(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 116194675 A
(43)申请公布日 2023.05.30

(21)申请号 202180063581.1
(22)申请日 2021.08.05
(30)优先权数据
62/706,286 2020.08.07 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2023.03.16
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2021/071119 2021.08.05
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2022/032296 EN 2022.02.10
(71)申请人 概创机械设计有限责任公司
地址 美国佛蒙特州
(72)发明人 大卫·亚皮克瑟
(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
专利代理师 张丽娜
(51)Int.Cl.
F04D 29/18(2006.01)

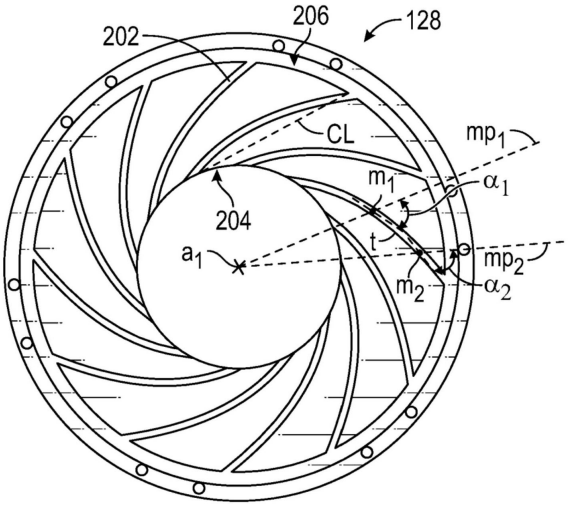
权利要求书4页 说明书15页 附图15页

(54)发明名称

用于增强性能的流量控制结构及结合有该流量控制结构的透平机

(57)摘要

用于透平机的流量控制装置和结构。在一些示例中,流量控制装置和结构包括位于透平机的护罩侧和毂侧中的一者或两者上的流动导引通道、部分高度叶片和其他处理件的各种布置,以重新定向、导引或以其它方式影响透平机流场的各部分,由此改善机器性能。



CN 116194675 A

1.一种透平机,包括:

毂表面、护罩表面以及位于所述毂表面或所述护罩表面中的多个凹入通道,所述凹入通道中的每个凹入通道沿流动方向延伸并且具有相对于子午参考平面的角度轮廓α(M),所述子午参考平面在沿着通道长度的子午线位置M处穿过对应的通道;

其中,所述通道中的每个通道的至少第一部分的角度被设计并构造为等于或小于工作流体在最大质量流率操作点处的经计算的最小流动角度,由此增加在所述最大质量流率操作点处所述通道与所述工作流体的联接。

2.根据权利要求1所述的透平机,其中,所述最大质量流率操作点是处于级阻塞点的质量流率的至少80%的质量流率,或者所述最大质量流率操作点是级阻塞点。

3.根据权利要求1所述的透平机,其中,所述最大质量流率操作点是:(1)处于最佳效率点的质量流率的+/-15%,(2)处于阻塞点的质量流率的+/-15%,(3)处于最佳效率点处的质量流率的20%至80%,(4)处于阻塞点的质量流率的20%至80%,(5)在最佳效率点与阻塞点之间的质量流率、例如在最佳效率点与阻塞点之间的大致中间的质量流率。

4.根据权利要求1所述的透平机,其中,所述透平机包括叶轮和扩散器,所述扩散器具有位于0%M的子午距离M处的入口和位于100%M处的出口,其中,所述多个凹入通道至少部分地位于所述扩散器中,其中,所述通道的所述第一部分位于所述扩散器的入口的下游至少20%M处。

5.一种透平机,包括:

毂表面、护罩表面;以及

多个凹入通道,所述多个凹入通道沿流动方向延伸并且位于所述毂表面或所述护罩表面中;

其中,所述多个通道包括多个第一通道和多个第二通道,其中,所述第一通道相对于沿着所述通道的子午位置的角度α1(M)不同于所述第二通道相对于沿着所述通道的子午位置的角度α2(M),其中,所述角度α1(M)、α2(M)是所述第一通道或所述第二通道中的对应的一者相对于在沿着所述通道的长度的子午位置M处穿过所述通道的子午参考平面的角度。

6.根据权利要求5所述的透平机,其中,所述第一通道中的至少一个第一通道与所述第二通道中的对应的第二通道直接流体连通。

7.根据权利要求5所述的透平机,其中,所述第一通道中的至少一个第一通道与所述第二通道中的对应的第二通道相交。

8.根据权利要求5至7中的任一项所述的透平机,其中,所述透平机包括具有入口和出口的扩散器,其中,所述第一通道和所述第二通道各自从所述扩散器的入口延伸至所述扩散器的出口。

9.根据权利要求5至7中的任一项所述的透平机,其中,所述透平机包括具有入口和出口的扩散器,其中,所述第一通道中的每个第一通道从所述扩散器的入口延伸至所述扩散器的出口,并且所述第二通道中的每个第二通道具有接近所述扩散器的入口的开始位置和位于其中相应的第二通道与所述第一通道中的对应的第一通道相交的相交点处的结束位置。

10.根据权利要求5至7中的任一项所述的透平机,其中,所述透平机包括具有入口和出口的扩散器,其中,所述第一通道中的每个第一通道从所述扩散器的入口延伸至所述扩散

器的出口，并且所述第二通道中的每个第二通道具有位于所述扩散器的入口的下游的开始位置和位于所述扩散器的出口处的结束位置。

11.根据权利要求5至10中的任一项所述的透平机，其中，对于M的所有值，所述第一通道的角度α1(M)大于所述第二通道的角度α2(M)。

12.根据权利要求5至10中的任一项所述的透平机，其中，对于M的所有值，所述第一通道的角度α(M)小于所述第二通道的角度α(M)。

13.一种透平机，包括：

毂表面、护罩表面；以及

多个凹入通道，所述多个凹入通道沿流动方向延伸并且位于所述毂表面或所述护罩表面中，所述通道中的每个通道在所述毂表面或所述护罩表面处、在所述通道的凸侧部上具有第一边缘并且在所述毂表面或所述护罩表面处、在所述通道的凹侧部上具有第二边缘，

其中，所述多个通道中的至少一个通道的所述第一边缘和所述第二边缘中的至少一者的至少一部分包括尖部，所述尖部形成勺状部以捕获流并将流重新引导到所述通道中。

14.根据权利要求13所述的透平机，其中，所述尖部从所述通道的侧壁侧向地延伸。

15.根据权利要求13或14所述的透平机，其中，所述尖部从所述毂表面或所述护罩表面竖向地延伸。

16.根据权利要求13至15中的任一项所述的透平机，其中，所述尖部沿着所述通道中的至少一个通道的所述第一边缘的至少一部分定位。

17.根据权利要求13至16中的任一项所述的透平机，其中，所述尖部沿着所述通道中的至少一个通道的所述第二边缘的至少一部分定位。

18.根据权利要求13至15中的任一项所述的透平机，其中，所述尖部沿着所述通道中的至少一个通道的上游部分定位。

19.根据权利要求18所述的透平机，其中，所述通道从位于子午位置0％M处的开始位置延伸至位于子午位置100％M处的结束位置，其中，所述上游部分从0％M延伸至50％M。

20.根据权利要求13至18中的任一项所述的透平机，其中，所述尖部沿着所述通道中的至少一个通道的下游部分定位。

21.根据权利要求20所述的透平机，其中，所述通道从位于子午位置0％M处的开始位置延伸至位于子午位置100％M处的结束位置，其中，所述下游部分从50％M延伸至100％M。

22.根据权利要求13至15中的任一项所述的透平机，其中，所述通道中的至少一个通道的所述第二边缘的上游部分包括尖部，所述尖部形成勺状部以捕获流并将流重新引导到所述通道中，并且所述至少一个通道的所述第一边缘的下游部分包括尖部，所述尖部形成勺状部以捕获流并将流重新引导到所述通道中。

23.根据权利要求22所述的透平机，其中，所述至少一个通道的所述第二边缘的下游部分不包括尖部，并且所述至少一个通道的所述第一边缘的上游部分不包括尖部。

24.根据权利要求22或23所述的透平机，其中，所述至少一个通道的所述第二边缘的所述下游部分包括倒角部或圆角部，并且所述至少一个通道的所述第一边缘的所述上游部分包括倒角部或圆角部。

25.根据权利要求13至23中的任一项所述的透平机，其中，所述多个通道中的至少一个通道的所述第一边缘或所述第二边缘中的至少一者的至少一部分包括倒角部或圆角部，以

便于流体流进入到所述通道中。

26.一种透平机,包括:

毂表面、护罩表面;

多个凹入通道,所述多个凹入通道沿流动方向延伸并且位于所述毂表面或所述护罩表面中;以及

多个部分高度叶片,所述多个部分高度叶片定位成接近所述凹入通道中的对应的凹入通道,所述部分高度叶片被设计并构造为改善所述凹入通道与工作流体流场的联接。

27.根据权利要求26所述的透平机,其中,所述部分高度叶片中的每个部分高度叶片邻近所述多个通道中的对应的通道定位在所述通道中的每个通道的凸侧部上。

28.根据权利要求26所述的透平机,其中,所述部分高度叶片中的每个部分高度叶片邻近所述多个通道中的对应的通道定位在所述通道中的每个通道的凹侧部上。

29.根据权利要求26至28中的任一项所述的透平机,其中,所述部分高度叶片具有比所述通道的长度小的长度,并且所述部分高度叶片中的每个部分高度叶片邻近所述通道中的对应的通道的上游部分定位。

30.根据权利要求26至28中的任一项所述的透平机,其中,所述部分高度叶片具有比所述通道的长度小的长度,并且所述部分高度叶片中的每个部分高度叶片邻近所述通道中的对应的通道的下游部分定位。

31.根据权利要求26至30中的任一项所述的透平机,其中,所述部分高度叶片具有厚度t,并且所述部分高度叶片中的每个部分高度叶片定位成与所述凹入通道中的对应的凹入通道的中心线相距距离d,其中,d在叶片厚度t的1/2-10倍的范围中。

32.根据权利要求26至31中的任一项所述的透平机,其中,所述部分高度叶片附连至所述透平机的与所述透平机的定位有所述凹入通道的侧部相对的侧部。

33.根据权利要求26至31中的任一项所述的透平机,其中,所述部分高度叶片附连至所述透平机的定位有所述凹入通道的相同侧部。

34.根据权利要求26至31中的任一项所述的透平机,其中,所述部分高度叶片附连至所述护罩表面,并且所述凹入通道位于所述毂表面中。

35.根据权利要求26至31中的任一项所述的透平机,其中,所述部分高度叶片附连至所述护罩表面,并且所述凹入通道位于所述护罩表面中。

36.根据权利要求26至31中的任一项所述的透平机,其中,所述部分高度叶片附连至所述毂表面,并且所述凹入通道位于所述护罩表面中。

37.根据权利要求26至31中的任一项所述的透平机,其中,所述部分高度叶片附连至所述毂表面,并且所述凹入通道位于所述毂表面中。

38.根据前述权利要求中的任一项所述的透平机,其中,所述凹入通道中的至少一个凹入通道具有横截面面积,所述横截面面积沿着所述通道长度改变并且被设计和构造为形成收缩-扩张喷嘴。

39.一种形成用于透平机的流量控制结构的方法,所述透平机具有叶轮、护罩、毂和下游元件,所述方法包括:

在所述透平机的流场分布中,对接近所述毂或所述护罩的工作流体的作为质量流率的函数的流动角度的变化进行估计;

识别在最大质量流率操作点处的经估计的最小流动角度;以及

限定位于所述毂或所述护罩的表面中的至少一个通道以用于对所述工作流体的至少一部分进行重新引导,所述限定包括选择所述至少一个通道的小于或等于所述经估计的最小流动角度的通道角度,由此改善在所述最大质量流率操作点处所述至少一个通道与所述工作流体的联接。

40.根据权利要求39所述的方法,还包括识别在最小质量流率操作点处的经估计的最大流动角度;

其中,限定至少一个通道包括:

限定位于所述毂或所述护罩的表面中的多个第一通道,所述多个第一通道具有小于或等于所述经估计的最小流动角度的通道角度;以及

限定位于所述毂或所述护罩的表面中的多个第二通道,所述多个第二通道具有大于或等于所述经估计的最大流动角度的通道角度。

41.一种限定用于透平机的流量控制结构的方法,所述透平机具有叶轮、护罩、毂和下游元件,所述叶轮具有入口和出口,所述毂和所述护罩限定了叶轮通路,所述方法包括:

使用计算机生成所述透平机的计算流体模型;

利用所述计算流体模型计算在最大质量流率操作点处的叶轮通路流场分布;

确定接近所述毂或所述护罩的流场分布中的流动角度变化;

限定在所述毂和所述护罩中的至少一者中沿流动方向延伸的至少一个通道,所述限定包括限定所述至少一个通道的小于或等于在所述最大质量流率操作点处的经确定的流动角度的通道角度。

用于增强性能的流量控制结构及结合有该流量控制结构的透平机

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2020年8月7日提交的序列号为62/706,286并且标题为“Enhanced Performance Imbedded Diffuser Passages and Grooved Turbomachinery Impeller Covers(增强性能嵌入式扩散器通道和带槽透平机叶轮覆盖件)”的美国临时专利申请的优先权的权益,该美国临时专利申请通过参引整体并入本文中。

技术领域

[0003] 本公开总体上涉及透平机的领域。特别地,本公开涉及用于增强性能的流量控制结构和结合有该流量控制结构的透平机。

背景技术

[0004] 透平机级的损失在强度和特性方面根据情况而变化,但是所有透平机级包括用于单相、单组分流的以下机理中的大多数机理:表面摩擦、二次流产生、出口混合、空隙间隙流、泄漏以及用于高度可压缩流的冲击形成。这些机理又受到许多设计参数比如流量、入口压力和温度、出口压力、入射角以及流动转向加表面曲率、厚度和旋转状态等的影响。损失负面地影响透平机性能并且通常被理解为流动状态的劣化,从而导致流动过程的总压力降低和熵的增加。损失还可能导致流动分离和失速以及叶轮滑移、以及不均匀的流场,其经常负面地影响下游元件的性能。仍然需要用于减少损失和减轻损失的影响的改进的装置和方法。

发明内容

[0005] 在一个实现方式中,本公开涉及一种透平机。该透平机包括毂表面、护罩表面和位于毂表面或护罩表面中的多个凹入通道,凹入通道中的每个凹入通道沿流动方向延伸并且具有相对于子午参考平面的角度轮廓α(M),子午参考平面在沿着通道长度的子午位置M处穿过对应的通道;并且其中,通道中的每个通道的至少第一部分的角度被设计并构造为等于或小于工作流体在最大质量流率操作点处的经计算的最小流动角度,由此增加在最大质量流率操作点处通道与工作流体的联接。

[0006] 在另一实现方式中,本公开涉及一种透平机。该透平机包括毂表面、护罩表面、以及沿流动方向延伸并且位于毂表面或护罩表面中的多个凹入通道;并且其中,多个通道包括多个第一通道和多个第二通道,其中,第一通道相对于沿着通道的子午位置的角度α1(M)不同于第二通道相对于沿着通道的子午位置的角度α1(M),其中,角度α1(M)、α1(M)是第一通道或第二通道中的对应的一者相对于在沿着通道长度的子午位置M处穿过通道的子午参考平面的角度。

[0007] 在又一实现方式中,本公开涉及一种透平机。该透平机包括毂表面、护罩表面和沿流动方向延伸并位于毂表面或护罩表面中的多个凹入通道,通道中的每个通道在毂表面或

护罩表面处、在通道的凸侧部上具有第一边缘并且在毂表面或护罩表面处、在通道的凹侧部上具有第二边缘;并且其中,多个通道中的至少一个通道的第一边缘和第二边缘中的至少一者的至少一部分包括尖部,尖部形成勺状部以捕获流并将流重新定向到通道中。

[0008] 在又一实现方式中,本公开涉及一种透平机。该透平机包括毂表面、护罩表面、沿流动方向延伸并位于毂表面或护罩表面中的多个凹入通道、以及邻近凹入通道中的对应的凹入通道定位的多个部分高度叶片,部分高度叶片被设计并构造为改善凹入通道与工作流体流场的联接。

[0009] 在又一实现方式中,本公开涉及一种形成用于透平机的流量控制结构的方法,该透平机具有叶轮、护罩、毂和下游元件。该方法包括在透平机的流场分布中估计毂或护罩附近的工作流体的作为质量流率的函数的流动角度的变化;识别在最大质量流率操作点处的经估计的最小流动角度;以及限定位于毂或护罩的表面中的至少一个通道以用于对工作流体的至少一部分进行重新引导,该限定包括选择至少一个通道的通道角度,该通道角度小于或等于经估计的最小流动角度,由此改善在最大质量流率操作点处至少一个通道与工作流体的联接。

[0010] 在又一实现方式中,本公开涉及一种对用于透平机的流量控制结构进行限定的方法,该透平机具有叶轮、护罩、毂和下游元件,该叶轮具有入口和出口,毂和护罩限定了叶轮通路,该方法包括使用计算机生成透平机的计算流体模型;利用计算流体模型计算在最大质量流率操作点处的叶轮通路流场分布;确定在毂或护罩附近的流场分布中的流动角度的变化;以及限定在毂和护罩中的至少一者中沿流动方向延伸的至少一个通道,该限定包括限定至少一个通道的通道角度,该通道角度小于或等于在最大质量流率操作点处的经确定的流动角度。

附图说明

[0011] 出于说明本公开的目的,附图示出了本公开的一个或更多个实施方式的各方面。然而,应当理解的是,本公开不限于附图中所示的精确布置和机构,在附图中:

[0012] 图1是径向压缩机的横截面侧视图,该径向压缩机在压缩机的毂表面和护罩表面中具有凹入通道;

[0013] 图2是图1的压缩机的扩散器背板的前视图;

[0014] 图3示出了联接至压缩机的三个不同的无叶片扩散器的测量性能;

[0015] 图4示出了联接至压缩机的三个不同的无叶片扩散器的测量性能;

[0016] 图5示出了在联接至无叶片扩散器的离心式压缩机中针对邻近护罩表面的流管的作为子午位置的函数的计算平均流动角度;

[0017] 图6示出了在联接至无叶片扩散器的离心式压缩机中针对邻近毂表面的流管的作为子午位置的函数的计算平均流动角度;

[0018] 图7示出了在联接至无叶片扩散器的离心式压缩机中针对邻近护罩表面的流管的作为子午位置的函数的计算平均流动角度;

[0019] 图8示出了在联接至无叶片扩散器的离心式压缩机中针对邻近毂表面的流管的作为子午位置的函数的计算平均流动角度;

[0020] 图9示出了在联接至无叶片扩散器的离心式压缩机中针对邻近护罩表面的流管的

作为子午位置的函数的计算平均流动角度；

[0021] 图10示出了针对0.5lbm/sec的流率、100000rpm、护罩侧情况由CFD程序生成的示例流线图并且示出了叶轮和扩散器的一部分；

[0022] 图11示出了扩散器背板的一部分并且还概念性地示出了处于不同流动角度的两个示例流动流线；

[0023] 图12示出了包括具有不同通道角度的多组通道的扩散器板；

[0024] 图13示出了图12的扩散器板的前视图；

[0025] 图14示出了包括具有不同通道角度的多组通道的扩散器板的另一示例；

[0026] 图15示出了包括具有不同通道角度的多组通道的扩散器板的另一示例；

[0027] 图16示出了包括具有不同通道角度的多组通道的扩散器板的另一示例；

[0028] 图17图示了具有两组通道的扩散器板并且还概念性地图示了低角度流线和高角度流线；

[0029] 图18至图20图示了可以结合到凹入通道中的示例过渡边缘特征；

[0030] 图21是具有邻近多个凹入通道定位的部分高度叶片的扩散器的立体图；

[0031] 图22是图21的扩散器的俯视图；

[0032] 图23是图21的扩散器的一部分的侧视横截面图；

[0033] 图24是具有邻近多个凹入通道定位的部分高度叶片的扩散器的另一示例的一部分的侧视横截面图；

[0034] 图25是具有邻近多个凹入通道定位的部分高度叶片的扩散器的俯视图；

[0035] 图26是图25的扩散器的一部分的侧视横截面图；

[0036] 图27是具有邻近多个凹入通道定位的部分高度叶片的扩散器的另一示例的一部分的侧视横截面图；以及

[0037] 图28图示了扩散器的另一示例实现方式，该扩散器包括多个凹入通道，凹入通道中的至少一些凹入通道具有沿着通道的长度变化以形成收缩-扩张喷嘴的横截面面积。

具体实施方式

[0038] 本公开的各方面包括流量控制装置和结构，该流量控制装置和结构设计并构造为进行下述各项中的一者或更多者：减少损失对透平机的性能的负面影响、改进透平机的性能、减少损失对在上游元件中所形成的下游元件的负面影响以及改进上游元件和下游元件的联接和性能。如在下面更多描述的，根据本公开制成的示例性流量控制装置可以包括各种布置的流动导引通道、部分高度叶片以及可以位于透平机的护罩侧和毂侧中的一者或两者上的其他处理件，以重新定向、导引或以其他方式影响透平机流场的部分，由此提高机器的性能。

[0039] 透平机，无论是径流式、轴流式还是混合流式，以及无论是压缩机、泵还是涡轮机等，通常包括具有多个叶片并且绕旋转轴旋转并且设置在流体通路内的叶轮。如本文中使用的术语“叶轮”是指包括压缩机、涡轮机、泵和风机在内的任何类型的透平机的任何类型的叶片式叶轮或转子。透平机叶轮具有入口和出口，并且通常与下游元件比如扩散器或叶栅或喷嘴或定子流体连通。由于现实世界的影响比如由表面摩擦、空隙间隙流、泄漏导致的损失以及由旋转机器的基本性质导致的涡流，因此在叶轮流场中形成非均匀性。这种非均

匀性可以根据叶轮通路中的流体速度的大小和角度的非均匀性来描述，其中流场的低损失区域大体上在例如遵循叶轮通道方向的第一方向上对准，并且流场的其他区域以各种其他角度和速度传送，直到主叶轮通道方向并包括垂直于主叶轮通路方向以及沿主叶轮通路方向的相反方向。这种偏角度流场非均匀性表示系统中的损失并且可能导致进一步的损失，比如流动不稳定性、下游元件中的失速、叶轮中的回流或大叶轮出口空气动力学堵塞。术语“初级流”和类似的术语通常是指叶轮流场的与通路方向大致对准的低损失部分，并且“二级流”和类似的术语通常是指工作流体流场的其他部分，并且所述其他部分可以包含涡流和可观的损失。

[0040] 图1和图2图示了包括根据本公开制成的流量控制结构的离心式压缩机100的一个示例。图1是横截面侧视图，并且示出了以可旋转的方式设置在叶轮护罩164内并位于无叶片扩散器106的上游的叶轮102。叶轮102构造为绕旋转轴线a1旋转，并且包括多个叶片108(仅一个被标记)、以及入口112和出口114。叶轮叶片108在前缘116(仅一个被标记)与后缘118(仅一个被标记)之间沿子午方向延伸，并且在毂120与叶轮叶片的护罩侧部122之间沿翼展方向延伸。护罩164(有时也被称为壳体)从叶轮入口112延伸至出口114并且限定有邻近叶轮叶片的护罩侧部122定位的护罩表面124，护罩164与毂120一起限定了叶轮通路。

[0041] 如在本领域中已知的，叶轮102构造为通过叶轮通路传送工作流体、压缩工作流体并通过扩散器106排放经压缩的工作流体。扩散器106包括限定了前表面126(有时也被称为护罩表面或扩散器的护罩侧)的前板125和限定了后表面130(有时也被称为毂表面或扩散器的毂侧)的背板128。护罩164的护罩表面124和扩散器的前表面126大致对准，并且毂120的位于叶轮出口114处的部分如所示出的那样与扩散器的后表面130对准。在图示的示例中，叶轮102是敞开式的，使得在叶片108的护罩侧122与护罩表面124之间存在小的空隙，并且叶轮构造为相对于静止护罩164旋转。类似地，在毂盘外半径134与扩散器背板128之间存在小的空隙，而护罩164和扩散器的前板125可以不包括任何这样的间隙并且可以在叶轮与扩散器106之间形成一个连续表面。

[0042] 图2是扩散器的背板128的前视图，其中省略了压缩机100的其余部件。如图2中示出的，扩散器的背板128包括多个长形的流动导引通道202(仅一个被标记)，流动导引通道202围绕背板周向地定位并且从扩散器入口204大体沿流动方向延伸至扩散器出口206。通道202具有子午长度，该子午长度定义为从给定通道的开始延伸至结束的通道中心线的长度。在其他示例中，通道202可以具有不同的长度，例如，通道202可以不延伸至扩散器出口206并且可以在扩散器出口的上游结束。在一些示例中，通道202可以设计并构造为与位于叶轮毂120中的流动方向通道(未图示)连通。

[0043] 通道202的曲率可以通过角度轮廓α(M)表征，角度轮廓α(M)限定了在投影到子午参考平面MP上时通道相对于沿着通道长度的子午位置M的角度，角度α是通道中心线的切线t与穿过叶轮旋转轴线a1的子午参考平面MP之间的角度，子午参考平面MP与通道在子午位置M处相交。图2示出了在子午位置M1处相对于在子午位置M1处延伸穿过通道的子午参考平面MP1的角度α1，以及在子午位置M2处相对于在子午位置M2处延伸穿过通道的子午参考平面MP2的角度α2。本文中公开的流动导引通道可以具有沿着通道的长度变化的角度α(M)或者具有恒定角度。在图示的示例中，通道202具有恒定角度α(M)。如图2中示出的，在径向机器比如压缩机100中，具有恒定角度α(M)的通道具有弯曲螺旋形状。

[0044] 通道202具有流动方向长度并且具有弦长c，流动方向长度限定为从给定通道的开始延伸至结束的通道中心线的长度，弦长c限定为弦线CL的长度。在图示的示例中，通道202围绕扩散器106的周向设置并且均匀地间隔开。通道实度(solidity)可以限定为弦长c与相邻通道之间的间隔s、例如扩散器入口或任何其他常见参考点的间隔之间的比率。通道202设计并构造为导引工作流体的一部分、比如工作流体的二级流部分，以减少损失并提供扩散器和压缩机的性能。

[0045] 再次参照图1，压缩机100还包括位于压缩机的护罩侧上的多个长形流动导引通道140(仅一个被图示)。在图示的示例中，通道140从位于叶轮叶片后缘118的上游的叶轮通路中的开始位置142延伸，并且在下游大体沿流动方向延伸超出叶轮出口114，并且沿着扩散器前板125的前表面126延伸到扩散器106中直到扩散器出口114。前板125中的通道140可以具有与背板128中的通道202相似的构型，但是可以具有不同数目的通道、通道角度、横截面形状或尺寸，以考虑到毂与护罩表面之间的流场特性的不同。在其他示例中，通道140可以具有不同的开始位置或结束位置，包括在叶轮入口112与出口114之间沿着叶轮通路的任何地方定位的开始位置，或者通道140中的一个或更多个通道的开始位置可以位于扩散器106中并且根本不位于叶轮中。通道202和140的结束位置可以类似地具有沿着叶轮长度或扩散器通路的多个位置中的任一个位置。在其他示例中，压缩机100可以仅沿着机器的护罩侧包括凹入的流动方向通道(例如，仅通道140)，而沿着机器的毂侧不包括通道(例如，不包括通道202)，或者反之亦然(仅包括毂侧通道，而不包括护罩侧通道)。

[0046] 在标题为“Flow Control Structures for Turbomachines and Methods of Designing the Same(用于透平机的流量控制结构和设计该流量控制结构的方法)”的美国专利号9,845,810(‘810专利)中公开了流动导引通道的现有技术的各种示例，该美国专利的内容通过参引整体并入本文中。包括凹入流动导引通道的流动导引结构的各种特征和组合可以与本公开中描述和图示的特征结合。

[0047] 本发明人最近的研究表明，流动方向通道比如通道202和140的角度α(M)可以对透平机的性能具有显著影响。在一些示例中，为了实现期望的性能特性比如目标压力与流动特性，通道中的一个或更多个通道的流动方向曲率或流动方向角度轮廓可以设置为接近经估计、测量或计算的工作流体流动角度、例如在透平机在特定操作点处操作比如在级阻塞点处操作时在机器中的特定子午和翼展位置处的流动角度。例如，一个或更多个凹入的流动方向通道比如通道202和/或通道140可以沿着通道的整个长度或沿着通道的一部分具有角度α(M)，角度α(M)大约等于、或者在一些示例中大约等于或小于透平机在级阻塞点处操作时护罩壁表面或毂壁表面附近的工作流体的流动角度。在一些示例中，一个或更多个通道可以具有这样的角度α(M)，该角度α(M)大约等于或小于在透平机以下述质量流率操作时护罩壁表面或毂壁表面附近的工作流体的流动角度：所述质量流率是级阻塞点处的质量流率的至少90％，并且在一些示例中，所述质量流率是级阻塞点处的质量流率的至少80％，并且在一些示例中，所述质量流率是级阻塞点处的质量流率的至少70％，并且在一些示例中，所述质量流率是级阻塞点处的质量流率的至少60％。在一些示例中，一个或更多个通道可以具有这样的角度α(M)，该角度α(M)大约等于或小于透平机以下述质量流率操作时护罩壁表面或毂壁表面附近的工作流体的流动角度：最佳效率点处的质量流率的+/-15％、阻塞点比如级阻塞点处的质量流率的+/-15％、最佳效率点处的质量流率的20％至80％、阻塞点处

的质量流率的20％至80％、最佳效率点与阻塞点之间的质量流率、例如最佳效率点与阻塞点之间的大约中间。

[0048] 如在下面更多描述的，在一些示例中，在透平机的毂侧或护罩侧上可以包括具有不同角度轮廓的多于一组的通道，以在宽范围的操作条件下优化性能。在又一示例中，可以选择通道的实度以优化性能。在又一示例中，可以利用沿着通道长度的边缘特征来提高通道的有效性。在又一示例中，可以包括叶片比如全部或部分高度叶片以提高凹入的流动方向通道的性能。在又一示例中，横截面面积可以构造并定尺寸为防止通道中的阻塞。

[0049] 图3和图4示出了联接至压缩机的三个不同的无叶片扩散器的测量性能：(1)曲线302表示来自基线无叶片扩散器的测试数据，该基线无叶片扩散器在毂或护罩中不包括凹入通道；(2)曲线304表示来自无叶片扩散器的测试数据，该无叶片扩散器类似于扩散器106并且在扩散器的前板和背板两者中包括凹入的流动方向通道，该凹入的流动方向通道类似于通道202和140，但是该通道没有在扩散器的上游延伸到叶轮中；以及(3)曲线306表示来自这样的扩散器的测试数据，该扩散器与曲线304的扩散器相同，不同之处在于毂和护罩通道彼此周向地偏移并且护罩侧通道也类似于通道140且在上游延伸到叶轮中。

[0050] 图3图示了针对四个不同的叶轮速度(80000RPM至135000RPM)的相对于无量纲质量流率的总压-静压比率。图4图示了针对相同的四个叶轮速度(80000RPM至135000RPM)的相对于无量纲质量流率的总效率-静效率。如图3和图4中所示出的，在低流量下，包括流动方向通道的机器的性能(曲线304和306)明显优于没有通道的基线机器的性能(曲线302)，从而实现了创纪录的高水平性能。然而，在高速下的较高流动速率下，存在性能下降308，其中，具有通道的两个机器的压力和效率(曲线304和306)与基线情况(曲线302)的性能大约相同。换言之，凹入的流动方向通道的性能益处在较高流率(高于约Mref＝0.5)和较高速度(125k和135k速度线)下似乎失去，并且/或者通道在改善机器性能方面的有效性似乎降低。无论是从高流量操作至低流量(即，在线上从右到左)还是相反地从低流量操作至高流量都发现了这种趋势。根据操作方向，观察到质量流率的微小变化，其中，性能下降308出现在120k和135k速度线中。本公开包括下述结构：所述结构设计并构造为使所观察到的性能下降308最小化或消除并提供包括凹入的流动方向通道的流量控制结构，该流量控制结构设计为在高流率和高速度以及较低流率和较低速度下提供改善的性能。如在下面更多论述的，在较高流率下的性能下降可能是由于扩散器中的工作流体与凹入通道之间的联接程度减少导致的，其中，工作流体流动角度的变化导致工作流体的一些部分绕过通道，从而导致压缩机性能和效率方面的下降。在一些情况下，性能的下降还可能由在较高流率下凹入通道中的一个或更多个凹入通道中的阻塞流导致的。

[0051] 图5示出了在联接至无叶片扩散器的离心式压缩机中针对邻近护罩表面的流管的作为子午位置的函数的计算平均流动角度。通过离心式压缩机和无叶片扩散器的计算流体动力学模型来执行计算。在模型中不包括凹入的流动方向通道。在绕机器的周向方向上计算流动角度的平均值，从而将所有叶轮叶片间的变化平均成一个代表角度。图5示出了针对各自使用以135000RPM操作的叶轮的四个不同的质量流率的平均流动角度与子午位置，其中，曲线502图示了针对最低质量流量条件的经计算的流动角度，并且曲线506图示了针对最高质量流量条件的角度。所述角度以与角度α(M)相同的方式相对于子午参考平面来获得。因此，相对于径向参考线越高的角度指示更切向的流，这在本领域中众所周知的是将靠

近稳定性极限，并且越低的角度指示更径向的流。在这个图中，叶轮在约25％子午距离(M)处开始并且在约62％子午距离处结束。扩散器从约62％子午距离延伸至约88％子午距离。曲线502是针对最低流率条件并且在级失速或系统喘振紧之前发生；曲线506是针对最高流率的最低迹线并且在叶轮的阻塞极限水平紧之前发生。这些迹线在相邻壁(覆盖件)附近获得；对于护罩，所述迹线刚好经过叶轮空隙间隙网格。如从图5中明显可见，流动角度随着质量流率增加而变得更加径向(较低的角度)。如以上结合图3和图4指出的，在较高的流率处也观察到性能下降。因此，如在下面更详细描述的，流动角度随流率增加而减小可能导致流最终变得比凹入通道更径向，由此防止流进入通道并且减少通道对机器性能的影响。

[0052] 图6示出了针对与图5所用相同的CFD模型以及与图5所示相同的四个操作条件的沿着毂的经计算的周向平均流动角度，其中，曲线608是最低流量条件并且曲线606是最高流量条件。图7和图8图示了根据子午位置和100000RPM的较低叶轮速度下的流率的沿着护罩(图7)和毂(图8)的经计算的流动角度数据。在较低的旋转速度下，沿着护罩(图7)，扩散器时间平均(叶片间的变化)流动角度在相对于子午或径向方向成40度至73度的范围中，而在N＝135000rpm的线上在58至75度的范围中(图5)。因此，较低的速度线示出了比较高的速度线情况更陡峭(更径向，较低的角度)的流线。对于毂(图8)，与较高的速度线操作相比，所述角度相对于护罩侧的角度没有太多的减小。图9图示了对于Pr＝4.5级、无叶片扩散器以及在毂或护罩中没有凹入通道的替代示例，该示例作为与图5和图7的范围大致相同的平均流动角度范围的另一角度提供。

[0053] 图10是通过计算流体模型比如针对0.5lbm/sec流率、100000rpm、护罩侧部情况的计算流体动力学(CFD)程序生成的流线图，并且示出了叶轮1002和扩散器1004的一部分。箭头表示流场流线矢量，其中箭头的角度指示流动方向并且箭头的长度指示流动速率的大小。流线图比如图10中示出的流线图显示了与图5至图9中所示的叶片间平均流动角度相比在流场方面更加复杂。在图示的示例中，矢量在叶轮出口/扩散器入口1006的区域中具有更切向的方向(相对于子午参考平面成较高的流动角度)，并且在扩散器入口的下游具有更径向的方向(较低的流动角度)。

[0054] 图11示出了扩散器背板128(也参见图2)的一部分，并且还概念性地示出了包括更切向、高角度流线1102和更径向、低角度流线1104的两个示例流动流线，如以上结合图5至图9所解释的，更切向、高角度流线1102可能在较低流率下更普遍，更径向、低角度流线1104可能在较高流率下更普遍。如在图11中可以看出的，通道202(仅一个被标记)的角度可以对工作流体是否进入通道具有影响。在图示的示例中，通道202具有更适于捕获更多切向流的相对高的角度，但是在较低的角度下，较低角度的更径向流(例如，低角度流线1104)可能跳过或完全错过如图11中所示的通道202的可能性更大，因此减少了通道的有效性。这种现象可以解释图3和图4中所示以及以上描述的性能下降308。

[0055] 再次参照图5，如果例如凹入通道的角度落入扩散器的流动角度的计算范围的中间、例如通道角度α(M)为大约65度，则流动可能具有两种不同的行为模式。针对较高流率压缩机或泵性能发生的在较低角度(更陡的流线、更径向的流动)下的流动状态可能比通道的轨迹更径向，使得流可以如图11中由流线1104概念性地图示的那样直接跳过并绕过通道、或者完全错过通道，从而导致在通道自身中捕获很少的流。对比图6与图5，毂上的经计算的流动角度在约50度的高流量条件下具有最小流动角度，所述最小流动角度比在护罩上低约

10度(更径向)。在一个示例中,为了避免双模式操作以及以上结合图3和图4所述的在较高流率下的性能下降,并且为了使通道在所有流率下保持良好工作,凹入通道可以以足够低的角度水平设置(因此更径向),以允许沿着操作特性在所有流率下进行完整的通道操作。例如,在图5和图6中所示的情况下,对于前(护罩)侧,图5示出了约55度至60度的角度通道可能是足够的(大约等于与较高流率下的最径向流相关联的最低流动角度或比所述最低流动角度小5度);对于毂侧或后侧,通道角度可能使用约50度。

[0056] 再次参照图10,矢量流线图表明在某些情况下有必要对通道曲率进行更有针对性的处理。图10的鸟瞰图可以显示直的通道或约40度的对数螺旋形状的通道,以由通道实现对流线的最佳拦截,因为流动角度在叶轮出口的下游似乎接近大约45度的角,但是为了两种整流目的(例如,从叶轮覆盖件通道整流)并且为了便于从叶轮叶片后缘处的初始切向高角度流进入通道,在叶轮排放/扩散器入口处较高的角度(更切向)可能是非常优选的。因此,通道具有根据子午位置而变化的角度,使得在扩散器入口处的区域中具有较高角度并且在扩散器入口的下游具有较低角度。

[0057] 图12和图13图示了扩散器板1200的另一示例,扩散器板1200可以用于扩散器通路的前板或背板并且包括多组通道、此处两组通道——通道1202和通道1204(各组中的仅一组被标记)。扩散器板1200设计并构造为通过针对两组通道1202、1204设计和选择不同的角度轮廓以获取不同的工作流体流动角度来使可能在流率范围内发生的性能下降最小化或消除。在图示的示例中,通道1202具有较高角度并且相对于子午参考平面更切向,并且因此可能在较低质量流率下更有效,如以上结合图5至图9描述的,在较低质量流率下,流动角度倾向于较大并且更切向。通道1204具有较低角度并且相对于子午参考平面更径向,并且因此可能在较高质量流率下更有效,在较高质量流率下,流动角度倾向于较低并且更径向。因此,较低角度通道1204可以结合到有叶片或无叶片扩散器的前板或背板中,以消除在较高质量流率下观察到的性能下降308(参见图3和图4)。

[0058] 在一些示例中,通道1202在通道的所有部分或一部分上具有的角度轮廓α(M)大于或等于在最小质量流率操作点处在透平机的相应区域内的经估计、经计算、经测量或以其他方式确定的最大工作流体流动角度。在一些示例中,通道1202具有这样的角度α(M),该角度在处于最小质量流率操作点处的最大工作流体流动角度的+/-5%内,并且在一些示例中,该角度在最大工作流体流动角度的+/-10%内,并且在一些示例中,该角度在最大工作流体流动角度的+/-15%内,并且在一些示例中,该角度在最大工作流体流动角度的+/-20%内,并且在一些示例中,该角度在最大工作流体流动角度的+/-25%内。

[0059] 在一些示例中,通道1204在通道的所有部分或一部分上具有的角度轮廓α(M)小于或等于在最大质量流率操作点处在透平机的相应区域内的经估计、经计算、经测量或以其他方式确定的最小工作流体流动角度。在一些示例中,通道1204具有这样的角度α(M),该角度在处于最大质量流率操作点处的最小工作流体流动角度的+/-5%内,并且在一些示例中,该角度在最小工作流体流动角度的+/-10%内,并且在一些示例中,该角度在最小工作流体流动角度的+/-15%内,并且在一些示例中,该角度在最小工作流体流动角度的+/-20%内,并且在一些示例中,该角度在最小工作流体流动角度的+/-25%内。

[0060] 扩散器板1200包括多个通道,多个通道包括多个第一通道1202和多个第二通道1204,其中,对于M的所有值,换言之,对于在扩散器的入口与出口之间沿着扩散器板1200的

长度的所有子午位置，第一通道1202相对于沿着通道的子午位置的角度α1(M)大于第二通道相对于沿着通道的子午位置的角度α2(M)。角度α1(M)、α2(M)是第一通道或第二通道中的对应一者相对于在沿着通道长度的子午位置M处穿过通道的子午参考平面的角度。

[0061] 在图示的示例中，通道1202和1204两者都具有跨扩散器从扩散器入口1206延伸至扩散器出口1208的长度并且具有面积计划和角度轮廓，角度轮廓导致来自各个组1202、1204的通道中的每个通道与来自另一组的通道中的一个通道在交点1210处相交，其中，交点的子午位置可以是沿着扩散器长度的任何位置。例如，如果0％M是扩散器入口并且100％M是扩散器出口，则交点1210可以具有在1％M至99％M的范围中的子午位置，并且在一些示例中，具有在5％M至95％M的范围中的子午位置，并且在一些示例中，具有在10％M至90％M的范围中的子午位置，并且在一些示例中，具有在20％M至80％M的范围中的子午位置，并且在一些示例中，具有在30％M至70％M的范围中的子午位置，并且在一些示例中，具有在40％M至60％M的范围中的子午位置，并且在一些示例中，具有在5％M至50％M的范围中的子午位置，并且在一些示例中，具有在50％M至90％M的范围中的子午位置。

[0062] 在图示的示例中，如图12中最佳地看出，通道1202和1204各自具有被放大的浸入式横截面，该横截面位于扩散器表面1220下方、设计成在特定设计条件下容纳并扩散足够的体积流量。在一个示例中，通道1202和1204两者可以具有大体相同的横截面面积计划，其中，每个通道的横截面面积可以随子午位置增加而增加，以容纳增大量的扩散流。在其他示例中，两组通道的横截面形状或面积可以不同，例如，较低角度通道1204可以是较浅的并且在接近扩散器入口处具有较小的横截面面积，因为在扩散器入口的区域中的流动被理解为更切向，但是通道1204可以在更下游的扩散器板表面处具有较深且较大的横截面面积和/或较宽的宽度，在更下游的扩散器板表面处，流动角度较低(更径向)。

[0063] 在图示的示例中，存在相等数目的通道1202和1204，此处，每个通道有12个。在其他示例中，每个通道的数目可以不同。例如，一组通道可以具有比另一组通道少的数目，比如少10％至20％、或少20％至30％、或少30％至40％、或少50％至60％、或少60％至70％、或少80％至90％的通道、或少10％至60％的通道。作为非限制性示例，在另一实现方式中，扩散器板1200可以包括如图12中所示的12个较高角度通道1202，但是仅包括6个较低角度通道1204，其中，6个通道1204绕扩散器的周向均匀地分开，因为较低角度通道可以通过控制对性能有害的低角度二级流而对性能具有更大的影响。

[0064] 在图12中所示的示例中，两组通道1202和1204具有跨扩散器从扩散器入口1206延伸至扩散器出口1208的长度。在其他示例中，代替两组通道跨扩散器的整个长度延伸，通道1202和1204可以具有不同的开始位置和/或结束位置。例如，多组通道1202、1204中的一组通道可以跨扩散器的整个长度延伸，而另一组通道可以仅沿着扩散器的一部分定位。图14至图16图示了两个这样的示例，其中，图14示出了包括流动方向通道的具有第一角度轮廓的第一组通道1402(仅两个被标记)和流动方向通道的具有第二角度轮廓的第二组通道1404(仅两个被标记)的扩散板1400，第二角度轮廓不同于第一角度轮廓。在图示的示例中，通道1402相对于子午参考平面具有更大的角度，并且设计并构造为联接至通常在较低流率下发现的更切向的较高角度流并捕获该较高角度流。通道1404相对于子午参考平面具有较小的角度，并且设计并构造为联接至通常在较高流率下发现的更径向的较低角度流并捕获该较低角度流。在图示的示例中，较高角度通道1402跨扩散器的整个长度从扩散器入口

1406延伸至扩散器出口1408，而较低角度通道1404没有跨整个扩散器延伸而是仅定位在扩散器的入口区域中，其中，所述通道从扩散器入口1406延伸至交点1410(仅一个被标记)，在交点1410处，这些通道各自与较低角度通道1404中的对应的较低角度通道相交并流体连通。

[0065] 图15示出了扩散器板1500的另一示例实现方式，扩散器板1500包括具有第一角度轮廓的第一组流动方向通道1502(仅两个被标记)和具有第二角度轮廓的第二组流动方向通道1504(仅两个被标记)，第二角度轮廓不同于第一角度轮廓。在图示的示例中，通道1502相对于子午参考平面具有更大的角度，并且设计并构造为联接至通常在较低流率下发现的更切向的较高角度流并捕获该较高角度流。通道1504相对于子午参考平面具有较小的角度，并且设计并构造为联接至通常在较高流动速率下发现的更径向的较低角度流并捕获该较低角度流。在图示的示例中，较高角度通道1502跨扩散器的整个长度从扩散器入口1506延伸至扩散器出口1508，而较低角度通道1504没有跨整个扩散器延伸而是仅定位在扩散器的下游区域中，其中，所述通道从中间位置延伸至扩散器出口1508。如上面结合图10所指出的，CFD计算指示，流动角度通过设计可以在扩散器入口处是高度切向的并且在下游变得更径向。因此，较低角度通道1504可以设计、构造并选择性地定位在扩散器的下游部分中，以捕获较高角度流并具有开始位置1510，该开始位置位于经计算的流动角度落入低于阈值的区域中，例如相对于子午参考平面小于40度至60度，以及在一些示例中，小于40度至50度。

[0066] 图16图示了另一示例扩散器板1600，扩散器板1600与扩散器板1500类似，包括跨扩散器的整个长度延伸的第一组较高角度通道1602和定位在扩散器通路的下游部分中的第二组较低角度通道1604。与其中通道1502和通道1504具有相似的横截面形状和面积轮廓的扩散器板1500不同的是，通道1604具有与通道1602相比较浅的深度和不同的横截面面积，并且设计为与通道1602相比捕获较少体积的流体流。在图14至图16中所示的示例中，每组通道包括相同数目的通道。在其他实现方式中，一组通道可以具有比另一组通道少的数目，比如少10％至20％、或少20％至30％，或少30％至40％、或少50％至60％、或少60％至70％、或少80％至90％的通道、或少10％至60％的通道。在图示的示例中，较高角度通道跨扩散器的整个长度延伸，而在其他实现方式中，较高角度通道可以不跨扩散器的整个长度延伸，他们可以在沿着扩散器的其他点处具有开始位置和结束位置。类似地，在图示的示例中，较低角度通道仅跨扩散器的一部分延伸，而在其他实现方式中，较低角度通道可以跨扩散器的整个长度延伸。在其他示例中，透平机可以具有三组或更多组通道，每组中的通道具有与另一组中的通道不同的角度轮廓，各组中的通道数目可以相同或不同，并且各组中的通道可以跨扩散器的整个长度延伸或仅跨扩散器的一部分延伸、可以从上游延伸到叶轮中、并且可以定位在透平机的毂侧或护罩侧上或定位在两侧上。

[0067] 图17图示了具有两组通道1702、1704的扩散器板1700，并且还概念性地图示了低角度流线1706和高角度流线1708。如图17中所示，通过具有带有不同角度轮廓的两组通道，较高角度流和较低角度流两者可以被通道1702、1704捕获并且沿优选方向重新定向，由此在宽范围的流率和操作条件内改善了透平机的性能。

[0068] 图18至图20图示了示例过渡边缘特征，该边缘特征可以结合到本文中所公开的凹入通道中的任一凹入通道中，以增加通道在联接至流并对流进行重新定向方面的有效性。图18示出了包括凹入通道1802的扩散器板1800，每个凹入通道1802具有凸侧部1804和凹侧

部1806(仅一个通道被标记),并且图18概念性地图示了较高角度流线1808,较高角度流线1808相对于子午参考平面具有大约等于或略微大于通道1802的角度的流动角度。可以期望较高角度流线1808跨过凸侧部1804并进入通道。图9是通道1802的横截面侧视图的一个示例,并且图示了通道的示例边缘特征。在图示的示例中,在通道1802的凸侧部1804上,通道包括在扩散器毂或护罩表面1902与通道的侧壁1904之间呈倒角边缘1906的形式的过渡边缘特征,以帮助促进流进入到通道中。倒角部的深度d1可以被改变以使通道的性能最优化,并且在一些示例中,倒角部的深度d1在通道深度的2%至50%的范围中。如通过虚线指示的,在另一示例中,通道1802可以包括呈圆角1908而不是倒角形式的过渡边缘特征,以促进流进入到通道中。

[0069] 在图19中示出的示例中,通道1802的凹侧部1806包括尖部1910,尖部1910从通道侧壁1904向内侧向地延伸并形成勺状部,以捕获流并将流引导到通道中。图19包括概念性地图示流体流动的箭头,其中,通道的凸侧部1804和凹侧部1806上的通道边缘特征促进了流体流动到通道中。图20示出了通道1802的凹侧部1806上的呈尖部2000形式的过渡边缘特征的另一示例,尖部2000不仅从通道侧壁2002侧向地延伸而且从扩散器毂或护罩表面2004竖向地延伸高度h1,以提供勺状部来捕获流并将流重新引导到通道中。尖部2000的高度h1可以被改变以使通道性能最优化,并且在一些示例中,高度h1在通道深度的2%至50%的范围中。

[0070] 图19和图20中所图示的通道边缘特征可以以任何组合的方式结合,例如,可以向图20中所图示的通道添加倒角部或圆角部。通道边缘特征可以是相反的,其中,倒角部或圆角部位于凹侧部1806上,并且尖部位于凸侧部上。

[0071] 在一些示例中,通道的边缘几何结构可以随子午位置改变。例如,再次参照图18,高角度流线1808与通道1802的上游部分1810相交,首先穿过凸侧部1804,而低角度流线1812与通道的下游部分1814相交,首先穿过凹侧部1806。通道1802可以设计成通过结合尖部来捕获高角度流线1808和低角度流线1812两者,比如在上游部分1810上的凹侧部1806上结合尖部1910或2000以捕获高角度流线1808并且在下游部分1814上具有相反的构型、即在凸侧部1804上结合尖部以捕获低角度流线1812。如果通道1802被限定为从子午位置0%M处的开始位置延伸至子午位置100%M处的结束位置,则上游部分1810可以从0%M延伸至10%M,并且在一些示例中,从0%M延伸至20%M,并且在一些示例中,从0%M延伸至30%M,从0%M延伸至40%M,并且在一些示例中,从0%M延伸至50%M,并且在一些示例中,从0%M延伸至60%M。下游部分1814可以从40%M延伸至100%M,并且在一些示例中,从50%M延伸至100%M,并且在一些示例中,从60%M延伸至100%M,并且在一些示例中,从70%M延伸至100%M,并且在一些示例中,从80%M延伸至100%M,并且在一些示例中,从90%M延伸至100%M。

[0072] 更一般地,在一些示例中,凹入通道可以包括在通道的至少一部分、比如通道的下游部分的凸侧部上形成勺状部的边缘特征,以捕获可能在较高流率下和扩散器入口的下游位置处更普遍的更径向的较低角度流。并且在一些示例中,凸侧部上的勺状部可以在位于通道的开始位置下游的第一子午位置处开始,并且通道的相反凹侧部可以在开始位置与第一子午位置之间沿着通道的上游部分包括勺状部。

[0073] 图21至图23图示了包括流量控制结构的扩散器2100的另一示例实现方式,流量控制结构设计并构造为改进扩散器和透平机的性能。在图示的示例中,扩散器2100包括顶板

2102和底板2104。底板2104包括多个凹入通道2106，多个凹入通道2106总体上沿流动方向延伸并且可以具有本文中所公开的凹入通道中的任一凹入通道的几何结构和特征中的任一几何结构和特征。扩散器2100还包括附连至顶板2102的多个部分高度叶片2108，多个部分高度叶片2108设计并构造为除其他方面外通过在接近通道的流场中形成压力分布来增加通道2106的有效性，这增加了通道与流场之间的联接。图22是扩散器2100的俯视图，其中，顶板2102被移除以进一步图示部分高度叶片2108相对于通道2106的定位。在图示的示例中，部分高度叶片邻近每个通道2106的凸侧部2202定位，具有比通道长度小的长度，并且靠近扩散器入口2204、邻近通道的上游部分定位。

[0074] 在其他示例中，叶片可以更短或更长、包括具有与通道相同的长度，并且可以沿着通道定位在任一点处，比如邻近由虚线2208指示的下游部分定位，虚线2208图示了叶片2108的替代位置或附加的部分高度叶片的位置。在另一示例中，叶片2108可以沿着通道长度在任一点处定位在通道2106的凹侧部2206上。在一个示例中，叶片2108可以邻近例如上游部分定位在通道2106的凹侧部2206上，并且设计成将高角度切向流重新引导到通道中，并且附加的部分高度叶片可以例如邻近下游位置定位在凸侧部2202上，并且设计成将低角度更径向的流重新引导到通道中。在其他示例中，通道2106的第一子组具有邻近凹侧部2206的部分高度叶片2108，并且通道的第二子组具有邻近凸侧部2202的部分高度叶片2108。并且在一些示例中，通道的第一子组具有与通道的第二子组不同的曲率或角度轮廓，例如，通道的第一子组可以具有比通道的第二子组高或低的角度。

[0075] 在图示的示例中，存在相同数目的部分高度叶片2108和通道2106。在其他示例中，叶片2108的数目可以更多或更少。例如，部分高度叶片的数目可以在通道的数目的10％至75％的范围中，并且在一些示例中，部分高度叶片2108可以与通道2106的1/5、1/3、或1/2一样多。

[0076] 图23是扩散器2100的一部分的侧视横截面图，并且示出了部分高度叶片2108中的一个部分高度叶片以及通道2106中的一个通道。部分高度叶片2108可以具有比顶板2102与底板2104之间的翼展距离s小的高度h。部分高度叶片可以具有比翼展距离s小的任何高度，这些高度包括在翼展距离s的下述范围内的高度h：5％至90％、并且在一些示例中5％至10％、并且在一些示例中5％至15％、并且在一些示例中5％至20％、并且在一些示例中5％至25％、并且在一些示例中、5％至30％、并且在一些示例中5％至35％、并且在一些示例中5％至45％、并且在一些示例中5％至55％、并且在一些示例中45％至95％、并且在一些示例中55％至95％、并且在一些示例中65％至95％、并且在一些示例中75％至95％、并且在一些示例中85％至95％。

[0077] 部分高度叶片2108可以从通道2106的中心线间隔开偏移距离d，其中，偏移距离d在叶片厚度t的1/2-10倍的范围中，并且在一些示例中，在叶片厚度t的1/2-5倍的范围中，并且在一些示例中，在叶片厚度t的1/2-3倍的范围中，并且在一些示例中，在叶片厚度t的1/2-2倍的范围中。部分高度叶片还可以具有在-5度至+25度范围内的入射角度(流动角度与叶片角度之间的差异)。叶片高度h、相对于相邻通道的叶片偏移d、以及叶片入射角度中的一者或更多者可以设计、构造并选定为在邻近通道2106的流体流场中形成压力分布，以增加通道与流场的联接并提高通道的有效性。

[0078] 图24图示了呈扩散器2400的形式的另一示例实现方式，扩散器2400与扩散器2100

类似，不同之处在于扩散器板2400包括附连至扩散器的与多个通道2404(仅一个被图示)相同的一侧的多个部分高度叶片2402(仅一个被标记)。图24是扩散器2400的顶板2406的一部分的侧视横截面图。部分高度叶片2402的高度h、偏移角度d和入射角度可以具有上面针对部分高度叶片2108所公开的值中的任一值。

[0079] 在又一示例中，图21至图23和图24中所图示的实施方式可以以任何方式组合，例如，扩散器可以在扩散器通路的毂侧部和护罩侧部两者上包括凹入的流动方向通道，并且可以在仅一个侧部或两个侧部上包括部分高度叶片。如果在两个侧部上包括部分高度叶片，则部分高度叶片可以以相互交叉交替布置的方式定位，其中，第一部分高度叶片附连至例如扩散器的护罩侧部，并且第二部分高度叶片与第一部分高度叶片周向地间隔开并且附连至扩散器的毂侧部，接着另一第一部分高度叶片附接至护罩等。在另一示例中，图21至图23中所图示的实施方式可以是相反的，其中，流动方向通道位于顶板2102中，并且部分高度叶片附连至底板2104。在另一示例中，图24中所图示的实施方式可以是相反的，其中，流动方向通道位于扩散器的底板中，并且部分高度叶片也附连至底板。

[0080] 图25图示了扩散器板2500的另一示例实现方式，扩散器板2500包括用于改善扩散器和透平机性能的流量控制结构，该流量控制结构包括位于扩散器板2505中的多个部分高度叶片2502和多个凹入通道2504，其中，扩散器板可以形成扩散器2500的前板或背板。在图示的示例中，凹入通道2504的数目比部分高度叶片2502的数目多，并且部分高度叶片选择性地位于通道对2506之间，并且没有部分高度叶片位于相邻的通道对之间。通道对2506包括位于叶片2502的压力侧2509上的压力侧通道2504b和位于叶片的吸入侧2507上的吸入侧通道2504a。在图示的示例中，每个对2506中的两个通道2504不是流体连通的并且各自从扩散器的入口2508延伸至出口2510。在其他示例中，这两个通道2504可以结合成位于部分高度叶片2502的上游或下游的单个通道，或者可以与图12和图13中的通道1202和1204类似的那样在交点处相交。在又一示例中，通道对2506中的两个通道2504可以在扩散器板2502的表面2512中限定不同的开口，但是共享浸入在扩散器表面下方的同一流体通路。

[0081] 图26和图27是扩散器2500的两个替代性实施方式的横截面侧视图，其图示了位于通道2504的对2506之间的部分高度叶片2502可以位于扩散器通路的相同侧或相对侧上。在图26中所图示的示例中，部分高度叶片2502附连至扩散器板2505，并且与通道2504a和2504b等距地间隔开距离d_a、d_b，并且通道对2506以间隔距离s间隔开。在所图示的示例中，间隔距离s小于相邻通道对2506之间的间隔，并且在一个示例中，d_a和d_b各自在t至5t的范围中，其中，t是叶片2502的厚度。在另一示例中，所述间隔可以是较大的，并且在一些示例中，距离d_a和d_b可以不是相等的。例如，d_a可以小于d_b，并且d_b可以在2*d_a至5*d_a的范围中。换言之，叶片2502可以靠近压力侧通道2504a，并且与吸入侧通道2504间隔较大的距离，以防止叶片阻挡流向吸入侧部通道流动。在其他示例中，可以使用反转布置，其中，叶片2502可以定位成靠近吸入侧通道2504b。图27中所图示的替代性实施方式可以构造成具有相同范围的间隔参数d_a、d_b和s。在一些示例中，由于叶片对通道2504的区域中的流场的不同作用，因此叶片2502与通道2504a、2504b之间的相对间隔将根据叶片是附连至扩散器通路的相同侧(图26)还是相对侧(图27)来选定。在图26和图27中所图示的示例中，通道对2506中的两个通道2504具有大致相同的横截面形状、面积和深度。在另一示例中，通道2504的形状、尺寸或深度可以例如根据通道是位于叶片2502的压力侧2507上还是吸入侧

2509上以及叶片是附连至扩散器通路的相同侧还是相对侧而不同。例如,吸入侧叶片2504b可以是较浅的并且/或者具有比压力侧叶片2504a小的横截面面积。在其他示例中,压力侧叶片2504a可以是较浅的并且/或者具有比吸入侧叶片2504b小的横截面面积。

[0082] 部分高度叶片2502可以具有比扩散器通路的翼展距离s_翼展小的任何高度h,这些高度包括在翼展距离的下述范围内的高度h:5%至90%、并且在一些示例中5%至10%、并且在一些示例中5%至15%、并且在一些示例中5%至20%、并且在一些示例中5%至25%、并且在一些示例中5%至30%、并且在一些示例中5%至35%、并且在一些示例中5%至45%、并且在一些示例中5%至55%、并且在一些示例中45%至95%、并且在一些示例中55%至95%、并且在一些示例中65%至95%、并且在一些示例中75%至95%、并且在一些示例中85%至95%。在图25中所示出的示例中,在通道2504的对2506之间没有设置部分高度叶片。在其他示例中,附加的全部高度叶片或部分高度叶片可以位于通道对之间,并且在部分高度叶片的情况下,部分高度叶片可以附连至扩散器通路的与部分高度叶片2502相同或相对的一侧。

[0083] 图28图示了扩散器2800的另一示例实现方式,扩散器2800包括位于扩散器板2804中的多个凹入通道2802。通道2802包括位于扩散器板2804的表面2808中的长形开口2806,并且还包括宽度比开口2806的宽度大的浸没部分2810,通道通路的位于表面2808下方的浸没部分的侧部在图28中由虚线图示。如由虚线图示的,浸没部分2810的宽度和横截面面积随子午位置改变,并且在图示的示例中,浸没部分2810的宽度和横截面面积设计并构造为形成收缩-扩张喷嘴2812,收缩-扩张喷嘴2812包括位于子午位置M处的喉部2814。如以上结合图3和图4指出的,在具有凹入通道的压缩机的一些实现方式中已经观察到在较高流率下的性能的下降。在一些示例中,性能的下降可能归因于通道内的流体流的阻塞。因此,通道2802和收缩-扩张喷嘴2812设计并构造为改善通道在较高流率下的性能。

[0084] 前面已经对本公开的说明性实施方式进行了详细描述。应当注意的是,在本说明书和所附权利要求中,除非特别说明或另有指出,否则在比如短语“X、Y和Z中的至少一者”和“X、Y和Z中的一者或更多者”中使用的连接性语言,应当被视为意味着连接性列表中的每一项可以以除列表中的每个其他项之外的任何数目存在,或者以与连接性列表中的任何或所有其他项目的组合中的任何数目存在,连接性列表中的每一者还可以以任何数目存在。应用这个一般规则,在连接性列表由X、Y和Z组成的前述示例中的连接性短语应当分别包含:X中的一个或更多个X;Y中的一个或更多个Y;Z中的一个或更多个Z;X中的一个或更多个X和Y中的一个或更多个Y;Y中的一个或更多个Y和Z中的一个或更多个Z;X中的一个或更多个X和Z中的一个或更多个Z;以及X中的一个或更多个X、Y中的一个或更多个Y和Z中的一个或更多个Z。

[0085] 在不脱离本公开的精神和范围的情况下,可以做出各种修改和添加。上述各个实施方式中的每个实施方式的特征可以与其他所述实施方式的特征适当地组合,以便在相关联的新实施方式中提供多种特征组合。例如,图12至图16中描述和图示的具有不同角度轮廓的多组通道的各示例的特征中的任一特征可以与图17至图20中描述和图示的通道边缘特征的示例中的任一特征、和/或图21至图27中的结合有部分高度叶片和凹入通道的示例实现方式的特征中的任一特征、和/或图28中的收缩-扩张喷嘴的示例实现方式的特征中的任一特征组合。此外,虽然前面描述了多个单独的实施方式,但是本文中所描述的内容仅是

对本公开的原理的应用的说明。另外，尽管本文中的特定方法可以被示出和/或被描述为以特定顺序执行，但是该顺序在实现本公开的各方面的普通技术范围内是高度可变的。因此，该描述意在仅以示例方式进行，而不是以其他方式限制本发明的范围。另外，本文中所公开的位于扩散器中的凹入通道中的任一凹入通道可以在上游延伸到叶轮中，或者可以整个位于叶轮中而不是扩散器中。本文中所公开的部分高度叶片的示例中的任一示例可以修改为将部分高度叶片附连至扩散器通路的任一侧部，并且替代部分高度叶片或附加于部分高度叶片，扩散器还可以包括一个或更多个全部高度叶片。结合径向式压缩机在本文中所描述的示例可以容易地应用于混流式或径向泵混流式压缩机以及轴向混流式或径向风机和涡轮机。本文中所公开的包括凹入通道的示例中的任一示例可以修改为将凹入通道结合到透平机通路的一个侧部或两个侧部上。

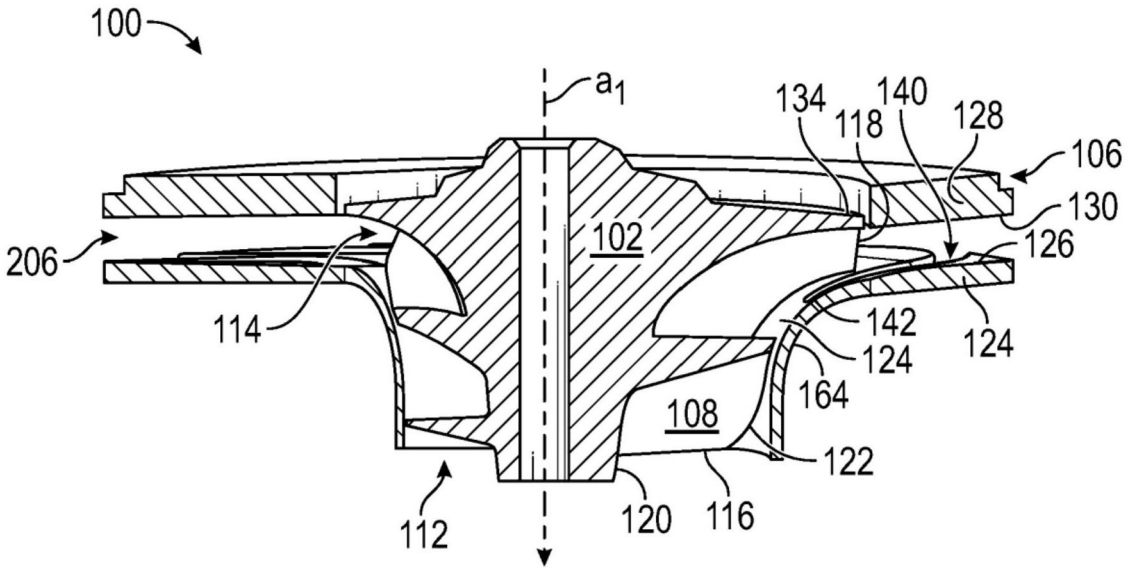

100
a_1
134
140
118
128
106
130
102
126
206
114
142
124
124
164
108
122
112
120
116

图1

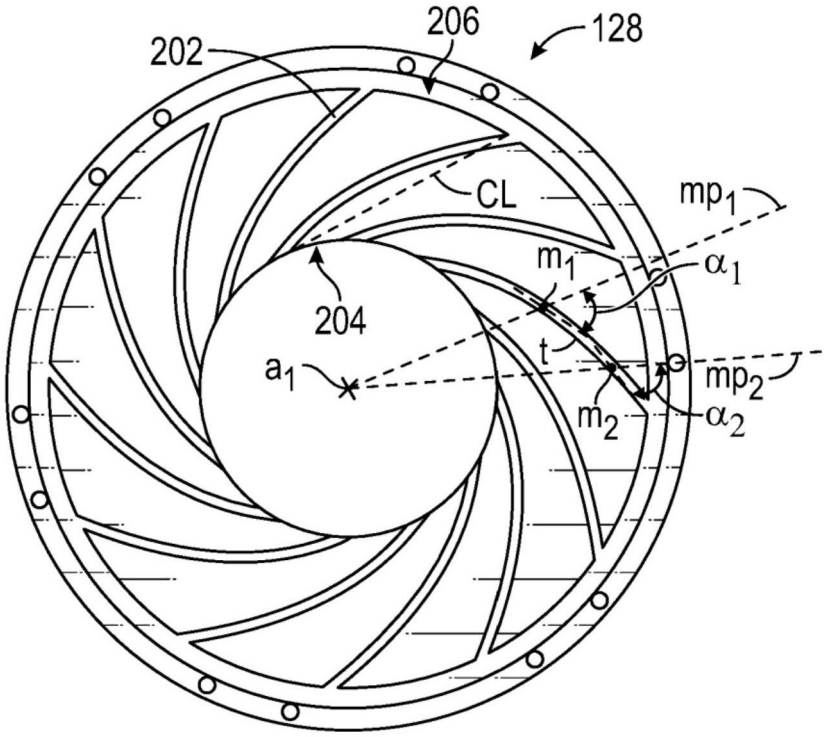

206
128
202
CL
mp_1
m_1
α_1
204
t
a_1
mp_2
m_2
α_2

图2

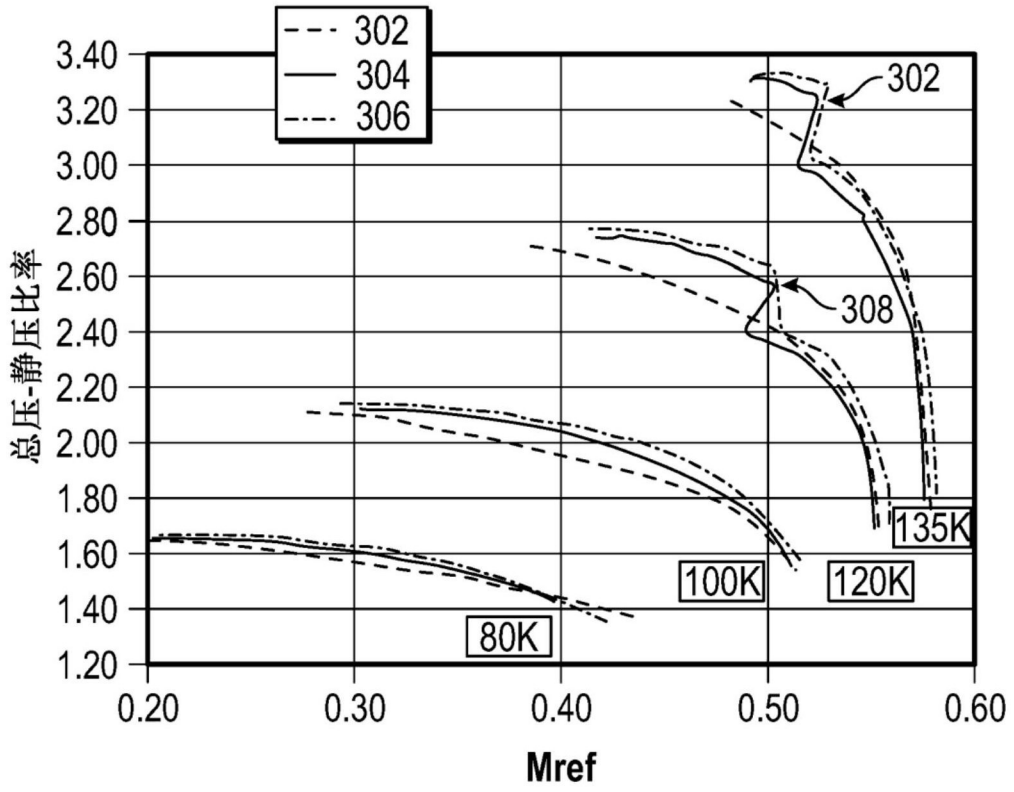

302
304
306
3.40
3.20
3.00
2.80
2.60
2.40
2.20
2.00
1.80
1.60
1.40
1.20
总压-静压比率
302
308
135K
100K
120K
80K
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
Mref

图3

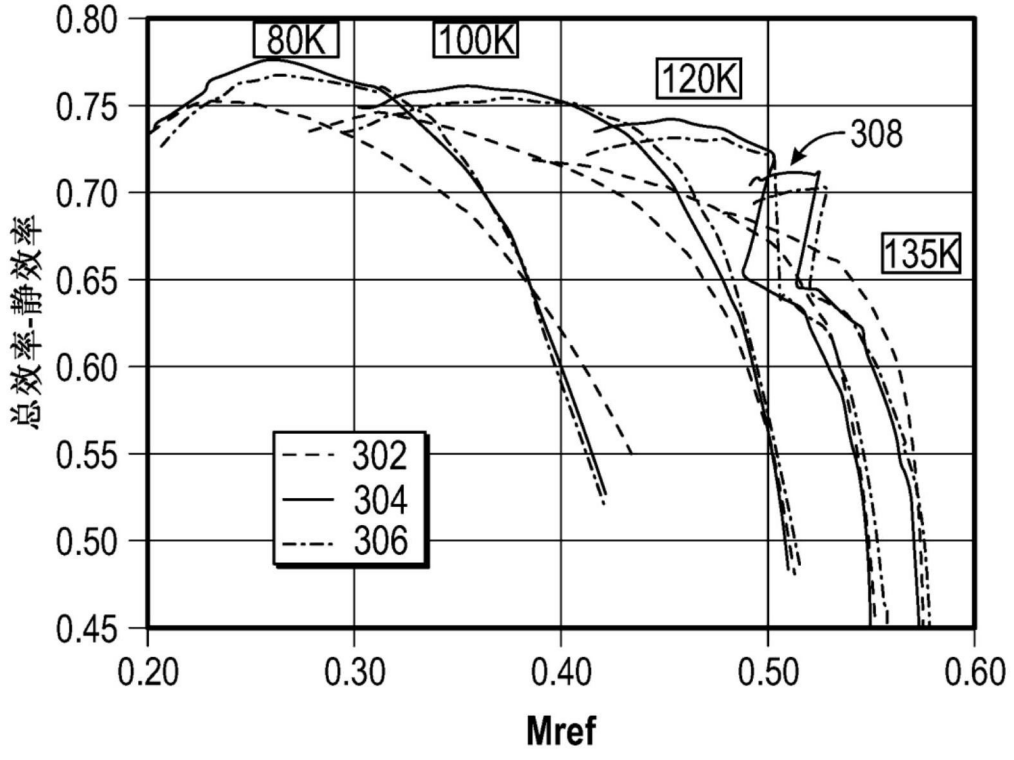

0.80
0.75
0.70
0.65
0.60
0.55
0.50
0.45
总效率-静效率
80K
100K
120K
308
135K
302
304
306
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
Mref

图4

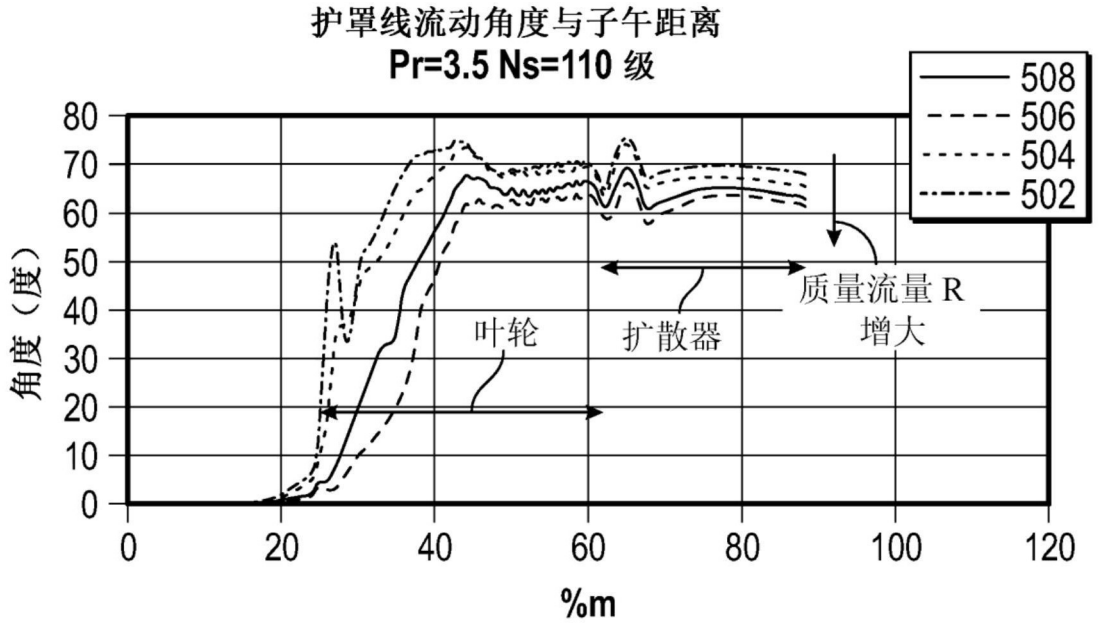

护罩线流动角度与子午距离
Pr=3.5 Ns=110 级
508
506
504
502
80
70
60
50
40
30
20
10
0
角度（度）
叶轮
扩散器
质量流量 R
增大
0
20
40
60
80
100
120
%m

图5

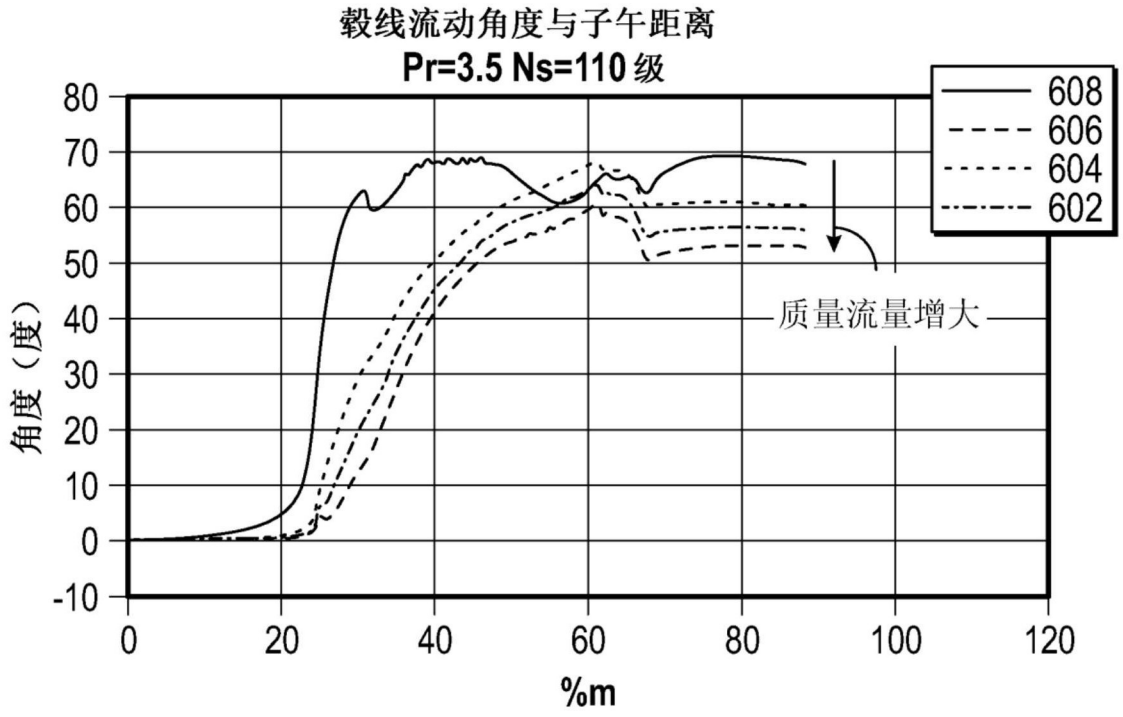

毂线流动角度与子午距离
Pr=3.5 Ns=110 级
608
606
604
602
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
角度（度）
质量流量增大
0
20
40
60
80
100
120
%m

图6

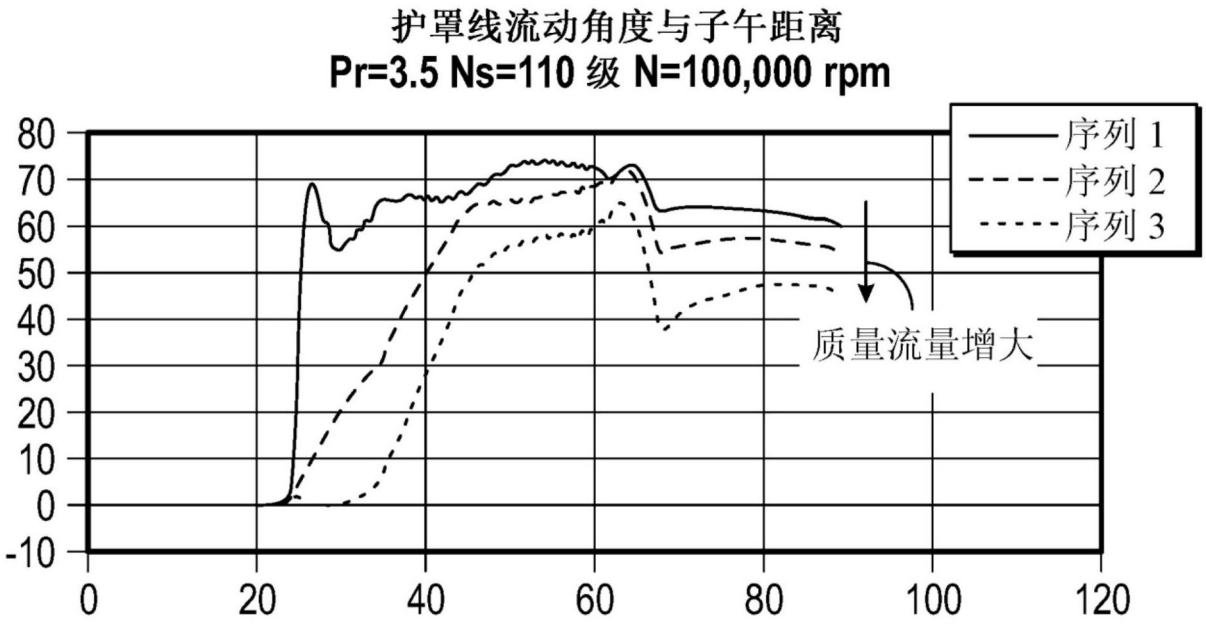

护罩线流动角度与子午距离
Pr=3.5 Ns=110 级 N=100,000 rpm
序列 1
序列 2
序列 3
质量流量增大
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
0
20
40
60
80
100
120

图7

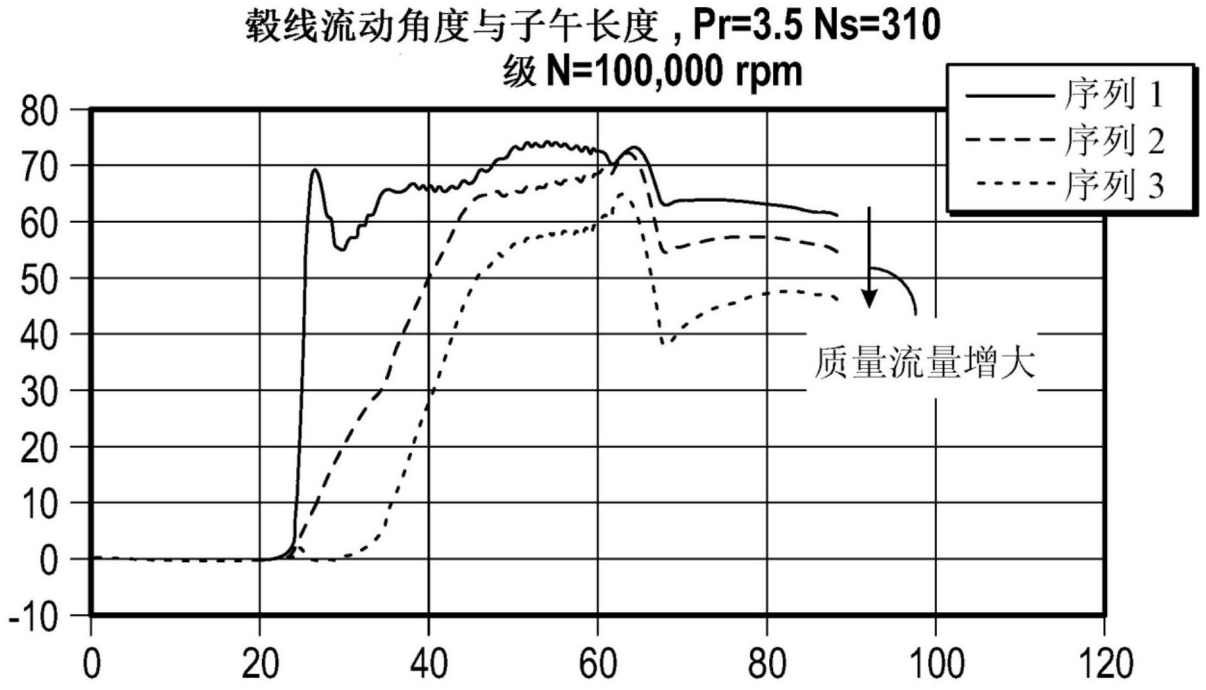

毂线流动角度与子午长度，Pr=3.5 Ns=310
级 N=100,000 rpm
序列 1
序列 2
序列 3
质量流量增大
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
0
20
40
60
80
100
120

图8

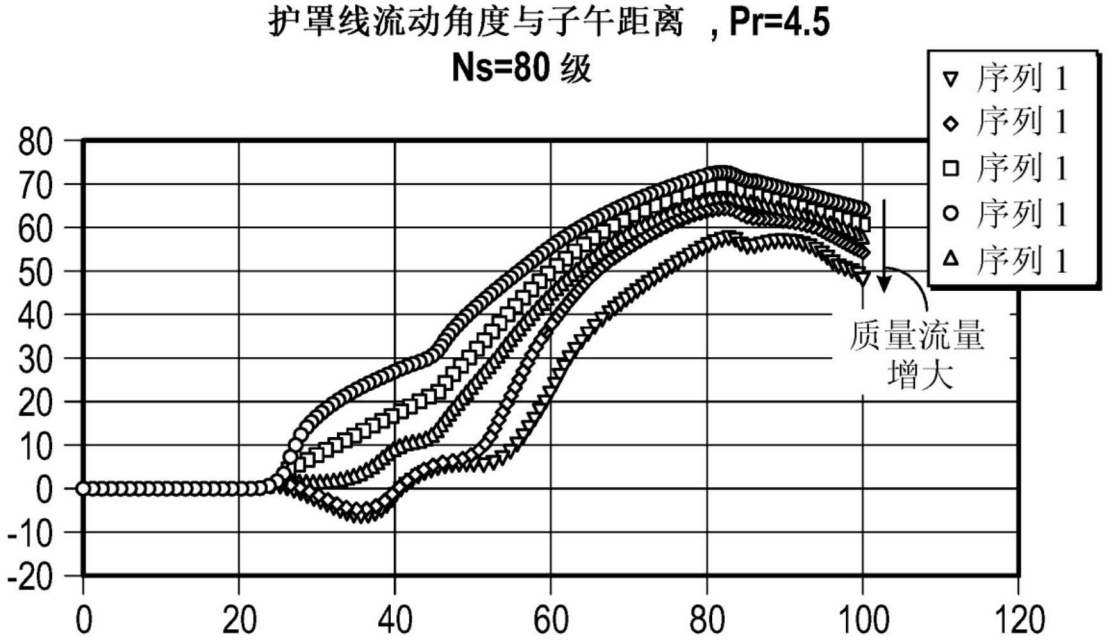

护罩线流动角度与子午距离 , Pr=4.5
Ns=80 级
序列 1
序列 1
序列 1
序列 1
序列 1
质量流量
增大
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
0
20
40
60
80
100
120

图9

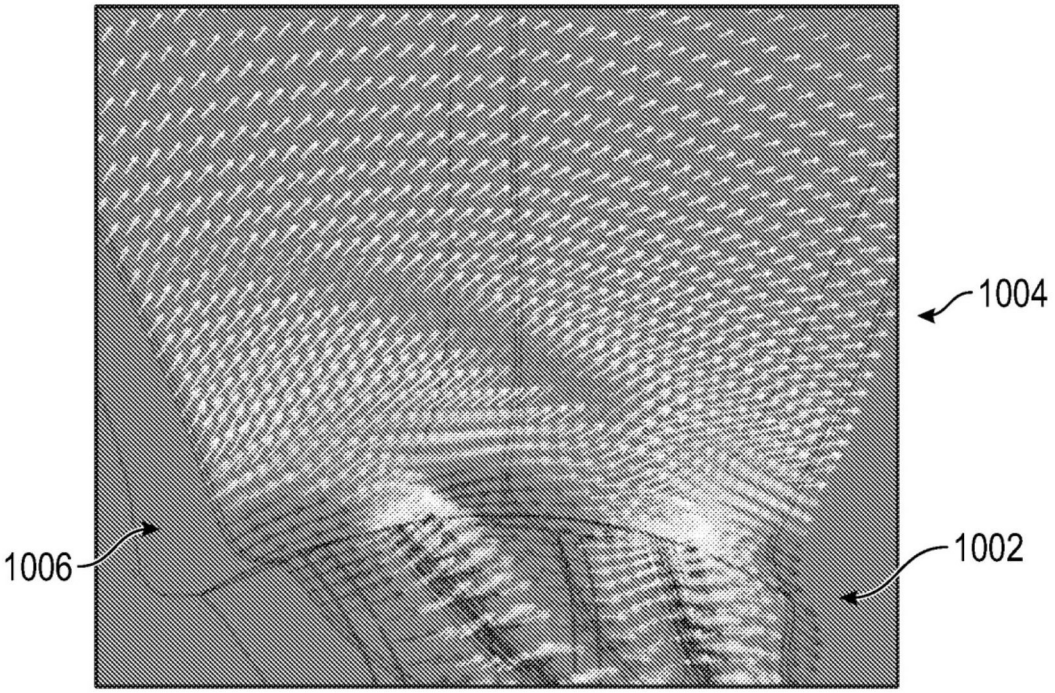

1004
1006
1002

图10

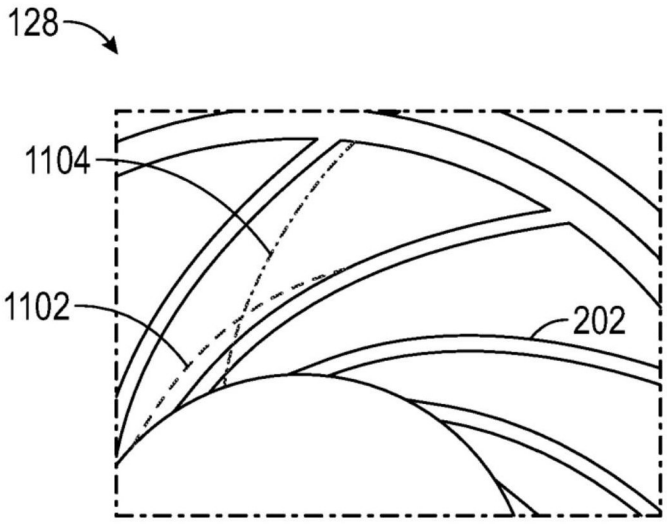


图11

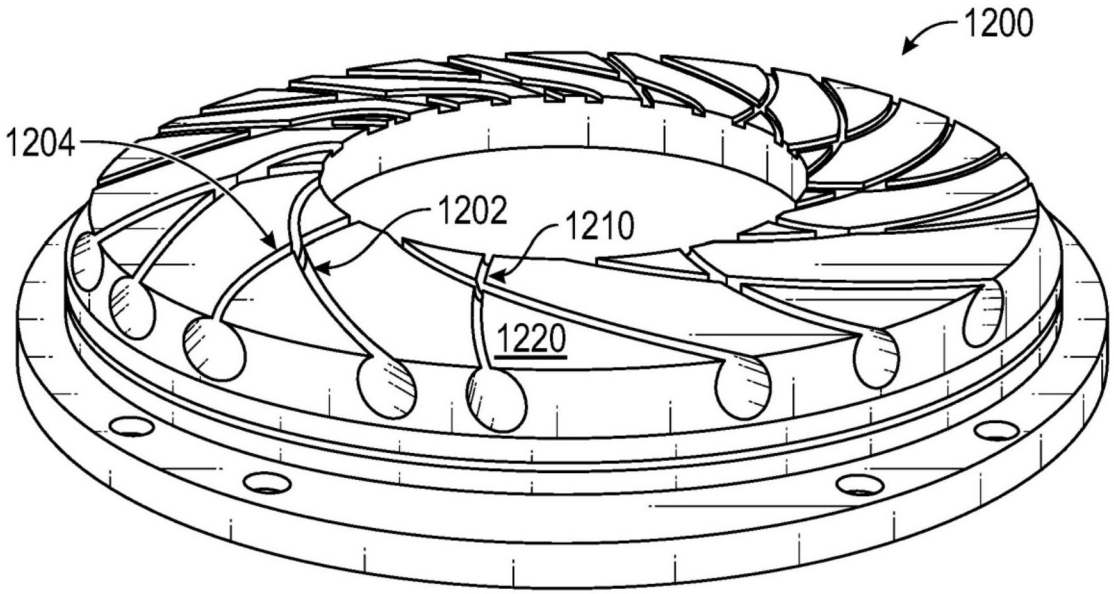


图12

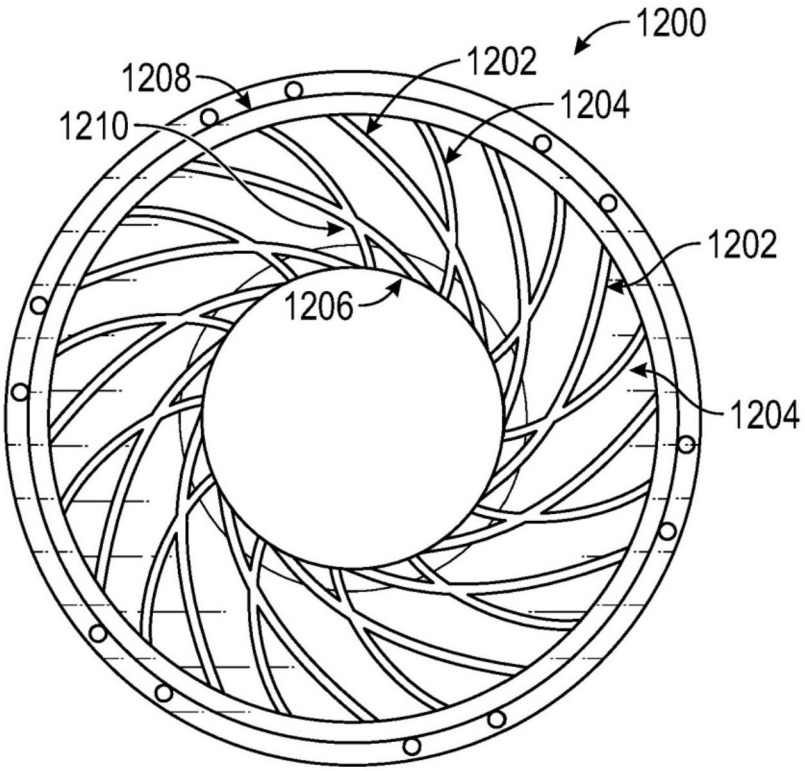

1200
1202
1208
1204
1210
1202
1206
1204

图13

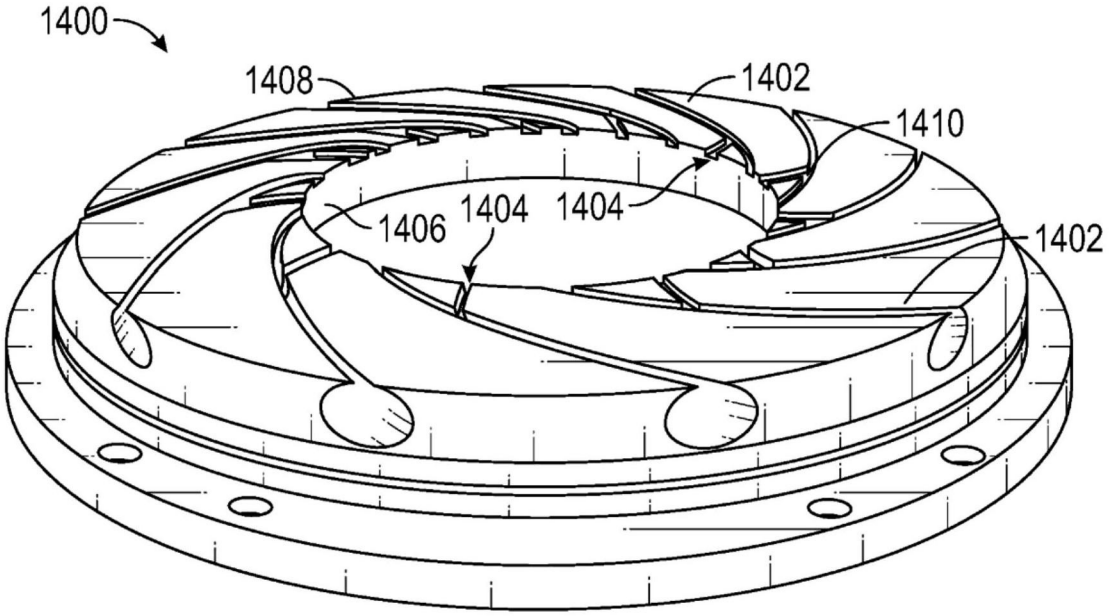

1400
1408
1402
1410
1404
1404
1406
1402

图14

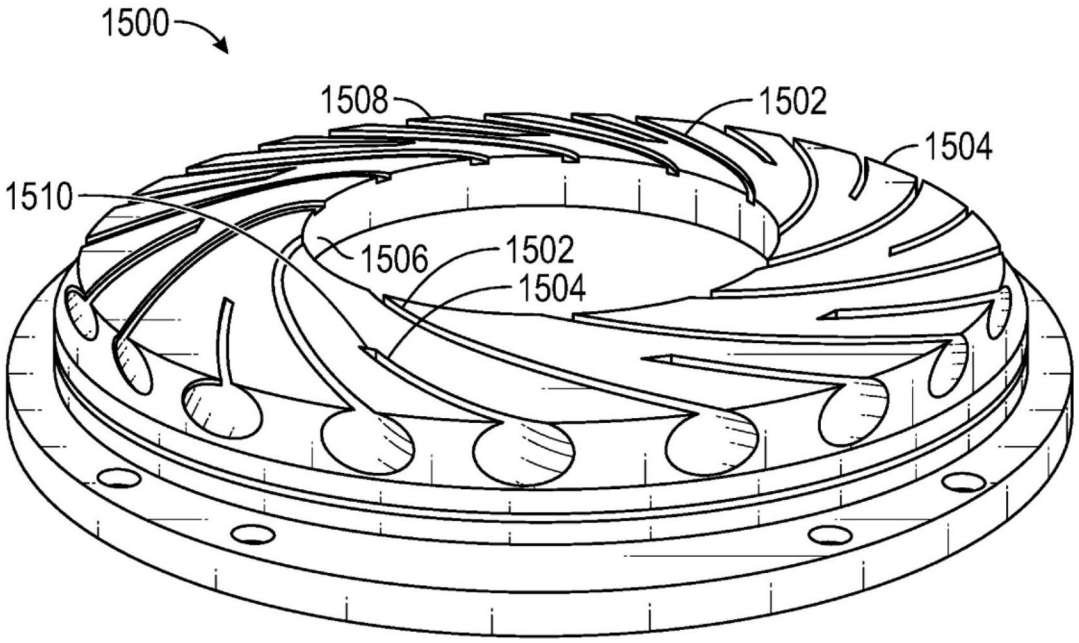


图15

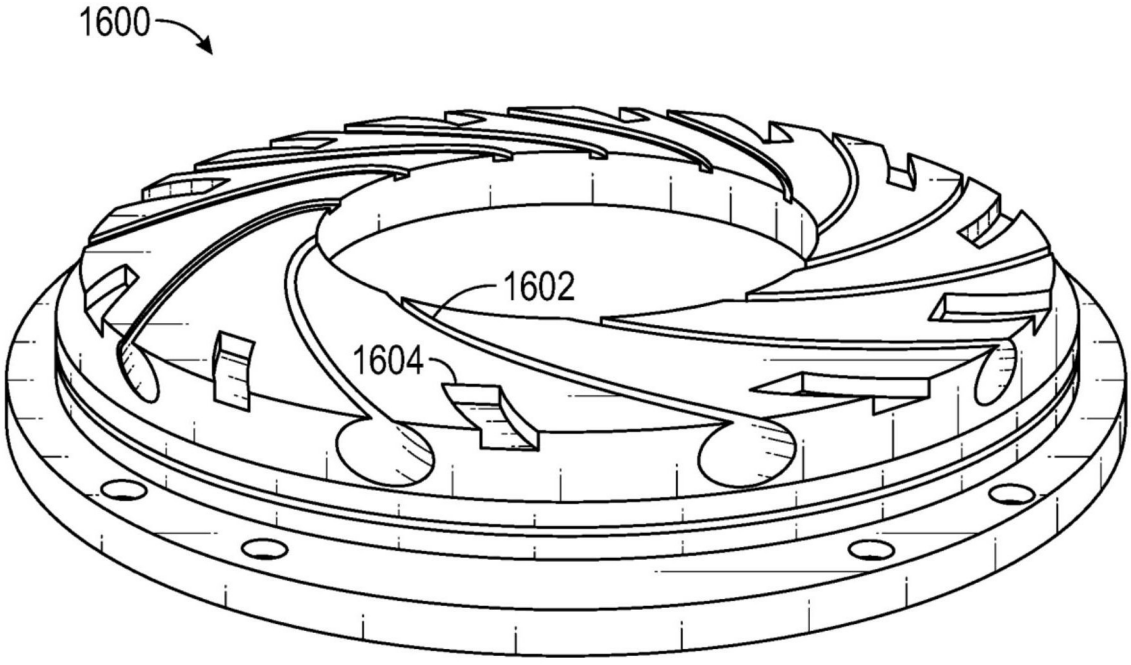


图16

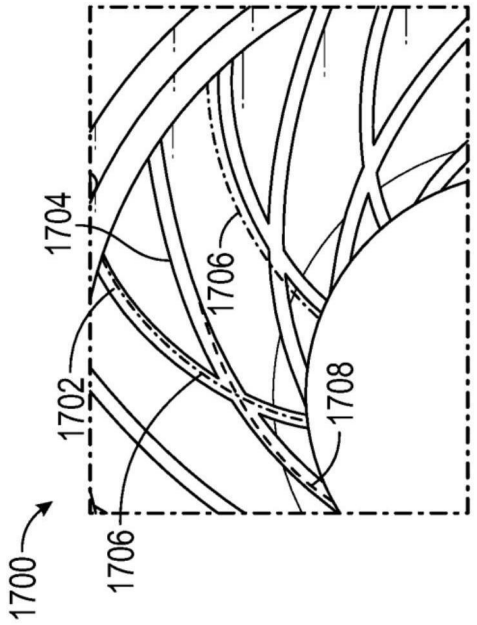

1704
1706
1702
1708
1706
1700

图17

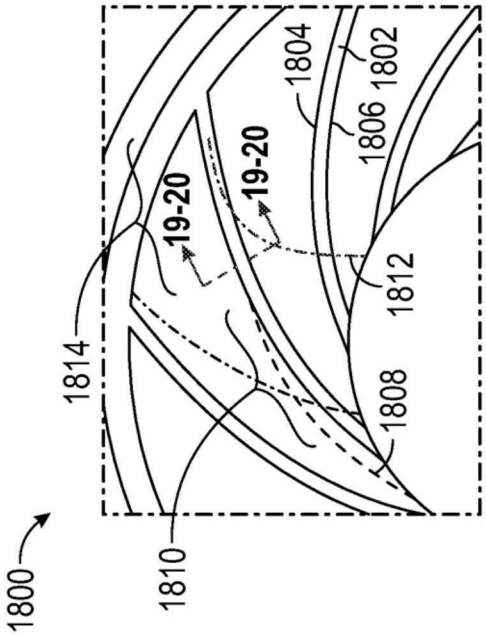

1804
1802
1806
19-20
19-20
1812
1814
1808
1810
1800

图18

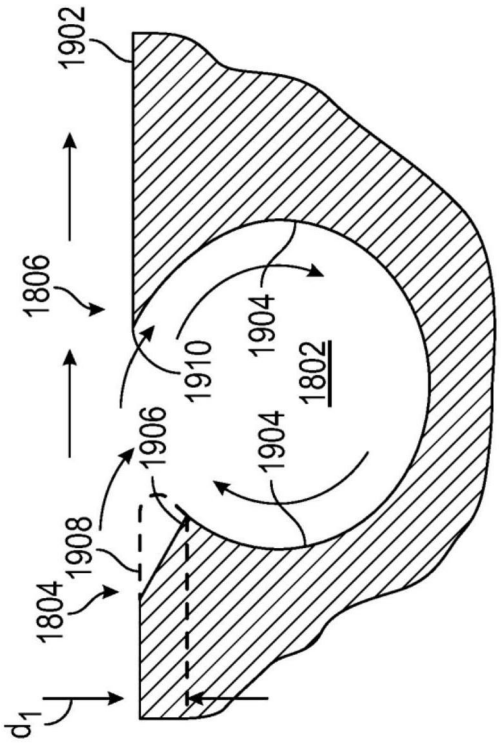

1902
1806
1910
1904
1802
1906
1904
1908
1804
d_1

图19

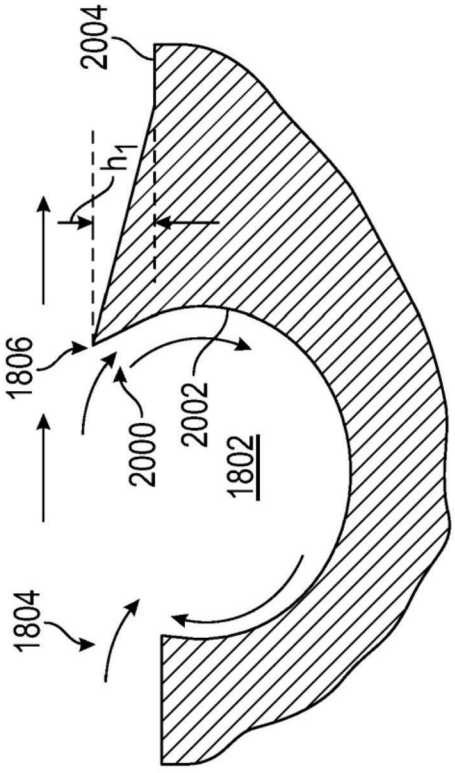

2004
h_1
1806
2000
2002
1802
1804

图20

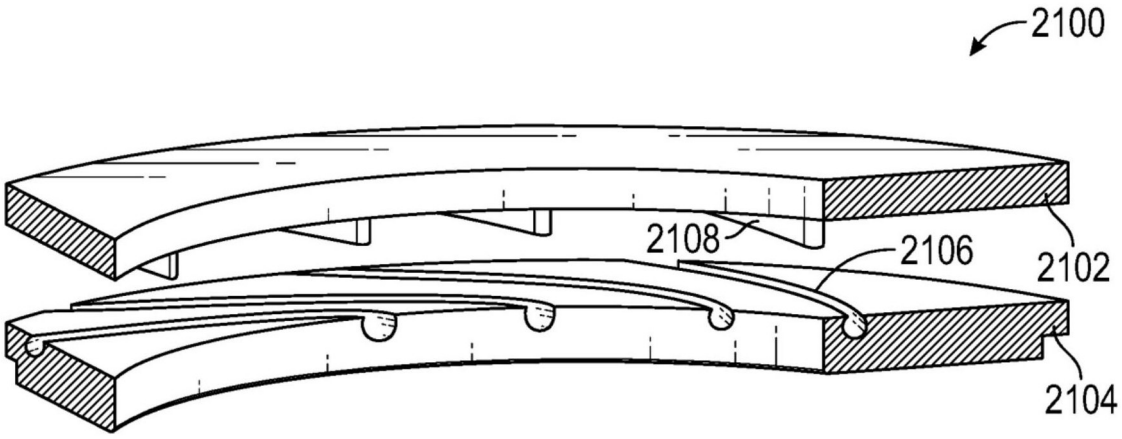

2100
2108
2106
2102
2104

图21

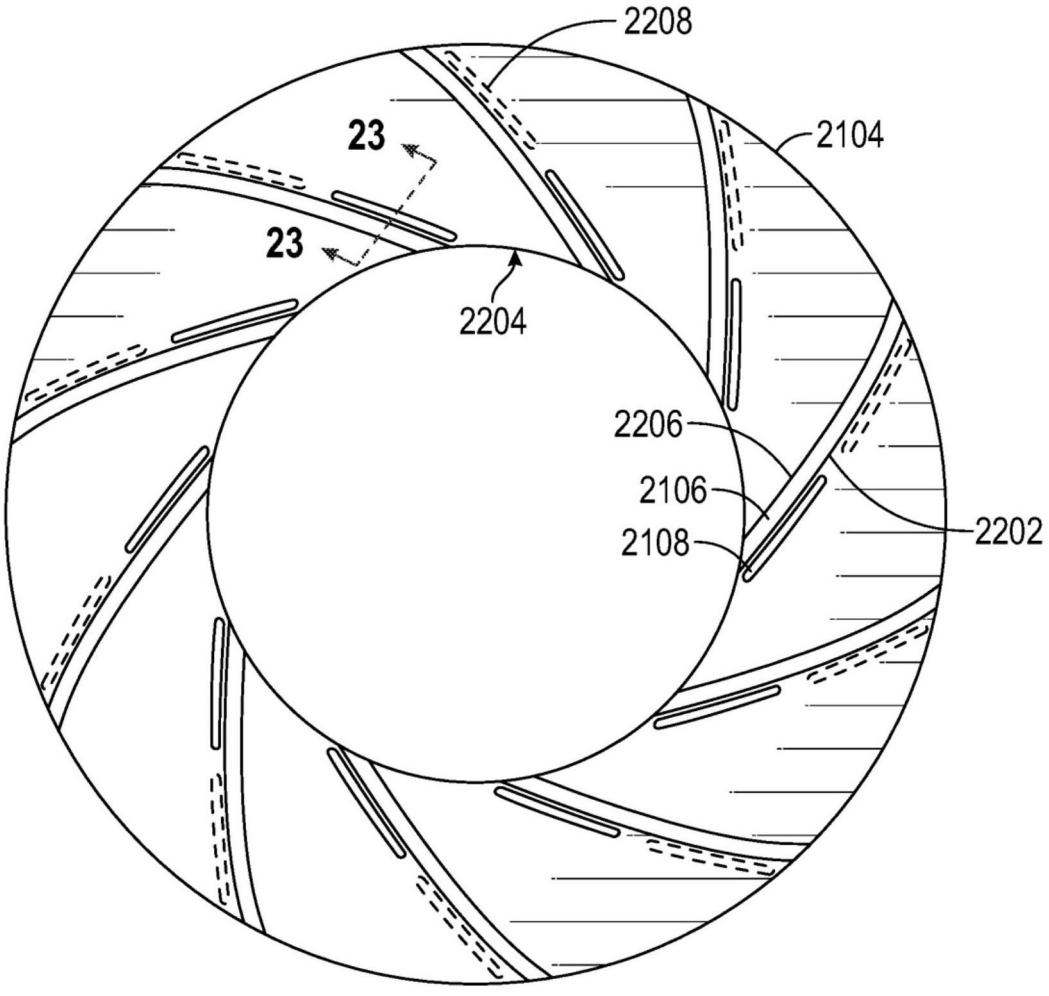

2208
2104
23
23
2204
2206
2106
2108
2202

图22

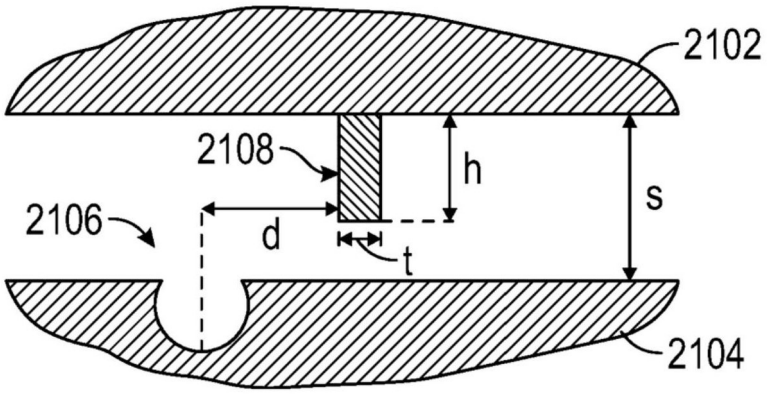


图23

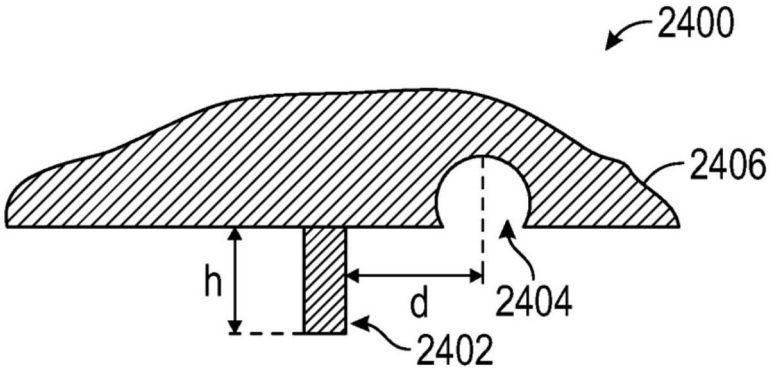


图24

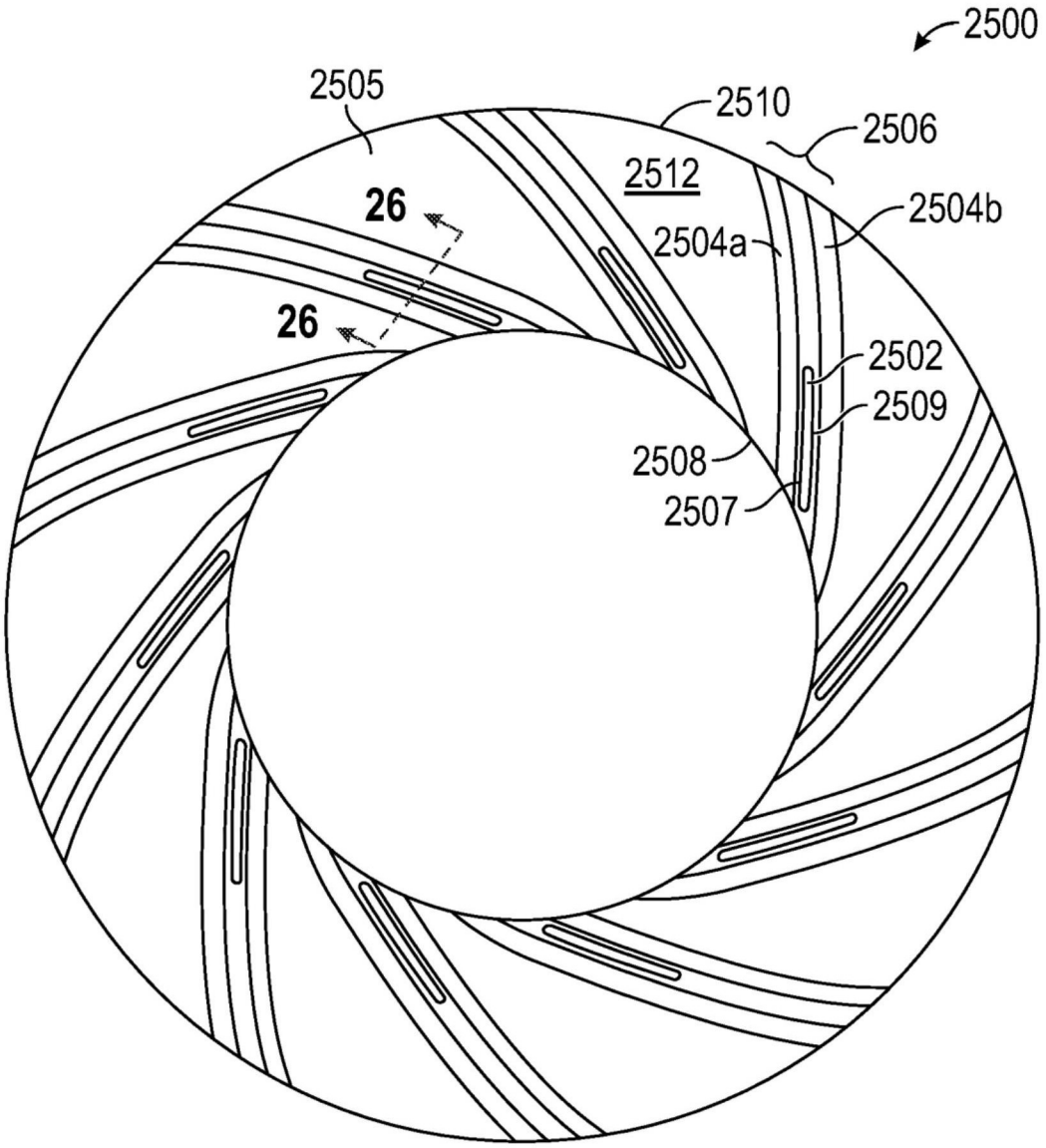

2500
2505
2510
2506
2512
26
2504b
2504a
26
2502
2509
2508
2507

图25

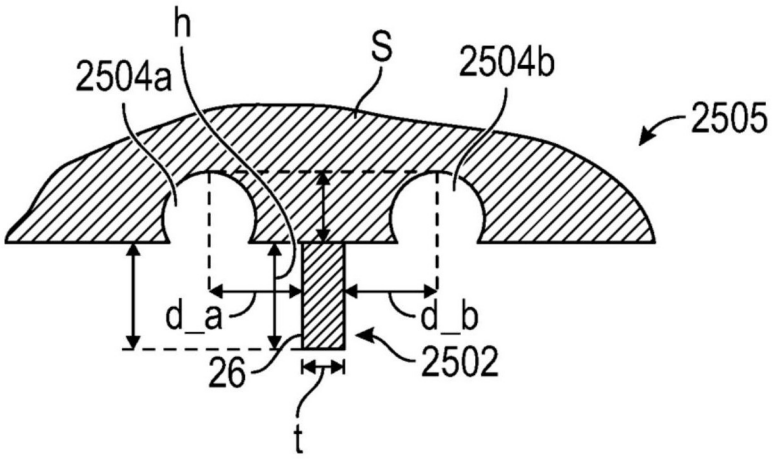

h
S
2504a
2504b
2505
d_a
d_b
26
2502
t

图26

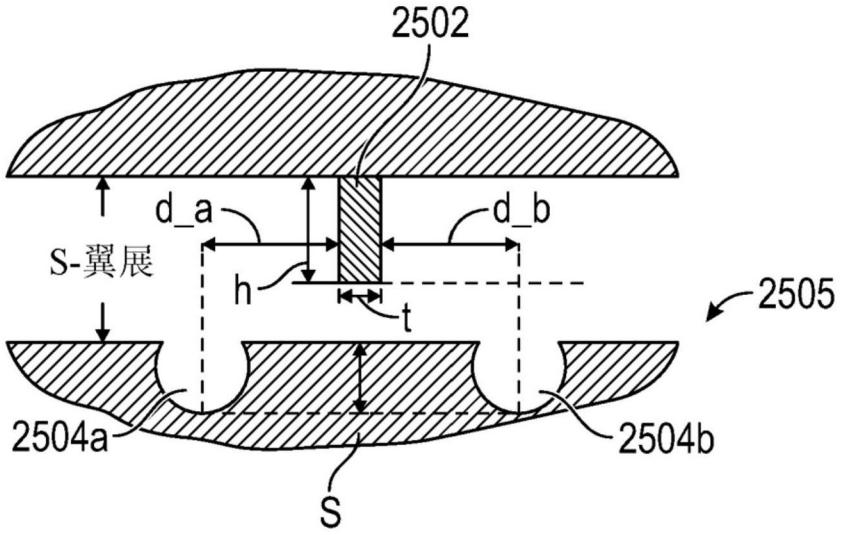

2502
d_a
d_b
S-翼展
h
t
2505
2504a
2504b
S

图27

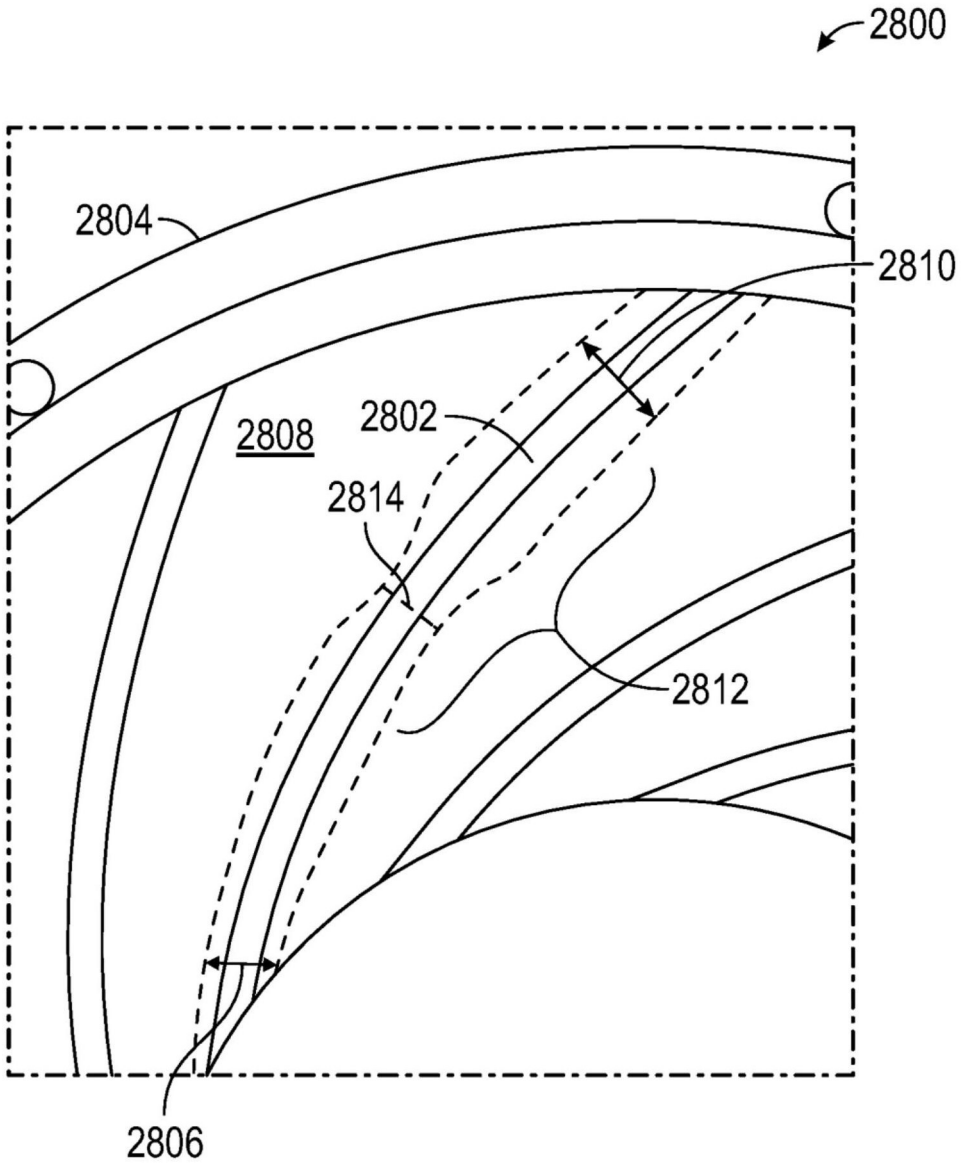


图28