



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104422731 B

(45)授权公告日 2018.06.29

(21)申请号 201410381579.0

(22)申请日 2014.08.05

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104422731 A

(43)申请公布日 2015.03.18

(30)优先权数据

13/975,599 2013.08.26 US

(73)专利权人 波音公司

地址 美国伊利诺斯州

(72)发明人 丹尼斯·P·萨尔 希恩·T·布伊

(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司
11240

代理人 余刚 吴孟秋

(51)Int.Cl.

G01N 29/04(2006.01)

G01N 29/26(2006.01)

审查员 叶亚楠

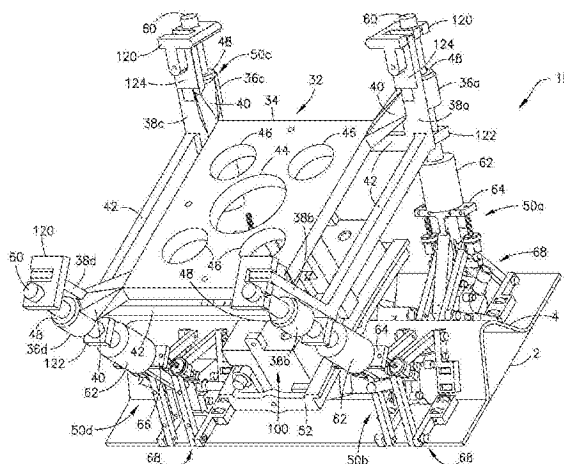
权利要求书2页 说明书12页 附图17页

(54)发明名称

用于桁条的无损检验设备

(57)摘要

本发明提供了用于桁条的无损检验设备。一种多传感器NDI探头,具有随着传感器组沿着具有圆形顶盖的中空延伸加筋件的长度移动用于自对准NDI传感器的装置。该设备包括提供对圆形顶盖的完全覆盖的具有圆柱形焦点的大半径弯曲的超声换能器阵列,用于下外辐条的NDI的两个小半径凸曲线的换能器阵列,以及用于加筋件的侧面的NDI的两个线性换能器阵列。由有助于适当调整换能器阵列在扫描过程中的位置(即,定位与定向)的相应的柔性件支撑这五个换能器阵列。调整换能器阵列的位置以补偿加筋件的几何变化。



1. 一种检测设备,包括:

支撑结构体;

第一大轴,能够枢轴转动地并能够滑动地耦接至所述支撑结构体;

第一弹性联轴节,附接到所述第一大轴的一端;

第一换能器支撑体,附接到所述第一弹性联轴节;

第一换能器阵列,由所述第一换能器支撑体支撑;以及

第一定心机构,附接到所述第一换能器支撑体,

其中,所述第一定心机构包括:

第一小轴和第二小轴,由所述第一换能器支撑体在所述第一小轴和所述第二小轴的相对端支撑;

第一枢轴/滑动机构和第二枢轴/滑动机构,分别能够滑动地耦接至所述第一小轴和所述第二小轴;以及

第一四连杆定心器组件和第二四连杆定心器组件,分别能够枢轴转动地耦接至所述第一枢轴/滑动机构和所述第二枢轴/滑动机构。

2. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述第一枢轴/滑动机构包括第一轴承和第一枢轴销,并且所述第二枢轴/滑动机构包括第二轴承和第二枢轴销,所述第一小轴和所述第二小轴分别能够在所述第一轴承和所述第二轴承中滑动,并且所述第一四连杆定心器组件和所述第二四连杆定心器组件分别能够枢轴旋转地耦接至所述第一枢轴销和所述第二枢轴销。

3. 根据权利要求1所述的设备,其中,各个所述第一四连杆定心器组件和所述第二四连杆定心器组件包括分别能够枢轴转动地耦接至所述第一枢轴/滑动机构和所述第二枢轴/滑动机构的第一上定心器和第二上定心器,以及分别能够枢轴转动地耦接至所述第一上定心器和所述第二上定心器并能够枢轴转动地耦接至彼此的第一下定心器和第二下定心器。

4. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述换能器阵列设置在所述第一四连杆定心器组件与所述第二四连杆定心器组件之间。

5. 根据权利要求1所述设备,还包括:

第二大轴,能够枢轴转动地并能够滑动地耦接至所述支撑结构体;

第二弹性联轴节,附接到所述第二大轴的一端;

第二换能器支撑体,附接到所述第二弹性联轴节;

第二换能器阵列,由所述第二换能器支撑体支撑;以及

第二定心机构,附接到所述第二换能器支撑体。

6. 根据权利要求5所述的设备,其中,所述第一换能器阵列具有凹曲度,所述第二换能器阵列是线性的,并且所述第一换能器阵列和所述第二换能器阵列被布置为使得在所述第一换能器阵列面对加筋件的底外辐条时,所述第二换能器阵列面对所述加筋件的侧面。

7. 根据权利要求5所述的设备,其中,各个所述第一换能器阵列和所述第二换能器阵列具有凹曲度,并且所述第一换能器阵列和所述第二换能器阵列被布置为使得在所述第一换能器阵列面对加筋件的第一下外辐条时,所述第二换能器阵列面对所述加筋件的第二下外辐条。

8. 根据权利要求5所述的设备,其中,各个所述第一换能器阵列和所述第二换能器阵列

是线性的,并且所述第一换能器阵列和所述第二换能器阵列被布置为使得在所述第一换能器阵列面对加筋件的第一侧面时,所述第二换能器阵列面对所述加筋件的第二侧面。

用于桁条的无损检验设备

技术领域

[0001] 本公开内容总体上涉及无损检验设备和方法,以及更具体地,涉及用于检验由复合材料制成的结构体的方法和设备。

背景技术

[0002] 结构体的无损检验涉及在不伤害或者不必拆卸结构体的情况下就能够彻底地检查该结构。无损检验普遍用在飞行器制造工业中以针对飞行器结构体检验在结构体内部或者外部的任何类型的损伤或者缺陷。无损检验同样可以在初期制作飞行器的结构部件过程中使用。使用无损检验以确保部件被正确地制造而且没有杂质嵌入部件内。可以在结构体的制造期间和/或在结构体已经投入使用期间进行检验。

[0003] 可以对飞行器的复合加筋部件执行无损检验(NDI)。该加筋部件的加筋件可以由诸如碳纤维增强塑料(CFRP)的复合材料制成。附接至复合机身的复合桁条是上述加筋件的一个示例。

[0004] 加筋部件的质量可通过超声波检测来无损地确定。可以由包括一个或多个靴(其保持相应的超声换能器阵列)的探头来超声波检验加筋部件。在NDI期间,靴被压在加筋部件的各个外表面,换能器与加筋部件(例如,使用水)声耦合,并且探头沿着加筋部件的长度逐渐移动。随着探头移动,换能器阵列以脉冲/回声模式工作以便产生传播至加筋部件的脉冲超声波。反射的超声波返回到换能器阵列并由其探测,以便提供指示该加筋部件中存在裂缝、砂眼、剥离的数据。该换能器阵列获取的数据通常由计算机系统处理,并且经处理的数据可以经由计算机显示器向用户呈现。数据采集设备和数据处理软件可以被用来收集和显示检验数据,诸如在计算机显示器上将该数据显示为被检验的诸如帽形桁条的结构体的图像表示,并以该检验的相应的颜色和/或图形数据加以补充,以便允许由合格的检验员检查。

[0005] 一种典型的NDI探头具有诸如放置在被检验的表面附近的超声换能器的传感元件。在许多情况下,被检验的部件具有不同形状和定向的多个表面,所以需要利用多个换能器阵列。这使得对该结构体的检验能够更快和更有效地进行,藉此降低与该检验有关的成本。通常,不同的结构体是使用被专门设计以提供用于整个结构体的换能器排列(相对于该结构体的表面的定位与定向)及扫描覆盖的换能器阵列检验。

[0006] 航空和航天工业已经从技术工人的手工制造转移到使用自动化机器。尤其是在复合结构的无损检验领域。自动检验系统已经发展,其作为人工和半自动检验技术的替代物。这种系统通常采用操纵器(例如架空构架、多轴扫描仪、或者机器人)沿着被检验的部件扫描NDI末端执行器。对于诸如脉冲回波超声波检验的单侧检验方法,可以使用具有6个自由度的单臂机器人设备定位和移动NDI末端执行器(其附接到该臂的末端,诸如脉冲回波超声波检验设备)。被检验的部件可以被安装到可绕轴旋转的支撑体。因此,总共有八个自由度以供全面检验该部件。该八个自由度是由机器人控制器根据从被检验的部件的数字模型生成的轨迹来控制。

[0007] 已经采用各种系统用于检验具有两种转角辐条的梯形轮廓的翼盒加筋件(也称为“帽形桁条”)和机身。一些系统具有三个换能器,其分别用来检验转角以及连接转角的中心顶盖部分。各个换能器具有其自身的超声波设置技术以及它必须满足的其自身的NDI指标。来自三个换能器阵列的数据必须被结合在一起(stitched together)以提供连续的C扫描数据显示。这种用于检验桁条顶盖的三换能器系统可能具有较大、昂贵以及复杂的配置,并且对于检验圆形顶盖桁条不是最理想的。

[0008] 上述系统可以进一步装配用于下外辐条(LOR)和桁条侧面(SS)的NDI的四换能器阵列。这种七换能器系统中,机器人将会使扫描顶盖和转角的三个换能器阵列保持对准,但是用于LOR和SS的其他换能器阵列遭受阻碍它们定位的许多尺寸因素。它们必须适合以下变量:桁条高度、桁条厚度、机身铺层递减、不对称的桁条截面、以及由于加工问题(多孔性、树脂气泡等)产生的不规则表面情况。如果LOR和SS换能器阵列不能足够地调整至上述变量,必须要执行再次扫描。

[0009] 提供一种用于在减少或者消除再次扫描加筋件的同时在单次连续的NDI过程中检验圆形顶盖加筋件的自对准自动系统是有利的。

发明内容

[0010] 在以下详细地公开的主题涉及多传感器NDI系统,该系统具有用于与传感器组沿着具有圆形顶盖(在下文中为“圆形结构体”)的中空狭长结构体的长度移动协同地自对准NDI传感器的装置。为了说明性目的,描述了NDI传感器为相应的超声换能器阵列以及圆形结构体为附接到机身的圆形顶盖桁条的实施方式。然而,本文中的教导具有用于其它圆形结构体和任何其它适于复合材料的NDI的传感器的类型的应用。

[0011] 一种为诸如具有圆形构造的机身桁条的大辐条复合结构(例如由环氧树脂构成)的NDI提供的设备。根据本文中公开的实施方式,该设备包括具有圆柱形焦点的大辐条弯曲超声换能器阵列(例如,64个换能器元件),其提供了对圆形顶盖桁条的所谓的“顶盖”的完全覆盖。该换能器阵列具有在桁条的轴线方向和高度上调整,用于最佳设定。通过使用该最佳设定以及时间校正增益,可以在不需要调整或者改变该设定的情况下无损检验复合桁条的圆形顶盖。特别地,设备的设计允许一个设定能够用于扫描具有铺层改变(例如,从5个铺层到12个铺层)的圆形顶盖桁条的顶盖。这避免了必须调整增益或者具有用于顶盖的NDI的多个NDI步骤。这也在检验桁条的顶盖时将换能器的数量从三个减为一个。根据一个实现方式,探头使用不锈钢机械滑动装置用于精确对准,以保持换能器阵列对桁条的垂直性。探头同样具有降低的水柱,用于降低气泡结构中的水流。可在任何定向使用探头构造,便于扫描复合部件。探头允许在不必旋转桁条的情况下进行该复合结构体的NDI。

[0012] 除具有用于圆形顶盖桁条的上顶盖辐条(UCR)的NDI的大辐条凹曲线换能器阵列之外,本文中公开的实施方式进一步包括用于下外辐条(LOR)的NDI的两个小辐条凸曲线换能器阵列,以及用于桁条侧面(SS)的NDI的两个线性换能器阵列。五个换能器阵列由相应的柔性件支撑,该组件有助于适当调整换能器阵列的位置(即,定位与定向)。相应的换能器阵列以及它们的柔性支撑装置在本文中将称作换能器组件。UCR换能器组件被可枢轴转动地耦接至轭,轭转而附接到主结构板。LOR和SS换能器组件安装在主结构板的相应的转角处。轭和主结构板两者都连接至机器人接口板/组件。

[0013] 在圆形顶盖桁条的NDI期间,机器人将保持UCR换能器阵列对准。本文中公开的LOR和SS换能器组件能够适合以上论述的桁条尺寸、机身铺层递减、非对称桁条截面、以及由于加工问题(多孔性、树脂气泡等)造成的不规则表面情况的变化。更具体地说,LOR和SS换能器组件包括使LOR和SS换能器阵列能够适合上述变量的内置定心机构。

[0014] 本文中公开的主题的一个方面是一种设备,包括:支撑结构体;大轴,可枢轴转动并可滑动地耦接到支撑结构体;弹性联轴节,附接到大轴的一端;换能器支撑体,附接到弹性联轴节;由换能器支撑体支撑的换能器阵列;以及附接到换能器支撑体的定心机构。

[0015] 根据一个实现方式,定心机构包括:第一和第二小轴,由换能器支撑体在它们的相对端支撑;第一和第二枢轴/滑动装置机构,分别可滑动地耦接到第一和第二小轴;以及第一和第二四连杆定心器组件,分别可枢轴旋转地耦接到第一和第二枢轴/滑动装置机构。第一枢轴/滑动装置机构包括第一轴承和第一枢轴销,第二枢轴/滑动装置机构包括第二轴承和第二枢轴销,第一和第二小轴分别可在第一和第二轴承上滑动,以及第一和第二四连杆定心器组件分别被可枢轴旋转地耦接到第一和第二枢轴销。各个第一和第二四连杆定心器组件包括分别可枢轴旋转地耦接到第一和第二枢轴/滑动装置机构的第一和第二上定心器,以及分别可枢轴旋转地耦接到第一和第二上定心器并可枢轴旋转地耦接到彼此的第一和第二下定心器。定心机构进一步包括可滚动地耦接到第一和第二下定心器的相应多个滚动元件。换能器阵列被设置在第一和第二四连杆定心器组件之间。设备可以进一步包括可枢轴转动地并可滑动地耦接到支撑结构体的第二大轴,附接到第二大轴的一端的第二弹性联轴节,附接到第二弹性联轴节的第二换能器支撑体,由第二换能器支撑体支撑的第二换能器阵列,以及附接到第二换能器支撑体的第二定心机构。有利地,设备是以下所述设置,其中,第一换能器阵列具有凹曲度,第二换能器阵列是线性的,以及第一和第二换能器阵列被设置为使得在第一换能器阵列面对加筋件的下外辐条时,第二换能器阵列将会面对加筋件的一侧。有利地,设备是以下所述设置,其中,第一和第二换能器阵列都具有凹曲度,以及第一和第二换能器阵列被设置为使得在第一换能器阵列面对加筋件的第一下外辐条时,第二换能器阵列将会面对加筋件的第二下外辐条。有利地,设备是以下所述设置,其中,第一和第二换能器阵列都是线性的,以及第一和第二换能器阵列被设置为使得在第一换能器阵列面对加筋件的第一侧时,第二换能器阵列将会面对加筋件的第二侧。

[0016] 公开的主题的另一个方面是一种设备,包括:具有轴的第一支撑结构体,第一支撑结构体包括被设置为与轴垂直的板,以及固定耦接到该板并且设置在长方形的相应转角处的第一至第四套筒;第一至第四轴承,分别位于第一至第四套筒中;第一至第四大轴,分别可枢轴转动地并可替换地耦接到第一至第四轴承;第一至第四弹性联轴节,分别附接到第一至第四大轴的相应端;第一至第四换能器支撑体,分别附接到第一至第四弹性联轴节;第一至第四换能器阵列,分别附接到第一至第四换能器支撑体;以及第一至第四定心机构,分别附接到第一至第四换能器支撑体。

[0017] 根据一个实现方式,第一至第四定心机构都包括:第一和第二小轴,由第一至第四换能器支撑体的相应之一在它们相对端支撑;第一和第二枢轴/滑动装置机构,分别可滑动地耦接到第一和第二小轴;以及第一和第二四连杆定心器组件,分别可枢轴转动地耦接到第一和第二枢轴/滑动装置机构。每一个第一枢轴/滑动装置机构分别包括第一轴承和第一枢轴销,以及每一个第二枢轴/滑动装置机构分别包括第二轴承和第二枢轴销,第一和第二

小轴分别在第一和第二轴承中可滑动,以及第一和第二四连杆定心器组件分别被可旋转的耦接到第一和第二枢轴销。每一个第一和第二四连杆定心器组件包括分别可枢轴转动地耦接到第一和第二枢轴/滑动装置机构的第一和第二上定心器,以及分别可枢轴转动地耦接到第一和第二上定心器并可枢轴转动地耦接到彼此的第一和第二下定心器。第一至第四换能器阵列可以分别设置在相应的第一和第二四连杆定心器组件之间。

[0018] 每一个第一和第二换能器阵列具有凹曲度,每一个第三和第四换能器阵列是线性的,以及第一至第四换能器阵列被设置为使得在第一换能器阵列面对加筋件的第一外辐条时,第二换能器阵列将会面对加筋件的第二外辐条,第三换能器阵列将会面对加筋件的第一侧,以及第四换能器阵列将会面对加筋件的第二侧。

[0019] 设备还可以包括:固定地耦接到第一支撑结构体的第二支撑结构板的第二支撑结构体;可枢轴转动地耦接到第二支撑结构体的第五换能器支撑体;以及由第五换能器支撑体支撑的第五换能器阵列,其中,第五换能器阵列具有足够长度的凹曲度,以便在第一换能器阵列面对加筋件的第一外辐条时能够对加筋件的圆形顶盖进行探询。

[0020] 另一方面是一种系统,包括:蒙皮结构体;附接到蒙皮结构体的加筋件,其中,加筋件由复合材料制成并且包括顶盖,连接至顶盖的第一和第二侧面,以及分别连接至第一和第二侧面的第一和第二底外辐条;包括臂的操纵器;以及耦接到臂的超声波检验探头。超声波检验探头包括:耦接到操纵者的臂的探头支撑结构体,探头支撑结构包括平板,第一至第四支撑元件固定地耦接到该板并且设置在长方形的相应的转角处;以及第一至第四换能器组件,可枢轴旋转地并可替换地耦接到第一至第四支撑元件,每一个第一至第四换能器组件,包括相应的换能器支撑体,由相应的换能器支撑体支撑的相应的换能器阵列,以及附接到相应的换能器支撑体的相应的定心机构。第一和第二换能器组件的换能器阵列具有凹曲度并且分别声耦合到加筋件的第一和第二下外辐条,第三和第四换能器组件的换能器阵列是线性的并且分别声耦合到加筋件的第一和第二侧面。

[0021] 在前段中描述的系统还可以包括可枢轴转动地耦接到探头支撑结构体的第五换能器组件,第五换能器组件包括声耦合到加筋件的圆形顶盖的换能器阵列,第五换能器阵列具有足够长度的凹曲度,以能够从加筋件的第一侧或附近到第二侧或附近对圆形顶盖进行探询。

[0022] 又一个方面是一个系统,包括:蒙皮结构体;附接到蒙皮结构体的加筋件,其中,加筋件由复合材料制成并且包括圆形顶盖,连接至圆形顶盖的第一和第二侧面,以及分别连接至第一和第二侧面的第一和第二下外辐条;包括臂的操纵器;以及耦接至臂的超声波检验探头。超声波检验探头包括:耦接至操纵器的臂的探头支撑结构体;以及可枢轴转动地耦接至探头支撑结构体的第一换能器组件,第一换能器组件包括声耦合至加筋件的圆形顶盖的第一换能器阵列。第一换能器阵列具有足够长度的凹曲度,以能够从加筋件的第一侧或附近到第二侧或附近对圆形顶盖进行探询。在一个实现方式中,探头支撑结构体包括耦接至操纵器的臂的主结构板和附接到主结构板的轭,以及可枢轴转动地耦接至轭的第一换能器阵列。

[0023] 系统还可以包括第二换能器组件,该组件包括可枢轴转动地并可滑动地耦接至探头支撑结构体的大轴,附接到大轴的一端的弹性联轴节,附接到弹性联轴节的换能器支撑体,由换能器支撑体支撑的第二换能器阵列,以及附接到换能器支撑体的定心机构。在一个

实现方式中,定心机构包括:第一和第二小轴,由换能器支撑体在它们的相对端支撑;第一和第二枢轴/滑动装置机构,分别可滑动地耦接到第一和第二小轴;以及第一和第二四连杆定心器,分别可枢轴转动地耦接到第一和第二枢轴/滑动装置机构。第一枢轴/滑动装置机构可以包括第一轴承和第一枢轴销,以及第二枢轴/滑动装置机构可以包括第二轴承和第二枢轴销,第一和第二小轴分别在第一和第二轴承中可滑动,以及第一和第二四连杆定心器组件分别被可枢轴转动地耦接到第一和第二枢轴销。每一个第一和第二四连杆定心器组件可以包括分别可枢轴转动地耦接到第一和第二枢轴/滑动装置机构的第一和第二上定心器,以及分别可枢轴转动地耦接到第一和第二上定心器并可枢轴转动地耦接到彼此的第一和第二下定心器。第二换能器阵列可具有凹曲度并且声耦合至加筋件的第一下外辐条,或者第二换能器阵列是线性的并且声耦合至加筋件的第一侧面。可以为加筋件的圆形顶盖、侧面和下外辐条的NDI提供总共五个换能器阵列。

[0024] 以下公开了用于圆形顶盖加筋件的NDI的系统的其它特征以及方法。

附图说明

[0025] 图1是示出了包括附接到蒙皮的梯形桁条的结构体的立体图的示意图。

[0026] 图2是示出了根据实施方式的从位于圆形顶盖加筋件的NDI探头的数字模型中提取的视图的示意图。

[0027] 图3是示出了从与图2从其提取的同一数字模型中自探头下方的有利位置观察的另一个视图的示意图。

[0028] 图4和图5是示出了图2中描述的NDI探头的相对端的正视图的示意图。探头的一端包括第一对换能器组件,柔性地支撑用于加筋件的侧面的NDI的相应的线性换能器阵列(在图4中示出);探头的另一端包括第二对换能器组件,柔性地支撑用于加筋件的下外辐条的NDI的相应的弯曲换能器阵列(在图5中示出)。

[0029] 图6是示出了外加在图2中描绘的圆形顶盖加筋件的图5中呈现的相同的正视图的示意图。

[0030] 图7A和图7B是示出了根据图2中描绘的实施方式的从SS换能器组件的下部的不同有利位置观察的相应视图的示意图。

[0031] 图8是示出了根据在图2中描绘的实施方式的LOR换能器组件的视图的示意图。

[0032] 图9是示出了根据在图2中描绘的实施方式的枢轴转动地耦接至轭的UCR换能器组件的一个视图的示意图。

[0033] 图10是示出了在图2中描绘的UCR换能器组件的一个视图的示意图,但是省略UCR换能器组件的下壳(在图3中示出)。

[0034] 图11是示出了图10中所示的结构体的截面图的示意图。

[0035] 图12是示出了线性位置传感器的顶视图的示意图。四个这种线性位置传感器被附接到探头支撑结构体,用于检验换能器组件相对于探头支撑结构体的位移。

[0036] 图13A是示出了与图12中描绘的线性位置传感器协同使用的销致动器的正视图的示意图。

[0037] 图13B是示出了图13A中描绘的销致动器的截面图的示意图。

[0038] 图14是根据实施方式的无损检验系统的立体图,该系统包括由机器人携带并且与

数据采集系统通信的探头。

[0039] 图15是飞行器制造和服务方法的流程图。

[0040] 图16是示出飞行器的系统的方框图。

[0041] 将会在下文中参考附图,其中,在不同附图中相似的元件具有相同的标号。

具体实施方式

[0042] 现在将描述用于对飞行器机身的圆形顶盖复合桁条进行检验的无损检验装置和方法的实施方式。然而,本文中公开的装置和方法同样可以用在需要无损检验的包括其它具有圆形顶盖的延伸的复合材料桁条的相似应用中。

[0043] 对于帽形桁条的检验通常需要诸如脉冲回波超声 (PEU) 检验的一侧检验技术。然而,帽形桁条的形状使检验复杂化。本文中公开的帽形桁条检验装置能够对(在从截面观察时)具有圆形轮廓的帽形桁条进行脉冲回波检验。公开的实施方式被配置为扫描帽形桁条的两侧以及顶截面以便允许一次通过(single-pass)检验。换能器阵列被策略地放置并定向以确保对整个帽形桁条的全检验。用于检验传感器的支撑结构体(也称为换能器支撑体)可以针对对应于帽形桁条的预期的形状和尺寸的换能器阵列的特定位置和定向来制造。

[0044] 图1是具有两个帽形桁条110的结构体的立体图。结构体包括蒙皮112,单独或者连接的帽形桁条110附接至蒙皮以对总体结构加筋。每个帽形桁条110是梯形结构,包括分别在转角124和126处连接至顶盖114的有斜度的侧面116和118。每个帽形桁条110在翼缘120和122处附于蒙皮112,其中,翼缘在相应转角128和130处连接至帽形桁条的有斜度的侧面。为了检验具有图1中所示的结构的帽形桁条,已知的一个方法是使用一组七个换能器阵列:一个检验中心顶盖部分114;两个检验有斜度的侧面116和118;两个检验顶盖转角124和126;以及两个检验转角128和130。应当理解在本文中使用的术语“转角”指代辐射状表面。中心顶盖部分114可以是连接顶盖转角124和126的平坦表面。

[0045] 根据本文中的教导,提供一种设备用于检验具有圆形顶盖(在下文中为“圆形顶盖桁条”)的桁条,意味着桁条的有斜度的侧面由连续的弯曲顶盖连接。例如,连续的弯曲顶盖的轮廓可以是圆形、椭圆形、抛物面或者其它的曲线类型。

[0046] 图2描绘了根据一个实施方式的位于圆形顶盖桁条4上的超声波检验探头18。圆形顶盖桁条4附接到蒙皮结构体2(例如,机身蒙皮)并用来对该结构体加筋。圆形顶盖桁条4是由复合材料制成并且包括顶盖、连接至顶盖的第一和第二有斜度的侧面、以及分别连接至第一和第二侧面的第一和第二下外辐条(lower outer radii)。探头18可以被安装在计算机控制的操纵器(未示出)的臂上,用于在纵向扫描圆形顶盖桁条4(为了说明性目的,假定延伸的圆形顶盖桁条4是直的)。

[0047] 根据在图2中描绘的实施方式,超声波检验探头18包括耦接至操纵器臂(未示出)的探头支撑结构体32,可枢轴转动地并可置换地耦接至探头支撑结构体32的四个换能器组件50a-50d。探头支撑结构体32包括矩形主结构板34,以及在相应的支撑脚38a-38d上的四个支撑套筒36a-36d。支撑脚38a-38d通过相应的角梁40被连接到主结构板34的相应的转角,以及通过多个(即,四个)侧梁42被连接到相邻的支撑脚。主结构板34具有大的圆形中心孔44和四个较小的圆形转角孔46。

[0048] 在图2描绘的实施方式中,主结构板34、支撑套筒36a-36d、支撑脚38a-38d、角梁

40、以及侧梁42作为一个单块部件整体形成。然而,探头支撑结构体32可以由单独形成的零件组合而成。

[0049] 如在图2中所示,换能器组件50a-50d通过相应的套筒轴承48可枢轴转动地并可移置地耦接至支撑套筒36a-36d。换能器组件50a和50b(在下文中为“SS换能器组件”)包括相应的被定位用来检测圆形顶盖桁条4的各个有斜度的侧面的线性换能器阵列(在图2中不可见);换能器组件50c和50d(在下文中为“LOR换能器组件”)包括相应的具有凹曲度并被定位用于检测圆形顶盖桁条4的相应的下外辐条的换能器阵列(在图2中不可见)。为了有助于上述检测,通过将水供给在检验过程中将换能器阵列与圆形顶盖桁条4分离的相应的水柱(在图2中不可见),换能器阵列50a-50d被声耦合至圆形顶盖桁条4的面对部分。

[0050] 探头18进一步包括相对于探头支撑结构体32可枢轴旋转的换能器组件100(在下文中为“UCR换能器组件”)。(在图2中仅示出UCR换能器组件100的一部分。)UCR换能器组件100包括被定位为使能与桁条4的圆形顶盖声耦合的换能器阵列(在图2中不可见)。UCR换能器阵列100具有足够长度的凹曲度,以便从桁条4的一个有斜度的侧面或附近到另一个有斜度的侧面或附近来检验圆形顶盖。

[0051] 在图2描绘的实施方式中,UCR换能器组件100可枢轴旋转地耦接至支架52。支架52被附接到横杆(在图2中不可见),该横杆转而附接到主结构板34。(稍后将参考图9描述关于形成轭的支架和横杆的更多细节。)

[0052] 图3是与从中提取图2的数字模型相同的模型的另一示图,只不过是从小探头下方的有利位置观察。图3中省略了上述支架,并且在图3中示出的UCR换能器组件的仅有部件为下壳74。下壳包括一对被设计为呈角度设置的滚动部件76和78,以匹配被检验的圆形顶盖加筋件的有斜度的侧面的角度。各个滚动部件76、78包括相应的多个轴承井(bearing well)75。未示出通过轴被可滚动地安装在轴承井75中的滚珠轴承。滚珠轴承被定位,使得随着探头沿着加筋件移动,其将会在圆形顶盖加筋件的相应的有斜度的侧面上平行滚动。下壳74的底表面具有允许下壳74沿着圆形顶盖桁条移动的圆形形状。下壳74包括位于凹曲线的换能器阵列(在图3中不可见)下方的水柱80,用于随着滚动轴承在加筋件的有斜度的侧面滚动来检验上顶盖辐条。

[0053] 返回图2,每一个换能器组件50a-50d包括相应的沿着自身的轴线相对于探头支撑结构体32可移置并可绕该轴枢轴旋转的轴60。各个轴60在相应的套筒轴承48中滑动并滚动。轴60通过相应的弹性联轴节62以及相应的换能器支撑体64或者66耦接至相应的定心机构68。各个弹性联轴节62可以采用以下形式,具有螺旋形槽嵌入铝管以便在中心部分中形成可作为弹簧的螺状旋管的铝棒。通过耦接的中心部分允许的弹性能够适应附接的轴60和换能器支撑体64或66之间的角、平行以及轴偏差。上述的弹性联轴节可从伊利诺伊州唐纳斯哥夫(Downers Grove)市的乐兆(Lovejoy)公司购买。

[0054] 现在将参考附图4和5更详细的描述换能器组件50a-50d,其中,图4和5是图2中描述的NDI探头的相对端的正视图。探头(在图4中所示)的一端配备有一对换能器组件50a、50b,用于柔性地支撑相应的用于加筋件的侧面的NDI的线性换能器阵列;探头(在图5中示出)的另一端配备有一对换能器组件50c、50d,用于柔性地支撑用于加筋件的下外辐条的NDI的相应的凸曲线换能器阵列。

[0055] 参照图4,各个换能器组件50a和50b进一步包括相应的换能器支撑体64。各个换能

器支撑体64包括相应的喷水嘴连接86以及具有相应的形成在其中的水柱82(在图3中示出)的相应的靴70。根据在图4中所示的实施方式,喷水嘴连接和靴与支撑定心机构的换能器支撑体的其它零件整体形成。在替代方案中,具有功能等效构造的换能器支撑体可以从独立部件组合。喷水嘴连接86与水柱流路连通,使水能够供应到水柱,用于在检验过程中将相应的线性超声换能器阵列71声耦合至加筋件的相应的有斜度的侧面。线性超声换能器阵列71分别安装在靴70内。电缆连接器98(其从线性超声换能器阵列71的顶端伸出)有助于相应的线性超声换能器阵列71电连接至相应的电缆(未在图4中示出)。

[0056] 参照图5,各个换能器组件50c和50d进一步包括相应的换能器支撑体66。各个换能器支撑体66包括相应的喷水嘴连接86和具有相应的水柱84(在图3中示出)形成在其中的相应的靴72。喷水嘴连接86与水柱具有流路连通,在检验过程使水能够供应到水柱中用于将相应的凹曲线换能器阵列(在图中不可见)声耦合到加筋件的相应的下外辐条。顶盖和顶盖闩在靴72容纳水并且减少水流。凹曲线换能器阵列分别安装在靴72的内部。在靴72的一侧伸出的电缆连接器98有助于相应的凹曲线换能器阵列电连接到相应的电缆(在图5中未示出)。

[0057] 再次参考图2,各个换能器组件50a和50b进一步包括附接到相应的换能器支撑体64的相应的定心机构68。根据在图4、7A和7B中所示的实施方式,各个定心机构68包括:第一和第二小轴90,在它们相对两端由换能器支撑体64的相应的对置的横向构件支撑;第一和第二枢轴/滑动装置机构88,分别可滑动地耦接至第一和第二小轴90;以及第一和第二四连杆94a、94b、96a、96b定心器组件,分别可枢轴转动地耦接至第一和第二枢轴/滑动装置机构88。此外,在相应的换能器支撑体64的最高挺杆与相应的枢轴/滑动装置机构88之间延伸的轴90的部分被相应的压缩弹簧92包围,压缩弹簧驱使枢轴/滑动装置机构88远离换能器支撑体64的最高挺杆。

[0058] 如在图7A和7B中所示,各个枢轴/滑动装置机构88包括轴承102、枢轴销106以及支撑轴承102和枢轴销106的一端的轴承支撑体104。更具体地说,轴承支撑体104可以利用具有两个部分的第一圆柱内孔制造:第一部分具有相对大的直径,轴承102位于其中,以及第二部分具有相对小的直径用于相应的小轴90穿过的通道。轴承支撑体104进一步包括接纳相应的枢轴销106的一端的第二圆柱内孔。在一个实施方式中,枢轴销106的轴线垂直于轴90的轴线。根据该构造,各个轴承102被移置地耦接至相应的轴90,允许枢轴/滑动装置机构88沿着轴90上下滑动。

[0059] 尽管已经参考其中示出了换能器组件的下部承载用于检验加筋件侧面的线性换能器阵列的图7A和7B描述了枢轴/滑动装置机构88,但是合并承载用于检验下外辐条的凸曲线换能器阵列的换能器组件中的枢轴/滑动装置机构可具有相同的构造。

[0060] 图7A和7B同样示出了承载线性换能器阵列的换能器组件的四连杆定心器组件的结构。承载用于检验下外辐条的凸曲线换能器阵列的换能器组件的四连杆定心器组件具有相似而不相同的构造。各个换能器组件具有两个四连杆定心器组件。在扫描过程中当探头沿着加筋件的长度移动时,用于探头的四个转角处的四个换能器组件的四连杆定心器组件以相同的原理运行。

[0061] 各个四连杆定心器组件包括一对上部定心器94a、94b和一对下部定心器96a、96b。上部定心器94a、94b的上端被可枢轴转动地耦接至相应的枢轴销106(见图7B)。上部定心器

94a、94b的下端分别可枢轴转动地耦接至下部定心器96a、96b的上端(见图7A)。下部定心器96a、96b的下端枢轴转动地耦接至彼此(见图7A)。各个线性超声换能器阵列71被设置在相应的换能器组件的第一和第二四连杆定心器组件之间。这些可枢轴转动的耦接产生可调整的四边形定心结构,其中,下部定心器94a和94b之间的角度将会适应加筋件翼缘和加筋件的对侧上的有斜度的侧面之间的角度,使换能器阵列能够与平分角对齐。定心机构进一步包括相应的数个滚动元件140,可滚动地耦接至第一和第二下部定心器96a和96b(见图7A)。在探头沿着加筋件的长度运动过程中桁条改变角度和/或厚度的情况下,定心机构提供独立的角度对准。

[0062] 返回图4,枢轴/滑动装置机构88的动作允许机身IML至桁条侧角的可变性。这允许机身的可变辐条,原因在于机身不是恒定辐条结构。同样可沿着机身结构的长度变化。利用枢轴/滑动装置机构的定心动作同样将各个线性换能器阵列保持在相应的桁条的侧面的正确的位置上,用于SS换能器组件50a和50b。如图6中所示,该机构同样保持LOR换能器组件50c和50d的各个凹曲线换能器阵列对准加筋件的相应的下外辐条,以便保证良好的数据覆盖。

[0063] 图8示出了根据图2中描述的实施方式的LOR换能器组件50C。LOR换能器组件50C包括轴60,其可相对于探头支撑结构体32沿着它自身的轴移置和枢轴转动(在图2中示出)。轴60在套筒轴承48中滑动和旋转。轴60的旋转被限位器122限制,当达到轴旋转极限(例如,±5-10度)时,其将会撞击探头支撑结构体32。轴60通过弹性联轴节62和换能器支撑体66耦接至一对四连杆94a、94b、96a、96b定心器组件。由弹性联轴节62实现的弹性可以适应轴60和换能器支撑体66之间的角度、平行和轴向失配。

[0064] 参考回图2,各个轴60的轴向位移由附在相应的支撑脚38a-38d上的相应的线性位置传感器124测量。线性位置传感器124可以采取软电位计的形式。具有拧进形成在其中的孔的压力触点的相应配件120附接到相应的轴60的上端。各个线性位置传感器124感应相应配件120的压力触点的移动距离。

[0065] 如图12中所示,线性位置传感器124是三线系统,在聚酯基板126上具有两个阻抗输出通道和集电极电流。通过将压力触点按下至顶电路128,线性位置传感器124产生电输出指示压力触点的线性位置。由于压力触点附于轴,传感器输出同样表示轴的轴向位移。

[0066] 根据实施方式,压力触点采取图13A和13B中示出的销致动器150的形式。销致动器150包括具有外部螺纹154和圆形圆柱内孔156的壳体。销包括在内孔156中可滑动的栓160,以及伸出壳体并与线性位置传感器接触的圆顶152。随着轴轴向位移,圆顶152接触顶端电路128(见图12),产生传感器输出信号指示轴的增量轴向位移。各个轴60(见图2)的轴向位移可以以这种方式检测。

[0067] 设定过程中,包围各个轴的一部分的相应的弹簧(未示出)的压力可以依赖线性位置传感器的输出进行调整。可以选择各个具有不同弹簧常数及长度的弹簧,以便得到各个轴的最佳设定和位置,即,探头在桁条上的位置。

[0068] 除了检验桁条的有斜度的侧面和底外辐条之外,在图2中示出的探头18能够同时地检验桁条的圆顶盖。图9示出了根据实施方式的UCR换能器组件的各种部件。UCR换能器组件由包括附接到横杆54的支架52的轭56支撑。轭56(见图9)以及主结构板34(见图2)都连接至机器人接口板/组件(未示出)。机器人接口板/组件设置在机器人末端执行器的远端(稍

后将参考图14描述)。

[0069] UCR换能器组件包括下壳74(先前参考图5描述的),其在相应内表面具有滚珠轴承用于滑过桁条顶盖。UCR换能器组件进一步包括耦接至下壳74的上壳体(零件108和110)。通过可螺纹地耦接到从下壳74向上突出的翼缘的螺栓142,上壳体可以相对于下壳体横向移动。

[0070] 如可在图10和11中所见,凸曲线换能器阵列112被附接到并且位于两个固定组件114和116之间,固定组件114和116借助于相应的滑动装置134和136可分别相对于上壳体部件108和110滑动。这使换能器阵列112的竖直位置能够被调整。不锈钢滑动装置被用来提供低磁滞现象以及精确的对准。上壳体零件108和110的下部形成水柱138,其通过在上壳体零件110中形成的歧管140连接到水源。换能器阵列112投入水柱138中,水柱在检验桁条的圆形顶盖的过程中充满了水。

[0071] 根据在图11中示出的实施方式,换能器阵列112的竖直位置可以通过扭动螺栓130手动调整,该螺栓具有在上壳体零件110中形成的无螺纹内孔中的无螺纹部分,以及在固定组件116中形成的螺纹内孔中的螺纹部分。

[0072] 根据一种替换实施方式,换能器阵列112的竖直位置的调整可以通过以电机驱动的导螺杆替代螺栓130来自动化,一种示例已在美国专利第8,082,793中提供。

[0073] 根据一个实现方式,用于桁条的圆形顶盖的NDI的凸曲线换能器阵列可以是具有圆柱形焦点的两英寸的64元件曲线阵列;用于桁条侧面的NDI的线性换能器阵列可以是16元件平面线性阵列;以及用于桁条的下外辐条的凹曲线换能器阵列可以是具有10.2mm半径和90度角的16元件半径阵列。最先的两种类型的阵列可以从通用电气检测科技公司(GE Inspection Technologies)供应;第三种类型的阵列可以从奥林巴斯(Olympus)供应。

[0074] 图14示出了一种用于检验结构体20(例如机身)的检验系统。检验系统包括机器人10、数据采集系统14、以及探头18,该探头安装至机器人臂12末端的机器人末端执行器16上并与数据采集系统14通信。(换言之,探头18通过机器人末端执行器16耦接至机器人臂12。)随着探头18沿着结构体20移动时,数据被发送到数据采集系统14用于处理。通常,机器人10被自动控制以将探头18在结构体20附近移动,同时数据采集系统14产生结构体20的表面的图像以便映射探头的响应。机器人10可以被用来检验在各种需要检测结构体中的缺陷或者瑕疵的诸如飞行器、汽车、或者建筑业的工业中的任意结构体。特别地,如果探头18是图2中所示的类型,机器人10可以被用来检验在图1和2中所示的类型的加筋件。

[0075] 机器人10具有多轴移动能力并且使用软件支持以产生三维轮廓用于零件的测量和检验。特别地,在图14中所示的机器人10包括底座28、回转车22、摇摆臂24、机器人臂12以及末端执行器16,其中,部件通过多个枢轴26被可旋转耦接。这些部件的综合提供了若干自由度,这转而使探头18能够移动到不同位置 and 不同方向。机器人10包括一个或多个在每一个枢轴26处或以其他方式与其相关的位置传感器30,其提供位置数据(三维空间中的X、Y、Z)到数据采集系统14用于准确地定位探头18,示例可以在美国专利第7,448,271中找到。例如,在图14中所示的机器人10包括六个枢轴26,各个枢轴包括共同地定义探头18的三维位置的位置编码器30。探头18提供表示结构体20的NDI数据。因此,机器人10使用在结构体20检测过程中获取的位置数据和NDI数据提供任何缺陷的准确位置。

[0076] 尽管可以使用任何机器人或者其它能够携带探头18并与数据采集系统14通信的

操纵器,具有在图2中所示的探头的机器人10的示例可以采用由德国奥格斯堡的库卡工业机器人集团(Kuka Roboter GmbH)制造的KR-150型机器人。此外,机器人10可以包括用于获取位置数据的各种传感器30(例如一个或多个),并且传感器30可以位于诸如紧邻探头18的不同位置。

[0077] 数据采集系统14能够基于通过位置传感器30和探头18收集的数据生成各种图像,包括复合形状结构体20的A-扫描、B-扫描、以及C-扫描图像。此外,数据采集系统14能够基于通过位置传感器30和探头18获取的数据生成三维点云。因此,位置数据流可以映射至NDI数据流以产生点云。NDI数据可以连同其它信息一起包括,关于缺陷、不规则、或者结构体20中的其它不完善的数据。

[0078] 数据采集系统14通常包括处理器或者受成像软件控制来运行的相似计算装置,使得结构体20中的任何缺陷可以呈现在显示器上。处理器可以由诸如台式机、笔记本电脑、或者便携式处理设备的计算机,能够处理由位置传感器30和探头18生成的数据并且创建能够在诸如监视器或者其它观察装置的显示器上显示的扫描数据图像实现。数据采集系统14产生数据的图像并且允许用户存储和编辑先前创建的图像。因此,图像的永久记录可以被留到将来使用或者保存记录。然而,应理解的是数据采集系统14不必产生图像,因为数据采集系统可以数字收集并分析位置和NDI数据,技术人员可以基于数据表征并定位缺陷。

[0079] 机器人10通常与数据采集系统14通信,以处理由位置传感器30和探头18所聚集的数据并显示所处理的数据。在许多情况下,通信线缆(在图14中未示出)在机器人10和数据采集系统14之间传输数据。在其他实施例中,数据可以通过无线通信在机器人10和数据采集系统14之间传输。机器人10可以直接的或者间接的(诸如经由网络)连接至处理器。在进一步实施方式中,数据采集系统14可以位于靠近机器人10,使得机器人和数据采集系统之间的远程连接是不必要的。此外,应理解的是,数据采集系统14可以与机器人10结合,使得数据可以通过机器人收集和处理。

[0080] 可以使用其它类型的末端执行器定位系统,包括线性笛卡尔轴平台、转动轴平台、以及使用平行运动学的斯图尔特平台的组合。特定示例包括台架、其它类型的机器人、轨道机器人、post-mill型平台、以及斯图尔特平台(例如六轴平台)。在各个这些实施例中,末端执行器定位系统被配置为传递选择的末端执行器到一个位置或者沿着一个路径传递选择的末端执行器以执行它的功能,同时满足性能要求(例如角度、速度、加速度、坚硬度、移动范围、实用性、连结快速释放)。

[0081] 以上公开的系统和方法可以用于如图15中所示的飞行器制造和服务方法200,用于检验如图16中所示的飞行器202的零件。在预生产过程中,示例性方法200可以包括飞行器202的规格和设计204以及材料采购206。在生产过程中,进行组件和部件制造208以及飞行器202的系统集成210。此后,飞行器202可以通过验证和交付212以便投入服役中214。当在对于用户的服务中,规划飞行器202进行日常保养和服务216(同样可以包括变更、重配置、整修等)。

[0082] 方法200的每一处理可以通过系统集成商、第三方、和/或操作者(例如,用户)执行或者实现。为描述性目的,系统集成商可以非限制性地包括任意数量的飞行器制造公司和主系统次承包者;第三方可以非限制性地包括任意数量的厂商、次承包者、以及供应商;以及操纵器可以是航空公司、租赁公司、军队、服务组织等。

[0083] 如图16中所示,通过示例性方法200制造的飞行器202可以包括具有多个系统220和内部部件222的机体218(例如包括机身、框架、加筋件、机翼翼盒等)。高级系统220的示例包括以下一个或多个:推进系统224、电气系统226、液压系统226、以及环境控制系统230。任意数量的其他系统可以包括在内。尽管示出了航空航天示例,本文中公开的原理可以应用于其它工业,诸如汽车工业。

[0084] 本文中体现的设备和方法可以是在任何制造和服务方法200中的一个或多个步骤中采用。例如,生产过程208中制造或者组合的部件或者子配件可以使用本文中公开的检验系统检查。同样一个或多个设备实施方式、方法实施方式、或者其组合,可以在生产阶段208和210过程中利用,例如通过实质上加快飞行器202的组装或者降低飞行器202的成本。同样,一个或多个设备实施方式、方法实施方式、或者其组合,可以当飞行器202在使用中时利用,例如在维修与使用216过程中。

[0085] 尽管已经参考各种实施方式描述了NDI探头,将通过本领域中的技术人员理解其各种改变以及可替代的等同物可以在不偏离本文中的教导的情况下实现。此外,可以构成许多变形以便在不偏离本文中的教导的情况下适应一种具体的情形。因此,本文的意图是权利要求不限于本文中公开的具体实施方式。

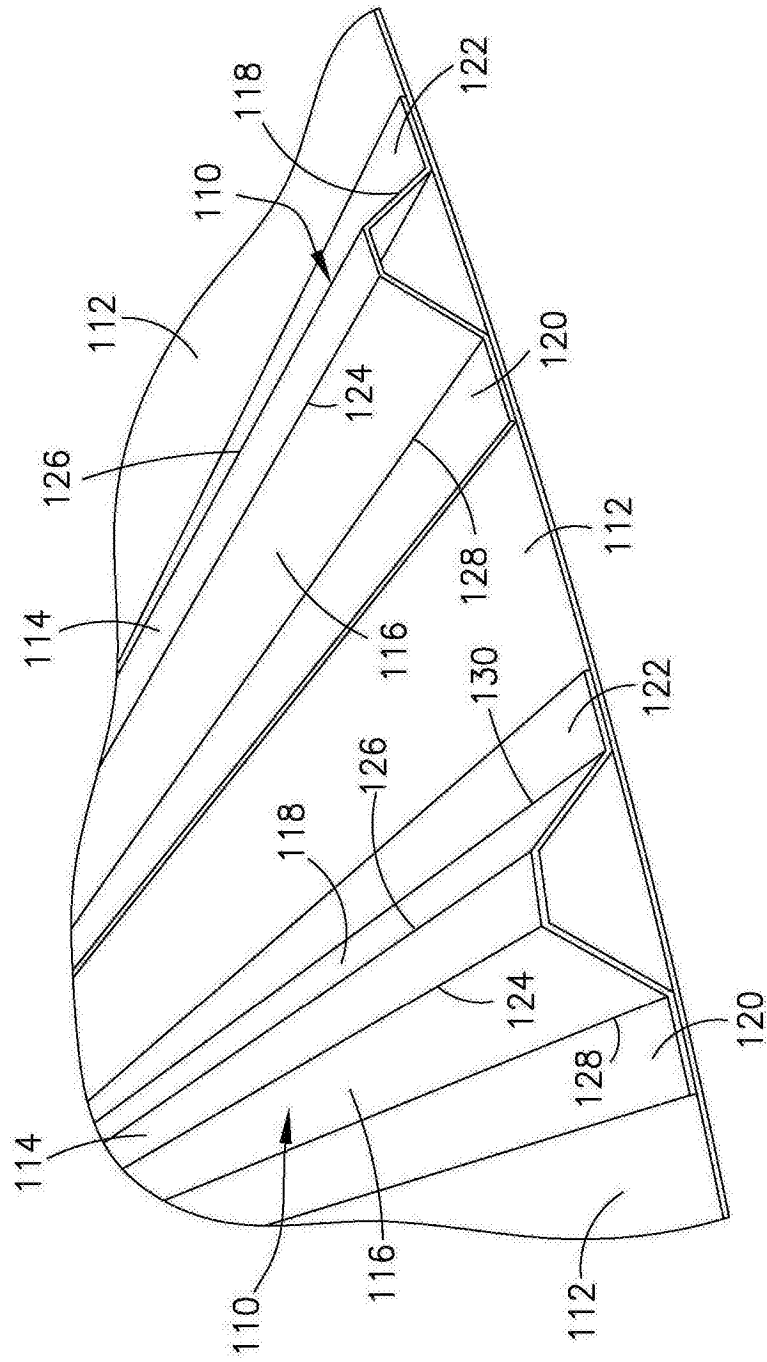


图1

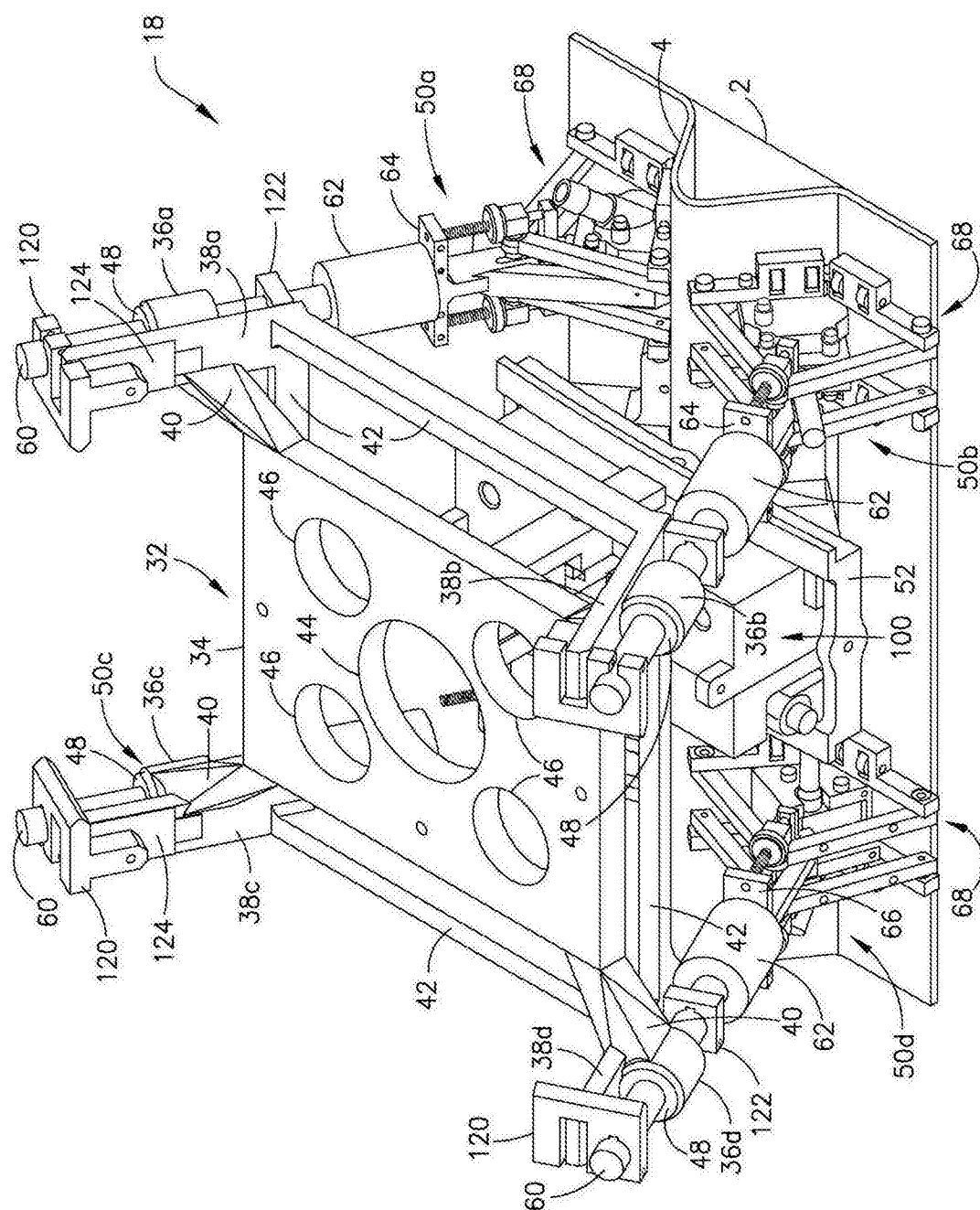


图2

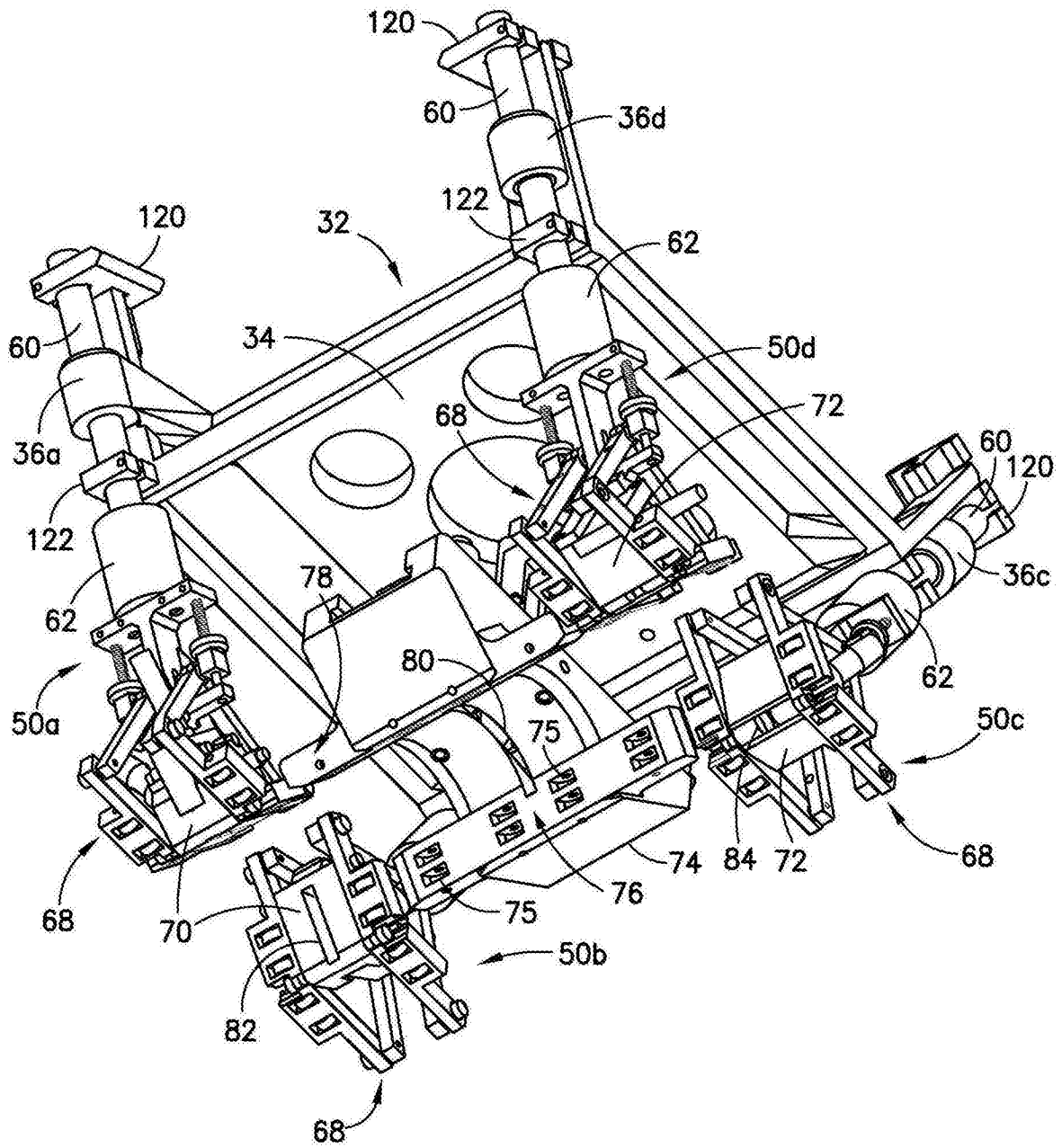


图3

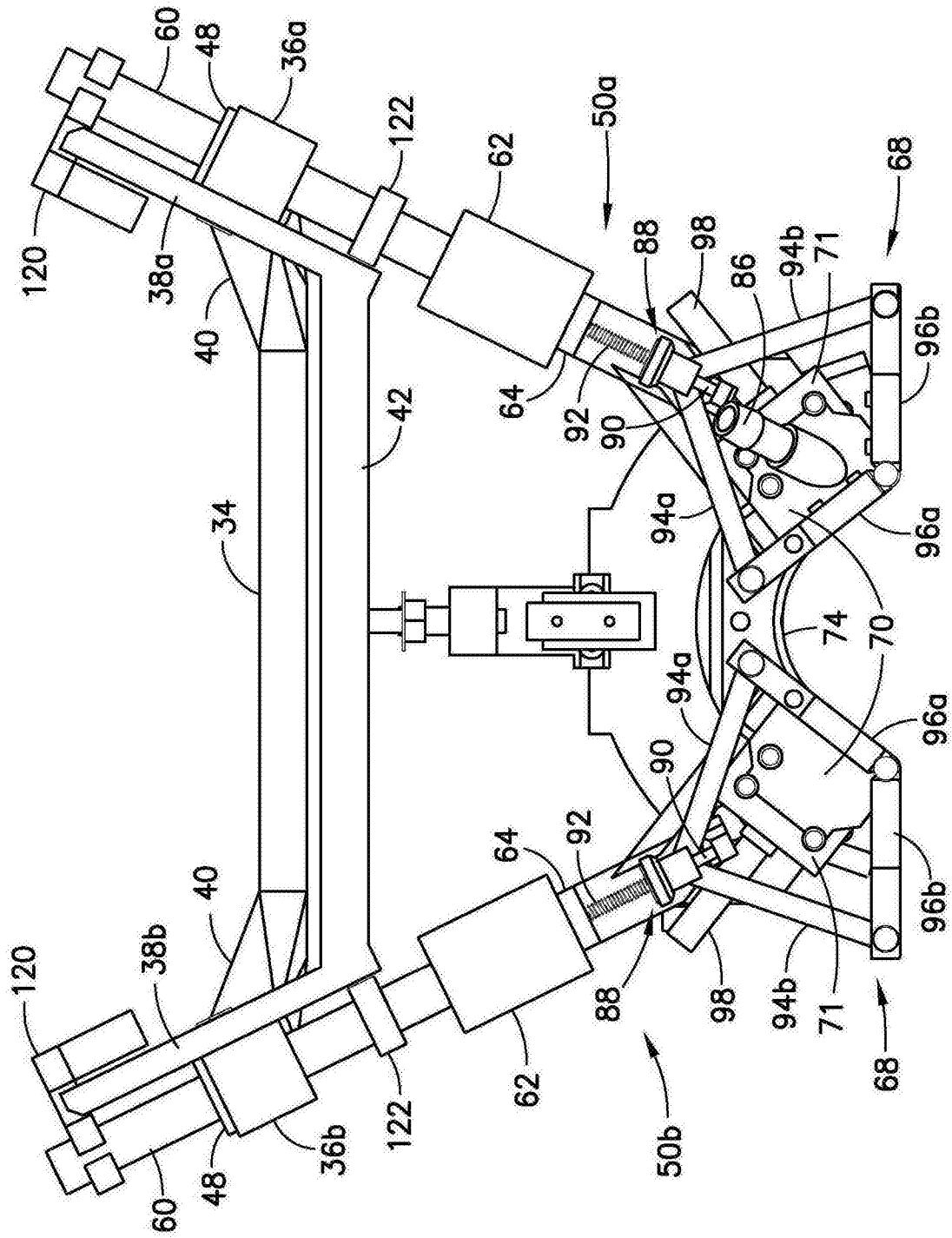


图4

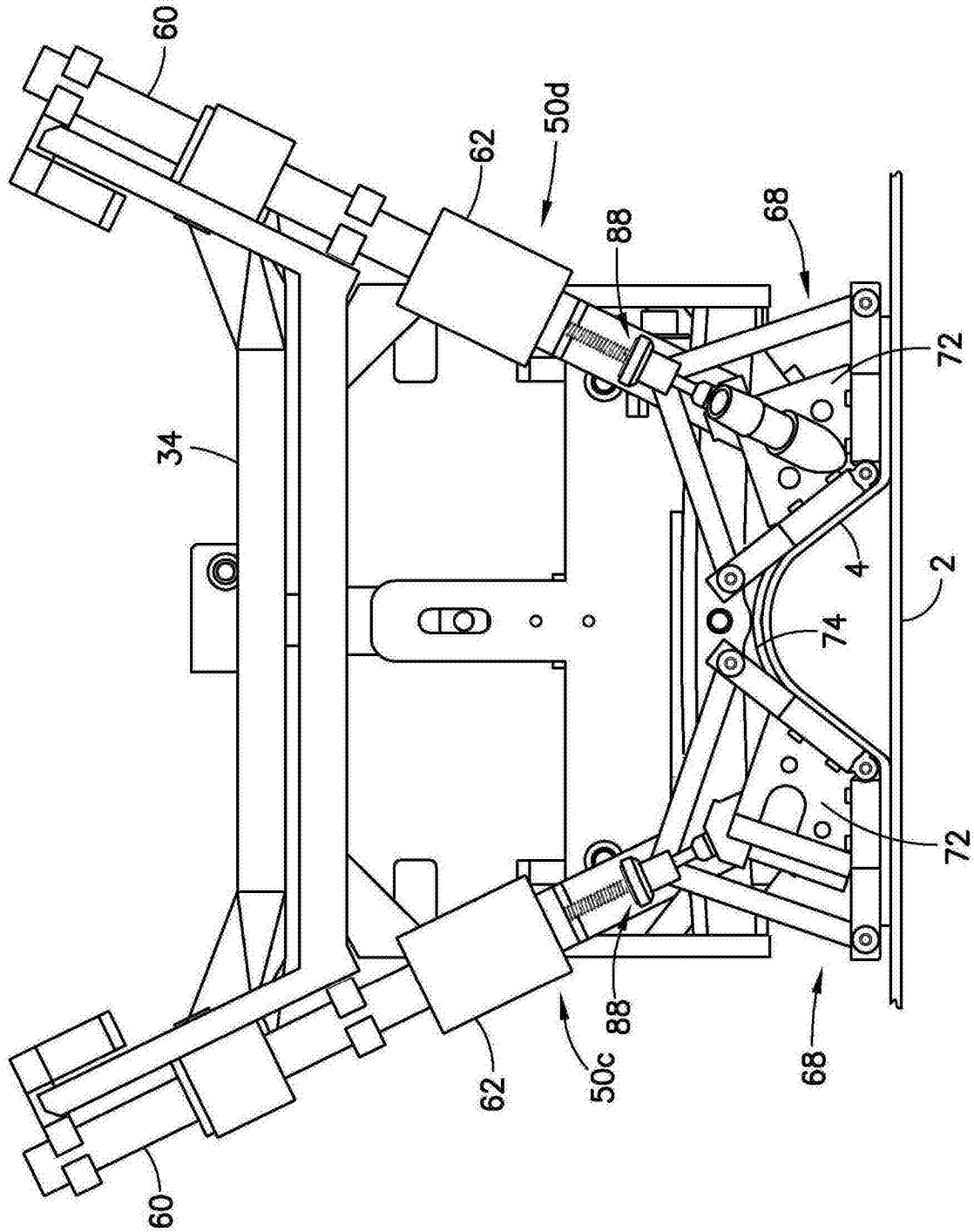


图6

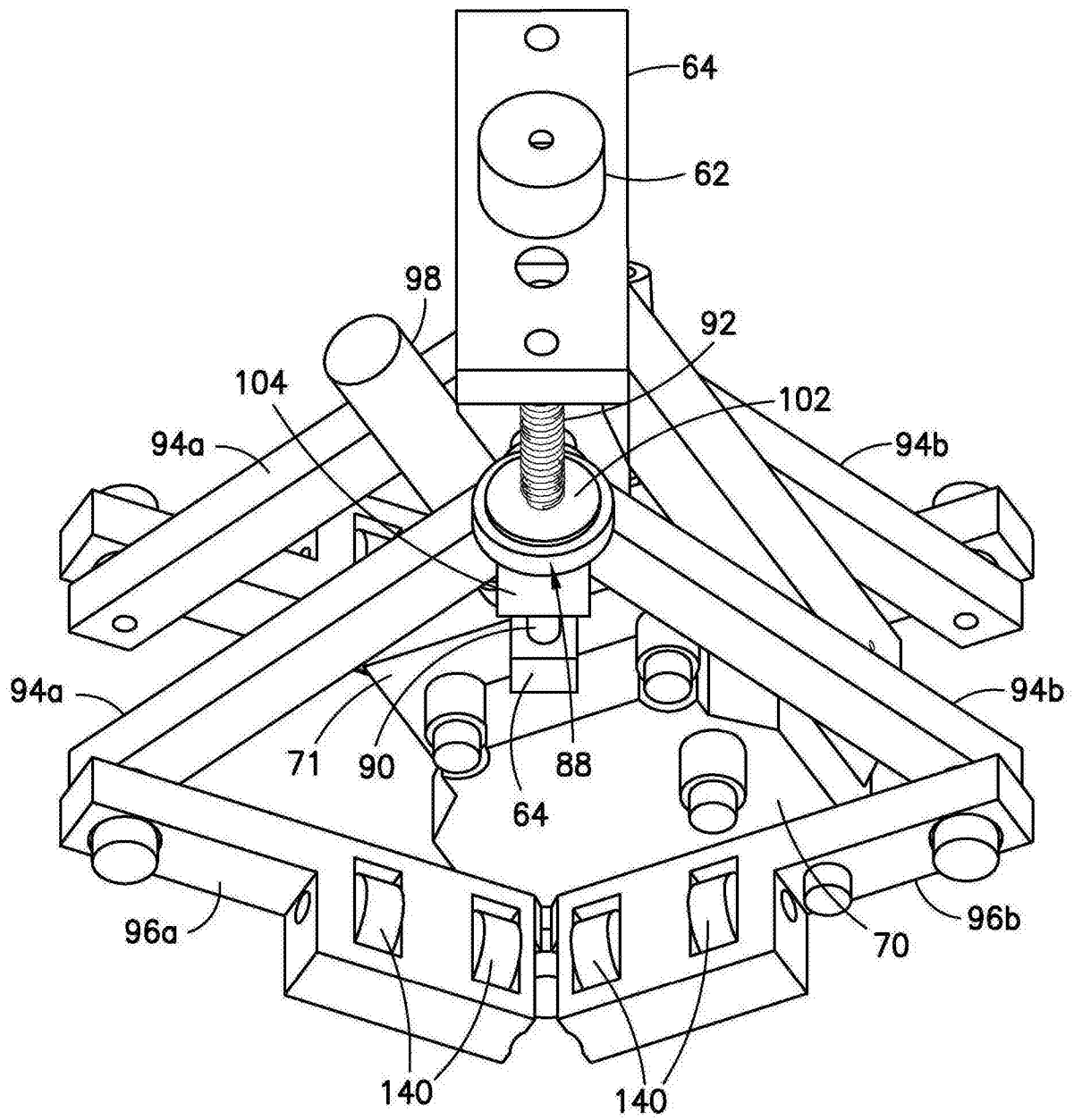


图7A

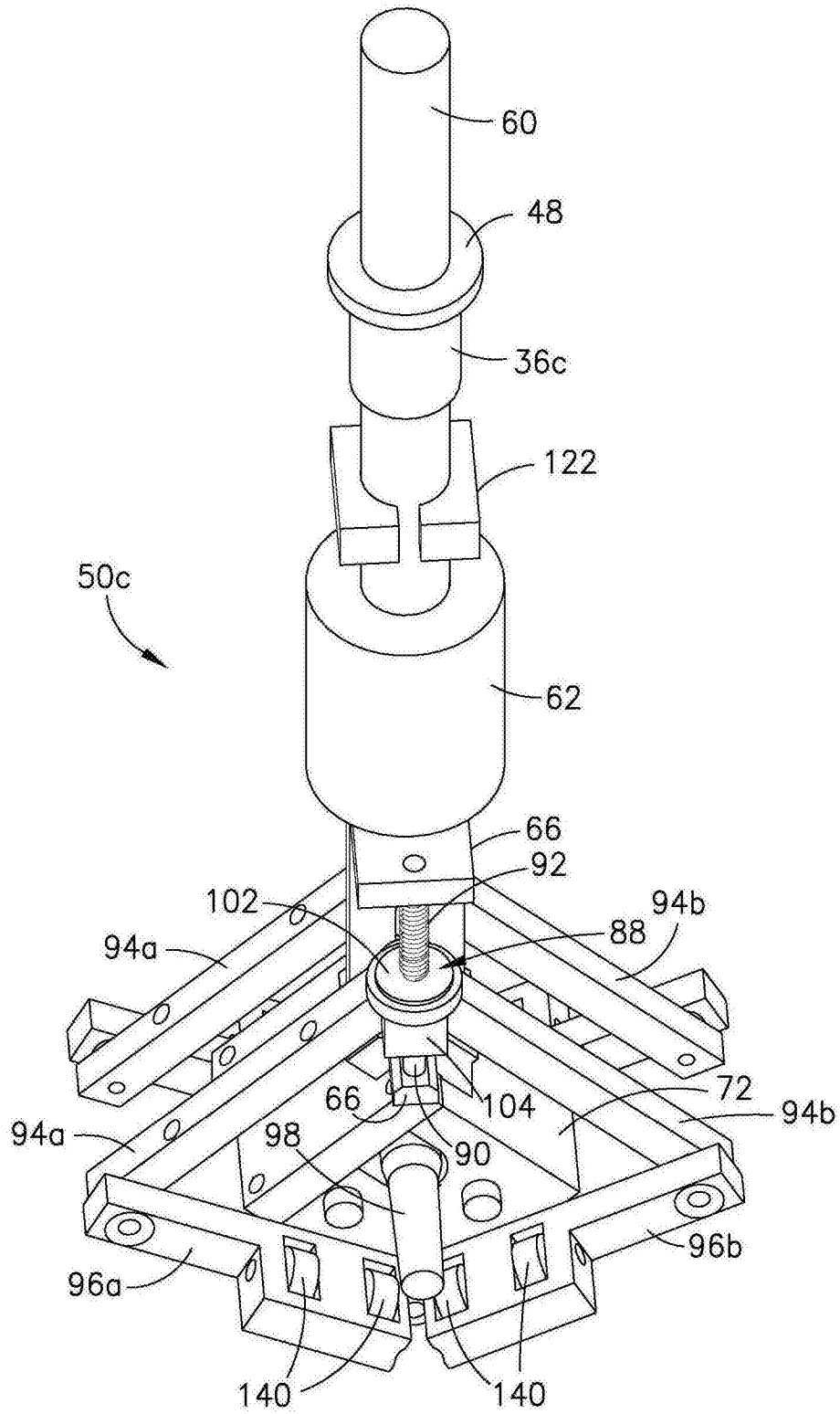


图8

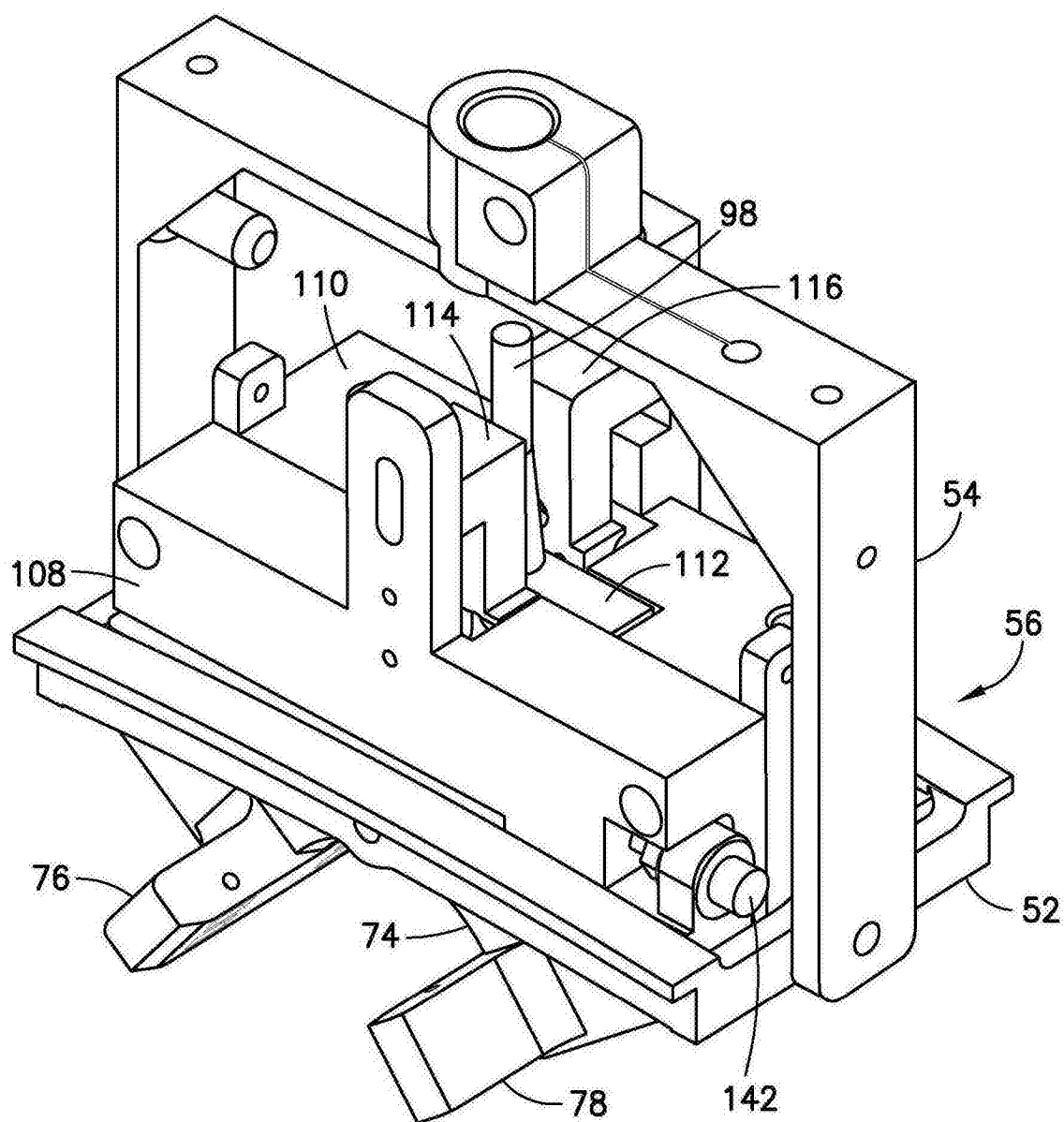


图9

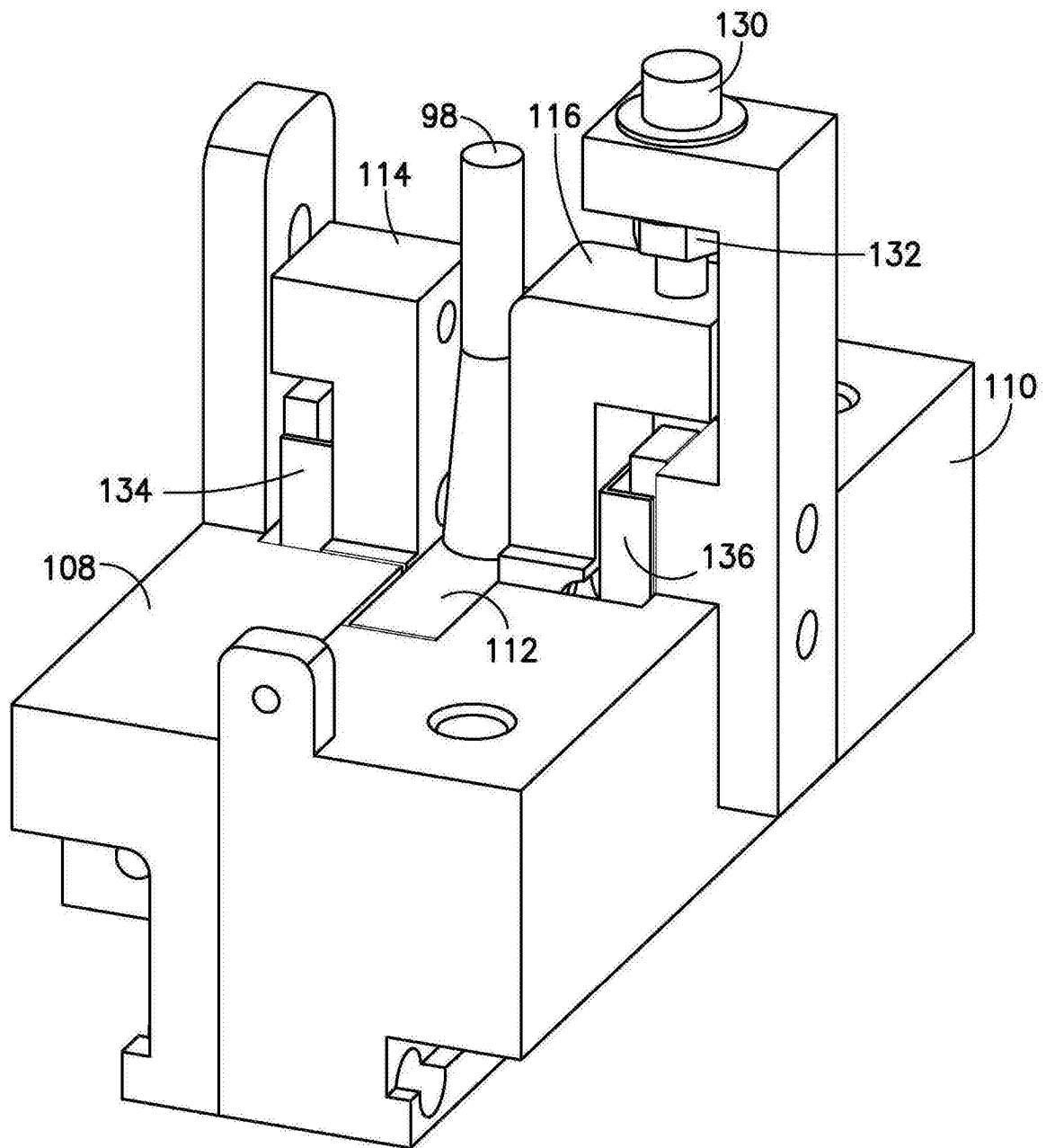


图10

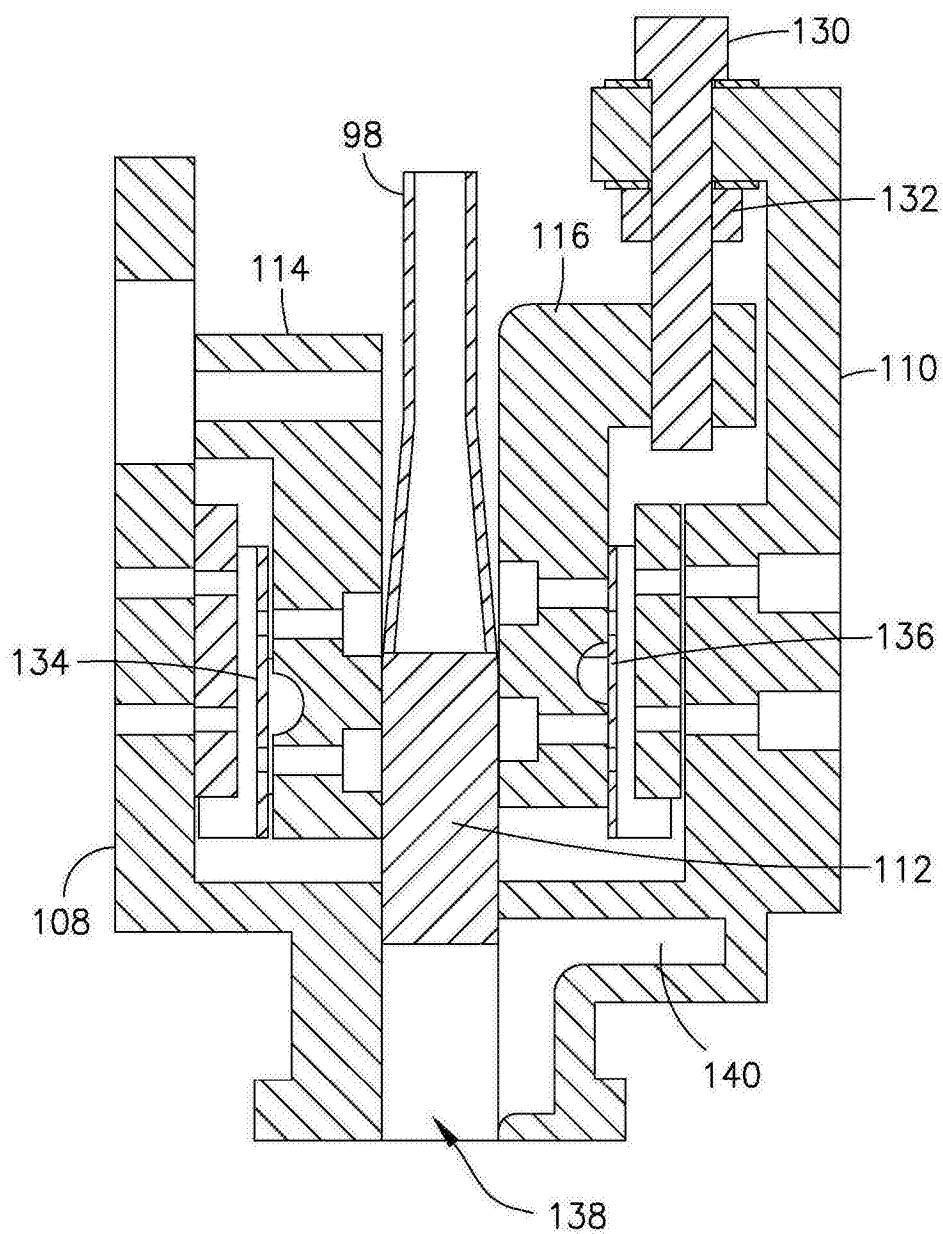


图11

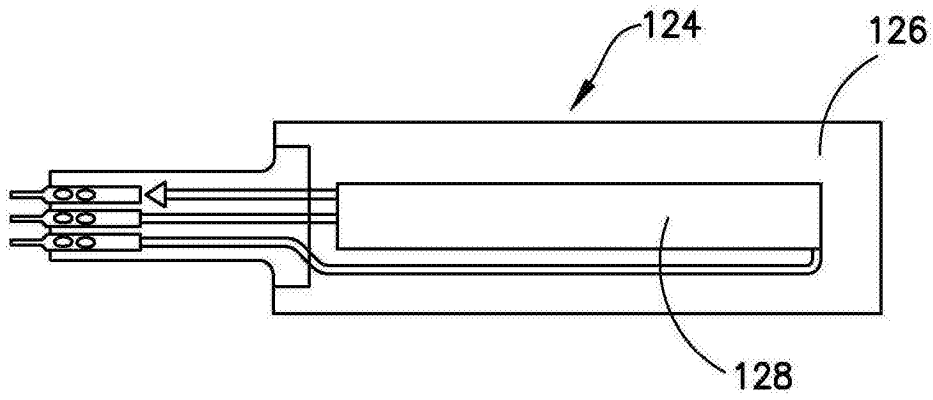


图12

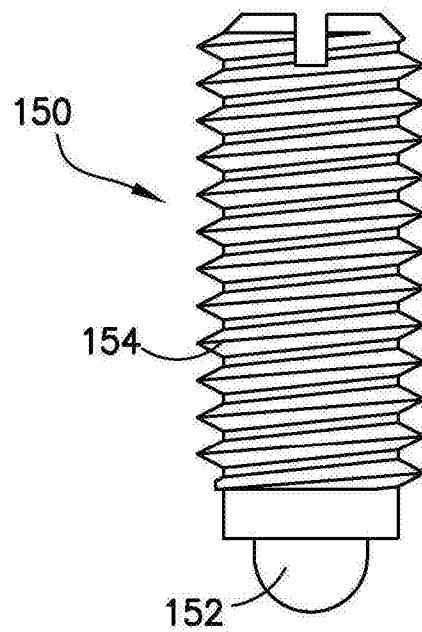


图13A

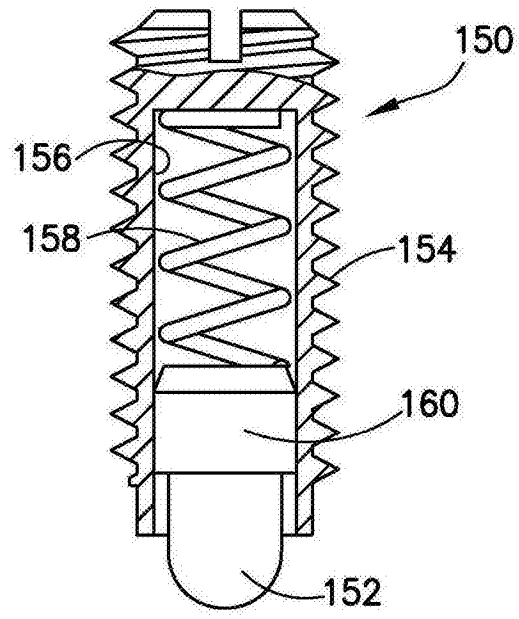


图13B

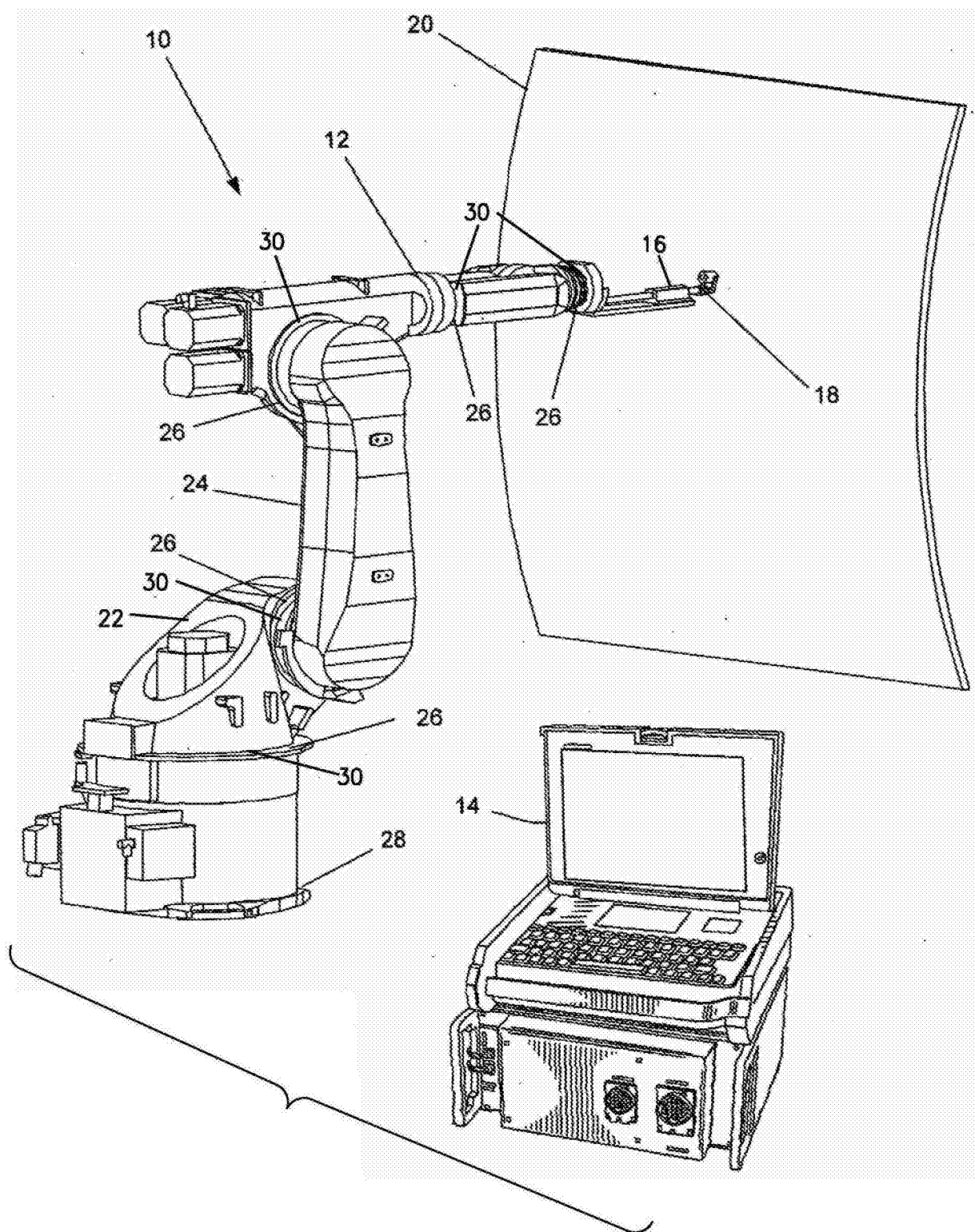


图14

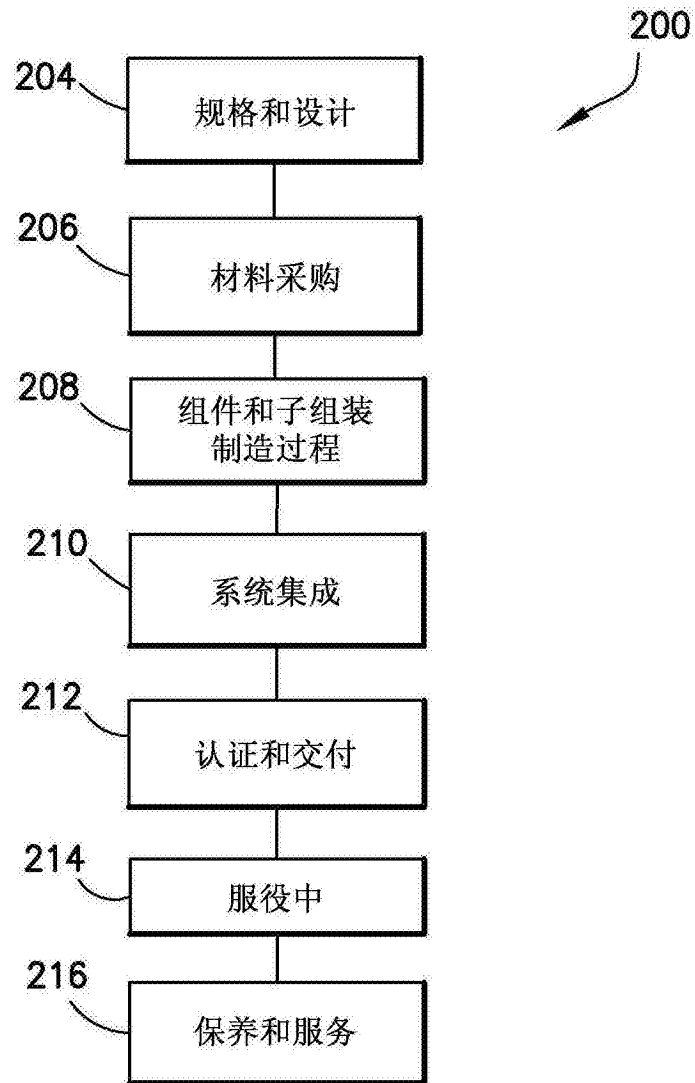


图15

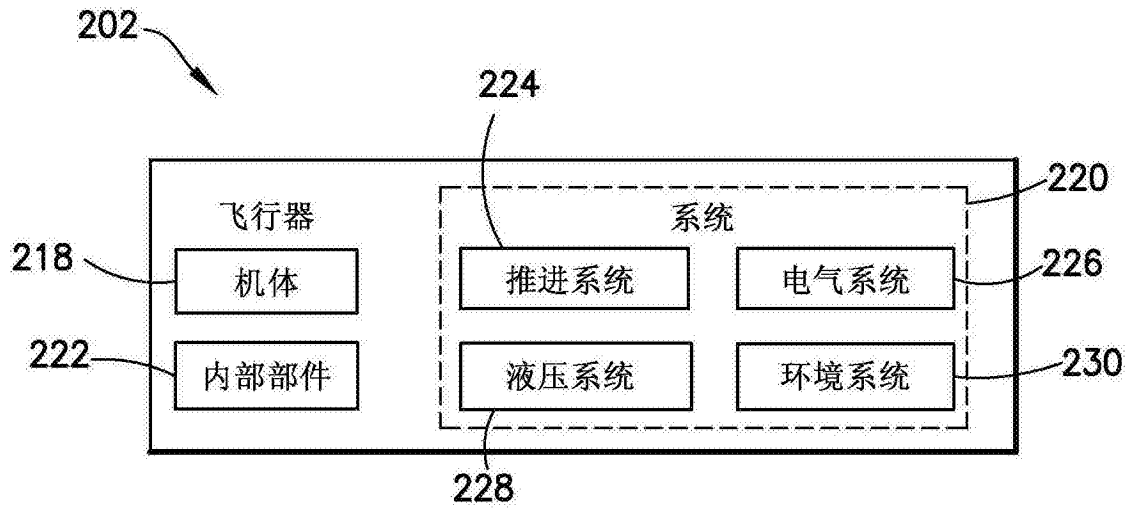


图16