



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104684713 B

(45)授权公告日 2017.06.13

(21)申请号 201380050389.4

(22)申请日 2013.08.27

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104684713 A

(43)申请公布日 2015.06.03

(30)优先权数据  
13/645,892 2012.10.05 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2015.03.26

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2013/056763 2013.08.27

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02014/055176 EN 2014.04.10

(73)专利权人 波音公司  
地址 美国伊利诺伊州

(72)发明人 R·A·吉希 J·B·安德森

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245  
代理人 赵蓉民

(51)Int.Cl.  
B29C 70/38(2006.01)

(56)对比文件  
CN 102015263 A,2011.04.13,  
JP S62144972 A,1987.06.29,  
CN 102672974 A,2012.09.19,  
审查员 邓晓波

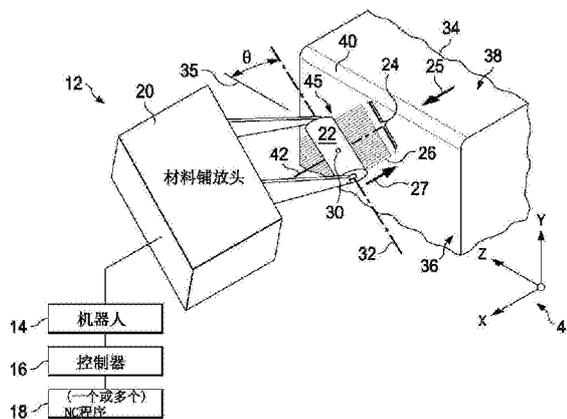
权利要求书1页 说明书7页 附图8页

## (54)发明名称

在凸半径上层复合带的方法

## (57)摘要

具有压实辊(22)的带层合机(12)将复合带(26)铺放在具有凸半径(40)的基底上。随着压实辊在凸半径上移动,该压实辊折叠带,同时围绕带的后边缘枢转以阻止压实辊被提升离开刚铺放在凸半径前面的带。



1. 一种将预浸纤维铺放在基底上的方法,所述基底具有由半径边缘连接的两个表面,所述方法包括:

以一角度移动材料放置头穿过第一基底表面到所述半径边缘,所述材料放置头具有压实辊;

将所述预浸纤维的带宽铺放在所述第一基底表面上;

围绕所述半径边缘将所述材料放置头从所述第一基底表面移动到第二基底表面;以及随着所述材料放置头围绕所述半径边缘移动,围绕所述压实辊的纵向轴线上的枢转点枢转所述材料放置头,所述枢转点位于所述压实辊的一端处且在所述预浸纤维的所述带宽的后边缘附近。

2. 根据权利要求1所述的方法,进一步包含:

以一角度将所述材料放置头从所述半径边缘移动穿过所述第二基底表面到所述半径边缘;以及

将所述预浸纤维的所述带宽铺放在所述第二基底表面上。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中将预浸纤维的带宽铺放在所述第一基底表面上包括:

以并排、边对边彼此接触的方式铺放纤维束的条,以及压实所述纤维束的所述条。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中所述材料放置头被枢转所围绕的点位于预浸纤维的所述带宽的一个边缘附近的纤维束的所述条中的一条内。

5. 根据权利要求3所述的方法,其中压实纤维束的所述条通过使用压实辊被执行,并且枢转所述材料放置头包括围绕位于所述压实辊的一端附近的工具中心点枢转所述压实辊。

6. 根据权利要求1所述的方法,进一步包含:

随着所述材料放置头围绕所述半径边缘从所述第一基底表面移动到所述第二基底表面,折叠预浸纤维的所述带宽。

7. 根据权利要求1所述的方法,其中所述材料放置头向所述半径边缘移动的角度大约为 $45^{\circ}$ 。

## 在凸半径上层合复合带的方法

### 技术领域

[0001] 本公开大体上涉及纤维增强复合材料层合件的制造,并且更具体地涉及在具有凸半径/弧形边的边缘上层合复合带的方法。

### 背景技术

[0002] 诸如应用于汽车业、航海业和航天工业的那些复合材料层合件结构可以通过使用自动复合材料施加机器被制造,该机器通常指的是自动纤维铺放 (AFP) 机。AFP机可以被用于飞行器工业,例如,通过缠绕被称为“丝束”的分叉的预浸带的相对窄的条来制造结构构件和蒙皮组件,该条围绕制造工具或其它基底准直成较宽带。AFP机具有包括多个带控制模块的材料施加头,所述多个带控制模块在数值控制下的“实时 (on-the-fly)”对齐、切割和铺放 (通常六条或更多条) 带条。带条以连续的边对边接触方式对齐以形成单个宽共形带宽,该宽共形带宽通过使用诸如压实辊或模座的压实设备抵靠工具被压实。

[0003] 形成层合件结构的层片可以由具有不同纤维取向的层片制成,诸如 $0^{\circ}$ 、 $45^{\circ}$ 和 $90^{\circ}$ 层片,其中每个层片均由通过AFP机放置的多道带条的共形带宽形成。在一些情况下,根据部件的形状,基底 (例如,工具) 可以具有一个或更多个半径边缘,其中带条必须被施加且压在半径边缘上。然而,有时存在问题,以诸如 $45^{\circ}$ 角度将带条施加在具有相对尖锐的凸半径 (诸如 $90^{\circ}$ 凸半径) 的边缘上是必要的。随着压实设备以一定角度在半径边缘上移动时,刚铺放在半径边缘前面的带条的共形带宽的后边缘可以通过压实设备在半径边缘上的连续移动而被提升远离基底,从而导致层片的空隙或褶皱,这能够不利地影响完成结构的质量。

[0004] 因此,存在一种需要,即在凸半径边缘上层合复合带的方法,该方法减少或消除由于在带已被铺放并压实之后的提升所造成的层片中的空隙或褶皱。

### 发明内容

[0005] 所公开的实施例提供在相对尖锐的凸半径边缘上层合复合带的方法,其中带以纤维取向被施加,该纤维取向相对于凸半径边缘形成角度 (诸如 $45^{\circ}$ 角度)。该方法在压实辊在半径边缘上横越时减少或消除刚铺放的带提升远离具有半径边缘的基底。

[0006] 根据一个公开的实施例,提供在基底上的凸半径边缘上层合复合带的方法。该方法包含将基底上的材料放置头朝向凸半径边缘并且围绕凸半径边缘移动,以及随着材料放置头在基底上并且围绕凸半径边缘移动,将复合带条的带宽铺放在基底上,包括使用压实设备抵靠基底压实带条。该方法进一步包括通过围绕与凸半径边缘接触的带宽的后边缘来枢转压实设备用于阻止压实设备被提升离开铺放在凸半径边缘附近的带条。该方法还包括随着材料放置头围绕凸半径边缘移动,折叠带条的带宽。压实设备具有纵向轴线和沿纵向轴线位于压机设备的一端处的工具中心点,并且围绕带条的带宽的后边缘枢转压实设备包括围绕工具中心点枢转压实设备。铺放带条的带宽包括在基底上并排/侧对侧 (side-by-side) 铺放多条带条,并且枢转压实设备包括位于沿带宽的边缘附近的带条中的一条的某

一点处枢转压实设备。随着材料放置头围绕凸半径边缘移动,枢转压实设备被执行。压实装置可以是具有旋转轴线的压实辊,该旋转轴线成角度地偏离凸半径边缘。在一个实施例中,压实辊的旋转轴线成角度地偏离凸半径边缘大约 $45^{\circ}$ 。在材料放置头围绕凸半径边缘移动的整个期间维持压实设备和基底之间的接触。

[0007] 根据另一公开的实施例,提供在具有由半径边缘连接的两个表面的基底上铺放预浸纤维的方法。该方法包含以一定角度移动复合材料放置头穿过第一基底表面到半径边缘,并且在第一基底表面上铺放预浸纤维的带宽。该方法进一步包含围绕半径边缘将材料放置头从第一基底表面移动到第二基底表面,并且随着材料放置头围绕半径边缘移动,绕预浸纤维的带宽的一个边缘附近的点枢转材料放置头。该方法可以进一步包含材料纤维放置头以一定角度从半径边缘移动穿过第二基底表面至半径边缘,并且将预浸纤维的带宽铺放在第二基底表面上。将预浸纤维的带宽铺放在第一基底表面上包括以并排、边对边彼此接触的方式铺放纤维束的条,并且压实纤维束的条。材料放置头枢转所围绕的点位于预浸纤维的带宽的一个边缘附近的纤维束中的一条内。压实纤维束的条通过使用压实辊被执行,并且枢转材料放置头包括绕位于压实辊的一端附近的工具中心点枢转压实辊。该方法进一步包含随着材料放置头围绕半径边缘从第一基底表面被移动到第二基底表面,折叠预浸纤维的带宽。材料放置头到半径边缘的移动角度可以大约为 $45^{\circ}$ 。

[0008] 根据又一实施例,提供使用具有压实辊的材料放置头在凸半径上层合复合材料束的方法。该方法包含随着复合材料束在凸半径上以带宽被层合,围绕凸半径移动材料放置头。该方法进一步包含在穿过带宽的某一位置处枢转压实辊,其阻止压实辊被提升离开刚铺放在材料放置头前面的束,并围绕凸半径开始移动所述压实辊。该方法还包括随着压实辊围绕凸半径移动,折叠预浸束的带宽。压实辊枢转所围绕的、穿过带宽的位置在中心束和沿带宽的后边缘的最后束之间。

[0009] 根据进一步的实施例,提供通过使用具有压实辊的带层合机在凸半径上层合复合带的方法。该方法包含给带层合机编程以沿基底上的路径移动,并且引导压实辊沿该路径移动并且围绕接触凸半径的带的后边缘枢转,从而阻止压实辊被提升远离刚铺放在凸半径前面的带。该方法还包括随着压实辊在凸半径上移动,折叠带。该方法可以进一步包含数字限定具有凸半径的复合材料铺层,并且使用带层合机铺设数字限定的铺层的层片。带层合机可以被编程,以便带层合机沿用于铺放分别具有 $0^{\circ}$ 、 $45^{\circ}$ 和 $90^{\circ}$ 纤维取向的层片的修改的路径移动。执行引导压实辊沿路径移动并且围绕带的后边缘枢转,并且随着压实辊在凸半径上移动,折叠带。

## 附图说明

[0010] 所附权利要求阐明被认为是说明性实施例的特性的新颖特征。然而,当结合附图阅读时,通过参考本公开的说明性实施例的具体实施方式,将最好地理解说明性实施例以及优选的使用模式、进一步的目标及其优点,其中:

[0011] 图1是在具有凸半径边缘的基底上铺放复合带的带层合机的透视图的图示说明。

[0012] 图2是使用现有技术方法被放置在凸半径边缘上的带的共形带宽的前视图的图示说明。

[0013] 图3是图1示出的基底的图示说明,其示出当使用现有技术方法时,带宽被拉离基

底的区域。

[0014] 图4是类似于图3的图示说明,但示出压实器或辊,该压实器或辊通过使用现有技术方法已经折叠围绕半径边缘的带的带宽。

[0015] 图5是在凸半径边缘上层合复合带的方法的流程图的图示说明。

[0016] 图6是类似于图2的前视图的图示说明,但示出修改的工具中心点,随着压实辊横越半径边缘,围绕该修改的工具中心点枢转压实辊。

[0017] 图7是根据所公开的方法、开始横越半径边缘的压实辊的透视图的图示说明。

[0018] 图8是类似于图7的图示说明,但示出已围绕在共形带宽的后边缘处的修改的工具中心点枢转的压实辊。

[0019] 图9是铺放复合部件的方法的总流程图的图示说明,其中随着复合部件以一定角度横越半径边缘,所述复合部件采用所公开的技术旋转压实辊。

[0020] 图10是飞行器生产和使用方法的流程图的图示说明。

[0021] 图11是飞行器的框图的图示说明。

### 具体实施方式

[0022] 首先参考图1,自动纤维铺放 (AFP) 机12包括材料放置头20,其移动可以由适于本申请的机器人14控制。机器人14以及材料放置头20的功能由控制器16控制,该控制器16可以包含但不限于CNC (计算机数字控制的) 控制器或采用一个或更多个NC程序18的计算机。材料放置头20可以类似于美国专利号7213629、2008年2月27日提交的美国专利申请序列号12/038155和2007年2月8日公开的美国专利公开号20070029030中描述的那些,所述申请的全部内容通过参考被并入本文。材料放置头20可以包括材料供给系统(未示出)和多个带控制模块(未示出),该多个带控制模块可以包括再进料机构、材料引导件和材料切割机构,所有均未示出但在本领域中是公知的。

[0023] 材料放置头20将共形带宽24(在本文有时也称为带条带宽24、以带条形式的复合带条26的带宽、预浸束或其它粗纱(roving)) 馈送25到诸如压实辊22的压实设备和基底34之间辊隙(nip) 45,该基底34可以包含工具或先前铺放的复合材料的层片。如本文所用的,“带条”旨在包括增强物和增强的塑料条、预浸带、束和其它粗纱,并且“带宽”和“共形带宽”旨在包括以连续并排、大体边对边彼此接触的方式设置的多条带条。其它压实设备,诸如模座可以用于将共形带宽24放置到基底34上。压实辊22呈圆柱形并且具有旋转轴线32以及工具中心点30。材料放置头20移动在基底34上的压实辊32,将共形带宽24压实到基底34上。材料放置头20在基底34上的每次穿越致使放置形成共形带宽24的多道带条26,并且材料放置头20的多次穿越致使形成被铺放基底34上并且抵靠基底34被压实的复合材料的层片(未示出)。

[0024] 基底34可以具有沿凸半径边缘40连接在一起的非平行基底表面36、38。材料放置头20可以不同角度的纤维取向放置多道带条26的共形带宽24,其中该纤维取向包括但不限于相对于对应XYZ坐标系43中的水平轴线或Z轴线的参考轴线35的 $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 和 $90^\circ$ 取向。在图1中,材料放置头20在一个基底表面36上部分地放置26条带条的带宽24并且沿以角度 $\theta$ 朝向半径边缘40的方向27移动,该 $\theta$ 可以是例如但不限于 $45^\circ$ 角度。如将在下面更详细讨论的,压实辊22围绕半径边缘40从基底表面36向上移动,并且然后在放置带道的期间越过基底表面

38。

[0025] 注意,现参考图2到图4,其示出将共形带宽24的复合带条26放置在凸半径边缘40上的现有技术方法。如图2和图3所示,压实辊22的工具中心点30大体位于压实辊22的两端之间的中间处,并且沿共形带宽24的中心带条26a的中心线42。因为压实辊22以角度 $\theta$ 朝向半径边缘40移动,所以当工具中心点30到达半径边缘40的开始处时,共形带宽24的前边缘44已向上移动在半径边缘40的上方并且开始在半径边缘40上移动,并且共形带宽24的刚铺放的后边缘53保持在半径边缘40下方。

[0026] 当工具中心点30到达半径边缘40时,它开始在半径边缘40上向上移动到基底表面38上。在压实辊22在半径边缘40上的这种移动期间,由压实辊22施加到带宽24的后边缘的压力被减小,并且压实压力持续被施加到带宽24的前边缘44。被施加到带宽24的压实压力的这种差异引起沿由交叉影线46表示的后边缘31的带宽24的区域被拉离基底表面36,从而导致层合件结构的潜在空隙或褶皱。图4示出压实辊22已横越围绕半径边缘40并且开始将带宽24压实到基底表面38上。从图4能够看出,虽然围绕半径边缘40施加带宽24,但带宽24的区域46抵靠基底表面36被紧紧地压实。

[0027] 注意,现参考图5至图8,其大体示出在凸半径边缘40上层合复合带的方法,该方法避免将带宽24拉离基底表面36,其中所述带宽24已被压实至关于图2-4先前描述的基底表面。具体地,参考图5,该方法在步骤50处开始,其中压实辊22或类似的压实设备在基底表面36上以角度 $\theta$ 移动到凸半径边缘40,诸如当 $45^\circ$ 带道被放置以形成 $45^\circ$ 层片时。在图6-8中,半径边缘40被示为 $90^\circ$ 半径,然而应当注意的是,所公开的方法可以被应用于在其它相对尖锐角度的凸半径边缘上层合复合带。在步骤52处,复合材料预浸带被馈送到压实辊22,该压实辊压实带抵靠基底表面36压实带。在步骤54处,压实辊22在凸半径边缘40上移动。在步骤56中,压实辊22围绕带的后边缘31旋转以阻止半径边缘40下面的刚铺放的带被拉离基底表面36。

[0028] 图7和图8图示说明图6概述的方法的进一步细节。在该示例中,针对用于控制压实辊22移动的NC程序18(图1)的修改导致工具中心点30沿旋转轴线32再定位到如30指定的位置,该位置接近带宽24的后边缘31。例如,工具中心点30可以与第二到最后带条26b的中心线39(图6)对齐或在沿后边缘31的其它点处。当压实辊22的修改的工具中心点30以扫掠式弯曲(sweep-like bending)或擦拭运动围绕半径边缘40穿过时,压实辊22也在XZ平面中围绕Y轴线枢转通过角度 $\Phi$ (图8)。随着压实辊22继续围绕半径边缘40,因为枢转点,即,工具中心点30位于带宽24的后边缘31附近,所以将最小力或没有力被施加到在后边缘31处的带条26,这将易于将刚铺放的带条26拉离基底表面36。替代地,随着压实辊22在半径边缘40上平移,压实辊22围绕X轴线和Y轴线两者的协调移动导致压实压力被维持穿过整个带宽24,直到压实辊22已完全地横越半径边缘40。

[0029] 图9示出通过使用先前关于图5-8描述的方法铺放复合层合部件的方法的总体图。在步骤58处开始,通过使用(例如但不限于)CAD系统(未示出),期望的部件铺放被数字地限定。在步骤60处,NC编程开始以产生适于控制AFP机的操作和移动的程序。在62处,随着压实辊22在半径边缘40上移动,NC编程被修改以改变 $45^\circ$ 层片上的压实辊旋转点(即,工具中心点30),以便工具中心点30处于带宽24的后边缘31附近。在64处,产生控制材料放置头20的移动的NC路径。在66处,部件程序被后处理,准备该程序用来NC控制用于铺放部件的

AFP机12。在步骤68处，程序被载入用于控制AFP机12的控制器16，紧接着在步骤70处部件可以被铺放。

[0030] 本公开的实施例可以发现在各种潜在的应用中应用，具体地在交通运输工业中，包括例如航空航天、航海、汽车应用和复合部件可以被使用的其它应用。因此，现参考图10和图11，本公开的实施例可以用在如图10所示的飞行器制造和使用方法72和如图11所示的飞行器74的背景下。所公开的实施例的飞行器应用可以包括但不限于刚性构件（诸如不限于梁、翼梁和纵梁，仅举几例）的制造。在预生产期间，示例性方法72可以包括飞行器74的规格和设计76和材料采购78。在生产期间，进行飞行器74的部件和子组件制造80和系统集成。此后，飞行器74可以经历认证和交付84，以便投入使用86。当顾客使用时，飞行器74被安排日常维护和检修88，这还可以包括修改、重新配置、翻新等。

[0031] 方法72的每个过程可以由系统集成商、第三方和/或操作者（例如，顾客）执行或实施。为了本描述的目的，系统集成商可以包括不限于任何数量的飞行器制造商和主要系统分包商；第三方可以包括不限于任何数量的销售商、分包商和供应商；并且操作者可以是航空公司、租赁公司、军事实体、服务组织等。

[0032] 如图11所示，通过示例性方法72生产的飞行器74可以包括具有多个系统92的机身90和内部94。高级系统92的示例包括推进系统96、电气系统98、液压系统100和环境系统102中的一个或更多个。可以包括任何数量的其它系统。虽然示出航空航天示例，但本公开的原则可以被应用到其它工业，诸如航海和汽车工业等。

[0033] 本文呈现的系统和方法在生产和使用方法72的任意一个或更多个阶段期间可以被采用。例如，对应生产过程80的部件或子组件可以以类似于当飞行器74在使用中时生产的部件或子组件的方式进行生产或制造。同样地，一个或更多个装置实施例、方法实施例或其组合可以在生产阶段80和82期间被利用，例如，通过显著加速飞行器74的组装或降低飞行器74的成本。类似地，装置实施例、方法实施例或其组合中的一个或更多个可以在飞行器96使用中被利用，例如但不限于维护和检修88。

[0034] 已经出于说明和描述的目的提出了不同的说明性实施例的描述，但其并非意在穷举或限制于所公开的形式的实施例。许多修改和变体对本领域普通技术人员将是明显的。进一步地，不同的说明性实施例相比于其它说明性实施例可以提供不同的优点。选择并描述已选的一个或多个实施例，以便更好地解释实施例的原则、实际应用，以及使本领域其他普通技术人员能够理解所构思的适于具体应用的具有各种修改的本发明的各种实施例。进一步地，本公开包括根据以下条款的实施例：

[0035] 条款1. 一种将预浸纤维铺放在具有由半径边缘连接的两个表面的基底上的方法，其包括：

[0036] 以一定角度移动材料放置头穿过第一基底表面到所述半径边缘；

[0037] 将所述预浸纤维的带宽铺放在所述第一基底表面上；

[0038] 围绕所述半径边缘将所述材料放置头从所述第一基底表面移动到第二基底表面；  
以及

[0039] 随着所述材料放置头围绕所述半径边缘移动，围绕所述预浸纤维的所述带宽的一个边缘附近的点枢转所述材料放置头。

[0040] 条款2. 根据条款1所述的方法，进一步包含：

[0041] 以一定角度将所述材料放置头从所述半径边缘移动穿过所述第二基底表面到所述半径边缘;以及

[0042] 将所述预浸纤维的带宽铺放在所述第二基底表面上。

[0043] 条款3.根据条款1所述的方法,其中将预浸纤维的带宽铺放在所述第一基底表面上包括:

[0044] 以并排、边对边彼此接触的方式铺放纤维束的条,以及

[0045] 压实所述纤维束的所述条。

[0046] 条款4.根据条款3所述的方法,其中所述材料放置头被枢转所围绕的点位于预浸纤维的所述带宽的一个边缘附近的纤维束的所述条中的一条内。

[0047] 条款5.根据条款3所述的方法,其中压实纤维束的所述条通过使用压实辊被执行,并且枢转所述材料放置头包括围绕位于所述压实辊的一端附近的工具中心点枢转所述压实辊。

[0048] 条款6.根据条款1所述的方法,进一步包含:

[0049] 随着所述材料放置头围绕所述半径边缘从所述第一基底表面移动到所述第二基底表面,折叠预浸纤维的所述带宽。

[0050] 条款7.根据条款1所述的方法,其中所述材料放置头向所述半径边缘移动的角度大约为 $45^{\circ}$ 。

[0051] 条款8.一种在基底上的凸半径边缘上层合复合带的方法,其包含:

[0052] 在所述基底上将材料放置头朝向所述凸半径边缘并且围绕所述凸半径边缘移动;

[0053] 随着所述材料放置头在所述基底上并且围绕所述凸半径边缘移动,将复合带条的带宽铺放在所述基底上,包括使用压实设备抵靠所述基底压实所述复合带条;

[0054] 通过围绕与所述凸半径边缘接触的所述带宽的后边缘枢转所述压实设备,阻止所述压实设备被提升离开位于所述凸半径边缘附近铺放的复合带条;以及

[0055] 随着所述材料放置头围绕所述凸半径边缘移动,折叠所述带宽。

[0056] 条款9.根据条款8所述的方法,其中:

[0057] 所述压实设备具有纵向轴线和沿所述纵向轴线位于所述压实设备的一端处的工具中心点,并且围绕所述带宽的所述后边缘枢转所述压实设备包括围绕所述工具中心点枢转所述压实设备。

[0058] 条款10.根据条款8所述的方法,其中:

[0059] 铺放带条的带宽包括并排将多条带条铺放在所述基底上,以及

[0060] 枢转所述压实设备包括位于沿所述带宽的边缘附近的所述带条中的一条的点处枢转所述压实设备。

[0061] 条款11.根据条款8所述的方法,其中随着所述材料放置头围绕所述凸半径边缘移动,执行枢转所述压实设备。

[0062] 条款12.根据条款8所述的方法,其中所述压实设备是具有成角度地偏离所述凸半径边缘的旋转轴线的压实辊。

[0063] 条款13.根据条款12所述的方法,其中所述压实辊的所述旋转轴线成角度地偏离所述凸半径边缘大约 $45^{\circ}$ 。

[0064] 条款14.根据条款8所述的方法,其中在所述材料放置头围绕所述半径边缘移动的

整个过程期间维持所述压实设备和所述基底之间的接触。

[0065] 条款15.一种通过使用具有压实辊的材料放置头在凸半径边缘上层合复合材料束的方法,其包含:

[0066] 随着复合材料束在所述半径边缘上以带宽被层合,围绕所述凸半径移动所述材料放置头;

[0067] 在穿过所述带宽的位置处枢转所述压实辊,以阻止所述压实辊被提升离开刚好铺放在所述材料放置头前面的所述复合材料束,围绕所述凸半径开始移动所述压实辊;以及

[0068] 随着所述压实辊围绕所述凸半径移动,折叠复合材料束的所述带宽。

[0069] 条款16.根据条款15所述的方法,其中所述压实辊被枢转所围绕的、穿过所述带宽的所述位置在中心束和沿所述带宽的后边缘的最后束之间。

[0070] 条款17.一种通过使用具有压实辊的带层合机在凸半径上层合复合带的方法,其包含:

[0071] 编程所述带层合机以沿基底上的路径移动;

[0072] 引导所述压实辊沿所述路径移动并且围绕接触所述凸半径的所述带的后边缘枢转,以阻止所述压实辊被提升离开刚铺放在所述凸半径前面的所述带;以及

[0073] 随着所述压实辊在所述凸半径上移动,折叠所述带。

[0074] 条款18.根据条款17所述的方法,进一步包含:

[0075] 产生具有凸半径的复合材料铺层的数字限定;以及

[0076] 使用所述带层合机铺放根据所产生的所述复合材料铺层的数字限定的复合层片。

[0077] 条款19.根据条款17所述的方法,其中编程所述带层合机包括:

[0078] 编程所述带层合机以沿用于铺放具有 $45^\circ$ 纤维取向的层片的修改的路径移动;

[0079] 编程所述带层合机以沿用于铺放具有 $0^\circ$ 纤维取向的层片的常规路径移动;以及

[0080] 编程所述带层合机以沿用于铺放具有 $90^\circ$ 纤维取向的层片的常规路径移动。

[0081] 条款20.根据条款17所述的方法,其中执行引导所述压实辊沿所述路径移动并且围绕所述带的后边缘枢转,并且随着所述压实辊在所述凸半径上移动,折叠所述带。

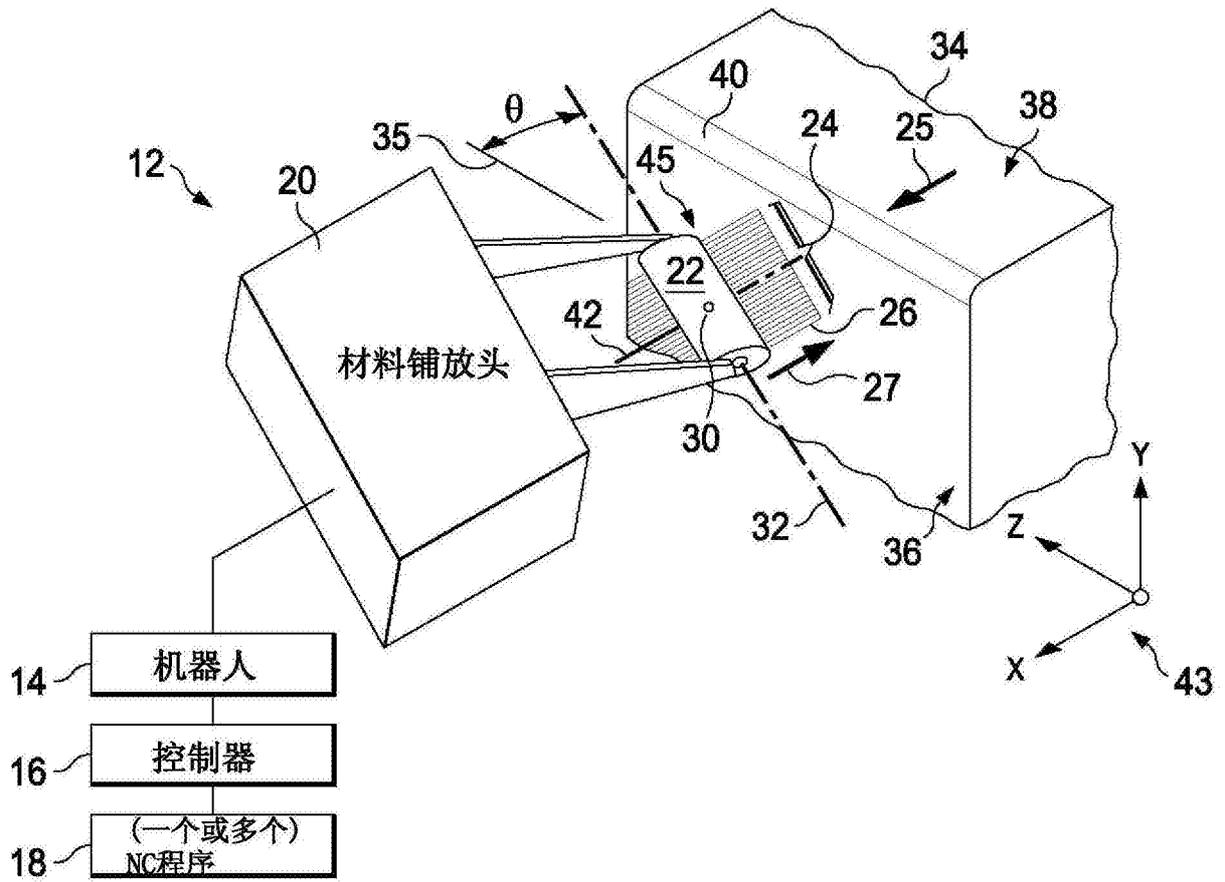


图1

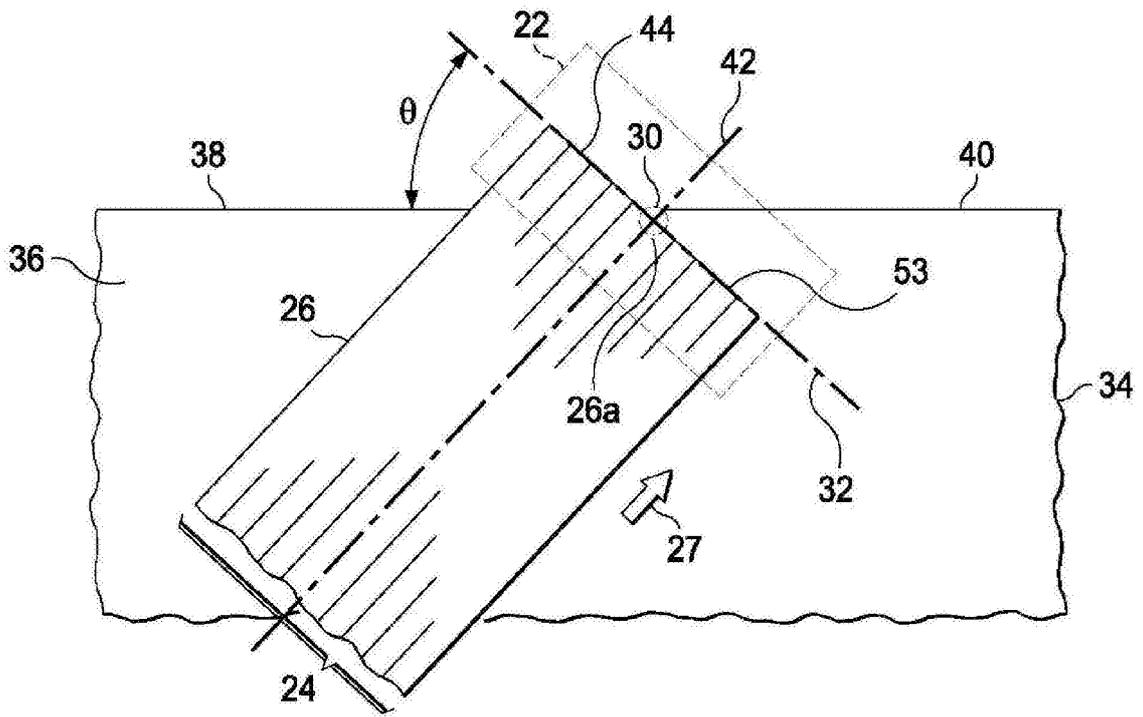


图2  
(现有技术)

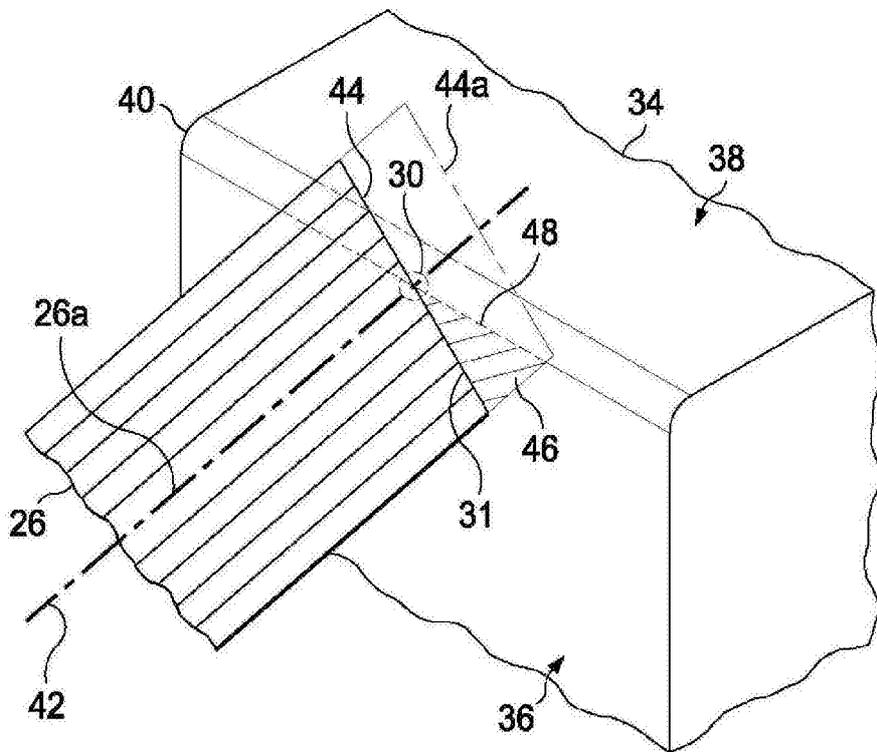


图3  
(现有技术)

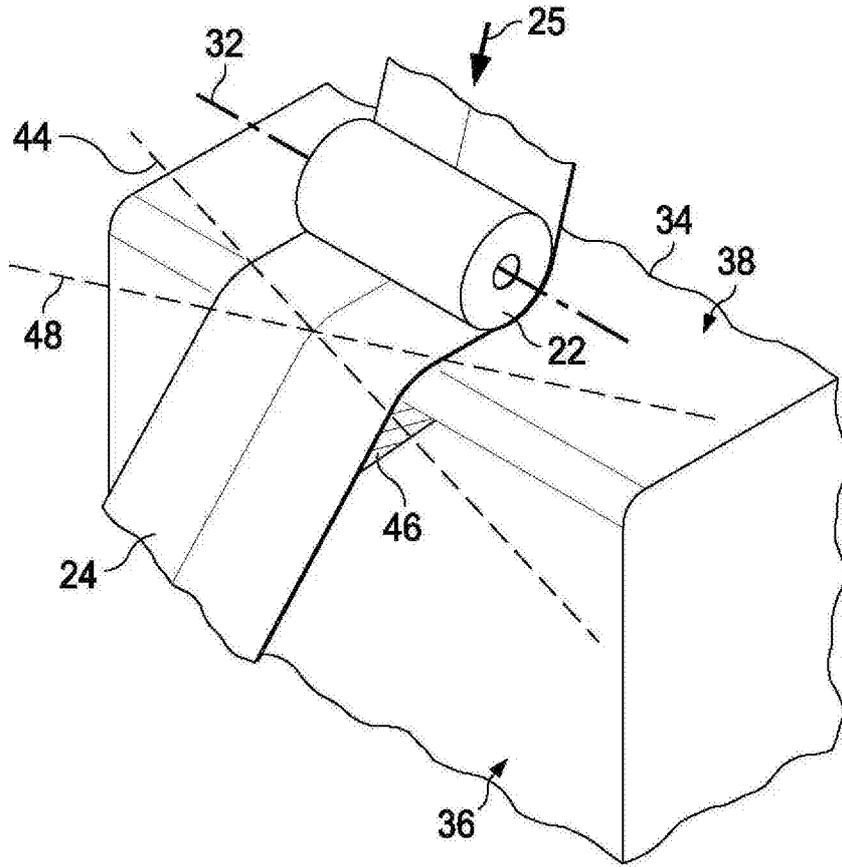


图4  
(现有技术)

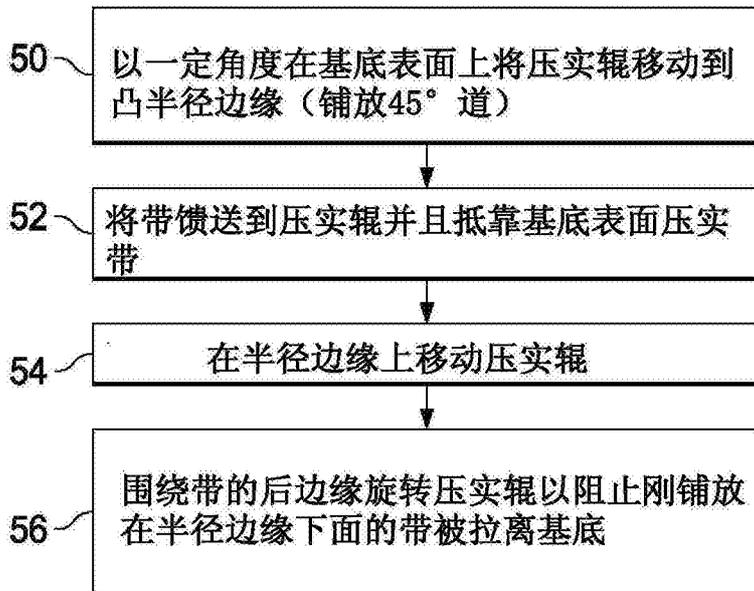


图5

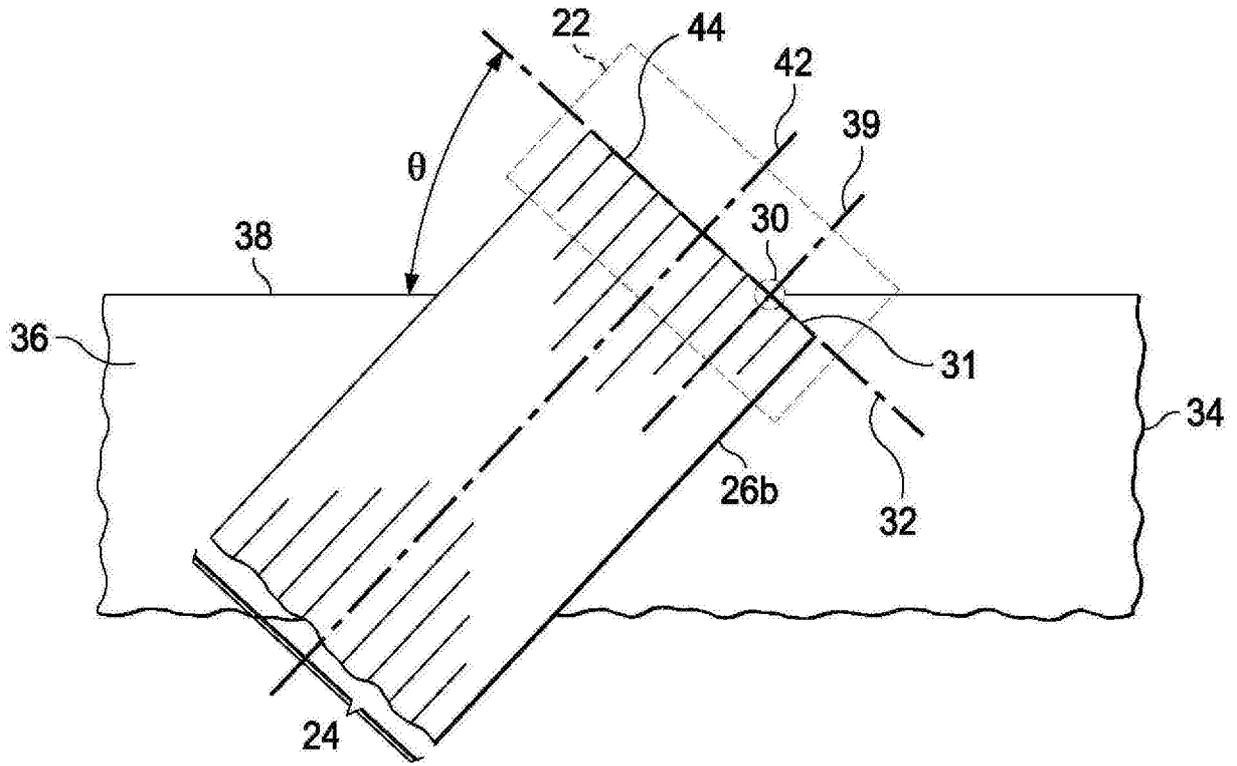


图6



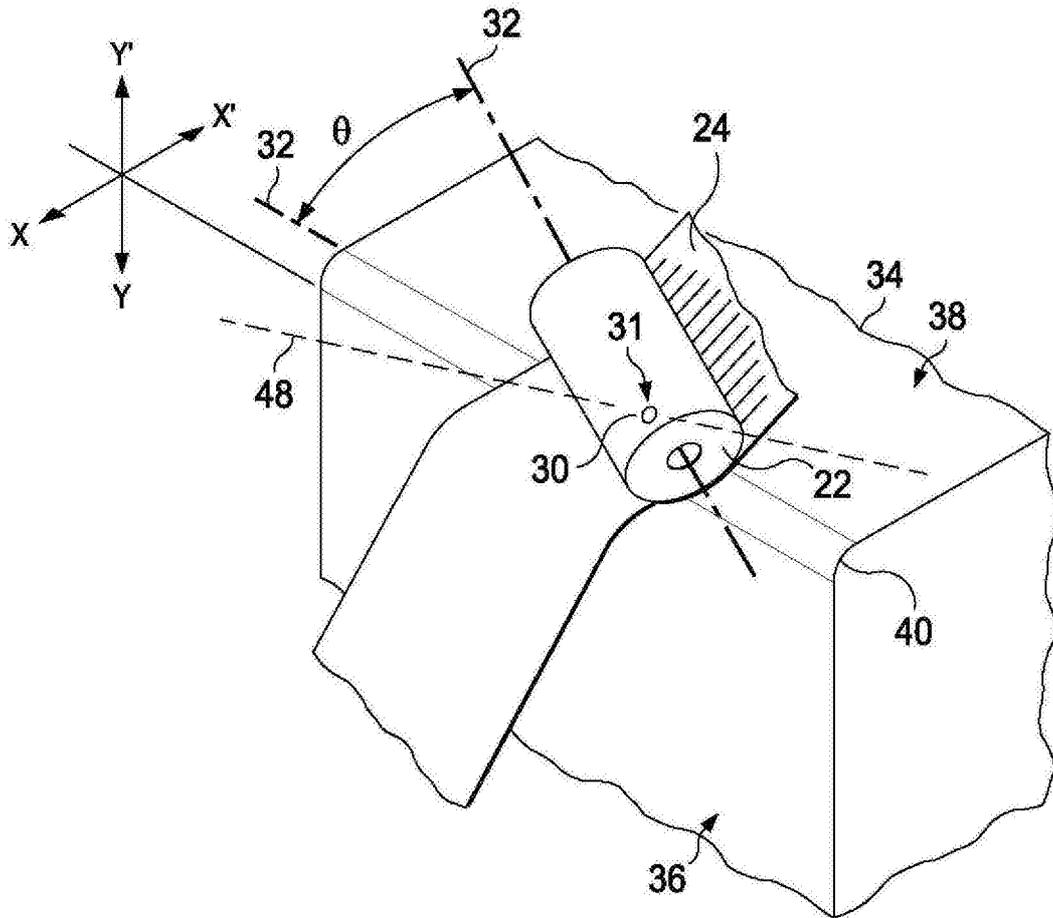


图8

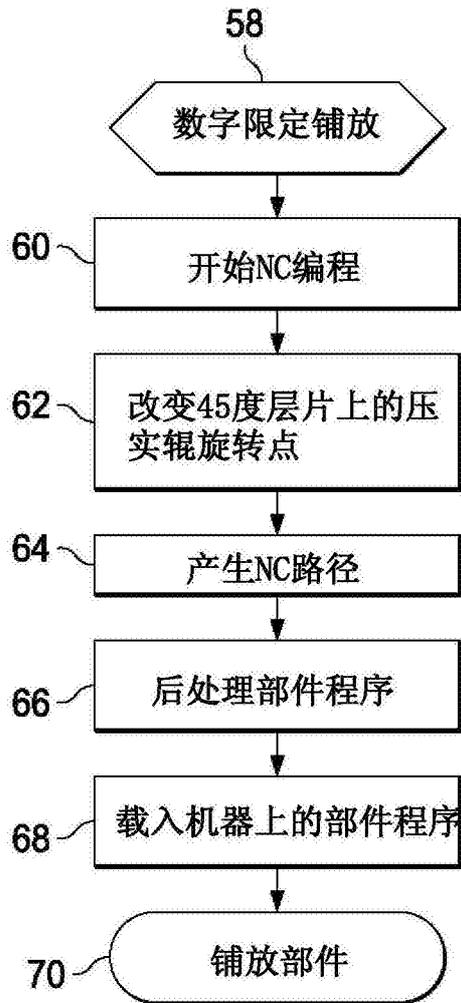


图9

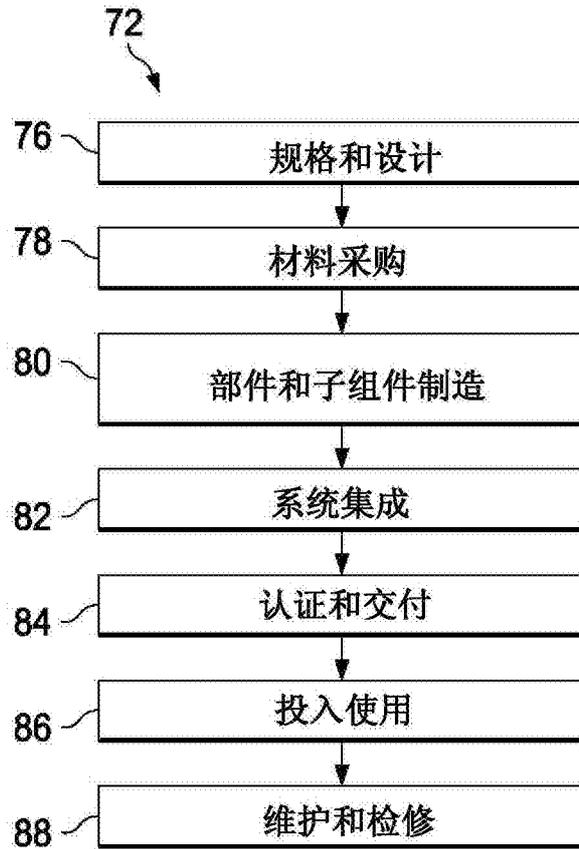


图10

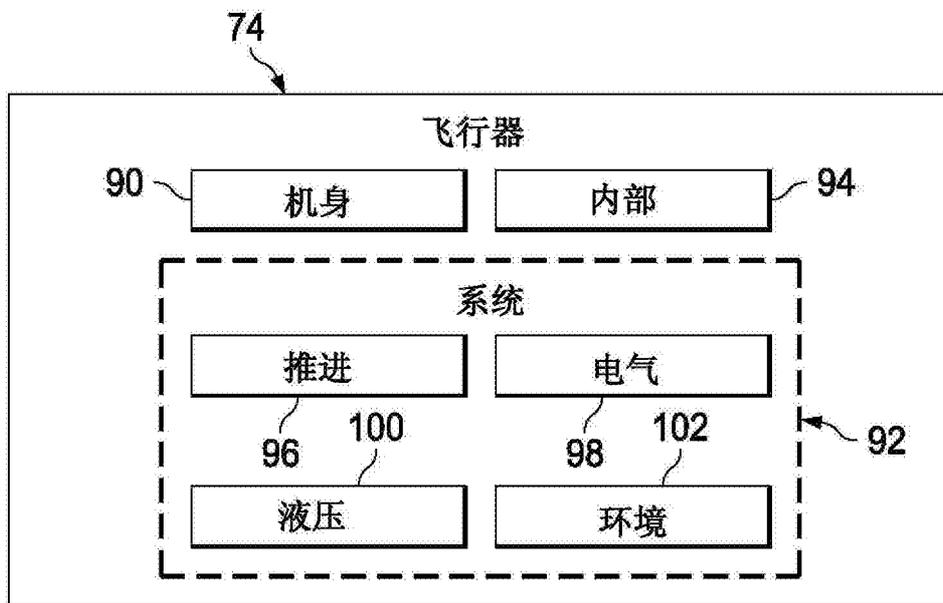


图11