

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680026899.8

[51] Int. Cl.

G05D 16/00 (2006.01)

F28F 27/00 (2006.01)

G05D 23/00 (2006.01)

F25B 13/00 (2006.01)

[43] 公开日 2008 年 9 月 17 日

[11] 公开号 CN 101268430A

[22] 申请日 2006.6.23

[21] 申请号 200680026899.8

[30] 优先权

[32] 2005.6.24 [33] US [31] 60/693,934

[86] 国际申请 PCT/US2006/024633 2006.6.23

[87] 国际公布 WO2007/002496 英 2007.1.4

[85] 进入国家阶段日期 2008.1.22

[71] 申请人 阿瑟·威廉斯

地址 美国马萨诸塞州

共同申请人 查尔斯·阿戈斯塔

[72] 发明人 阿瑟·威廉斯 查尔斯·阿戈斯塔

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 陈荃芳 陶凤波

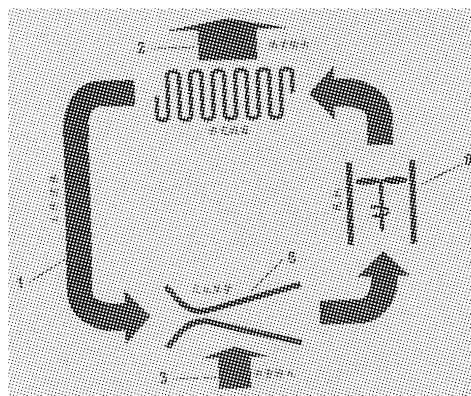
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 10 页

[54] 发明名称

用于传热的文丘里管

[57] 摘要

为了将热量从热源传递到高温散热器，热泵消耗功率。本发明能自发地将热量从热源传递到被伯努利效应局部冷却到低于热源温度的温度的通常较温暖的工作流体的一小部分。伯努利效应发生于被成型为维持层流的文丘里管成形管内。通过将热量传递限制到文丘里管的小部分内可改进热量 - 传递效率，在该文丘里管的小部分内流动物温度、速度、压力梯度和努谢尔特效应均增强热量传递。在该区域内，借助于延伸横过文丘里管颈部的导热格栅可使热量传递最大。



1. 一种能导引流体流动的固体热量-传递文丘里管结构, 其中,
所述管的横截面面积沿其轴线变化;
所述横截面面积的所述变化具有至少一个局部最小部分; 和
所述管的壁是绝热的, 除开
位于靠近所述最小横截面面积的所述管壁的至少一个薄的、导热的横
截面部分, 及
将所述管壁的所述导热部分连接到热源的热导体。
2. 如权利要求 1 所述的热量-传递文丘里管结构, 其中, 包括至少一个
从所述管壁的所述导热部分延伸到所述管结构内部的导热翅片。
3. 如权利要求 2 所述的热量-传递文丘里管结构, 其中, 所述翅片延伸
横过所述管。
4. 如权利要求 2 所述的热量-传递文丘里管结构, 其中, 多个所述导热
翅片在所述管的所述导热横截面部分内形成导热格栅。
5. 如权利要求 2 所述的热量-传递文丘里管结构, 其中, 所述翅片被成
型为使流过所述热量-传递管结构的流体上的空气动力阻力最小。
6. 如权利要求 2 所述的热量-传递文丘里管结构, 其中, 所述翅片与流
过所述热量-传递管结构的所述流体的流线对准, 以便降低所述流体流动物
上的阻力。
7. 如权利要求 2 所述的热量-传递文丘里管结构, 其中, 所述翅片的横
截面面积随距所述文丘里管壁的距离改变。
8. 如权利要求 1 所述的热量-传递文丘里管结构, 其中, 所述传热率通
过改变横过所述热量-传递管结构的压降控制。
9. 如权利要求 1 所述的热量-传递文丘里管结构, 其中, 还包括扩散器。
10. 如权利要求 9 所述的热量-传递文丘里管结构, 其中, 所述扩散器
足够缓慢地扩大以保持层流。
11. 如权利要求 1 所述的热量-传递文丘里管结构, 其中, 所述管将流
动物排入其局部周围环境中。
12. 一种伯努利热泵系统, 包括:
热源;

如权利要求 1 所述的热量-传递文丘里管结构;

处于所述热源和所述热量-传递文丘里管结构的所述导热部分之间的热连接部分;

在所述热量传递管结构中流动的工作流体;

用于维持所述工作流体流过所述管结构的风机机构;

将所述热量-传递文丘里管结构连接到所述风机机构的管结构。

13. 如权利要求 12 所述的伯努利热泵系统, 其中, 另外还包括:

散热器装置;

将热量从所述工作流体流动物传递到所述散热器装置的热交换机构;

将所述风机机构连接到所述热交换器机构的管结构;

将所述热交换机构连接到所述热量-传递文丘里管结构的进口的管结构。

14. 一种将热量传递到流动物的方法, 其包括以下步骤:

保持用来维持流过如权利要求 1 所述的热量-传递文丘里管结构的流体的压降;

保持热量流进所述热量-传递文丘里管结构热量-传递薄层的至少一个导热横截面部分。

15. 如权利要求 14 所述的方法, 其中, 通过所述压降的改变控制所述传热率。

用于传热的文丘里管

技术领域

本发明涉及将热量从热源移到取暖器散热装置 (warmer heat sink) 的热泵、设备。更明确地说, 本发明涉及伯努利 (Bernoulli) 热泵。

背景技术

热机是将热量从热源移到散热器 (sink) 的设备。根据热量的流动方向热机主要分为两类。热量自发地“向下”移动、即朝较低温度流动。举例来说, 如通过内燃机所说明的那样, 利用这种“向下”的热流产生机械功, 就象水流一样。使热量“向上”移动的设备、即使之朝更高温度移动的设备被称为热泵。热泵需要消耗功率。制冷机和空调器是热泵的一些实例。大多数热泵通过使工作流体 1 在包括热源和散热器的温度的范围内改变温度来工作。在这种情况下, 热量可从热源自发地流到温度低于热源的那部分工作流体内。类似地, 热量也可自发地从温度高于散热器的那部分工作流体流动到散热器内。工作流体的所需温度变化通常通过对工作流体进行压缩和膨胀来实现。

比较起来, 伯努利热泵通过将不规则的分子运动 (呈现于流体的温度和压力中) 转换成定向 (directed) 运动 (呈现于宏观的流体流动中) 来实现工作流体所需的温度改变。(不规则和定向运动的区别在分子速度的固定分布中特别清晰。不规则运动是这种分布的宽度, 而定向流动则是相同分布上的平均值。) 当流动的横截面面积减小时, 如当流体经过喷嘴或文丘里管 (Venturi) 时, 流体自发地将不规则运动转换成定向运动。与横截面面积相关的温度、密度和压力的改变是所谓的伯努利原理。尽管压缩消耗功率, 但伯努利转换不消耗功率。伯努利转换的能量转换特性是被伯努利热泵利用的主要性能。

可将伯努利热泵与图 1a 和 1b 所示的传统热泵进行比较。如图 1a 所示, 传统的热泵由四个基本部件构成: 压缩机 4、膨胀阀 7、低温热交换器 3 和高温热交换器 2。图 1b 示出了伯努利热泵将膨胀阀 7 和低温热交换器 8 所

起的作用结合到能进行传热的文丘里管 8 内的情况。伯努利热泵在工作流体通量较大时要求较小的压力变化，而传统的系统工作流体通量较小时要求较大的压力变化。因此，传统系统（图 1a）中的压缩机 4 部件在伯努利热泵（图 1b）中可用风扇或风机 9 代替。人们已对传统热泵、伯努利热泵、热交换器、压缩机、风机和文丘里管进行过广泛讨论。本发明描述的是用于将热量 3 高效地传递到流经文丘里管的流体内的新颖结构。本发明的重要性是提高了伯努利热泵的效率。下文将集中描述现有技术存在的问题和本发明的技术解决方案。

图 2 和 3 提供了对包括伯努利热泵的现有技术和本发明进行比较的基础。图 1 示出了温度、密度、压力、流速和经受所谓一维流的可压缩气体的横截面面积的相关变化。对于这种公知的和深入研究过的现象没有新的和可引起争议的内容。因为其提供了用于比较利用相互间的伯努利转换和本发明的伯努利转换的早期效果的简明基础，此处可再现流动的可压缩流体的这些性能的相关变化。在一维流中，四个共变量中的任一个的技术要求（specification）间接表示其余三个的值。（压力是温度和密度的产物）。图 2 示出了根据流速（其平方）间接表示的温度、密度、压力和横截面面积。流速用相应的无量纲的马赫数（Mach number）标出。温度随流速的平方线性减小是能量转换、即将不规则动能转换成有向动能（directed kinetic energy）的直接结果。所以产生伯努利效应的流速刻度是两种速度的比率的马赫数是不奇怪的。图 1 所示的量被标准化为它们在静止气体中的值。

图 2 示出了 US Patent 3,049,891 与其他发明和与本发明的直接关系。US Patent 3,049,891 要求流动是超音速的（马赫数值大于 1）。图 2 示出了对于超音速流动来说气体温度确实较低。但是图 2 同时也示出了由亚音速流动引起的温度降低更适合于很多实际目的。值得注意的是，就此而论，在图 2 所示的温标是绝对温度。也就是说，例如，在马赫数为 1 的流速时，气体温度降低 25%。例如，若静止气体的温度是 70°F，那么靠近文丘里管颈部的温度在马赫数为 1 时是零下约 60°F。图 2 所示的一些数值假定用单原子气体的比热容比（specific-heat ratio）表征的理想气体的等熵流动，即，5/3。因此，由伯努利热泵提出的挑战不是产生足够的低温，而是寻求在文丘里管、甚至亚音速文丘里管颈部附近低温的有效利用。

图 2 所示的第二种直接关系（direct implication）是为保持文丘里管颈

部内的高速流动所需的动力可能是重要的。靠近文丘里管颈部的压力几乎是文丘里管入口压力的一半。如果此压降不能借助于扩散器（文丘里管的扩大部分）恢复，则将降低伯努利热泵的潜在效率。除了需要扩散器外，有效性要求在扩散器内维持层流。这就要求直接转移到具有非常平缓地扩大的特征的扩散器内，即，转移到极不对称的文丘里管（具有极不同的收缩和扩张截面的文丘里管）中。与所谓的“临界流文丘里管”相关的大量文献资料指出，例如，圆锥形扩散器应具有小于10度的一半的角度（圆锥壁和对称轴线之间的角度）。虽然在美国专利 2,325,036 号；2,441,279 号和 3,200,607 号中披露了伯努利热，但它们没有陈述扩散器的效率和作用，也没讨论文丘里管非对称性的效率需求。若将这些文件的前两篇预想为飞机技术，由短扩散器所消耗的功率是可用功率的可忽略的小部分。

本发明的注意力集中于未被作为参考的所述四项发明中的任一项提到的图 2 所示的第三方面。流速、尤其是马赫数 1 附近的流速和流动物（flow）的横截面面积之间的关系。图 2 示出了随着流速增加面积的倒数（inverse area）经过最大值的情况。该最大值基于拉代尔（Laval）喷管。该最大值的另一含义是，考虑到作为沿文丘里管轴线的距离的函数时，文丘里管颈部附近（面积倒数最大值）的温度、密度和压力均呈现出范围狭小的斜坡。也就是说，图 2 示出了在马赫数为 1 的附近温度、密度和流速的改变均很显著而横截面面积的改变很小的情况。因此，考虑作为沿文丘里管的距离函数时，或等同地作为横截面面积函数时，在文丘里管颈部处温度、密度和压力均显示出陡的斜坡。图 3 示出了用于特定的和被详细研究的文丘里管形状 11 的温度变化。（沿文丘里管轴线的温度、密度、压力和流速的变化由图 2 借助于以横截面面积作为沿文丘里管的轴线的距离的函数为条件而给定（隐含）。通过使所谓的“环形临界流文丘里管”的横截面面积的面积变化可获得图 3。在这些装置中，文丘里管的缩小部分是环面，而扩张部分是圆锥形）。如果文丘里管壁在图 3 所示的斜坡的区域外侧导热，那么文丘里管壁提供了用于将热量从其他处的工作流体流动物中传到相同流体流动物的冷颈的传热路径。即，在没有净效益的情况下，传递到工作流体流动物的颈部部分的热量来自其他处的相同的工作流体流动物。虽然没有效益，但有成本。由于传递到工作流体流动物的热量是从热源流动物（期望的效果）传递的热量和从其他处的工作流体流动物中传递的热量之和，我

们看到理想的热量传递被斜坡外侧的热量传递直接减少。将工作流体流动物和文丘里管壁之间的热量传递限制到图 3 所示的倾斜区域是本发明的焦点。这种限制在之前的专利中没有提及。

这种效应的重要性可由四种附加效应：所谓努谢尔特效应（Nusselt effect）和与边界层相关的三种效应改变和增强。努谢尔特效应是通过由流体流动物提供的对流增强流体-固体界面处的热量传递。因为流速在界面消失，从固体到工作流体的热量传递依赖于热传导。但是，边界层之外的工作流体的流动通过传导将传递到边界层内的热量带走（对流）。通常对流比传导更有效。当流速接近马赫数 1 时，努谢尔特效应大。例如，如果热源是以较低流速流动的流体，那么将热量传到工作流体所流过的面积比将热量传出热源流动物所流过的面积小得多。

两种附加效应包括边界层沿文丘里管壁的厚度变化。文丘里管壁处传到工作流体的热量必须经过工作流体流动物的边界层。边界层是邻近固体-流体界面流动的流体的区域。因为流速在界面消失，工作流体流动物的速度在靠近界面处必须迅速增加。发生这种增加的狭窄区域被称为边界层。在薄边界层处温度梯度和因此引起的热传导显著增强。沿工作流体流动物的方向的压力梯度对边界层的厚度产生强烈影响。

两种边界层效应中的第一种涉及压力梯度的符号。众所周知的是，所谓“不利的”（即，正的）压力梯度加厚边界层。在文丘里管的扩张（扩散器）部分中的压力梯度是“不利的”。

在文丘里管的缩小部分中，轴向压力梯度具有有利的符号，从那维尔斯托克斯方程（Navier-Stokes equations）直接导出的一般理论表示出边界层的厚度与轴向压力梯度的平方根成反比。轴向压力梯度在温度倾斜的区域急剧增加。在温度倾斜区域内的边界层的附加变薄描述为用于限制将热量传到该区域的第四种因素。

本发明讨论的是影响伯努利热泵的效率的第五种和最后考虑的因素。图 3 中标出的“传热薄层（heat-transfer slice）”的文丘里管的部分看成为内部条件对热量传递有利的文丘里管轴线部分。这些条件是大部分工作流体流动物的所有性能。也就是说，除在横截面周边处的薄边界层外，温度、轴向压力梯度是工作流体流动物的整个横截面的性能。出现在温度倾斜区域外侧的粘滞损失代表没有效益的费用。本发明的焦点是利用图 3 中标出

的“热量传递”的文丘里管轴线的薄部分 10 的性能，而不引起与处于图 3 的倾斜区域外侧的文丘里管的这些部分相关的粘滞损失。

因此，存在五个与图 3 所示的倾斜区域有关的问题，这些问题在现有技术中均未提到。它们是：

1. 通过文丘里管壁的颈部的热量传递的努谢尔特 (Nusselt) 增强；
2. 从其他处的工作流体流动物向倾斜区域的不希望的热量传递；
3. 扩散器中轴向压力梯度的不利符号；
4. 文丘里管的缩小部分内倾斜区域的所述部分中有利的压力梯度的大小；
5. 由于位于图 3 所示的温度倾斜区域外侧的边界层的所述部分内的粘滞损失所引起的效率下降。

现有技术对这五个问题没有一个进行过讨论。

在结束对现有技术的讨论时我们注意到，不仅理想的是，伯努利转换是保存能量（不消耗功率），还理想的是，伯努利热泵不是长期运动的设备。其以两种方式消耗功率。首先，如热力学第二定律所要求的那样，在不同温度下将热量加入工作流体流动物 3 和从工作流体流动物取出热量 2 时必须由可逆功补偿的净熵增。第二定律效应是图 1a 和 1b 中以箭头表示的“热量输出”大于以箭头表示的“热量输入”的原因。用于补偿熵产生所需的功率正比于热量被输入和输出时的温度差。其次，更重要的是，横过边界层的流速变化包含必须由可逆功补偿的粘滞耗散。如果第一效应发挥主要作用 (principal challenge)，则可达到卡诺效率。更大的挑战是来自边界层内的粘滞耗散的堵塞物 (stemming)。

发明内容

本发明涉及一种利用与图 3 所示一样的“热量-传递”部分的结构以及利用了这种结构的系统。此结构是一种具体设计成用于使热量有效传递到流经文丘里管的流体内的文丘里管。本发明由两类利用“热量传递”的部分组成。第一类将热量传递限制于热量传递部分。第二类通过在所述热量传递部分内使用特定的翅片使热量传递部分内的传热最大。

根据本发明的另一方面，在发热电子组件的情况下，传给工作流体的热量来源可以是流动的流体、气体或液体，或者其可以是非流体。对于流

体和非流体两种热源来说，关键的要求是将热源连接到作为“热量-传递”部分、图3中表示为文丘里管轴线的狭窄部分的热导体。

根据本发明的又一方面，针对保持层流的目的，可通过使扩散器的扩张非常平缓来降低能耗。

根据本发明的再一方面，将多个文丘里管分级设置，以便或者获得较大的容量或者较大的温差。

根据本发明的另一方面，文丘里管壁的皱折在单个文丘里管内形成多个“热量-传递薄层”。

根据本发明的又一方面，通过改变流过文丘里管的流速可连续改变向工作流体传递热量的传热率。

根据本发明的再一方面，可开启或封闭基于热量-传递文丘里管的系统。即，系统可排放加入热量的工作流体，或使用于传热或其他性能最优化的工作流体循环。

根据本发明的另一方面，可用基于热量-传递文丘里管的系统“向下”泵送热量。即，通过传导可在静止状态冷却高于工作流体温度的热源。促成工作流体流动利用了努谢尔特效应和对流。使工作流体流经文丘里管可进一步增强冷却。促进工作流体流过“热量-传递”文丘里管可进一步增强冷却。

如其他热泵技术一样，伯努利热泵可用于加热或冷却目的。

附图说明

图1a示出了传统热泵的组件；

图1b示出了伯努利热泵的组件；

图2的曲线示出了可压缩气体的层流的横截面面积、流速、温度、密度、和压力的相关变化；

图3示出了文丘里管内显示文丘里管的“热量-传递”部分的温度轴向变化的情况，用虚线表示的曲线相应于文丘里管形状；

图4为本发明一实施例的热量-传递文丘里管的横截面图；

图5a为本发明一实施例的矩形文丘里管的横截面图，它取自包含横过文丘里管的热量-传递部分的导热翅片的格栅的“热量-传递”部分；

图5b为本发明一实施例的非矩形文丘里管的横截面图，它取自包含横

过文丘里管的热量-传递部分的导热翅片的格栅的“热量-传递”部分;

图 6a 为本发明一实施例的为获得增加的容量的分级并联设置的多级热量-传递文丘里管的横截面图;

图 6b 为本发明一实施例的用来获得增加的容量的分级串联设置的多级热量-传递文丘里管的示意图;

图 7 为本发明一实施例的含有皱折壁和多个“热量-传递”部分的文丘里管的横截面图。

附图标记说明

- 1 工作流体, 借助于热量-传递文丘里管将热量加入其内的流体
- 2 在(较高的)散热器温度下从工作流体中取出热量
- 3 在(较低的)热源温度下向工作流体加入热量
- 4 压缩机, 其提高工作流体的温度和压力
- 5 高温热交换器, 其将热量从工作流体传递到散热器
- 6 低温热交换器, 其将热量从热源传递到工作流体
- 7 膨胀阀, 其降低工作流体的压力
- 8 文丘里管, 其为横截面面积变化的管
- 9 风扇/风机, 其保持工作流体流动
- 10 文丘里管的横截面部分, 在该部分压力小、温度和密度低、而速度高和压力梯度大
- 11 通用“临界流文丘里管”的横截面面积
- 12 工作流体缓慢流动、相对温暖的部分
- 13 工作流体快速流动、相对冷的部分
- 14 工作流体流动动减速部分, 该部分压力梯度是“不利的”
- 15 工作流体流动动部分, 该部分离开文丘里管时携带有加入文丘里管的“热量传递”部分的热量
- 16 文丘里管壁
- 17 流入或流出轮廓平面的热-源流体
- 18 热导体, 其将来自热源流动物(flow)的热量带到工作流体流动物
- 19 导热翅片, 其将热量从文丘里管传递到工作流体流动物

具体实施方式

本发明提供了一种用于伯努利热泵中的改进的热量-传递结构。图 4-7 中示出了这种热量-传递结构的一些实施例。这些实施例均使用了与图 3 所示一样的文丘里管的“热量-传递”部分。以两种基本方式利用所述热量-传递部分。第一种，将向流经文丘里管的工作流体的热量传递限制于“热量-传递”部分。第二种，通过引入导热翅片使“热量-传递”部分内的传热最大，所述导热翅片用于增加可用来在文丘里管的“热量-传递”部分内进行传热的表面面积。

图 4 示出了所述热量-传递结构的第一实施例，其形状为非对称的文丘里管 16（文丘里管在缩小和扩张部分具有不同的形状）。工作流体经历伯努利转换。箭头长度表示流速，较长的箭头表示较高的速度。工作流体 12 流入文丘里管时，气体缓慢运动，相对温暖且相对密集。当横截面面积减小时，流速必须提高以保持恒定的质量流量。如图 2 所示，提高流速所需的能量可来自以温度形式表征的不规则动能。（温度降低正比于流速平方的变化，即，伯努利效应。）因此，当气体经过文丘里管时，流速提高直到其在最小的横截面面积处达到最大 13 为止。（流速的轴向变化是图 3 所示的温度变化的镜像。）当文丘里管的扩散器部分的横截面面积开始增大时，气体行进到文丘里管出口 15 时流速 14 降低，而该处气体被加温到通过导热材料 18 从热源流动物 17 传出热量的程度。本发明的关键方面是热导体 18 在工作流体中的暴露部分被限制在与图 3 所示一样的“热量-传递”部分 10 内。文丘里管壁 16 在“热量传递”部分 10 的外侧的其他处是绝热的。明确地说，这种结构可消除从工作流体的其他区域传到工作流体的“热量-传递”部分 10 的不期望的热量传递。

作为说明，可将图 4 所示的热源选择为流动的流体。热源的种类和其与热导体 17 的热耦合完全是随意的。而将向工作流体的热量传递限制于“热量传递”部分 10 是本发明特有的。

本发明的第二个基本组成部分是附加结构，这些结构以文丘里管的“热量-传递”部分的放大的横截面图的形式示于图 5 中。值得注意的是，与图 4 相比，图 5 所示的文丘里管的“热量-传递”部分位于轮廓平面中。在此，借助于从文丘里管壁 20 伸进工作流体流动物中的导热翅片 19 增加传递到工作流体内的热量。利用翅片来增进热交换是常用的。此外，此处不寻常

的是，翅片沿流动方向、即平行于文丘里管轴线方向有限地延伸。这里，翅片局限于“热量-传递”部分 10。所用的翅片的图形完全是随意的。图 5a 和 5b 示出的翅片延伸横过文丘里管并交叉而形成“热量-传递”部分 10 内的格栅 19。这种格栅结构的有效的直观显形可参照网球拍、苹果取核器和（平面）滤茶网设置。图 5a 和 5b 还起到强调文丘里管的横截面可为任意形状的作用。一些文丘里管具有对称的圆柱形，当然这不是必需的。

本发明的另一方面是导热翅片的横截面形状。它们的横截面形状呈机翼形且被设计成使翅片作用于工作流体流动物上的空气动力阻力最小。由翅片的空气动力横截面形状引起的正常的较大的阻力分量、即所谓“压力”分量小到可忽略不计。与很多常用的机翼形状不同，我们的导热翅片不需要设置升角（lift）且不需要改变其冲角（angle of attack）。因此，它们可以很薄且能沿工作流体流动物的流线取向，以便进一步降低阻力。就此而论，常常用固定的机翼形阵列来抑制管道流动物中的湍流。

关于格栅元件的另一设计自由度是其横截面随距文丘里管壁的距离的变化。这种自由度意味着在热导率和结构强度之间需折中。结构强度要求随着离文丘里管壁的距离的增加而增大面积。而热传导要求却相反。可根据选用于格栅元件的材料采取适当的平衡。

如没有采用“热量-传递”部分的伯努利热泵那样，可将本发明的多个热量-传递文丘里管构成为并联形式以获得更大的容量，或构成为串联形式以获得更高或更低的温度。这些结构示于图 6a 和 6b 中。

正如能优化翅片-格栅的横截面以使热量-传递部分范围内的湍流和阻力最小一样，可独立地优化整个文丘里管的形状、特别是扩散器的形状以降低阻力进而降低用来维持工作流体流动的风机/风扇机构 9 所需的功率。在本说明书中一般的要求是，为了维持层流，文丘里管的扩散器部分的横截面面积的扩大必须非常平缓。层流的作用是使空气动力阻力的最大分量、即所谓压力阻力最小，而仅留下与粘滞损失相关的较小的分量。据报道，为了获得马赫数为 1 的流动需要补偿压降的 95%。

另一种设计选择涉及本发明的工作流速。和传统的基于工作流体的相变的热泵相比，可方便而连续地改变伯努利热泵的工作条件。具体而言，可通过改变提供给维持散热装置流动物的风机的功率来改变流速，从而改变散热装置流动物的温度。这种自由度的一个重要意义是传统系统在启动

时的效率极低。而利用包括本发明的伯努利热泵，泵送热量的速率可连续改变，能瞬时启动且能有效消除它们的无效状态。例如，可对维持工作流体流动的风机进行恒温控制。连续改变和控制的第二个优点是可在较小的温差下提高热力学允许的效率。（卡诺效率与被泵送的热量的温度差成反比。因此，本发明具有与较小温差下长时间运行相关的效益增益。）

最后，图 7 示出了将文丘里管壁的皱折设计成能在单一的文丘里管内形成多个“热量-传递”部分的情况。也就是说，如图 7 所示，除有多个“热量-传递”部分外，文丘里管壁在“热量-传递”部分外侧再次绝热。

定义

文丘里管：流体流动管或通道结构，其横截面面积沿其轴线变化。沿管轴线的横截面面积的改变具有至少一个局部最小部分。虽然大多数文丘里管含有其横截面沿轴线增加的扩散器部分，包括在我们所定义的文丘里管喷嘴中的扩散器部分要么很短要么不存在。因此本发明的实用性可扩展到功率消耗不是关键的那些应用中。

工作流体：一种流体，其温度局部发生变化，因此当热源的温度低于散热器的温度时可使热量自发地流入和流出工作流体。

工作流体流动物：流过文丘里管结构的工作流体。

横截面：由文丘里管表面和垂直于文丘里管轴线的平面相交形成的封闭弯曲的内侧面积。

热量-传递部分：靠近文丘里管的颈部位位于两个垂直于文丘里管轴线的平面之间的文丘里管部分，且具有低温、高流速和大的负轴向压力梯度的特征，参看图 3。

翅片：由高导热性材料构成的结构，其从导热表面延伸到邻近该表面的流体流动物内，其目的是使流动阻力最小的同时增加所述表面和流体流动物之间的可用于传热的表面面积。

扩散器：文丘里管的部分，其特征是具有沿轴线和流动方向的单一地增加的横截面面积。

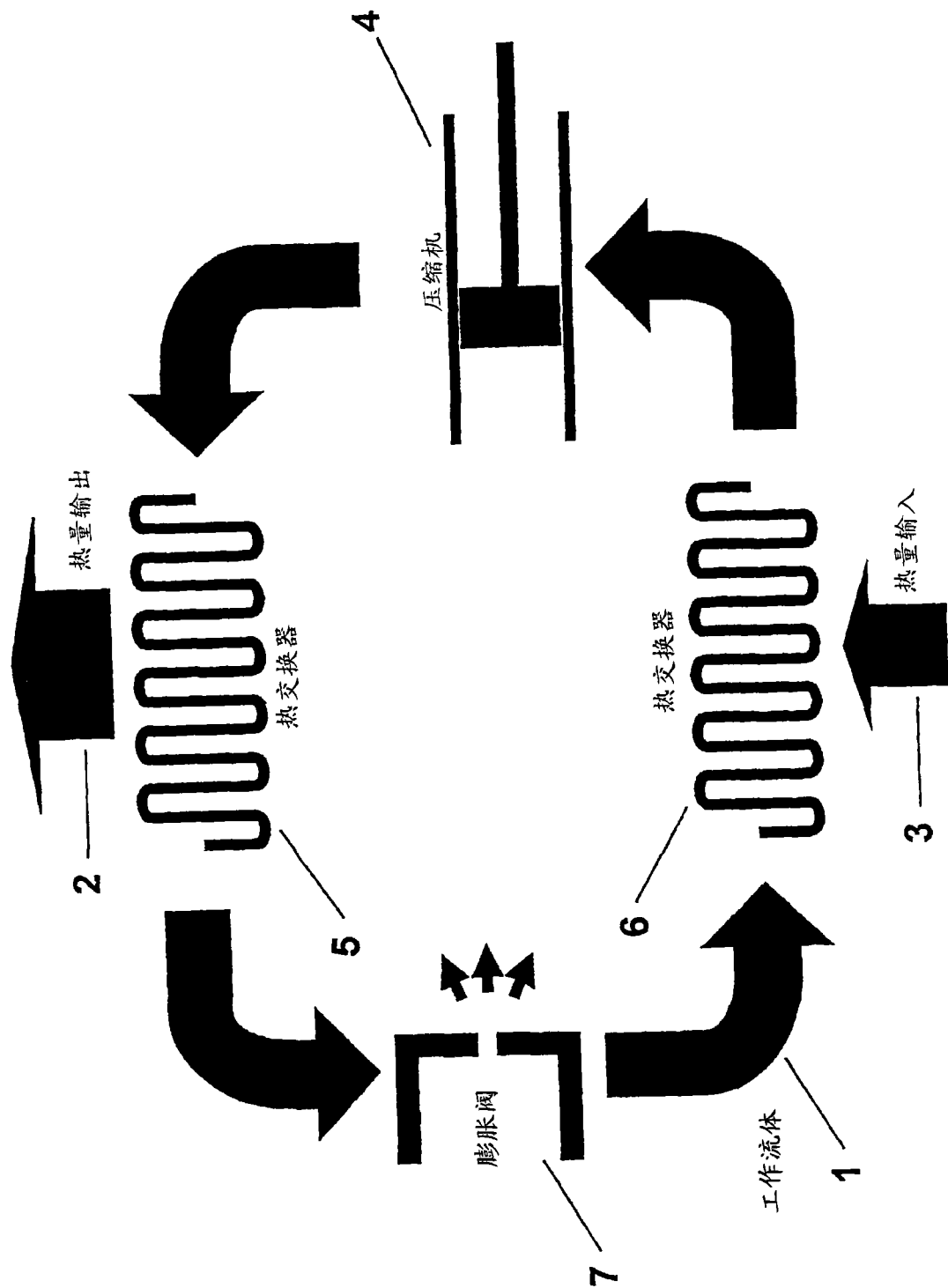


图 1a

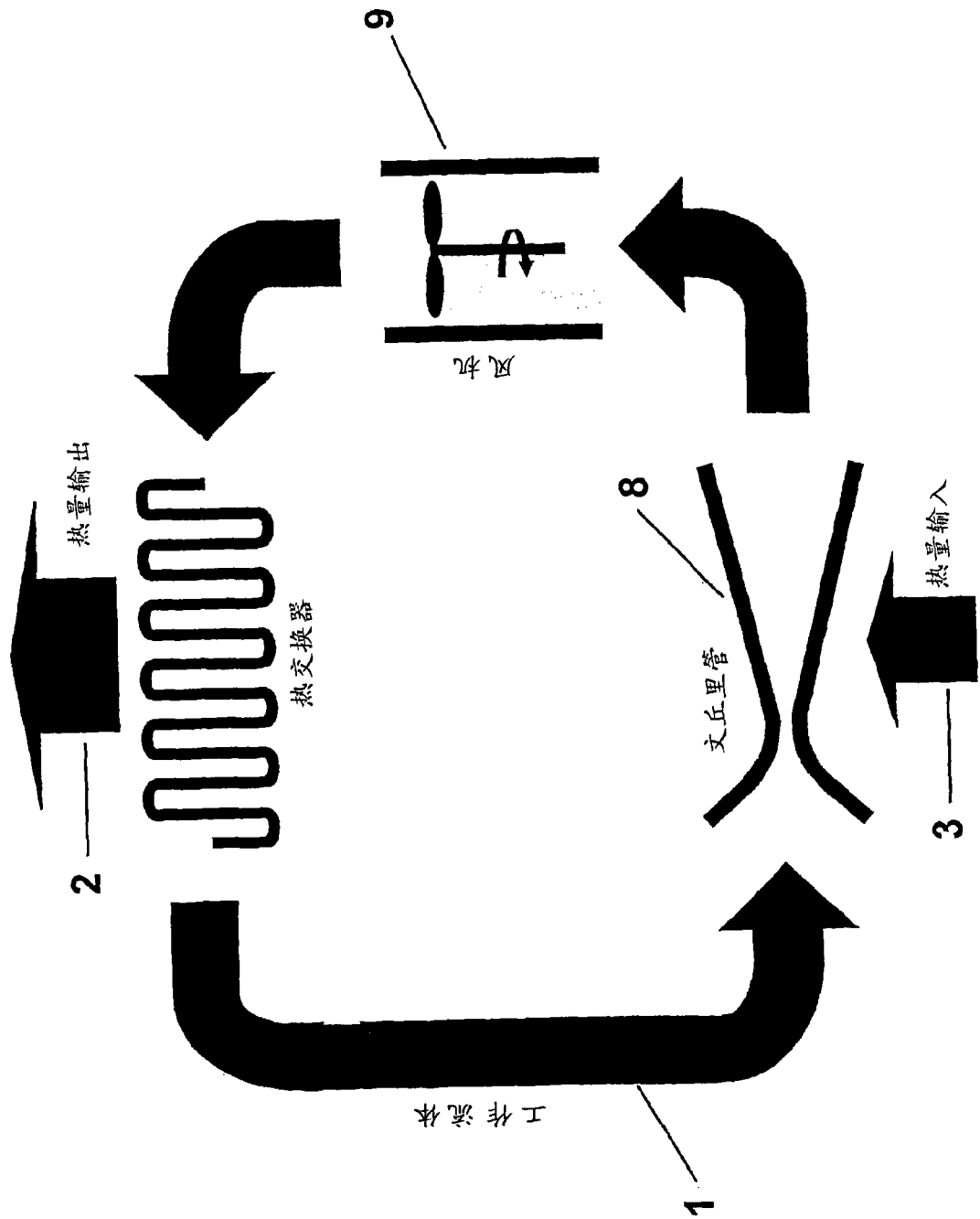


图 1b

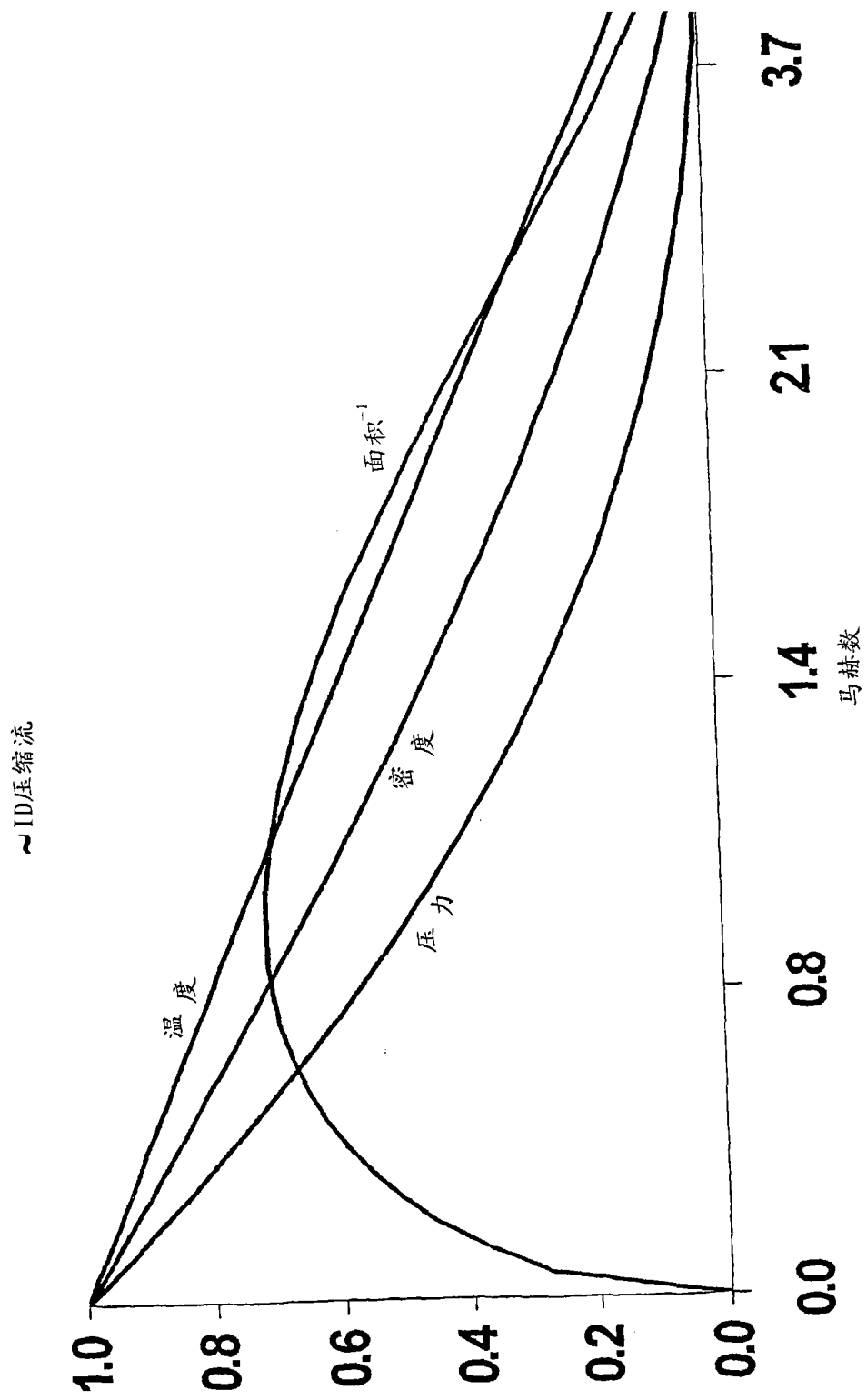


图 2

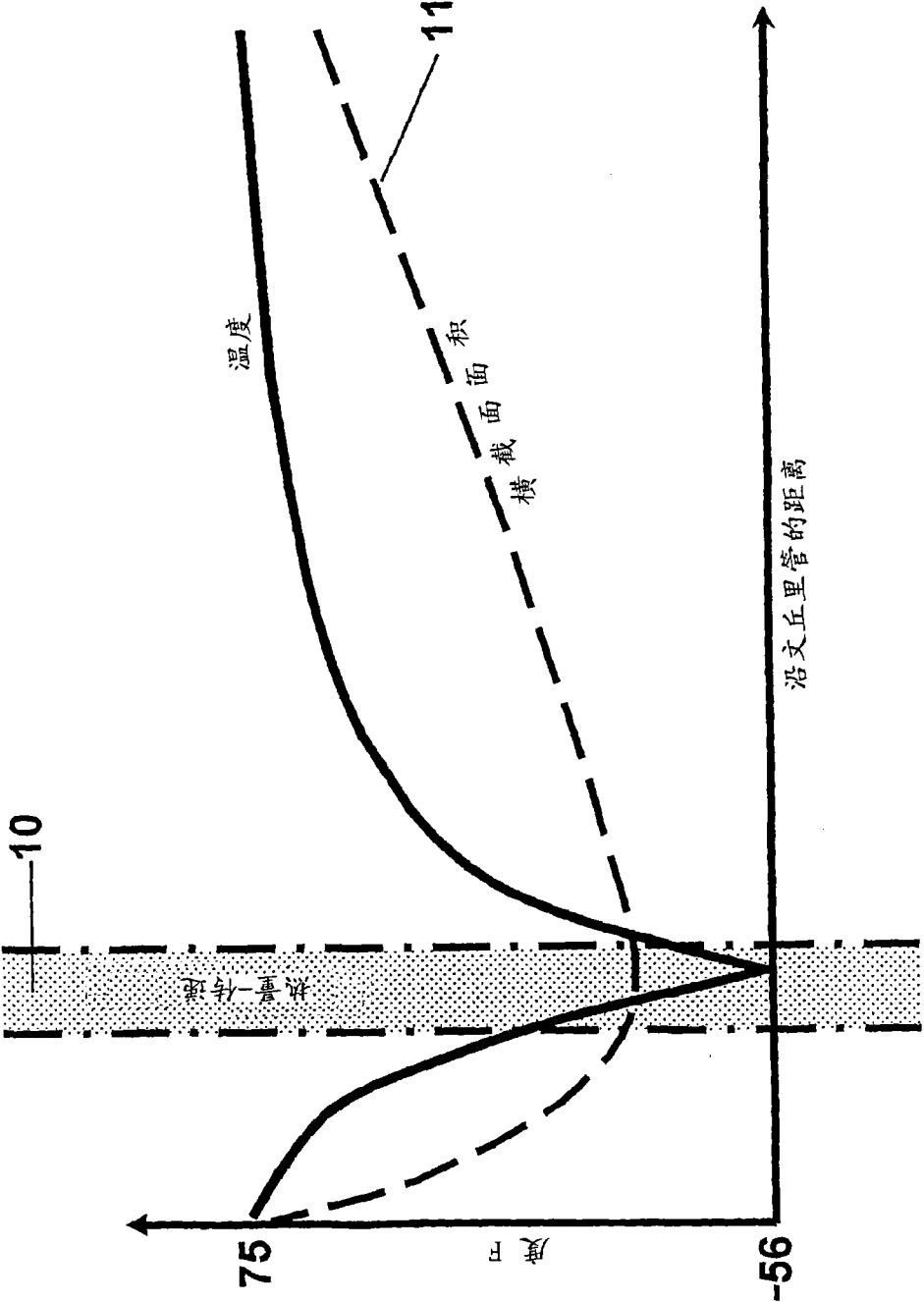


图 3

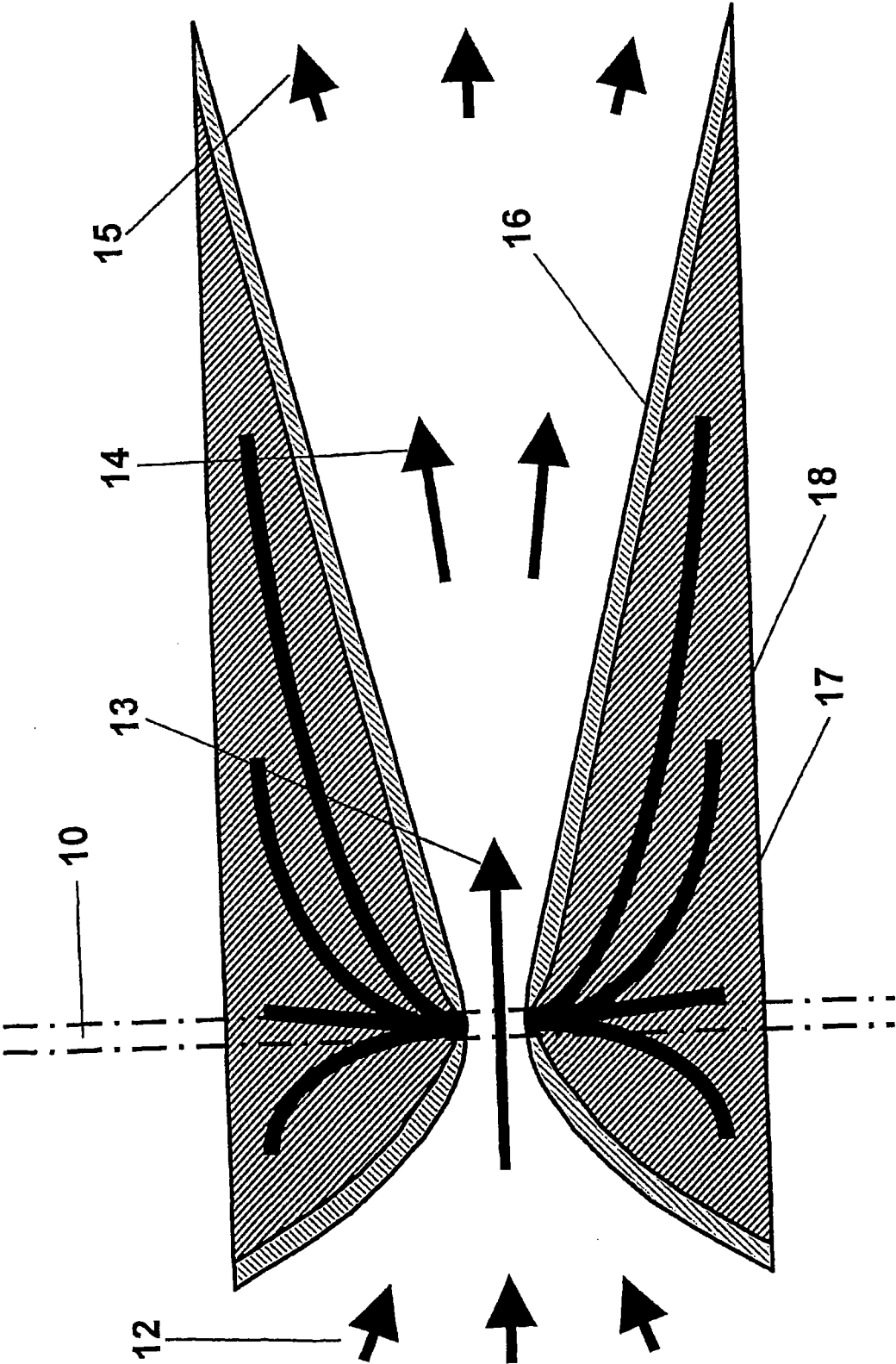


图 4

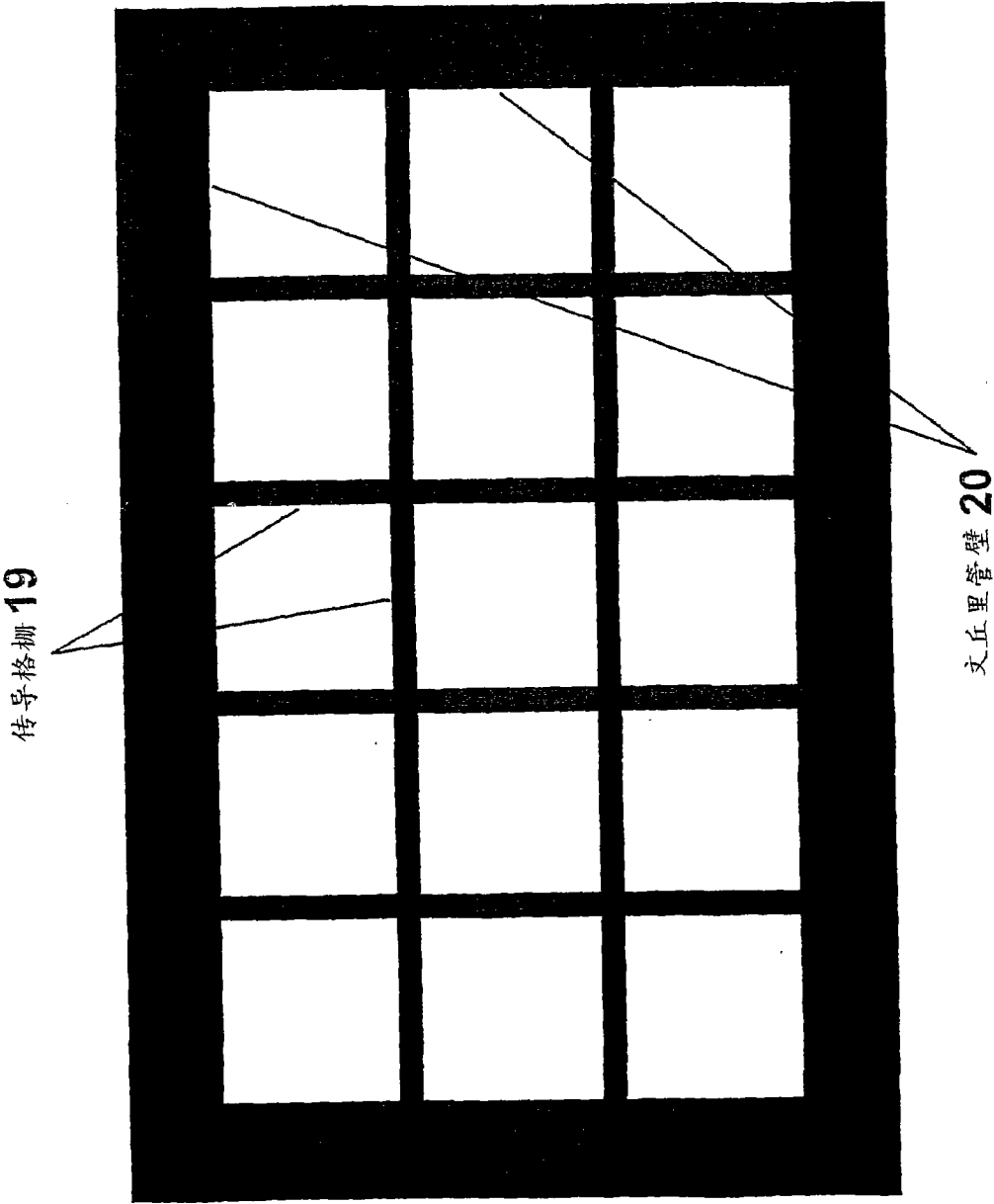


图 5a

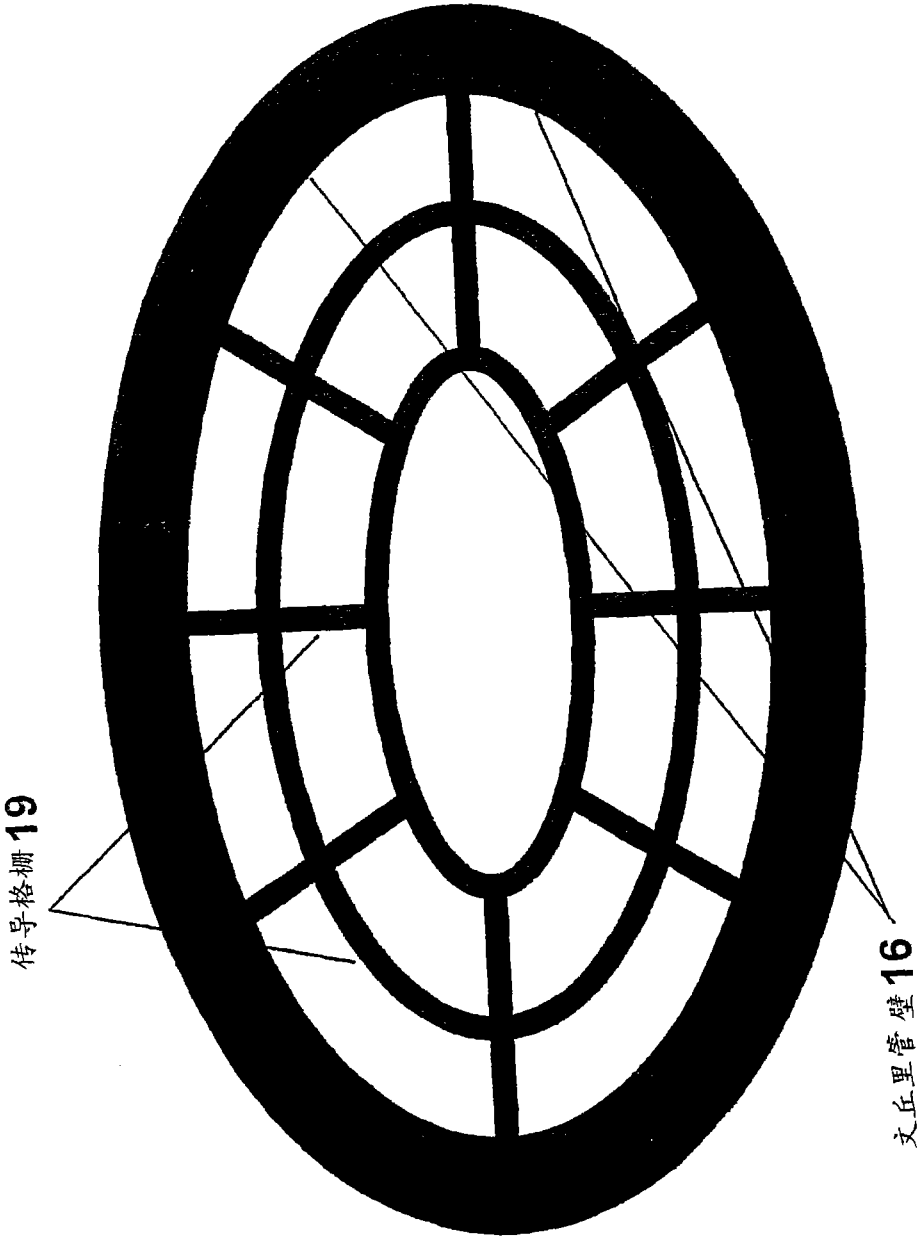


图 5b

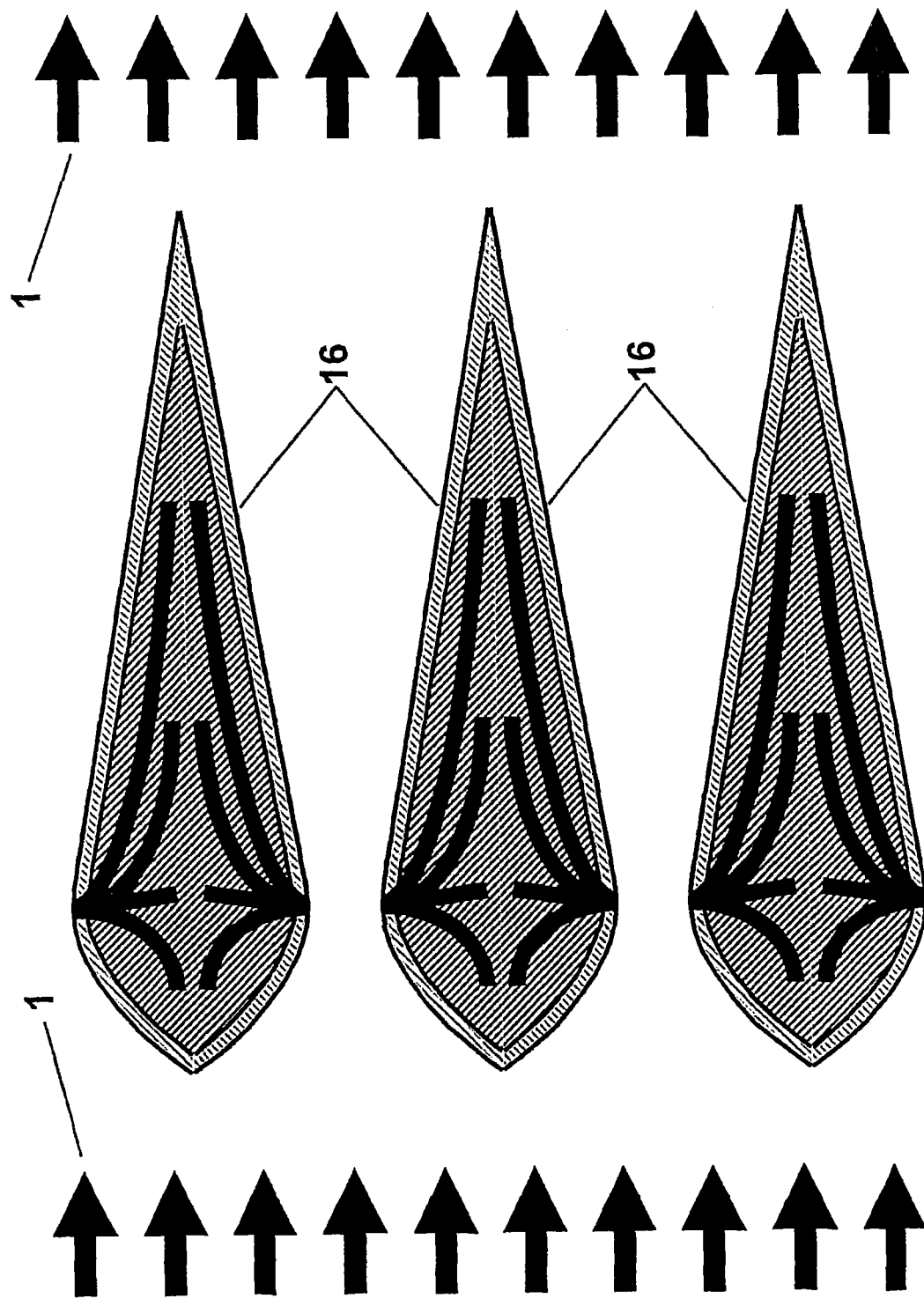


图 6a

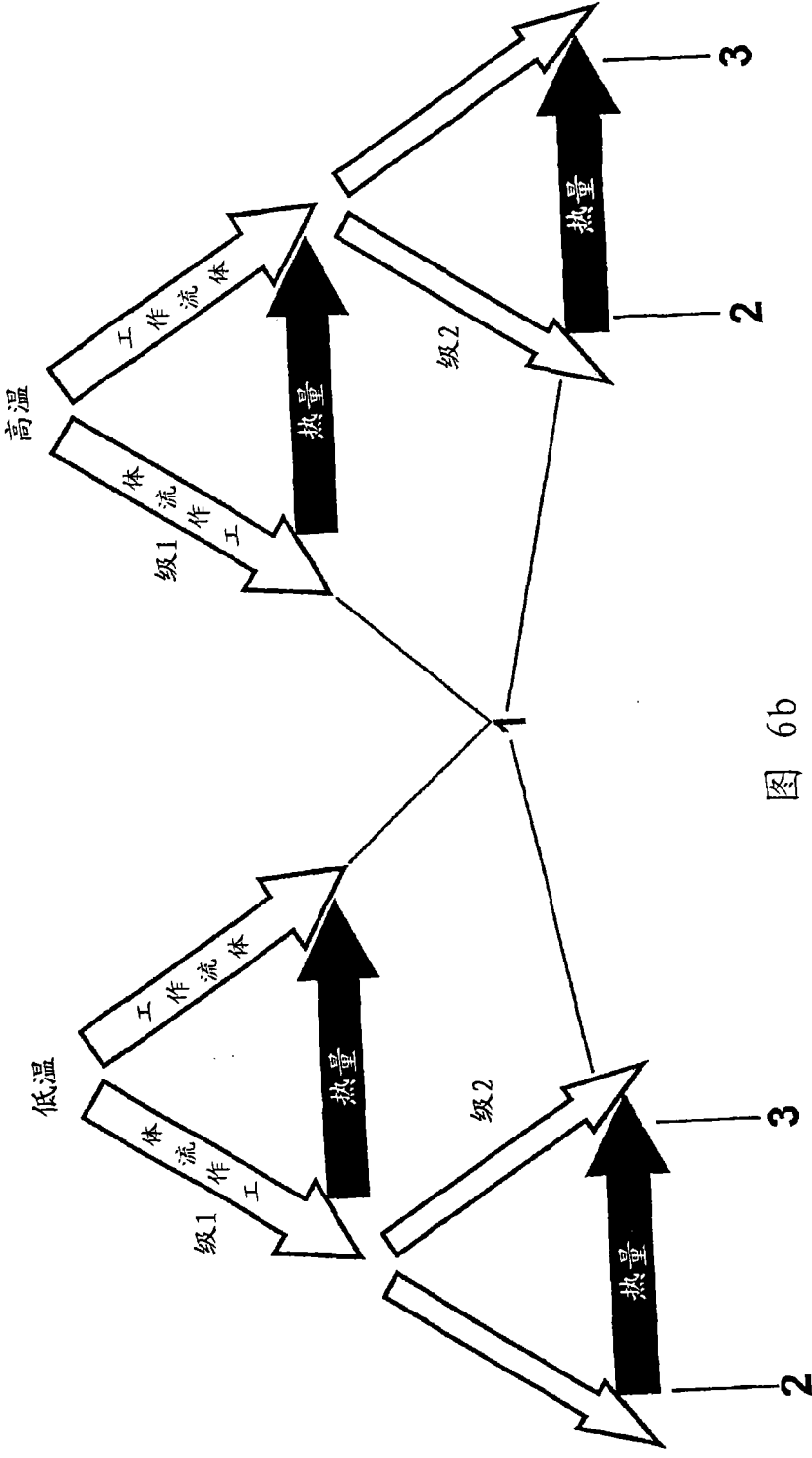


图 6b

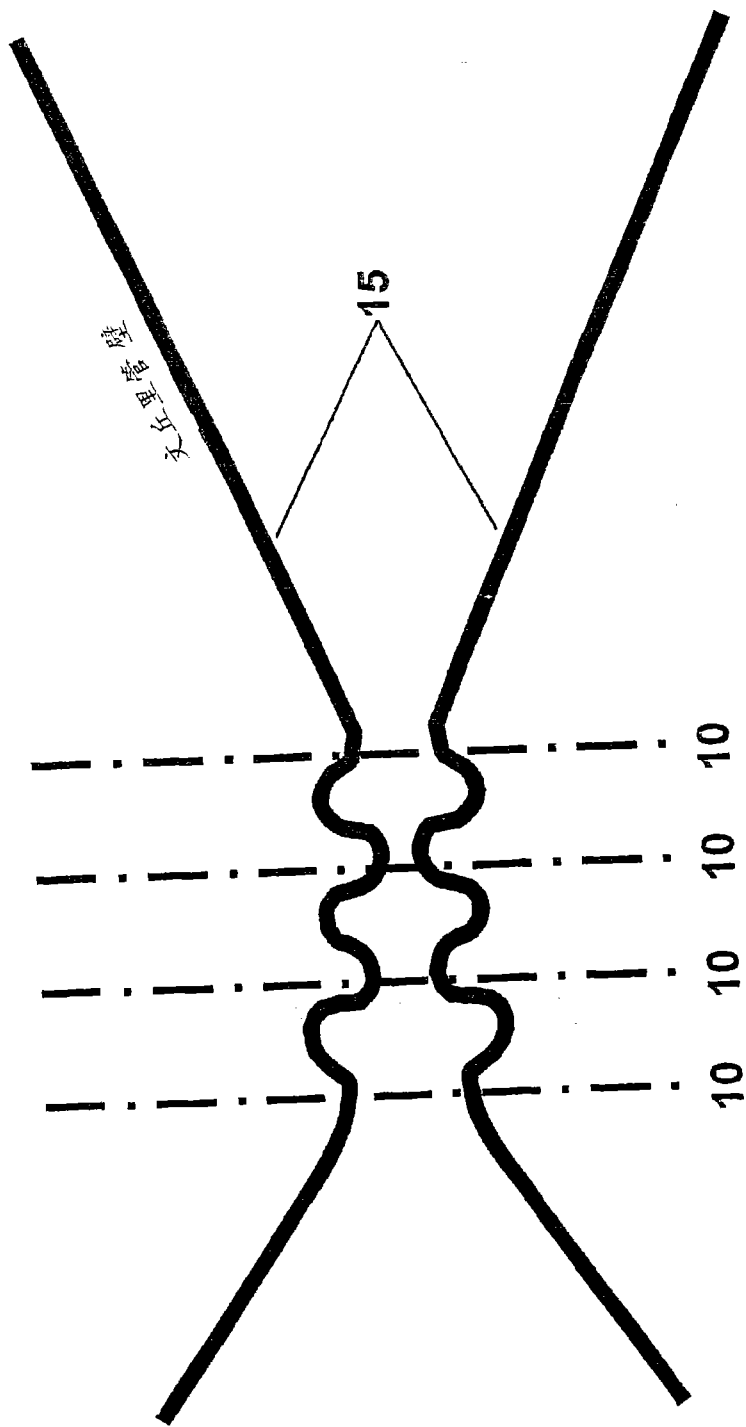


图 7