



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103597213 B

(45) 授权公告日 2016. 02. 17

(21) 申请号 201280025973. X

F04D 21/00(2006. 01)

(22) 申请日 2012. 05. 25

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

13/117878 2011. 05. 27 US

CN 101688501 A, 2010. 03. 31,

CN 101813094 A, 2010. 08. 25,

CN 101936306 A, 2011. 01. 05,

CN 1187232 A, 1998. 07. 08,

US 2006034691 A1, 2006. 02. 16,

US 2853227 A, 1958. 09. 23,

US 4199296 A, 1980. 04. 22,

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 11. 27

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/039492 2012. 05. 25

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/166564 EN 2012. 12. 06

审查员 谭启龙

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 D. C. 霍菲尔 D. 戈塔普

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 肖日松 谭祐祥

(51) Int. Cl.

F04D 19/02(2006. 01)

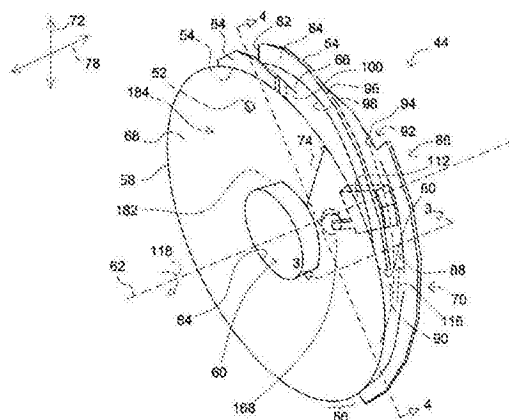
权利要求书3页 说明书11页 附图6页

(54) 发明名称

超音速压缩机转子以及压缩流体的方法

(57) 摘要

本发明提供一种超音速压缩机转子。该超音速压缩机转子包括基本上呈圆柱形的盘体,该盘体(56)包括上游表面(68)、下游表面(70)、和在上游表面(68)与下游表面之间大体轴向延伸的径向外表面(66)。该盘体限定了中心线轴线(62)。多个叶片(54)连接至径向外表面。相邻叶片形成一对并且定向成使得每一对相邻叶片之间都限定了流通道(88)。该流通道在进口开口(90)与出口开口(92)之间大体轴向延伸。至少一个超音速压缩斜面(112)定位在流通道内。该超音速压缩斜面能够选择性地定位在第一位置(156)、第二位置(158)、以及第一位置与第二位置之间的任何位置处。



1. 一种超音速压缩机转子,所述超音速压缩机转子包括:

基本上呈圆柱形的盘体,所述盘体包括上游表面、下游表面和在所述上游表面与所述下游表面之间大体轴向延伸的径向外表面,所述盘体限定了中心线轴线;

多个叶片,所述多个叶片连接至所述径向外表面,相邻的所述叶片形成一对并且定向成使得在每一个所述一对相邻叶片之间限定流通道,所述流通道在进口开口与出口开口之间大体轴向延伸;以及

至少一个超音速压缩斜面,所述至少一个超音速压缩斜面定位在所述流通道内,所述超音速压缩斜面能够选择性地定位在第一位置、第二位置以及所述第一位置与所述第二位置之间的任何位置处。

2. 根据权利要求1所述的超音速压缩机转子,其特征在于,所述至少一个超音速压缩斜面限定了所述流通道的咽喉区域,所述咽喉区域具有所述所述流通道的最小横截面积,所述超音速压缩斜面被构造成调节所述咽喉区域的横截面积。

3. 根据权利要求1所述的超音速压缩机转子,其特征在于,所述超音速压缩机转子还包括连接至所述至少一个超音速压缩斜面的致动器,所述致动器被构造成将所述超音速压缩斜面定位在所述第一位置、所述第二位置以及所述第一位置与所述第二位置之间的任何位置处。

4. 根据权利要求1所述的超音速压缩机转子,其特征在于,所述超音速压缩机转子还包括控制系统,所述控制系统操作性地连接至所述至少一个超音速压缩斜面,以有利于使位于所述第一位置、所述第二位置以及所述第一位置与所述第二位置之间的任何位置处的所述超音速压缩斜面移动。

5. 根据权利要求4所述的超音速压缩机转子,其特征在于,所述超音速压缩机转子还包括至少第一传感器,所述第一传感器被构造成感测转子盘的转速并且产生表示感测到的转速的至少第一监测信号,所述控制系统通信地连接至所述第一传感器,以用于从所述第一传感器接收所产生的第一监测信号,所述控制系统被构造成基于接收到的第一监测信号来计算正激波在所述流通道内的位置。

6. 根据权利要求5所述的超音速压缩机转子,其特征在于,所述超音速压缩机转子还包括至少第二传感器,所述第二传感器被构造成感测所述流通道内的压力并且向所述控制系统发射表示感测到的压力的至少第二监测信号,所述控制系统被构造成基于所述第一监测信号和所述第二监测信号来计算正激波的位置。

7. 根据权利要求5所述的超音速压缩机转子,其特征在于,所述控制系统被构造成基于计算出的正激波的位置来定位所述超音速压缩斜面。

8. 根据权利要求7所述的超音速压缩机转子,其特征在于,所述控制系统被构造成在确定感测到的压力与预定压力不同时使所述超音速压缩斜面移动。

9. 一种超音速压缩机系统,所述超音速压缩机系统包括:

壳体,所述壳体包括内表面,所述内表面限定了在流体进口与流体出口之间延伸的腔;

驱动轴,所述驱动轴定位在所述壳体内,所述驱动轴可旋转地连接至驱动组件;以及

超音速压缩机转子,所述超音速压缩机转子连接至所述驱动轴,所述超音速压缩机转子定位在所述流体进口与所述流体出口之间,以用于将流体从所述流体进口引导至所述流

体出口,所述超音速压缩机转子包括:

基本呈圆柱形的盘体,所述盘体包括上游表面、下游表面和在所述上游表面与所述下游表面之间大体轴向延伸的径向外表面,所述盘体限定了中心线轴线;

多个叶片,所述多个叶片连接至所述径向外表面,相邻的所述叶片形成一对并且定向成使得每一个所述一对相邻叶片之间都限定了流通道,所述流通道在进口开口与出口开口之间大体轴向延伸;以及

至少一个超音速压缩斜面,所述至少一个超音速压缩斜面定位在所述流通道内,所述超音速压缩斜面能够选择性地定位在第一位置、第二位置以及所述第一位置与所述第二位置之间的任何位置处。

10. 根据权利要求 9 所述的超音速压缩机系统,其特征在于,所述至少一个超音速压缩斜面限定了所述流通道的咽喉区域,所述咽喉区域具有所述流通道的最小横截面积,所述超音速压缩斜面被构造成调节所述咽喉区域的横截面积。

11. 根据权利要求 9 所述的超音速压缩机系统,其特征在于,所述超音速压缩机系统还包括致动器,所述致动器连接至所述至少一个超音速压缩斜面,所述致动器被构造成将所述超音速压缩斜面定位在所述第一位置、所述第二位置以及所述第一位置与所述第二位置之间的任何位置处。

12. 根据权利要求 9 所述的超音速压缩机系统,其特征在于,所述超音速压缩机系统还包括控制系统,所述控制系统操作性地连接至所述至少一个超音速压缩斜面,以有利于使位于所述第一位置、所述第二位置以及所述第一位置与所述第二位置之间的任何位置处的所述超音速压缩斜面移动。

13. 根据权利要求 12 所述的超音速压缩机系统,其特征在于,所述超音速压缩机系统还包括至少第一传感器,所述第一传感器被构造成感测转子盘的转速并且产生表示感测到的转速的至少第一监测信号,所述控制系统通信地连接至所述第一传感器以用于从所述第一传感器接收所产生的第一监测信号,所述控制系统被构造成基于接收到的第一监测信号来计算正激波在所述流通道内的位置。

14. 根据权利要求 13 所述的超音速压缩机系统,其特征在于,所述超音速压缩机系统还包括至少第二传感器,所述第二传感器被构造成感测所述流通道内的压力并且向所述控制系统发射表示感测到的压力的至少第二监测信号,所述控制系统被构造成基于所述第一监测信号和所述第二监测信号来计算正激波的位置。

15. 根据权利要求 13 所述的超音速压缩机系统,其特征在于,所述控制系统被构造成基于计算出的正激波的位置来定位所述超音速压缩斜面。

16. 根据权利要求 15 所述的超音速压缩机系统,其特征在于,所述控制系统被构造成在确定感测到的压力与预定压力不同时定位所述超音速压缩斜面。

17. 一种压缩流体的方法,所述方法包括:

将待压缩的流体引入旋转超音速压缩机转子的进口开口中,所述超音速压缩机转子包括:(i)基本上呈圆柱形的盘体,所述盘体包括上游表面、下游表面和在所述上游表面与所述下游表面之间大体轴向延伸的径向外表面,所述盘体限定了中心线轴线;(ii)多个叶片,所述多个叶片连接至所述径向外表面,相邻的所述叶片形成一对并且定向成使得每一个所述一对相邻叶片之间都限定了流通道,所述流通道在进口开口与出口开口之间大体轴

向延伸；以及 (iii) 至少一个超音速压缩斜面，所述至少一个超音速压缩斜面定位在所述流通道内，所述超音速压缩斜面能够选择性地定位在第一位置、第二位置以及所述第一位置与所述第二位置之间的任何位置处；

在所述超音速压缩机斜面定位在所述第一位置处的情况下操作所述超音速压缩机转子，直到正激波形成在由所述超音速压缩机斜面的后缘所限定的咽喉区域的下游处为止；

将所述超音速压缩机斜面定位在所述第二位置处，所述第二位置的特征在于最小横截面积，所述最小横截面积比所述第一位置的 相应的最小横截面积小；以及

在所述超音速压缩机斜面定位在所述第二位置处的情况下操作所述超音速压缩机转子以产生压缩流体。

18. 根据权利要求 17 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

从第一传感器向控制系统发射表示所述超音速压缩机转子的转速的第一信号；以及至少部分地基于所述第一信号来计算正激波的位置。

19. 根据权利要求 18 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

从第二传感器向控制系统发射表示所述流通道内的压力的第二信号；以及至少部分地基于所述第一信号和所述第二信号来计算正激波的位置。

20. 根据权利要求 19 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

基于计算出的位置来确定正激波是否定位在所述咽喉区域的下游；以及基于确定正激波是否定位在所述咽喉区域的下游而将所述超音速压缩斜面定位在所述第一位置、所述第二位置以及所述第一位置与所述第二位置之间的任何位置处。

超音速压缩机转子以及压缩流体的方法

技术领域

[0001] 本文中所描述的主题总体涉及超音速压缩机转子,并且更具体地,涉及操作超音速压缩机转子以压缩流体的方法。

背景技术

[0002] 至少一些已知的超音速压缩机系统包括驱动组件、驱动轴、以及至少一个超音速压缩机转子以用于压缩流体。驱动组件通过驱动轴连接至超音速压缩机转子以使驱动轴和超音速压缩机转子旋转。

[0003] 已知的超音速压缩机转子包括连接至转子盘的多个边条。每一个边条都围绕转子盘周向定向并且在相邻的边条之间限定轴向流通道。至少一些已知的超音速压缩机转子包括连接至转子盘的固定超音速压缩斜面。已知的超音速压缩斜面定位在轴向流路径内的固定位置处并且被构造成在流路径内形成压缩波。

[0004] 在已知的超音速压缩机系统操作期间,驱动组件使超音速压缩机转子在高转速下旋转。流体被引导至超音速压缩机转子,使得流体的特征在于相对于流通道处的超音速压缩机转子的超音速速度。在已知的超音速压缩机转子中,正激波(normal shockwave)可以形成在超音速压缩机斜面(ramp)的上游处。随着流体通过正激波,流体的速度减小至相对于超音速压缩机转子是亚音速的。随着流体速度通过正激波减小,流体能量也减少。通过流通道的流体能量的减少可以降低已知的超音速压缩机系统的操作效率。已知的超音速压缩机系统例如在分别于 2005 年 3 月 28 日和 2005 年 3 月 23 日提交的美国专利号 7,334,990 和 7,293,955 以及 2009 年 1 月 16 日提交的美国专利申请 2009/0196731 中有所描述。

发明内容

[0005] 在一个方面中,提供一种超音速压缩机转子。该超音速压缩机转子包括基本圆柱形盘体,该基本圆柱形盘体包括上游表面、下游表面、和在上游表面与下游表面之间大体轴向延伸的径向外表面。该盘体限定了中心线轴线。多个叶片连接至径向外表面。相邻叶片形成一对并且定向成使得每一对相邻叶片之间都限定了流通道。该流通道在进口开口与出口开口之间大体轴向延伸。至少一个超音速压缩斜面定位在流通道内。该超音速压缩斜面能够选择性地定位在第一位置、第二位置、以及第一位置与第二位置之间的任何位置处。

[0006] 在另一个方面中,提供一种超音速压缩机系统。该超音速压缩机系统包括壳体,该壳体包括内表面,该内表面限定了在流体进口与流体出口之间延伸的腔。驱动轴定位在壳体内。该驱动轴可旋转地连接至驱动组件。超音速压缩机转子连接至该驱动轴。该超音速压缩机转子定位在流体进口与流体出口之间,以用于将流体从流体进口引导至流体出口。该超音速压缩机转子包括基本圆柱形盘体,该基本圆柱形盘体包括上游表面、下游表面、和在上游表面与下游表面之间大体轴向延伸的径向外表面。该盘体限定了中心线轴线。多个叶片个叶片连接至径向外表面。相邻叶片形成一对并且定向成使得每一对相邻叶片之间都限定了流通道。该流通道在进口开口与出口开口之间大体轴向延伸。至少一个超音速压缩

斜面定位在流通道内。该超音速压缩斜面能够选择性地定位在第一位置、第二位置、以及第一位置与第二位置之间的任何位置处。

[0007] 在又一个方面中,本发明提供一种使用超音速压缩机来压缩流体的方法,该超音速压缩机采用由本发明提供的超音速压缩机转子。该方法包括:(a) 将待压缩的流体引入旋转超音速压缩机转子的进口开口中,所述超音速压缩机转子包括:(i) 基本上呈圆柱形的盘体,该盘体包括上游表面、下游表面、和在所述上游表面与所述下游表面之间大体轴向延伸的径向外表面,所述盘体限定了中心线轴线;(ii) 多个叶片,所述多个叶片连接至所述径向外表面,相邻的所述叶片形成一对并且定向成使得每一个所述一对相邻叶片之间都限定了流通道,所述流通道在进口开口与出口开口之间大体轴向延伸;以及(iii) 至少一个超音速压缩斜面,该至少一个超音速压缩斜面定位在所述流通道内,所述超音速压缩斜面能够选择性地定位在第一位置、第二位置、以及第一位置与第二位置之间的任何位置处;(b) 在超音速压缩机斜面定位在第一位置处的情况下操作超音速压缩机转子,直到正激波形成在由超音速压缩机斜面的后缘所限定的咽喉区域的下游处为止;以及(c) 将超音速压缩机斜面定位在第二位置处,所述第二位置的特征在于最小横截面积,该最小横截面积比第一位置相应的最小横截面积特性小;以及(d) 在超音速压缩机斜面定位在第二位置处的情况下操作超音速压缩机转子以产生压缩流体。

附图说明

[0008] 当结合附图阅读下文的详细描述时,本发明的这些和其它的特征、方面、以及优点将变得更好理解,相似的附图标记在全部附图中表示相似部件,其中:

[0009] 图 1 是示例性超音速压缩机系统的示意图;

[0010] 图 2 是可以与图 1 中所示的超音速压缩机系统一起使用的示例性超音速压缩机转子的透视图;

[0011] 图 3 是沿剖面线 3-3 的图 2 中所示的超音速压缩机转子的一部分的放大俯视图;

[0012] 图 4 是沿剖面线 4-4 的图 2 中所示的超音速压缩机转子的横截面图,其中包括示为处于第一位置的超音速压缩机斜面;

[0013] 图 5 是图 4 中所示的超音速压缩机转子的横截面图,其中包括示为处于第二位置的超音速压缩机斜面;

[0014] 图 6 是适于与图 1 中的超音速压缩机系统一起使用的示例性控制系统的方框图;

[0015] 图 7 是示出了操作图 1 中所示的超音速压缩机系统的示例性方法的流程图。

[0016] 除非另有说明,否则本文中所提供的附图意在示出本发明关键的创造性特征。这些关键的创造性特征被认为能够应用于包括本发明的一个或多个实施例的范围广泛的系统中。这样一来,附图不意味着包括实施本发明所需的本领域普通技术人员已知的所有的传统特征。

具体实施方式

[0017] 在下文的说明书以及所附权利要求中,将参照多个术语,所述多个术语被限定为具有以下意义。

[0018] 除非上下文另有清楚的说明,否则单数形式“一个”包括复数形式。

[0019] “可选的”或“可选地”的意思是随后描述的事件或环境可能出现或者可能不出现，并且描述包括事件发生的情况以及事件不发生的情况。

[0020] 如本文中在整个说明书和权利要求中所使用的，可以应用近似的语言来修改允许其发生变化而不造成相关基本功能改变的任何数量表示。因此，通过术语或多个术语（例如“大约”和“基本”）来修改的值不限于具体所述的精确值。在至少一些情况下，近似的语言可以与用于测量值的仪器的精度相对应。此处以及说明书和权利要求的全文中，范围限制可以组合并且 / 或者互换，除非上下文或语言另有说明，否则这种范围是确定的并且包括其中所包含的所有子范围。

[0021] 如本文中所使用的，术语“超音速压缩机转子”指的是这样的压缩机转子：该压缩机转子包括布置于该超音速压缩机转子的流体流通道内的超音速压缩斜面。超音速压缩机转子被称为“超音速”是由于其被设计成以高速围绕旋转轴线旋转，使得在布置于转子的流通道内的超音速压缩斜面处与旋转超音速压缩机转子相遇的运动流体（例如运动气体）被称为具有超音速的相对流体速度。相对流体速度能够根据超音速压缩斜面处的转子速度和与超音速压缩斜面相遇之前的流体速度的矢量和来限定。该相对流体速度有时被称为“局部超音速进口速度”，在某些实施例中，该相对流体速度是进口气体速度与布置于超音速压缩机转子的流通道内的超音速压缩斜面的切向速度的组合。超音速压缩机转子被设计成用于在非常高的切向速度（例如处于 300 米 / 秒至 800 米 / 秒的范围内的切向速度下）下工作。

[0022] 本文中所描述的示例性系统和方法通过提供这样的超音速压缩机转子而克服了已知的超音速压缩机组件的缺点：该超音速压缩机转子有利于启动模式期间形成在超音速压缩机转子的流通道内的第一位置处的正激波通向流通道内的第二位置的，该正激波在从第一位置通向第二位置期间通过流通道的最小横截面积。之后，由本发明提供的超音速压缩机转子在压缩操作模式期间提供了更高的操作效率。本文中所描述的超音速压缩机转子包括超音速压缩斜面，该超音速压缩斜面能够选择性地定位在第一位置与第二位置之间以控制流通道的最小横截面积（在本文中有时被称为咽喉区域）。通过调节最小横截面积的尺寸，所述超音速压缩机转子可以比包括固定的超音速压缩机斜面的超音速压缩机转子（即超音速压缩机斜面不能定位在流通道中的第一位置、流通道中的第二位置、或者第一位置与第二位置之间的任何位置处）更高效地进行操作。

[0023] 图 1 是示例性超音速压缩机系统 10 的示意图。在示例性实施例中，超音速压缩机系统 10 包括进气部段 12、连接至进气部段 12 下游的压缩机部段 14、连接至压缩机部段 14 下游的排气部段 16、以及驱动组件 18。压缩机部段 14 通过转子组件 20 连接至驱动组件 18，该转子组件 20 包括被构造成驱动第一超音速压缩机转子 44 的内部驱动轴 22、和被构造成驱动第二超音速压缩机转子的外部驱动轴 23。控制系统 24 与压缩机部段 14 和驱动组件 18 操作性连通地连接，以用于控制压缩机部段 14 和驱动组件 18 的操作。在示例性实施例中，进气部段 12、压缩部段 14、和排气部段 16 中的每一个都定位在压缩机壳体 26 内。更具体地，压缩机壳体 26 包括流体进口 28、流体出口 30、和限定了腔 34 的内表面 32。腔 34 在流体进口 28 与流体出口 30 之间延伸并且被构造成将流体从流体进口 28 引导至流体出口 30。进气部段 12、压缩机部段 14、和排气部段 16 中的每一个都定位在腔 34 内。备选地，进气部段 12 和 / 或排气部段 16 可以不定位在压缩机壳体 26 内。

[0024] 在操作期间,通过若干传感器 36 来监测超音速压缩机系统 10,所述若干传感器 36 检测进气部段 12、压缩机部段 14、排气部段 16、和驱动组件 18 的各种状况。传感器 36 可以包括气体传感器、温度传感器、流量传感器、速度传感器、压力传感器以及 / 或者相对于超音速压缩机系统 10 的操作来感测多个参数的任何其它的传感器。如本文中所使用的,术语“参数”指的是其值能够用于限定超音速压缩机系统 10 的操作条件的物理性能,例如温度、压力、和限定位置处的气体流量。

[0025] 在示例性实施例中,流体进口 28 被构造成将流体流从流体源 38 引导至进气部段 12。该流体可以是例如液体、气体、气体混合物、和 / 或液体 - 气体混合物的任何流体。进气部段 12 与压缩机部段 14 流连通地连接,以用于将流体从流体进口 28 引导至压缩机部段 14。进气部段 12 被构造成调节具有一个或多个预定参数(例如速度、质量流速、压力、温度、和 / 或任何合适的流参数)的流体流。在示例性实施例中,进气部段 12 包括进口引导叶片组件 40,该进口引导叶片组件 40 连接在流体进口 28 与压缩机部段 14 之间以用于将流体从流体进口 28 引导至压缩机部段 14。进口引导叶片组件 40 包括一个或多个固定进口引导叶片 42,所述一个或多个固定进口引导叶片 42 可以连接至压缩机壳体 26 并且相对于压缩机部段 14 是固定的。

[0026] 压缩机部段 14 连接在进气部段 12 与排气部段 16 之间,以用于将至少一部分流体从进口部段 12 引导至排气部段 16。总体而言,压缩机部段 14 包括可旋转地连接至驱动轴 22 的至少一个超音速压缩机转子 44。超音速压缩机转子 44 被构造成使流体压力增大、使流体体积减小、并且 / 或者使被引导至排气部段 16 的流体温度上升。在示例性实施例中,压缩机部段 14 包括至少一个压力传感器 46,该至少一个压力传感器 46 构造成感测被引导穿过超音速压缩机转子 44 的流体的压力并且向控制系统 24 发射表示流体压力的信号。

[0027] 排气部段 16 包括出口引导叶片组件 48,该出口引导叶片组件 48 包括固定出口引导叶片 42,所述固定出口引导叶片 42 布置于超音速压缩机转子 44 与流体出口 30 之间以用于将流体从超音速压缩机转子 44 引导至流体出口 30。流体出口 30 被构造成将流体从出口引导叶片组件 48 和 / 或超音速压缩机转子 44 引导至输出系统 50,例如涡轮发动机系统、流体处理系统、和 / 或流体储存系统。驱动组件 18 被构造成使驱动轴 22 旋转以使超音速压缩机转子 44 旋转。在图 1 中所示的实施例中,超音速压缩机系统 10 包括一对反向旋转的超音速压缩机转子 44。驱动组件 20 为两个超音速压缩机转子 44 中的每一个提供动力,这两个超音速压缩机转子 44 独立地连接至被构造成沿相反方向旋转的一对部分同心的驱动轴 22 和 23 (图 1 中示为同心)中的一个。在示例性实施例中,压缩机部段 14 包括连接至超音速压缩机转子 44 的至少一个速度传感器 52。速度传感器 52 被构造成感测超音速压缩机转子 44 的旋转并且向控制系统 24 发射表示转速的信号。

[0028] 在操作期间,进气部段 12 将流体从流体源 38 引向压缩机部段 14。压缩机部段 14 对流体进行压缩并且朝向排气部段 16 排放经过压缩的流体。排气部段 16 通过流体出口 30 将经过压缩的流体从压缩部段 14 引导至输出系统 50。

[0029] 图 2 是示例性超音速压缩机转子 44 的透视图。图 3 是沿图 2 中所示的剖面线 3-3 截取的超音速压缩机转子 44 的剖视图。图 4 是沿图 2 中所示的剖面线 4-4 截取的超音速压缩机转子 44 的一部分的横截面图。图 5 是沿图 2 中所示的剖面线 4-4 截取的超音速压缩机转子 44 的一部分的横截面图。图 3 至 5 中所示的相同部件标被标记了与图 2 中所使

用的相同的附图标记。在示例性实施例中,超音速压缩机转子 44 包括连接至转子盘 56 的多个叶片 54。转子盘 56 包括环形盘体 58,该环形盘体 58 限定了沿中心线轴线 62 大体轴向延伸穿过盘体 58 的圆柱形内腔 60。盘体 58 包括径向内表面 64 和径向外表面 66。径向内表面 64 限定了圆柱形内腔 60。圆柱形内腔 60 具有基本圆柱形形状并且围绕中心线轴线 62 定向。圆柱形内腔 60 的尺寸能够接收驱动轴 22 或 23 (图 1 中所示)穿过其中。转子盘 56 还包括上游表面 68 和下游表面 70。每一个上游表面 68 和下游表面 70 都沿与中心线轴线 62 大体垂直的径向方向 72 在径向内表面 64 与径向外表面 66 之间延伸。每一个上游表面 68 和下游表面 70 都包括被限定在径向内表面 64 与径向外表面 66 之间的径向宽度 74。径向外表面 66 连接在上游表面 68 与下游表面 70 之间,并且包括沿与中心线轴线 62 大体平行的轴向方向 78 被限定在上游表面 68 与下游表面 70 之间的轴向距离 76 (图 3)。

[0030] 在示例性实施例中,每一个叶片 54 都连接至径向外表面 66 并且从径向外表面 66 向外延伸。每一个叶片 54 都以螺旋形状围绕转子盘 56 周向地延伸。每一个叶片 54 都包括进口边缘 80、出口边缘 82、和在进口边缘 80 与出口边缘 82 之间延伸的侧壁 84。进口边缘 80 定位成邻近上游表面 68。出口边缘 82 定位成邻近下游表面 70。在示例性实施例中,相邻叶片 54 形成一对 86 叶片 54 (图 2)。每一对 86 都定向成限定相邻叶片 54 之间的流通道 88。流通道 88 在进口开口 90 与出口开口 92 之间延伸,并且限定了由箭头 94 代表的从进口开口 90 延伸至出口开口 92 的流路径。流路径 94 定向成与相邻叶片 54 并且与径向外表面 66 大体平行。流路径 94 从进口开口 90 到出口开口 92 沿径向外表面 66 被限定在轴向方向 78 上。流通道 88 的尺寸、形状、和取向能够在轴向方向 78 上沿流路径 94 将流体从进口开口 90 引导至出口开口 92。进口开口 90 被限定在进口边缘 80 与相邻的侧壁 84 之间。出口开口 92 被限定在出口边缘 82 与相邻侧壁 84 之间。每一个侧壁 84 都沿径向方向 72 从径向外表面 66 向外延伸。侧壁 84 包括外表面 96 和相对的内表面 98。侧壁 84 在外表面 96 与内表面 98 之间延伸,以限定流通道 88 的径向高度 100。每一个叶片 54 都与相邻叶片 54 轴向间隔开,使得流通道 88 在进口开口 90 与出口开口 92 之间大体沿轴向方向 78 定向。流通道 88 包括被限定在相邻侧壁 84 之间的宽度 106 并且这种宽度 106 被限定成与流路径 94 垂直。

[0031] 参照图 4,在示例性实施例,护罩组件 108 围绕径向外表面 66 周向地延伸,使得流通道 88 被限定在护罩组件 108 与径向外表面 66 之间。护罩组件 108 包括一个或多个护罩板 110。每一个护罩板 110 都连接至每一个叶片 54 的外表面 96 (图 2)。备选地,超音速压缩机转子 44 不包括护罩组件 108。在这种实施例中,膜片组件(未示出)可以定位成邻近每一个叶片 54 的外表面 96,使得膜片组件至少部分地限定流通道 88。在一个实施例中,压缩机壳体的内表面 32 (以及叶片 54、径向外表面 66 和超音速压缩机斜面 112)用于限定流通道 88,在该种情况下,超音速压缩机转子被构造成使得叶片 54 的外表面 96 与内表面 32 之间的距离最小化。本领域普通技术人员将领会,可以使用本领域内认可的技术来实现移动表面与固定表面之间的这种精确公差。

[0032] 在示例性实施例中,至少一个超音速压缩斜面 112 连接至转子盘 56 并且定位在流通道 88 内。超音速压缩斜面 112 定位在进口开口 90 与出口开口 92 之间,并且其尺寸、形状、和取向使得一个或多个压缩波能够形成在流通道 88 内。在超音速压缩机转子 44 操作期间,进气部段 12 (示于图 1 中)将流体 116 引向流通道 88 的进口开口 90。流体 116 在进

入进口开口 90 之前包括第一速度,即接近速度。驱动组件 18 (示于图 1 中)使超音速压缩机转子 44 以由箭头 118 表示的第二速度(即转速)围绕中心线轴线 62 旋转,使得进入流通道 88 的流体 116 具有相对于叶片 54 超音速的第三速度,即进口开口 90 处的进口速度。随着流体 116 与超音速压缩斜面 112 相接触,压缩波形成在流通道 88 内,以有利于对流体 116 进行压缩并且使流体压力增大、使流体温度上升、并且 / 或者使流体体积减小。

[0033] 在示例性实施例中,流通道 88 包括沿流路径 94 发生变化的横截面积 120 (图 3)。流通道 88 的横截面积 120 被限定成与流路径 94 垂直并且等于流通道 88 的宽度 106 乘以流通道 88 的高度 100。流通道 88 包括第一区域(即进口开口 90 处的进口横截面积 122)、第二区域(即出口开口 92 处的出口横截面积 124)、和第三区域(即被限定在进口开口 90 与出口开口 92 之间的最小横截面积 126)。在示例性实施例中,最小横截面积 126 小于进口横截面积 122 和出口横截面积 124。

[0034] 在示例性实施例中,超音速压缩斜面 112 连接至转子盘 56 并且部分布置于转子盘 56 内且部分布置于流通道 88 内。这样一来,径向外表面 66 限定了至少一个穿孔,超音速压缩斜面 112 穿过该至少一个穿孔延伸至流通道 88 中。超音速压缩斜面 112 限定了流通道 88 的咽喉区域 128。咽喉区域 128 限定了流通道 88 的最小横截面积 126。超音速压缩斜面 112 包括压缩表面 130 和分叉(diverging)表面 132。压缩表面 130 在相邻叶片 54 之间轴向延伸并且沿被限定在进口开口 90 与出口开口 92 之间的流通道 88 的一部分延伸。压缩表面 130 包括第一边缘(即前缘 134)和第二边缘(即后缘 136)。前缘 134 定位成比后缘 136 更靠近进口开口 90。压缩表面 130 延伸至前缘 134 与后缘 136 之间的流通道 88 中并且定向成朝向后缘 136 和护罩组件 108 与径向外表面 66 成斜角 138。后缘 136 从径向外表面 66 延伸至流通道 88 中径向距离 160 (图 4)。压缩表面 130 朝向护罩组件 108 会聚,使得压缩区域 142 被限定在前缘 134 与后缘 136 之间。压缩区域 142 包括从前缘 134 向后缘 136 沿流路径 94 减小的流通道 88 的会聚横截面积 144。压缩表面 130 的后缘 136 (以及侧壁 84 和护罩组件 108)限定了咽喉区域 128。

[0035] 分叉表面 132 连接至压缩表面 130 并且朝向出口开口 92 从压缩表面 130 向下游延伸。分叉表面 132 包括第一端 146 和比第一端 146 更靠近出口开口 92 的第二端 148。分叉表面 132 的第一端 146 连接至压缩表面 130 的后缘 136。分叉表面 132 在第一端 146 与第二端 148 之间延伸并且定向成朝向压缩表面 130 的后缘 136 与径向外表面 66 成斜角 150 (图 5)。分叉表面 132 限定了分叉区域 152,该分叉区域 152 包括从压缩表面 130 的后缘 136 向出口开口 92 增大的分叉横截面积 154 (图 4)。分叉区域 152 朝向出口开口 92 从咽喉区域 128 延伸。

[0036] 在示例性实施例中,超音速压缩斜面 112 能够选择性地定位在第一位置 156 (图 4)与第二位置 158 (图 5)之间。在第一位置 156 处,超音速压缩斜面 112 延伸至流通道 88 中第一径向距离 160,该第一径向距离 160 被限定在径向外表面 66 与后缘 136 之间。此外,在第一位置 156 处,后缘 136 限定了咽喉区域 128,该咽喉区域 128 具有第一最小横截面积 126 并且在图 4 中所示的实施例中被称为最小横截面积 162。在第二位置 158 (图 5)处,超音速压缩斜面 112 从径向外表面 66 向后缘 136 延伸至流通道 88 中第二径向距离 164。该第二径向距离 164 比第一径向距离 160 大,使得后缘 136 限定了咽喉区域 128,该咽喉区域 128 具有第二最小横截面积 166 (126),该第二最小横截面积 166 比第一最小横截面积 162

(126) 小。

[0037] 在示例性实施例中,超音速压缩机转子 44 包括致动器组件 168,该致动器组件 168 操作性地连接至超音速压缩斜面 112,以用于使超音速压缩斜面 112 相对于径向外表面 66 并且在第一位置 156 与第二位置 158 之间移动。控制系统 24 与致动器组件 168 操作性连通地连接,以用于控制致动器组件 168 的操作,并且使超音速压缩斜面 112 在第一位置 156 与第二位置 158 之间移动。

[0038] 在示例性实施例中,超音速压缩机转子 44 被构造成选择性地第一模式(即启动模式)和第二模式(即压缩模式)中进行操作。如本文中所使用的,术语“启动模式”指的是其中超音速压缩机转子的速度最初不足以建立咽喉区域 128 下游的正激波 170 的操作模式。在启动模式中,超音速压缩斜面 112 定位在流通道 88 内,以有利于建立在咽喉区域上游处的正激波 170 通向咽喉区域下游处的位置。例如,超音速压缩机斜面可以定位成有利于正激波 170 从位于咽喉区域 128 上游并且位于进口开口 90 与咽喉区域 128 之间的流通道 88 内的第一位置 172 (图 4) 通向位于咽喉区域 128 下游的第二位置 174 (图 5)。正激波 170 定向成与流路径 94 垂直并且延伸跨过流路径 94。如本文中所使用的,术语“压缩模式”指的是其中转子的速度足以建立咽喉区域下游处的正激波并且包括超音速压缩机的稳态操作的操作模式。应当注意到,超音速压缩机转子也可以在非稳态条件下以压缩模式进行操作,此时例如一个或多个操作参数(例如温度、流体成分)在操作期间连续变化。

[0039] 在一个实施例中,在超音速压缩机转子 44 以启动模式进行操作期间,超音速压缩斜面 112 处于第一位置 156 (图 4)。在启动模式期间,流体 116 进入超音速压缩机转子 44 的流通道 88,其中超音速压缩机斜面 112 处于第一位置 156,在该模式中,正激波 170 形成于咽喉区域 128 的上游处。随着超音速压缩机转子的速度增大,正激波 170 沿流路径 94 向下游移动并且变为建立在咽喉区域 128 的下游处,并且超音速压缩机转子 44 从启动模式过渡至压缩模式。应当注意到,与第一位置 156 (图 4) 相关联的相对较大的咽喉区域横截面积有利于正激波通过咽喉区域。一旦已建立压缩模式,则可以通过进一步减小咽喉区域的横截面积 126 (流路径 88 的最小横截面积)来使超音速压缩机转子以更高的效率进行操作。为此目的,超音速压缩斜面 112 可以从第一位置 156 移动至第二位置 158 (图 5)。随着超音速压缩斜面 112 从第一位置 156 移动至第二位置 158,咽喉区域 128 的最小横截面积 126 从第一最小横截面积 162 (126) 减小至第二最小横截面积 166 (126)。随着流通道 88 的最小横截面积 126 减小至合适的横截面积 166 (可以由本领域普通技术人员通过仿真或实验来确定),超音速压缩机转子可以更高效地操作。

[0040] 在一个实施例中,在压缩模式中,超音速压缩斜面 112 选择性地定位在第一位置 156 与第二位置 158 之间,以使压缩波的系统 176 (图 5) 在流通道 88 内形成。系统 176 包括第一斜激波 178 和第二斜激波 180。第一斜激波 178 随着流体 116 与超音速压缩斜面 112 的前缘 134 相遇而形成并且被引导穿过压缩区域 142。压缩表面 130 使第一斜激波 178 形成在压缩表面 130 的前缘 134 处。第一斜激波 178 从前缘 134 向护罩板 110 延伸跨过流路径 94,并且相对于流路径 94 定向成斜角。第一斜激波 178 与护罩板 110 相接触并且形成第二斜激波 180,该第二斜激波 180 相对于流路径 94 以斜角朝向压缩表面 130 的后缘 136 从护罩板 110 被反射。超音速压缩斜面 112 被构造成使每一个第一个斜激波 178 和第二斜激波 180 都形成在压缩区域 142 内。如本领域普通技术人员应当领会的,流过斜激波 178 和

180 中的每一个的流体是超音速的并且保持超音速直到流体与正激波 170 相遇且通过正激波 170 为止(图 5)。

[0041] 随着流体 116 通过压缩区域 142,流体的速度随着流体通过每一个第一斜激波 178 和第二斜激波 180 而减小(但是应当注意到,保持超音速)。此外,流体 116 的压力增大,并且流体 116 的体积减小。随着流体 116 通过咽喉区域 128,流体 116 的速度在咽喉区域 128 的下游处增大,直到正激波 170。随着流体通过正激波 170,流体 116 的速度相对于转子盘 56 减小至亚音速速度。

[0042] 在示例性实施例中,转子盘 56 限定了盘腔 184 (图 2)。致动器组件 168 定位在盘腔 184 内并且可以连接至环形盘体 58 的内表面 182 (图 2)或者限定了盘腔 184 的一些其它的合适表面。在示例性实施例中,致动器组件 168 是液压活塞式机构,并且包括液压泵组件 186、液压缸 188、和液压活塞 190。液压泵组件 186 与液压缸 188 流体连通地连接,以用于调节容纳在液压缸 188 内的液压流体的压力。液压活塞 190 定位在液压缸 188 内并且被构造成相对于液压缸 188 移动。偏置机构 192 连接至液压活塞 190 并且连接至液压缸 188,以使液压活塞 190 朝向中心轴线 62 径向向内偏置。液压活塞 190 连接至超音速压缩斜面 112,以使超音速压缩斜面 112 从第一位置 156 移动至第二位置 158,并且从第二位置 158 移动至第一位置 156。在示例性实施例中,致动器组件 168 被构造成将超音速压缩斜面 112 选择性地定位在第一位置 156、第二位置 158、以及第一位置 156 与第二位置 158 之间的任何位置处。

[0043] 在示例性实施例中,控制系统 24 与液压泵组件 186 操作连通地连接,以用于控制液压泵组件 186 的操作。在操作期间,液压泵组件 186 使液压缸 188 内的液压压力增大,以使液压活塞 190 沿径向方向 72 朝向径向外表面 66 移动。随着液压压力增大,液压活塞 190 使超音速压缩斜面 112 从第一位置 156 移向第二位置 158。随着液压缸内的液压压力减小,偏置机构 192 使液压活塞径向向内移动,从而使超音速压缩斜面从第二位置 158 移向第一位置 156。在图 4 和图 5 中所示的实施例中,超音速压缩机斜面 112 从位置 156 径向向外移动并且略微枢转以达到位置 158,所述径向向外移动和所述枢转由致动器组件 168 引起和控制。

[0044] 图 6 是示出了示例性控制系统 24 的方框图。在示例性实施例中,控制系统 24 是包括任何适合的基于处理器的系统或基于微处理器的系统的实时控制器,例如计算机系统,所述基于处理器的系统或基于微处理器的系统包括微控制器、精简指令集电路(RISC)、专用集成电路(ASIC)、逻辑电路、和 / 或能够执行本文中所描述的功能的任何其它的电路或处理器。在一个实施例中,控制系统 24 是包括只读存储器(ROM)和 / 或随机存取存储器(RAM)的微处理器,例如具有 2 兆比特 ROM 和 64 千比特 RAM 的 32 位微计算机。如本文所使用的,术语“实时”指的是在影响输出的输入发生变化之后的相当短的时间周期中产生的输出,其中“时间周期”是可以基于输出的重要性和 / 或系统对输入进行处理以产生输出的能力来进行选择的设计参数。

[0045] 在示例性实施例中,控制系统 24 包括存储区域 200,该存储区域 200 被构造成存储可执行指令以及 / 或者表示和 / 或指示超音速压缩机系统 10 的操作条件的一个或更多个操作参数。操作参数可以表示和 / 或指示但不限于流体压力、转速、振动、和 / 或流体温度。控制系统 24 还包括处理器 202,该处理器 202 连接至存储区域 200 并且被编程为至少部分

地基于一个或多个操作参数来确定一个或多个超音速压缩机系统控制装置 204 的操作,例如超音速压缩机转子 44。在一个实施例中,处理器 202 包括处理单元,例如但不限于集成电路(IC)、专用集成电路(ASIC)、微计算机、可编程逻辑控制器(PLC)和/或任意其它的可编程电路。备选地,处理器 202 可以包括多重处理单元(例如,在多核构造中)。

[0046] 在示例性实施例中,控制系统 24 包括传感器接口 206,该传感器接口 206 连接至至少一个传感器 36 (例如速度传感器 52、和/或压力传感器 46),以用于从传感器 36 接收一个或多个信号。每一个传感器 36 都产生并且发射与超音速压缩机系统 10 的操作参数相对应的信号。此外,每一个传感器 36 都可以例如连续地、周期性地发射信号或者仅发射一次信号,但是也能够构想其它的信号时序。此外,每一个传感器 36 都可以发射成模拟形式或成数字形式的信号。控制系统 24 通过处理器 202 对信号(多个信号)进行处理,以产生一个或多个操作参数。在一些实施例中,处理器 202 被编程(例如,通过存储区域 200 中的可执行指令)以对由传感器 36 产生的信号进行采样。例如,处理器 202 可以从传感器 36 接收连续信号,并且作为响应基于该连续信号周期性地(例如,每五秒一次)计算超音速压缩机转子 44 的操作模式。在一些实施例中,处理器 202 对从传感器 36 接收的信号进行归一化。例如,传感器 36 可以通过与操作参数值成正比例的参数(例如,电压)产生模拟信号。处理器 202 可以被编程为将模拟信号转换成操作参数。在一个实施例中,传感器接口 206 包括模数转换器,该模数转换器将由传感器 36 产生的模拟电压信号转换成可被制系统 24 使用的多位数字信号。

[0047] 控制系统 24 还包括控制接口 208,该控制接口 208 被构造成控制超音速压缩机系统 10 的操作。在一些实施例中,控制接口 208 操作性地连接至一个或多个超音速压缩机系统控制装置 204,例如超音速压缩机转子 44。

[0048] 控制接口 208 与控制装置 204 之间以及传感器接口 206 与传感器 36 之间能够实现多种连接。这些连接可以包括但不限于电导体、低级串行数据连接(例如推荐标准(RS)232 或 RS-485)、高级串行数据连接(例如通用串行总线(USB)或电气和电子工程师协会(IEEE)1394 (a/k/a 火线))、并行数据连接(例如 IEEE1284 或 IEEE488)、短距离无线通信信道(例如蓝牙)、和/或有线或无线专用(例如超音速压缩机系统 10 之外不可到达的)网络连接。

[0049] 再次参照图 4,在示例性实施例中,压力传感器 46 连接至超音速压缩机转子 44 并且被构造成感测流通道 88 内的压力。在一个实施例中,压力传感器 46 定位在咽喉区域 128 的上游,以用于感测流通道 88 的压缩区域 142 内的压力。备选地,压力传感器 46 可以定位在任何合适的位置处,以使得控制系统 24 能够如本文中所描述地起作用。在示例性实施例中,速度传感器 52 连接至超音速压缩机转子 44,以用于感测转子盘 56 的转速。

[0050] 在超音速压缩机系统 10 操作期间,控制系统 24 从速度传感器 52 接收表示超音速压缩机转子 44 的转速的信号并且从压力传感器 46 接收表示流通道 88 内的流体 116 的压力的信号。控制系统 24 被构造成至少部分地基于超音速压缩机转子 44 的转速和流通道 88 内的流体压力来计算正激波 170 在流通道 88 内的位置。控制系统 24 还被构造成基于计算出的正激波 170 的位置将超音速压缩斜面 112 选择性地定位在第一位置 156 与第二位置 158 之间。在一个实施例中,控制系统 24 被构造成比较计算出的正激波 170 的位置与预定位置并且确定正激波 170 处于第一位置 172 还是第二位置 174。在示例性实施例中,控制系统 24 基于确定正激波 170 处于第一位置 172 还是第二位置 174 来将超音速压缩斜面 112

选择性地定位在第一位置 156、第二位置 158、以及第一位置 156 与第二位置 158 之间的任何位置处。在备选实施例中,控制系统 24 被构造造成比较感测到的流体压力与预定压力和 / 或预定压力值范围。如果感测到的流体压力与预定压力不同并且 / 或者不属于压力值的预定范围内,则控制系统 24 操作超音速压缩斜面 112 以调节咽喉区域 128 的横截面积 126,直到感测到的流体压力与预定压力基本相等或者处于预定压力值范围内为止。

[0051] 图 7 是示出了操作超音速压缩机转子 44 以压缩流体的示例性方法 300 的流程图。在示例性实施例中,方法 300 包括将来自速度传感器 52 的表示超音速压缩机转子 44 的转速的第一监测信号发射 302 至控制系统 24。表示流通道 88 内的压力的第二监测信号从压力传感器 46 被发射 304 至控制系统 24。至少部分地基于第一监测信号和第二监测信号来通过控制系统 24 计算 306 正激波 170 的位置。控制系统 24 基于计算出的位置来确定 308 正激波 170 是否定位在咽喉区域 128 的下游处。控制系统 24 基于正激波 170 是否定位在咽喉区域 128 的下游处来将超音速压缩斜面 112 定位 310 在第一位置 156 和第二位置 158 中的一个位置处。

[0052] 本文中所描述的系统、方法、和装置的示例性技术效果包括以下中的至少一个 : (a) 从第一传感器向控制系统发射表示超音速压缩转子的转速的第一信号 ; (b) 从第二传感器向控制系统发射表示流通道内的压力的第二信号 ; (c) 至少部分地基于第一信号和第二信号来计算正激波的位置 ; (d) 基于计算出的位置来确定正激波是否定位在咽喉区域的下游处 ; 以及 (e) 基于确定正激波是否位于咽喉区域的下游处来将超音速压缩斜面定位在第一位置和第二位置中的一个位置处。

[0053] 上文所描述的超音速压缩机转子提供了用于提高超音速压缩机系统的性能效率的成本有效和可靠的方法。此外,超音速压缩机转子有利于通过一旦已获得期望的操作条件就调节咽喉区域中的最小横截面积(如由在咽喉区域的下游的流通道内形成的正激波的位置所指示的)来提高超音速压缩机系统的操作效率。更具体地,本文中所描述的超音速压缩机转子包括能够选择性地定位在第一位置与第二位置之间以有利于调节流通道的最小横截面积的超音速压缩斜面。通过调节最小横截面积,超音速压缩机转子有利于改进超音速压缩机系统的操作效率。这样,可以降低操作和维护超音速压缩机系统的成本。

[0054] 上文详细地描述了用于组装超音速压缩机转子的系统和方法的示例性实施例。所述系统和方法不限于本文中所描述的特定实施例,相反地,可以与本文中所描述的其它的部件和 / 或步骤系统独立并且单独地利用系统的部件和 / 或方法的步骤。例如,所述系统和方法还可以结合其它的旋转发动机系统和方法使用,并且不期望仅通过本文中所描述的超音速压缩机系统来实施。相反,示例性实施例能够结合多种其它的旋转系统应用来实施和利用。

[0055] 尽管本发明的各个实施例的特定特征可能示于一些附图中而未示于其它附图中,但这仅仅是为了方便起见。此外,不期望将在上文的描述中参照“一个实施例”理解成排除同样结合了所列举的特征的其它实施例的存在。根据本发明的原理,附图的任何特征都可以结合任何其它附图的任何特征被参照并且 / 或者要求保护。

[0056] 本书面描述使用例子对本发明进行了公开(其中包括最佳模式),并且还使本领域技术人员能够实施本发明(其中包括制造和使用任何装置或系统并且执行所包含的任何方法)。本发明的可专利范围通过权利要求进行限定,并且可以包括本领域技术人员能够想到

的其它的例子。如果这种其它的例子具有与权利要求的字面语言没有区别的结构元件,或者如果这种其它的例子包括与权利要求的字面语言没有实质区别的等同结构元件,则期望这种其它的例子落入权利要求的范围内。

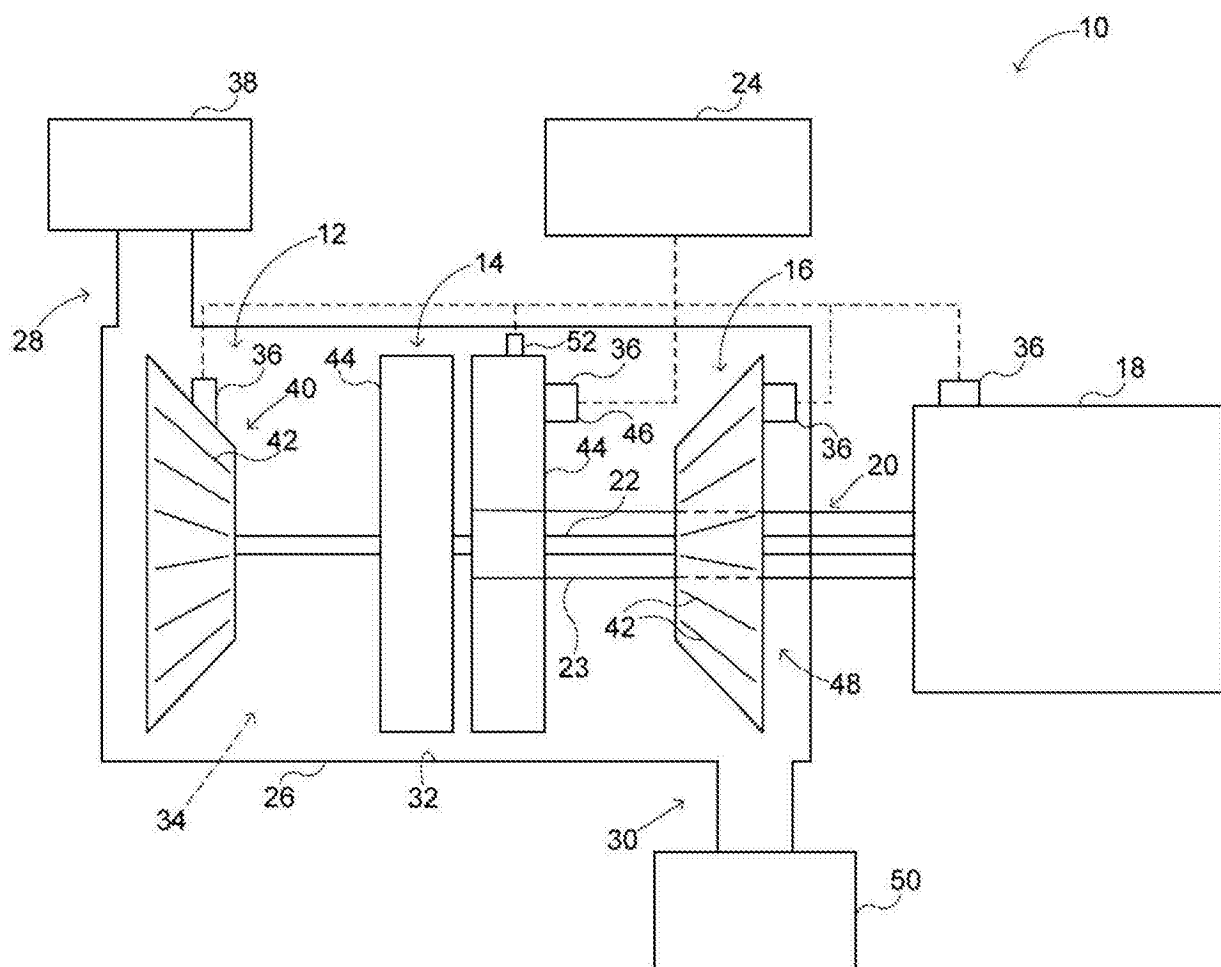


图 1

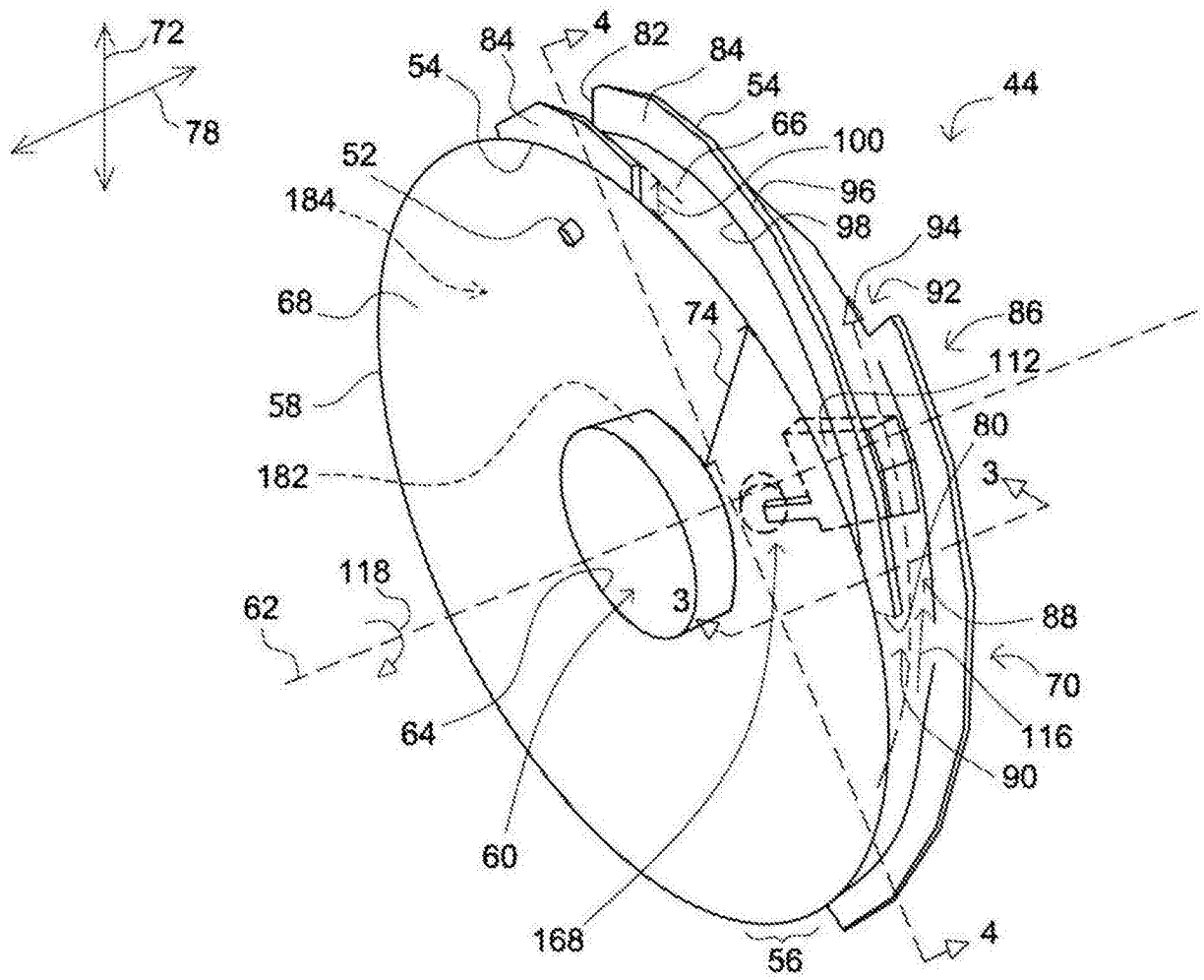


图 2

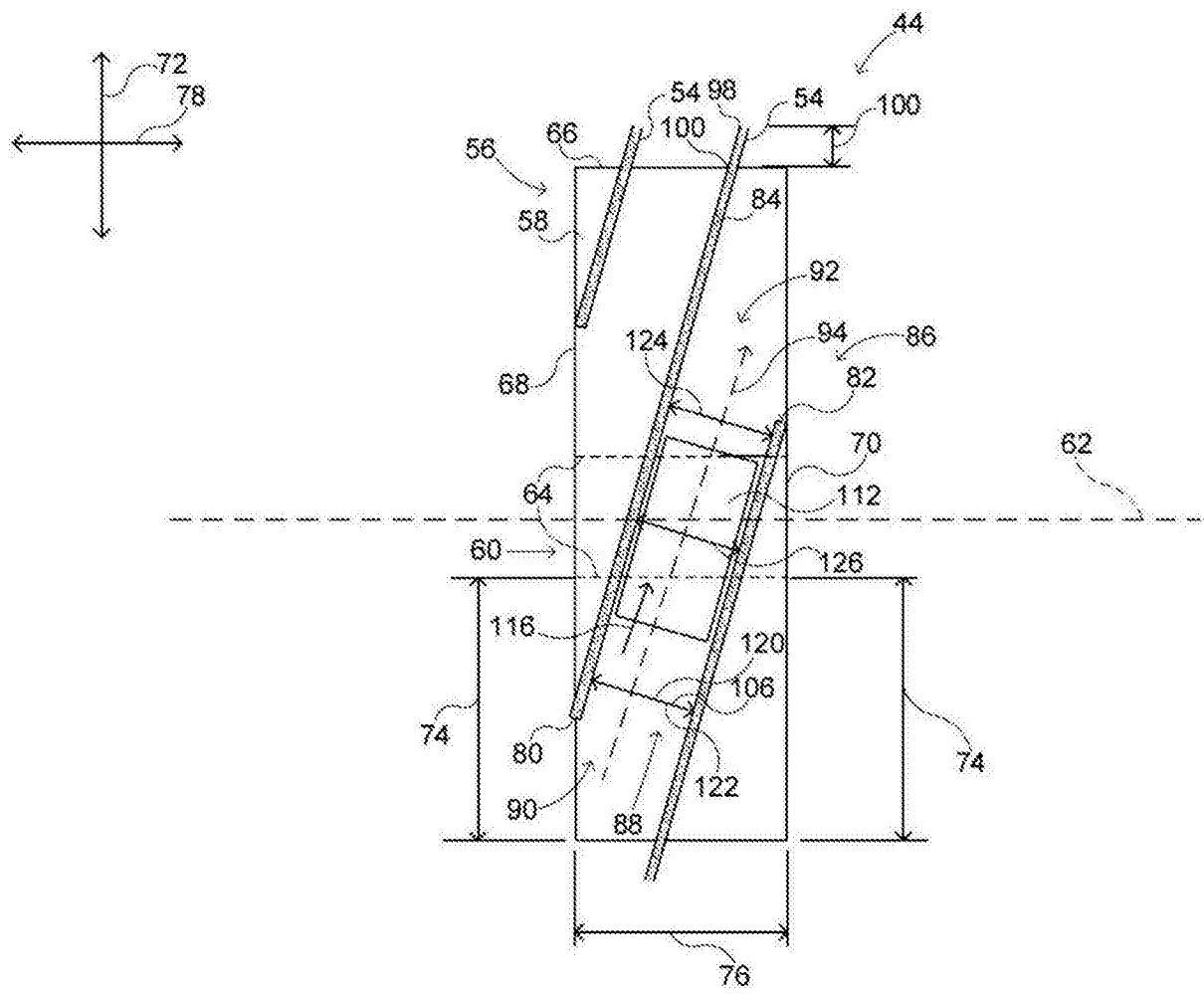


图 3

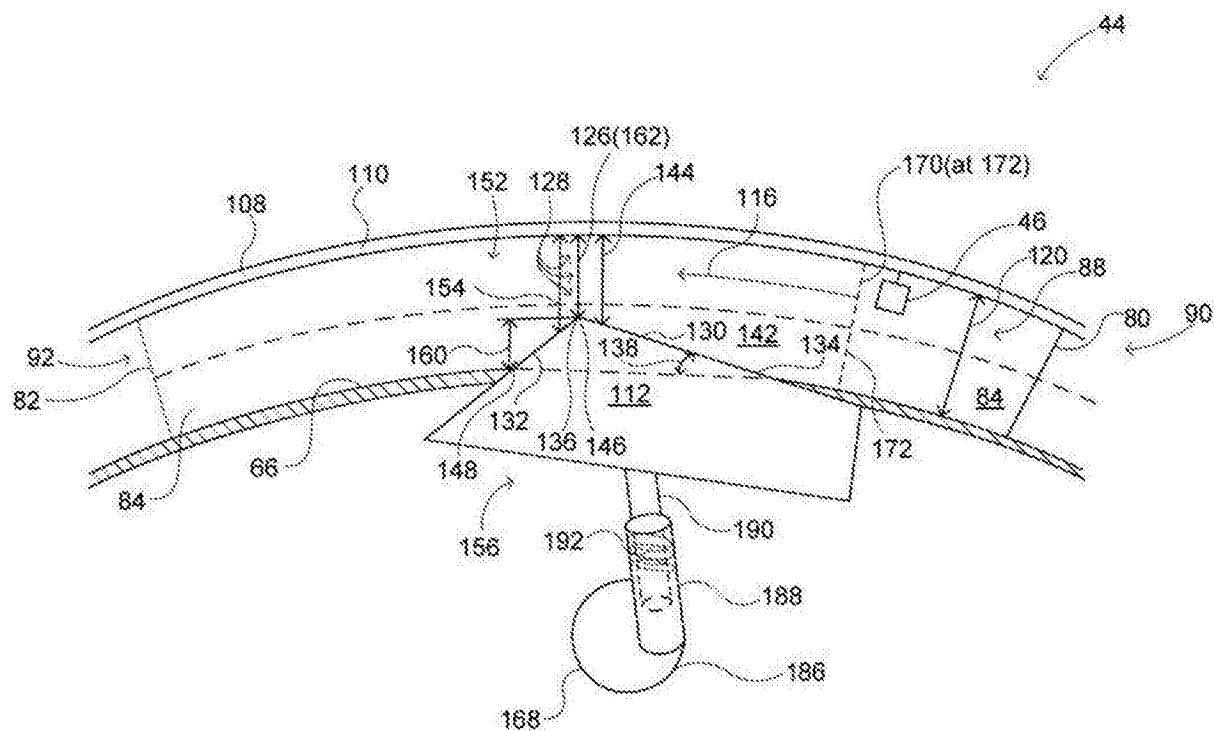


图 4

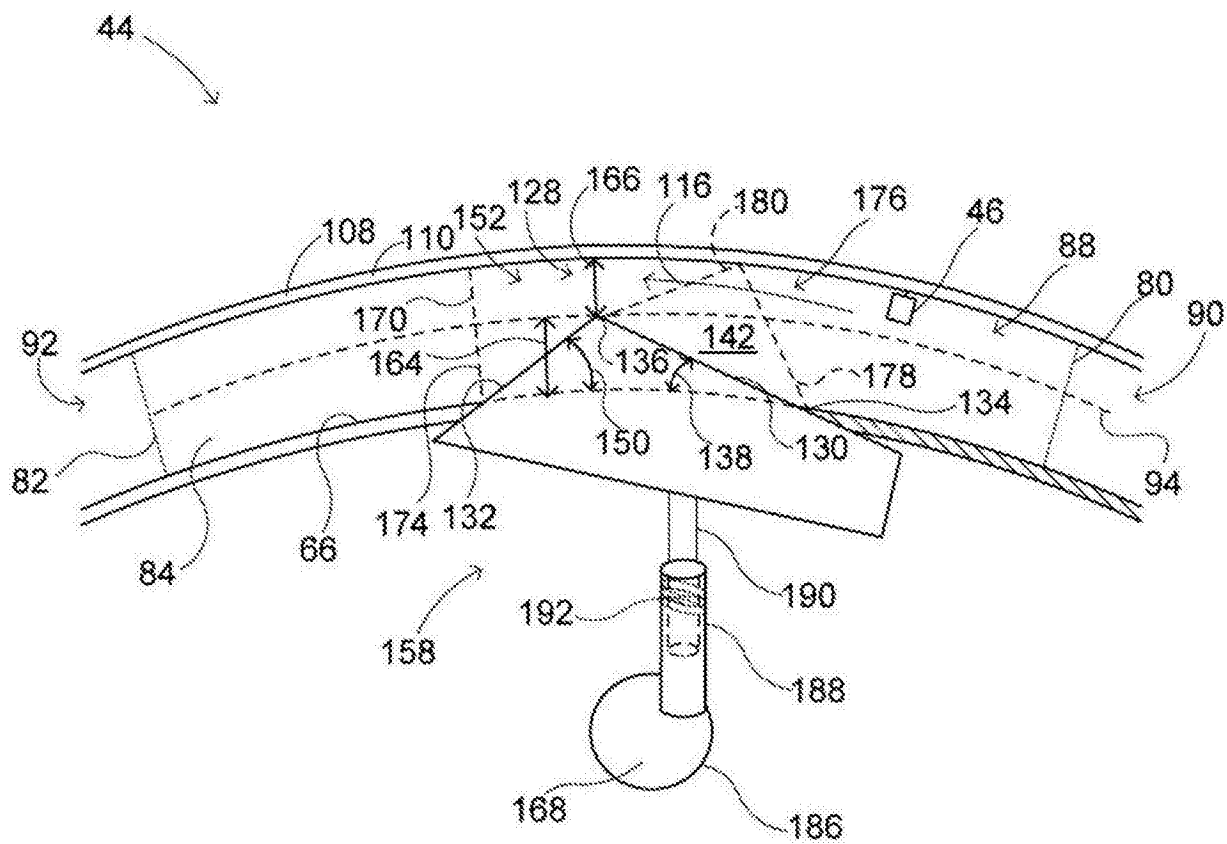


图 5

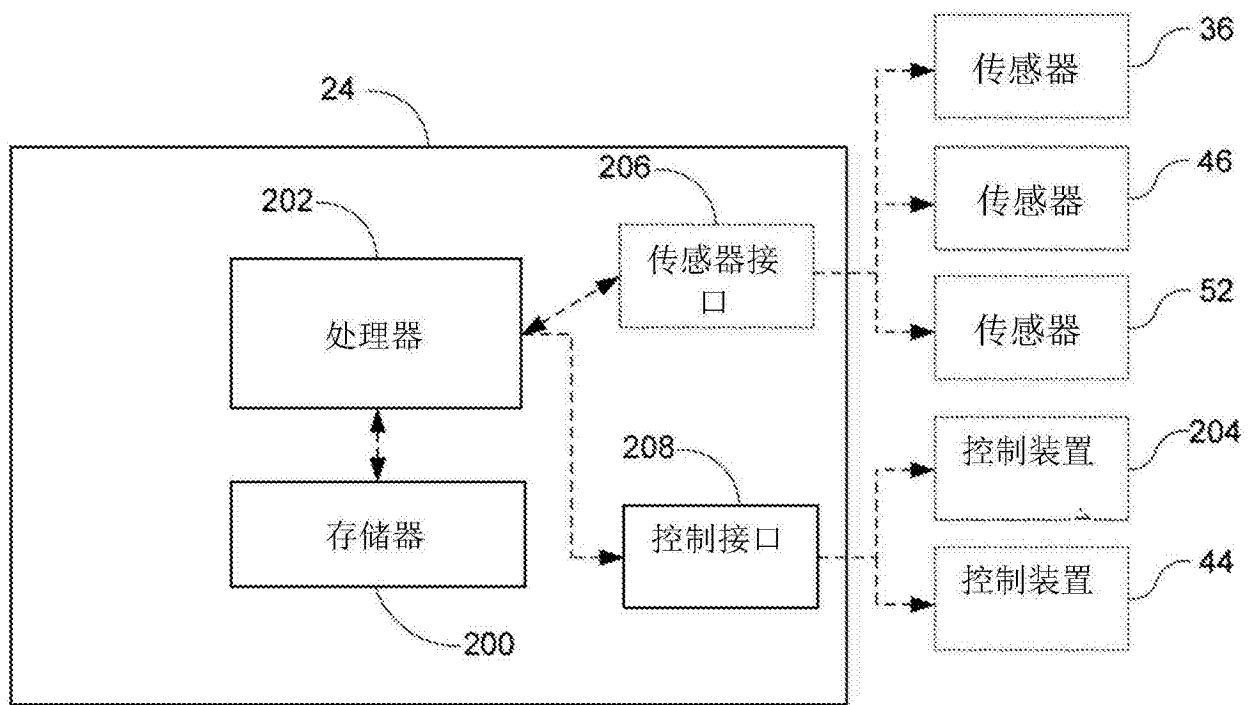


图 6

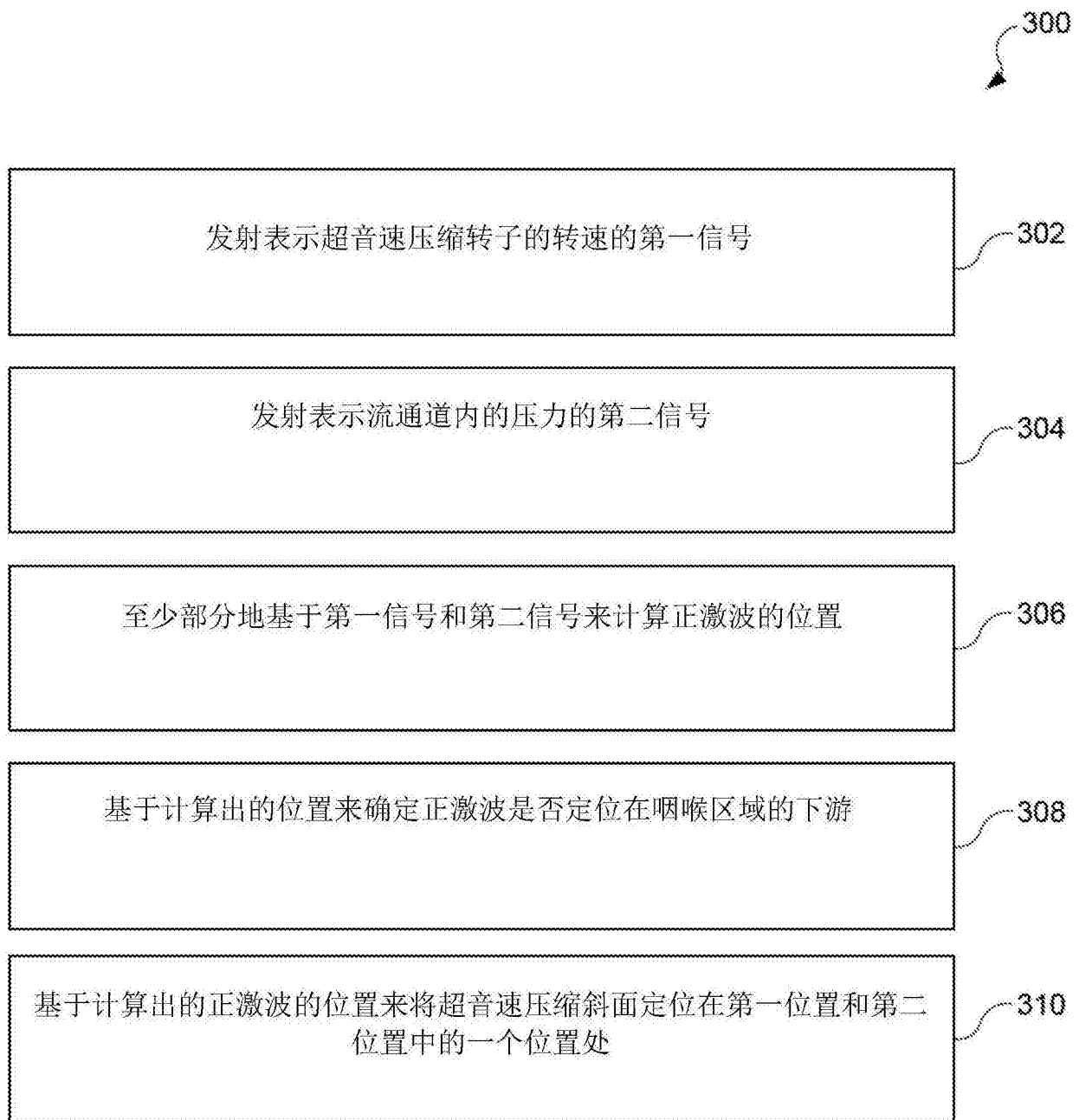


图 7