(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 103154526 A
(43)申请公布日 2013.06.12

(21)申请号 201080069592.2

(22)申请日 2010.08.12

(85)PCT申请进入国家阶段日
2013.04.12

(86)PCT申请的申请数据
PCT/EP2010/061788 2010.08.12

(87)PCT申请的公布数据
WO2012/019650 EN 2012.02.16

(71)申请人 诺沃皮尼奥内有限公司
地址 意大利佛罗伦萨

(72)发明人 S. 拉哈克里什南 L. 塔皮纳西
C.S.I. 斯文斯多特

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 李强 傅永霄

(51)Int.Cl.
F04D 29/44(2006.01)

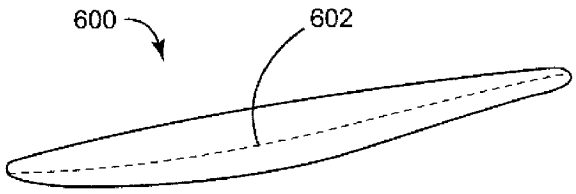
权利要求书2页 说明书6页 附图15页

(54)发明名称

用于离心压缩机的径向扩散器导叶

(57)摘要

根据示例性实施例的装置、系统和方法提供扩散器，例如作为涡轮机300的一部分，其中，扩散器导叶具有S形中弧线408。这样的S形中弧线408由具有拐点的函数限定。除了别的之外，使用具有这样的形状的扩散器导叶400会产生这样的运行特性，即，其中，当在设计条件下运行时，扩散器导叶400的设置在前缘402附近的部分基本无载荷，以及其中，载荷朝扩散器导叶的中间部分逐渐增加到最大载荷值。



CN 103154526 A

1. 一种涡轮机，包括：

包括至少一个叶轮的转子组件；

轴承，其连接到所述转子组件上，并且可旋转地支承所述转子组件；以及

定子，其包括连接到所述叶轮的出口部分上的至少一个扩散器，

其中，所述至少一个扩散器包括：

多个扩散器导叶，所述多个扩散器导叶中的至少一个具有由具有拐点的函数限定的中弧线。

2. 根据权利要求 1 所述的涡轮机，其特征在于，所述函数为 $y= ax^3 + bx^2 + cx +d$，其中，a、b 和 c 为常数。

3. 根据前述权利要求中的任一项所述的涡轮机，其特征在于，所述函数是高次多项式函数、S 型函数、龚帕兹函数和贝塞尔曲线中的一个。

4. 根据前述权利要求中的任一项所述的涡轮机，其特征在于，所述函数为指数函数。

5. 根据前述权利要求中的任一项所述的涡轮机，其特征在于，当在设计条件下运行时，所述多个扩散器导叶中的所述至少一个的设置在前缘附近的部分基本无载荷，以及其中，载荷朝所述多个扩散器导叶中的所述至少一个的中间部分逐渐增加到最大载荷。

6. 根据前述权利要求中的任一项所述的涡轮机，其特征在于，所述多个扩散器导叶中的各个附连到毂或护罩中的一个上。

7. 根据前述权利要求中的任一项所述的涡轮机，其特征在于，所述函数为贝塞尔曲线。

8. 一种制造涡轮机的方法，包括：

提供包括至少一个叶轮的转子组件；

将所述转子组件连接到轴承组件上，以可旋转地支承所述转子组件；以及

提供定子组件，所述定子组件包括连接到所述叶轮的出口部分上的至少一个扩散器，

其中，所述至少一个扩散器包括：

多个扩散器导叶，所述多个扩散器导叶中的至少一个具有由具有拐点的函数限定的中弧线。

9. 根据权利要求 8 所述的方法，其特征在于，所述函数为 $y= ax^3 + bx^2 + cx +d$，其中，a、b 和 c 为常数。

10. 根据权利要求 8 或权利要求 9 所述的方法，其特征在于，所述函数是高次多项式函数、S 型函数、龚帕兹函数和贝塞尔曲线中的一个。

11. 根据权利要求 8 至 10 中的任一项所述的方法，其特征在于，所述函数是指数函数。

12. 根据权利要求 8 至 11 中的任一项所述的方法，其特征在于，当在设计条件下运行时，所述多个扩散器导叶中的所述至少一个的设置在前缘附近的部分基本无载荷，以及其中，载荷朝所述多个扩散器导叶中的所述至少一个的中间部分逐渐增加到最大载荷。

13. 根据权利要求 8 至 12 中的任一项所述的方法，其特征在于，进一步包括：

将所述多个扩散器导叶中的各个附连到毂或护罩中的一个上。

14. 根据权利要求 8 至 13 中的任一项所述的方法，其特征在于，所述函数是贝塞尔曲线。

15. 一种扩散器，包括：

内部环形壁；

外部环形壁；

设置在所述内部环形壁和所述外部环形壁之间的板部分；以及

设置在所述板部分上的多个扩散器导叶，所述多个扩散器导叶中的至少一个具有由具有拐点的函数限定的中弧线。

16. 根据权利要求 15 所述的扩散器，其特征在于，所述函数为 $y= ax^3 + bx^2 + cx +d$，其中，a、b 和 c 为常数。

17. 根据权利要求 15 或权利要求 16 所述的扩散器，其特征在于，所述函数是高次多项式函数、S 型函数、龚帕兹函数和贝塞尔曲线中的一个。

18. 根据权利要求 15 至 17 中的任一项所述的扩散器，其特征在于，所述函数是指数函数。

19. 根据权利要求 15 至 18 中的任一项所述的扩散器，其特征在于，当在设计条件下运行时，所述多个扩散器导叶中的所述至少一个的设置在前缘附近的部分基本无载荷，以及其中，载荷朝所述多个扩散器导叶中的所述至少一个的中间部分逐渐增加到最大载荷。

20. 根据权利要求 15 至 19 中的任一项所述的扩散器，其特征在于，所述函数是贝塞尔曲线。

用于离心压缩机的径向扩散器导叶

技术领域

[0001] 本发明大体涉及压缩机，并且更具体而言，涉及用于离心压缩机的扩散器导叶。

背景技术

[0002] 压缩机是通过使用机械能来使气体微粒加速，以最终提高可压缩流体（例如气体）的压力的机器。压缩机用于许多不同的应用中，包括用作燃气涡轮发动机的初始级。在各种类型的压缩机之中有所谓的离心压缩机，其中，机械能以离心加速的方式，例如，通过旋转可压缩流体所经过的离心叶轮（有时也称为“转子”），来对通往压缩机的气体输入起作用。更一般地，可以说离心压缩机是被称为“涡轮机”或“涡轮旋转机”的某类机器的一部分。

[0003] 离心压缩机可装配有单个叶轮，即，单级构造，或者装配有多个连续的叶轮，在这种情况下，离心压缩机常常被称为多级压缩机。离心压缩机级中的各个典型地包括用于待压缩的气体的入口管道（进口区段）、能够对输入气体施加动能的叶轮，以及将离开转子/叶轮的气体的动能转换成压力能的扩散器。

[0004] 更特别地，如沿着在过程气体流的方向上的压缩机轴线得到的图 1(a) 的示例性侧视截面图中显示的那样，离心压缩机级 100 包括附连到转子 104 上的叶轮 102，后面是扩散器 106 和回行通道或出口涡管 108。扩散器 106 收集来自叶轮 102 的出口的高速流体，并且允许流体慢下来，从而将动态压力转换成静态压力。为了提供这个结构的另一个透视图，图 1(b) 显示沿着另一个轴线（即，垂直于过程气体流的方向）得到的压缩机级 100 的横截面图。在其中，在图的中间看到转子 104 被具有许多叶轮叶片 114 的叶轮 102 包围。叶轮叶片 114 可在一端上连接到叶轮 112 的毂部分 116 上，以及在另一端上连接到叶轮 102 的护罩部分 118 上。

[0005] 本申请更关注的是扩散器区段 106。采用导叶式扩散器 106（即，沿着流道具有呈周向阵列的翼型件（扩散器叶片 110）的那些扩散器，如图 1(b) 中最佳地看到的那样），以通过将叶轮出口处的高度切向流体流引导成更沿径向而朝向扩散器出口，来实现较高的级效率。相比之下，一些离心压缩机具有无导叶式扩散器区段 120，如图 1(c) 中显示的那样。通过使用导叶来使流体流在扩散器 106 内部更沿径向会减小流体行进通过扩散器 106 所进行的距离。图 1(d) 中示出的离心泵中的流箭头示出了这个概念。

[0006] 减小流体经过的距离会降低与过程流体的行进相关联的摩擦损失，并且从而与使用无导叶式扩散器的压缩机相比，提高使用导叶式扩散器的压缩机的效率。在另一方面，与无导叶式扩散器相比，还知道采用导叶式扩散器 106 的离心压缩机级的运行范围缩小。

[0007] 至少部分地基于所采用的扩散器叶片 110 的形状来确定包括导叶式扩散器 106 的离心压缩机 100 的运行范围。扩散器叶片的形状（或者更一般地，任何翼型件）可由其中弧 (camber) 线（即，在扩散器叶片的上表面和扩散器叶片的下表面之间的中间所画的线）和沿着中弧线的厚度分布表示。在图 2(a) 和 2(b) 中显示以前使用的两个扩散器叶片形状。从图 2(a) 开始，示出扩散器叶片 200，其具有直中弧线 202，即，斜率不变的中弧线，中弧线

202 被画成上部扩散器叶片表面 204 和下部扩散器叶片表面 206 之间的虚线。

[0008] 在离心压缩机中采用具有直中弧线的扩散器叶片 200 是成问题的，因为，例如，具有那个形状的扩散器导叶的前缘被较高地加载，而且压缩机具有较低的失速极限。

[0009] 图 2(b) 显示具有不同形状的备选扩散器叶片 208，该形状被称为共形映射式叶片中弧。例如，通过使用翼型件的中弧线在长方形平面 (x, y) 中的坐标和在圆形平面中的极坐标 (r, θ)，可在扩散器叶片 208 的上表面 212 和下表面 214 之间限定共形映射式叶片中弧线（其由虚线 210 显示）如下：

$$r = r_0 \times e^{[(mx-y)/(m^2+1)]}$$

$$\theta = \frac{my + x}{m^2 + 1}$$

$$m = Cot\alpha_3$$

其中，

r_0 是扩散器导叶前缘径向位置的半径，以及

α_3 是扩散器导叶前缘处的绝对速度的角度。

[0010] 当将这个扩散器叶片形状用作离心压缩机中的扩散器的一部分时，它也会引起某些缺点。例如，在离心压缩机中采用具有共形映射式中弧线的扩散器叶片 208 是成问题的，因为具有那个形状的扩散器导叶的后缘被较高地加载，而且压缩机具有较低的扼流 (choke) 极限。

[0011] 因此，设计和提供一种具有改进离心压缩机的性能且解决现有扩散器叶片形状的前述缺点的形状的扩散器叶片将是合乎需要的。

发明内容

[0012] 根据本发明的示例性实施例的各种装置、系统和方法提供扩散器，例如作为涡轮机的一部分，其中，扩散器导叶具有 S 形中弧线。这样的 S 形中弧线由沿着它们的长度具有拐点的函数或这样的曲线的一部分限定。除了别的之外，使用具有这样的形状的扩散器导叶会产生这样的运行特性，即，其中，当在设计条件下运行时，扩散器导叶的设置在前缘附近的部分基本无载荷，以及其中，载荷朝扩散器导叶的中间部分逐渐增加到最大载荷值。

[0013] 根据示例性实施例，一种涡轮机包括：具有至少一个叶轮的转子组件；轴承，其连接到转子组件上，并且可旋转地支承转子组件；以及定子，其包括连接到叶轮的出口部分上的至少一个扩散器，其中，至少一个扩散器包括多个扩散器导叶，多个扩散器导叶中的至少一个具有由具有拐点的函数限定的中弧线。

[0014] 根据另一个示例性实施例，一种制造涡轮机的方法包括：提供包括至少一个叶轮的转子组件；将转子组件连接到轴承组件上，以可旋转地支承转子组件；以及提供定子组件，定子组件包括连接到叶轮的出口部分上的至少一个扩散器，其中，至少一个扩散器包括

多个扩散器导叶，多个扩散器导叶中的至少一个具有由具有拐点的函数限定的中弧线。

[0015] 根据另一个示例性实施例，一种扩散器包括内部环形壁、外部环形壁、设置在内部环形壁和外部环形壁之间的板部分，以及设置在板部分上的多个扩散器导叶，多个扩散器导叶中的至少一个具有由具有拐点的函数限定的中弧线。

附图说明

[0016] 附图示出示例性实施例，其中：

图 1(a)-1(d) 示出与用于离心压缩机中的扩散器相关联的背景技术；

图 2(a) 和 2(b) 分别显示传统的直中弧线和共形映射式中弧线扩散器叶片；

图 3 描绘示例性离心压缩机，其中，可采用根据示例性实施例而制造的扩散器；

图 4 示出翼型件概念；

图 5 描述根据示例性实施例的、与扩散器实现相关联的 β 角；

图 6 描绘根据示例性实施例的、具有 S 形中弧线的扩散器叶片轮廓；

图 7 是相对于其它中弧线描绘根据示例性实施例的 S 形中弧线的曲线图；

图 8 是描绘根据示例性实施例的 S 形中弧线及其拐点的曲线图；

图 9-11 是描绘根据示例性实施例的模拟结果的曲线图；

图 12 是示出根据示例性实施例的、制造涡轮机的方法的流程图；

图 13 显示根据示例性实施例的扩散器，以及

图 14 示出根据示例性实施例使用贝塞尔 (Bezier) 曲线来限定 S 形中弧线。

具体实施方式

[0017] 示例性实施例的以下详细描述参照了附图。不同的图中的相同参考标号标识相同或相似的元件。而且，以下详细描述不限制本发明。本发明的范围而是由所附权利要求限定。

[0018] 为了对与根据示例性实施例的扩散器叶片和扩散器叶片形状有关的后面的论述提供一些语境，图 3 示意性地示出其中可采用这样的扩散器叶片的示例性多级离心压缩机 300。在其中，压缩机 300 包括其内安装有旋转的压缩机轴 304 的箱或壳体（定子）302，压缩机轴 304 设有多个离心转子或叶轮 306。转子组件 308 包括轴 304 和转子 306，并且通过轴承 310 在径向和轴向上得到支承，轴承 310 设置在转子组件 308 的任一侧。

[0019] 多级离心压缩机 300 运行来获得来自管道入口 312 的输入过程气体，以通过转子组件 308 的运行使过程气体微粒加速，以及随后在高于其输入压力的输出压力下，将过程气体输送通过各种级间管道 314（其包括下面描述的扩散器和扩散器叶片）。过程气体可为例如大气空气、二氧化碳、氢化硫、丁烷、甲烷、乙烷、丙烷、天然气或它们的组合中的任何一个。在叶轮 306 和轴承 310 之间提供密封系统（未显示），以防止过程气体流到轴承 310。壳体 302 构造成以便覆盖轴承 310 和密封系统两者，以便防止气体泄漏出离心压缩机 300。本领域技术人员将理解，图 3 中示出的离心压缩机 300 仅是示例性的，而且下面描述的扩散器和扩散器叶片可用于其它压缩机中，例如顺列式的、背对背式的轴向压缩机、离心泵、涡轮、涡轮膨胀器等。

[0020] 现在转到对扩散器和扩散器叶片形状的论述，对翼型件和翼型件术语的简要论述

将帮助读者更好地理解示例性实施例。看图 4，一般的翼型件 400 具有前缘 (LE)402 和后缘 (TE)404，前缘 402 是翼型件的首先接触流体且从而将流体分成上部流和下部流的端部，而后缘 404 是翼型件的另一端，流体流在此处会聚。弦线 406 是 LE 402 和 TE 404 之间的直线，而平均中弧线 408（有也被简单地称为“中弧线”）设置在翼型件 400 的上表面 410 和翼型件 400 的下表面 412 之间。翼型件 400 可具有可位于离前缘 402 的预定距离处的最大厚度点 414。改变与翼型件 400 相关联的这些（和其它）参数将导致空气动力学性能改变。

[0021] 图 5 示出与翼型件用作离心压缩机 300 的扩散器区段 502 中的扩散器叶片 500 有关的一些额外术语。例如可将中弧线标绘为在扩散器叶片 500 的长度上的 β 角（或 β 角的变化）的函数。例如，扩散器叶片 500 的定向以及它们的形状相对于扩散器叶片 500 的相应的前缘和后缘限定入口 β 角和出口 β 角。更特别地，如图 5 中显示的那样，相对于下者来限定入口 β 角和出口 β 角：(1) 与圆或弧相关联的半径 504、506，其表示被画过（从轴 104 的旋转轴线）的前缘和后缘的位置；以及 (2) 与关注的点处的瞬态曲率相关联的投影（与叶片中弧线相切）508、510。虽然图 5 仅针对扩散器叶片 500 上的入口点和出口点进行显示，但还可针对前缘和后缘之间的任何点来计算金属扩散器导叶 500 的 β 角，而且使用 β 角来将中弧线标绘成 β 角的分布的函数，如下面描述的那样。

[0022] 根据示例性实施例，扩散器导叶的中弧线为“S 形”，除了别的之外，与之前描述的扩散器导叶形状和相关联的中弧线相比，这使导叶的前缘和后缘之间有更平衡的载荷。在图 6 中提供根据示例性实施例的、具有 S 形中弧线 602 的扩散器导叶 600 的示例。虽然在图 6 中不容易看到，但中弧线 602 的 S 形在图 7 中更明显，图 7 显示 S 形中弧线 602，作为从前缘 (x 轴上的 0) 到后缘 (x 轴上的 100) 在导叶 600 的长度上的 β 角的函数。为了比较，还在同一曲线图上示出直中弧线 700 和共形映射式中弧线 702。

[0023] 虽然在本文中被大体描述成“S 形”中弧线，但根据这些示例性实施例的扩散器叶片或导叶具有更特别地由例如至少三次代数方程或函数限定的中弧线。相比之下，上面关于图 2(a) 和 2(b) 所描述的传统的扩散器导叶具有线性地限定或者由二次方程（即，一次方程和二次方程）限定的中弧线。因而，与根据一些示例性实施例的扩散器叶片 600 相关联的中弧线 602 可由以下形式的函数限定：

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

其中，a、b、c 和 d 为常数。但是，如下面将论述的那样，与根据其它示例性实施例的扩散器叶片相关联的中弧线可由其它类型的函数描述。

[0024] 在图 8 中示出与根据示例性实施例的扩散器叶片相关联的另一个 S 形中弧线 800。在其中，在扩散器叶片的长度上标绘 β 角的变化，从而再次揭示中弧线的 S 形特性。三次方程的特性在于，它们拥有拐点 802，即，曲率（二阶导数）改变符号所处的函数或曲线中的点。相比之下，与传统设计相关联的中弧线函数没有拐点，如由也在图 8 中标绘的直中弧线和共形映射式中弧线所显示的那样。应当注意，本文描述 S 形曲线的全部不必用于产生根据示例性实施例的扩散器叶片，即，曲线可被切断，并且仍然提供本文描述的好处。例如，图 8 中显示的、在 x 轴上从 0.6 到 1 的曲线的部分可用来形成根据示例性实施例的扩散器叶片。除了别的之外，这对具有根据一些示例性实施例的中弧线的扩散器形状提供大于与直中弧线形状（而且因此还有图 8 中看到的共形映射式中弧线）相关联的 Δβ 值的 Δβ 值。因而，本领域技术人员将理解，短语“具有由具有拐点的函数限定的中弧线的扩散器导

叶”包括具有由这样的函数的切断版本限定的形状的扩散器导叶，例如，包括其中由函数限定的拐点已被切断的那些。

[0025] 通过采用上面描述的S形扩散器导叶，结果是在前缘附近的叶片的部分在设计条件下无载荷，以及载荷朝叶片中间部分逐渐增加到最大载荷。根据示例性实施例的无载荷前缘将在较低的流率下遭受较少流分离，从而提高压缩机的左运行极限。与示例性实施例相关联的这些好处由下面描述的和图9-11中示出的各种模拟结果显示。

[0026] 图9示出与针对下者所执行的两个模拟相关联的结果：(1)具有直中弧线的导叶式扩散器，该中弧线被标绘为线910、912；以及(2)具有根据这些示例性实施例的S形轮廓(基于下面描述的S型函数(Sigmoid funtion))的导叶式扩散器，S形轮廓由线900和902显示。在模拟中使用的湍流模型为Wilcox k-w湍流模型，其中，计算域由一个叶轮叶片通道(导流器(inducer)、一个全长叶片和一个分流器叶片(在分流器叶轮的情况下))和一个扩散器叶片通道组成。此模拟中的扩散器导叶被设计成低密实度导叶。在此模拟中，旋转域和非旋转域之间的接口被规定为叶轮后缘和扩散器导叶前缘之间的距离的50%。以入口处规定的总压力和总温度和出口处规定的质量流率执行与这个模拟相关联的计算。假设所有外壁都是隔热的，并且假设通过叶轮密封件的泄漏流是可忽略的，并且不对其建模。将上游的叶轮模拟成具有设计流系数0.0206和圆周(peripheral)马赫数0.3。

[0027] 图9中标绘的结果显示在离心压缩机的设计点处，效率有大约0.5点的提高，以及在曲线图的左手边附近，即，在75%的流处，效率有大约2点的提高。这个结果趋向于确认上面提到的结论，即，示例性实施例会提高离心压缩机的失速极限。还注意到关于针对具有直中弧线的扩散器导叶而模拟的离心压缩机，曲线图的右手边效率降低。

[0028] 对采用具有共形映射式中弧线(函数1000和1100)、直中弧线(函数1004、1104)和无导叶式扩散器(函数1006、1106)的扩散器叶片的离心压缩机执行另一个模拟，在图10和11中标绘模拟的结果，其中，示例性S形中弧线结果被标绘为函数1002和1102。图10示出示例性实施例的较高的整体效率。更特别地，这个比较显示，例如，相对于采用直中弧线扩散器的离心压缩机，这个示例性实施例在运行范围的左手边具有大约1.5点的效率改进，虽然效率略微低于共形映射式中弧线压缩机。另外，在图10中的曲线图的右手边，可看到根据示例性实施例的S形中弧在效率方面比共形映射式中弧表现更好，并且仅略微低于直中弧。

[0029] 总而言之，与在离心压缩机中使用具有S形中弧线的扩散器导叶或叶片相关联的一些效率好处和优点包括：对于左(下)运行范围有较高的效率，从而提高压缩机的失速极限，相对于其它设计，在设计点处有更好或同等的效率，以及相对于一些设计(即，除了共形映射式中弧线设计之外)，对于扼流极限有更低的效率。

[0030] 相对于图11中显示的直中弧线扩散器和无导叶式扩散器，此模拟还显示根据示例性实施例的S形中弧线扩散器有较高的多变(polytropic)压头升高。在其中，可看到相对于直中弧线扩散器函数1104的5.2%的压头升高和无导叶式扩散器的6.2%的压头升高，对于根据示例性实施例的S形中弧线扩散器函数1102测得6.5%的压头升高。共形映射式扩散器函数1100显示比示例性实施例1102略微更好的压头升高。

[0031] 示例性实施例还包括可如图12的流程图中显示的那样表示的制造涡轮机的方法。在其中，在步骤1200处，提供包括至少一个叶轮的转子组件。在步骤1202处，转子组

件连接到轴承组件上，轴承组件可旋转地支承转子组件。在步骤 1204 处，提供包括连接到叶轮的出口部分上的至少一个扩散器的定子组件，其中，至少一个扩散器包括多个扩散器导叶，多个扩散器导叶中的至少一个具有由具有拐点函数的限定的中弧线。

[0032] 除了制造带有具有根据这些各种示例性实施例的 S 形中弧线的扩散器导叶的离心压缩机之外，进一步合乎需要的可为，用具有根据示例性实施例的 S 形中弧线的扩散器改造具有无导叶式扩散器或具有不同形状的扩散器导叶的扩散器的现有离心压缩机，例如，以提高关于无导叶式扩散器的效率，或者降低与现有的无导叶式扩散器相关联的范围的损失。因而，示例性实施例进一步构想到制造用于对现有压缩机进行改造或修理的扩散器本身。图 13 示出示例性扩散器 1300，其包括内部环形壁 1302、外部环形壁 1304、设置在内部环形壁 1302 和外部环形壁 1304 之间的板部分 1306，以及设置在板部分 1306 上的多个扩散器导叶 1308。扩散器导叶或叶片 1308 中的一个或多个具有 S 形中弧线，即，由具有拐点的函数限定。扩散器 1300 可为高密实度翼型件扩散器或低密实度翼型件扩散器。根据一些示例性实施例，本文论述的 S 形扩散器导叶可用于具有超过 10 个导叶 1308 的扩散器 1300。

[0033] 如上面提到的那样，可使用三次代数方程来限定根据一些示例性实施例的中弧线。但是，其它类型的等式（例如指数等式）也可用来限定根据示例性实施例的中弧线。例如，S 型函数或龚帕兹 (Gompertz) 函数也可用来限定根据示例性实施例的中弧线。S 型函数（也被称为逻辑 (logistic) 函数）可表示为：

$$Y=\frac{1}{1+e^{-x}}$$

而龚帕兹函数采取以下形式：

$$y=ae^{[-be^{(-cx)}]}$$

如上面描述的三次代数方程那样，这些指数等式也产生具有拐点的函数。

[0034] 另外，高次多项式函数（例如四次或更高次）也可用来获得相同的 S 形。此外，根据其它示例性实施例，可针对特定应用定制更复杂的形状（具有多个拐点）。限定这样的广义曲线的一种方式是通过贝塞尔曲线。可如图 14 中显示的那样描述形成根据示例性实施例的 S 形中弧线的贝塞尔曲线。在其中，中弧线的形状由具有相应的坐标 (X1,Y1) 和 (X2,Y2) 的控制点 1401 和 1402 的坐标值限定。可使用更多控制点来限定具有多个拐点的更高次曲线。

[0035] 上面描述的示例性实施例在各方面都意于说明本发明，而非限制本发明。因而，在本领域技术人员可从本文包含的描述中得出的详细实现中，本发明能够有许多变型。所有这样的变型和修改都被认为处于所附权利要求所限定的本发明的范围和精神之内。在本申请的描述中使用的元件、动作或指令都应理解为对本发明不是关键或实质的，除非清楚地描述了这种情况。而且，如本文所用，冠词“一”意于包括一个或多个项目。

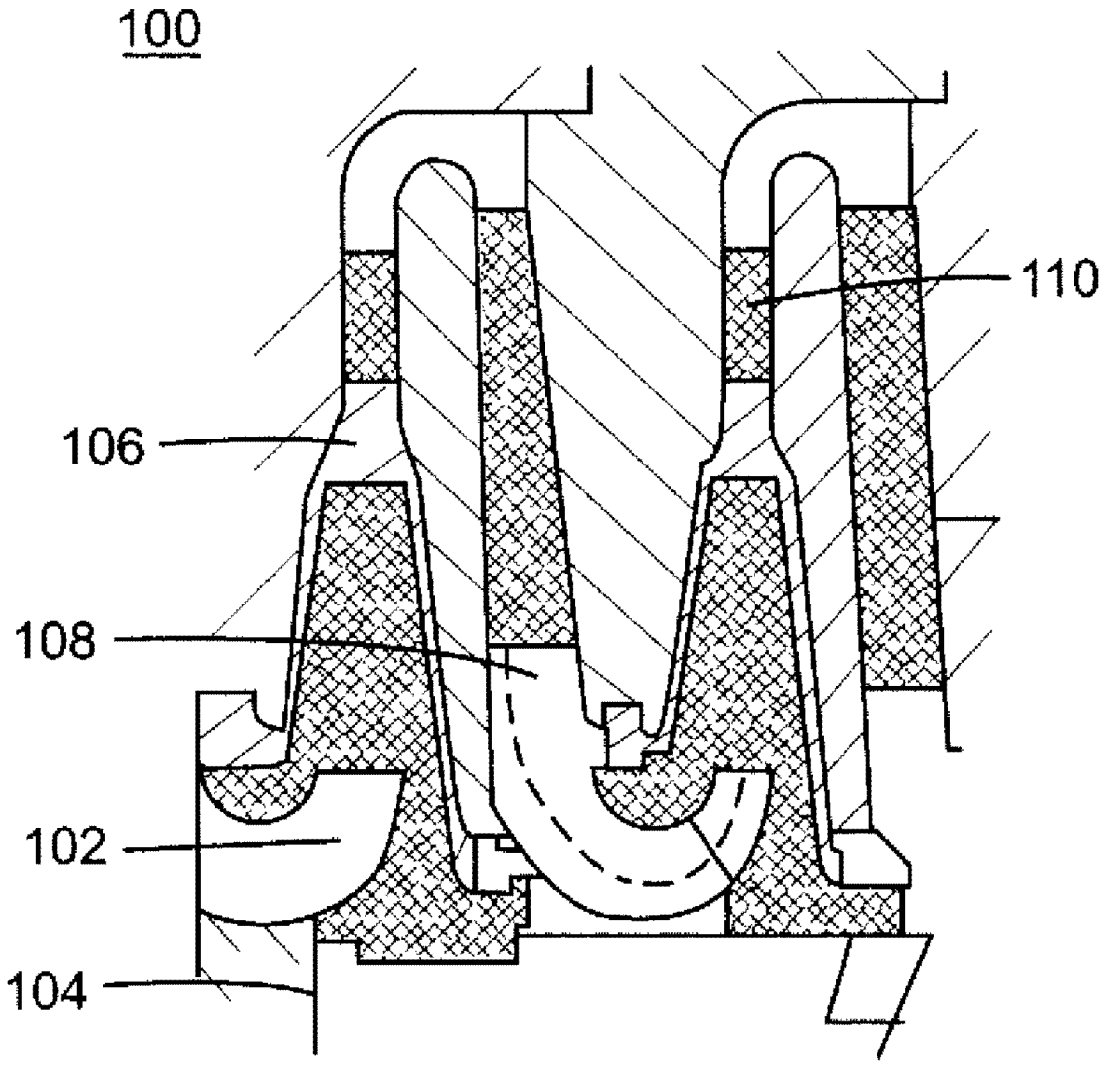
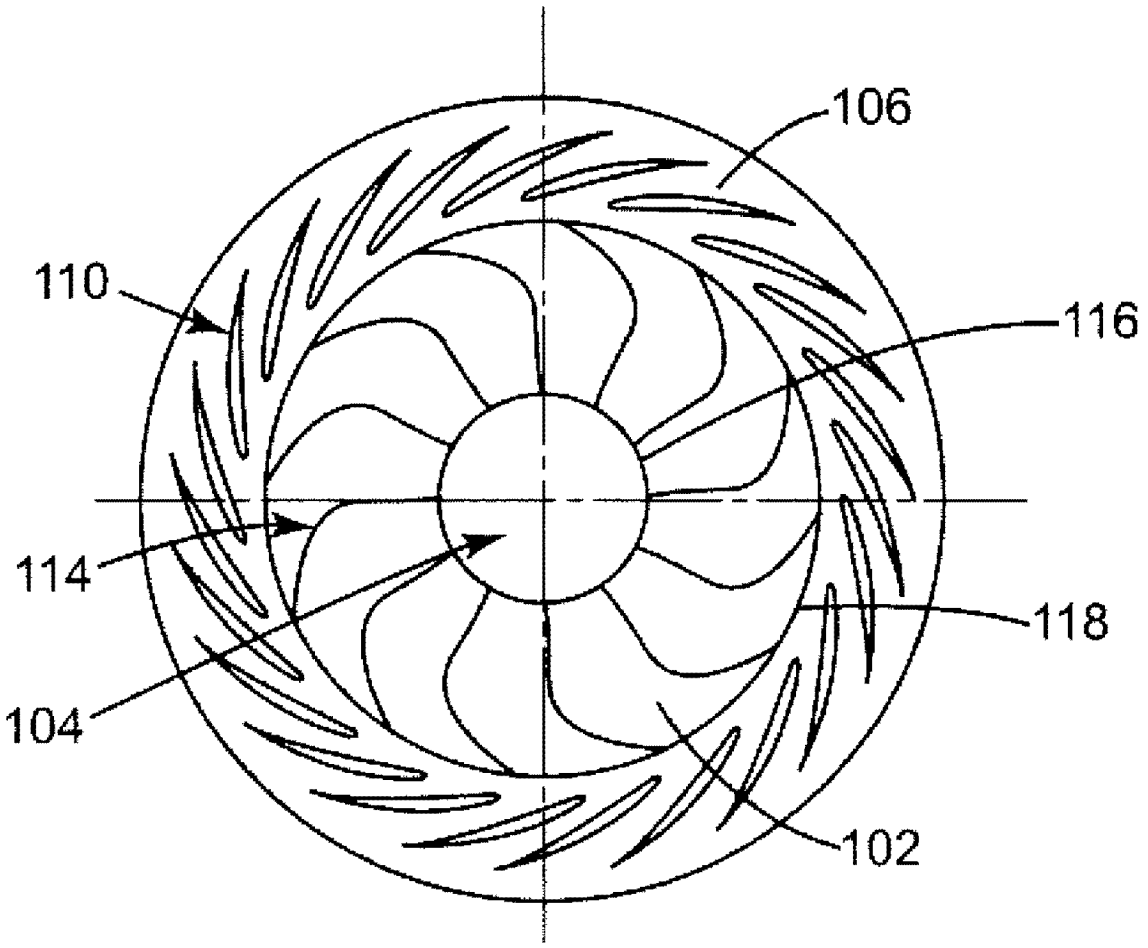
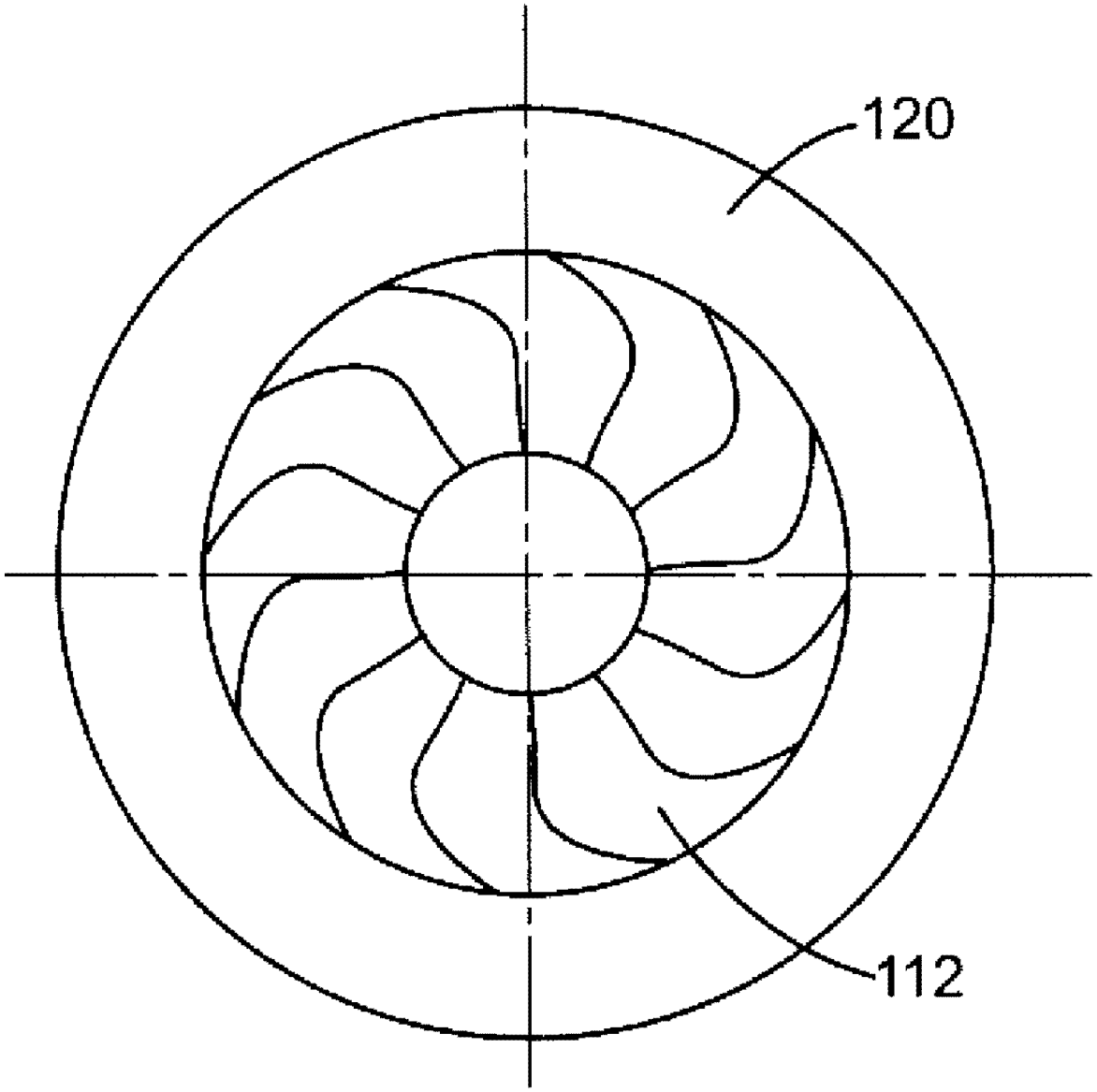


图 1(a)



(背景技术)

图 1(b)



(背景技术)

图 1(c)

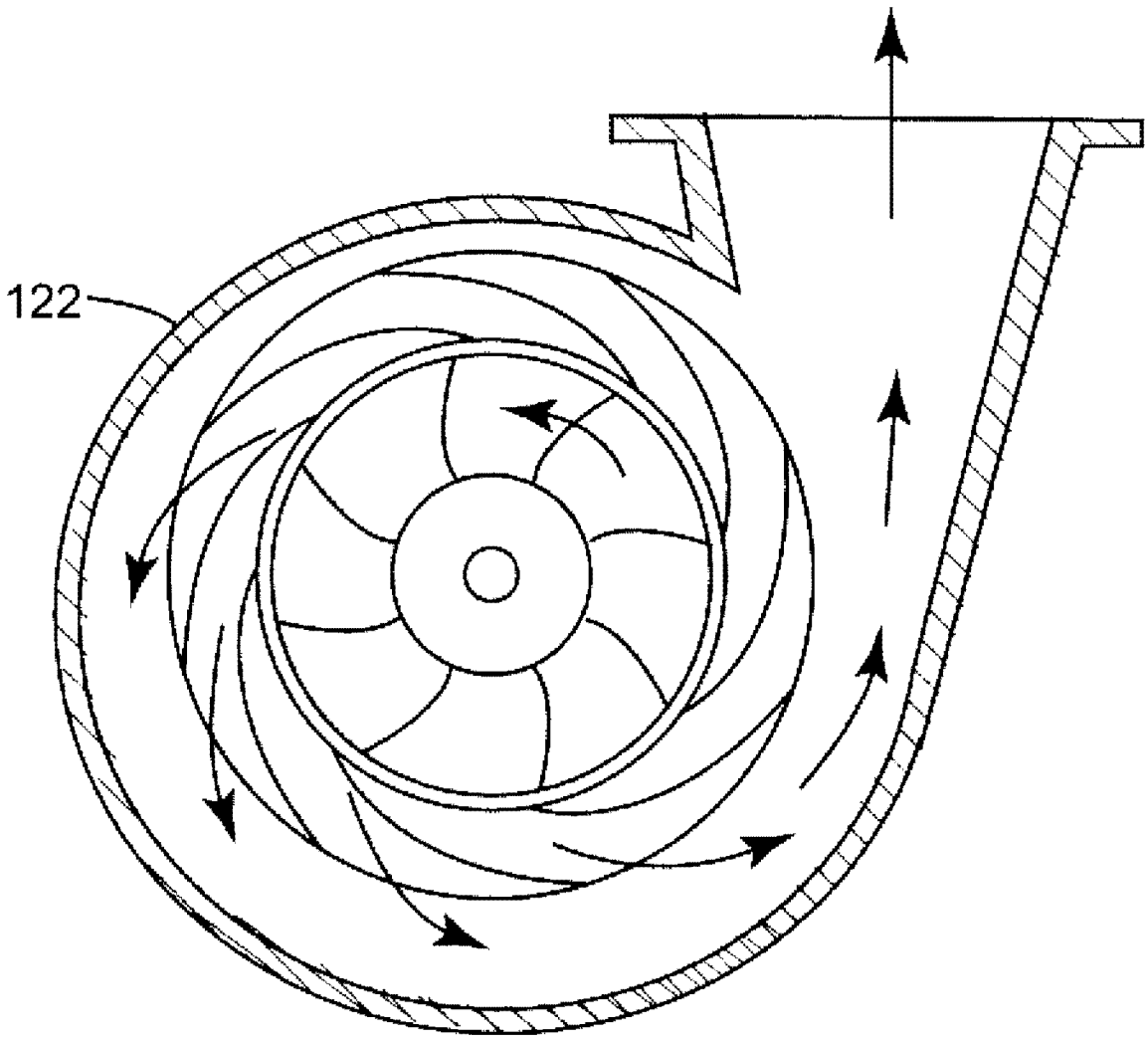
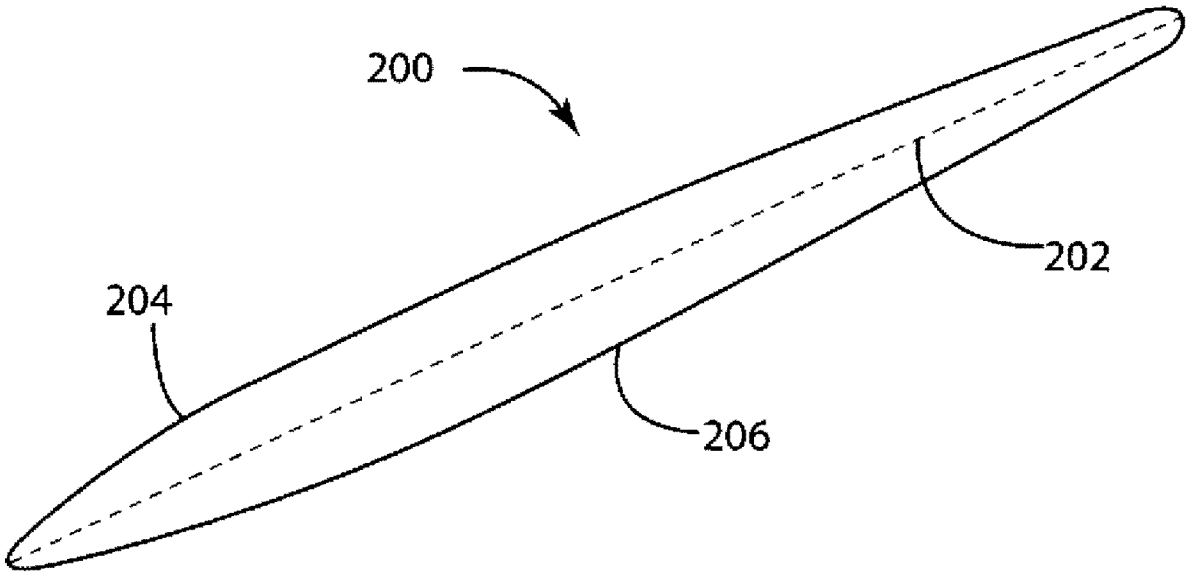
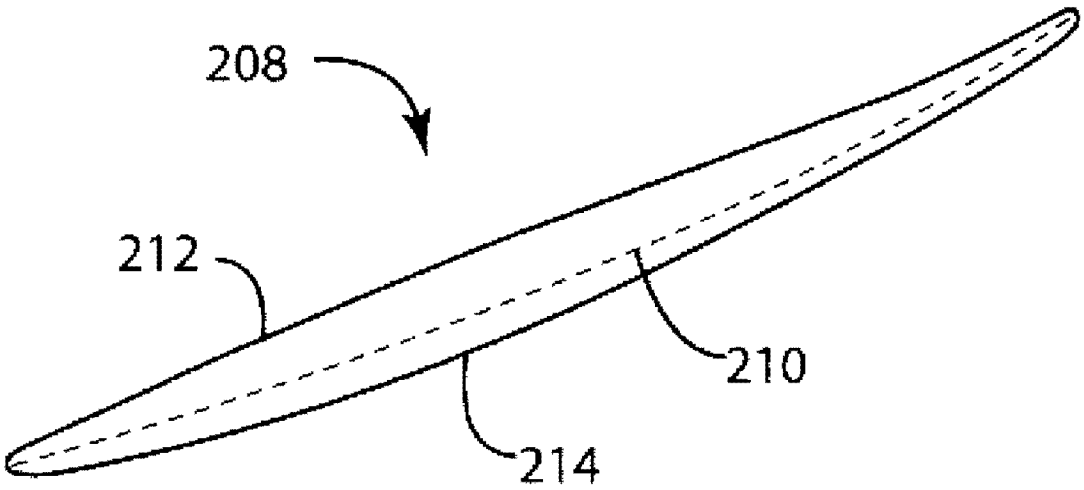


图 1(d)



(背景技术)

图 2(a)



(背景技术)

图 2(b)

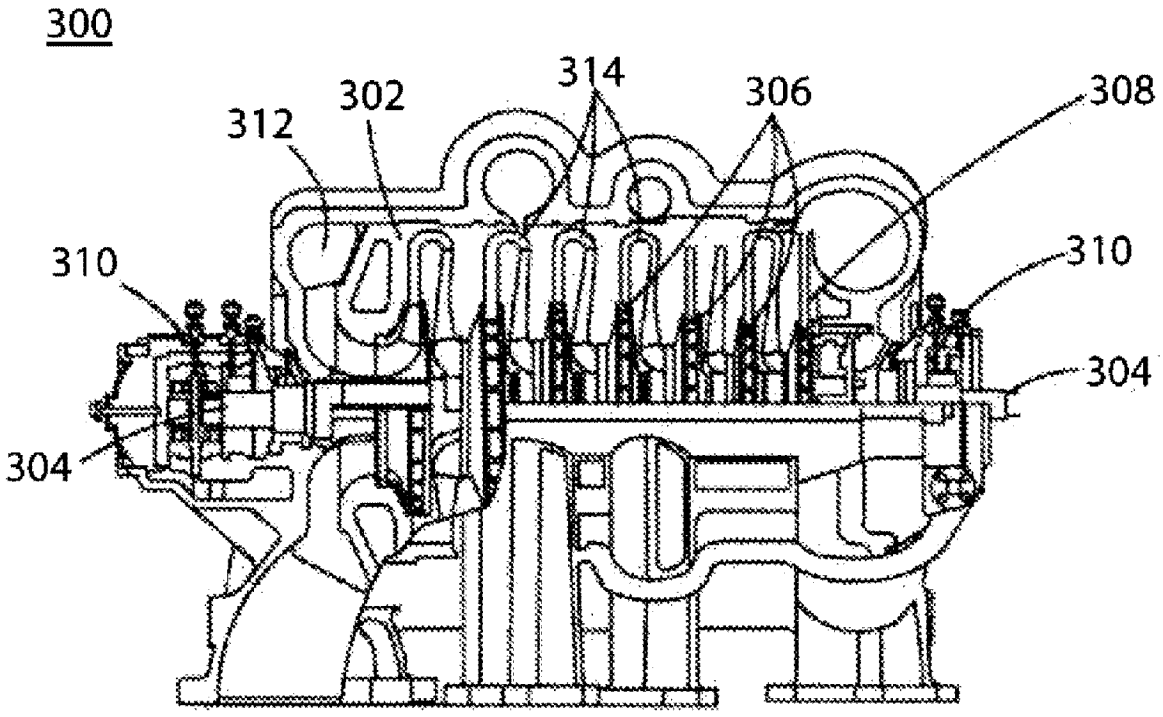

300
314
302
306
308
312
310
310
304
304

图 3

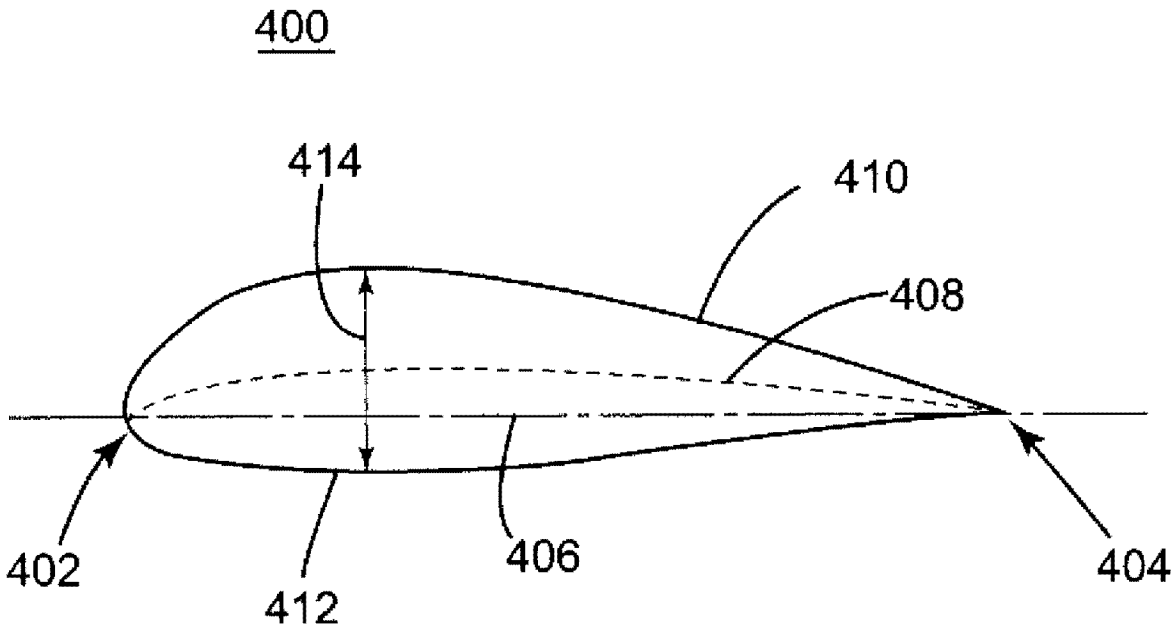

400
414
410
408
402
412
406
404

图 4

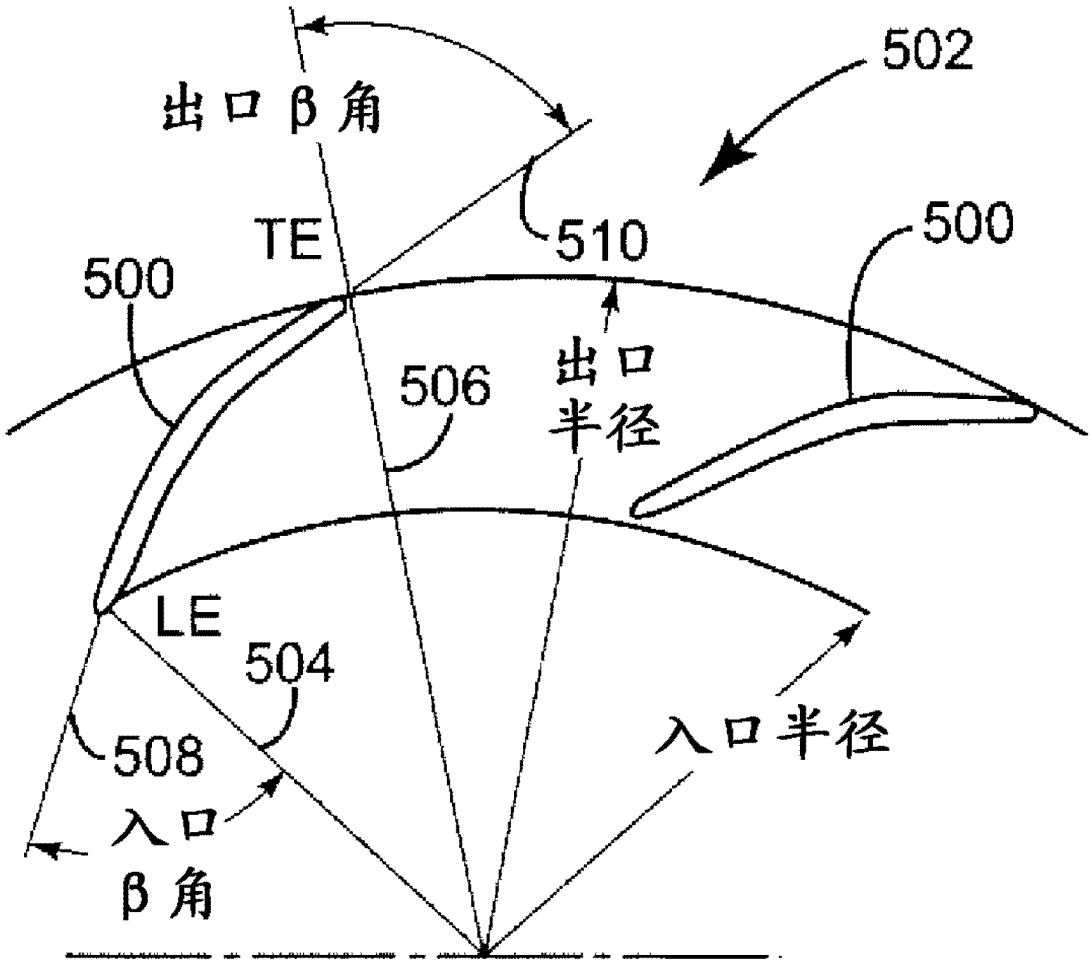


图 5

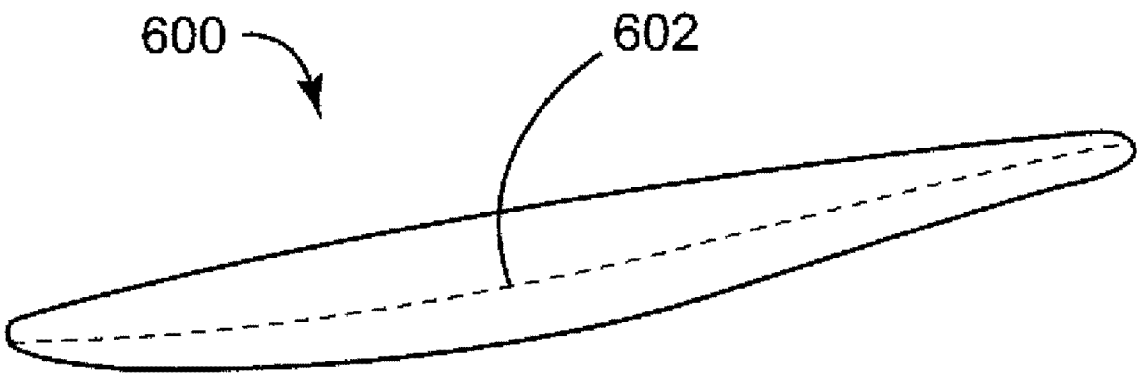


图 6

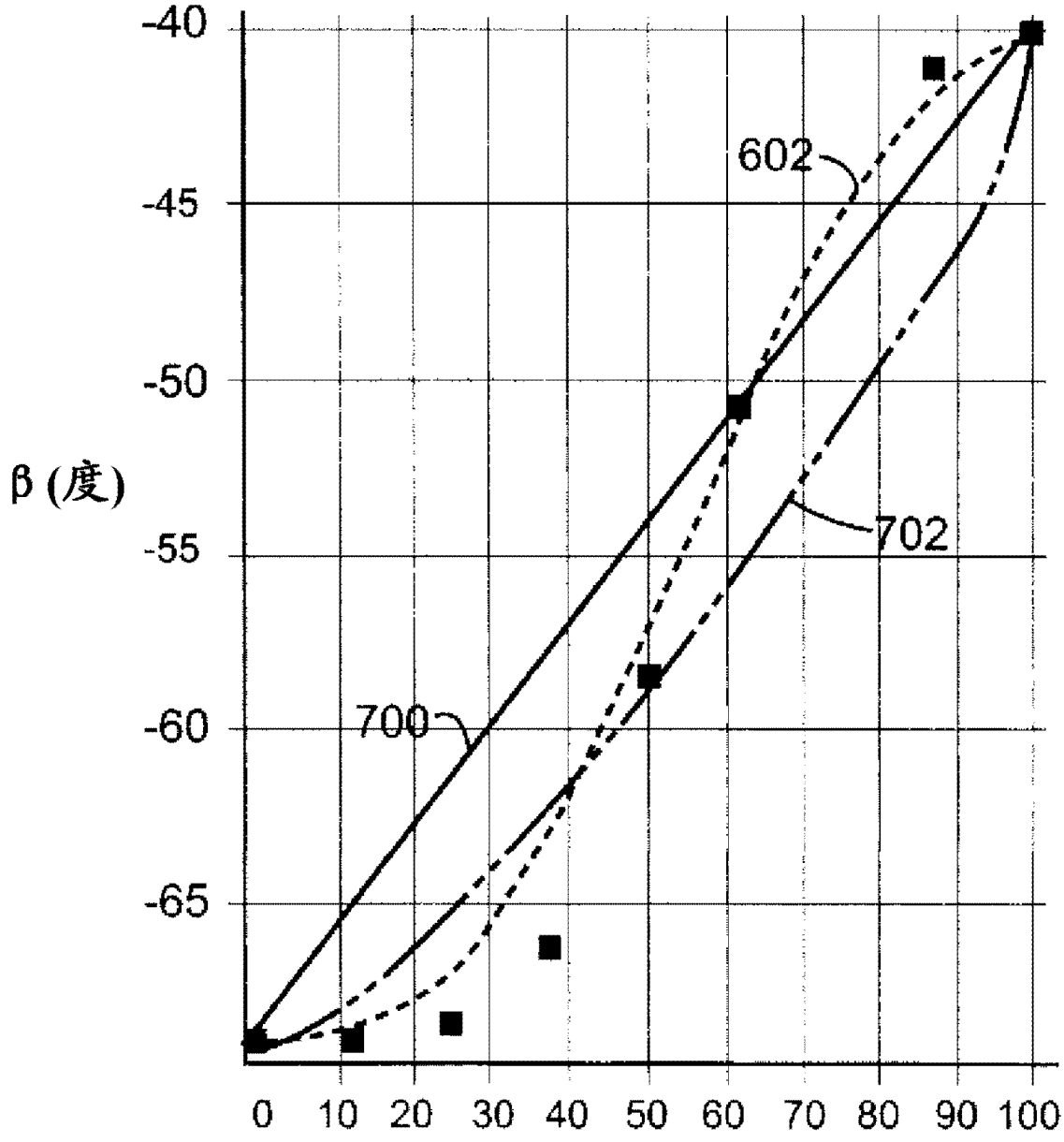


图 7

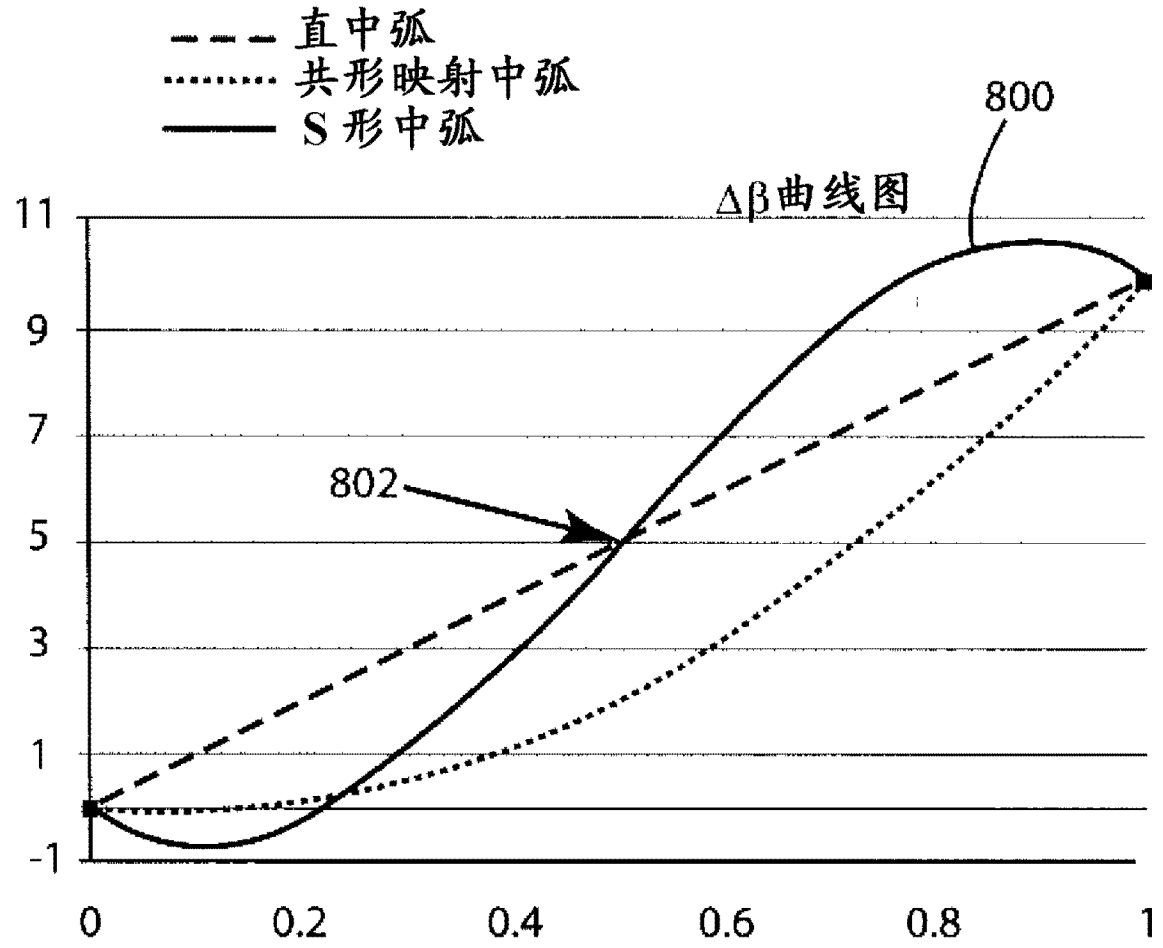


图 8

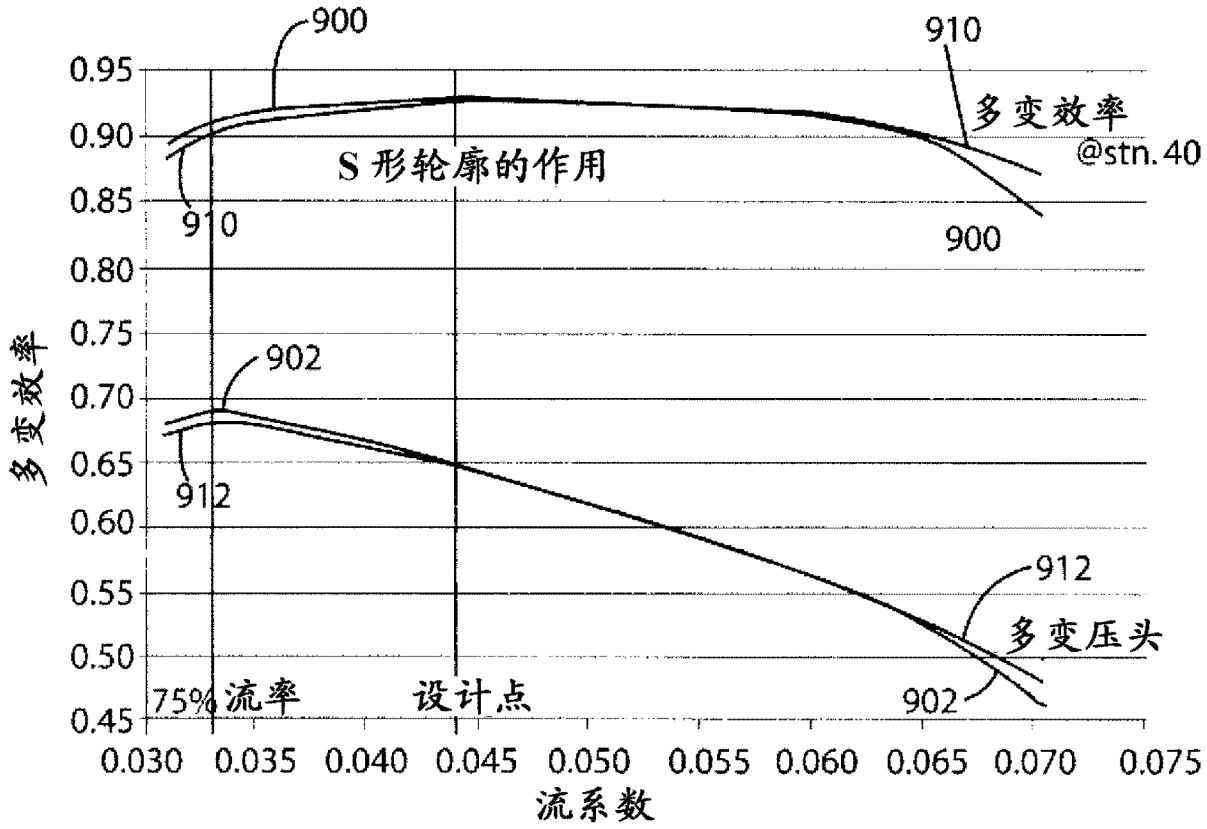

900
910
多变效率
@stn.40
S 形轮廓的作用
910
900
902
912
912
多变压头
902
75% 流率
设计点
0.95
0.90
0.85
0.80
0.75
0.70
0.65
0.60
0.55
0.50
0.45
多变效率
0.030
0.035
0.040
0.045
0.050
0.055
0.060
0.065
0.070
0.075
流系数

图 9

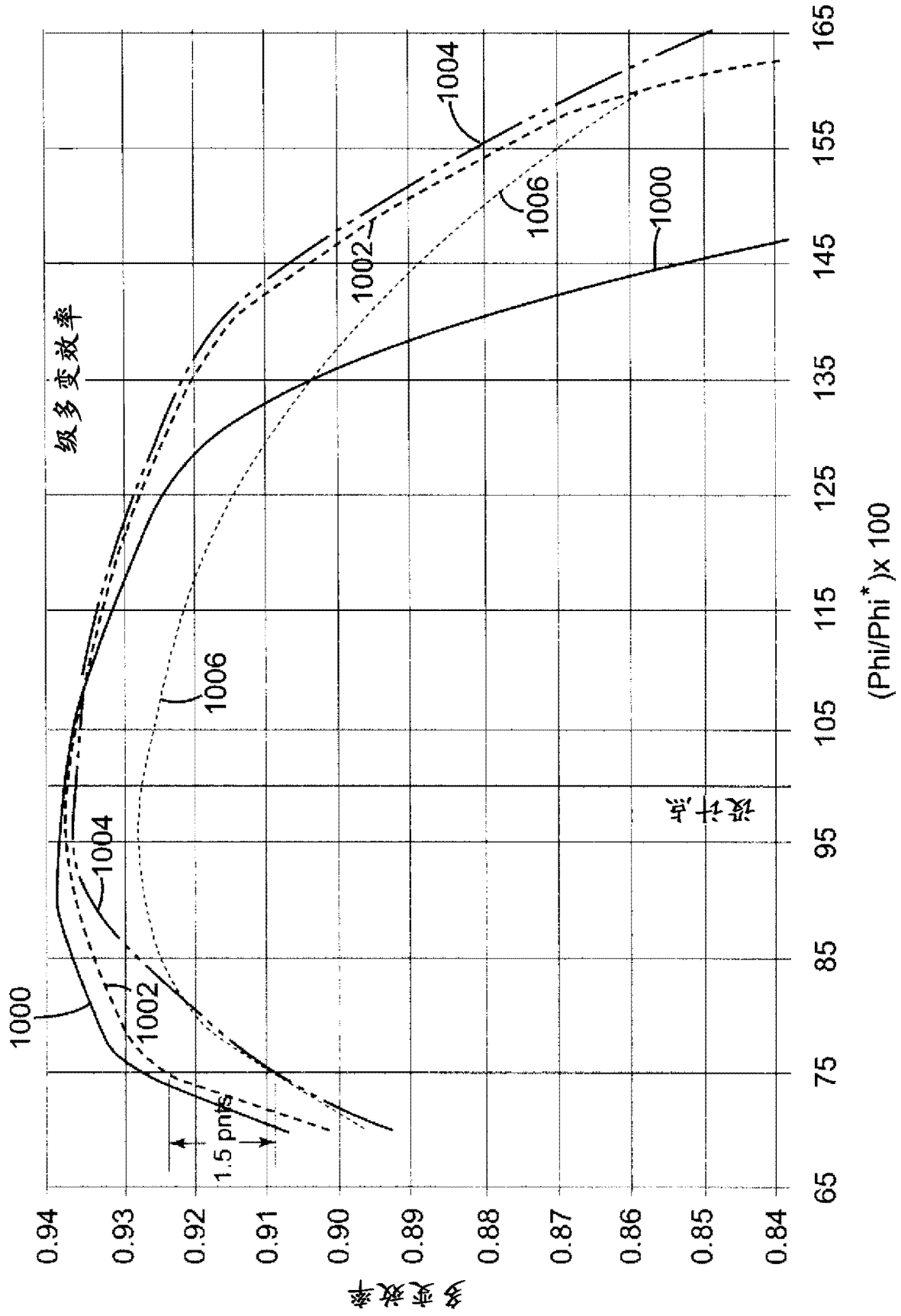

级多变效率
1004
1002
1006
1000
1.5 pnts
设计点
多变效率
0.94
0.93
0.92
0.91
0.90
0.89
0.88
0.87
0.86
0.85
0.84
65
75
85
95
105
115
125
135
145
155
165
(Phi/Phi*)x 100

图 10

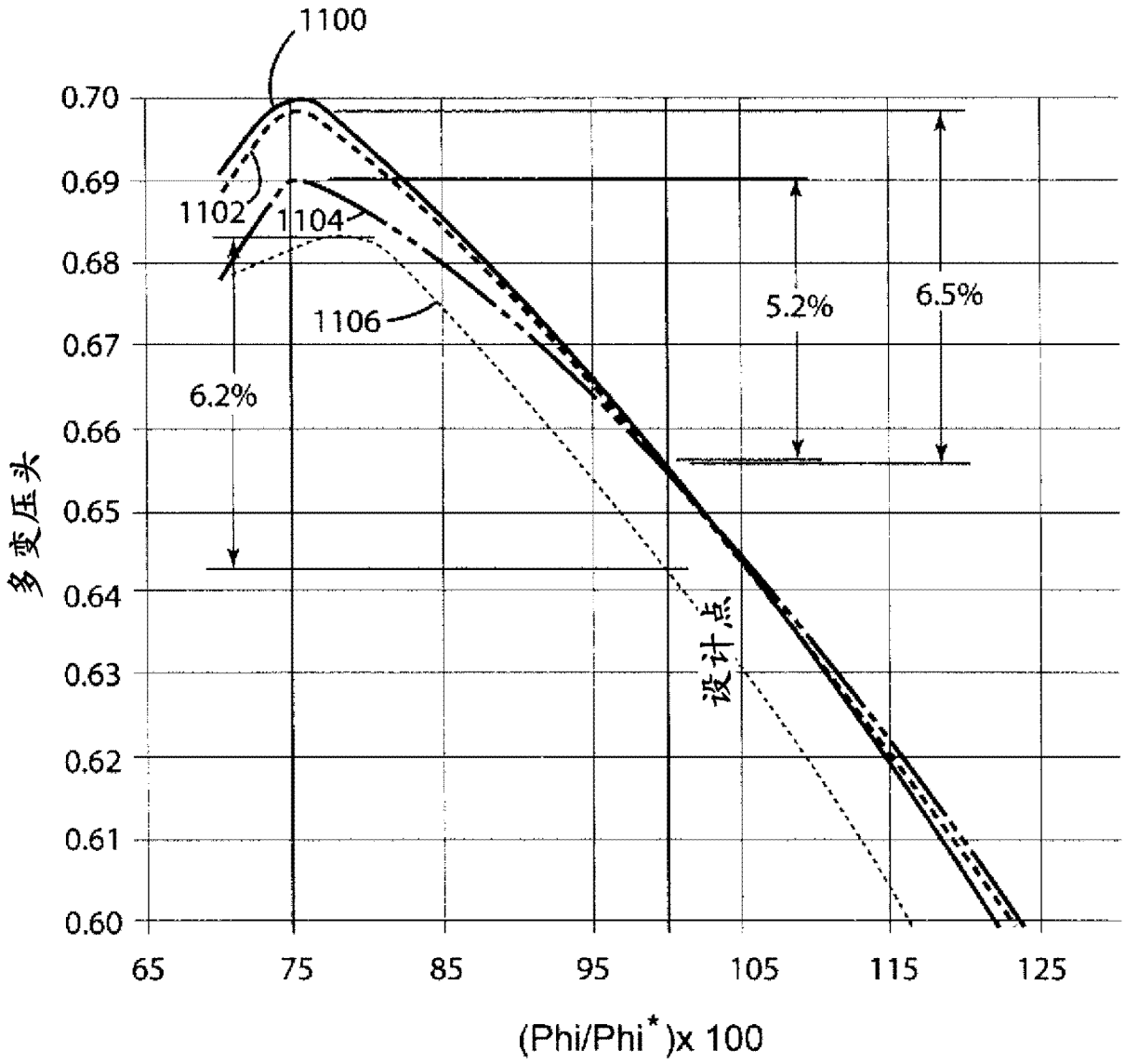

1100
1102
1104
1106
6.2%
5.2%
6.5%
设计点
多变压头
0.70
0.69
0.68
0.67
0.66
0.65
0.64
0.63
0.62
0.61
0.60
65
75
85
95
105
115
125
(Phi/Phi*)x 100

图 11

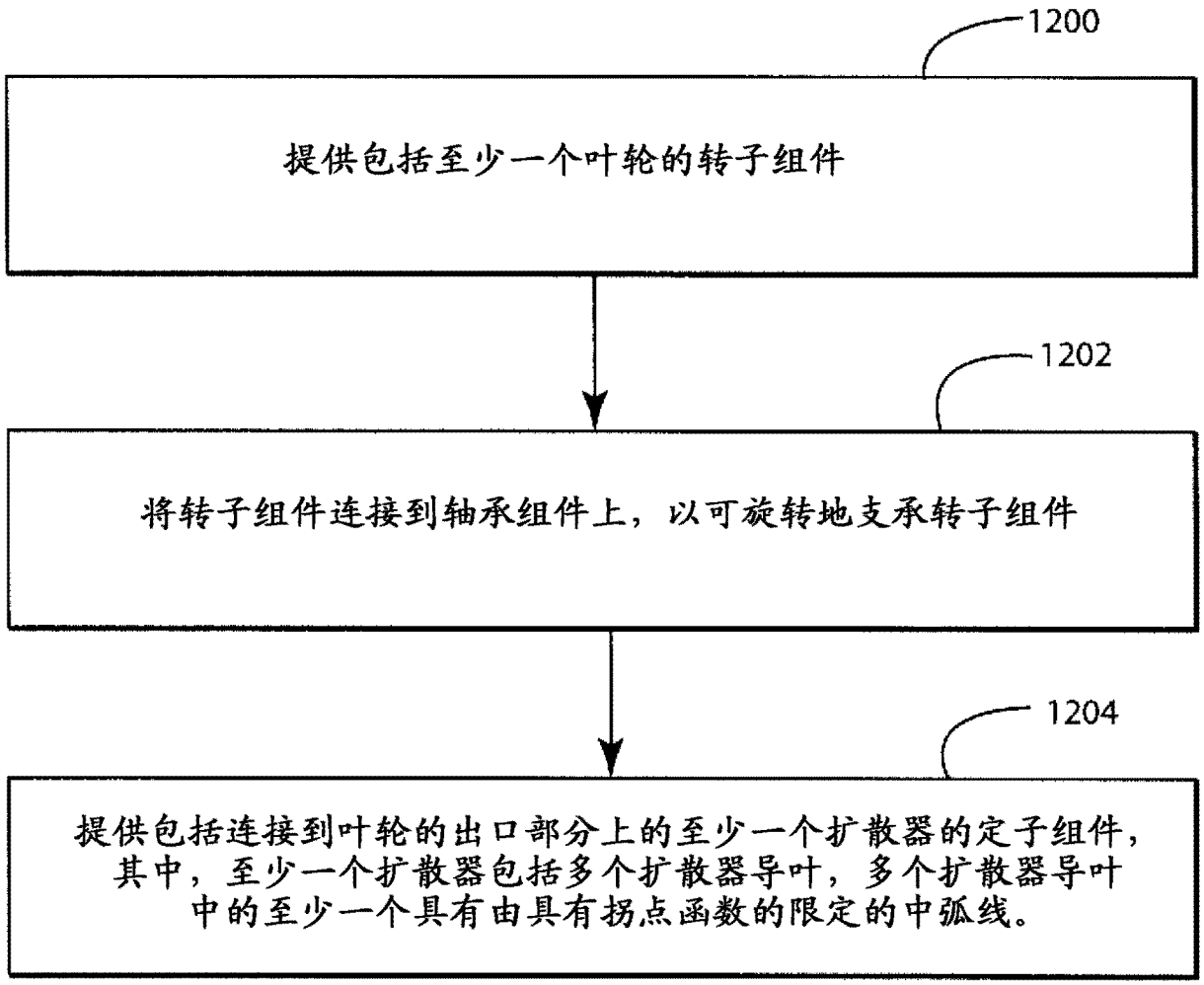

1200
提供包括至少一个叶轮的转子组件
1202
将转子组件连接到轴承组件上，以可旋转地支承转子组件
1204
提供包括连接到叶轮的出口部分上的至少一个扩散器的定子组件，其中，至少一个扩散器包括多个扩散器导叶，多个扩散器导叶中的至少一个具有由具有拐点函数的限定的中弧线。

图 12

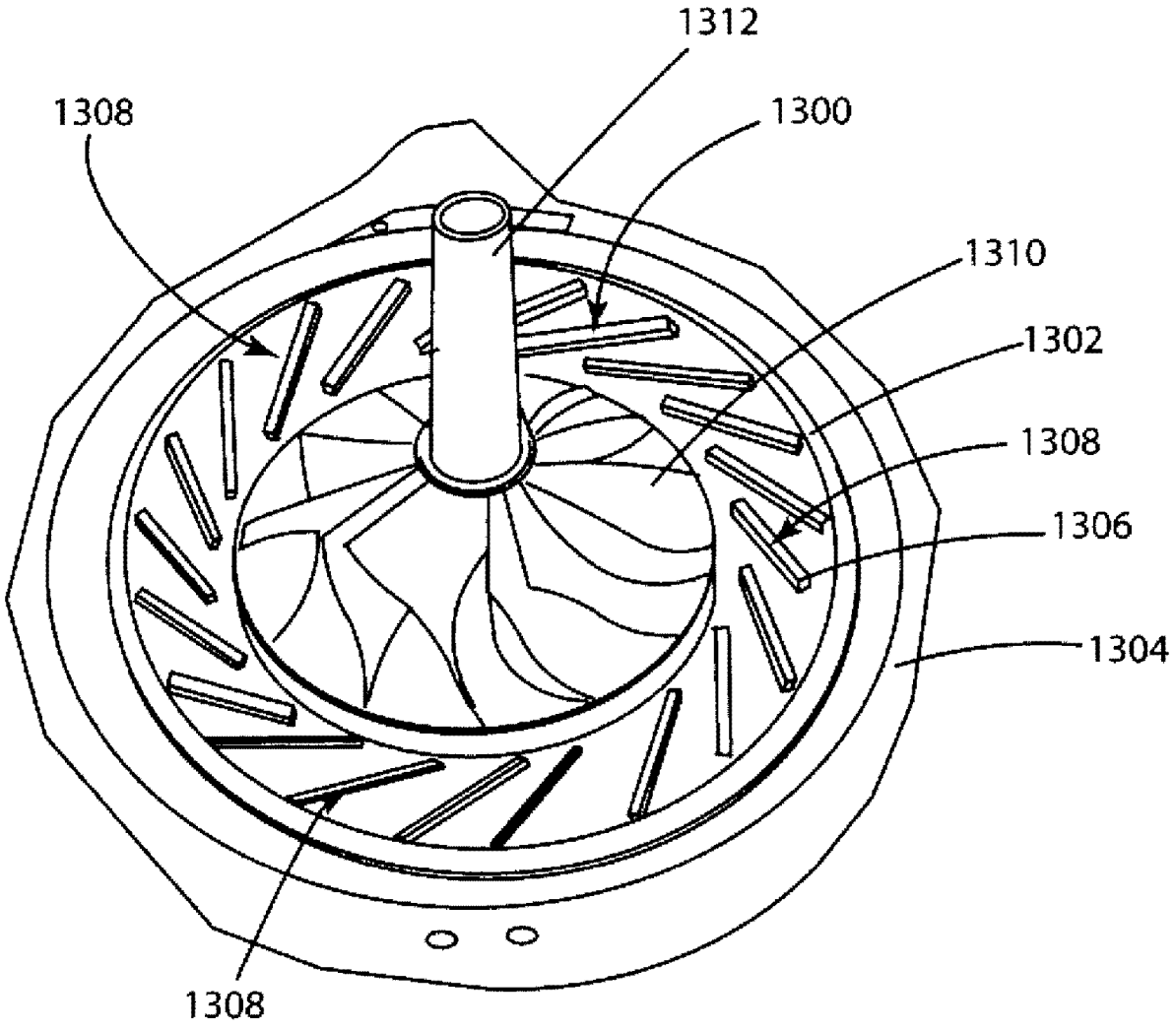


图 13

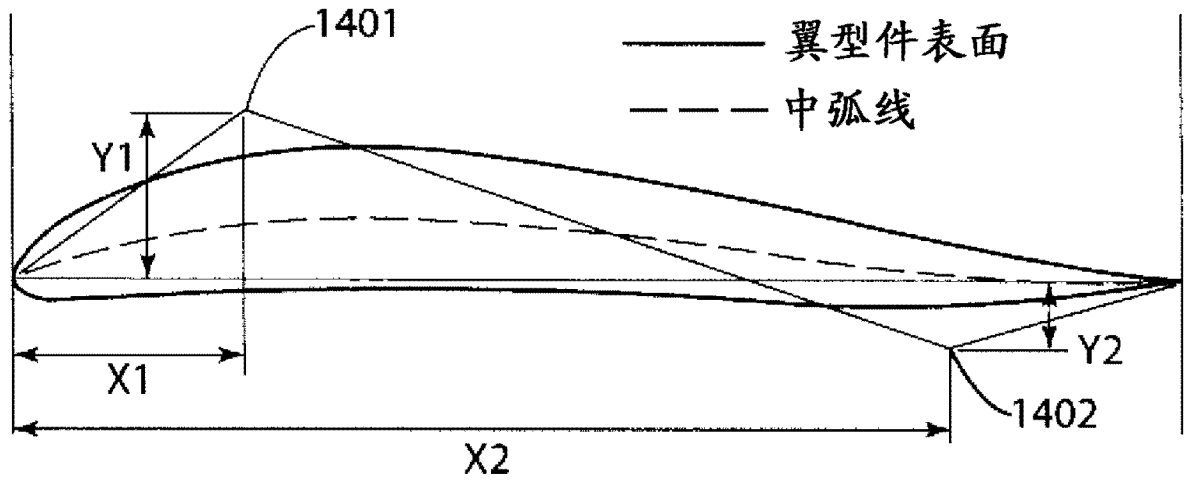


图 14