



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109690237 B

(45) 授权公告日 2023. 12. 12

(21) 申请号 201780055466.3
 (22) 申请日 2017.09.08
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 109690237 A
 (43) 申请公布日 2019.04.26
 (30) 优先权数据
 1658343 2016.09.08 FR
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日
 2019.03.08
 (86) PCT国际申请的申请数据
 PCT/FR2017/052386 2017.09.08
 (87) PCT国际申请的公布数据
 W02018/046863 FR 2018.03.15
 (73) 专利权人 赛峰飞机发动机公司
 地址 法国巴黎
 (72) 发明人 多米尼克·莫里斯·杰拉德·贝尼翁
 安托万·贝尔森
 (74) 专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有限公司 11270
 专利代理人 江海 姚开丽

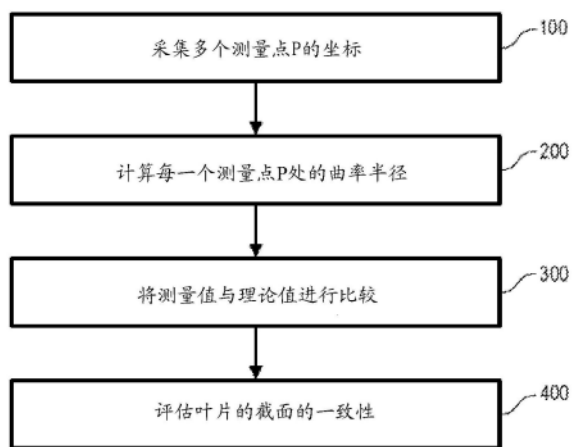
(51) Int. Cl.
 G01B 11/00 (2006.01)
 G01B 11/24 (2006.01)
 (56) 对比文件
 CN 101739488 A, 2010.06.16
 CN 102494657 A, 2012.06.13
 CN 102564347 A, 2012.07.11
 CN 102937426 A, 2013.02.20
 CN 103411574 A, 2013.11.27
 CN 104864829 A, 2015.08.26
 DE 19527147 A1, 1996.04.11
 EP 0945594 A1, 1999.09.29
 EP 2494496 A1, 2012.09.05
 FR 3012064 A1, 2015.04.24
 IL 34528 A0, 1970.07.19
 US 2013278939 A1, 2013.10.24
 US 5148238 A, 1992.09.15
 US 2014076038 A1, 2014.03.20
 US 3846105 A, 1974.11.05
 JP H0566113 A, 1993.03.19
 CN 100476348 C, 2009.04.08 (续)
 审查员 石小容

权利要求书2页 说明书9页 附图18页

(54) 发明名称
用于控制涡轮机元件的曲面的轮廓的一致性的方法

(57) 摘要
 本发明涉及一种用于控制涡轮机元件的曲面的截面轮廓的一致性的方法,该方法包括以下步骤:- (100) 采集截面的多个测量点在针对所述截面限定的参照系中的坐标;其特征在于,该方法包括以下步骤:- (200) 基于这些测量点的坐标,计算这些点中的每个点处截面的曲率半径,以沿所述截面根据测量点的位置获得曲率半径的测量的演化曲线;- (300) 将前述步骤中获得的曲率半径的测量的演化曲线与预先确定的、截面的曲率半径的理论的演化曲线进行比较;- (400)

基于前述步骤中进行的比较,评估截面的一致性。



CN 109690237 B

[接上页]

(56) 对比文件

EP 2687816 A2, 2014.01.22

CN 105823411 A, 2016.08.03

CN 102902849 A, 2013.01.30

CN 100414252 C, 2008.08.27

叶建华;高诚辉;江吉彬.基于遗传算法的三

维模型匹配方法.图学学报.2015,(第01期),全文.

向志聪 等.《高精度测量燃气轮机叶片前缘的三维轮廓》.《航空动力学报》.2016,第31卷(第7期),第1761-1765页.

1. 一种涡轮机元件的曲面的截面轮廓的一致性的控制方法,所述方法包括以下步骤:

- (100) 采集截面的多个测量点 (P) 在针对所述截面限定的参照系中的坐标;

其特征在于,所述方法包括以下步骤:

- (200) 根据这些测量点 (P) 的坐标,计算这些测量点中的每个测量点处截面的曲率半径,以沿所述截面根据测量点 (P) 的位置获得曲率半径的测量的演化曲线 (C_m);

- (300) 将前述步骤 (200) 中获得的曲率半径的测量的演化曲线 (C_m) 与预先确定的、截面的曲率半径的理论的演化曲线 (C_t) 进行比较,其中该比较 (300) 采用以下步骤:

• (310) 确定曲率半径的测量的演化曲线 (C_m) 中与所述测量的演化曲线 (C_m) 的局部极值对应的至少一个奇点 (P_s);

• (320) 对所确定的奇点 (P_s) 的数量进行计数;

• (330) 通过比较奇点 (P_s) 和曲率半径的理论的演化曲线 (C_t) 的特定点 (P_p) 来测量一致性参数,其中测量的参数和理论的演化曲线 (C_t) 的特定点 (P_p) 取决于前述步骤 (320) 中计数得到的奇点 (P_s) 的数量;

- (400) 根据前述步骤 (300) 中进行的比较而评估曲面的截面的一致性,其包括:通过将参数与预定值进行比较来评估 (410) 曲面的截面的一致性,

所述方法还包括以下步骤:

- (333a) 当计数得到仅有三个奇点 (P_s) 时,测量一方面是所述三个奇点 (P_s) 之中具有最大曲率半径的奇点 (P_s) 和另一方面是与理论的演化曲线 (C_t) 的点对应的特定点 (P_p) 之间的曲率半径的差值 (A₃),理论的演化曲线 (C_t) 的点沿截面具有与具有最大曲率半径的奇点 (P_s) 相同的位置;

- (333b) 将曲率半径的该差值 (A₃) 与预定阈值进行比较;

- (333c) 如果曲率半径的差值 (A₃) 小于预定阈值,则测量以下参数:

*沿截面在一方面是三个奇点 (P_s) 之中具有最小曲率半径的奇点 (P_s) 和另一方面是具有理论的演化曲线 (C_t) 的最小曲率半径的特定点 (P_p) 之间的距离 (L₂);

*一方面是具有最小曲率半径的奇点 (P_s) 和另一方面是具有最小曲率半径的特定点 (P_p) 之间的曲率半径的差值 (D_r) 的符号;

*一方面是具有最小曲率半径的奇点 (P_s) 和另一方面是与理论的演化曲线 (C_t) 的点对应的特定点 (P_p) 之间的曲率半径的差值 (A₂),理论的演化曲线 (C_t) 的点沿截面具有与具有最小曲率半径的奇点 (P_s) 相同的位置;

- (413a) 通过将前述步骤 (333c) 中测量的距离 (L₂)、曲率半径的差值 (A₂) 以及曲率半径的差值 (D_r) 的符号与预定公差阈值进行比较来评估所述曲面的截面的一致性;

- (333d) 如果曲率半径的差值 (A₃) 大于阈值,则测量沿截面在除了具有最大曲率半径的奇点 (P_s) 之外的两个奇点 (P_s) 之间的距离 (L₃);

- (413b) 通过将前述步骤中测量的距离 (L₃) 以及一方面是具有最大曲率半径的奇点 (P_s) 和另一方面是理论的演化曲线 (C_t) 的、沿所述曲面具有相同位置的特定 (P_p) 之间的曲率半径的差值 (A₃) 与预定公差阈值进行比较来评估所述曲面的截面的一致性。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,通过测量穿过所述测量点 (P_i) 和沿截面跟随所述测量点 (P_i) 的两个测量点 (P_{i+1}、P_{i+2}) 的圆的半径来进行测量点 (P_i) 处的曲率半径的计算。

3. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,至少一个奇点(Ps)的确定步骤(310)包括以下步骤:

- (311) 通过仅保留一个极值作为奇点(Ps)来判别所确定的局部极值,其中针对该极值,曲率半径的值相对于相邻极值的变化大于预定阈值。

4. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述方法包括以下步骤:

- (331) 当计数得到单个奇点(Ps)时,测量一方面是奇点(Ps)和另一方面是与曲率半径的理论的演化曲线(Ct)的最小曲率半径对应的特定点(Pp)之间的曲率半径的差值(S1);

- (411) 通过将前述步骤(331)中测量的曲率半径的差值与预定公差阈值进行比较来评估曲面的截面的一致性。

5. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述方法包括以下步骤:

- (412) 当计数得到仅有两个奇点(Ps)时,将曲面的截面设置为不合规。

6. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述方法包括以下步骤:

- (510) 通过确定穿过三个测量点(P)的圆(Ω)的中心(Ψ)并且确定所述圆(Ω)的中心(Ψ)是否位于所述曲面的截面的外侧来检测曲率的反转;

- (520) 如果圆(Ω)的中心(Ψ)位于所述曲面的截面的外侧,则将所述曲面的截面设置为不合规。

7. 涡轮机叶片(2)的前缘和/或后缘的轮廓的一致性的控制方法,包括以下步骤:

- 实施根据权利要求1至6中任一项所述的元件的曲面的截面轮廓的一致性的控制方法,其中元件是叶片(2),并且所述曲面包括所述叶片(2)的前缘和/或后缘,所述控制方法在所述叶片(2)的、沿所述叶片(2)分布的多个截面上实施。

用于控制涡轮机元件的曲面的轮廓的一致性的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种涡轮机元件的曲面的截面(例如用于飞机的涡轮机叶片的截面)轮廓的一致性的控制方法,以验证所述元件的曲面的截面符合在设计所述元件期间设定的制造标准。

[0002] 因此,本发明尤其可以涉及一种叶片的前缘和/或后缘的辐射状轮廓的一致性的控制方法,以验证叶片的前缘和/或后缘的形状完全符合在设计叶片期间设定的制造标准。

背景技术

[0003] 在制造涡轮机元件的曲面期间,已知的是对曲面的截面轮廓的一致性进行控制,以验证该元件是否符合在设计所述元件期间设定的制造标准。

[0004] 因此,在制造用于飞机的涡轮机叶片(例如风扇叶片或压气机叶片)期间,进行该叶片的一致性的控制步骤以验证所述叶片的形状是否符合在设计所述叶片期间设定的制造标准。

[0005] 叶片的前缘和后缘且特别是前缘是如下叶片区域,该叶片区域的形状对所述叶片的空气动力学性能具有主要影响。这样,重要的是叶片的前缘和后缘具有符合在设计所述叶片期间限定的形状的形状,使得所述叶片具有优选的空气动力学特性。

[0006] 根据图1所示的已知方法,通过将叶片1与最大叶片轮廓11和最小叶片轮廓12进行比较来进行叶片1的一致性的控制。最大轮廓11对应于叶片1所容许的最大厚度,且最小轮廓12对应于所述叶片1所容许的最小厚度。最大轮廓11和最小轮廓12通过给在设计叶片1期间设定的叶片的最佳厚度施加公差阈值来设定。

[0007] 但是图1所示的方法仅控制叶片1的厚度是否包含在由最大轮廓11和最小轮廓12限定的公差阈值内,并且不能检测前缘或后缘是否具有不可接受的辐射状形状(例如,图2所示的那些形状)。例如,如果叶片1的前缘或后缘在可接受的公差阈值内太过尖锐,则叶片1的前缘或后缘可能具有不可接受的形状。

[0008] 为了控制叶片1的前缘的轮廓和后缘的轮廓,因此必须由质量控制的操作者进行目视检查以将前缘和后缘的轮廓与不可接受的形状轮廓,例如图2b至2h所示的形状轮廓进行比较,而图2a示出了优选的轮廓。

[0009] 图2b示出了前缘或后缘的端部的横向偏移。图2c示出了轮廓太圆的前缘或后缘。图2d示出了包括凹口的前缘或后缘。图2e示出了包括平点的前缘或后缘。图2f示出了前缘或太过尖锐的后缘,原因是它包括形成一个尖的两个平点。图2g示出了包括轻微平点与轻微横向偏移的组合的前缘或后缘。最后,图2h示出了过于薄的前缘或后缘。

[0010] 然而,这种控制方法经证明不足以正确地评估叶片的一致性,尤其会产生关于重复性和再现性的问题。

[0011] 已知文献W02012/152255(还对应于文献US2014/0076038)描述了一种用于控制叶片的截面轮廓的方法。通过观察测量的叶片的截面轮廓是否包含在可接受的公差区间内来控制轮廓。该方法还可以包括将截面的最小曲率半径与最小理论曲率半径进行比较。但是

这种方法无法检测和揭示涡轮机元件(特别是叶片)的截面可能出现的所有缺陷。此外,最小曲率半径的分析集中于叶片的前缘或后缘。

发明内容

[0012] 本发明的总体目的是提出一种曲面的截面轮廓的控制方法,其不存在现有技术的缺陷。

[0013] 本发明的另一个目的是提出一种控制方法,该方法可靠、不依赖于测量装置并能够定量、客观和完整地评估曲面,尤其是叶片的前缘和/或后缘的曲率半径的一致性。

[0014] 更具体地,根据第一方面,本发明涉及一种涡轮机元件的曲面的截面轮廓的一致性的控制方法,该方法包括以下步骤:

[0015] -采集截面的多个测量点在针对所述截面限定的参照系中的坐标;

[0016] 其特征在于,该方法包括以下步骤:

[0017] -根据这些测量点的坐标,计算这些点中的每个点处截面的曲率半径,以沿所述截面根据测量点的位置获得曲率半径的测量的演化曲线;

[0018] -将前述步骤中获得的曲率半径的测量的演化曲线与预先确定的、截面的曲率半径的理论的演化曲线进行比较,其中该比较采用以下步骤:

[0019] • 确定曲率半径的测量的演化曲线中与所述测量的演化曲线的局部极值对应的至少一个奇点;

[0020] • 对所确定的奇点的数量进行计数;

[0021] • 通过比较奇点与曲率半径的理论的演化曲线的特定点来测量一致性参数,其中测量的参数和理论的演化曲线的特定点取决于前述步骤中计数得到的奇点的数量;

[0022] -根据前述步骤中进行的比较,通过将参数与预定值进行比较来评估曲面的截面的一致性,而评估曲面的截面的一致性。

[0023] 这种方法一方面容易检测到截面轮廓中,特别是叶片前缘和/或后缘的轮廓中的缺陷,通过将曲率半径的测量的演化曲线与理论的演化曲线进行比较,更清楚地显现出这些缺陷。

[0024] 根据本发明的方法通过单独采用以下特征或采用其任何技术上可能的组合来有利地完成:

[0025] • 通过测量穿过所述测量点和沿着截面跟随所述测量点的两个测量点的圆的半径来进行测量点处的曲率半径的计算;

[0026] • 确定至少一个奇点的步骤包括以下步骤:

[0027] -通过仅取一个极值作为奇点来判别所确定的局部极值,其中针对该极值,曲率半径的值相对于相邻极值的变化大于预定阈值;

[0028] • 该方法包括以下步骤:

[0029] -当计数得到单个奇点时,测量一方面是奇点和另一方面是与曲率半径的理论的演化曲线的最小曲率半径对应的特定点之间的曲率半径的差值;

[0030] -通过将前述步骤中测量的曲率半径的差值与预定公差阈值进行比较来评估截面的一致性;

[0031] • 该方法包括以下步骤:

- [0032] -当计数得到仅有两个奇点时,将该截面设置为不合规;
- [0033] • 该方法包括以下步骤:
- [0034] -当计数得到仅有三个奇点时,测量一方面是所述三个奇点之中具有最大曲率半径的奇点和另一方面是与理论的演化曲线的点对应的特定点之间的曲率半径的差值,理论的演化曲线的该点沿截面具有与具有最大曲率半径的奇点相同的位置;
- [0035] -将曲率半径的该差值与预定阈值进行比较;
- [0036] -如果曲率半径的差值小于阈值,则测量以下参数:
- [0037] *沿截面在一方面是三个奇点之中具有最小曲率半径的奇点和另一方面是具有理论的演化曲线的最小曲率半径的特定点之间的距离;
- [0038] *一方面是具有最小曲率半径的奇点和另一方面是具有最小曲率半径的特定点之间的曲率半径的差值的符号;
- [0039] *一方面是具有最小曲率半径的奇点和另一方面是与理论的演化曲线的点对应的特定点之间的曲率半径的差值,理论的演化曲线的该点沿截面具有与具有最小曲率半径的奇点相同的位置;
- [0040] -通过将前述步骤中测量的距离、曲率半径的差值以及曲率半径的差值的符号与预定公差阈值进行比较来评估截面的一致性。
- [0041] -如果曲率半径的差值大于阈值,则测量沿截面在除了具有最大曲率半径的奇点之外的两个奇点之间的距离;
- [0042] -通过将前述步骤中测量的距离以及一方面是具有最大曲率半径的奇点和另一方面是理论的演化曲线的、沿表面具有相同位置的特定位置之间的曲率半径的差值与预定公差阈值进行比较来评估截面的一致性;
- [0043] • 该方法包括以下步骤:
- [0044] -通过确定穿过三个测量点的圆的中心并且确定所述圆的中心是否位于截面的外侧来检测曲率的反转;
- [0045] -如果圆的中心位于截面的外侧,则将叶片的截面设置为不合规。
- [0046] 根据另一方面,本发明还涉及一种涡轮机叶片的前缘和/或后缘的轮廓的一致性的控制方法,该方法包括以下步骤:
- [0047] -实施根据第一方面的元件的曲面的截面轮廓的一致性的控制方法,其中元件为叶片,并且所述曲面包括所述叶片的前缘和/或后缘,所述控制方法在所述叶片的、沿所述叶片分布的多个截面上实施。

附图说明

- [0048] 通过以下详细说明和参照通过非限制性示例给出的附图,本发明的其他特征、目的和优点将显现,在附图中:
- [0049] • 图1示出了根据现有技术的叶片的截面轮廓的控制方法;
- [0050] • 图2a示出了叶片的后缘和前缘的优选轮廓;
- [0051] • 图2b至图2h示出了与图2a的轮廓相比,叶片的后缘和前缘的不可接受的形状的轮廓;
- [0052] • 图3示出了叶片的前缘和/或后缘的截面轮廓的一致性的控制方法的主要步骤;

- [0053] • 图4示出了测量点的坐标的可能的采集方法;
- [0054] • 图5示出了用于计算每个测量点处受控区域的曲率半径的可能的的方法;
- [0055] • 图6示出了在受控区域中叶片的曲率半径的测量的演化曲线;
- [0056] • 图7a示出了具有缺陷的叶片的受控区域的测量轮廓与如设计的叶片的所述区域的理论轮廓的叠加;
- [0057] • 图7b示出了与图7a的测量轮廓对应的区域的曲率半径的测量的演化曲线与图7a的理论轮廓的曲率半径的理论的演化曲线的叠加;
- [0058] • 图8a示出了具有缺陷的叶片的受控区域的测量轮廓与如设计的叶片的所述区域的理论轮廓的叠加;
- [0059] • 图8b示出了与图8a的测量轮廓对应的区域的曲率半径的测量的演化曲线与图8a的理论轮廓的曲率半径的理论的演化曲线的叠加;
- [0060] • 图9a示出了具有缺陷的叶片的受控区域的测量轮廓与如设计的叶片的所述区域的理论轮廓的叠加;
- [0061] • 图9b示出了与图9a的测量轮廓对应的区域的曲率半径的测量的演化曲线与图9a的理论轮廓的曲率半径的理论的演化曲线的叠加;
- [0062] • 图10示出了叶片的截面轮廓的控制方法的比较和评估步骤的可能变体;
- [0063] • 图11a示出了具有缺陷的叶片的受控区域的测量轮廓与如设计的叶片的所述区域的理论轮廓的叠加;
- [0064] • 图11b示出了与图11a的测量轮廓对应的区域的曲率半径的测量的演化曲线与图11a的理论轮廓的曲率半径的理论的演化曲线的叠加,确定了测量的演化曲线的奇点;
- [0065] • 图12示出了用于确定曲率半径的测量的演化曲线的至少一个奇点的步骤的可能变体;
- [0066] • 图13示出了一致性参数的测量步骤和叶片截面的一致性的评估步骤的可能变体;
- [0067] • 图14a示出了具有缺陷的叶片的受控区域的测量轮廓与如设计的叶片的所述区域的理论轮廓的叠加;
- [0068] • 图14b示出了与图14a的测量轮廓对应的区域的曲率半径的测量的演化曲线与图14a的理论轮廓的曲率半径的理论的演化曲线的叠加,示出了已测量的一致性参数;
- [0069] • 图15a示出了具有缺陷的叶片的受控区域的测量轮廓与如设计的叶片的所述区域的理论轮廓的叠加;
- [0070] • 图15b示出了与图15a的测量轮廓对应的区域的曲率半径的测量的演化曲线与图15a的理论轮廓的曲率半径的理论的演化曲线的叠加,示出了已测量的一致性参数;
- [0071] • 图16a示出了具有缺陷的叶片的受控区域的测量轮廓与如设计的叶片的所述区域的理论轮廓的叠加;
- [0072] • 图16b示出了与图16a的测量轮廓对应的区域的曲率半径的测量的演化曲线与图16a的理论轮廓的曲率半径的理论的演化曲线的叠加,示出了已测量的一致性参数;
- [0073] • 图17示出了用于检测叶片的受控截面的区域的曲率半径的反转的可能方法;
- [0074] • 图18示出了叶片和各截面的不同的线,在这些截面上可以实施在所述截面的区域中前缘和/或后缘的轮廓的一致性的控制方法,以控制所述叶片的前缘和/或后缘的轮廓

的一致性。

具体实施方式

[0075] 图3示出了涡轮机叶片2的前缘和/或后缘的截面轮廓一致性的控制方法。

[0076] 该控制方法包括以下步骤：

[0077] -步骤100:采集叶片2的前缘和/或后缘的截面的多个测量点在针对所述截面限定的参照系中的坐标；

[0078] -步骤200:根据这些测量点P的坐标,计算这些点中的每个点处叶片2的曲率半径,以沿着前缘和/或后缘的截面根据测量点P的位置获得曲率半径的测量的演化曲线 C_m ；

[0079] -步骤300:将计算步骤200中获得的曲率半径的测量的演化曲线 C_m 与预先确定的、叶片2的截面的曲率半径的理论的演化曲线 C_t 进行比较；

[0080] -步骤400:基于比较步骤300中进行的比较来评估叶片2的截面的一致性。

[0081] 图4示出了可用于实施控制方法的步骤100的、测量点坐标的可能的采集方法的示例。

[0082] 图4示出了垂直于所述叶片2的叠加轴的叶片2的截面。

[0083] 叶片2的截面尤其由以下项限定：

[0084] -前缘点21；

[0085] -后缘点(图4中未示出)；

[0086] -角度 α_1 ,其相对于弦的垂线限定了前缘点21的切线D1的方向；

[0087] -在切线D1到前缘点21的预定理论距离处叶片2的厚度的值 e_1 ,该距离例如为大约3至5mm。

[0088] 弦是叶片2的直线特征,其被限定为将前缘点21连接到后缘点的直线。

[0089] 对于叶片2的截面局部地限定参照系,使得可以在叶片2的该截面所特有的该参照系中测量测量点P的坐标。

[0090] 在图4所示的实施例中,该局部参照系是第一笛卡尔坐标系,该坐标系如下定义：

[0091] -轴O1的第一原点位于叶片2的下表面侧,与针对叶片2的技术定义中的厚度 e_1 给出的直线D1距离为A(在图4所示的示例中,A等于3mm)；

[0092] -第一横坐标轴X1对应于穿过轴O1的第一原点并且在轴O1的该第一原点的区域中与叶片2相切的轴；

[0093] -第一纵坐标轴Y1是穿过轴O1的第一原点并且垂直于第一横坐标轴X1的轴。

[0094] 此后,为了仅控制前缘点21附近的、叶片2的下表面和上表面的区域,则对坐标系进行改变来重新定位测量前缘点21上的测量点P的坐标。

[0095] 为了对坐标系进行这种改变,定义了第二个笛卡尔坐标系,第二个笛卡尔坐标系包括：

[0096] -轴O2的第二原点限定在叶片2的下表面上,与直线D1的距离为B,B小于距离 e_1 (在图4的示例中,B等于0.5mm)。轴O2的第二原点与直线D1之间的距离B根据叶片2的轮廓而调整,并且选择距离B以覆盖所述叶片2的下表面和上表面的部分,在该部分上叶片的曲率的变化更大。

[0097] -第二横坐标轴X2对应于穿过轴O2的第二原点的轴并且平行于第一横坐标轴X1；

[0098] -第二纵坐标轴Y2是穿过轴O2的第二原点的轴并且平行于第一纵坐标轴Y1。

[0099] 由控制方法控制的叶片2的截面部分是叶片2的截面的区域Z,因此该区域Z最远位于前缘21的距离B(在图4的示例中,距离B等于0.5mm)处。

[0100] 然后在叶片2的截面的区域Z上进行取样以获得不同的测量点P:例如,选择这些测量点作为与下表面曲线相交的点,不同的上表面曲线与直线D1平行,相对于彼此间隔给定的采样间距(例如0.05mm)。

[0101] 可以以机械探测,光学测量等不同的方式来获得这些不同测量点P的坐标。

[0102] 图4中给出的示例用在所述叶片2的前缘21的区域中。但是图4所示的示例可以容易地转换,因此该示例可以用于采集叶片2的后缘上的测量点的坐标。

[0103] 图5示出了用于计算每个测量点P处受控区域Z的曲率半径的可能方法的示例,用于实施控制方法的步骤200。

[0104] 以这种方式,如图5所示,测量点P沿点P1(下表面端)至点Pn(上表面端)的区域Z分布。

[0105] 对于测量点的每个三元组(P_i, P_{i+1}, P_{i+2}),其中i为1~(n-2),确定穿过三个测量点 P_i, P_{i+1} 和 P_{i+2} 的圆 C_i 。

[0106] 通过测量穿过三个点 P_i, P_{i+1} 和 P_{i+2} 的圆 C_i 的半径 R_i 来计算点 P_i 的曲率半径。

[0107] 以这种方式,通过沿着区域Z移动圆 C_i 来计算每个测量点P处叶片2的曲率半径。

[0108] 计算每个测量点P处叶片2的曲率半径,如图6所示,得到叶片2在区域Z上的曲率半径的测量的演化曲线 C_m 。

[0109] 测量的演化曲线 C_m 以每个测量点P处的曲率半径作为纵坐标,并且以沿着区域Z跟随曲线横坐标的测量点P的位置作为横坐标。

[0110] 如图7a、图7b、图8a、图8b和图9a、图9b所示,在测量的演化曲线 C_m 上以不同的方式显示了区域Z可具有的不同类型的缺陷。

[0111] 图7a示出了叶片2的区域Z的测量轮廓 3_m 与如设计的叶片2的区域Z的理论轮廓 3_t 的叠加。如图7a所示,叶片2在前缘点21的区域中过于尖锐。

[0112] 图7b示出了与图7a的测量轮廓 3_m 对应的区域Z的测量的演化曲线 C_m 与图7a的理论轮廓 3_t 的曲率半径的理论的演化曲线 C_t 的叠加。如图7b所示,在这种情况下,测量的演化曲线 C_m 具有U形状。

[0113] 图8a示出了具有缺陷的叶片2的区域Z的测量轮廓 3_m 与如设计的叶片2的区域Z的理论轮廓 3_t 的叠加。如图8a所示,叶片2具有相对于理论前缘点偏移的前缘点21。

[0114] 图8b示出了与图8a的测量轮廓 3_m 对应的区域Z的测量的演化曲线 C_m 与图8a的理论轮廓 3_t 的曲率半径的理论的演化曲线 C_t 的叠加。如图8b所示,在这种情况下,测量的演化曲线 C_m 具有W形状。

[0115] 图9a示出了具有缺陷的叶片2的区域Z的测量轮廓 3_m 与如设计的叶片2的区域Z的理论轮廓 3_t 的叠加。如图9a所示,叶片2的区域Z具有相对于理论轮廓 3_t 变平坦的部分。

[0116] 图9b示出了与图9a的测量轮廓 3_m 对应的区域Z的测量的演化曲线 C_m 与图9a的理论轮廓 3_t 的曲率半径的理论的演化曲线 C_t 的叠加。如图9b明显所示,当区域Z太平坦时,测量的演化曲线 C_m 具有W形状或双U形状。根据可能的变体,曲率半径的阈值为2mm,因此认为测量轮廓 3_m 包括平点,并因此认为所述测量轮廓为双U形状。

[0117] 如图7a、图7b、图8a、图8b和图9a、图9b所示,区域Z的曲率半径的理论的演化曲线 C_t 总是呈U形轮廓。

[0118] 控制方法提出:确定待测量的叶片2的区域Z具有的缺陷类型,使得可以根据区域Z的轮廓中的缺陷来测量用于评估叶片2的一致性的相关参数。事实上,如果缺陷很小,则叶片2仍可以是合规的,原因是所述叶片2具有涡轮机正常运行所需的空气动力学特性。

[0119] 为此并且为了区分曲率半径的测量的演化曲线 C_m 的不同轮廓(U、W或双U),如图10、图11a和图11b所示,比较步骤300包括以下步骤:

[0120] -步骤310:确定曲率半径的测量的演化曲线 C_m 中的至少一个奇点 P_s 。奇点 P_s 是与测量的演化曲线 C_m 的局部极值对应的测量点P。

[0121] 测量点P之间的局部极值例如可以通过检测测量点P来确定,其中在这些点处测量的演化曲线 C_m 的导数为零。

[0122] 此外,如图12所示,奇点 P_s 的确定步骤310可以包括以下步骤:

[0123] -步骤311:通过仅保留一个极值作为奇点 P_s 来判别所确定的局部极值,其中针对该极值,曲率半径的值相对于相邻极值的变化大于预定阈值。

[0124] 极值的这种判别步骤不保留叶片2的截面的区域Z的轮廓可以具有的波动作为奇点,并且仅保留测量点P作为奇点 P_s ,测量点P代表测量的演化曲线 C_m 在常规形状下的真实最大值和/或最小值。

[0125] 如图10所示,比较步骤300还包括以下步骤:

[0126] -步骤320:对步骤310中确定的奇点的数量进行计数。

[0127] 这样的步骤确定了在可能的不同缺陷之中叶片2的区域Z的轮廓具有的缺陷类型。

[0128] 按照用于U形轮廓的这种方式,区域Z的曲率半径的测量的演化曲线 C_m 包括形成单个奇点 P_s 的单个最小值。

[0129] 对于W形轮廓,测量的演化曲线 C_m 仅包括两个最小值和一个最大值,因此仅形成三个奇点 P_s 。两个奇点 P_s 各自对应于最小值,并且位于两个其他奇点 P_s 之间的剩余奇点 P_s 对应于最大值。

[0130] 对于形状为双U的轮廓,测量的演化曲线 C_m 仅包括两个最小值,从而形成两个单一奇点 P_s ,每个奇点 P_s 对应于一个最小值。

[0131] 得知奇点的数量并因此得知叶片2的区域Z的轮廓所呈现的缺陷类型,该事实通过比较测量的演化曲线 C_m 和理论的演化曲线 C_t 来确定哪些参数与测量相关,从而评估缺陷的重要性。

[0132] 按照如图10所示的这种方式,比较步骤300还包括以下步骤:

[0133] -步骤330:通过比较演化曲线 C_m 的奇点 P_s 和区域Z的轮廓的曲率半径的理论的演化曲线 C_t 的特定点 P_p 来测量一致性参数,其中测量的参数和理论的演化曲线 C_t 的特定点 P_p 取决于计数步骤320中计数得到的奇点 P_s 的数量。

[0134] 如图10所示,叶片2的截面的一致性的评估步骤400包括以下步骤:

[0135] -步骤410:通过比较步骤330中测量的参数和预定值,评估叶片2的截面的一致性。

[0136] 叶片截面的一致性的该评估步骤410推断:受控叶片2的截面的前缘和/或后缘是否呈现出相对于在设计叶片2时设定的理论轮廓的合规轮廓。

[0137] 预定值取决于在测量步骤330期间测量的参数,以及给予叶片2的轮廓的公差。

[0138] 如图13、图14a、图14b、图15a、图15b和图16a、图16b所示,用于测量一致性参数的步骤330可包括以下步骤:

[0139] -步骤331:当计数得到单个奇点 P_s 时,测量一方面是奇点 P_s 和另一方面是与区域Z的曲率半径的理论的演化曲线 C_t 的最小曲率半径对应的特定点 P_p 之间的曲率半径的差值 S_1 ;

[0140] -步骤333a:当计数得到仅有三个奇点 P_s 时,测量一方面是所述三个奇点 P_s 之中具有最大曲率半径的奇点 P_s 和另一方面是与理论的演化曲线 C_t 的点对应的特定点 P_p 之间的曲率半径的差值 A_3 ,理论的演化曲线 C_t 的该点沿截面具有与具有最大曲率半径的奇点 P_s 相同的位置;

[0141] -步骤333b:将曲率半径的该差值 A_3 与预定阈值进行比较;

[0142] -步骤333c:如果曲率半径的差值 A_3 小于或等于阈值,则测量以下参数:

[0143] *沿截面在一方面是三个奇点 P_s 之中具有最小曲率半径的奇点 P_s 和另一方面是具有理论的演化曲线 C_t 的最小曲率半径的特定点 P_p 之间的距离 L_2 ;

[0144] *一方面是具有最小曲率半径的奇点 P_s 和另一方面是具有最小曲率半径的特定点 P_p 之间的曲率半径的差值 D_r 的符号;

[0145] *一方面是具有最小曲率半径的奇点 P_s 和另一方面是与理论的演化曲线的点对应的特定点 P_p 之间的曲率半径的差值 A_2 ,理论的演化曲线的该点沿截面具有与具有最小曲率半径的奇点 P_s 相同的位置;

[0146] -步骤333d:如果曲率半径的差值 A_3 大于阈值,则测量沿截面在除了具有最大曲率半径的奇点 P_s 之外的两个奇点 P_s 之间的距离 L_3 。

[0147] 图14a和图14b示出了通过比较测量的演化曲线 C_m 和理论的演化曲线 C_t 可以实施曲率半径的差值 S_1 的测量步骤331所采用的方式。

[0148] 图15a和图15b示出了可以实施曲率半径的差值 A_3 、距离 L_2 、曲率半径的差值 D_r 的符号以及曲率半径的差值 A_2 的测量步骤333a和333c所采用的方式。

[0149] 如果具有最小曲率半径的奇点 P_s 的曲率半径大于理论的演化曲线 C_t 的、具有最小曲率半径的特定点 P_p 的曲率半径,则曲率半径的差值 D_r 为正。

[0150] 图16a和图16b示出了可以实施曲率半径的差值 A_3 和距离 L_3 的测量步骤333a和333d所采用的方式。

[0151] 刀片2的前缘和/或后缘的截面的一致性的评估步骤410包括以下步骤:

[0152] -步骤411:当计数得到单个奇点 P_s 时,通过将步骤331中测量的曲率半径的差值 S_1 与预定公差阈值进行比较来评估叶片2的截面的一致性。曲率半径的差值 S_1 的公差阈值例如为0.1mm。

[0153] -步骤413a:当计数得到仅有三个奇点并且曲率半径的差值 A_3 小于或等于阈值时,通过将步骤333c中测量的距离 L_2 、曲率半径的差值 A_2 以及曲率半径的差值 D_r 的符号与预定公差阈值进行比较来评估叶片2的截面的一致性。曲率半径的差值 A_2 的公差阈值例如为0.3mm。长度 L_2 的公差阈值例如为0.5mm。曲率半径的差值 D_r 的符号的公差阈值为曲率半径的差值 D_r 为负的情况(图15a和图15b中示出的情况)。

[0154] -步骤413b:当计数得到仅有三个奇点并且曲率半径的差值 A_3 大于阈值时,通过将步骤333d中测量的距离 L_3 以及曲率半径的差值 A_3 与预定公差阈值进行比较来评估叶片2的

截面的一致性。曲率半径的差值A3的公差阈值例如为2mm。长度L3的公差阈值例如为0.15mm。

[0155] 公差阈值的值可以随着待控制的叶片的尺寸而变化。

[0156] 此外,如图13明显所示,当在测量的演化曲线 C_m 的奇点 P_s 的计数步骤310期间计数得到仅有两个奇点 P_s 时,直接将叶片2的截面区域Z的轮廓视为用于确定非一致性的步骤412中不合规的所述区域Z。

[0157] 事实上,如果计数得到仅有2个奇点 P_s ,则区域Z具有过大的平点。

[0158] 根据图17所示的优选变体,叶片2的前缘和/或后缘的截面轮廓的一致性的控制方法包括以下用于检测所述截面中的曲率反转的步骤:

[0159] -步骤510:通过确定穿过三个测量点P的圆 Ω 的中心 ψ 并且确定所述圆 Ω 的中心 Ψ 是否位于叶片2的截面的外侧来检测曲率的反转;

[0160] -步骤520:如果圆 Ω 的中心 Ψ 位于所述叶片2的截面的外侧,则将叶片2的截面设置为不合规。

[0161] 因此,在图17所示的示例中,叶片2的前缘的截面轮廓包括曲率的反转,圆 Ω 的中心 Ψ 位于叶片2的截面的外侧。

[0162] 为了验证叶片2的截面的区域Z上不存在曲率的反转,圆 Ω 及其中心 Ψ 通过三个测量点(P_i 、 P_{i+1} 、 P_{i+2} , i 逐渐递增)而沿所述区域Z移动。

[0163] 根据叶片2的截面轮廓的一致性的方法的可能的实施方式,如果步骤330中测量的一致性参数之一不符合其公差阈值(例如大于最大值、小于最小值)、如果长度太大时、或如果曲率半径的差值的符号与预定符号不同,则认为所述截面不合规。

[0164] 本发明还提出了一种始终沿所述叶片2或仅在一部分上的、叶片2的前缘和/或后缘的轮廓的一致性的控制方法。

[0165] 为此,如图18所示,如前面所述的叶片2的截面的一致性的控制方法在沿所述叶片2的高度分布的不同截面 S_c 上实施。

[0166] 根据叶片2的前缘和/或后缘的轮廓的一致性的方法的可能的实施方式,如果叶片2的截面轮廓的一致性的控制方法推断出所述叶片2的截面不一致,则认为所述轮廓不合规。如果叶片2的截面轮廓均没有被视为不合规,则认为叶片2的前缘和/或后缘的轮廓是合规的。

[0167] 之前给出的关于涡轮机元件的曲面的截面的轮廓的一致性的控制方法的示例性实施例针对的是元件是涡轮机叶片并且曲面是所述叶片的前缘和/或后缘的这些情况。然而,涡轮机元件的曲面的截面的轮廓的一致性的控制方法可以应用于除了叶片或整流器(固定叶片)之外的元件,其中适于空气动力学的形状会影响涡轮机的性能。

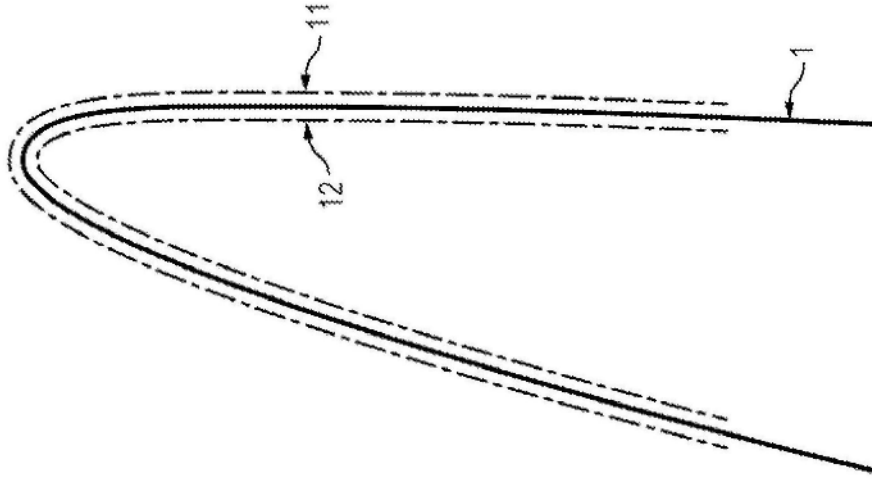


图1

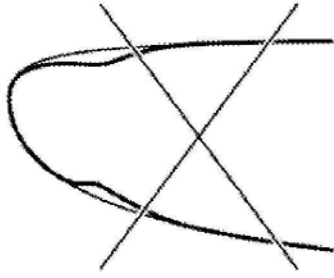
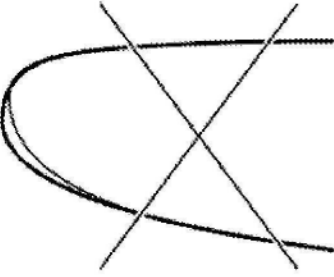
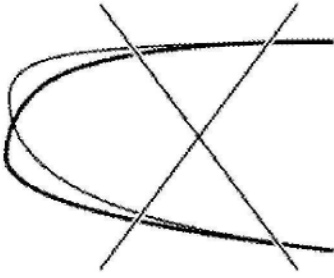
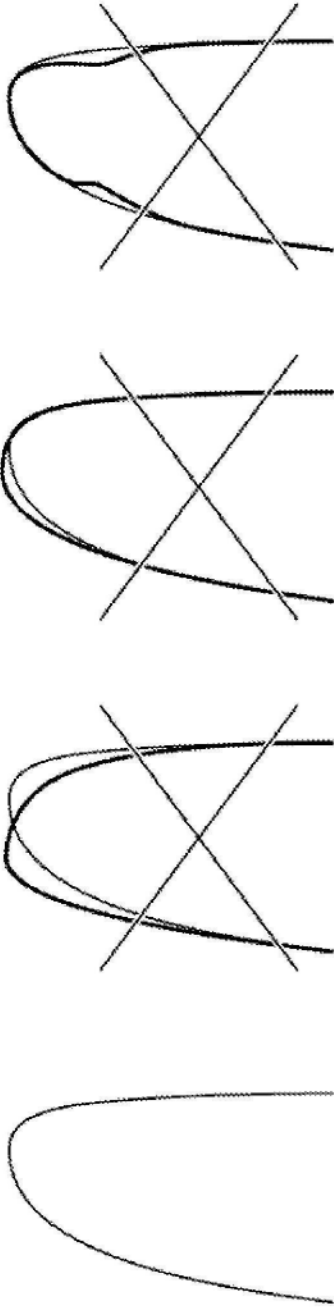


图 2d

图 2c

图 2b

图 2a

—— 优选的形状
—— 不可接受的形状

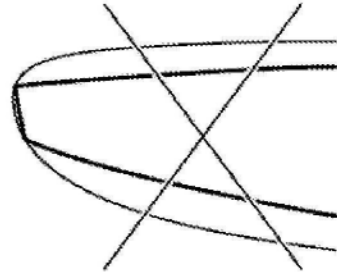
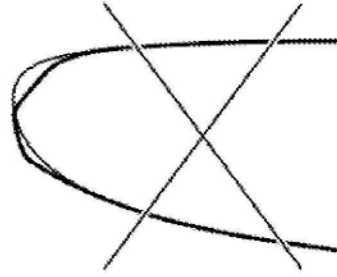
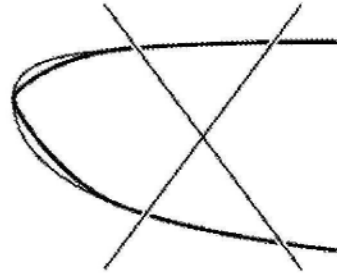
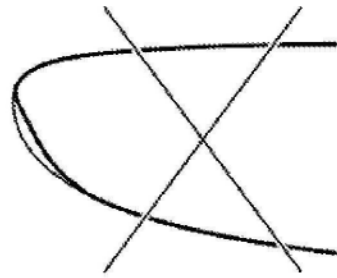


图 2e

图 2f

图 2g

图 2h

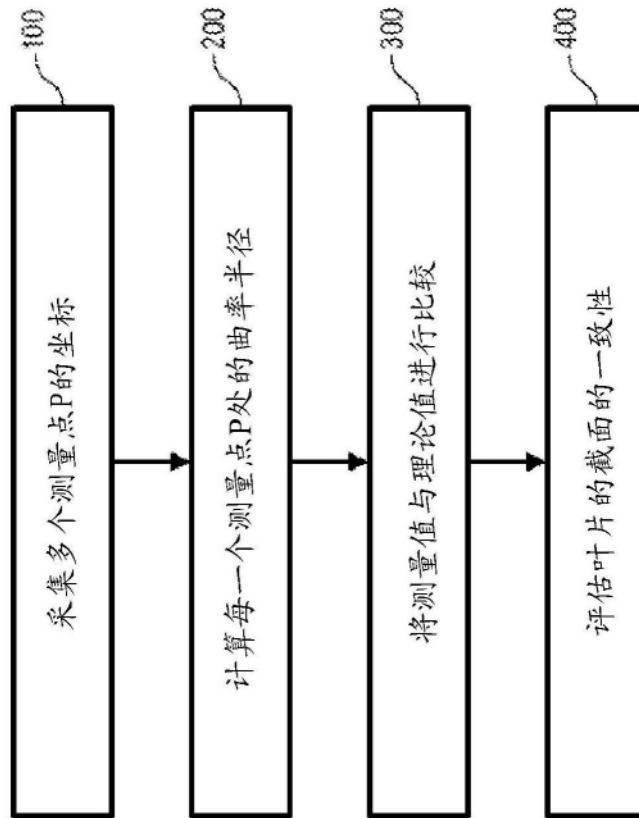


图3

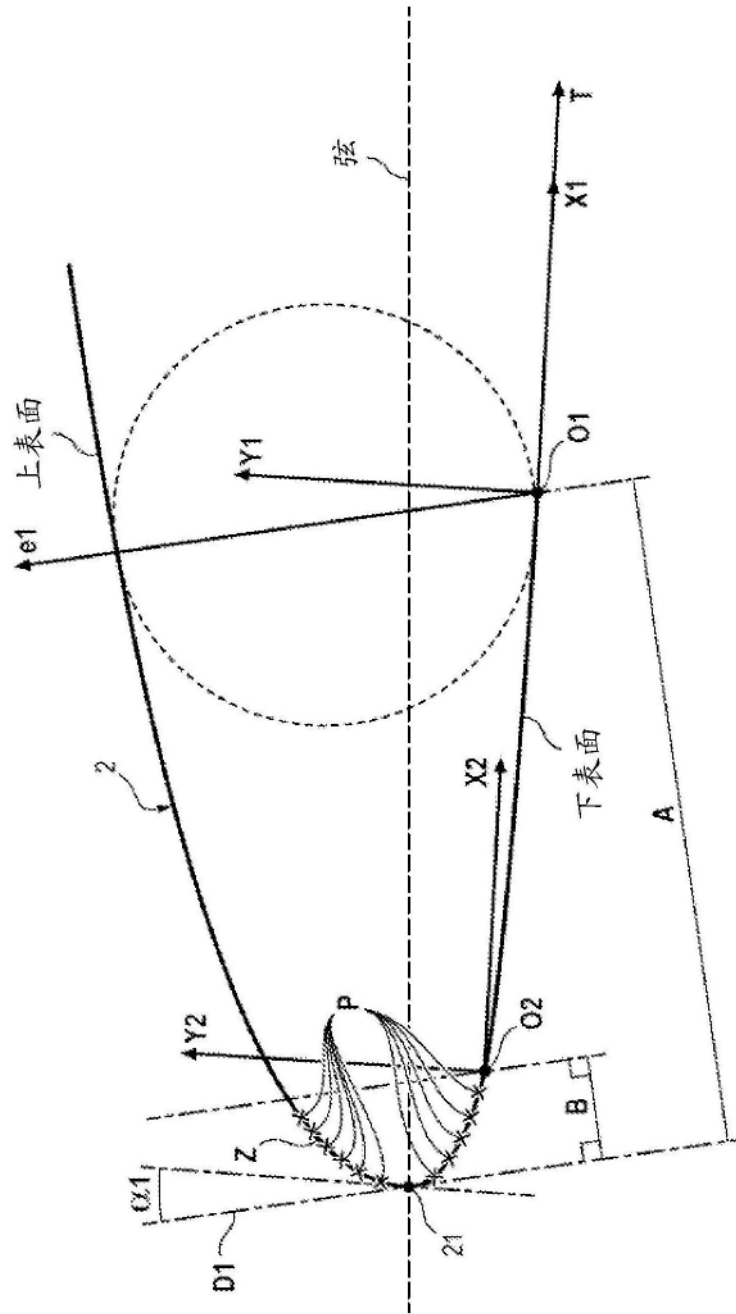


图4

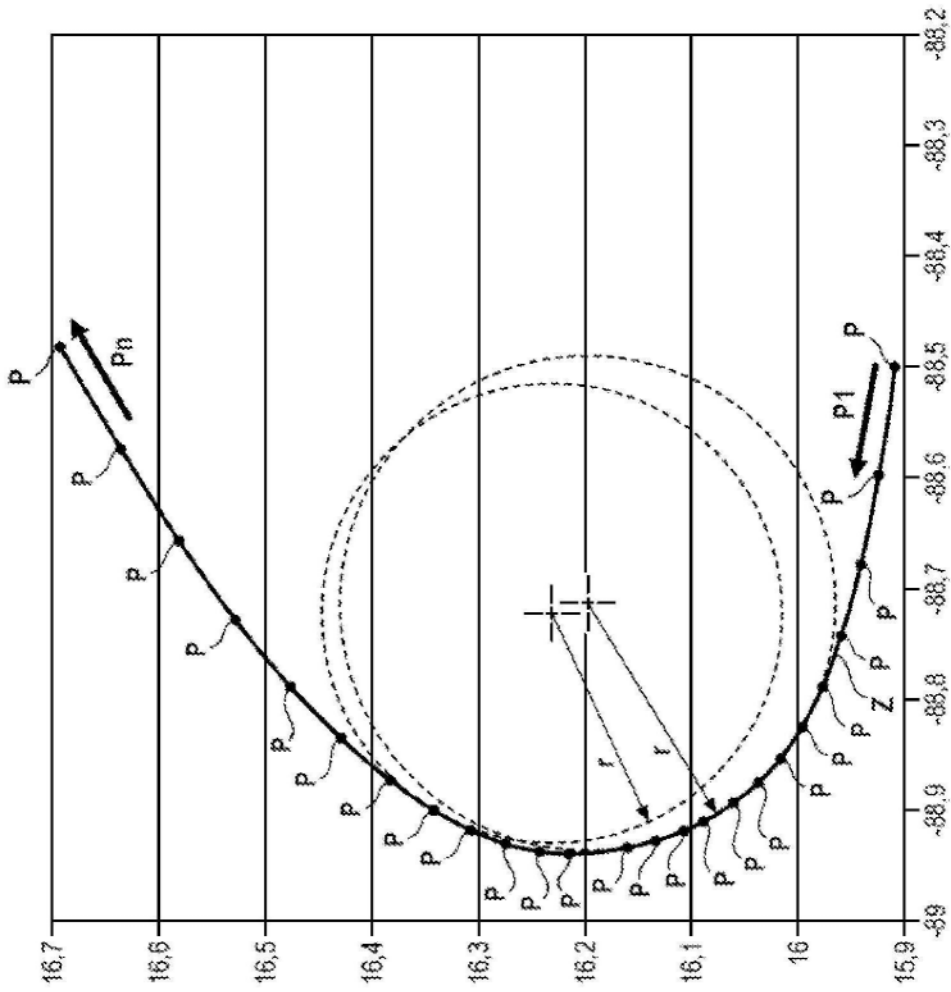


图5

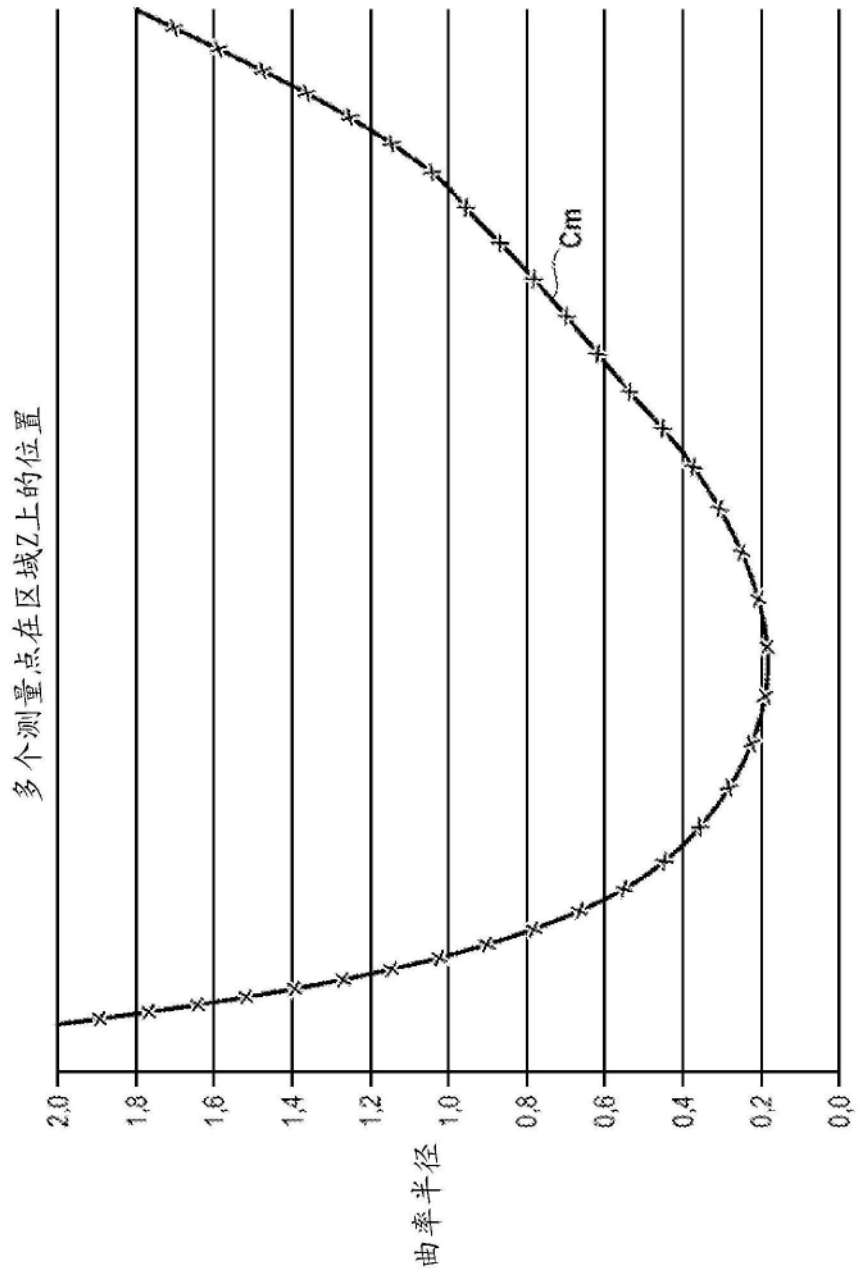


图6

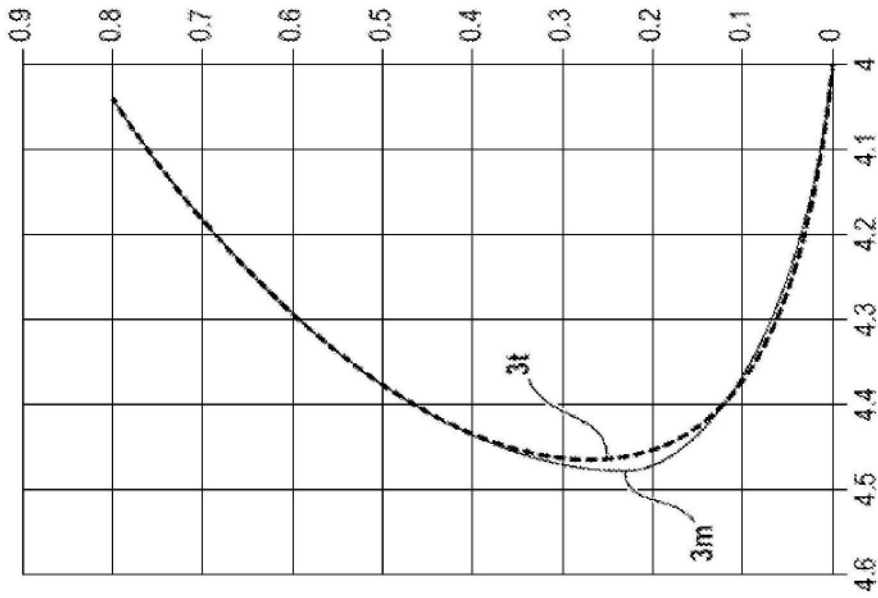


图7a

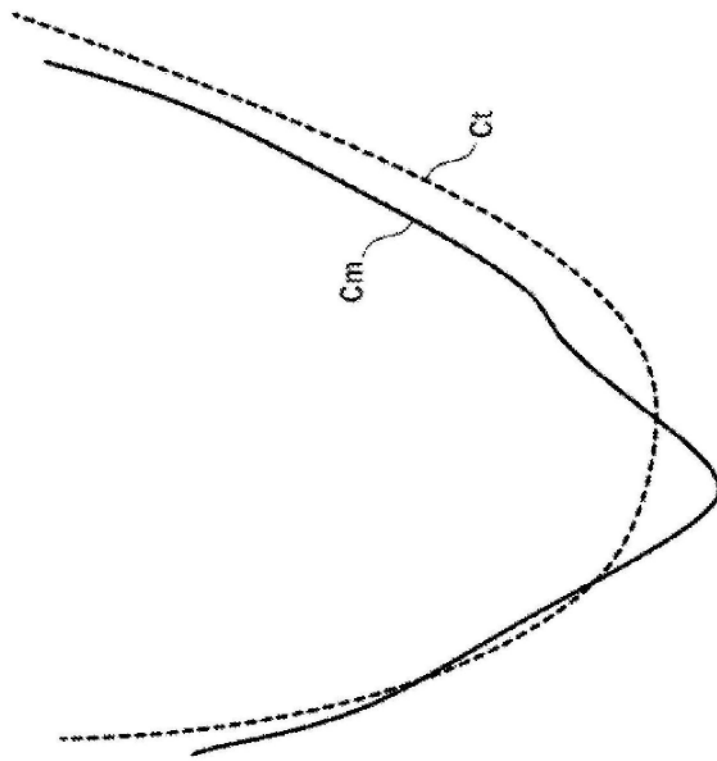


图7b

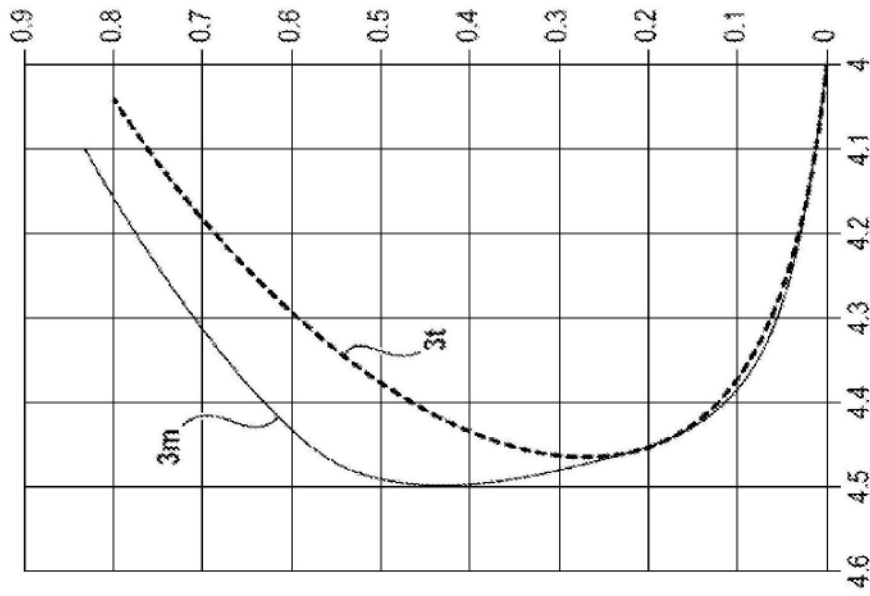


图8a

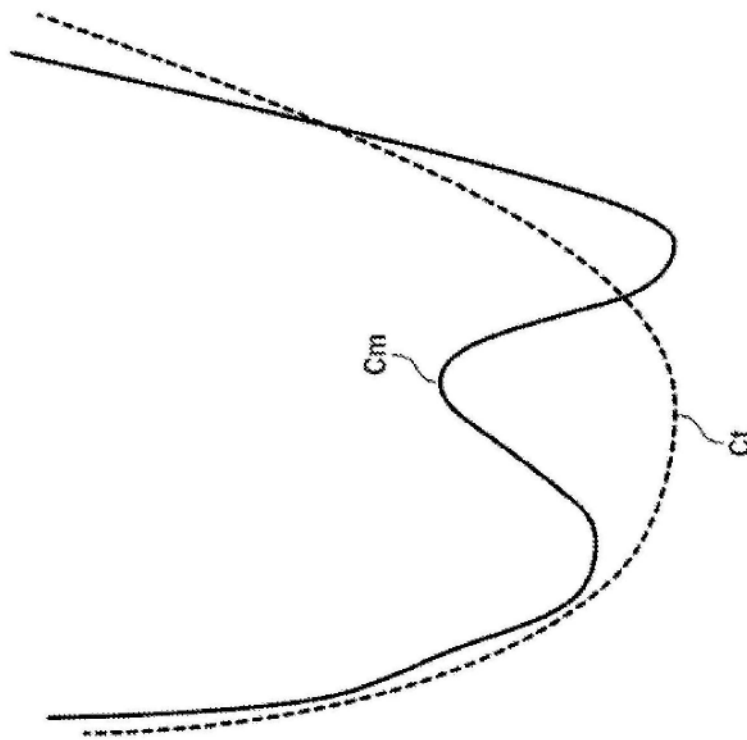


图8b

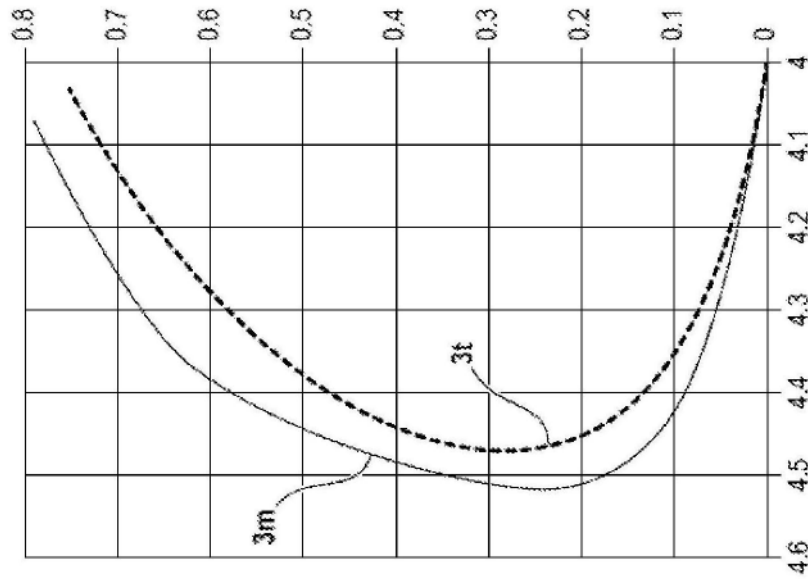


图9a

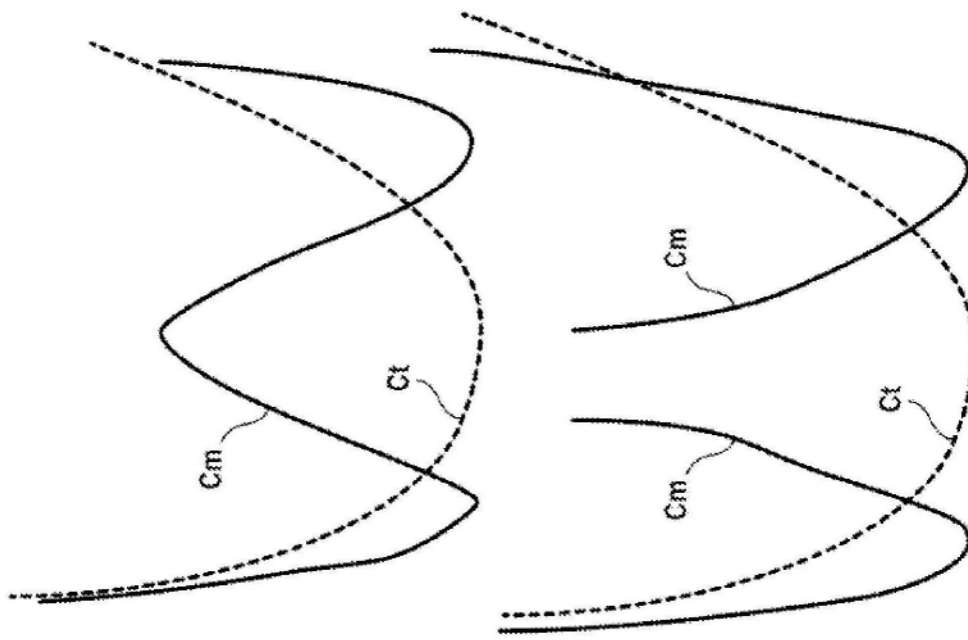


图9b

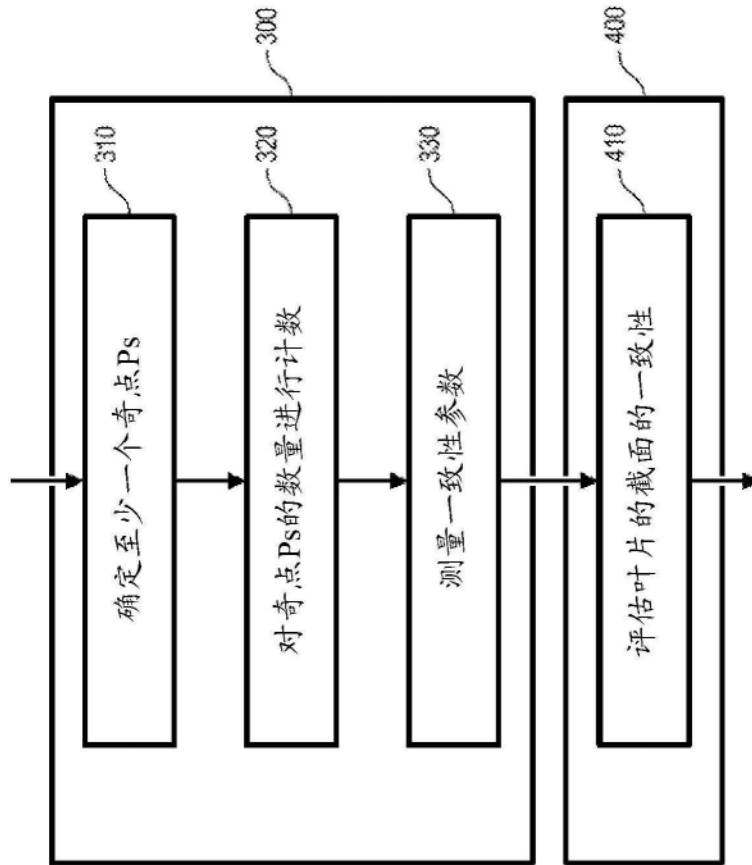


图10

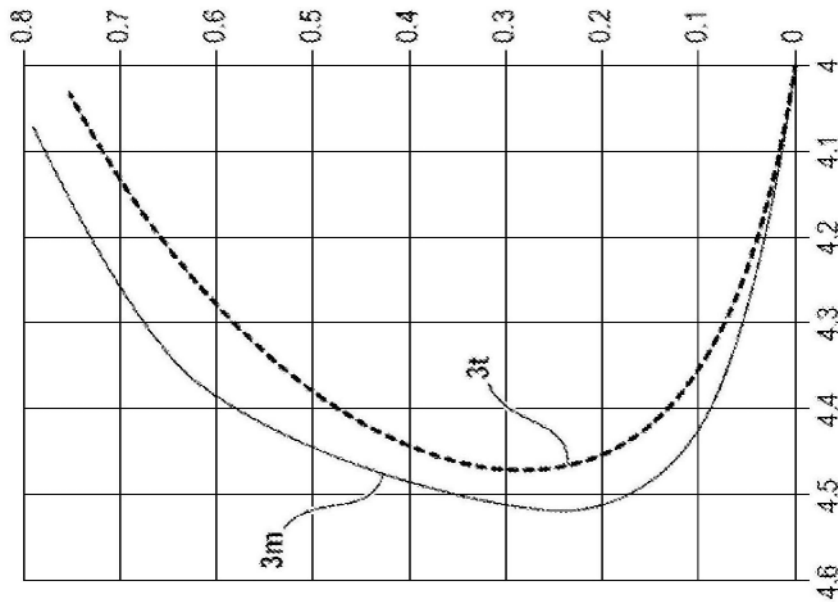


图11a

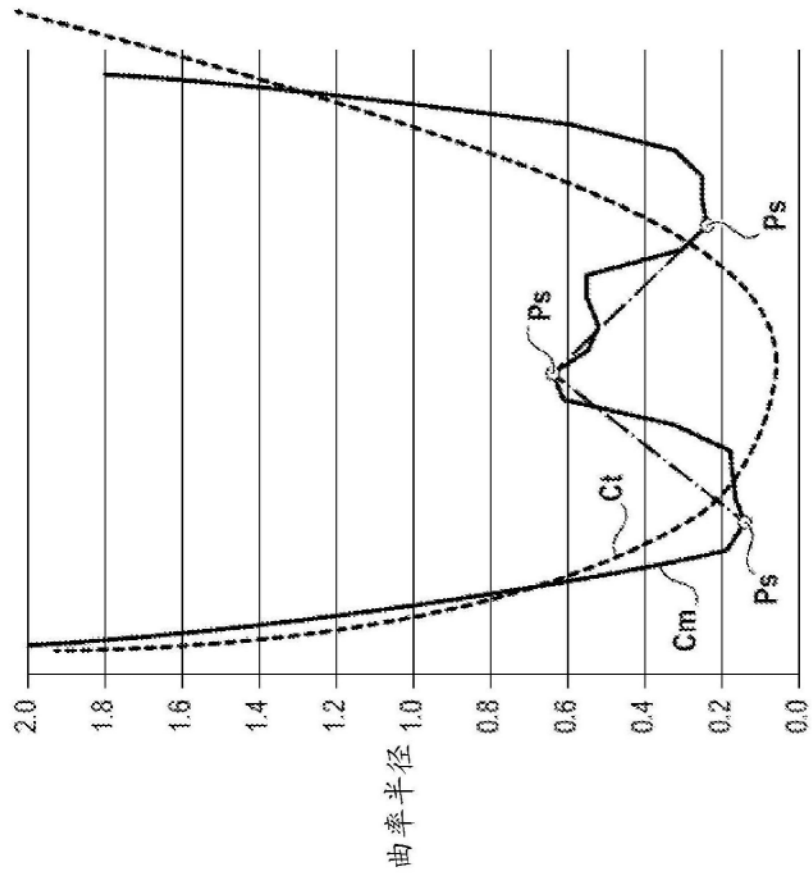


图11b

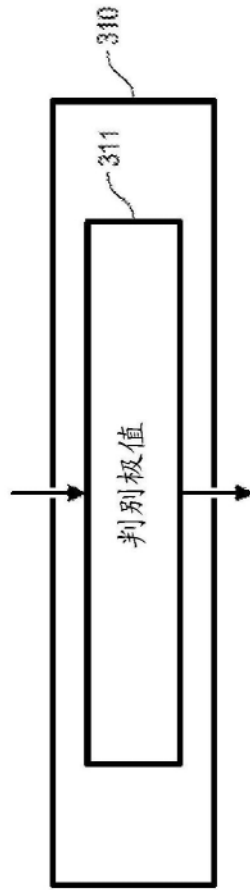


图12

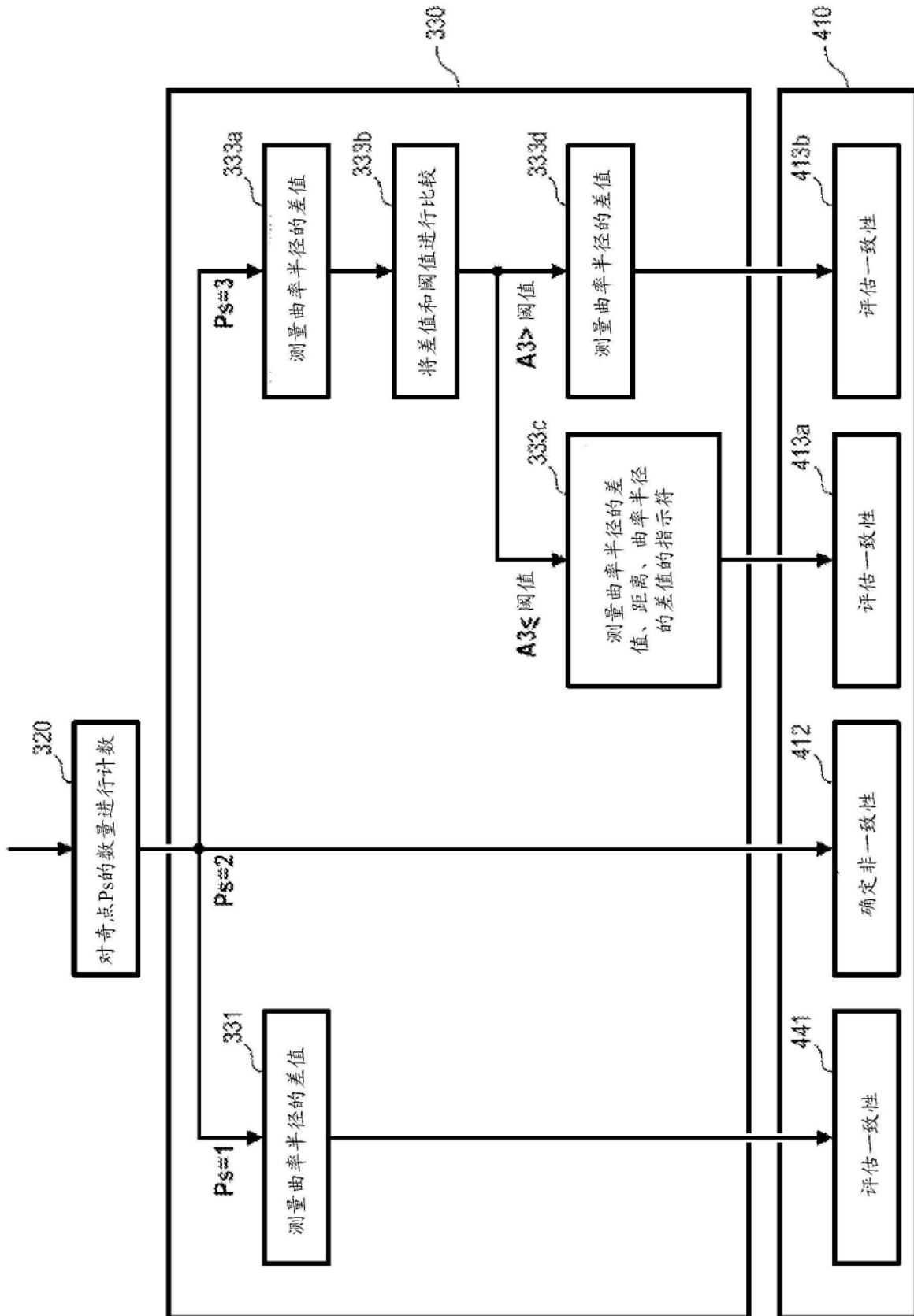


图13

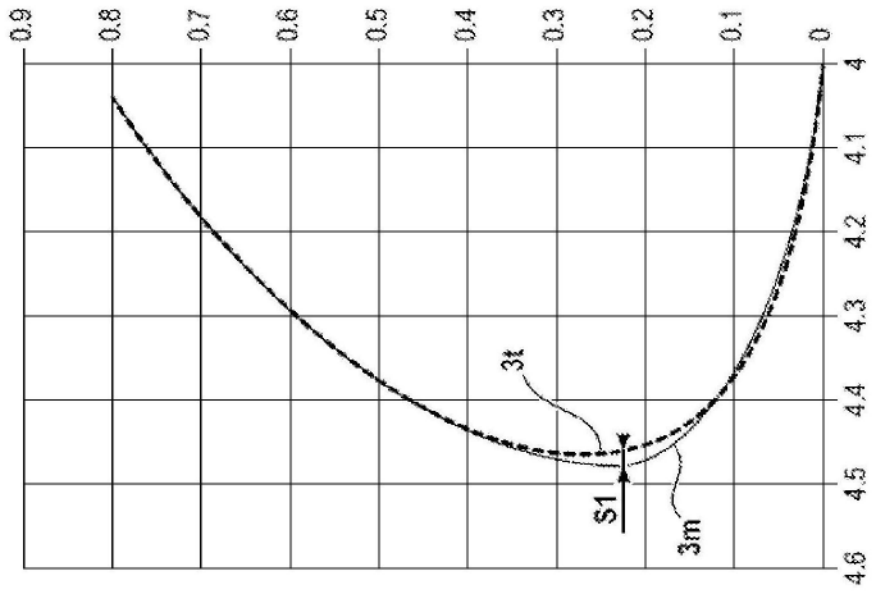


图14a

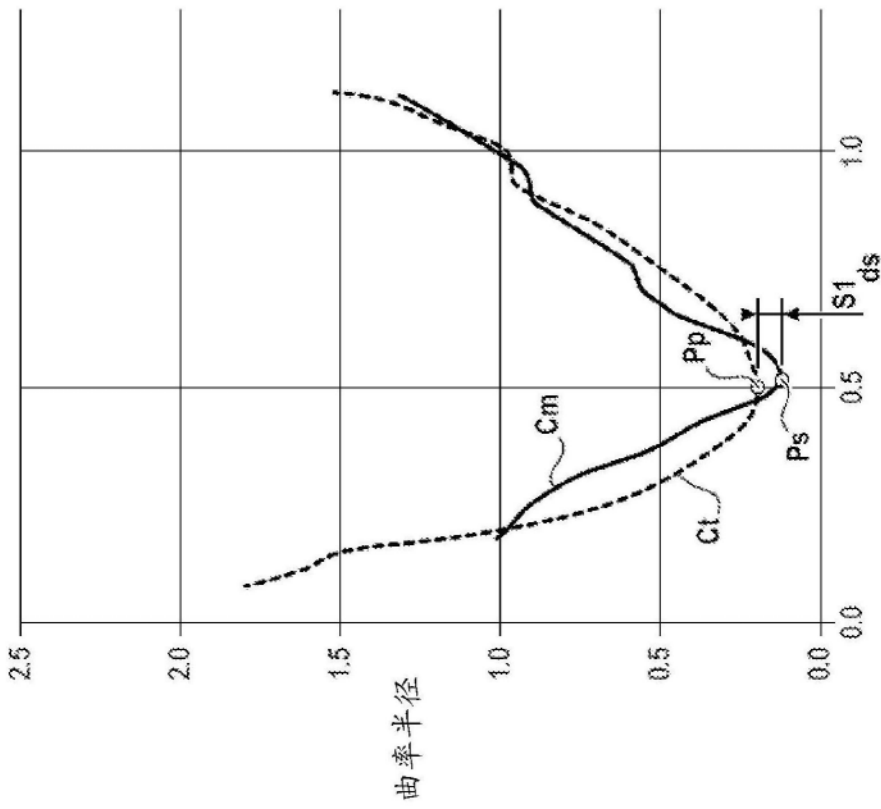


图14b

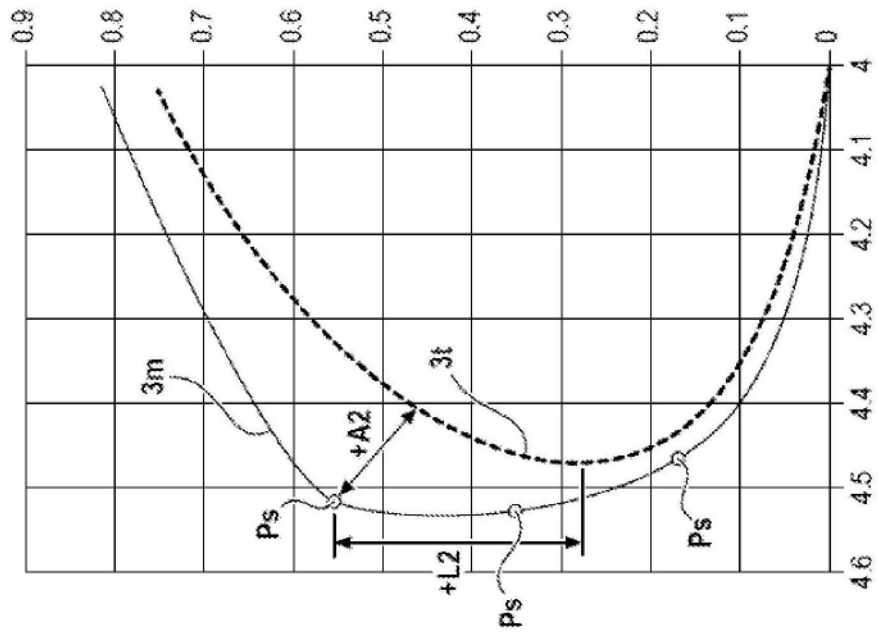


图15a

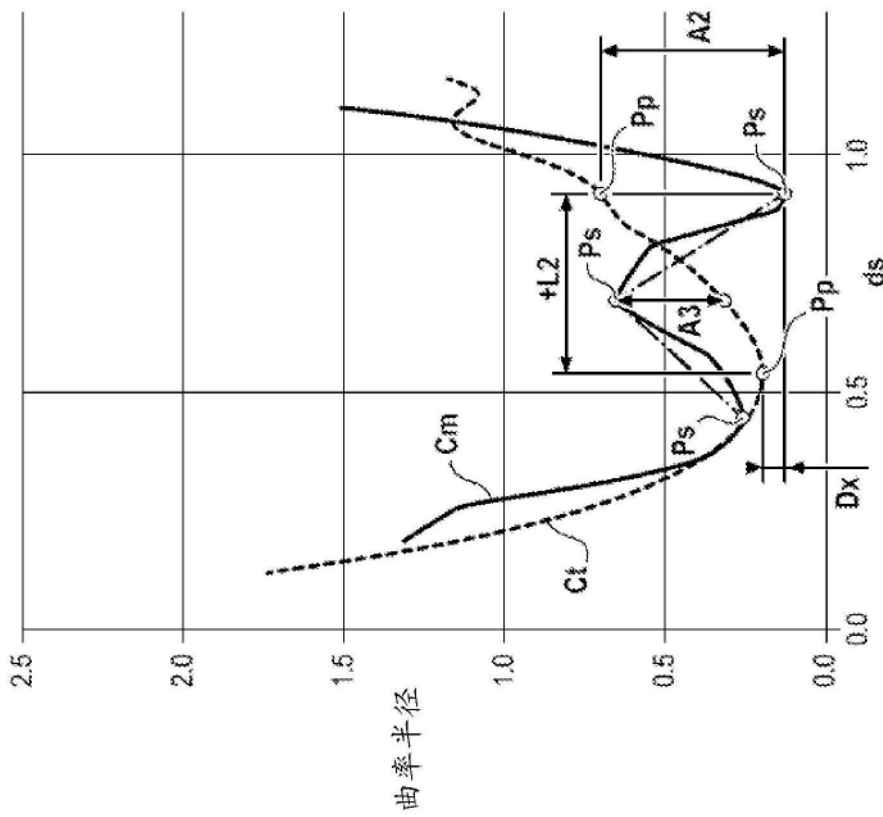


图15b

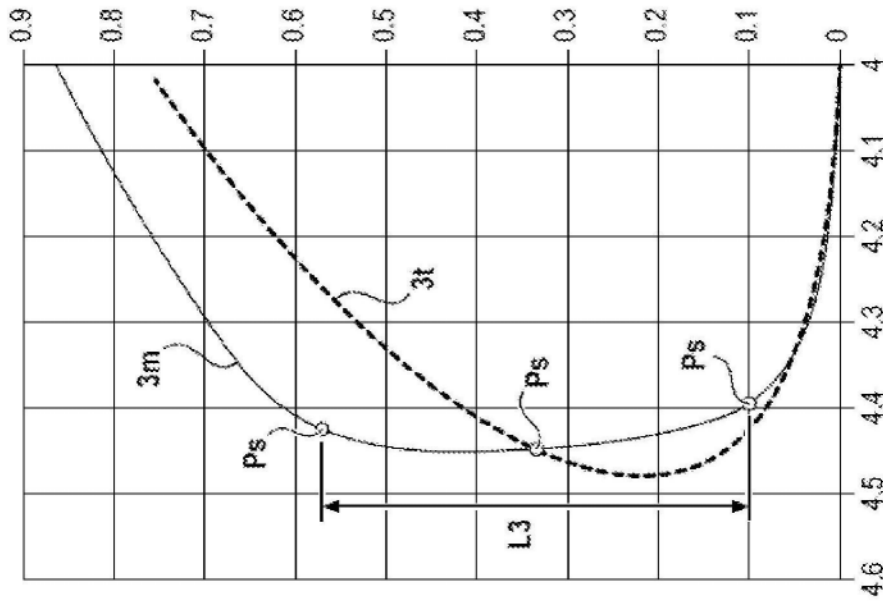


图16a

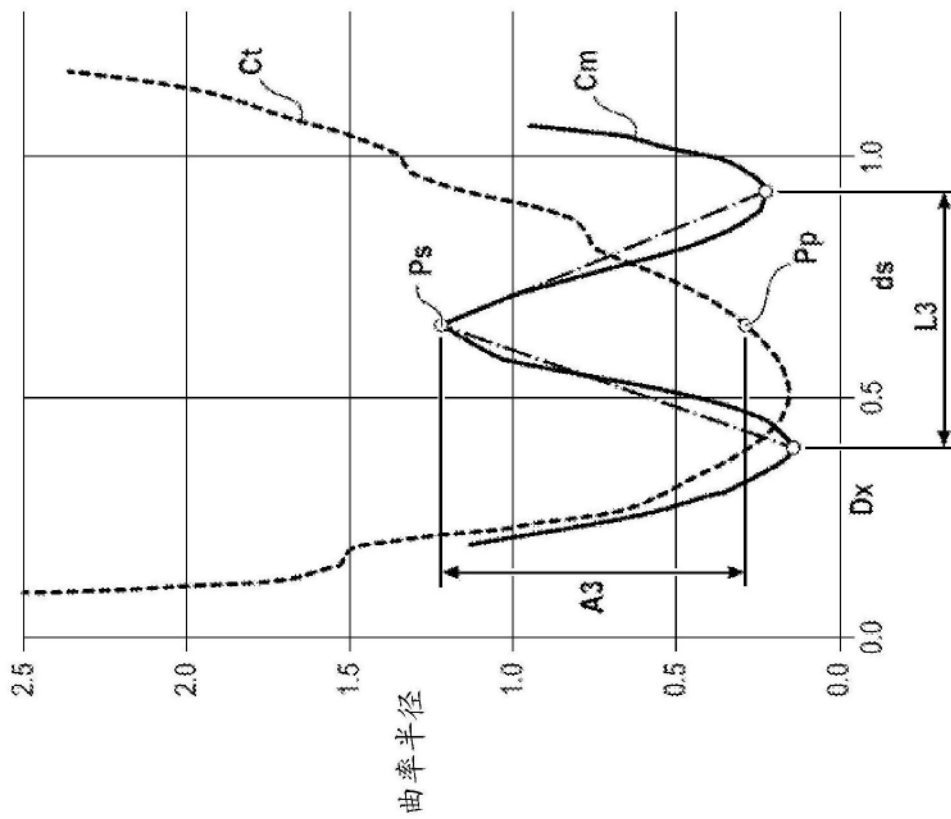


图16b

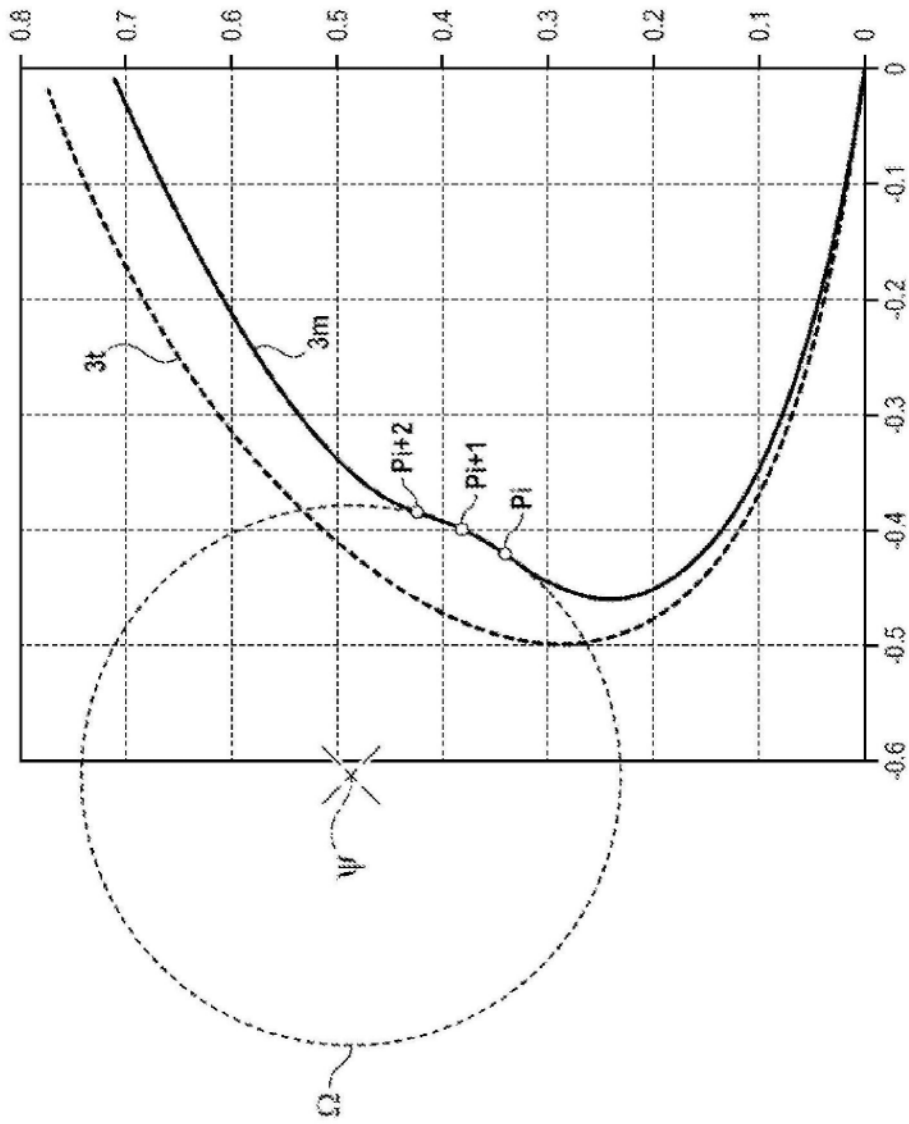


图17

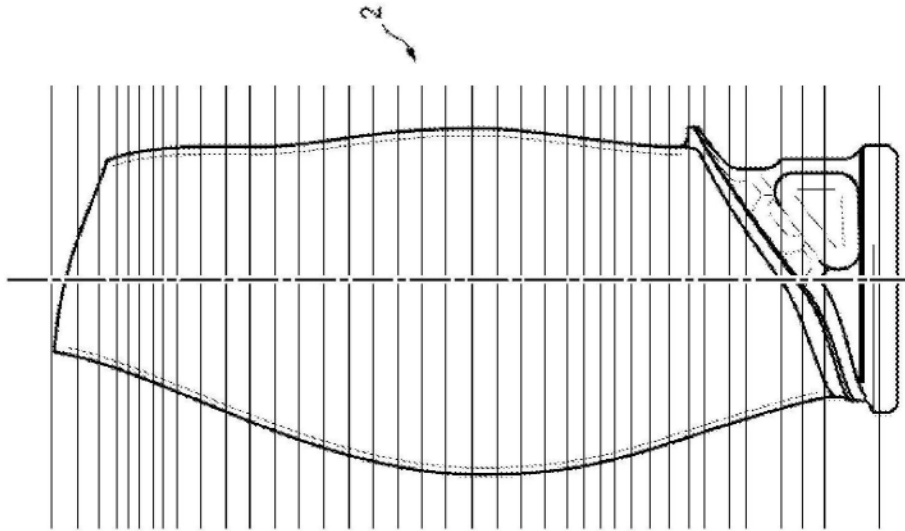


图18