(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 111936723 B
(45)授权公告日 2022.07.22

(21)申请号 201880092376.6
(22)申请日 2018.04.13
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111936723 A
(43)申请公布日 2020.11.13
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2020.10.13
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2018/027502 2018.04.13
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2019/199320 EN 2019.10.17
(73)专利权人 西门子能源全球两合公司
地址 德国慕尼黑
(72)发明人 D·M·埃沙克 S·卡门斯基
D·维林格 S·施米特
H·施蒂尔 周岳琨
S·R·小米勒
(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
专利代理师 邹龙辉 刘茜
(51)Int.Cl.
F01D 5/16(2006.01)
F04D 29/66(2006.01)
审查员 刘玲

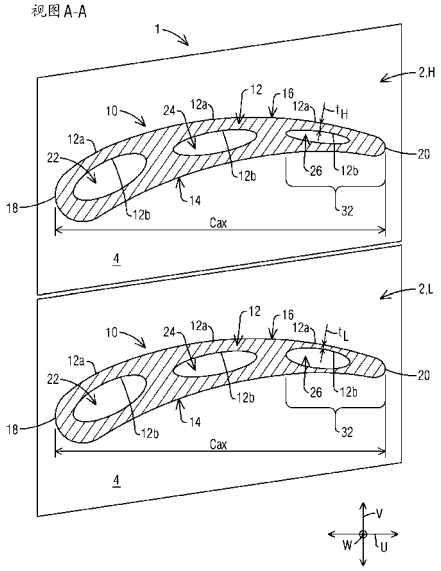
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

具有一个或多个内部腔体的涡轮叶片的失谐

(57)摘要

一种带叶片的转子系统(1),包括第一和第二组(H、L)的叶片(2),其具有相应的翼型件(10),每个翼型件具有至少一个内部腔体(22、24、26)。第一和第二组(H、L)的叶片(2)的翼型件(10)具有由相应翼型件(10)的外壁(12)的外表面(12a)限定的相同的外部形状。第一组(H)的叶片(2)的翼型件(10)与第二组(L)的叶片(2)的翼型件(L)的区别在于至少一个内部腔体(26)的几何形状和/或位置,其对于给定组(H、L)的叶片(2)是唯一的。第一组(H)的叶片(2)的固有频率与第二组(L)的叶片(2)的固有频率相差预定量。第一组(H)和第二组(L)的叶片(2)以周期性方式交替地布置在所述周向排中,以提供频率失谐来稳定叶片(2)的颤振。



CN 111936723 B

1.一种用于涡轮机的带叶片转子系统(1),包括:

安装在转子盘(3)上的叶片(2)的周向排,每个叶片包括翼型件(10),所述翼型件(10)具有界定翼型件内部的外壁(12),所述翼型件内部包括一个或多个内部腔体(22、24、26),

叶片排包括第一组的叶片和第二组的叶片,其中:

所述第一组的叶片和第二组的叶片的翼型件具有由相应的翼型件(10)的外壁(12)的外表面(12a)限定的相同外部形状,以及

所述第一组的叶片的翼型件与所述第二组的叶片的翼型件的区别在于至少一个内部腔体(26)的几何形状和/或位置,所述几何形状和/或位置对于给定组的叶片(2)是唯一的,

其中,所述第一组的叶片的固有频率与所述第二组的叶片的固有频率相差预定量,

其中,所述第一组的叶片和所述第二组的叶片以周期性方式交替地布置在所述周向排中,以提供频率失谐来稳定所述叶片(2)的颤振,以及

其中,所述至少一个内部腔体(26)是后缘冷却通道;

其中,对于相应的翼型件(10)的外壁(12)的至少一部分,属于所述第一组的翼型件的外壁厚度t_H不同于属于所述第二组的翼型件的对应的外壁厚度t_L,其中,所述一部分仅限于从所述相应的翼型件(10)的末梢(8)延伸高达20%跨度的末梢部分(34)。

2.根据权利要求1所述的带叶片转子系统(1),其中,属于所述第一组的所述翼型件的所述外壁厚度t_H与属于所述第二组的所述翼型件的对应的外壁厚度t_L之间的差在所述一部分内沿翼弦方向和/或翼展方向变化。

3.根据权利要求1或2所述的带叶片转子系统(1),其中,属于所述第一组的所述翼型件的所述外壁厚度t_H与属于所述第二组的所述翼型件的对应的外壁厚度t_L之间的最大差等于或小于对应标称外壁厚度的20%。

4.根据权利要求1所述的带叶片转子系统(1),其中,属于所述第一组的所述翼型件的所述至少一个内部腔体(26)的第一位置与属于所述第二组的所述翼型件的对应的至少一个内部腔体(26)的第二位置不同,所述第二位置从所述第一位置朝向相应的翼型件(10)的压力侧(14)或吸力侧(16)偏移。

5.根据权利要求4所述的带叶片转子系统(1),其中,属于所述第一组的所述翼型件的所述一个或多个内部腔体(22、24、26)中的每一个相对于属于所述第二组的所述翼型件的对应内部腔体(22、24、26)具有相同的几何形状。

6.一种用于产生带叶片转子系统(1)的方法,包括:

形成多个叶片(2),每个叶片(2)至少部分地通过铸造工艺形成,每个叶片(2)包括具有一个或多个内部腔体(22、24、26)的翼型件(10),所述一个或多个内部腔体在所述铸造工艺期间由相应芯元件产生,其中:

所述多个叶片(2)包括第一组的叶片和第二组的叶片,

所述第一组的叶片和第二组的叶片的翼型件具有由相应的翼型件(10)的外壁(12)的外表面(12a)限定的相同外部形状,以及

用于形成所述第一组的叶片的铸造工艺与用于形成所述第二组的叶片的铸造工艺的不同之处在于,相对于属于所述第二组的叶片,用于产生至少一个内部腔体(26)的相应芯元件在属于所述第一组的叶片的铸造期间具有不同的几何形状和/或位置,所述相应芯元件的几何形状和/或位置保持相同以用于形成给定组的叶片(2),

其中，所述第一组的叶片的固有频率与所述第二组的叶片的固有频率相差预定量，以及

围绕转子盘周向地安装所述叶片(2)，使得所述第一组的叶片和所述第二组的叶片以周期性的方式交替，

其中，所述至少一个内部腔体(26)是后缘冷却通道；

其中，所述相应芯元件设计成使得对于相应的翼型件(10)的外壁(12)的至少一部分，属于所述第一组的翼型件的外壁厚度t_H不同于属于所述第二组的翼型件的对应的外壁厚度t_L，其中，所述一部分仅限于从所述相应的翼型件(10)的末梢(8)延伸高达20%跨度的末梢部分(34)。

7.根据权利要求6所述的方法，其中，在铸造期间，用于产生属于所述第一组的所述翼型件的所述至少一个内部腔体(26)的相应芯元件的第一位置不同于用于产生属于所述第二组的所述翼型件的对应的至少一个内部腔体(26)的相应芯元件的第二位置，所述第二位置从所述第一位置朝向相应的翼型件(10)的压力侧(14)或吸力侧(16)偏移。

8.根据权利要求6所述的方法，其中，属于所述第一组的所述翼型件的所述外壁厚度t_H与属于所述第二组的所述翼型件的对应的外壁厚度t_L之间的最大差等于或小于对应标称外壁厚度的20%。

具有一个或多个内部腔体的涡轮叶片的失谐

技术领域

[0001] 本发明涉及涡轮机中的旋转叶片，并且特别地涉及具有一个或多个内部腔体的一排涡轮叶片，所述涡轮叶片具有限定的频率失谐以用于改进的抗颤振性。

背景技术

[0002] 涡轮机，诸如燃气涡轮发动机，包括沿着燃气涡轮发动机的涡轮区段中的热气体路径的多级导流元件。每个涡轮级包括沿涡轮区段的轴向方向布置的周向排的固定导叶和周向排的旋转叶片。每排叶片可以安装在相应的转子盘上，其中叶片从转子盘沿径向向外延伸到热气体路径中。叶片包括翼型件，该翼型件沿径向方向从翼型件的根部部分沿径向方向在翼展方向上延伸至翼型件的末梢。

[0003] 在每个级处的典型涡轮叶片被设计成在空气动力学和机械上是相同的。这些相同的叶片一起组装到转子盘中以形成带叶片的转子系统。在发动机操作期间，带叶片的转子系统以系统模式振动。由该振动引起的叶片位移幅度在大叶片中可能更严重，诸如在低压涡轮级中。对于机械和空气动力学上相同的叶片，气动弹性模式是在相邻叶片之间具有恒定相位角的叶片振动模式，所述相位角影响在叶片上完成的不稳定流动和空气动力学功。在大多数情况下，这用于抑制相邻叶片的振动。然而，在某些条件下，在一些模式中的空气动力学阻尼可能变为负的，这可能导致叶片以自激方式振动，称为颤振。当这种情况发生时，系统的振动响应趋向于指数地增长，直到叶片达到极限循环或断裂。即使叶片达到极限循环，它们的振幅仍然可能大到足以导致叶片由于高循环疲劳而失效。

[0004] 频率失谐可以通过改变相邻叶片的相位角而导致系统模式失真，使得所得到的新的失谐系统模式是稳定的，即，它们都具有正的空气动力学阻尼。在一些情况下，可能期望能够设计具有一定量的限定失谐的叶片。失谐可以通过以限定的方式改变沿着转子盘的叶片频率来实现。由于铸造工艺期间的铸造变化和芯运动，限定的失谐可能是冷却的涡轮叶片中的挑战。

[0005] 传统上，已经通过去除叶片末梢上的材料，例如通过研磨，以改变一些叶片的频率，在实心叶片上实施失谐。

发明内容

[0006] 简言之，本发明的方面涉及一种用于在具有一个或多个内部腔体的一排涡轮叶片中实施限定失谐的改进技术。

[0007] 根据本发明的第一方面，提供了一种用于涡轮机的带叶片转子系统，其包括安装在转子盘上的叶片的周向排。每个叶片包括翼型件，所述翼型件具有界定翼型件内部的外壁。翼型件内部包括一个或多个内部腔体。叶片排包括第一组叶片和第二组叶片。第一组叶片和第二组叶片的翼型件具有由相应翼型件的外壁的外表面限定的相同的外部形状。第一组叶片的翼型件与第二组叶片的翼型件的区别在于至少一个内部腔体的几何形状和/或位置，该几何形状和/或位置对于给定组的叶片是唯一的。因此，第一组的叶片的固有频率与

第二组的叶片的固有频率相差预定量。第一组的叶片和第二组的叶片以周期性方式交替地布置在所述周向排中，以提供频率失谐来稳定叶片的颤振。

[0008] 根据本发明的第二方面，提供了一种用于产生带叶片的转子系统的方法。该方法包括形成多个叶片，每个叶片至少部分地通过铸造工艺形成。每个叶片包括具有一个或多个内部腔体的翼型件，内部腔体在铸造工艺期间由相应的芯元件产生。多个叶片包括第一组叶片和第二组叶片。第一组叶片和第二组叶片的翼型件具有由相应翼型件的外壁的外表面限定的相同的外部形状。用于形成第一组叶片的铸造工艺与用于形成第二组叶片的铸造工艺的不同之处在于，相对于属于第二组的叶片，用于产生至少一个内部腔体的相应芯元件在属于第一组的叶片的铸造期间具有不同的几何形状和/或位置。相应芯元件的几何形状和/或位置保持基本相同，以用于形成给定组的叶片。因此，第一组的叶片的固有频率与第二组的叶片的固有频率相差预定量。

附图说明

[0009] 借助于附图更详细地示出了本发明。附图示出了优选的构造，并且不限制本发明的范围。

[0010] 图1以轴向视图示意性地示出了根据示例性布置的具有失谐叶片的带叶片转子系统的一部分；

[0011] 图2是带叶片转子系统的截面图，示出了根据本发明的第一实施例的一对失谐叶片；以及

[0012] 图3是带叶片转子系统的截面图，示出了根据本发明的第二实施例的一对失谐叶片。

具体实施方式

[0013] 在以下对优选实施例的详细描述中，参考了形成本发明一部分的附图，并且其中通过说明而非限制的方式示出了可以实践本发明的具体实施例。应该理解的是，可以使用其它实施例，并且可以在不背离本发明的精神和范围的情况下进行改变。

[0014] 现在参考图1，示出了用于涡轮机的带叶片的转子系统1的一部分。带叶片的转子系统1包括安装在转子盘3上的一排周向叶片2。每个叶片2包括翼型件10，其从平台4沿径向方向在翼展方向上延伸到翼型件末梢8。翼型件10可以包括外壁12，其具有大体凹入的压力侧14和大体凸出的吸力侧16，它们在前缘18和后缘20处连结。每个叶片2可以经由附接结构5安装在盘3上，该附接结构称为根部，其从平台4径向向内延伸。根部5可以具有枞树形状(fir-tree shape)，其配合到转子盘3中的对应成形的槽6中。在所示实施例的上下文中，可以假设叶片排的每个叶片2具有基本相同的枞树附接件。相邻叶片2的平台4周向对准，由此相邻平台4的径向外表面形成涡轮机的工作流体的内径流动路径边界。在所述实施例中，叶片2是冷却的涡轮叶片，其中每个翼型件10可以具有由内部腔体22、24、26（见图2和图3)形成的一个或多个冷却通道，用于在根部5和末梢8之间传导冷却流体，然而，应当认识到的是，本发明的各方面可以应用于包括一个或多个内部腔体的未冷却的中空叶片。

[0015] 翼型件10径向向外延伸到流动路径中，并且从工作流体提取能量，这导致叶片2绕旋转轴线7旋转。当翼型件10从工作流体中提取能量时，工作流体在翼型件10上施加载荷

力。载荷力的变化导致叶片2偏转和振动。该振动具有宽的频率分量频谱，在叶片2的固有共振频率处具有最大的振幅。该振动可以具有沿切向和轴向方向的分量。

[0016] 所示实施例的基本构思包括：通过修改内部几何形状同时保持翼型件10的外部形状一致而将带叶片的转子系统1设计成具有叶片频率的交替失谐。在所示的示例中，带叶片的转子系统1包括两组叶片2，即由H表示的第一组叶片2和由L表示的第二组叶片2。两组叶片H和L的翼型件10具有相同的外部形状。外部形状可以由相应翼型件外壁12的外表面12a的三维形状限定(见图2和图3)。属于第一组H的翼型件10可以通过至少一个内部腔体26的几何形状而与属于第二组L的翼型件10区分开，该几何形状对于给定组的叶片是唯一的，如图2中所示。替代地或另外，属于第一组H的翼型件10可以通过至少一个内部腔体26的位置而与属于第二组L的翼型件10区分开，该位置对于给定组的叶片是唯一的，如图3中所示。由于两组H和L的叶片之间的质量和/或刚度的所得差异，第一组H的叶片2的固有频率与第二组L的叶片2的固有频率相差预定量。因此，第一组H的叶片相对于第二组L的叶片是频率失谐的。所示实施例的特征在于，延伸到流动路径中的翼型件10的外部几何形状在整个带叶片的转子系统1中基本上相同，由此可以实现频率失谐，而不会影响系统1的空气动力学效率。

[0017] 为了实现限定的失谐以减轻叶片2的颤振，第一组H和第二组L的叶片可以以周期性的方式交替地安装在转子盘3周围，如图1中所示。术语“交替地”可以指每隔一个叶片，或指具有类似振动特性的连续叶片组。在所示的实施例中，第一组H和第二组L的叶片2以模式HLH沿周向方向单独地交替(一个接一个)。在另外的实施例中，第一组H和第二组L的两个或更多个叶片的组可以在叶片排中沿着周向方向以周期性的方式交替，例如以包括HHLLHH、HHHLLHHH、HHHLLLHHH等的模式交替。

[0018] 在一个实施例中，如本文所示，根据本发明构思的带叶片的转子系统可以至少部分地通过铸造工艺形成。在其它实施例中，这种带叶片的转子可以通过其它制造方法形成，包括但不限于增材制造工艺。

[0019] 现在参考图2和图3描述本发明的示例性实施例，在图2和图3中，轴线u、v和w分别表示轴向方向、周向方向和径向方向，径向方向垂直于附图的平面。

[0020] 参考图2，示出了本发明的第一示例实施例。该图以截面图描绘了两个叶片2，它们分别属于第一组H和第二组L。如图所示，每个叶片2具有相应的翼型件10，该翼型件具有沿径向方向在翼展方向上延伸的外壁12。外壁12界定了翼型件内部，其通常是中空的。翼型件10的内部包括一个或多个内部腔体，其在本实施例中构造为冷却通道。在该示例中，提供了三个内部腔体或冷却通道，即定位成邻近前缘18的前缘冷却通道22、定位成邻近后缘20的后缘冷却通道26，以及定位在前缘冷却通道22和后缘冷却通道26之间的翼弦中间冷却通道24。腔体22、24、26沿翼展方向延伸，并且构造成在操作期间在相应的翼型件10的根部5和末梢8之间径向地传导冷却流体(参考图1)。外壁12具有在操作期间面向热工作流体的外表面12a和面向内部腔体22、24、26的内表面12b。

[0021] 在一个实施例中，叶片10可以通过铸造工艺制造，诸如熔模铸造工艺，其基本原理对于本领域技术人员是已知的，且将不进一步描述。在铸造期间，叶片2中的内部腔体，诸如腔体22、24和26，由相应的芯元件产生，该芯元件随后在铸造工艺之后被移除以产生这些腔体。因此，内部腔体22、24、26的最终几何形状对应于相应的芯元件的几何形状。铸造工艺有

时可以跟随有外部加工过程，以获得如由外壁12的外表面12a限定的翼型件10的最终外部形状。第一组H的翼型件10的外部形状可以与第二组L的翼型件10的外部形状基本相同，即，受标准制造公差的影响。

[0022] 根据本实施例，属于第一组H的翼型件10与属于第二组L的翼型件10的区别在于内部腔体22、24、26中的一个或多个的几何形状，所述几何形状对于给定组H或L是唯一的。在一个实施例中，如图所示，对于属于第一组H的翼型件10，内部腔体中的仅一个26的几何形状不同于属于第二组L的翼型件10的几何形状。在这种情况下，第一组H的翼型件10的内部腔体22和24的几何形状与第二组L的翼型件10的内部腔体22和24的对应几何形状基本相同，受制造公差的影响。用于产生第一组H的叶片2和第二组L的叶片2的铸造工艺因此是不同的，因为它们涉及使用不同的芯几何形状来产生内部腔体中的至少一个。在这种情况下，相对于第二组L的叶片2，对于第一组H的叶片2，用于在铸造期间产生至少一个内部腔体26的相应芯元件具有不同的几何形状。对于属于给定组H或L的叶片，用于产生内部腔体26的相应芯元件的几何形状基本相同。

[0023] 由于铸造芯几何形状的变化，属于第一组H的翼型件10可以具有与属于第二组L的翼型件10的外壁厚度或厚度分布不同的外壁厚度或厚度分布。在翼型件10的外壁12的外表面12a上的给定点处测量的外壁厚度可以限定为从外表面12a上的所述点到外壁12的内表面12b上的任何点的最短距离。对于外壁12的外表面12a上的所有点，外壁厚度可以为均匀的，或者可以沿着外壁12的翼展方向(span-wise)和/或翼弦方向(chord-wise)的范围变化。在图2所示的示例中，对于相应的翼型件10的外壁12的至少一部分，属于第一组H的翼型件10的外壁厚度t_H与在外壁12上的对应点处测量的属于第二组L的翼型件10的外壁厚度t_L不同(在该情况下，大于外壁厚度t_L)。第一组H的叶片2因此相对于第二组L的叶片2具有更高的质量和刚度，使得第一组H的叶片2的固有频率高于第二组L的叶片2的固有频率。外壁厚度的差异可以基于芯几何形状的限定变化来预定以获得期望的频率失谐(例如，2-5%频率失谐)，以稳定操作期间叶片的颤振。

[0024] 在图2中所示的实施例中，两组H、L的翼型件之间的外壁厚度的差异被提供用于外壁12的仅被限制到相应翼型件10的后缘区域32的部分。后缘区域32可以被限定为外壁12的邻近后缘20的区域，并且从后缘沿着压力侧14和吸力侧16延伸到前缘18和后缘20之间的中间位置。在非限制性示例中，后缘区域32可以从后缘20延伸达轴向弦长Cax的30%。为此目的，如图2中所示，第一组叶片H和第二组叶片L之间的铸造芯变化可以仅被应用于后缘冷却通道26。在另外的实施例中，组H和L的叶片之间的外壁厚度的差异可以仅为沿着翼型件的整个周边从前缘18到后缘20或其一部分在翼弦方向上延伸的末梢部分(例如，从翼型件末梢8直到20%的跨度)提供。在所示实施例中，可以仅为后缘区域32的末梢部分34提供组H和L的叶片之间的外壁厚度的差异。如上所述，末梢部分34可以例如具有小于或等于距离翼型件末梢8的翼型件10的跨度的20%的翼展方向范围(参见图1)。

[0025] 上述实施例基于这样的认识，即叶片2的刚度可以通过相对于其它位置改变翼型件10的后缘和末梢部分处的几何形状而受到更多的影响。通过将铸造芯变化限制在这些具体位置，可以实现期望的频率失谐，并且失谐叶片之间的质量变化最小。在其它实施例中，可以沿着外壁12的整个范围提供外壁厚度的差异，或者将外壁厚度的差异提供到具有与上述不同的翼弦方向和/或翼展方向范围的其它部分。

[0026] 在一个实施例中，属于第一组H的翼型件10的外壁厚度t_H与属于第二组L的翼型件10的对应的外壁厚度t_L之间的差不是恒定的，而是在以上提到的指定部分内沿着翼弦方向和/或翼展方向变化。在示例性实施例中，属于第一组H的翼型件10的外壁厚度t_H与属于第二组L的翼型件10的对应的外壁厚度t_L之间的最大差等于或小于翼型件10的对应的标称外壁厚度的20%。

[0027] 参考图3，示出了本发明的第二示例性实施例。为了简单起见，将不重复相似元件的描述。该图以截面图描绘了两个叶片2，其分别属于第一组H和第二组L。第一组H的翼型件10的外部形状可以与第二组L的翼型件10的外部形状基本上相同，即，受标准制造公差的影响。

[0028] 根据本实施例，第一组H的翼型件10与第二组L的翼型件10的区别在于内部腔体22、24、26中的一个或多个的位置，所述位置对于给定组H或L的叶片2是唯一的。在一个实施例中，如图所示，对于属于第一组H的翼型件10，内部腔体中的仅一个26的位置相对于属于第二组L的翼型件10的位置是不同的。在这种情况下，在铸造公差的影响下，属于第一组H的翼型件10的内部腔体22和24的位置与属于第二组L的翼型件10的内部腔体22和24的对应位置基本相同。用于产生第一组H的叶片2和第二组L的叶片2的铸造工艺因此是不同的，因为它们涉及用于产生内部腔体中的至少一个的不同芯位置。在这种情况下，相对于第二组L的叶片2，在第一组H的叶片2的情况下，用于产生至少一个内部腔体26的相应的芯元件在铸造期间具有不同的位置。用于产生内部腔体26的相应芯元件的位置对于给定组H或L的叶片可以基本相同。

[0029] 在图3中所示的示例中，第一组H的翼型件10的内部腔体26围绕翼型件拱弧线(camber line)40居中。第二组L的翼型件10的内部腔体26可以从拱弧线40朝向压力侧14或吸力侧16（在这种情况下，朝向吸力侧16)偏移。上述内容可以通过在形成第一组H的翼型件10的内部腔体26的芯元件的位置与形成第二组L的翼型件10的内部腔体26的对应芯元件的位置之间应用限定的偏移来实现。

[0030] 在一个实施例中，第一组H的翼型件10的内部腔体22、24、26（以及用于产生它们的相应的芯元件)中的每一个的几何形状可以与第二组L的翼型件10（以及用于产生它们的相应的芯元件)的对应的内部腔体22、24、26的几何形状大致相同。在这种情况下，可以基于芯位置的限定变化提供期望的频率失谐，从而导致不同的叶片刚度，但是失谐叶片之间的质量基本上没有变化。如本文所示，通过将芯位置的变化限制在仅后缘冷却通道26上，可以实现所需的叶片刚度差异，在各种实施例中，芯位置的变化可以应用于内部腔体22、24和26中的任何一个或多个或全部。

[0031] 尽管已经详细描述了具体实施例，但是本领域普通技术人员将理解的是，根据本公开的总体教导，可以开发对这些细节的各种修改和替换。因此，所公开的特定布置仅是说明性的，而不是限制本发明的范围，本发明的范围由所附权利要求及其任何和所有等同物的全部范围给出。

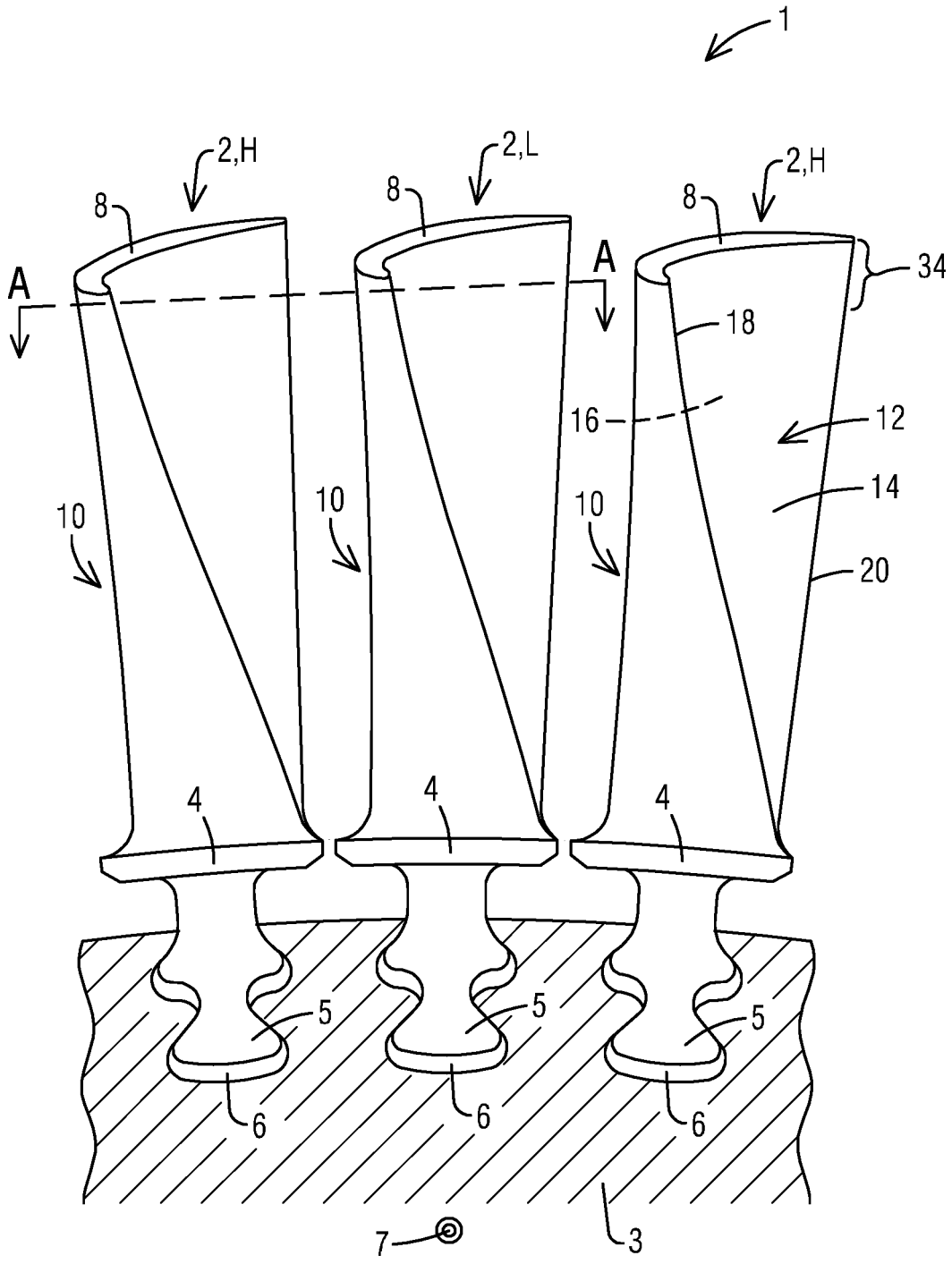


图 1

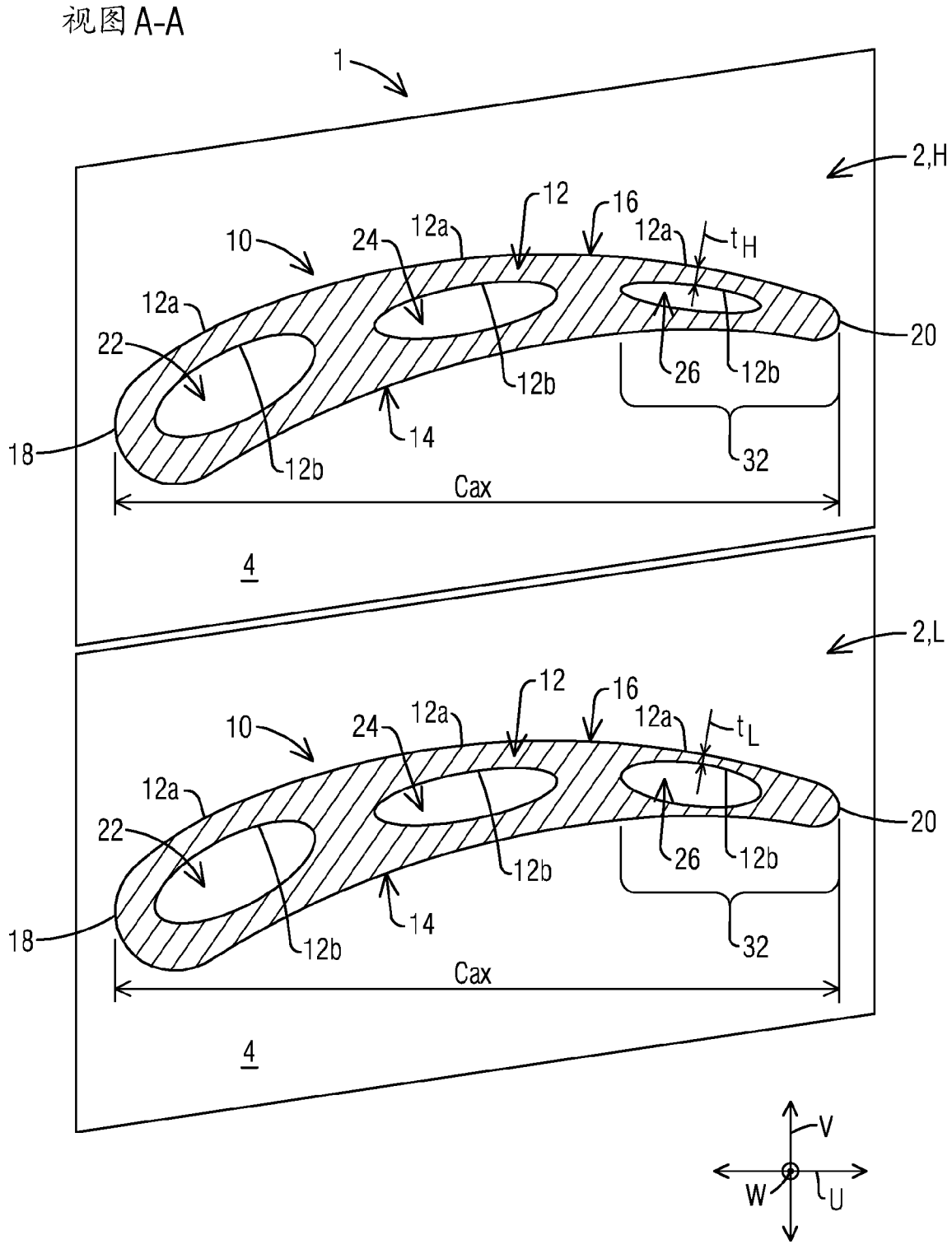

视图A-A
1
2,H
10
24
12a
12
16
12a
t_H
12a
22
20
12b
26
12b
18
14
12b
32
Cax
4
2,L
10
24
12a
12
16
12a
t_L
12a
22
20
12b
26
12b
18
14
12b
32
Cax
4
V
W
U

图 2

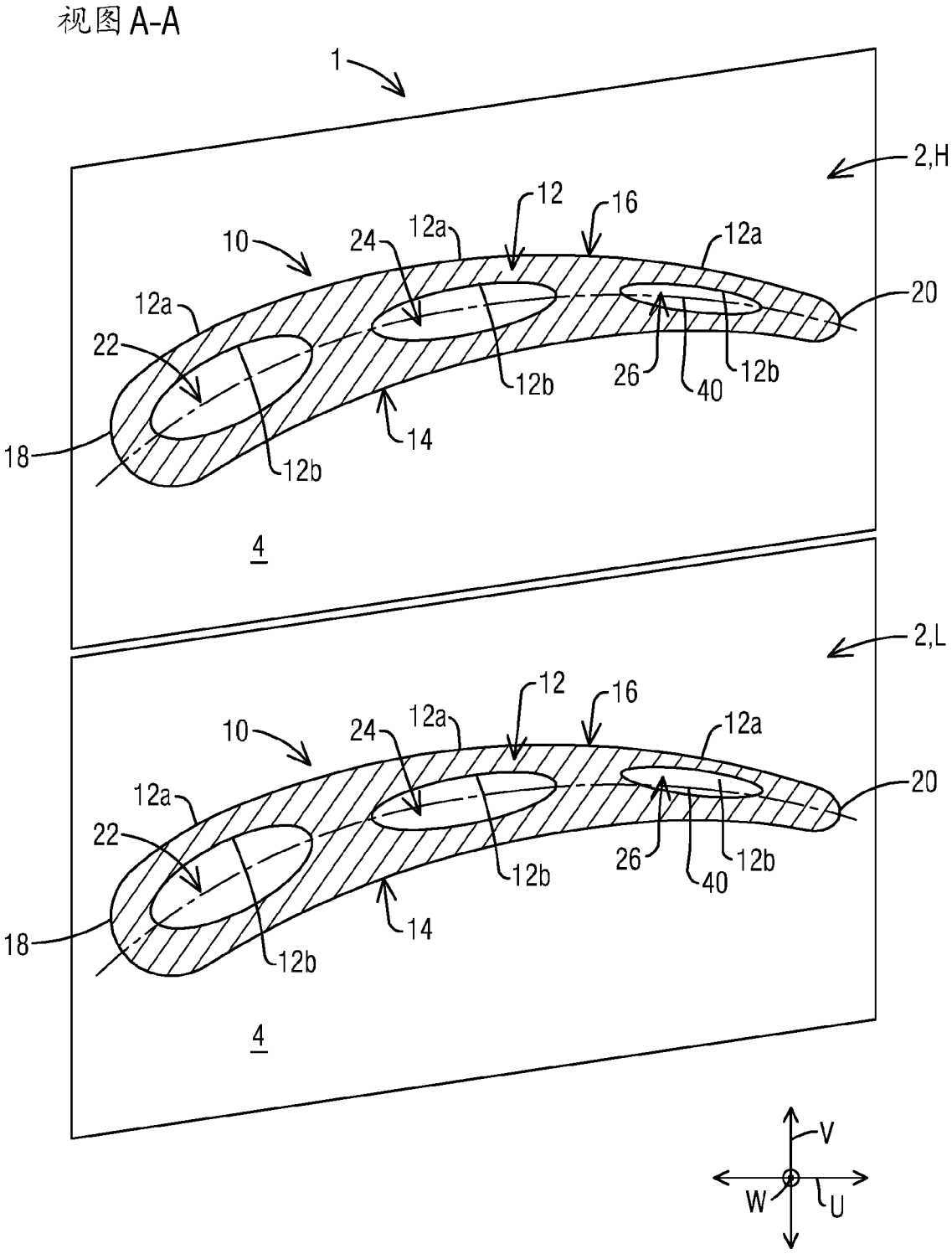

视图 A-A
1
2,H
10
24
12a
12
16
12a
20
12a
22
12b
26
40
12b
18
14
12b
4
2,L
10
24
12a
12
16
12a
20
12a
22
12b
26
40
12b
18
14
12b
4
V
W
U

图 3