

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

F01D 5/14 (2006.01)

F01D 5/22 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 99111069.2

[45] 授权公告日 2006 年 2 月 1 日

[11] 授权公告号 CN 1239810C

[22] 申请日 1999.7.30 [21] 申请号 99111069.2

[30] 优先权

[32] 1998.7.31 [33] JP [31] 218262/1998

[71] 专利权人 东芝株式会社

地址 日本神奈川

[72] 发明人 田沼唯士 坂本太郎

审查员 谭 凯

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 吴静波

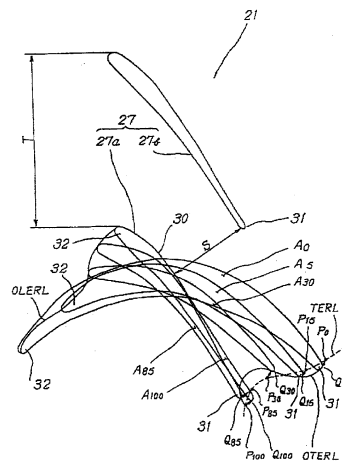
权利要求书 3 页 说明书 15 页 附图 16 页

## [54] 发明名称

汽轮机的高效叶片结构

## [57] 摘要

本发明提供一种汽轮机，它通过在工作前偏移转动叶片喉部叶距比 S/T 使更多驱动蒸汽通过，并在工作中叶片反向扭开时保持合适值使更多蒸汽流动，同时对动力损失较小区叶片横截面给定叶片反向扭开角度使转动叶片喉部叶距比 S/T 膨胀。汽轮机通过对叶根到叶片端部的叶片高度方向的叶片横截面给定叶片扭曲角度形成有至少一最大值和一最小值的曲线使转动叶片喉部叶距比 S/T 分布偏移，喉部叶距比 S/T 分布考虑工作时叶片反向扭开。



1. 一种汽轮机的涡轮转动叶片组件，它具有多个级，每级设置有安装到涡轮轴上的涡轮转动叶片和固定的涡轮导向器叶片，涡轮导向器叶片沿轴向邻近涡轮转动叶片安装，涡轮转动叶片与邻近的涡轮转动叶片沿圆周方向间隔开，邻近的涡轮转动叶片在它们端部的中间位置和它们的径向外端部相互连接起来，每个涡轮转动叶片从叶根到叶片端部被扭曲，其特征在于，沿着每个涡轮转动叶片高度的叶片横截面的扭曲角度不同，从而产生沿着涡轮转动叶片高度方向从叶根到叶片端部的喉部叶距比  $S/T$  分布，该喉部叶距比  $S/T$  分布形成一条具有至少一个最小值和一个最大值的曲线。

2. 如权利要求 1 所述的涡轮转动叶片组件，其特征在于，考虑到汽轮机工作期间由于离心力作用产生的涡轮转动叶片朝相反方向扭开，所述喉部叶距比  $S/T$  分布是偏移的。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的涡轮转动叶片组件，其特征在于，最大值位于大约 15%至 45%的涡轮转动叶片高度范围内。

4. 如权利要求 3 所述的涡轮转动叶片组件，其特征在于，所述最小值位于 10%至 20%的涡轮转动叶片高度范围内，并且最大值位于涡轮转动叶片的 25%至 35%的叶片高度范围内。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的涡轮转动叶片组件，其特征在于，最小值位于 70%至 95%的涡轮转动叶片高度范围内。

6. 如权利要求 3 所述的涡轮转动叶片组件，其特征在于，最小值位于 70%至 95%的涡轮转动叶片高度范围内。

7. 如权利要求 1 或 2 所述的涡轮转动叶片组件，其特征在于，一部分差别叶片扭曲角度沿顺时针方向给定到叶片横截面，以及另一部分差别叶片扭曲角度沿逆时针方向给定到叶片横截面。

8. 如权利要求 7 所述的涡轮转动叶片组件，其特征在于，沿顺

时针方向给定的差别叶片扭曲角度位于大约从 0% 到 85% 的涡轮转动叶片高度范围内的位置上，而沿逆时针方向给定的差别叶片扭曲角度位于从大约 30% 的叶片高度位置到大约 100% 的叶片高度位置上。

9. 如权利要求 1 或 2 所述的涡轮转动叶片组件，其特征在于，涡轮转动叶片组件的根部直径至少为 1.4m，涡轮转动叶片的高度至少为 1.0m，以及涡轮轴以 3000rpm 或 3600rpm 旋转。

10. 如权利要求 1 或 2 所述的涡轮转动叶片组件，其特征在于，所述的涡轮转动叶片由钛合金制成，该钛合金依照重量百分比由大约 88% 至 92% 的钛、大约 4% 至 8% 的铝和大约 2% 至 6% 的钒组成。

11. 如权利要求 1 或 2 所述的涡轮转动叶片组件，其特征在于，涡轮转动叶片的中间连接位于大约 50% 至 70% 的涡轮转动叶片高度范围内。

12. 如权利要求 1 所述的涡轮转动叶片组件，其特征在于，在最末涡轮级和最末涡轮上游的至少一个涡轮级中采用涡轮转动叶片差别扭曲角度。

13. 一种汽轮机的涡轮导向器叶片组件，它具有多个级，每级设置有安装到涡轮轴上的涡轮转动叶片和固定的涡轮导向器叶片，涡轮导向器叶片沿轴向邻近涡轮转动叶片安装，每个涡轮导向器叶片从叶根到叶片端部被扭曲，其特征在于，沿着每个涡轮导向器叶片高度的叶片横截面的扭曲角度不同，从而产生沿着涡轮导向器叶片高度方向从叶根到叶片端部的喉部叶距比  $S/T$  分布，该喉部叶距比  $S/T$  分布形成一条具有至少一个最大值的曲线，该最大值位于大约 20% 至 80% 的涡轮导向器叶片高度范围内。

14. 如权利要求 13 所述的涡轮导向器叶片组件，其特征在于，所述最大值在叶根位置处位于大约 0.1 至 0.5 的范围内以及在叶片

端部位置处位于大约 0.14 至 0.5 的范围内。

15. 如权利要求 13 所述的涡轮导向器叶片组件，其特征在于，在最末涡轮级和最末涡轮上游的至少一个涡轮级中采用涡轮导向器叶片差别扭曲角度。

16. 一种汽轮机中，它具有一个壳体、一个在壳体内可旋转的轴和若干级，每级设置有安装到涡轮轴上的涡轮转动叶片和固定的涡轮导向器叶片，涡轮导向器叶片沿轴向邻近涡轮转动叶片安装，涡轮转动叶片与邻近的涡轮转动叶片沿圆周方向间隔开，邻近的涡轮转动叶片在它们端部的中间位置和它们的径向外端部相互连接起来，每个涡轮转动叶片从叶根到叶片端部被扭曲，其特征在于，沿着每个涡轮转动叶片高度的叶片横截面的扭曲角度不同，从而产生沿着涡轮转动叶片高度方向从叶根到叶片端部的喉部叶距比  $S/T$  分布，该喉部叶距比  $S/T$  分布形成一条具有至少一个最小值和一个最大值的曲线。

## 汽轮机的高效叶片结构

### 技术领域

本发明涉及汽轮机。更具体地，本发明涉及汽轮机的汽轮机叶片的结构。

### 背景技术

公开日为 1994 年 9 月 27 日、公开号为特开平 6-272504 的日本专利申请给出了一种三维涡轮叶片。其中，就该现有技术所述的涡轮而言，具有这样一种趋势：在最末涡轮级和最末级涡轮级上游的涡轮级采用较长的叶片从而有效地利用燃料并且更加经济地运行。

例如，图 10 表示一个 700,000KW 输出级的汽轮机，在该汽轮机中在最末涡轮级和最末涡轮级上游的涡轮级采用了长叶片。这是一种轴流型涡轮，在该涡轮中多级 5 沿着涡轮轴 2 的轴向方向连续地位于涡轮驱动蒸汽流中，而涡轮轴 2 装在涡轮壳体 1 内。

每级 5 包括一组固定的涡轮叶片涡轮导向器叶片 3 和一组下游邻近的涡轮转动叶片 4。

每级涡轮导向器叶片 3 沿着环绕涡轮轴 2 的圆周方向对准，它们的外端由固定在涡轮壳体 1 上的外固定叶轮 6 支撑，它们的内端由邻近涡轮轴 2 的内固定叶轮 7 支撑。

内固定叶轮 7 带有的密封件 7a 使内固定叶轮 7 和旋转轴 2 隔绝。

每级涡轮转动叶片 4 绕着涡轮轴 2、邻近并位于每级涡轮导向器叶片 3 的下游沿圆周方向对准。

每个涡轮转动叶片从轴 2 沿径向延伸，并具有嵌入在轴 2 内的叶片嵌入部分 8、从根部到端部的叶片有效部分 9 和叶片端部连接部

分 10。

叶片有效部分 9 是指当涡轮驱动蒸汽通过涡轮转动叶片时作实际功（产生旋转转矩）的那部分叶片。

涡轮转动叶片 4 在叶片有效部分 9 的中间部分上设置有中间连接装置 11，该连接装置 11 用来使整个叶片的有效部分 9 稳定。

如图 11 所示，中间连接装置 11 包括位于一个叶片有效部分 9a 和邻近叶片有效部分 9b 的各自背部 9c 和 9d 及腹部 9e 和 9f 上的支柱 11a 和 11b。

连接套 11c 通过设置在支柱 11a 和 11b 的两端上的挂耳（未示出）把支柱 11a 和 11b 可枢轴转动地相互连接在一起。因此，诸如从涡轮导向器叶片 3 流来的涡轮驱动蒸汽的喷射压力超时间波动的因素所导致的中间部分的振动和涡轮轴的振动被抑制到较小水平。

如图 12 所示，叶片端部连接装置 10 使涡轮转动叶片 4 的端部稳定，而该叶片端部连接装置 10 形成为如所谓的“缓冲器型”的板状延伸件 10a 和 10b，而板状延伸件 10a 和 10b 整体地从叶片有效部分 9 切割下来。在运行过程中，利用延伸件 10 a 和 10b 的相互接触摩擦抑制叶片端部振动。

中间连接装置 11 和叶片端部连接装置 10 的上述结构在具有长叶片的涡轮中提供了有效的防振动对策，而该振动是由诸如涡轮驱动蒸汽喷射压力的超时间变化的因素所导致的。

但是在现有技术中的带有长叶片的汽轮机（图 10 所示）中，当涡轮转动叶片 4 的叶片有效部分 9 超过 1m 时，由于叶片长度而产生了许多其它问题。其中的一个问题是：在运行过程中，由于离心力的作用使得叶片的弯曲结构变形，因此喉部叶距比（S/T）发生变化，其结果导致动力降低。

通过采用所谓的“简化三维叶片设计方法”在现有技术中进行实验来解决这个问题。在这种方法中，在涡轮级前后的通道高度首先

增大。然后，当涡轮级前后的压力比相对较大时，涡轮转动叶片的横截面形状改变以便与这样的事实相适应：等速图已沿着通道高度方向提高。

但是，如果汽轮机的涡轮转动叶片 4 较长，如图 13 所示，涡轮驱动蒸汽相对涡轮叶片的流入角度将沿着叶片有效部分 9 从叶根到叶片平均直径（叶距圆周直径）、到叶片端部大大地改变。

在图 13 中， $\alpha$  表示涡轮驱动蒸汽流入涡轮转动叶片 4 的流入角度， $BV$  表示流进涡轮转动叶片 4 的涡轮驱动蒸汽流入速度矢量， $SV$  表示流出涡轮导向器叶片（未示出）的涡轮驱动蒸汽流出速度矢量，及  $U$  表示圆周速度。同样，下标  $R$ 、 $P$  和  $T$  表示对应的叶根、叶片平均直径（叶距圆周直径）和叶片端部位置。

在这种情况下，需要改进叶片有效部分 9 的叶根、叶片平均直径和叶片端部位置每个处的叶片横截面形状，从而使之与每个位置上的涡轮驱动蒸汽流入角度  $\alpha_R$ 、 $\alpha_P$  和  $\alpha_T$  相适应。但是，作为前提的是，首先需要找到每个位置上的涡轮驱动蒸汽流入速度矢量  $BV_R$ 、 $BV_P$  和  $BV_T$ 。

每个位置上的涡轮驱动蒸汽流入速度矢量  $BV_R$ 、 $BV_P$  和  $BV_T$  可以从等速图中找到，该等速图由从涡轮导向器叶片的叶根、叶片平均直径和叶片端部的位置流出的涡轮驱动蒸汽的流出速度  $SV_R$ 、 $SV_P$  和  $SV_T$  及每个位置（过程的旋转角速度是常数，与径向位置无关）上的半径和旋转角速度所决定的圆周速度矢量（涡轮轴的圆周速度分量）所组成。

对于从等速图中找到的不同位置上的涡轮驱动蒸汽流入速度矢量  $BV_R$ 、 $BV_P$  和  $BV_T$  而言，流入角度可以改变。例如，叶根处的流入角度  $\alpha_R$  一般在  $30^\circ$  到  $50^\circ$  的范围内，而叶片端部处的流入角度  $\alpha_T$  一般在  $140^\circ$  到  $170^\circ$  的范围内，并且它们的角度差别最大时可达到  $140^\circ$ 。这种较大差别角度是由于这样的事实所致：叶片端部与叶片

旋转轴线的径向距离至少是叶根与叶片旋转轴线的径向距离的两倍，相应地，叶片端部的圆周速度分量至少是叶根的圆周速度分量的两倍。

如果不改进涡轮转动叶片来补偿这种沿径向的较大流入角度的改变量，那么将会明显地增加动力损失。因此，通过改变叶片横截面的扭曲角度来使它适合于叶片有效部分 9 的各位置上的涡轮驱动蒸汽流入角度  $\alpha_R$ 、 $\alpha_P$  和  $\alpha_T$ ，从而改进现有技术中的汽轮机；而且，沿着流入速度矢量方向来改变靠近进气边的叶片横截面形状。

图 14 是形成在一个平面上的涡轮动叶列的任何高度处的圆周方向横截面图，并示出了涡轮转动叶片蒸汽通道的结构。S 是喉部，并表示形成在一个叶片的背部和下一个涡轮转动叶片的腹部之间的内叶片蒸汽通道的最窄部分的宽度。T 是叶距，它是沿圆周方向上的涡轮转动叶片之间的间隙。喉部叶距比 ( $S/T$ ) 是不依赖于汽轮机尺寸的动力设计参数并与涡轮转动叶片的流出角度相适应。换句话说，如果增加喉部叶距比 ( $S/T$ )，那么涡轮转动叶片流出角度变得更大，并且当叶片流出速度作为常数时，轴向流速分量变得更大且该横截面流速增大，该涡轮转动叶片流出角度把圆周方向作为 0 来定义。相反地，如果减少喉部叶距比 ( $S/T$ )，那么涡轮转动叶片流出角度变得更小，并且这个横截面的流速减小。涡轮导向器叶片的喉部叶距比 ( $S/T$ ) 的定义也相同。

在较长叶片级中，如涡轮最末级，这不仅仅限制沿径向大大不同的圆周方向速度，内壁侧（叶根）和外壁侧（叶片端部）之间的压力差变得更大，该压力差起源于压力的径向梯度，由于涡轮导向器叶片产生的切线速度分量，因此该压力在涡轮导向器叶片的出口位置上升。在长叶片级的设计中，需要采用考虑了这种压力差的喉部叶距比 ( $S/T$ ) 分布。

图 15 是现有技术设计中通常采用的涡轮转动叶片喉部叶距比

(S/T) 分布的一个例子。在现有技术的“简化的三维设计方法”中，由于它很难准确地估计每个叶片横截面的三维损失，产生的设计使得沿径向每单位环形面积的流速分布对涡轮导向器叶片和涡轮转动叶片都大约变成常数。对涡轮转动叶片而言，代替大约是常数的出口静压力分布，外壁侧的流速增加了，外壁侧的流入静压力较高。因此，采用这样的设计，除了通过减少外壁侧的喉部叶距比(S/T)来减少轴向流速之外，还通过提高内壁侧的喉部叶距比(S/T)来提高轴向流速，相反地，流入静压力较小并且涡轮转动叶片流出速度较小。因此径向流动分布变得大约均匀。

就以这种方式设计的现有技术涡轮转动叶片而言，当叶片高度较小时没有问题。但是，就叶片高度超过 1m 的长叶片而言，存在这样的问题：很难充分地确保涡轮转动叶片的叶根横截面的前部和后部之间的压力差，该压力差与流入静压力的有关压差相同。这就会导致性能下降。同时，由于在叶根横截面和其它横截面两者通过相同流量，还具有这样的问题：涡轮级的总体动力性能降低。

图 16 表示现有技术涡轮导向器叶片的喉部叶距比(S/T)分布。就涡轮导向器叶片而言，与涡轮转动叶片相反，与大约均匀的流入总压力相反，出口静压力分布具有从内侧到外侧上升的分布。就现有技术的“简化三维尺寸设计方法”而言，由于很难预测径向的损失分布，因此它把径向流量分布是均匀的作为一个前提。因为这个原因，因此采用了图 16 所示的喉部叶距比(S/T)分布，该喉部叶距比(S/T)分布从叶根到叶片端部恒定地上升。

图 16 所示分布的问题在于：由于叶根的流出角度变得越来越小，因此在这个部分上的损失增加了。同样，有一个问题是：随着叶片端部靠近壁面，通过在壁面和涡轮导向器叶片之间的拐角上产生的辅助流动紊流从而增加了损失。由于象在其它叶片区域一样相同的流量也流过这个区域，涡轮级的总体动力性能降低。

图 17 表示现有技术涡轮导向器叶片动力损失的径向分布。在叶根侧部，通过使喉部叶距比 (S/T) 变小来减小流出角度，因此产生了恶性循环，即流出速度提高得越大，那么损失增加得更多。

因此，理想的目标是考虑了可以改变沿圆周方向的流量分布的效果和由于离心力所产生的叶片变形效果的综合的三维尺寸设计方法。但是，现有技术解决方案迄今为止没有解决所有的问题。现在参照图 14 和 15 描述这样一个解决方案。一系列涡轮转动叶片以这样的方式来设计：进气边从叶根到叶片端部沿顺时针方向扭曲。因此，当离心力引起的拉力作用在叶片的有效部分 9 上时，沿着图 14 所示的箭头 AR 方向产生了反扭曲（朝相反方向扭开）。相应地，如图 15 所示，涡轮转动叶片 4 的喉部叶距比 (S/T) 尽管在不工作时从叶根到叶片端部设置成实线所示的分布，但是在工作过程中它理论上变成虚线所示的分布。但是，用来控制涡轮转动叶片振动的措施（即叶片有效部分 9 的中间部分上的中间连接装置 11 和叶片端部上的端部连接装置 10）限制了叶片在这些连接位置上朝相反方向扭开，并且如图 15 所示在 70—95% 高度上的喉部叶距比 (S/T) 分布向外膨胀并变成了一个较宽通道，而 70—95% 的高度在正常情况下位于连接装置 10 和 11 之间。

这种情况会引起另外的问题。在长叶片涡轮转动叶片 4 的情况下，在叶根直径为 1.4m 或更大及叶片有效部分 9 超过 1m 的地方，离开涡轮转动叶片的运动蒸汽的相同速度（由涡轮转动叶片设置的坐座系来定义出该速度）至少在从叶片有效部分 9 的平均直径（PCD：叶距圆周直径）到叶片端部的区域内超过声音的速度，并且变成超音速流动。

如图 13 所示，给出涡轮驱动蒸汽流入角度沿着叶片有效部分 9 的范围，如果上述膨胀部分产生在 75—95% 的正常叶片高度区域内的喉部叶距比 (S/T) 分布上，那么涡轮驱动蒸汽的超音速流动将会

过分膨胀，从而在涡轮转动叶片的进气边上产生强烈的震波。

因此现有技术的汽轮机具有许多缺点。它们采用沿径向产生几乎均匀的流动分布的喉部叶距比（S/T）分布，其结果是在靠近涡轮转动叶片的叶根上的壁面处和靠近涡轮导向器叶片端部的外壁面的摩擦损失较大。它们还受到由超音速蒸汽流与膨胀叶片部分相互作用所引起的震波，该膨胀叶片部分是由于叶片朝相反方向扭开而产生在叶片有效部分 9 的限定部分之间。这些缺点妨碍了涡轮根据设计标准的运行。

### 发明内容

本发明的一个目的是提供一种用来提高涡轮叶列性能的汽轮机。

本发明的另一个目的是提供一种涡轮转动叶片，该涡轮转动叶片使涡轮驱动蒸汽以稳定的状态流动，从而提高涡轮的性能。

本发明的另一个目的是提供一种涡轮导向器叶片，该涡轮导向器叶片使涡轮驱动蒸汽以稳定状态流动，从而提高涡轮的性能。

为了实现这些目的，为本发明的涡轮转动叶片所设计和采用的三维叶片设计方法是这样的：该设计方法把涡轮驱动蒸汽看作三维气流，并可以控制这种三维气流。因此，比用现有技术的简化的三维叶片设计方法更准确。

换句话说来讲，在涡轮叶列中，在工作之前偏移涡轮转动叶片的喉部叶距比（S/T）。在工作过程中叶片产生朝相反方向扭开时，借助于保持合适值以形成与涡轮驱动蒸汽流入角度相适应的喉部叶距比（S/T）分布来防止超音速区域的过度膨胀流。

同时，沿径向给定了流动分布，以使对于涡轮转动叶片和涡轮导向器叶片两者而言，在靠近壁面的区域内涡轮驱动蒸汽流减少，在该区域内否则损失较大，而在另一方面，在远离壁面的区域内涡轮驱动蒸汽流增加，在该区域内损失较小。

## 附图说明

结合附图并参照下面的详细描述可很容易获到和更好地理解本发明更全面的价值和它所具有的许多优点。

图 1 是表示本发明汽轮机的一个实施例的示意性局部剖视图。

图 2 是本发明涡轮转动叶片组件的损失分布图。

图 3 是叠放平面图，它表示本发明沿着涡轮转动叶片的高度从叶根到叶片端部的任意位置上截取的各个叶片的剖视图。

图 4 是与现有技术的静态喉部叶距比 (S/T) 分布和工作时的喉部叶距比 (S/T) 分布相比较的本发明涡轮转动叶片的静态喉部叶距比 (S/T) 分布。

图 5 是喉部叶距比 (S/T) 分布图，它表示本发明的涡轮转动叶片从 0% 的叶片高度到 50% 的叶片高度的静态喉部叶距比 (S/T)。

图 6 是喉部叶距比 (S/T) 分布图，它比较本发明涡轮转动叶片工作时的和不工作时从 0% 的叶片高度到 100% 的叶片高度的喉部叶距比 (S/T)。

图 7 是喉部叶距比 (S/T) 分布图，它表示本发明的涡轮导向器叶片从 0% 的叶片高度到 100% 的叶片高度的喉部叶距比 (S/T)。

图 8 是涡轮级损失分布图，它表示本发明涡轮导向器叶片的叶根处的喉部叶距比 (S/T) 和涡轮级损失之间的关系。

图 9 是涡轮级损失分布图，它表示本发明涡轮导向器叶片的叶片端部处的喉部叶距比 (S/T) 和涡轮级损失之间的关系。

图 10 是表示最末涡轮级的涡轮导向器叶片和涡轮转动叶片的示意剖面图。

图 11 是从图 10 的箭头 11-11 方向看去的中间连接装置的示意图。

图 12 是从图 10 的箭头 12-12 方向看去的叶片端部连接装置的

示意斜视图。

图 13 是表示在最末级的涡轮转动叶片的叶根、叶片平均直径和叶片端部的每个位置处流入的涡轮驱动蒸汽的等速图的示意图。

图 14 是表示最末涡轮级的涡轮转动叶片的叶列的局部改进的剖视图。

图 15 是喉部叶距比 (S/T) 分布图, 它对最末涡轮级的涡轮转动叶片在不工作时喉部叶距比 (S/T) 和在工作期间的喉部叶距比 (S/T) 进行了比较。

图 16 是喉部叶距比 (S/T) 分布图, 它表示最末涡轮级的涡轮导向器叶片的喉部叶距比 (S/T)。

图 17 是最末涡轮级的涡轮导向器叶片的损失分布图。

#### 具体实施方式

下面参照附图和附图中的所示标号来描述把涡轮转动叶片和涡轮导向器叶片装配到与本发明有关的涡轮上的优选实施例。

在与本实施例有关的汽轮机中, 如图 1 所示, 涡轮级 22 由涡轮导向器叶片组件 20 和涡轮转动叶片组件 21 组成, 涡轮导向器叶片组件 20 端部通过内固定叶轮 23 和外固定叶轮 24 而支撑, 涡轮转动叶片组件 21 嵌入涡轮轴 25 内。沿着涡轮轴 25 设置有若干个这种涡轮级 22。

叶片由合金制成, 在该合金中按重量百分比钛为 88—92%、铝为 4—8%和钒为 2—6%。在 50hz 区域使用 3000rpm 的旋转速度, 在 60hz 区域使用 3600rpm 的旋转速度。

每个涡轮转动叶片 21 具有叶片嵌入部分 26 和叶片有效部分 27。而且, 每个涡轮转动叶片 21 在叶片端部上设置有叶片端部连接装置 28 以及在叶片的中间部分设置有中间连接装置 29。

叶片有效部分 27 的叶根直径是 1.4m 或者更大, 而叶片高度是

1.0m 或更高。

中间连接装置 29 安装在正常叶片高度的 50% 到 70% 范围内的位置上，中间连接装置 29 用来减少工作期间涡轮转动叶片 21 的振动，同时把涡轮转动叶片 21 的任何朝相反方向扭开减少到最低限度。该叶片端部连接装置 28 和中间连接装置 29 各自与图 11 和图 12 所示的结构相同，并参照这些图上面进行了描述。

涡轮转动叶片 21 具有如图 2 所示的叶列性能分布。这种叶列性能分布分别在垂直轴上示出了动力损失（涡轮转动叶片损失）和在水平轴上示出了正常的叶片高度，并且还示出了动力损失在 15—45% 的正常叶片高度范围内变得较小。这种叶列性能分布是通过涡轮驱动蒸汽流的数值分析得到的，并且与模型涡轮的实验数据刚好相吻合，因此在对叶列进行三维设计时这些是有效数据。

参照图 3，由于涡轮转动叶片 21 受到这种设计要求和具有这种叶列性能分布，因此涡轮叶列的气流三维流动模式可以通过设置合适的喉部叶距比（S/T）来进行优选，其中 T 表示一个叶片有效部分 27a 和邻近叶片有效部分 27b 之间的叶距，S 表示由一个叶片有效部分 27a 的背部 30 和邻近叶片有效部分 27b 的腹部所形成的流动喉部的宽度（最窄的通道）。

在图 3 中，当从叶根到叶片端部沿着叶片高度在任意位置上截取叶片横截面时（如， $A_0$  表示位于叶根处（叶片高度为 0%）的叶片横截面， $A_{15}$  表示位于叶片高度 15% 处的叶片横截面， $A_{30}$  表示位于叶片高度 30% 处的叶片横截面， $A_{85}$  表示位于叶片高度 85% 处的叶片横截面，以及  $A_{100}$  表示位于叶片端部处（叶片高度 100%）的叶片横截面），然后，如果使每个横截面  $A_0, A_{15}, \dots$  的扭曲角度比现有技术的大，把每个出口边 31、31... 连接起来的现有技术中的出口边隆起线 TERL（用虚线来表示）移动到偏离出口边隆起线 OTERL（用实线表示）。

实际上，沿顺时针方向给定扭曲角度，以使横截面  $A_0$  从位置  $P_0$  移动到位置  $Q_0$ ，横截面  $A_{15}$  从位置  $P_{15}$  移动到位置  $Q_{15}$  及横截面  $A_{85}$  从位置  $P_{85}$  移动到位置  $Q_{85}$ ，同样，沿逆时针方向给定扭曲角度，以使横截面  $A_{30}$  从位置  $P_{30}$  移动到位置  $Q_{30}$  和横截面  $A_{100}$  从位置  $P_{100}$  移动到位置  $Q_{100}$ 。由实线形成偏移的进气边隆起线 OLERL，该实线把每个横截面  $A_0$ 、 $A_{15}$ …的进气边 32、32…连接起来。当从左边的进气边看去并同时从向上的背部看去时，每个横截面  $A_0$ 、 $A_{30}$ …所给定的扭曲角度呈顺时针方向或者逆时针方向。

如果通过如上所述设置扭曲角度来实现偏移，那么在不工作时喉部叶距比 (S/T) 具有图 4 实线所示的分布，而在工作期间具有虚线所示的分布，该喉部叶距比 (S/T) 由涡轮转动叶片之间的距离来决定。

如果每个横截面  $A_0$ 、 $A_{15}$ …给定的叶片扭曲角度比现有技术的大，并且每个横截面  $A_0$ 、 $A_{15}$ …的喉部叶距比 (S/T) 根据叶片扭曲角度来决定，那么如图 4 实线所示的喉部叶距比 (S/T) 分布形成一个具有最大值和最小值的大致呈 S 形的曲线。同时，实线明显地偏移用单点点划线所示出的现有技术中的喉部叶距比 (S/T) 位置，并且可以说保持偏移。

以这种方式，对这个实施例来讲，通过事先给每个横截面  $A_0$ 、 $A_{15}$ …一个比现有技术大的扭曲角度来决定喉部叶距比 (S/T)，并且该确定的 (S/T) 偏移 to 实线所示的位置上。这种差别扭曲角度 (与现有技术相比) 在这里定义为“差别叶片扭曲角度”。

随着在工作过程中所产生的朝相反方向扭开，该 (S/T) 分布从偏移位置移开并与虚线所示的喉部叶距比 (S/T) 位置相一致。因此，使得更多的涡轮驱动蒸汽在损失较小的区域内进行流动，而使得极少的涡轮驱动蒸汽在损失较大的区域内进行流动，其结果是提高了涡轮叶列的性能。

图 4 所示的涡轮转动叶片 21 的喉部叶距比 (S/T) 分布图是这样的图：在该图中，差别叶片扭曲角度设置在从叶根到叶片端部的整个叶片的所有叶片横截面 A0、A15…上。但是，是否在叶片的整个长度上或在叶片的较小部分上给出差别叶片扭曲角度取决于涡轮驱动蒸汽流是否是亚音速的或跨音速的。

当涡轮驱动蒸汽流是亚音速或跨音速时，对涡轮转动叶片 21 而言，如图 5 所示，喉部叶距比 (S/T) 通过给每个叶片横截面给定一个差别扭曲角度来决定，而这里的每个叶片横截面位于以叶根（叶片高度 0%）为参照的 10% 到 45% 的叶片高度范围内，并且预定的喉部叶距比 (S/T) 分布形成具有至少一个最小值或最大值的曲线，或者形成具有一个最小值和一个最大值的所谓 S 形曲线。实际上，最好是喉部叶距比 (S/T) 的最小值形成在 10—20% 范围内的叶片高度位置上，而喉部叶距比 (S/T) 的最大值优选形成在 15—45% 范围内的叶片高度位置上，并最好形成在 25—35% 范围内的叶片高度位置上。

通过给在 10—45% 叶片高度范围内的每个横截面一个差别叶片扭曲角度来预定喉部叶距比 (S/T)，并且把喉部叶距比 (S/T) 分布曲线设置成上述的具有至少一个最小值或最大值的曲线或者具有一个最小值和一个最大值的 S 形曲线，从而补偿在工作过程中产生的叶片朝相反方向扭开并同时使涡轮转动叶片损失较小的区域内通过更多的涡轮驱动蒸汽，如图 2 所示，因此提高了涡轮叶列的性能。但是尤其要对在 10% 或更小的叶片高度位置上给定一个差别叶片扭曲角度加以注意。

具体地说，如果喉部叶距比 (S/T) 在靠近叶根的壁面（涡轮轴）处较小，那么流出角度变得更小并且由于叶片和嵌入部分之间的拐角处的叶根附近的紊流而使辅助流动损失提高，拐角处的根部圆角是为了减少应力集中而增加的。为防止包括根部圆角的实际喉

部叶距比 ( $S/T$ ) 变得太小, 有必要调整根部圆角的叶片扭曲角度来使得喉部叶距比 ( $S/T$ ) 更大。

当涡轮驱动蒸汽以超音速流动时, 对涡轮转动叶片 21 而言, 如图 6 所示, 采用上述相同的方式以叶根为参照, 喉部叶距比 ( $S/T$ ) 由每个叶片横截面给定的差别叶片扭曲角度来决定, 而这里的每个叶片横截面位于 10% 到 95% 的叶片高度范围内。因此预定的喉部叶距比 ( $S/T$ ) 分布形成在 10—95% 的叶片高度范围内具有一个最小值和一个最大值的 S 形曲线, 并且预定的喉部叶距比 ( $S/T$ ) 分布同时在 70—95% 最好是在 80—90% 的叶片高度范围内具有最小值的曲线上是偏移的。这种结构抑制了工作期间叶片朝相反扭开时所产生的膨胀部分 (图 15 示出), 并且确保涡轮驱动蒸汽流动保持在稳定状态, 因此抑制了震波的产生。

在长叶片涡轮上进一步提高涡轮效率可以通过给定涡轮导向器叶片 20 的叶片横截面一个差别叶片扭曲角度来实现。因此从涡轮导向器叶片流出的蒸汽流将以它们的动力形式更加有效地与涡轮转动叶片相配合。如图 14 所示, 以与涡轮转动叶片 4 的 ( $S/T$ ) 相同的方式来定义涡轮导向器叶片的喉部叶距比 ( $S/T$ )。

如图 7 所示, 在考虑从叶根 (叶片高度 0%) 到叶片端部 (叶片高度 100%) 沿叶片高度方向上的这种喉部叶距比 ( $S/T$ ) 分布时, 取叶根为参照, 它在 20—80% 的叶片高度范围显得向外膨胀, 好象形成了最大值。这里, 对涡轮导向器叶片 20 而言, 叶根邻近图 1 所示的内固定叶轮 23, 而叶片端部邻近外固定叶轮 24。

喉部叶距比 ( $S/T$ ) 的这种分布是由对横截面给定差别叶片扭曲角度产生的, 好象在 20—80% 的叶片高度范围内形成最大值, 并分别把叶根 (叶片高度 0%) 的喉部叶距比 ( $S/T$ ) 设置在 0.1 到 0.5 范围内, 把叶片端部 (叶片高度 100%) 的喉部叶距比 ( $S/T$ ) 设置在 0.14 到 0.5 范围内。

因此，减少了总损失（涡轮导向器叶片损失加上涡轮转动叶片损失）。

图 8 所示的 0.1-0.5 的喉部叶距比（S/T）是从模型涡轮中得到的最优选应用范围。如果叶根和叶片端部的喉部叶距比（S/T）太小，由于采用这种值作为边界，靠近壁面的辅助（紊流）流动损失快速增加，因此采用上述值作为边界使损失快速增加。而且，穿过径向的流量分布平衡被打乱，从而在壁面处引起过大的流量以及在靠近壁处引起摩擦损失的快速增加。

根据图 9 所示的涡轮级损失变得越来越小的事实将叶片端部（叶片高度 100%）的喉部叶距比（S/T）设置成 0.14-0.5。叶片端部的喉部叶距比（S/T）的这个范围是优选的应用范围，并同样是从模型涡轮中得到的。

概括该实施例，涡轮导向器叶片 20 的喉部叶距比（S/T）是通过叶片横截面给定一个差别叶片扭曲角度来确定，以使喉部叶距比（S/T）的分布在 20-80% 的叶片高度范围内向外膨胀，好象形成了最大值。同时，叶根（叶片高度 0%）的喉部叶距比（S/T）设置在 0.1-0.5 范围内，而叶片端部（叶片高度 100%）的喉部叶距比（S/T）设置在 0.14-0.5 范围内。因此，更多的涡轮驱动蒸汽被集中并流动在涡轮级损失较小的区域内。因此，涡轮叶列性能可相对现有技术进一步改进。

对涡轮导向器叶片而言，尽管调整叶片扭曲角度是调整喉部叶距比（S/T）的最直接方法，但是还可以通过改变从形成背部喉部的部分到出口边的弯曲部分来调整喉部叶距比（S/T）。这就是说，如果使形成背部喉部的部分到出口边的弯曲部分更小，出口边将更加靠近邻近叶片的背部，喉部叶距比（S/T）将变得更小。相反地，如果使弯曲部分更大，喉部叶距比（S/T）将变得更大。此外，可通过改变出口边的厚度来调整喉部叶距比（S/T）。但是，由于使出口边变

厚将降低叶列性能，因此需要进行其它调整来保持总体效果。

总之，对装配在本发明的汽轮机中的涡轮转动叶片而言，为了补偿工作过程中产生的叶片朝相反方向扭开，根据对于叶片横截面给定的差别叶片扭曲角度确定的喉部叶距比（S/T）的分布是偏移的，以使它变得比现有技术的更大，并且在工作过程中喉部叶距比（S/T）因此而保持在最佳值。因此，涡轮驱动蒸汽以更加稳定的状态流动，并且提高了涡轮叶列性能。

对涡轮导向器叶片而言，根据对于叶片横截面给定的差别叶片扭曲角度确定的喉部叶距比（S/T）的分布沿着向外的方向膨胀，好象形成了最大值。因此，更多的涡轮蒸汽集中并流动在涡轮级损失较小的区域内。因此，涡轮叶列性能可相对现有技术进一步改进。

显然，根据上面描述可对本发明进行许多修改和改变。

1998年7月31日提出的第PH10-218262号日本在先申请的说明书、附图、权利要求书和摘要在此引入作为参考文献。

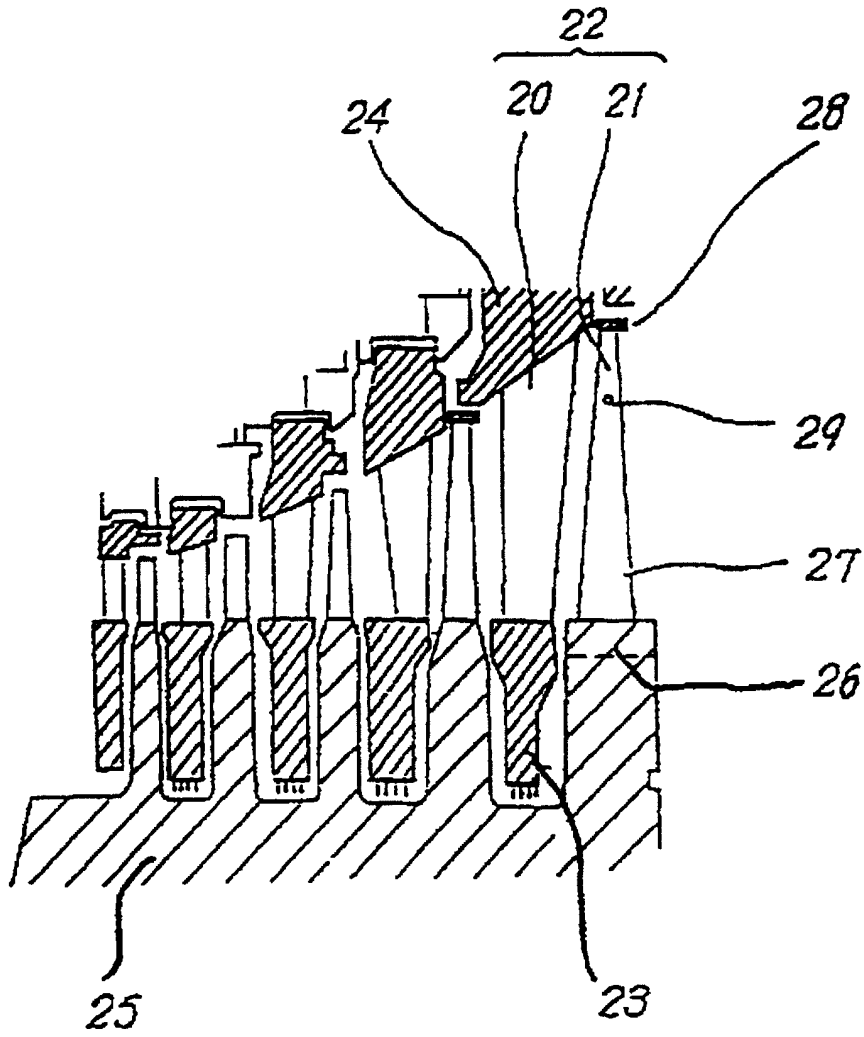


图 1

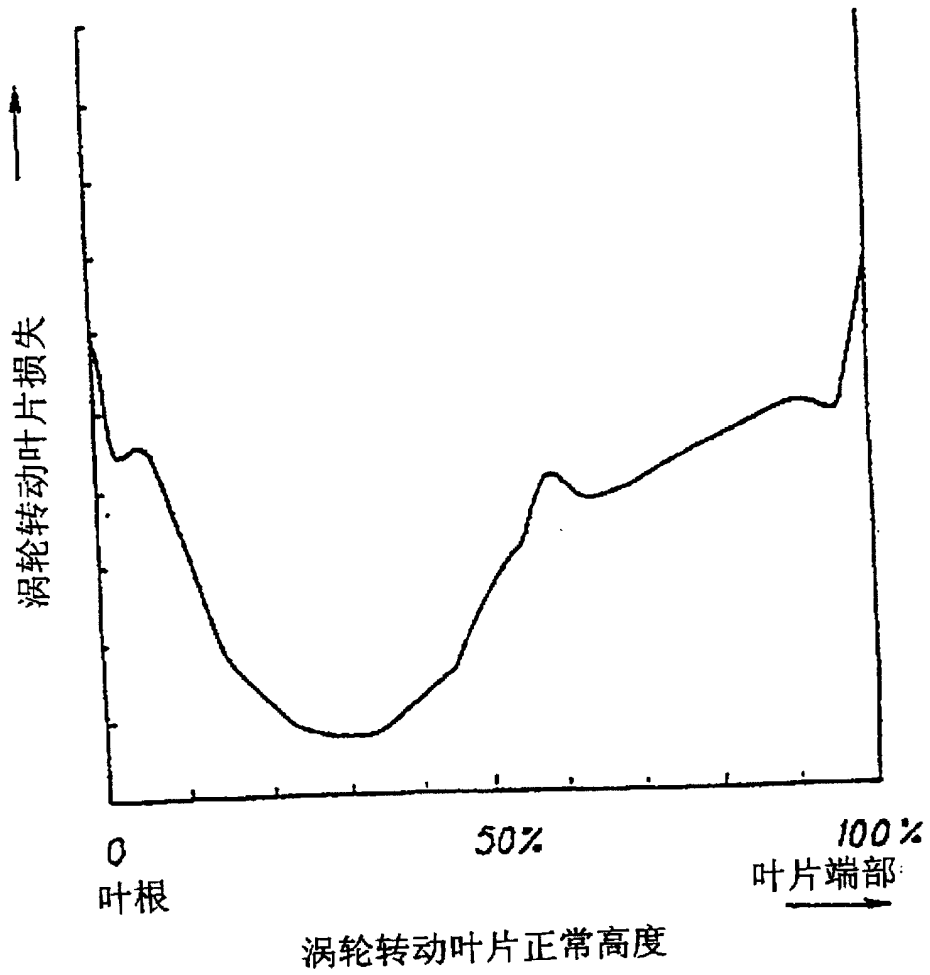


图 2



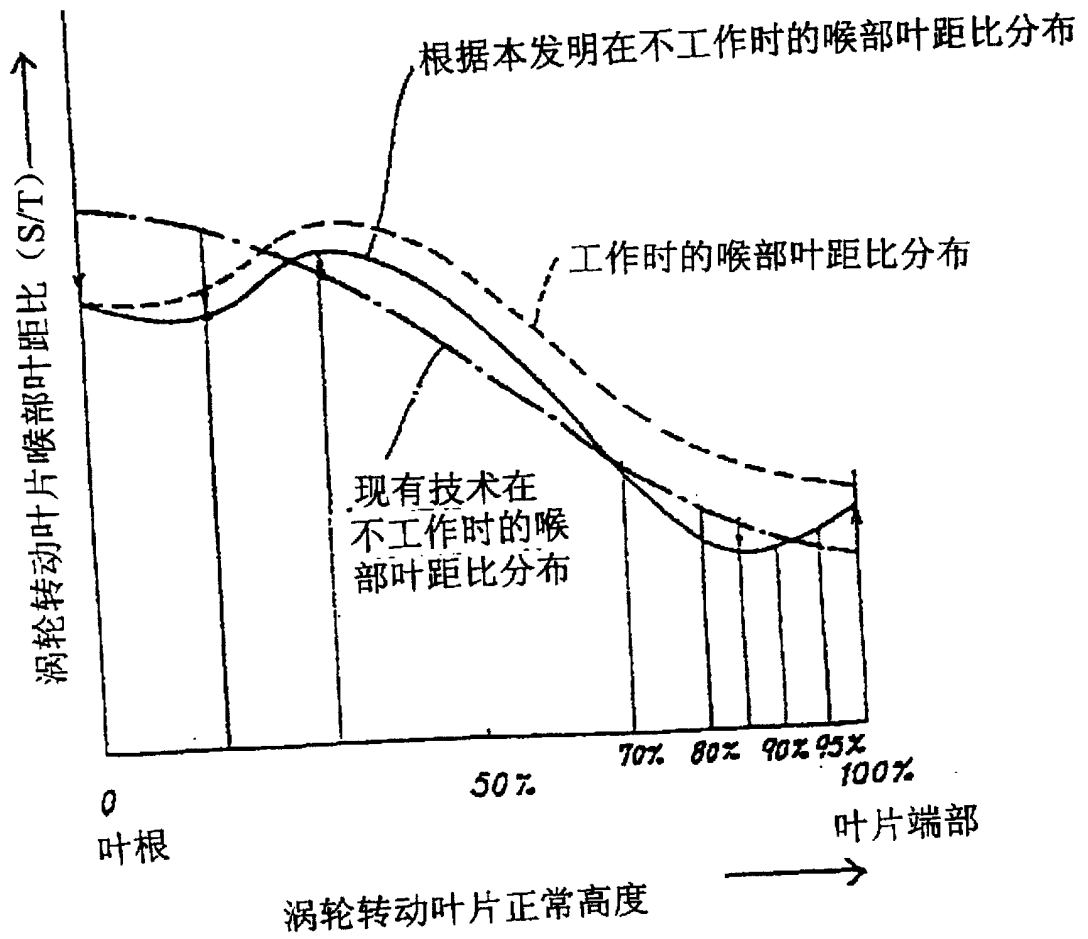


图 4

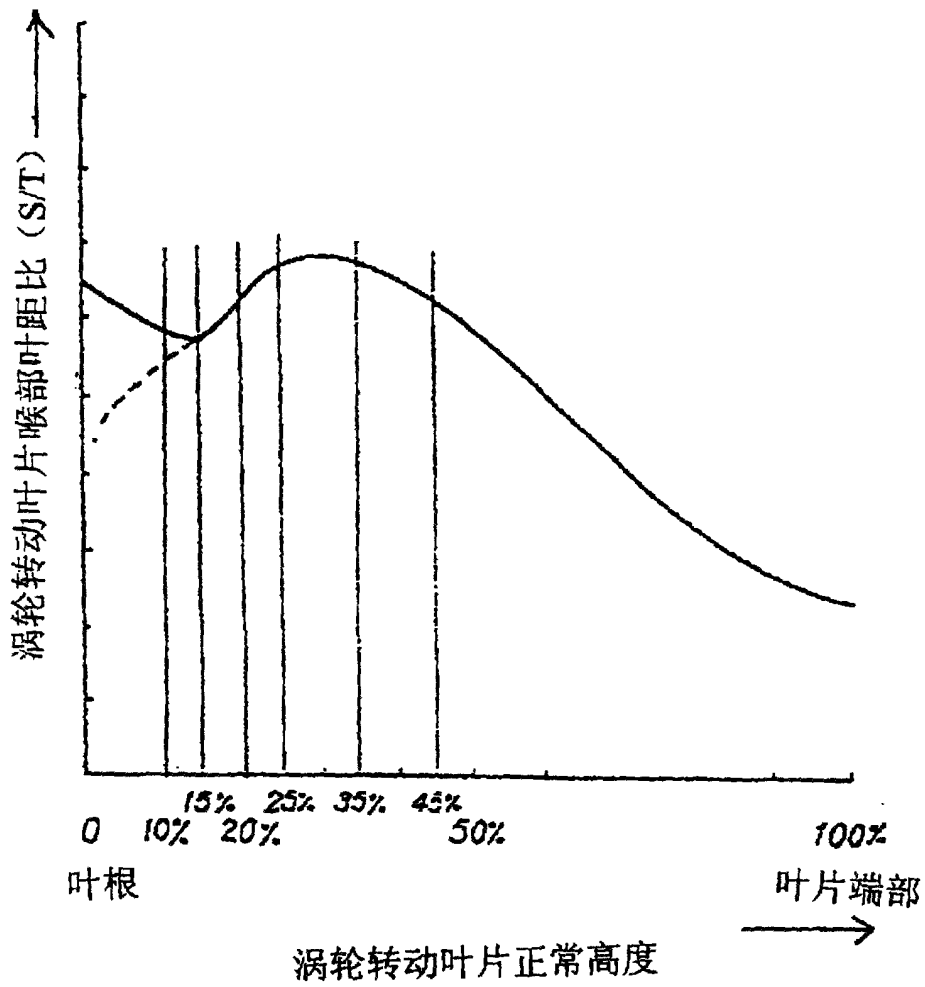


图 5

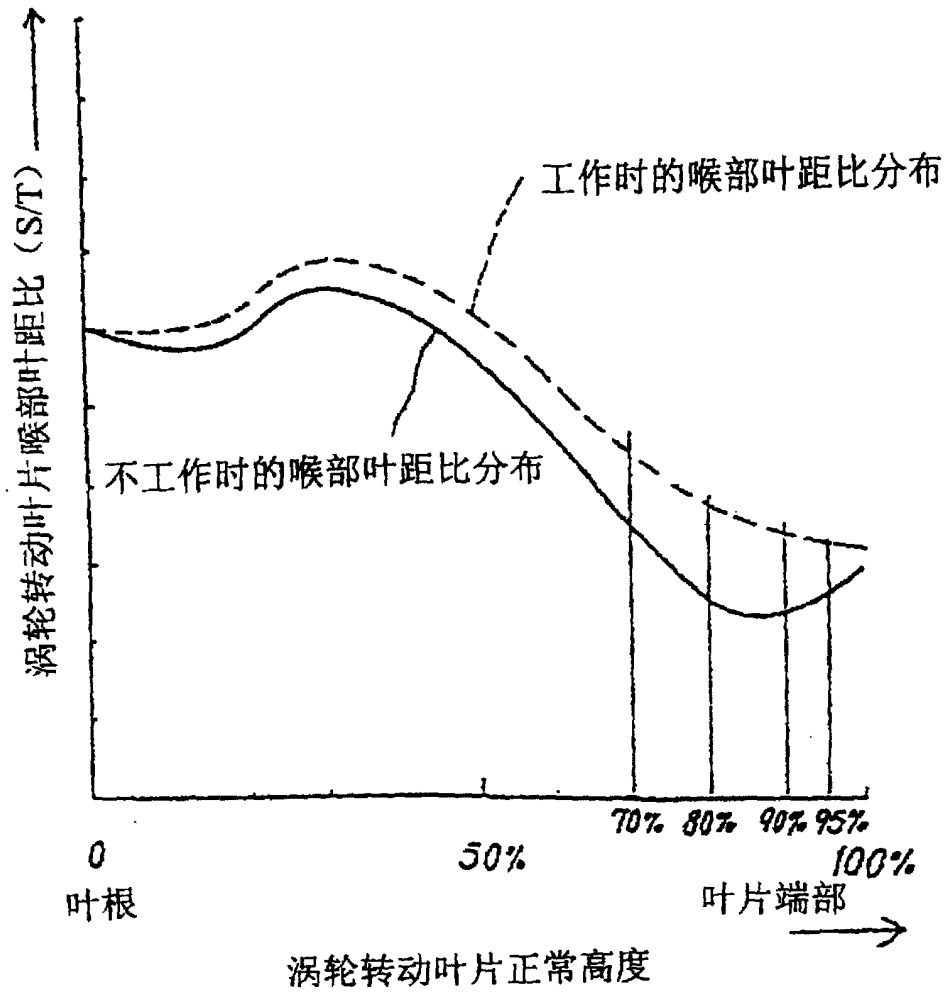


图 6

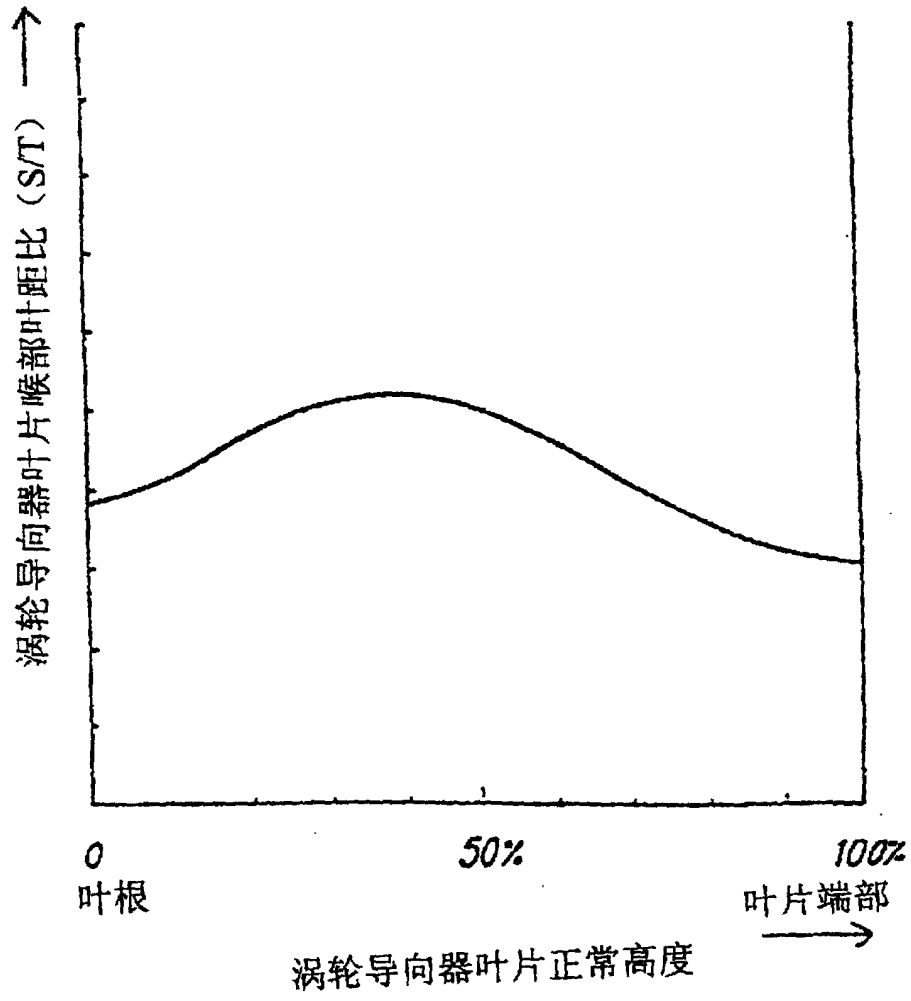


图 7

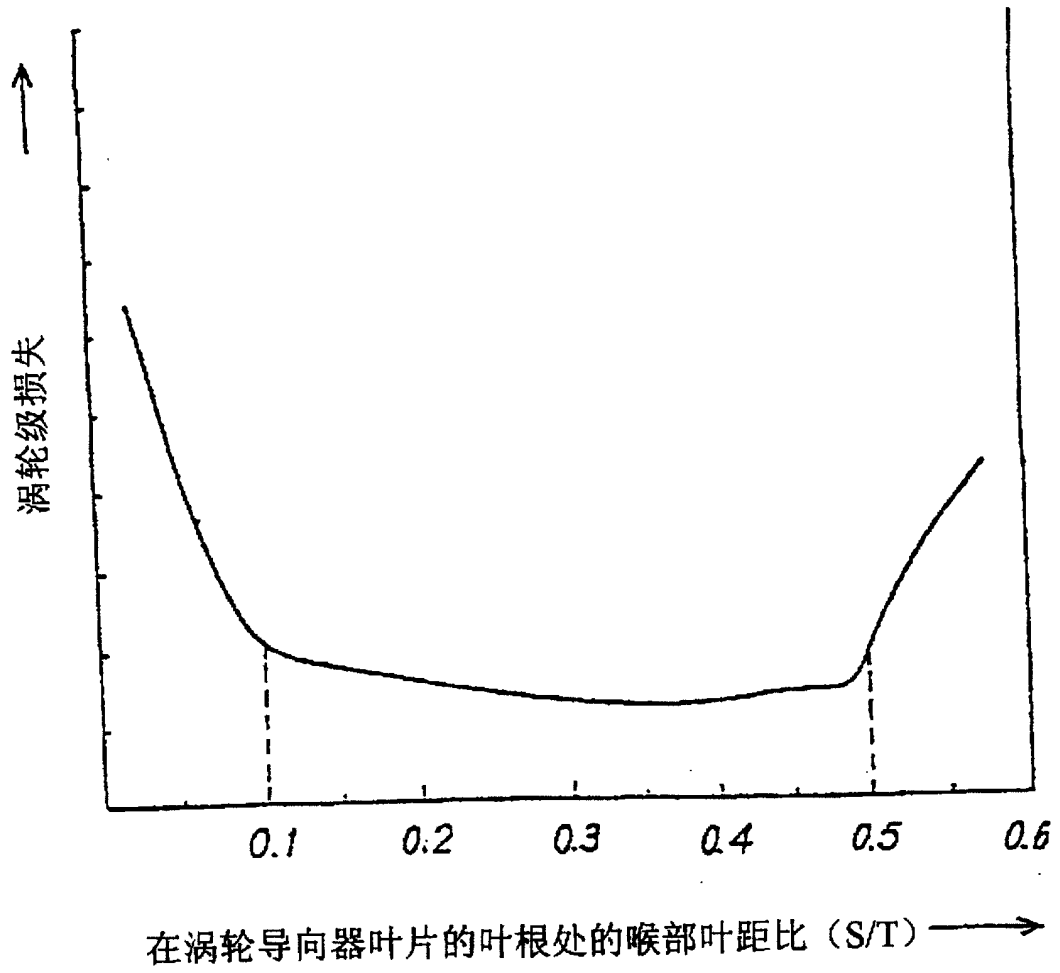


图 8

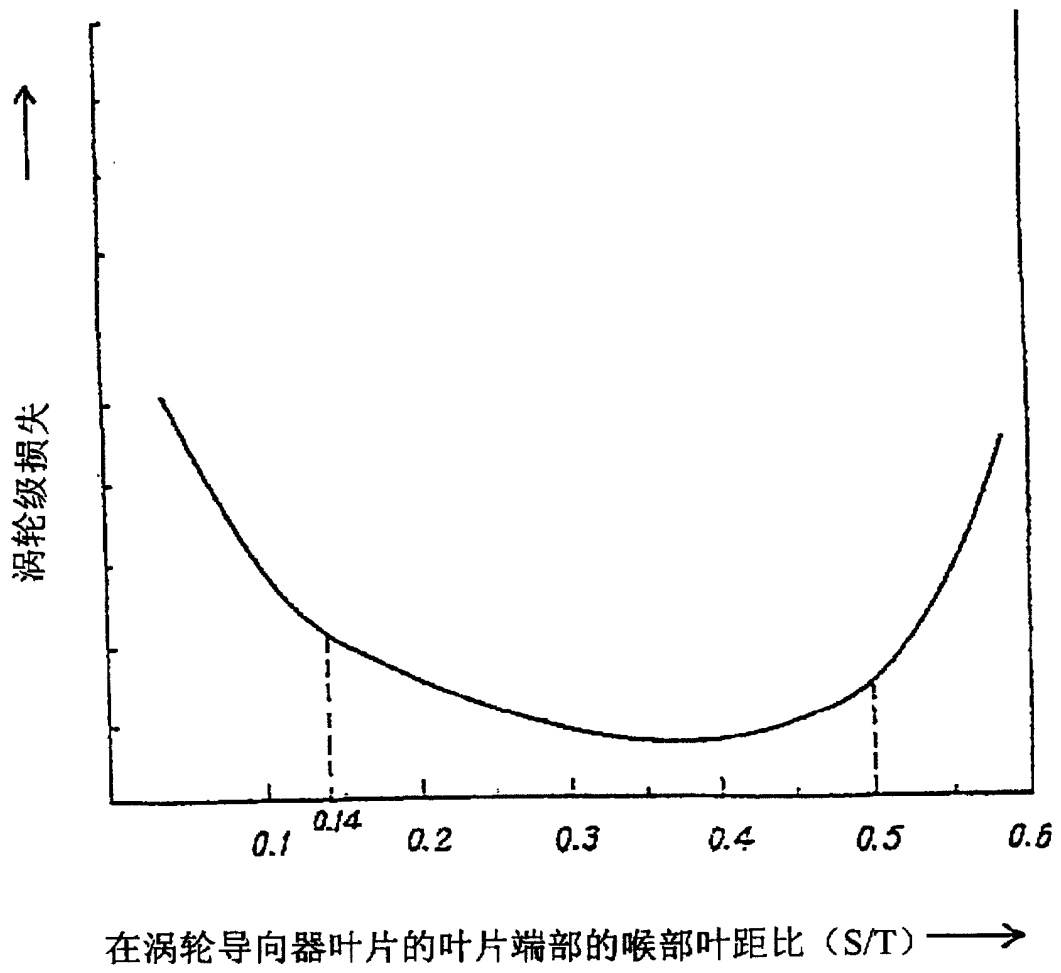


图 9

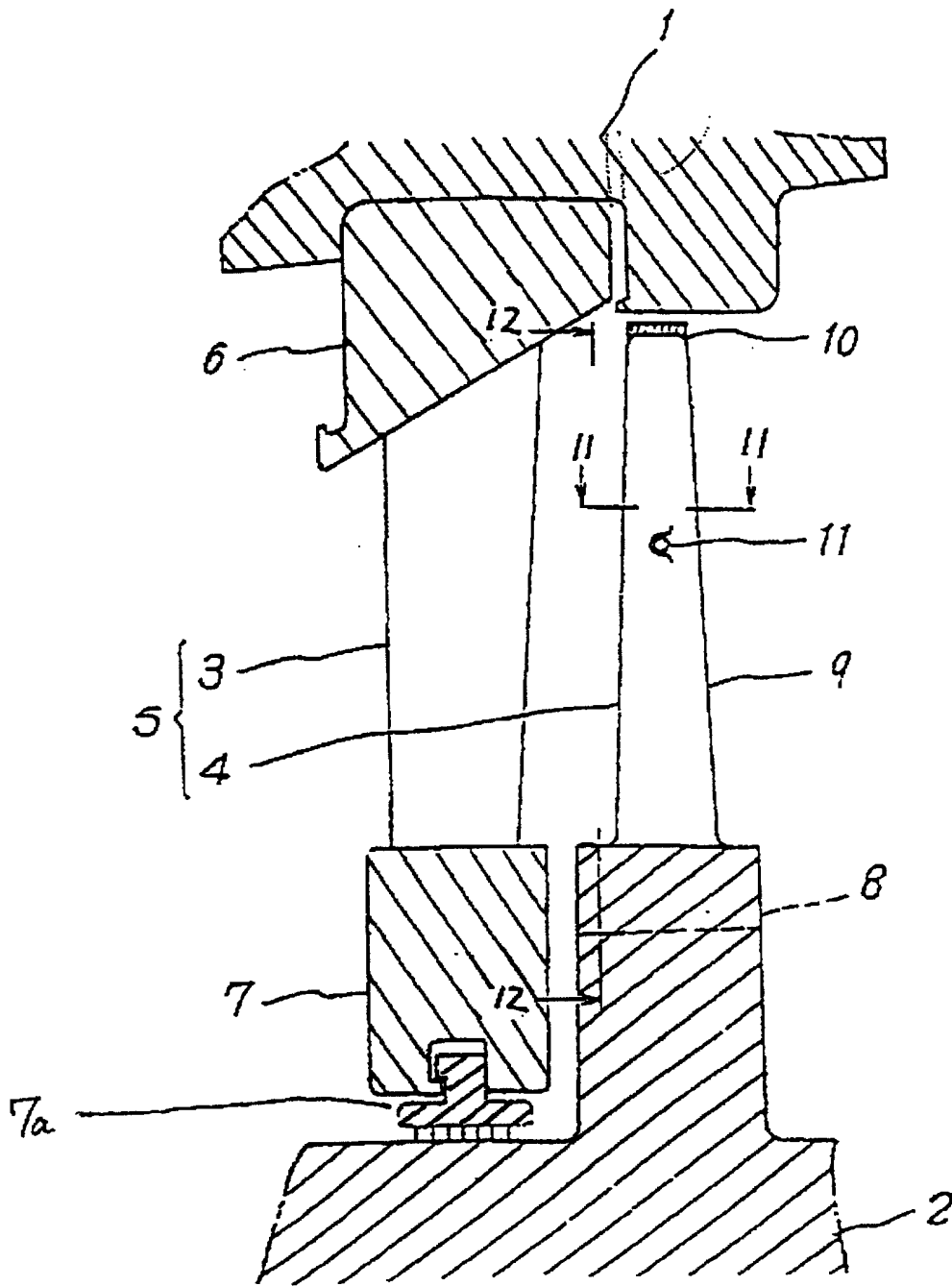


图 10

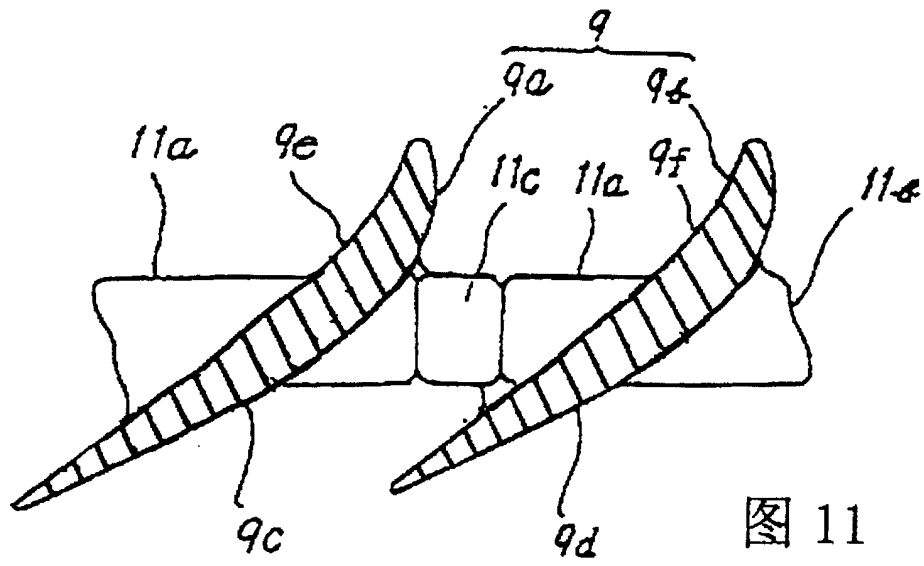


图 11

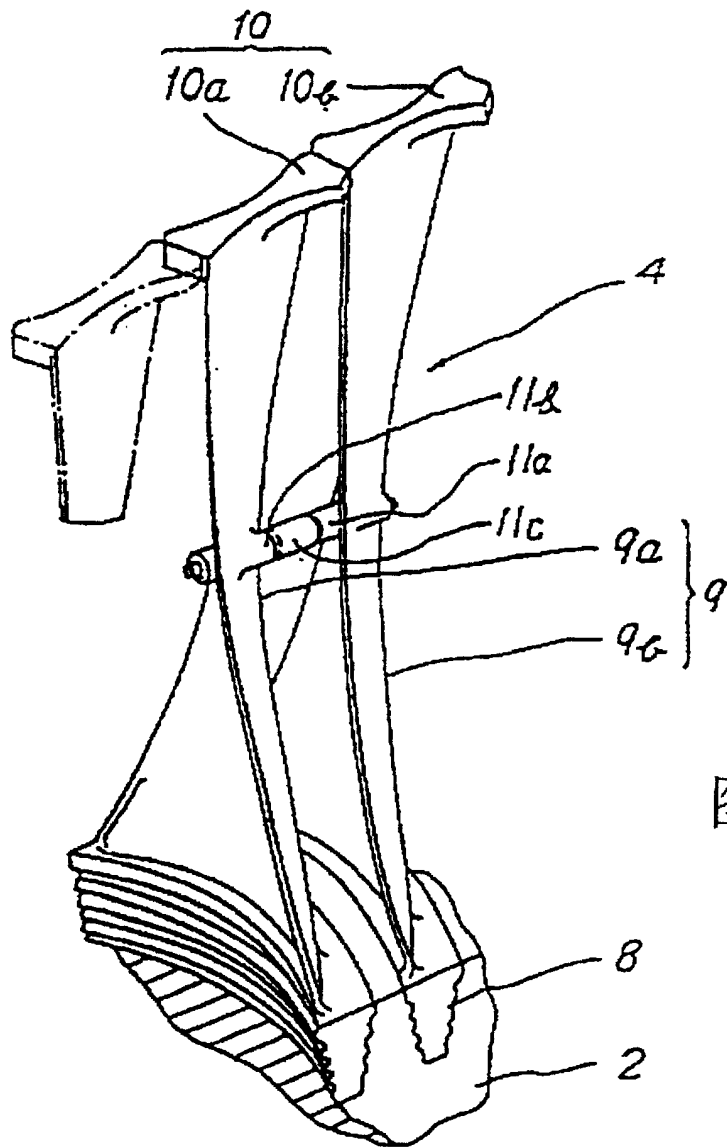


图 12

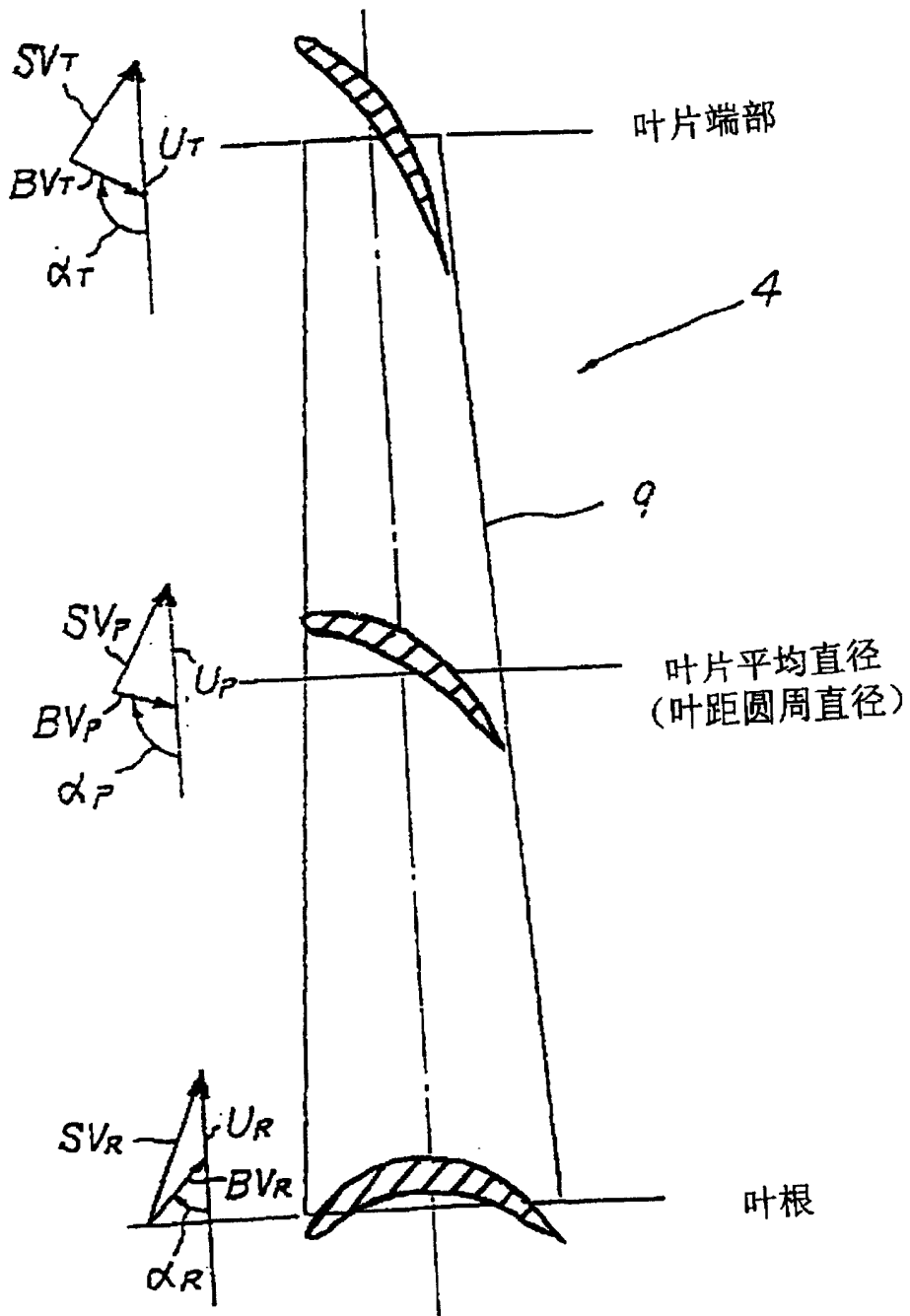


图 13

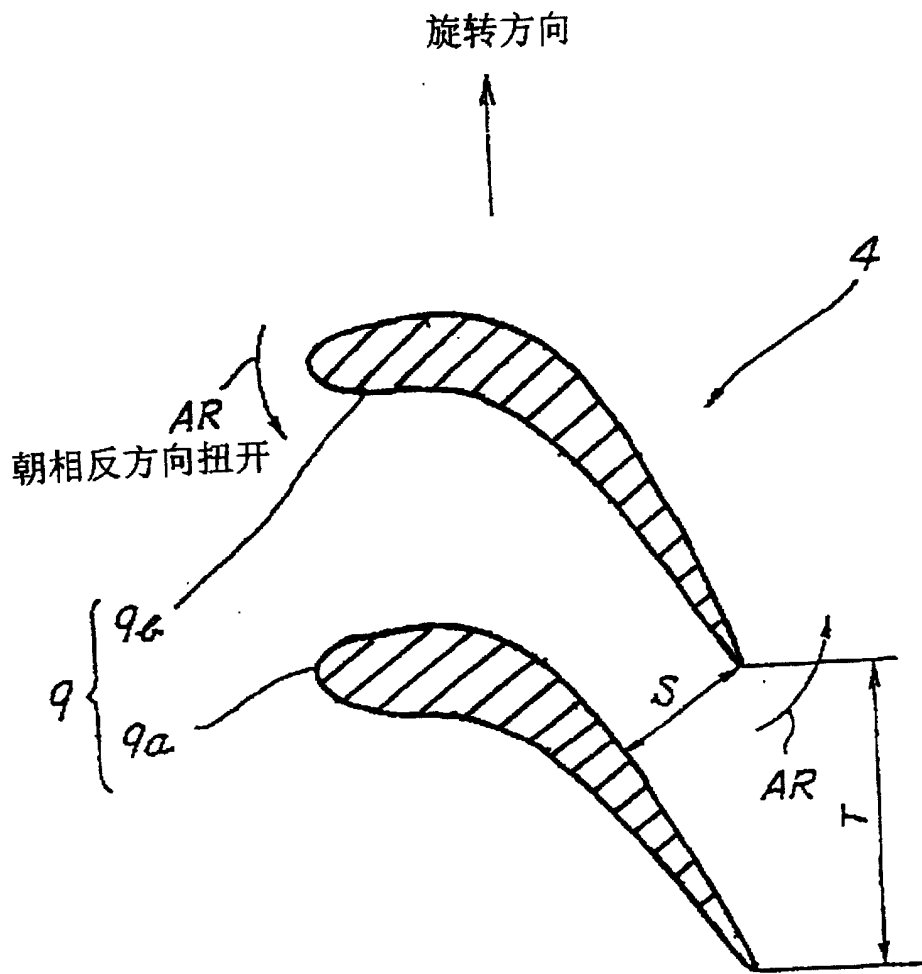


图 14

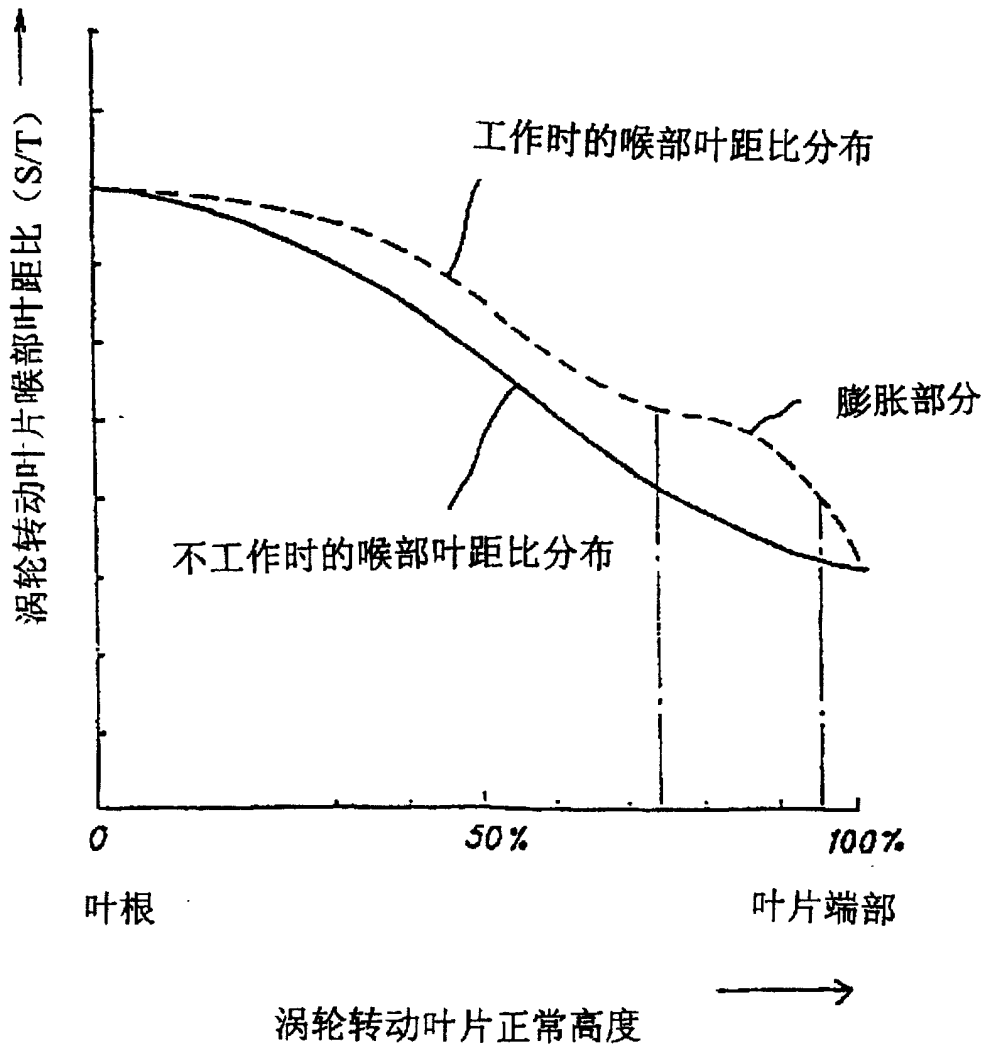


图 15

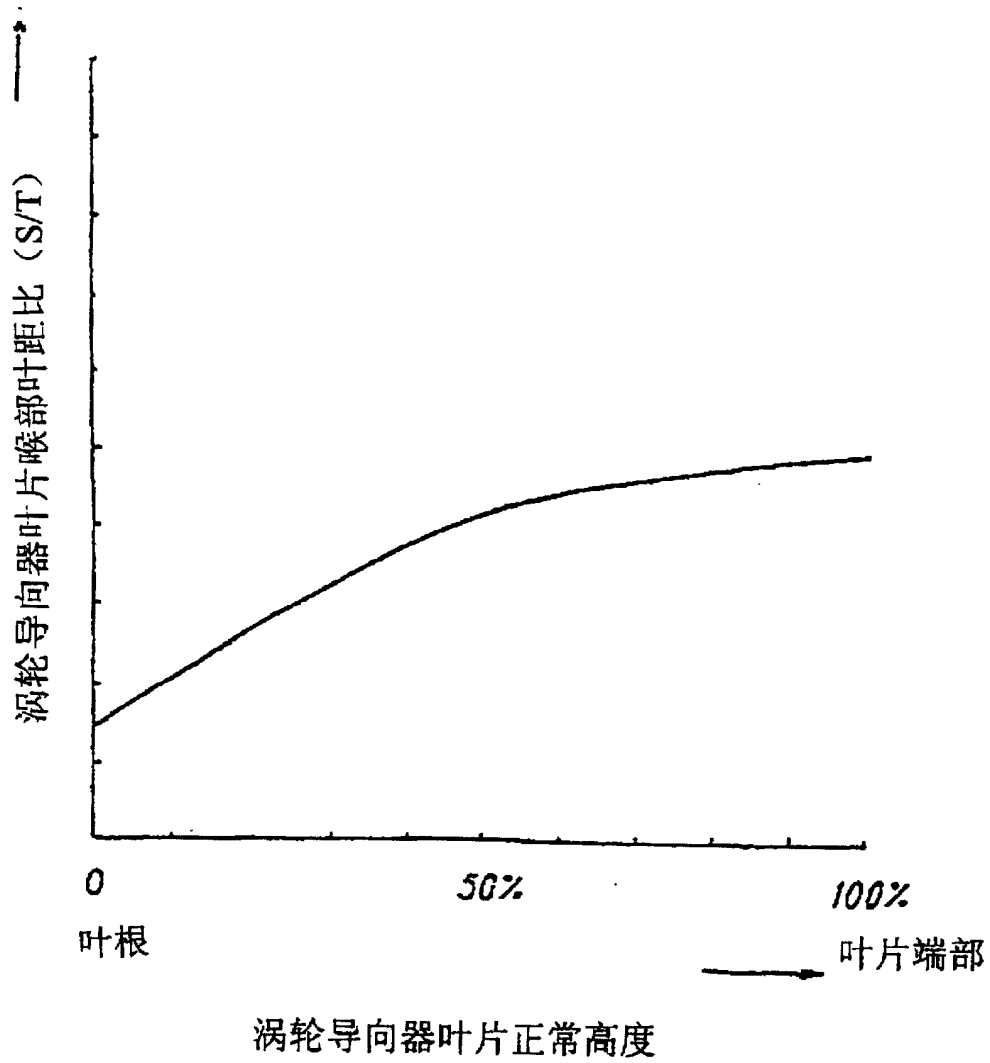
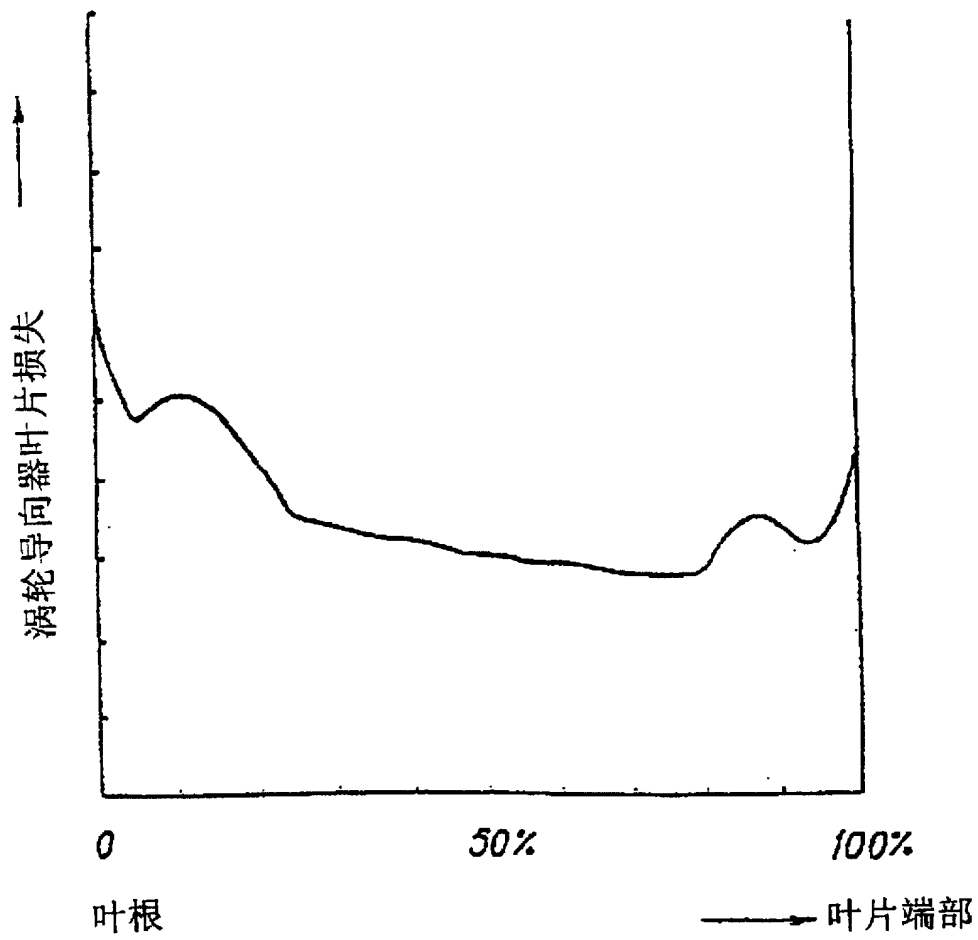


图 16



涡轮导向器叶片正常高度

图 17