

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102192109 A

(43) 申请公布日 2011. 09. 21

(21) 申请号 201110063853. 6

(22) 申请日 2011. 03. 17

(30) 优先权数据

10002872. 9 2010. 03. 18 EP

(71) 申请人 诺德克斯能源有限公司

地址 德国诺德施泰特

(72) 发明人 G·菲舍尔

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 刘志强

(51) Int. Cl.

F03D 11/00 (2006. 01)

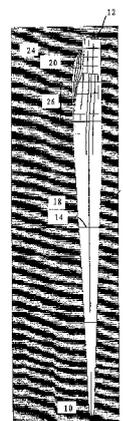
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 13 页

(54) 发明名称

一种风力涡轮机的转子叶片

(57) 摘要

一种风力涡轮机的转子叶片,其具有纵轴线、叶片梢、叶片根、前缘、后缘、压力侧、吸力侧和与纵轴线正交且从叶片根变化至叶片梢的横截面,所述横截面在叶片根处大体成圆形,并且在转子叶片的中部为空气动力学轮廓,并且关于转子叶片固定设置包括转子叶片纵轴线的假想参考平面,其中在横截面中,角 α_3 被定义在参考平面与连接纵轴线和后缘的直线之间,并且描述后缘的位置,其中角 α_3 在转子叶片的第一纵向部分中随着靠近叶片根而增大,在比第一纵向部分更靠近叶片根的第二纵向部分中随着靠近叶片根而减小。



1. 一种风力涡轮机的转子叶片,其具有纵轴线(60)、叶片梢(10)、叶片根(12)、前缘(16)、后缘(18)、压力侧(32)、吸力侧(30)和与纵轴线(60)正交且从叶片根(12)变化至叶片梢(10)的横截面,所述横截面在叶片根(12)处大体为圆形,并且在转子叶片的中部(14)为空气动力学轮廓,假想的参考平面相对于转子叶片固定地设置且包括转子叶片的纵轴线(60),其中在所述横截面中,角 α_3 被定义在参考平面与连接纵轴线(60)和后缘(18)的直线(62)之间,并且描述后缘(18)的位置,其中角 α_3 在转子叶片的第一纵向部分中随着靠近叶片根(12)而逐渐增大,以及在布置为在比第一纵向部分更靠近叶片根(12)的第二纵向部分中随着靠近叶片根(12)而减小,

其特征在于:第一纵向部分起始于第一横截面处,并且在转子叶片长度的大部分上延伸直至与叶片根(12)的距离小于转子叶片长度的25%的第二横截面(52)。

2. 如权利要求1所述的风力涡轮机的转子叶片,其特征在于:第二纵向部分在第二横截面(52)处与第一纵向部分直接邻接,其中角 α_3 在第二横截面(52)处具有最大值。

3. 如权利要求1或2所述的风力涡轮机的转子叶片,其特征在于:第二纵向部分向叶片根(12)延伸至第三横截面(24),所述第三横截面位于转子叶片的有利于空气动力性能的轮廓结束的纵向位置上。

4. 如权利要求3所述的风力涡轮机的转子叶片,其特征在于:第三横截面(24)被布置成与叶片根(12)相距0.5m或更远。

5. 如权利要求3或4所述的风力涡轮机的转子叶片,其特征在于:如果转子叶片具有对于部分负载操作所优化的倾角,角 α_1 在与转子平面垂直且与转子叶片的纵轴线(60)平行的平面上被定义在转子平面和压力侧(32)上的在后缘(18)上且在第三横截面(24)处的切面之间,并且角 α_1 落在30-90度的范围内。

6. 如权利要求1-5中任一项所述的风力涡轮机的转子叶片,其特征在于:如果转子叶片具有对于部分负载操作所优化的倾角,角 α_2 被定义在第三横截面(24)处,角 α_2 在转子平面上在转子叶片的纵轴线(60)与转子叶片后缘(18)的切线在转子平面上的投影之间,并且角 α_2 落在25-90度的范围内。

7. 如权利要求1-6中任一项所述的风力涡轮机的转子叶片,其特征在于:压力侧(32)的后部在第二纵向部分上双凹入弯曲。

8. 如权利要求3-6中任一项所述的风力涡轮机的转子叶片,其特征在于:压力侧(32)的后部在第二纵向部分上双凹入弯曲,并且一锐角形成于在压力侧(32)上的在后缘(18)上且在第三横截面(24)处的切面和吸力侧(30)上的在后缘(18)上且在第三横截面(24)处的切面之间。

9. 如权利要求7或8所述的风力涡轮机的转子叶片,其特征在于:吸力侧(30)的后部在第二纵向部分上近似直线地延伸,吸力侧(30)的该后部在转子叶片的横截面方向上与压力侧(32)的双凹入弯曲部分相反。

一种风力涡轮机的转子叶片

技术领域

[0001] 本发明涉及一种风力涡轮机的转子叶片,其具有纵轴线、叶片梢、叶片根、前缘、后缘、压力侧、吸力侧以及与纵轴线正交并且从叶片根变化至叶片梢的横截面,所述横截面在叶片根处大体为圆形,并且在转子叶片中部处为空气动力学轮廓。这种转子叶片特别用于带有具有水平轴线的两片或三片叶片式转子的风力涡轮机系统。它们在叶片根处连接至转子毂。组装法兰可被设计在转子叶片的叶片根处,叶片倾角可以设计成能够通过倾角驱动装置进行调节。

背景技术

[0002] 已知的转子叶片代表着最佳空气动力学形状、强度设计要求以及在建立经济型制造技术方面的尝试之间的折中方案。具体而言,必须基于强度方面的考虑来选择采用的空气动力学轮廓的相对厚度。在对于空气动力学性能而言特别重要的转子叶片的外侧区域上可以使用相对较小的叶片厚度,该较小厚度要小于轮廓深度的 30%,通常介于该深度的 18-15%之间。更靠近毂的转子叶片的内侧区域在空气动力学性能方面起到较小的决定性作用,因此为了获得足够的刚性可以接受相对较大的叶片厚度和允许偏离空气动力学性能最优值更多些。空气动力学轮廓于是朝向叶片根没入大体呈圆形的横截面中。为了改善转子叶片在内侧的空气动力学性能,在现有技术中存在不同的方法。

[0003] 在文献 WO 02/08600A1 中公开了使用沿转子叶片后缘纵向延伸的鳍片式附件。该附件主要位于转子叶片的圆柱形连接区域上,其将另外设在外侧且具有空气动力学轮廓的转子叶片部分与毂相连。通过这种方式,原本在空气动力学方面将不起作用的连接区域也为转子性能作出贡献。

[0004] 在文献 DE 10 2006 017 897 B4 中公开了一种用于风力涡轮机的转子叶片,其在叶片根附近的压力侧上具有附连设备。已知的这种附连设备大体沿着转子叶片的纵向方向延伸。已知的这种附连设备的所谓附连设备流动表面在轮廓的某一点处起始于压力侧,其中在所述轮廓的某一点上,该轮廓上的切线沿着关于设计的流动方向成 -20° 至 $+20^{\circ}$ 角延伸。该附连设备的流动表面近似按照此切线角度延伸,直至该附连设备的与转子叶片后缘不同的后缘,其中该附加设备的后边缘与所述转子叶片后缘相连,所述后表面往回通向轮廓的压力侧。文献 EP 2138 714 A1 和 EP 2 141 358 A1 中也公开了类似的附连设备。

[0005] 在文献 WO 2004/097215A1 中公开了一种特别设计用于无齿轮式风力涡轮机的风力涡轮机转子叶片。这种风力涡轮机具有直径相对较大的毂。对于这种已知的转子叶片,转子叶片的空气动力学轮廓大体延续至毂,这会因为出于刚性方面的原因需要在毂附近具有较大轮廓厚度而形成非常大的轮廓深度。借助沿着它的整个深度推进至非常靠近毂的轮廓能够避免围绕朝向毂的后部轮廓部分的环流。

[0006] 在文献 WO 2009/130500A2 中公开了一种用于风力涡轮机的转子叶片,该转子叶片沿其长度具有两种不同的剖面。在主轮廓和辅助轮廓之间存在差异,但两者均具有不同的倾角。辅助轮廓位于叶片梢附近,并且具有在特定风力条件下使转子减速的倾角。为此,

已知的这种叶片的倾角被选择成介于包括叶片纵轴线的参考平面与连接纵轴线和后缘的直线之间的角度 α_3 遵循在权利要求 1 的前言部分规定的路线。

[0007] 文献 WO 2010/013024A2 示出了一种用于风力涡轮机的转子叶片,其具有包括框架和蒙皮的延伸部。该延伸部将叶片根附近的纵向剖面中的轮廓深度放大。

发明内容

[0008] 本发明的目标是提供一种风力涡轮机的转子叶片,其具有更好的性能,特别是在转子的内侧区域。

[0009] 根据本发明的风力涡轮机转子叶片具有纵轴线、叶片梢、叶片根、前缘、后缘、压力侧、吸力侧和与纵轴线正交且从叶片根变化至叶片梢的横截面,所述横截面在叶片根处大体形成圆形,并且在转子叶片的中部形成空气动力学轮廓。关于转子叶片固定地设置的假想参考平面包括转子叶片的纵轴线。在一个或相应地每个横截面中,描述后缘在横截面中的位置的角 α_3 在一个或相应地每个横截面中被定义在该参考平面与连接纵轴线和后缘的直线之间。角 α_3 在转子叶片的第一纵向部分中随着靠近叶片根而增大,在比第一纵向部分更靠近叶片根的第二纵向部分中随着靠近叶片根而减小。

[0010] 与所有的水力涡轮机转子叶片一样,根据本发明的转子叶片被设计成在叶片梢速度和风速之间的某种关系(亦即所谓的设计叶片梢速度比)和特定倾角下能够从风中实现最佳功耗。当转子叶片在设计叶片梢速度比下工作时,空气在转子叶片的各个纵向位置处沿定义的流动方向流动。该流动方向在下文中被称做设计的流动方向。转子叶片的后缘是转子叶片在设计的流动方向的向回最远的边缘。通常,在后缘上,吸力侧和压力侧汇合并形成锐角。在转子叶片具有所谓“厚后缘”的情况下,与设计的流动方向大体垂直并且形成转子叶片后表面的直线部分位于轮廓的背面。按照此时的定义,转子叶片的后缘由形成“厚后缘”的直线部分的中心点形成。转子叶片的前缘是转子叶片的距离后缘最远的前缘。要与前缘区分开来的是转子叶片前部区域上的一个点,流入的空气在该点处被分成沿压力侧流动的空气流和沿吸力侧流动的空气流。这就是停滞点。与前缘的位置相比,停滞点的定位取决于转子叶片的工作状态,特别取决于倾角。叶片根大体为圆形,并且可以设有用于紧固在转子毂上的组装法兰。压力侧是转子叶片的位于前缘和后缘之间的表面,其中在工作期间通常会在该表面上形成过大的压力。相应地,吸力侧是转子叶片的位于前缘和后缘之间的表面,其中在工作期间通常会在该表面上形成负压。转子叶片的纵轴线被定义成是穿过叶片根处的圆形横截面的中心点的直线,其与该圆形横截面垂直。

[0011] 转子叶片中部的空气动力学轮廓通常与飞机的翼型轮廓相同。一般而言,它具有凸起的吸力侧、前部的凸起的压力侧部分和后部的凸起或凹入的压力侧部分。一般而言,这两个指定的压力侧部分具有连续的曲率,即不存在其中切线方向出现不连续变化的结部。

[0012] 假想的参考平面包括转子叶片的纵轴线,因而沿转子叶片的纵向方向延伸。关于该平面测量的角 α_3 取决于对参考平面的选择,但不因倾角的改变而变化,因为参考平面关于转子叶片的相对位置是固定的。该参考平面既不扭曲,也不弯曲。为了清楚地选择参考平面,可以确定该平面上的第二方向,例如给定纵向位置上的转子叶片的轮廓弦的方向。

[0013] 在下文和对该示例性实施例的描述中,与纵轴线和转子轴线垂直的方向被选择为第二方向,其中倾角具有优化值以便在部分负载操作下从风中获得最佳功耗。关于部分负

载操作优化的倾角是转子叶片在部分负载操作下工作时优选的倾角。它使得能够从风中获得最佳功耗,特别是在设计叶片梢速度比下。随着风速加大,在部分负载操作中消耗的功率增大。当达到最大功率时,功率不再能够增大。如果风速继续加大,则空气动力学效率通过增大倾角而降低。功率的调节可以通过控制倾角来实现,并且系统处于所谓倾角调节操作或满负载操作状态。对于部分负载操作所优化的倾角被明确定义成是可变的,其被考虑在转子叶片的设计中。

[0014] 通过选择第二方向得到的参考平面与转子平面(亦即,大体为转子叶片在绕转子轴线旋转过程中覆盖的平面)一致。严格来讲,只有在转子叶片与转子轴线垂直的场合下能够观察到这一现象。实际上,转子叶片的纵轴线还可以朝向转子轴线方向关于该垂直线略微倾斜,因此转子叶片不在平面上旋转,而是在锥面上旋转。然而,只要在此处和在下文中提及“转子平面”,它都是指包括转子叶片在其当前旋转位置上的纵轴线和与转子叶片纵轴线及转子轴线垂直的第二方向的平面。

[0015] 本发明基于以下知识,即:空气动力性能损失特别出现在其中轮廓深度快速变化的且靠近叶片根的区域上。对于常规转子叶片几何形状而言,在叶片根附近就存在这种情况,其中在那里完成从空气动力学轮廓到大体呈圆形的横截面的过渡。在此过渡区域中,由压力侧和吸力侧之间的压降引起指向转子轴线的转子叶片后缘区域的环流。这一方面不可避免地导致涡流的形成,同时伴随所产生的阻力,另一方面导致损失升力,而升力损失使转子提供的力矩减小。

[0016] 就本发明而言,转子叶片的靠近叶片根的所谓后缘区域的环流通过在相对靠近叶片根的第二纵向部分上的、变小的角 α_3 来抵消。逐渐减小的角 α_3 与位于更外侧的第一纵向部分上的逐渐增大的角 α_3 相反。已知,流动方向随着与叶片根距离的减小而变化,因为关于叶片根的转速与风速之比变小。在常规转子叶片中,轮廓弦的方向且因此角 α_3 遵循朝向叶片根附近的转子轴线枢转离开转子平面的流动方向,使得轮廓始终最佳地与流动方向对齐。本发明背离了第二纵向部分上的这种“最佳”对齐。通过角 α_3 在第二纵向部分上朝向叶片根逐渐减小,转子叶片的内侧后部形成弯曲,其抵消叶片根附近的后缘的环流。

[0017] 简言之,所获得的效果可以与飞机业中公知的“小翼”的效果相比拟,其中所述“小翼”即为与机翼纵向方向成对角线的外机翼端上的表面,其在部分地防止机翼末梢的环流。然而,由于旋转运动,转子叶片处的流动状态变得更为复杂,因此常常不能应用飞机业的知识。此外,这种特定的转子叶片几何形状不位于叶片梢,而是靠近叶片根。

[0018] 在一个实施例中,角 α_3 在第一纵向部分上单调增大,并且/或者在第二纵向部分上单调减小。优选地,角 α_3 在第一纵向部分上严格单调增大,并且/或者在第二纵向部分上严格单调减小。优选地,角 α_3 还可以一直(即不间断地)减小或增大。因此,转子叶片的后缘均匀地演变,这在空气动力性能方面是有利的。

[0019] 根据本发明,第一纵向部分起始于位于叶片梢附近的第一横截面处,并且延伸至与叶片根的距离小于转子叶片长度的25%的第二横截面。第二横截面与叶片根的距离也可以小于转子叶片长度的20%,或者甚至小于该长度的15%。因此,具有朝向叶片根方向增大的角 α_3 的第一纵向部分在转子叶片长度的大部分上延伸。在此纵向部分上,关于空气流动方向调节转子叶片的倾角以获得最佳升力。具有减小的角 α_3 的第二纵向部分仅在剩下的靠近叶片根的转子叶片纵向部分上。

[0020] 在一个实施例中,第二纵向部分在第二横截面处邻接第一纵向部分,其中角 α_3 在第二横截面处具有最大值。借助角 α_3 的这种演变,转子叶片的后缘进行均匀弯曲且有利于空气动力性能的演变。

[0021] 在一个实施例中,第二纵向部分沿叶片根方向延伸至第三横截面,所述第三横截面被设置在转子叶片的在有利于空气动力性能的轮廓结束的纵向位置上。特别地,可以在此第三横截面上完成从有利于空气动力性能的轮廓到叶片根处的圆形横截面的过渡。当从叶片根处开始看时,其周围的环流被本发明阻止或部分减弱的转子叶片的后缘正好在此纵向位置处开始。

[0022] 在一个实施例中,第三横截面与叶片根相距 0.5m 或更远。在叶片根和第三横截面之间,转子叶片可以具有圆形横截面,它能够特别地方便转子叶片的运输和组装。传送带能够在此区域上绕过转子叶片,从而不必担心破坏空气动力学轮廓。

[0023] 在一个实施例中,如果转子叶片具有对于部分负载操作所优化的倾角,则角 α_1 在与转子平面垂直且与转子叶片的纵轴线平行的平面上被定义于转子平面和第三横截面上后缘处的压力侧的切面之间,并且角 α_1 落在 30-90 度的范围内。角 α_1 被定义在与转子平面垂直且与转子叶片的纵轴线平行的平面上。在第三横截面区域中在压力侧环绕转子叶片的空气沿着后缘区域上的切面流动。角 α_1 对于转子叶片抵消围绕后缘的叶片根侧环流的能力非常重要。实验已经表明通过介于 30-90 度之间的角 α_1 能够达到需要的效果。

[0024] 在一个实施例中,如果转子叶片具有对于部分负载操作所优化的倾角,角 α_2 在转子平面上被定义于转子叶片的纵轴线和转子叶片的后缘在第三横截面处的切线在转子平面上的投影之间,并且角 α_2 落在 25-90 度的范围内。角 α_2 也对于叶片根附近的后缘区域中的气流的展开非常重要。实验已经表明通过介于所述范围内的角 α_2 能够获得良好的结果。

[0025] 在一个实施例中,压力侧后部在第二纵向部分上双凹入弯曲。双凹入的弯曲指的是凹入弯曲存在于两个不同方向上,例如第一凹入弯曲和第二凹入弯曲,其中第一凹入弯曲产生横截面上压力侧部分的弯曲演变,第二凹入曲率产生与转子平面垂直且与纵轴线平行的剖面上的压力侧部分的弯曲演变。双凹入弯曲的压力侧部分特别适于避免围绕叶片根侧后缘形成环流。

[0026] 在一个实施例中,锐角形成于后缘附近的压力侧在第三横截面处的切面和后缘附近的吸力侧在第三横截面处的切面之间。因此依据昆塔条件,后缘区域的空气平滑流动离开,避免围绕后缘形成环流。

[0027] 在一个实施例中,吸力侧后部在第二纵向部分上近似直线地延伸,吸力侧后部沿转子叶片的横截面方向上与压力侧的双凹入弯曲部分相反。特别地,吸力侧的这一部分可以单凹入弯曲。根据模型计算,沿该横截面方向直线前进特别有利于空气动力性能,此外它便于生产且在刚性方面有利。

附图说明

[0028] 下面基于在两个附图中示出的示例性实施例对本发明进行更加详细的解释。其中:

[0029] 图 1 是根据本发明的转子的吸力侧的俯视图;

- [0030] 图 2 是根据现有技术的常规转子叶片的吸力侧的俯视图；
- [0031] 图 3 是图 1 的转子叶片的一部分的透视图；
- [0032] 图 4 是图 1 的转子叶片的一部分的另一透视图；
- [0033] 图 5 是图 1 的转子叶片的一部分的后缘的俯视图；
- [0034] 图 6 是具有额外强调的根据图 5 的俯视图；
- [0035] 图 7 是图 1 的转子叶片的一部分的压力侧的俯视图；
- [0036] 图 8 是图 1 的转子叶片的一部分的吸力侧的俯视图；
- [0037] 图 9 是图 1 的转子叶片在距离转子轴线 2 米处的横截平面上的横截面；
- [0038] 图 10 是图 1 的转子叶片在距离转子轴线 2.5 米处的横截平面上的横截面；
- [0039] 图 11 是图 1 的转子叶片在距离转子轴线 3 米处的横截平面上的横截面；
- [0040] 图 12 是图 1 的转子叶片在距离转子轴线 3.5 米处的横截平面上的横截面；
- [0041] 图 13 是图 1 的转子叶片在距离转子轴线 4 米处的横截平面上的横截面；
- [0042] 图 14 是图 1 的转子叶片在距离转子轴线 5 米处的横截平面上的横截面；
- [0043] 图 15 是图 1 的转子叶片在距离转子轴线 6 米处的横截平面上的横截面；
- [0044] 图 16 是图 1 的转子叶片在距离转子轴线 7 米处的横截平面上的横截面；
- [0045] 图 17 是图 1 的转子叶片在距离转子轴线 8 米处的横截平面上的横截面；
- [0046] 图 18 是图 1 的转子叶片在距离转子轴线 9 米处的横截平面上的横截面；
- [0047] 图 19 是图 1 的转子叶片在距离转子轴线 10 米处的横截平面上的横截面；
- [0048] 图 20 是在共同的图示中的图 9-19 的横截面；
- [0049] 图 21 是根据图 13 的转子叶片的横截平面上的流动线路的图示；
- [0050] 图 22 是具有壳状附件的根据本发明的转子叶片的另一示例性实施例的横截面。
- [0051] 在所有的附图中，相同的附图标记被用于相同部分。

具体实施方式

[0052] 在图 1 中，整个转子叶片在吸力侧的俯视图中示出。它从叶片梢 10 到叶片根 12 的长度刚好小于 50 米。在叶片根 12 处，转子叶片具有圆形横截面。叶片根 12 具有圆形安装法兰（未在图中示出），该法兰被装配到转子毂上。于是，叶片根 12 与转子轴线间隔约 1.5m。

[0053] 在其长度的主要部分上，转子叶片的横截面具有空气动力学轮廓，特别是在转子叶片的中部 14。在图 1 的图示中，转子叶片的前缘 16 主要位于所示转子叶片的右边缘上；后缘 18 由转子叶片的左边缘形成。

[0054] 在转子叶片的纵向部分上设有附件 20，其构成该纵向部分上的后缘 18。附件 20 的形状在下面详细描述。

[0055] 图 2 示出了根据现有技术的常规转子叶片，它能够装配附件 20 从而形成根据图 1 的本发明的转子叶片。就本发明通过将附件 20 与例如根据图 2 的常规转子叶片连接来实现而言，本申请中使用的术语“常规转子叶片”构成转子叶片的其它或其余部件。附件 20 可以例如粘合和 / 或螺纹拧紧到这些其它部件上。

[0056] 图 1 与图 2 的比较显示根据图 1 的具有附件 20 的本发明的转子叶片在其他方面尤其在其轮廓深度的演变方面不同于根据图 2 的常规转子叶片。在根据图 2 的常规转子叶

片中,轮廓深度先是从叶片梢 10 开始朝向叶片根 12 方向以单调的方式增大,直至在标记为 22 的纵向位置上达到最大轮廓深度。从该纵向位置 22 开始,轮廓深度又朝向叶片根 12 方向减小,其中空气动力学轮廓在标记为 24 的第三横截面处没入圆形横截面,并且在叶片根 12 区域也具有该圆形横截面。轮廓深度的过渡沿着可连续微分的曲线连续进行。在根据图 1 的本发明中,从叶片梢 10 到具有最大轮廓深度的纵向位置 22 的轮廓深度演变与图 2 相同。然而,从纵向位置 22 到叶片根,轮廓深度先是在纵向部分 26 中保持恒定,以便随后减小至圆形横截面。接着在第三横截面 24 处完成从空气动力学轮廓到圆形横截面的过渡,其中该位置处的轮廓深度在形成结部时发生变化。因此,描述后缘 18 的曲线在该点处不可连续微分。

[0057] 轮廓深度保持恒定的纵向部分 26 大约在介于与叶片根相距转子叶片长度的 10% 的第一距离和与叶片根相距转子叶片长度的约 20% 的第二距离之间的区域上延伸。

[0058] 在图 3 的透视图中能够更准确地辨别附件的形状。转子叶片的示出部分起始于叶片根 12 处,并且近似示出了转子叶片的叶片根侧。与附图 4-8 一样,该图来自于气动模型的计算,其中转子毂由球体 28 表示。该球体 28 的一部分还在图 3-8 中示出,但不属于转子叶片。人们能够看到图 3 中的转子叶片在叶片根 12 区域上的圆形横截面,并且在附图的右边缘能够感受到转子叶片的空气动力学轮廓,其与飞机的支承面的轮廓大体相符。在该图示中,转子叶片的位于上面的那侧为吸力侧 30;压力侧 32 处于底侧,并且在图 3 中只部分可见。

[0059] 吸力侧 30 的一部分和压力侧 32 的一部分由附件 20 形成。因此,附件 20 包括单独的凸起弯曲的吸力侧附加部分 34 和双凹入弯曲的压力侧附加部分 36。吸力侧附加部分 34 和压力侧附加部分 36 通过形成锐角在后缘 18 处汇合。吸力侧附加部分 34 在曲线 38 处没入吸力侧 30 的由转子叶片的其余部件形成的部分中。压力侧附加部分 36 在另一条曲线 40 处没入压力侧 32 的由转子叶片的其余部件形成的部分中。从叶片根 12 处看去,附件 20 起始于曲线 38 和 40 以及后缘 18 汇合的点 42。该附件结束于曲线 38 和 40 以及后缘 18 再次汇合的另一个点 44。点 42 形成附件 20 的叶片根侧末端。点 44 形成附件 20 的叶片梢侧末端。在附图标记 46 处,转子叶片的其余部件具有厚的后缘,即在该区域上,转子叶片的其余部件的后缘由与流动方向大体垂直的表面形成。然而,在附件 20 区域上,该表面不形成转子叶片的后缘 18,其由附件 20 形成。

[0060] 可以在新型转子叶片的设计中已经考虑了根据本发明的转子叶片的几何形状,而无需附件 20 的帮助。在这种情况下,例如,上部和下部壳体可分别被生产成具有吸力侧附加部分 34 和压力侧附加部分 36 的单个件。

[0061] 图 4 示出了图 3 中的转子叶片部分的另一透视图。可以很好地看到吸力侧附加部分 34 的叶片根侧部分,其在标出附件 20 的叶片根侧末端的点 42 处急剧变细,点 42 给附件 20 的叶片根部侧端作了标记。还能看出曲线 38 被相对于轮廓深度向后相对较远地布置,所述曲线 38 标记了吸力侧附加部分 34 到吸力侧 30 的由转子叶片的其余部件形成的部分的过渡。曲线 38 在转子叶片的各个纵向位置上均清楚地位于轮廓的最大厚度位置后方。

[0062] 在图 5 的俯视图中可以看到转子叶片的后缘 18。在它由附件 20 形成的情况下,通向后缘 18 的吸力侧附加部分 34 与附图平面垂直,因此消失在后缘 18 后面。另一方面,可以清楚地看到压力侧附加部分 36。还可以看到附件 20 在点 42 处的叶片根侧末端和附件

20 在点 44 处的叶片梢侧末端。在图 5 的图示中,附图平面与转子平面垂直,其中根据对于部分负载操作优化的倾角来选取转子叶片的倾角。在附图平面上,即在与转子平面垂直并且与转子叶片的纵轴线平行的平面上测量引入角 α_1 。它被定义在用附图标记 48 指示方向的转子平面和相切面 50 之间。相切面 50 是在第三横截面 24 处、亦即大体在点 42 处形成于压力侧、即后缘 18 上的。角 α_1 有利地在 30-90 度之间。在所示的示例性实施例中,它约为 45 度。

[0063] 图 6 示出了与图 5 相同的视图;然而,重点示出了后缘 18 的演变。在所示附图平面(即与转子平面垂直并且与转子叶片的纵轴线平行的平面)上的投影中,后缘 18 先是从叶片梢 10 开始以严格单调的方式上升,直到其到达它在第二横截面 52 处的最高点,然后朝向叶片根 12 方向以严格单调的方式下降至第三横截面 24。在第二横截面 52 和第三横截面 24 之间,后缘 18 的演变且因此轮廓弦的排列未遵循进一步朝向转子轴线方向连续转动的流动方向。遵循这种转动的流动方向的后缘近似如附图标记 54 所示那样演变,例如对于上述文献 W02004/097215A1 中公开的转子叶片而言就是这样。

[0064] 图 7 示出了在前面附图中示出的根据本发明的转子叶片的部分的另一俯视图。附图平面为转子平面,其中仍是根据关于部分负载操作的优化选用倾角。该视图集中在转子叶片的压力侧 32。能够很好地看到其中转子叶片的轮廓深度保持不变的纵向部分 26。

[0065] 在该附图平面(即转子平面)上测量引入角 α_2 。它被定义在与线 56 平行的转子叶片的纵轴线和转子叶片的后缘在第三横截面 24 处的切线 58 在转子平面上的投影之间。角 α_2 有利地在 25-90 度之间。在所示的示例性实施例中,角 α_2 约为 45 度。相比于根据图 2 的常规转子叶片,后缘 18 流畅进入转子叶片的圆柱形的叶片根侧部分,从而在第三横截面 24 区域处形成一角,而不是可连续微分的曲线。

[0066] 图 8 基于吸力侧 32 的俯视图详细示出了被选择用于图 9-19 的剖面。在这些附图中示出的横截面主要覆盖其中转子叶片具有特定轮廓的设有附件 20 的转子叶片纵向部分。图 9 中的横截面沿着上述第三横截面 24 的纵向位置(亦即,附件 20 的叶片根侧末端)延伸。图 10-19 中的其它横截面与叶片根间隔逐渐增加的距离,其中图 19 中的横截面位于附件 20 的叶片梢侧末端附近,即在点 44 附近。在附件 20 且因此具有特定轮廓的转子叶片纵向部分结束的点 44 上,相对轮廓厚度为 60%或更少。点 44 与叶片根 12 相距转子叶片长度的 10%或更多。

[0067] 具有特定轮廓的转子叶片纵向部分起始于与叶片根 12 相距至少 0.5 米(在该示例中约为 1 米)的第三横截面 24 处。在图 8 中也能够看到曲线 38,吸力侧附加部分 34 在该曲线处没入由转子叶片的其它部件形成的吸力侧 30 的部分。

[0068] 首先基于图 11 解释指定的纵向部分区域中的特定轮廓的特征。在图 11 的横截面中,后缘 18 的位置和近似位于所述横截面中间的转子叶片的纵轴线 60 的位置被示出。用直线 62 连接后缘 18 和纵轴线 60。转子叶片的前缘 16 在该横截面中用十字形标出。还引入了轮廓的前停滞点 64 和所设计的流动方向 66,所述流动方向 66 由指向前停滞点 64 的线指示。还引入转子平面 68 作为参考面。转子平面 68 包括纵轴线 60,并且与用虚线表示的转子轴线 70 垂直。可以理解,转子轴线 70 位于所示剖面之外。

[0069] 图 11 中示出的轮廓具有凸起的吸力侧部分 72,其从前缘 16 延伸至吸力侧的结部点 74。吸力侧附加部分 76 沿直线从结部点 74 延伸至后缘 18。轮廓的压力侧由凸起的压

力侧部分 78 和凹入的压力侧附加部分 82 形成,其中所述部分 78 从前缘 16 延伸至压力侧的拐点 80,所述部分 82 从压力侧的拐点 80 延伸至后缘 18。

[0070] 凹入的压力侧附加部分 82 在后缘 18 区域上的切线大体在转子平面 68 的方向上。吸力侧附加部分 76 也沿着转子平面 68 的方向延伸。在吸力侧附加部分 76 和压力侧附加部分 82 邻近后缘 18 的端部之间形成锐角。

[0071] 在作为参考平面的转子平面 68 和直线 62 之间定义角 α_3 。利用角 α_3 描述后缘 18 在该横截面上的位置。

[0072] 这些指定特征也存在图 9-19 的其余横截面中,并且被标以相同的附图标记。在图 12 中还画出了从前缘 16 延伸至后缘 18 的轮廓弦 84。还示出了压力侧拐点 80 在轮廓弦 84 上的投影。沿轮廓弦 84 测量的、标为 86 的从压力侧拐点 80 到前缘 16 的距离 86 约为图 12 中示出的转子叶片的纵向位置处的轮廓深度的 75%。

[0073] 角 α_3 在图 9-19 中示出的横截面的纵向位置处近似取下列值:图 9:-22.5°,图 10:-2°,图 11:8°,图 12:13°,图 13:15.5°,图 14:16°,图 15:12°,图 16:7°,图 17:3.5°,图 18:2°,图 19:0°。因此,角 α_3 大约在图 14 中的横截面的纵向位置处取最大值。该纵向位置对应第二横截面 52。从叶片梢附近的纵向位置(未示出)开始,角 α_3 朝向叶片根方向严格单调增大,直至到达第二横截面 52 的纵向位置,并且在第二横截面 52 处达到最大值,然后严格单调减小至第三横截面 24。

[0074] 图 19 中的横截面位于转子叶片的靠近附件 20 的叶片梢侧末端的纵向位置上。在该位置上,相对轮廓厚度约为 50%。

[0075] 在图 17、18 和 19 中也能看到转子叶片的其余部件的“厚后缘”,并且它被标以附图标记 46。应将它与转子叶片的后缘 18 区分开。

[0076] 在图 20 中示出了图 9-19 的横截面,其中纵轴线 60 相互重叠。在该图示中,可以看到从如图 9 所示的近似圆形的横截面到图 19 中的已与机翼状空气动力学轮廓大体相符的横截面的过渡。还可以看到设计的流动方向 66,其进一步沿着转子轴线 70 的方向逐渐靠近叶片根地转动方向。箭头 85 示出了设计的流动方向 66 的这种方向转动。另外,从图 20 的图示中可以了解后缘 18 的弯曲演变,其在图 14 的横截面上达到最大。

[0077] 图 21 在横截面图中示出了工作期间围绕转子叶片形成的气流。很容易看到前停滞点 64,空气在该点处分成在吸力侧上流动的部分和在压力侧上流动的部分。气流在压力侧区域靠近轮廓。在后缘 18 上,它再次以关于部分负载操作优化的倾角沿转子平面方向平滑流动。在大约从凸起的吸力侧部分 72 的点 86 开始的直线吸力侧附加部分 76 上方存在分流,并且形成紊流区 88。分流线 90 将紊流区 88 与在区域 92 中与吸力侧附加部分 76 距离更远的重新以分层的方式前进的气流分开。分流线 90 近似与吸力侧附加部分 76 和转子平面平行地前进。

[0078] 图 22 示出了转子叶片的另一示例性实施例的横截面。该横截面具有已经解释过的那些特征,并且它们被标以与第一示例性实施例中相同的附图标记。具有吸力侧附加部分 76 和压力侧附加部分 82 的附件 20 由壳状部件形成。该壳状部件具有均匀的厚度,使得吸力侧附加部分 76 和压力侧附加部分 82 相互间隔恒定的距离。在压力侧拐点 80 处以连续的曲率完成从附件 20 到转子叶片的其余部件的过渡,并且在吸力侧结部点处以形成指向内侧结点的方式完成从附件 20 到转子叶片的其余部件的过渡。

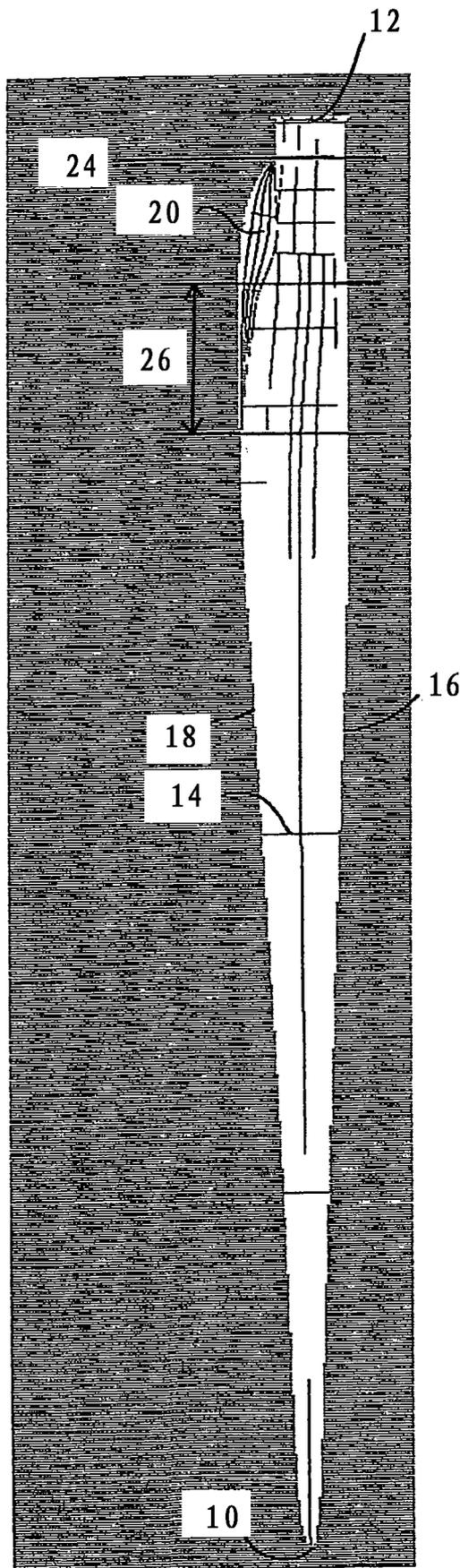


图 1

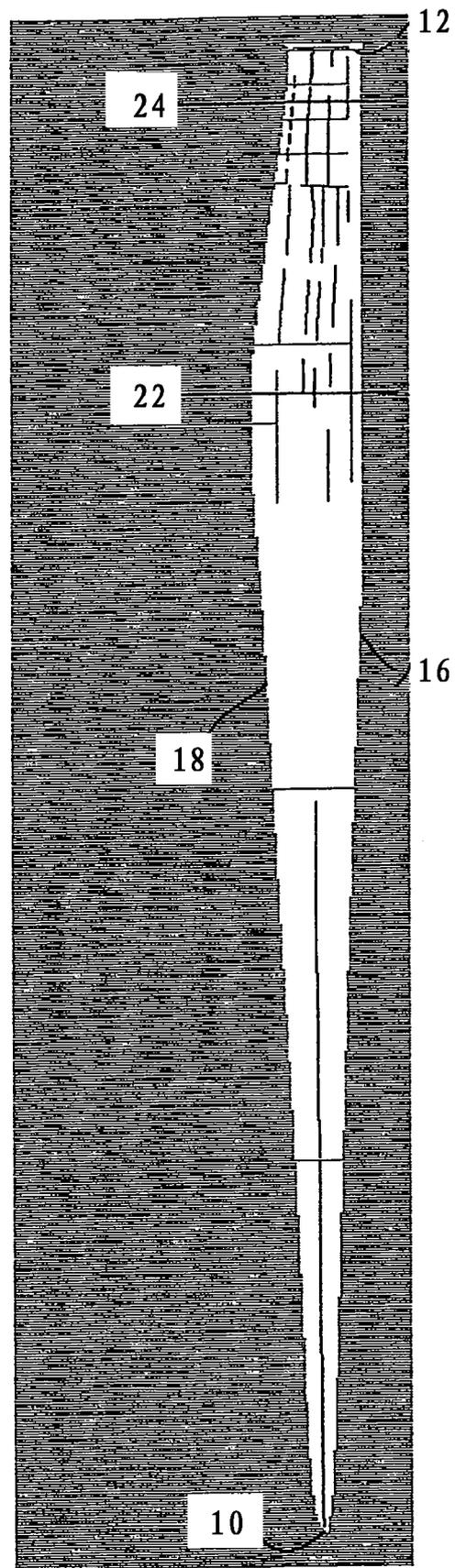


图 2

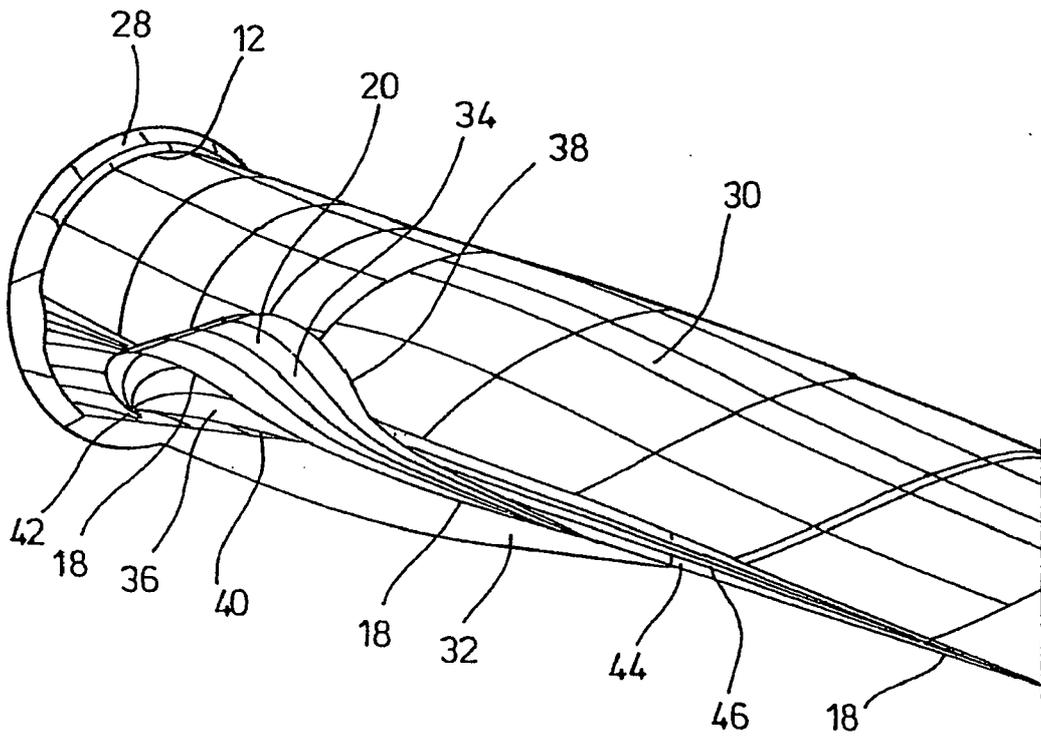


图 3

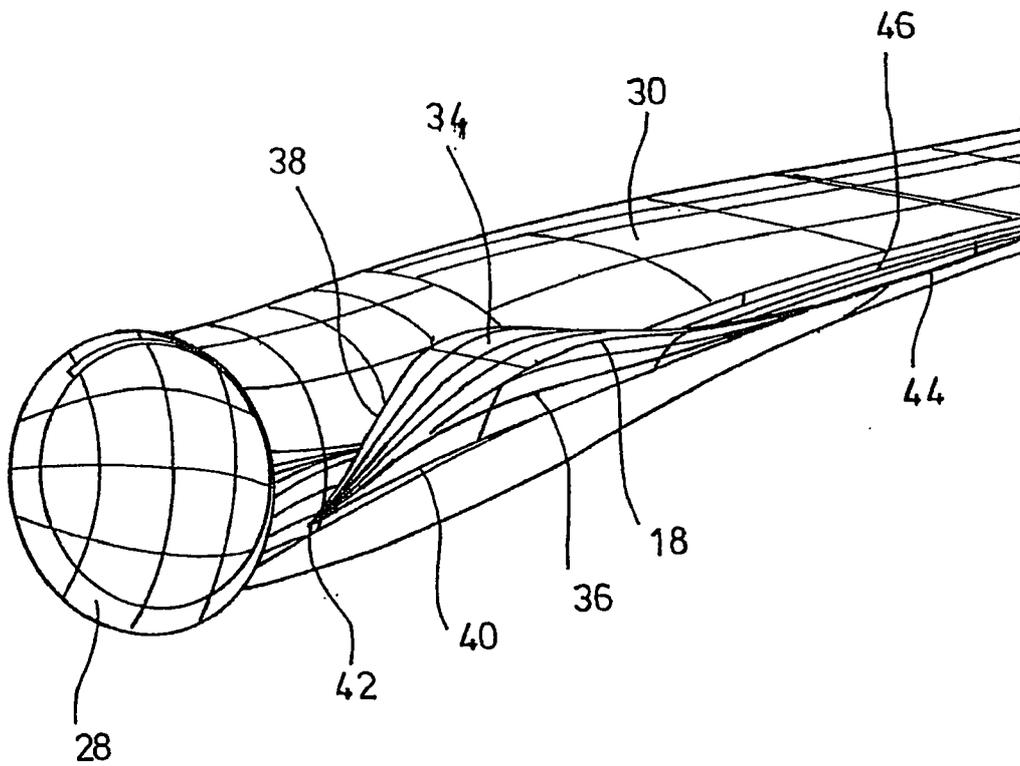


图 4

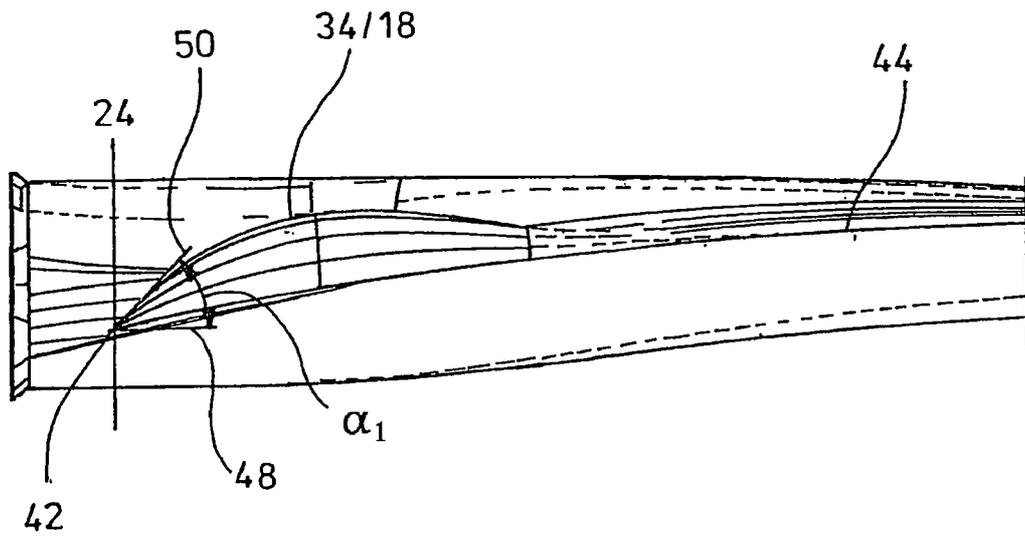


图 5

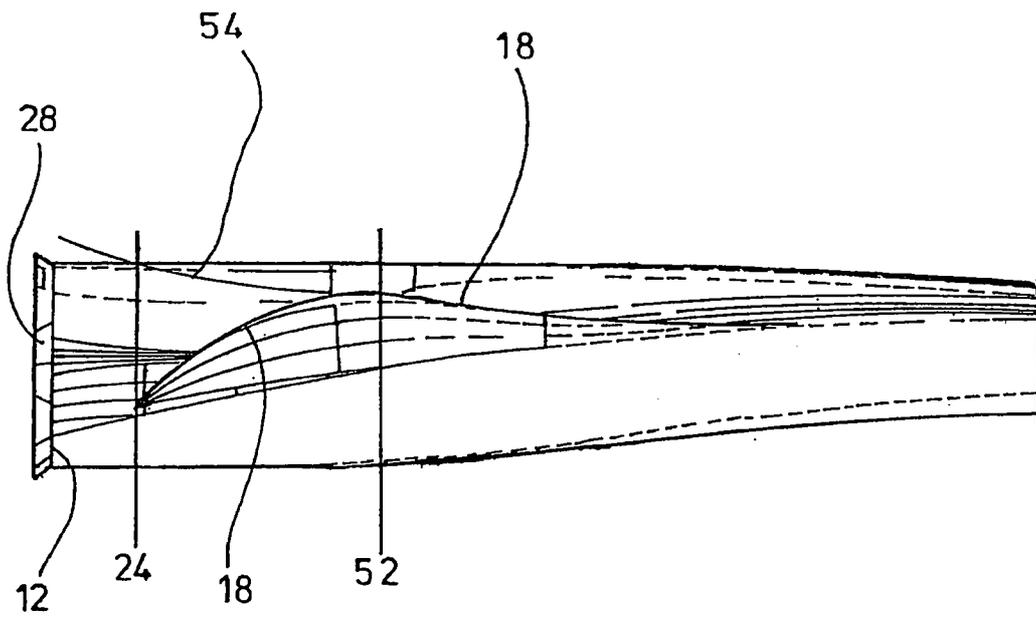


图 6

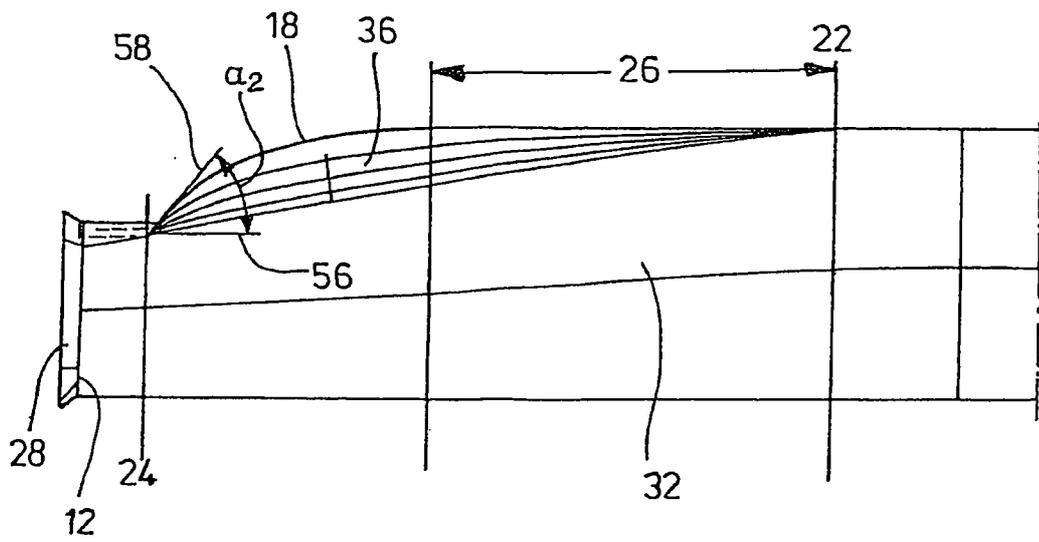


图 7

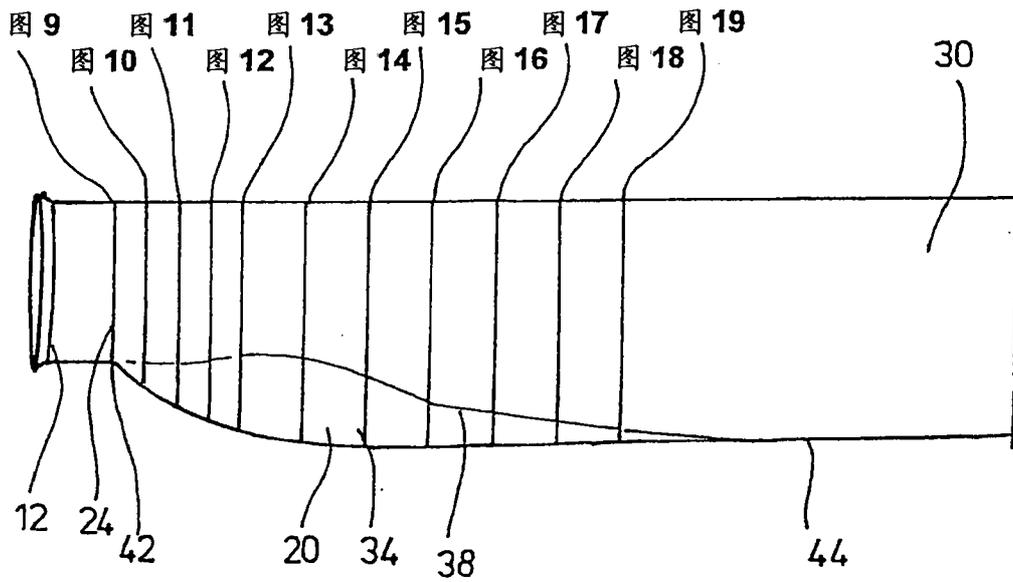


图 8

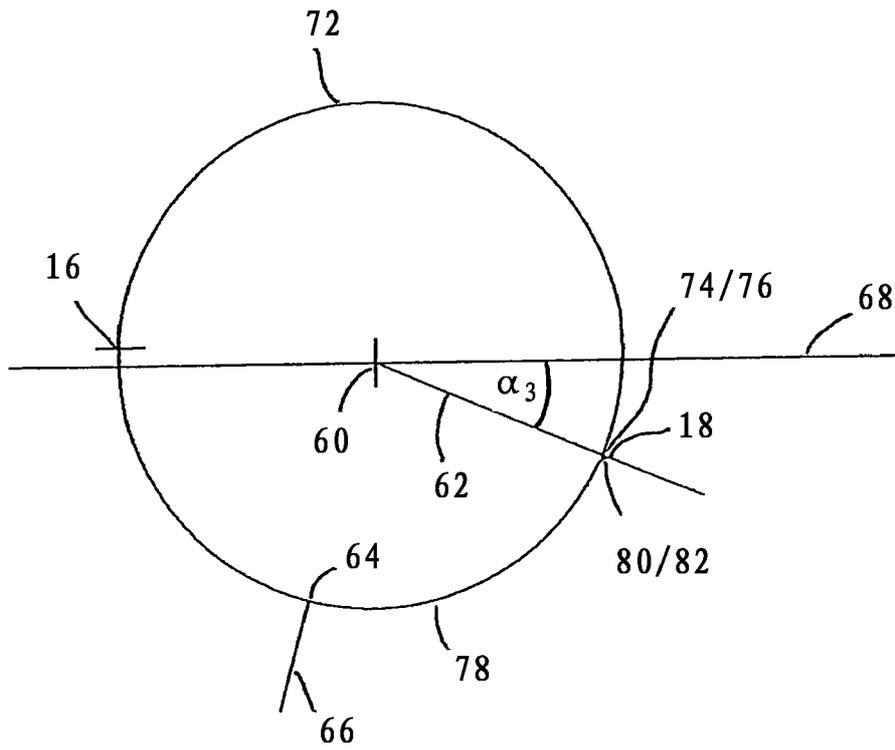


图 9

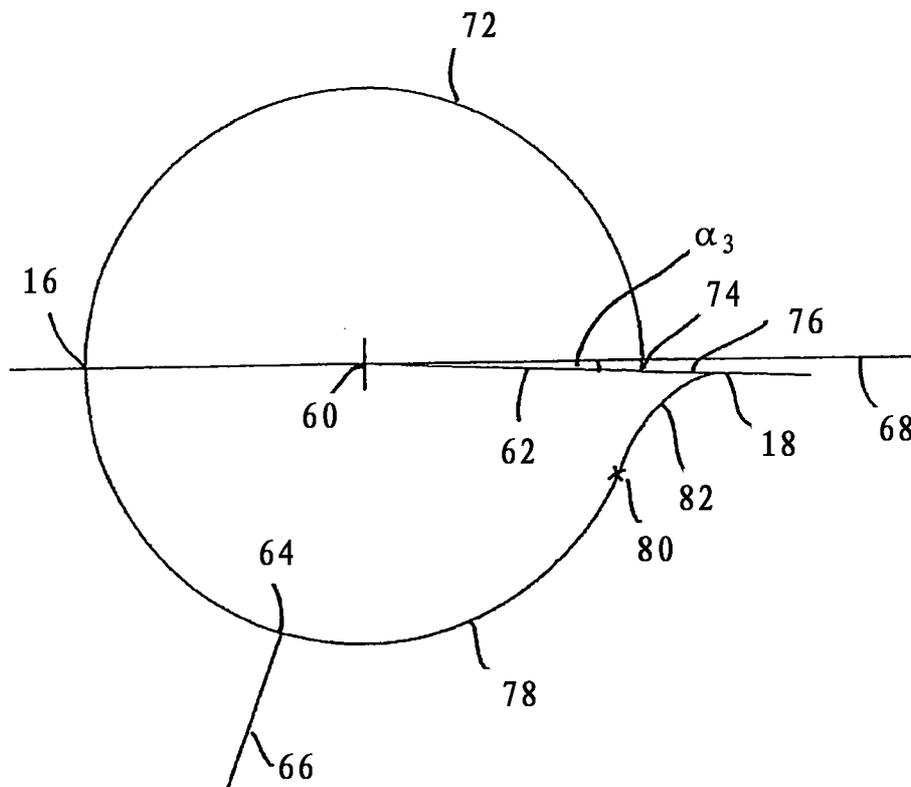


图 10

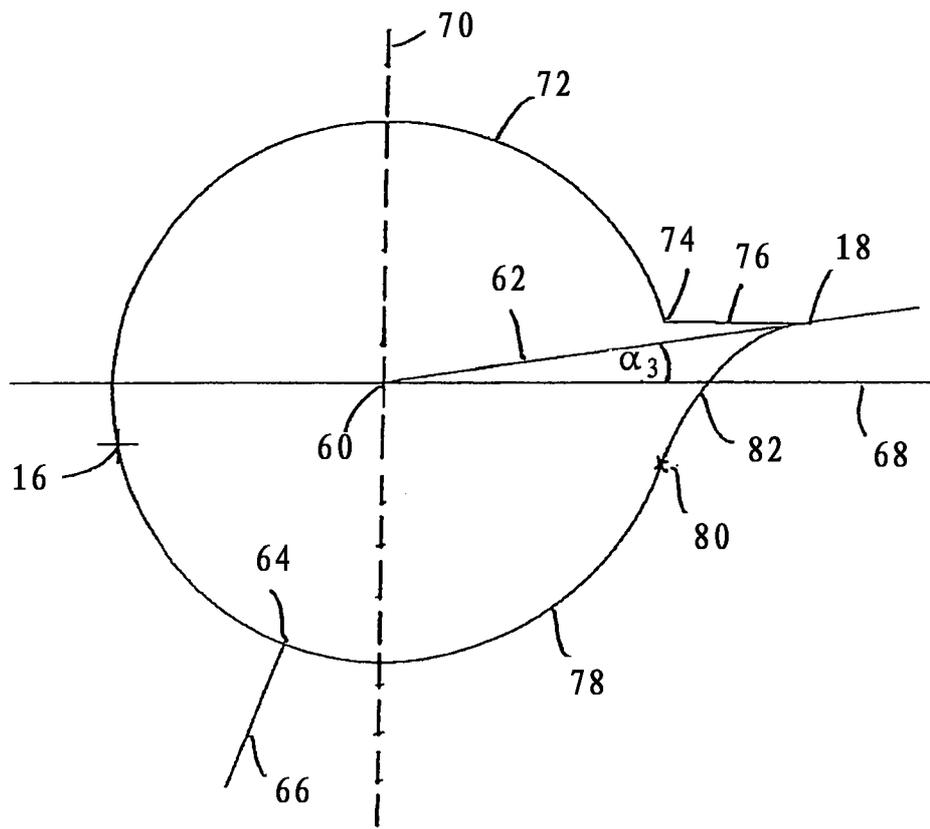


图 11

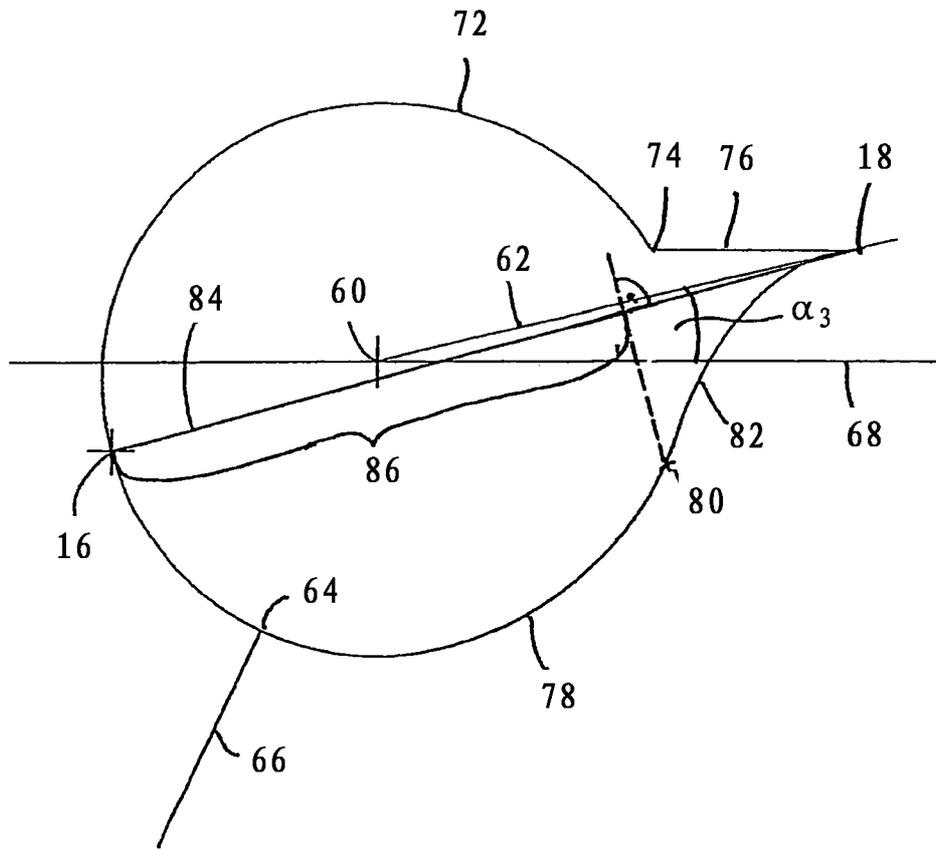


图 12

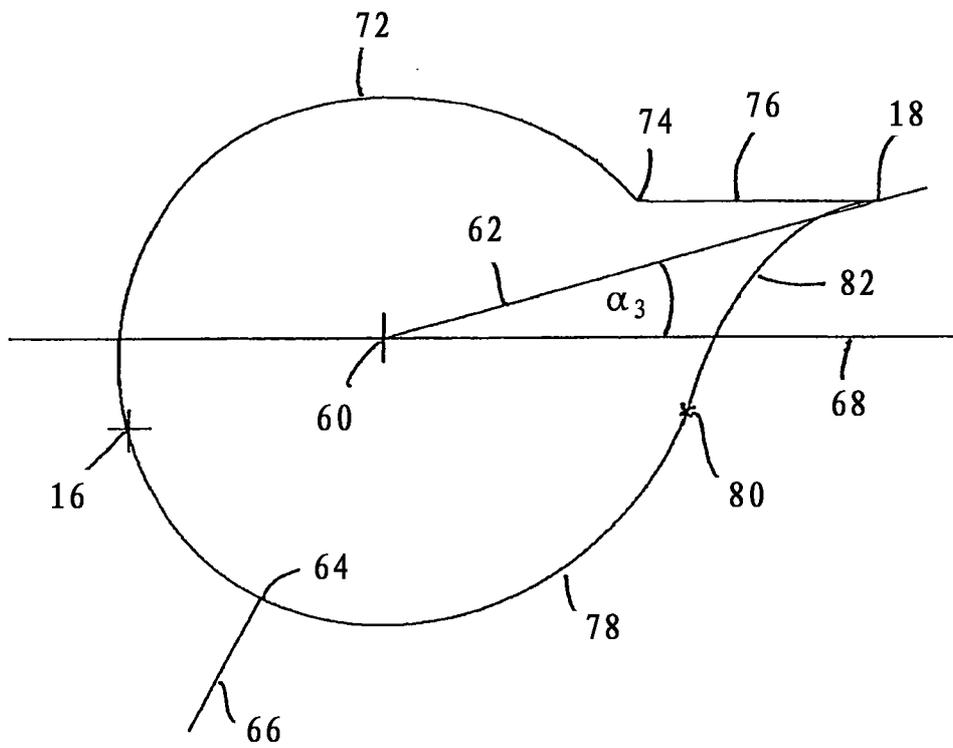


图 13

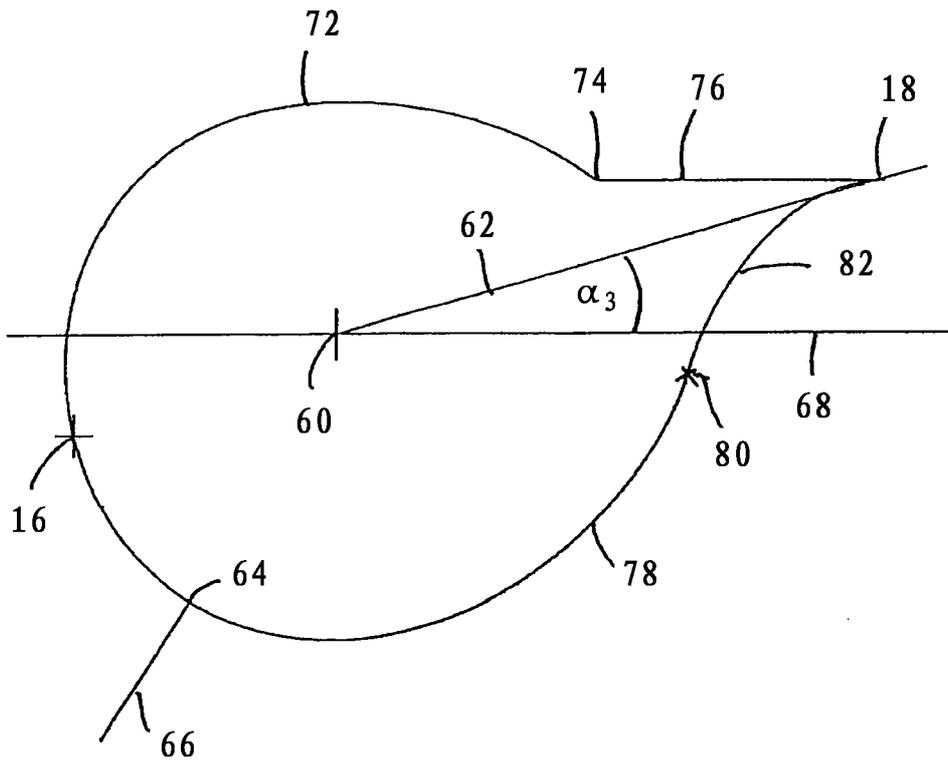


图 14

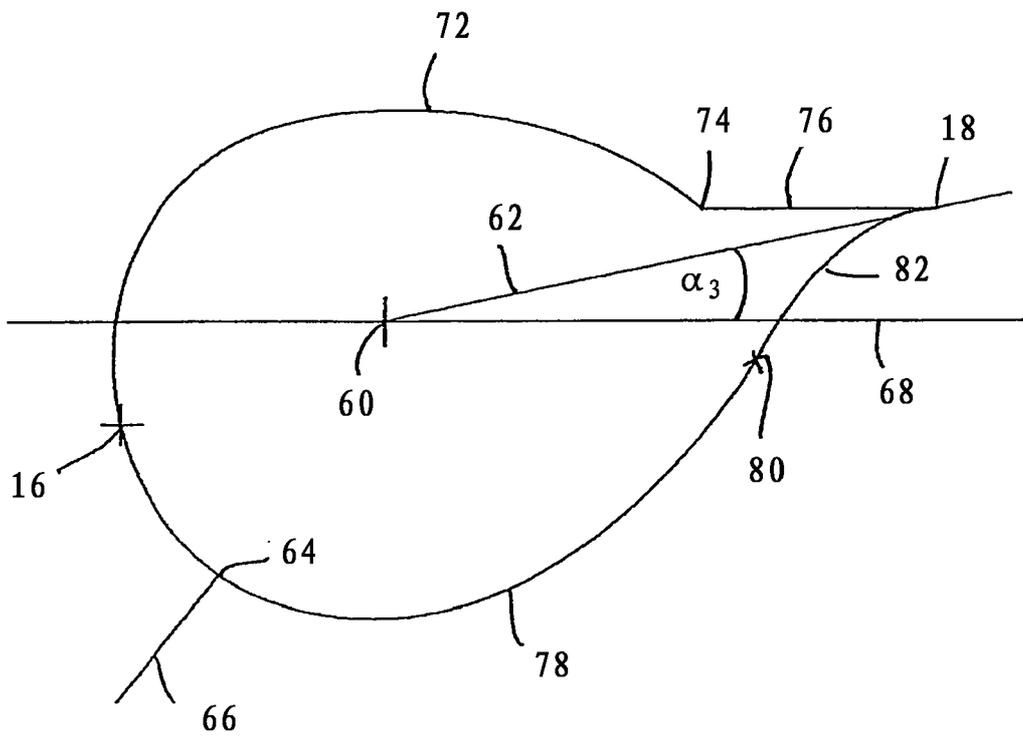


图 15

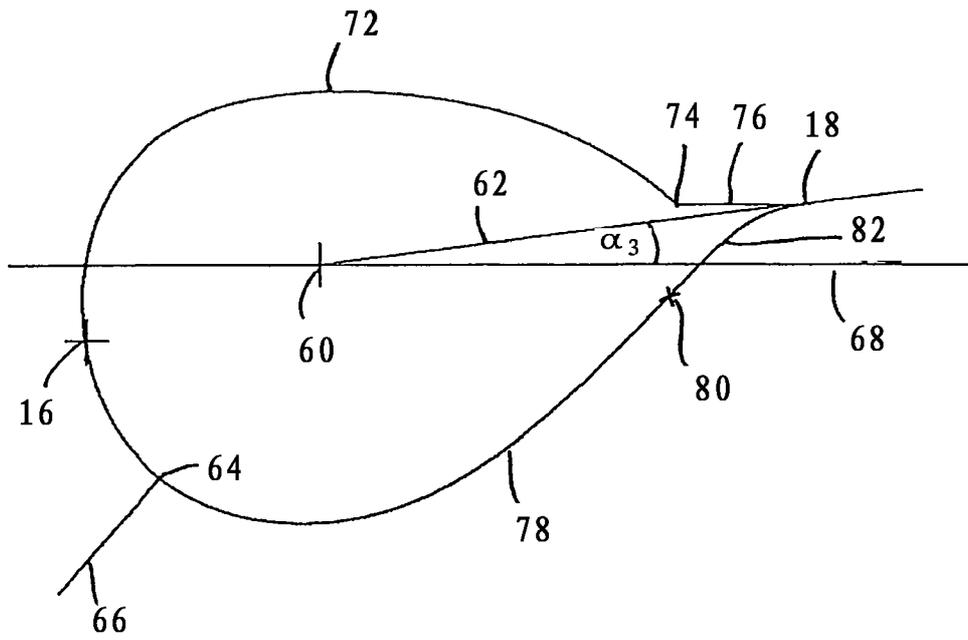


图 16

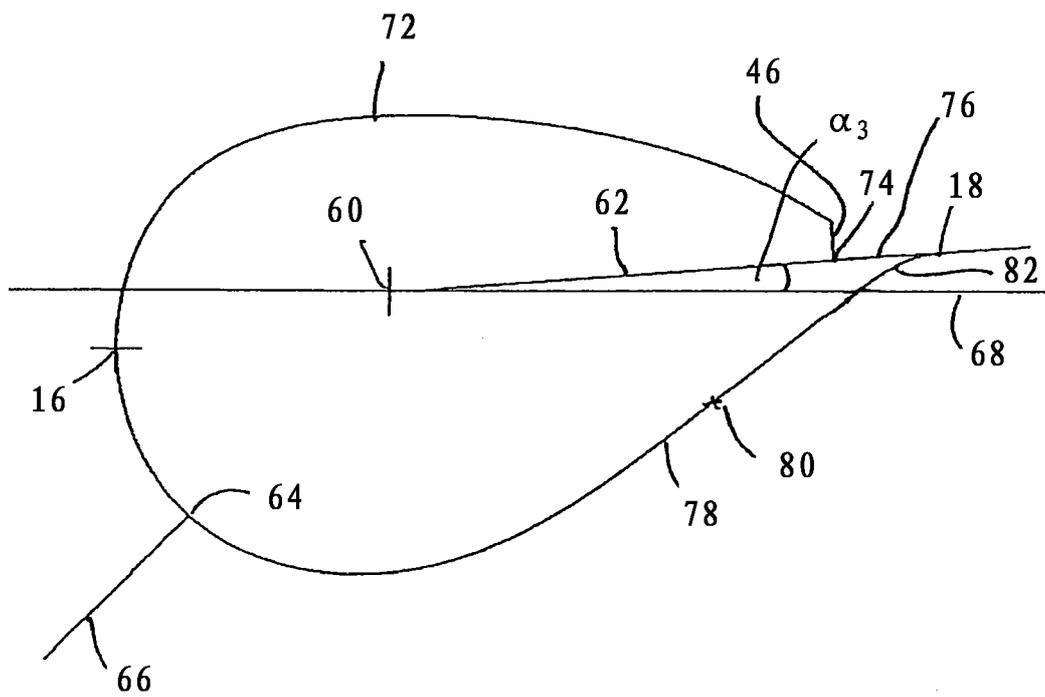


图 17

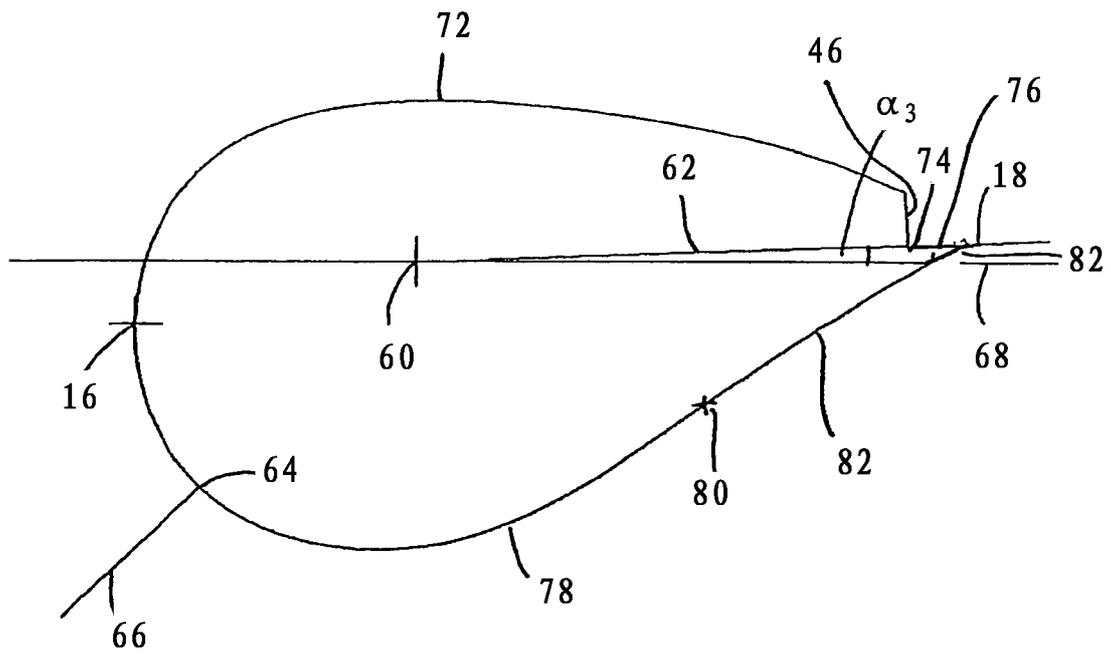


图 18

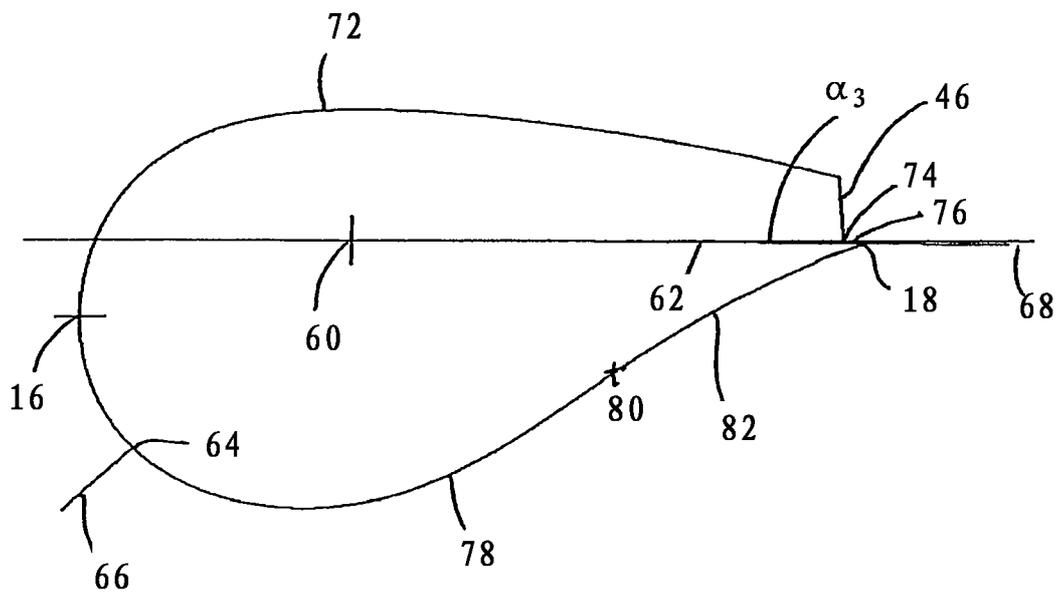


图 19

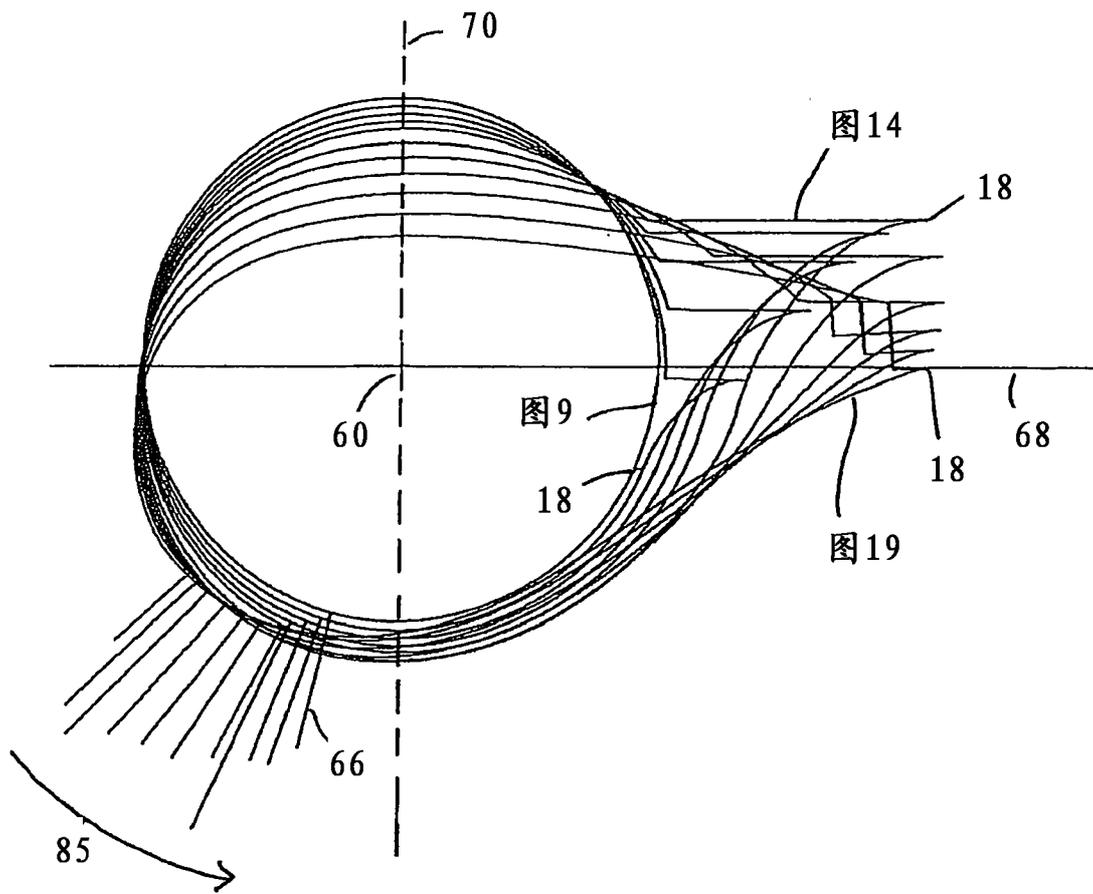


图 20

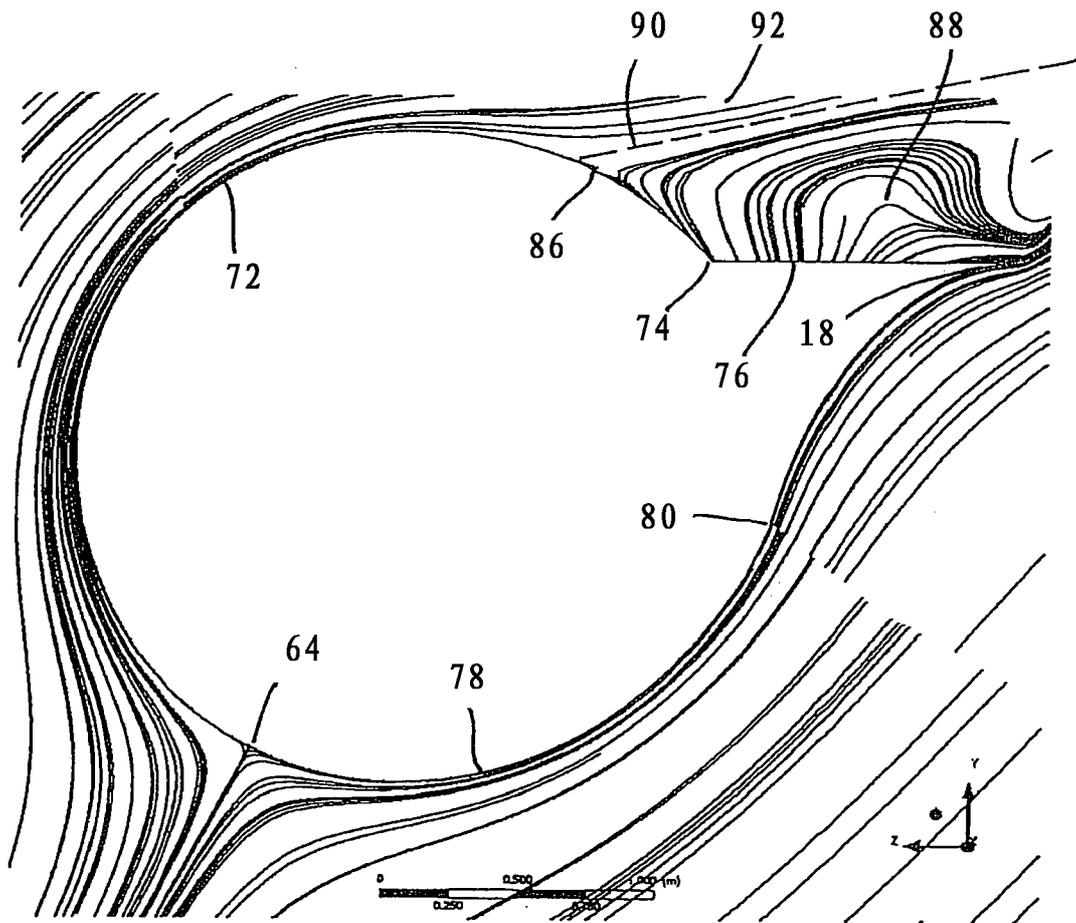


图 21

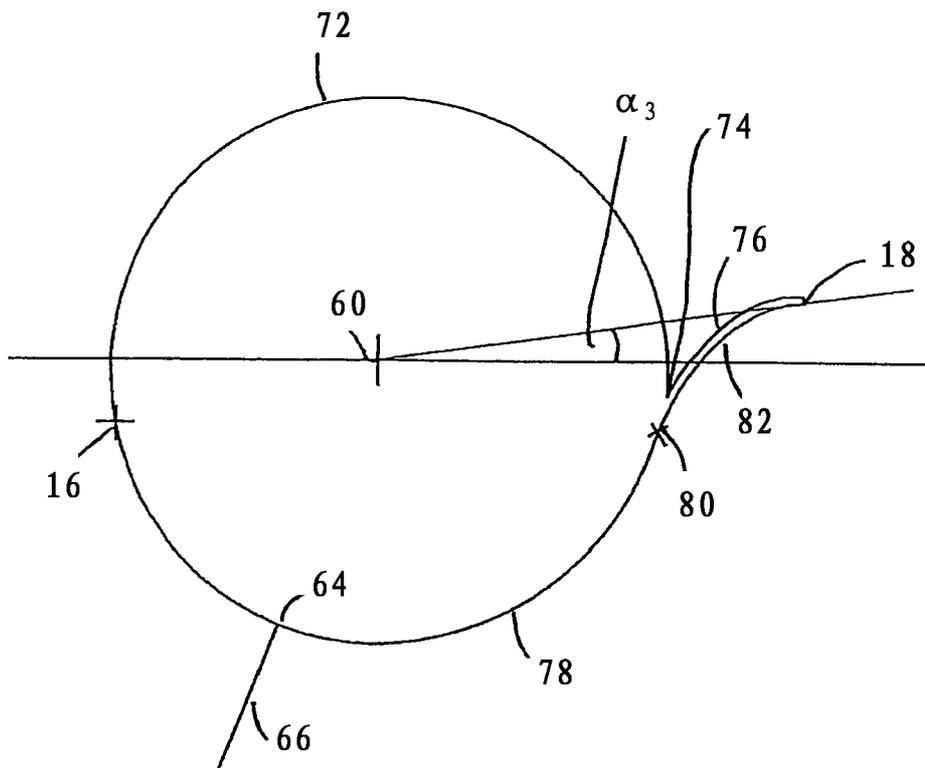


图 22