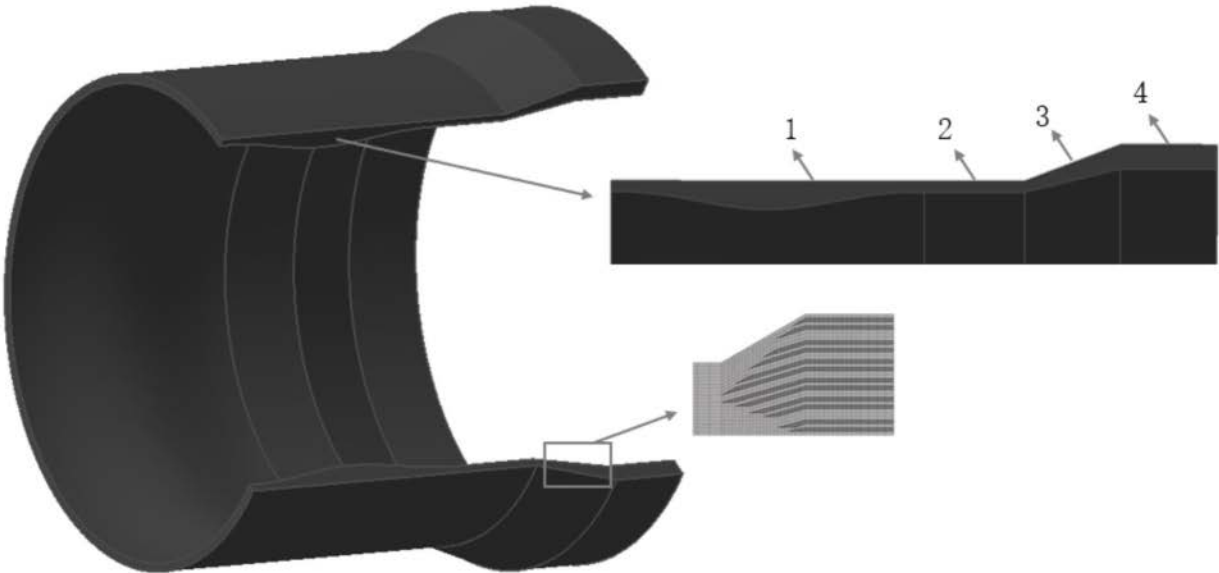


图2

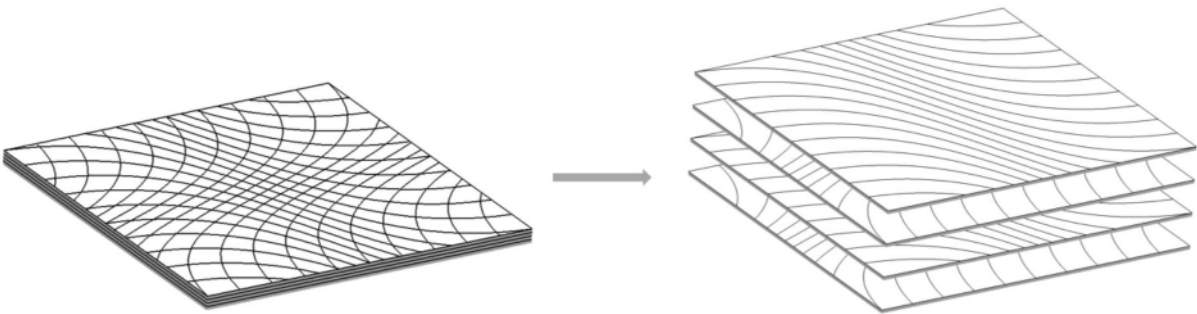


图3

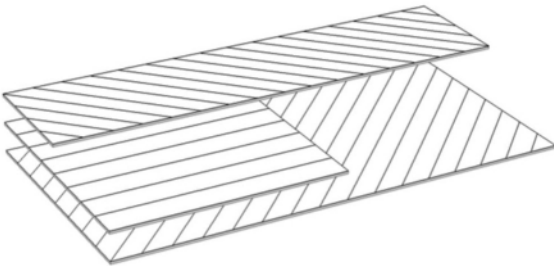


图4

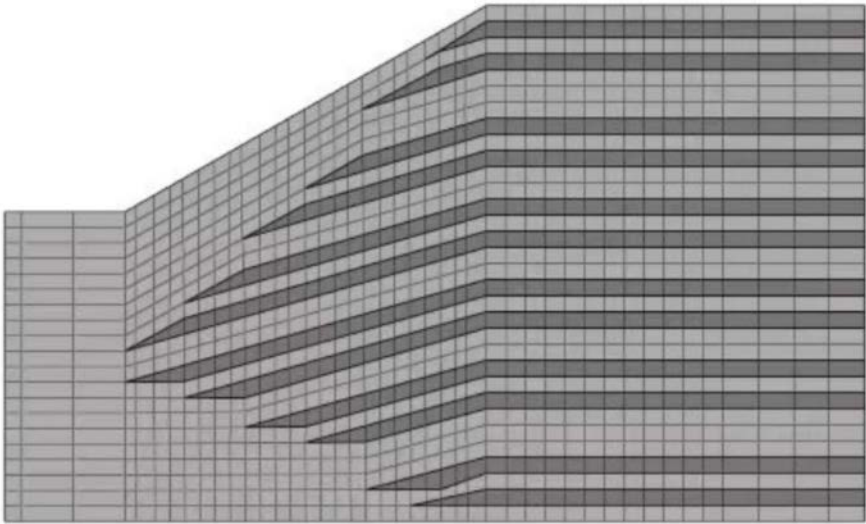


图5

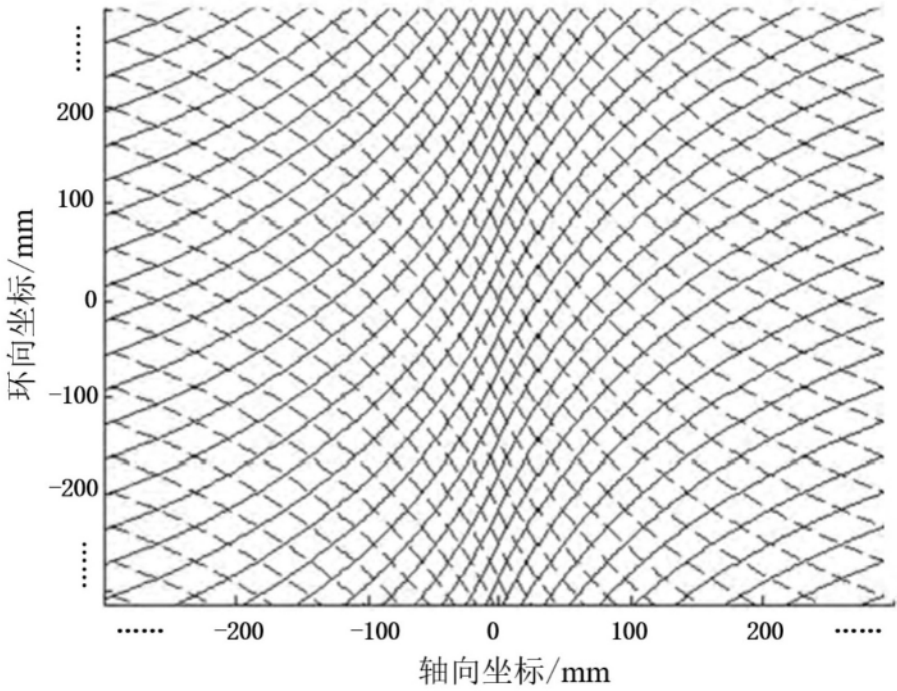


图6