



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117386663 A

(43) 申请公布日 2024. 01. 12

(21) 申请号 202210786482.2

(22) 申请日 2022.07.04

(71) 申请人 中国航发上海商用航空发动机制造
有限责任公司

地址 201306 上海市浦东新区自由贸易试
验区临港新片区鸿音路77号临港基地

申请人 中国航发商用航空发动机有限任
公司

(72) 发明人 王进春 刘天一 朱伟 曹传军

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公
司 31100

专利代理师 喻学兵

(51) Int. Cl.

F04D 29/38 (2006.01)

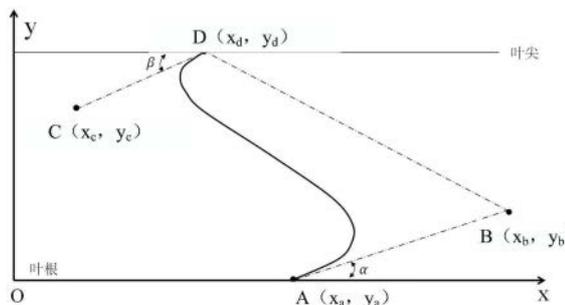
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

轴流压气机的转子叶片及其积叠线的获取方法

(57) 摘要

本发明公开了一种轴流压气机的转子叶片及其积叠线的获取方法,该获取方法包括以下步骤:确定积叠线的周向位置:积叠线在周向上为S型,所述积叠线由在高度方向从所述叶根至所述叶尖依次预设的A、B、C和D四个点控制形成,各个截面重心周向位置点的坐标符合特定公式;确定所述积叠线的轴向位置,各个截面重心轴向位置点的坐标符合特定公式;根据确定后的积叠线的轴向位置和周向位置,确定积叠线的线型。本发明通过设置转子叶片的积叠线在周向上为S型,可以在径向方向产生逆压力梯度,从而减弱了叶尖区域的二次流影响;并通过设置特定的函数,以通过构造简便的方程来控制积叠线的周向和轴向偏移量,提高优化叶型的计算效率。



1. 一种轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法,其特征在于,所述转子叶片包括叶根和叶尖,所述转子叶片沿高度方向从所述叶根到所述叶尖具有若干个基元叶型截面,将各所述基元叶型截面的重心作为积叠点沿所述转子叶片的高度方向进行叠加得到积叠线,所述获取方法包括以下步骤:

S1:确定所述积叠线的周向位置:所述积叠线在周向上为“S”型,在周向上,所述积叠线由在高度方向从所述叶根至所述叶尖依次预设的A、B、C和D四个点控制形成,所述A点位于所述叶根的基元叶型截面的重心位置,在周向的X轴、Y轴组成的二维坐标系中,所述A点位于X轴上;所述B点在X轴上位于所述A点右侧;所述C点在X轴上位于所述A点左侧;所述D点为位于所述叶尖的基元叶型截面的重心位置,且所述D点在X轴上位于所述B点和所述C点之间;预设所述A点 (x_a, y_a) 、B点 (x_b, y_b) 、C点 (x_c, y_c) 和D点 (x_d, y_d) 的坐标,从叶根到叶尖之间的各所述基元叶型截面重心的周向位置点N的坐标 (x_n, y_n) ,通过以下公式获得:

$$x_n = (1-i)^3 * x_a + 3*i*(1-i)^2 * x_b + 3*i^2*(1-i) * x_c + i^3 * x_d$$

$$y_n = i$$

其中,i为所述N点的无量纲叶片高度,i的取值范围为0-1;

S2:确定所述积叠线的轴向位置;在轴向上预设所述A点 (z_a, y_a) 、所述B点 (z_b, y_b) 和所述D点 (z_d, y_d) ,在轴向的Z轴、Y轴组成的二维坐标系中,所述A点位于Z轴上;所述B点在Z轴上位于所述A点右侧,所述D点在Z轴上位于所述A点左侧,从叶根到叶尖之间的各所述基元叶型截面重心的周向位置点N的坐标 (z_n, y_n) ,通过以下公式获得:

$$z_n = (1-i)^2 * z_a + 2*i*(1-i) * z_b + i^2 * z_d$$

$$y_n = i$$

其中,i为所述N点的无量纲叶片高度,i的取值范围为0-1;

S3:根据确定后的所述积叠线上的每一所述基元叶型截面的重心的轴向位置和周向位置,确定所述积叠线的线型;将基元叶型沿所述积叠线的线型进行延伸构造曲线组,得到三维的转子叶片。

2. 如权利要求1所述的轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法,其特征在于,在步骤S1中,所述A点和所述B点的连线与X轴的夹角 α 小于60度,且大于3度;和/或,在步骤S1中,所述C点和所述D点的连线与X轴的夹角 β 小于45度,且大于5度。

3. 如权利要求1所述的轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法,其特征在于,在步骤S1中,所述B点的周向坐标 x_b 大于所述A点的周向坐标 x_a ,且 x_b 与 x_a 的差值取为所述B点所在高度的截面的叶片弦长的0.5%-8%;B点的无量纲叶片高度 y_b 为0.05-0.45。

4. 如权利要求1所述的轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法,其特征在于,在步骤S1中,所述C点的周向坐标 x_c 小于所述A点的周向坐标 x_a ,且 x_a 与 x_c 的差值取为所述C点所在高度的截面的叶片弦长的0.5%-8%;C点的无量纲叶片高度 y_c 为0.55-0.95。

5. 如权利要求1所述的轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法,其特征在于,在步骤S2中,所述A点和所述B点的连线和Z轴的夹角 θ 小于70度,且大于3度;和/或,在步骤S2中,所述B点和所述D点的连线和Z轴的夹角 φ 于40度,且小于80度。

6. 如权利要求1所述的轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法,其特征在于,在步骤S2中,所述B点的轴向坐标 z_b 大于所述A点的轴向坐标 z_a ,且 z_b 与 z_a 的差值取为所述B点所在高度的截面的叶片弦长的0.5%-8%;B点的无量纲叶片高度 y_b 为0.05-0.45。

7. 如权利要求1所述的轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法,其特征在于,在步骤S2中,所述D点的轴向坐标 z_d 小于所述A点的轴向坐标 z_a ,且 z_a 与 z_d 的差值取为所述叶尖所在高度的截面的叶片弦长的0.5%-8%。

8. 如权利要求1-7中任意一项所述的轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法,其特征在于,

在步骤S3之后,还包括:

S4: 重复步骤S1至S3多次,获得多个不同的所述转子叶片,获得多个不同的所述转子叶片所对应的压气机效率,依据压气机效率最高原则,确定最终采用的最优周向积叠偏移量和轴向积叠偏移量。

9. 一种轴流压气机的转子叶片,其特征在于,所述转子叶片通过权利要求1-8中任意一项所述的轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法得到。

轴流压气机的转子叶片及其积叠线的获取方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种轴流压气机的转子叶片及其积叠线的获取方法。

背景技术

[0002] 随着科技的发展,现代航空发动机对经济性和可靠性的要求越来越高,航空发动机各部件的性能遇到了前所未有的挑战。轴流压气机是航空发动机的核心部件之一,其性能对整个发动机有着举足轻重的影响。然而,随着航空发动机性能指标的不断提高,发动机内部的温度和压比逐渐升高,压气机内流系统的损失问题日趋严重。多级高压比轴流压气机内流损失严重影响其气动性能,进而影响整个发动机性能。

[0003] 压气机损失主要来源为叶型损失、端壁损失和泄漏损失。高负荷压气机端壁区域流动十分复杂,端壁附面层损失和叶尖泄漏损失是压气机转子叶片损失的主要组成部分。

[0004] 压气机是航空发动机内部承受逆压梯度最大的旋转部件,实现高效的气流增压是压气机设计的一大难题。在转子的轮毂和叶片叶根吸力面组成的角区区域,由于轮毂附面层和气体潜流的影响,易发生分离,产生气动损失,造成压气机的效率下降。在叶尖区域,转子和外机匣之间会存在间隙,转子叶片压力面的气流会通过该间隙泄漏到叶片的吸力面,产生泄漏涡等复杂的二次流特征,加之转子叶片的切线速度较高,在压气机的前面级转子叶尖会产生激波,激波和泄漏涡及外机匣附面层相互干扰,使得叶尖间隙区域的流动及其复杂,存在着多种复杂特征的涡系结构。大量研究表明,压气机的失速通常发生在叶尖和轮毂区域。

[0005] 因此,如何有效对叶尖区域激波和流场进行控制,从而减弱叶尖区域二次流,是本领域有待解决的一个难题。

[0006] 另一方面,压气机的设计通常需要多轮优化迭代才能获得理想的压气机气动叶型。为了节省优化时间和避免过渡依赖设计人员的设计经验,压气机气动优化方法近年来获得了设计者的青睐。压气机设计优化方法是将计算流体力学与数值优化方法相结合应用的一种跨学科设计方法,其基本思想是将气动性能作为目标函数值,借助CFD三维数值仿真工具,利用优化算法不断迭代寻找最优的压气机气动叶型。叶型设计的参数化选取方法是压气机气动优化的最为关键技术之一。如何用合适的数学方程式对压气机周向和径向积叠进行描述,使其兼顾压气机叶型设计特征和计算方法可行性是压气机叶型积叠形式优化设计的一个难题。

发明内容

[0007] 本发明要解决的技术问题是为了克服现有技术中轴流压气机的转子叶片存在气流损失的缺陷,同时提高叶型优化设计效率,提供一种轴流压气机的转子叶片及其积叠线的获取方法。

[0008] 本发明是通过下述技术方案来解决上述技术问题:

[0009] 一种轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法,其特点在于,所述转子叶片包

括叶根和叶尖,所述转子叶片沿高度方向从所述叶根到所述叶尖具有若干个基元叶型截面,将各所述基元叶型截面的重心作为积叠点沿所述转子叶片的高度方向进行叠加得到积叠线,所述获取方法包括以下步骤:

[0010] S1:确定所述积叠线的周向位置:所述积叠线在周向上为“S”型,在周向上,所述积叠线由在高度方向从所述叶根至所述叶尖依次预设的A、B、C和D四个点控制形成,所述A点位于所述叶根的基元叶型截面的重心位置,在周向的X轴、Y轴组成的二维坐标系中,所述A点位于X轴上;所述B点在X轴上位于所述A点右侧;所述C点在X轴上位于所述A点左侧;所述D点为位于所述叶尖的基元叶型截面的重心位置,且所述D点在X轴上位于所述B点和所述C点之间;预设所述A点 (x_a, y_a) 、B点 (x_b, y_b) 、C点 (x_c, y_c) 和D点 (x_d, y_d) 的坐标,从叶根到叶尖之间的各所述基元叶型截面重心的周向位置点N的坐标 (x_n, y_n) ,通过以下公式获得:

$$[0011] \quad x_n = (1-i)^3 * x_a + 3*i*(1-i)^2 * x_b + 3*i^2*(1-i) * x_c + i^3 * x_d$$

$$[0012] \quad y_n = i$$

[0013] 其中,i为所述N点的无量纲叶片高度,i的取值范围为0-1;

[0014] S2:确定所述积叠线的轴向位置;在轴向上预设所述A点 (z_a, y_a) 、所述B点 (z_b, y_b) 和所述D点 (z_d, y_d) ,在轴向的Z轴、Y轴组成的二维坐标系中,所述A点位于Z轴上;所述B点在Z轴上位于所述A点右侧,所述D点在Z轴上位于所述A点左侧,从叶根到叶尖之间的各所述基元叶型截面重心的周向位置点N的坐标 (z_n, y_n) ,通过以下公式获得:

$$[0015] \quad z_n = (1-i)^2 * z_a + 2*i*(1-i) * z_b + i^2 * z_d$$

$$[0016] \quad y_n = i$$

[0017] 其中,i为所述N点的无量纲叶片高度,i的取值范围为0-1;

[0018] S3:根据确定后的所述积叠线上的每一所述基元叶型截面的重心的轴向位置和周向位置,确定所述积叠线的线型;将基元叶型沿所述积叠线的线型进行延伸构造曲线组,得到三维的转子叶片。

[0019] 在本技术方案中,通过设置转子叶片的积叠线在周向上为“S”型,可以在径向方向会产生逆压力梯度,有利于叶尖区域的低能流体往叶中迁移,进而减弱了叶尖区域二次流影响,改善了叶尖流动状况,提升了压气机转子叶片的稳定工作范围。各基元叶型截面的重心位置点的坐标符合单一特定的函数,以通过构造简便的方程来控制各基元叶型截面的重心位置的周向偏移量,提高优化叶型的计算效率。也就是说,这相对于现有技术中,通过试错的方法来构造积叠线的方式,大大地提高了计算效率;相对于分段函数求解积叠的方法,具有方程简单,求解方便的优点。需要说明的是,转子叶片的积叠线在周向上为“S”型,也包括转子叶片的积叠线在周向上为近似“S”型的情况。

[0020] 在步骤S1中,在所述D点的周向坐标在所述B点和所述C点的周向坐标之间,即 $x_c < x_d < x_b$;所述D点的无量纲叶片高度 y_d 为1。

[0021] 与周向偏移量不同的是,轴向偏移量控制的是叶型的掠程度,在本技术方案中,通过设置B点轴向坐标位于A点右侧,D点轴向坐标位于A点左侧,即 $(z_d < z_1 < z_2)$,即在B点叶高的位置形成后掠,而在B点和D点形成前掠,D点叶尖位置的前掠有助于转子保持较高的稳定工作范围,A点叶根位置的后掠有助于提高结构的稳定性,因为喘振时叶片会向前串动,设置成后掠可以降低碰磨风险,同时维持较高的叶根效率。

[0022] 进一步,各基元叶型截面的轴向和周向偏移量的坐标符合特定的函数,即,各所述

基元叶型截面重心的周向和轴向位置点N的坐标通过特定的函数得到,以通过构造简便的单一方程来控制重心位置的周向和轴向偏移量,提高优化叶型的计算效率。也就是说,这相对于现有技术中,通过试错的方法来构造积叠线的方式,大大地提高了计算效率。

[0023] 较佳地,在步骤S1中,所述A点和所述B点的连线与X轴的夹角 α 小于60度,且大于3度;和/或,

[0024] 所述C点和所述D点的连线与X轴的夹角 β 小于45度,且大于5度。

[0025] 较佳地,在步骤S1中,所述B点的周向坐标 x_b 大于所述A点的周向坐标 x_a ,且 x_b 与 x_a 的差值取为所述B点所在高度的截面的叶片弦长的0.5%-8%;B点的无量纲叶片高度 y_b 为0.05-0.45。

[0026] 较佳地,在步骤S1中,所述C点的周向坐标 x_c 小于所述A点的周向坐标 x_a ,且 x_a 与 x_c 的差值取为所述C点所在高度的截面的叶片弦长的0.5%-8%;C点的无量纲叶片高度 y_c 为0.55-0.95。

[0027] 在本技术方案中,通过设置A、B、C、D点的坐标的取值范围,有利于保持较高的压气机效率情况下,兼顾转子叶片保持较佳强度水平。

[0028] 较佳地,在步骤S2中,所述A点和所述B点的连线和Z轴的夹角 θ 小于70度,且大于3度;和/或,

[0029] 在步骤S2中,所述B点和所述D点的连线和Z轴的夹角 φ 于40度,且小于80度。

[0030] 较佳地,在步骤S2中,所述B点的轴向坐标 z_b 大于所述A点的轴向坐标 z_a ,且 z_b 与 z_a 的差值取为所述B点所在高度的截面的叶片弦长的0.5%-8%;B点的无量纲叶片高度 y_b 为0.05-0.45。

[0031] 较佳地,在步骤S2中,所述D点的轴向坐标 z_d 小于所述A点的轴向坐标 z_a ,且 z_a 与 z_d 的差值取为所述叶尖所在高度的截面的叶片弦长的0.5%-8%。

[0032] 在本技术方案中,通过设置A、B、D点的坐标的取值范围,有利于保持较高的压气机效率情况下,兼顾转子叶片保持较佳强度水平。

[0033] 较佳地,在步骤S3之后,还包括:

[0034] S4:重复步骤S1至S3多次,获得多个不同的所述转子叶片,获得多个不同的所述转子叶片所对应的压气机效率,依据压气机效率最高原则,确定最终采用的最优周向积叠偏移量和轴向积叠偏移量。

[0035] 在本技术方案中,在步骤S4中,将多个不同的A、B、C、D控制点的无量纲高度和周向坐标代入步骤S1,以及将多个不同的A、B和D点的无量纲高度和轴向坐标代入步骤S2,重复步骤S1至S3多次,得到多个不同的所述转子叶片,即通过迭代的方法,得到多个不同的所述转子叶片。

[0036] 对多个不同的所述转子叶片进行压气机效率计算,选择最高的所述压气机效率所对应的所述转子叶片作为最终的转子叶片,以得到压气机效率最优的转子叶片,即得到最优的控制点A、B、C和D点周向坐标和无量纲高度,以及控制点A、B和D点的轴向坐标和无量纲高度;及通过该控制点计算获得的最优周向积叠和轴向积叠的转子叶片。

[0037] 一种轴流压气机的转子叶片,其特点在于,所述转子叶片通过如上所述的轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法得到。

[0038] 本发明的积极进步效果在于:

[0039] 本发明通过设置转子叶片的积叠线在周向上为S型,可以在径向方向会产生逆压力梯度,有利于叶尖区域的低能流体往叶中迁移,进而减弱了叶尖区域二次流影响,改善了叶尖流动状况,提升了压气机转子叶片的稳定工作范围。通过四个控制点的坐标变量和相对简单的四阶方程对压气机“S”型的周向偏移量进行参数化描述。通过设置转子叶片的积叠线在轴向上为复合掠型,具体表现为在叶根处为后掠,降低喘振轴向碰磨风险;叶尖前掠增加压气机的效率和稳定工作范围。通过三个控制点的坐标变量和相对简单的方程对压气机复合掠型的轴向进行参数化描述。进一步,依据损失最小或效率最佳原则确定最优的周向偏移量和轴向偏移量分布。

[0040] 周向和轴向偏移量的参数化方程简单,生成的曲线光滑连续,有利于提高优化叶型的计算效率。也就是说,这相对于现有技术中,通过试错的方法来构造积叠线的方式,大大地提高了计算效率。

附图说明

[0041] 图1为本发明一较佳实施例轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法的流程图。

[0042] 图2为本发明一较佳实施例轴流压气机的转子叶片的积叠线周向偏移量示意图。

[0043] 图3为本发明一较佳实施例轴流压气机的转子叶片的积叠线轴向偏移量示意图。

[0044] 图4为本发明一较佳实施例轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法的流程图。

[0045] 图5为本发明一较佳实施例轴流压气机的转子叶片的最终叶型的子午面结构示意图。

[0046] 图6为本发明一较佳实施例轴流压气机的转子叶片的原始叶型的子午面结构示意图。

具体实施方式

[0047] 本实施例提供一种轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法。

[0048] 所述转子叶片包括叶根和叶尖,所述转子叶片沿高度方向从所述叶根到所述叶尖具有若干个基元叶型截面,将各所述基元叶型截面的重心作为积叠点沿所述转子叶片的高度方向进行叠加得到积叠线。

[0049] 如图1所示,本实施例的轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法包括以下步骤:

[0050] S1:确定所述积叠线的周向位置:所述积叠线在周向上为“S”型,在周向上,所述积叠线由在高度方向从所述叶根至所述叶尖依次预设的A、B、C和D四个点控制形成,所述A点位于所述叶根的基元叶型截面的重心位置,在周向的X轴、Y轴组成的二维坐标系中,所述A点位于X轴上;所述B点在X轴上位于所述A点右侧;所述C点在X轴上位于所述A点左侧;所述D点为位于所述叶尖的基元叶型截面的重心位置,且所述D点在X轴上位于所述B点和所述C点之间;预设所述A点 (x_a, y_a) 、B点 (x_b, y_b) 、C点 (x_c, y_c) 和D点 (x_d, y_d) 的坐标,从叶根到叶尖之间的各所述基元叶型截面重心的周向位置点N的坐标 (x_n, y_n) ,通过以下公式获得:

[0051]
$$x_n = (1-i)^3 * x_a + 3*i*(1-i)^2 * x_b + 3*i^2*(1-i) * x_c + i^3 * x_d$$

[0052] $y_n = i$

[0053] 其中, i 为所述N点的无量纲叶片高度, i 的取值范围为0-1;

[0054] S2: 确定所述积叠线的轴向位置; 在轴向上预设所述A点 (z_a, y_a) 、所述B点 (z_b, y_b) 和所述D点 (z_d, y_d) , 在轴向的Z轴、Y轴组成的二维坐标系中, 所述A点位于Z轴上; 所述B点在Z轴上位于所述A点右侧, 所述D点在Z轴上位于所述A点左侧, 从叶根到叶尖之间的各所述基元叶型截面重心的轴向位置点N的坐标 (z_n, y_n) , 通过以下公式获得:

[0055]
$$z_n = (1-i)^2 * z_a + 2*i*(1-i) * z_b + i^2 * z_d$$

[0056] $y_n = i$

[0057] 其中, i 为所述N点的无量纲叶片高度, i 的取值范围为0-1;

[0058] S3: 根据确定后的所述积叠线上的每一所述基元叶型截面的重心的轴向位置和周向位置, 确定所述积叠线的线型; 将基元叶型沿所述积叠线的线型进行延伸构造曲线组, 得到三维的转子叶片。

[0059] 在步骤S1中确定所述积叠线的周向位置如图2所示, 也就是说通过预设所述A点 (x_a, y_a) 、B点 (x_b, y_b) 、C点 (x_c, y_c) 和D点 (x_d, y_d) 的坐标, 即A点、B点、C点和D点的无量纲高度 (Y轴坐标) 和周向坐标 (X轴坐标), 然后通过特定的公式求解从叶根到叶尖之间的各所述基元叶型截面重心的周向位置点N的高度和周向积叠偏移量, 即得到N在周向的X轴、Y轴组成的二维坐标系中的坐标。

[0060] 这样, 通过设置转子叶片的积叠线在周向上为“S”型, 可以在径向方向会产生逆压力梯度, 有利于叶尖区域的低能流体往叶中迁移, 进而减弱了叶尖区域二次流影响, 改善了叶尖流动状况, 提升了压气机转子叶片的稳定工作范围。各基元叶型截面的重心位置点的坐标符合单一特定的函数, 以通过构造简便的方程来控制各基元叶型截面的重心位置的周向偏移量, 提高优化叶型的计算效率。也就是说, 这相对于现有技术中, 通过试错的方法来构造积叠线的方式, 大大地提高了计算效率; 相对于分段函数求解积叠的方法, 具有方程简单, 求解方便的优点。需要说明的是, 转子叶片的积叠线在周向上为“S”型, 也包括转子叶片的积叠线在周向上为近似“S”型的情况。

[0061] 在步骤S1中, 在所述D点的周向坐标在所述B点和所述C点的周向坐标之间, 即 $x_c < x_d < x_b$; 所述D点的无量纲叶片高度 y_d 为1。

[0062] 在步骤S2中确定所述积叠线的轴向位置如图3所示。也就是说通过预设A点 (z_a, y_a) 、所述B点 (z_b, y_b) 和所述D点 (z_d, y_d) 的坐标, 即A点、B点和D点的无量纲高度 (Y轴坐标) 和轴向坐标 (Z轴坐标), 然后通过特定的公式求解从叶根到叶尖之间的各所述基元叶型截面重心N的高度和轴向偏移量即得到N在Y轴、Z轴组成的二维坐标系中的坐标。

[0063] 需要说明的是, 在图3中轴向偏移量示意图中的横坐标是轴向偏移量, 纵坐标是无量纲高度, 其中B点的无量纲高度和图2中的周向偏移量示意图中B点无量纲高度保持一致, 即它们是同一个点。同样, A点、D点在图2和图3中的无量纲高度也是保持一致的。

[0064] 与周向偏移量不同的是, 轴向偏移量控制的是叶型的掠程度, 在本技术方案中, 通过设置B点轴向坐标位于A点右侧, D点轴向坐标位于A点左侧, 即 $(z_d < z_1 < z_2)$, 即在B点叶高的位置形成后掠, 而在B点和D点形成前掠, D点叶尖位置的前掠有助于转子保持较高的稳定工作范围, A点叶根位置的后掠有助于提高结构的稳定性, 因为喘振时叶片会向前串动, 设置成后掠可以降低碰磨风险, 同时维持较高的叶根效率。

[0065] 进一步,各基元叶型截面的轴向和周向偏移量的坐标符合特定的函数,即,各所述基元叶型截面重心的周向和轴向位置点N的坐标通过特定的函数得到,以通过构造简便的单一方程来控制重心位置的周向偏移量,提高优化叶型的计算效率。也就是说,这相对于现有技术中,通过试错的方法来构造积叠线的方式,大大地提高了计算效率。

[0066] 较佳地,请复参阅图2,在步骤S1中,所述A点和所述B点的连线与X轴的夹角 α 小于60度,且大于3度。所述C点和所述D点的连线与X轴的夹角 β 小于45度,且大于5度。通过设置的夹角 α 以及夹角 β 的取值范围,有利于保持较高的压气机效率情况下,兼顾转子叶片保持较佳强度水平。

[0067] 在步骤S1中,所述B点的周向坐标 x_b 大于所述A点的周向坐标 x_a ,且 x_b 与 x_a 的差值($x_b - x_a$)取为所述B点所在高度的截面的叶片弦长的0.5%-8%;B点的无量纲叶片高度 y_b 为0.05-0.45。

[0068] 在步骤S1中,所述C点的周向坐标 x_c 小于所述A点的周向坐标 x_a ,且 x_a 与 x_c 的差值($x_a - x_c$)取为所述C点所在高度的截面的叶片弦长的0.5%-8%;C点的无量纲叶片高度 y_c 为0.55-0.95。

[0069] 这样,通过设置A、B、C、D点的坐标的取值范围,有利于保持较高的压气机效率情况下,兼顾转子叶片保持较佳强度水平。

[0070] 较佳地,请复参阅图3,在步骤S2中,所述A点和所述B点的连线和Z轴的夹角 θ 小于70度,且大于3度。所述B点和所述D点的连线和Z轴的夹角 φ 于40度,且小于80度。通过设置的夹角 θ 以及夹角 φ 的取值范围,有利于保持较高的压气机效率情况下,兼顾转子叶片保持较佳强度水平。

[0071] 在步骤S2中,所述B点的轴向坐标 z_b 大于所述A点的轴向坐标 z_a ,且 z_b 与 z_a 的差值($z_b - z_a$)取为所述B点所在高度的截面的叶片弦长的0.5%-8%;B点的无量纲叶片高度 y_b 为0.05-0.45。

[0072] 在步骤S2中,所述D点的轴向坐标在A点的轴向坐标左侧,即所述D点的轴向坐标 z_d 小于所述A点的轴向坐标 z_a ,即 $z_d < z_a$,且 z_a 与 z_d 的差值($z_a - z_d$)取为所述叶尖所在高度的截面的叶片弦长的0.5%-8%。

[0073] 这样,通过设置A、B、D点的坐标的取值范围,有利于保持较高的压气机效率情况下,兼顾转子叶片保持较佳强度水平。

[0074] 较佳地,在步骤S3之后,还包括:

[0075] S4:重复步骤S1至S3多次,获得多个不同的所述转子叶片,获得多个不同的所述转子叶片所对应的压气机效率,依据压气机效率最高原则,确定最终采用的最优周向积叠偏移量和轴向积叠偏移量。

[0076] 这样,在步骤S4中,将多个不同的A、B、C、D控制点的无量纲高度和周向坐标代入步骤S1,以及将多个不同的A、B、D控制点的无量纲高度和轴向坐标代入步骤S2,重复步骤S1至S3多次,得到多个不同的所述转子叶片,即通过迭代的方法,得到多个不同的所述转子叶片,这些转子叶片对应不同的控制点的轴向和周向坐标。

[0077] 对多个不同的所述转子叶片进行压气机效率计算,选择最高的所述压气机效率所对应的所述转子叶片作为最终的转子叶片,以得到压气机效率最优的转子叶片,即得到最优的控制点A、B、C和D点周向坐标和无量纲高度,以及控制点A、B和D点的轴向坐标和无量纲

高度;及通过该控制点计算获得的最优周向积叠和轴向积叠的转子叶片。

[0078] 即,将气动性能作为目标函数值,借助网格划分、CFD三维数值仿真工具计算压气机效率,利用优化算法不断迭代寻找最优的压气机气动叶型。

[0079] 需要说明的是,在其他实施方式中,也可以是先完成步骤S2的确定所述积叠线的轴向位置,再完成步骤S1的确定所述积叠线的周向位置,或者步骤S1和步骤S2同时完成。

[0080] 具体如图4所示,图4为包括上述所有步骤的方法的流程图。

[0081] 如图5所示,本实施例还提供一种轴流压气机的转子叶片10,所述转子叶片10通过上述轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法得到。

[0082] 需要说明的是,图5中的最终叶型的转子叶片10,是在图6中的原始叶型的转子叶片10'的基础上通过上述轴流压气机的转子叶片的积叠线的获取方法得到的。可以从图6中看到,原始叶型的转子叶片10'的积叠线20'为一直线;而本实施例的最后得到的转子叶片10的积叠线20在轴向上为复合掠型,即靠近叶根位置为后掠,靠近叶尖为前掠,如图5所示。

[0083] 本实施例通过设置转子叶片的积叠线在周向上为S型,可以在径向方向会产生逆压力梯度,有利于叶尖区域的低能流体往叶中迁移,进而减弱了叶尖区域二次流影响,改善了叶尖流动状况,提升了压气机转子叶片的稳定工作范围。通过四个控制点的坐标变量和相对简单的四阶方程对压气机“S”型的周向偏移量进行参数化描述。通过设置转子叶片的积叠线在轴向上为复合掠型,具体表现为在叶根处为后掠,降低喘振轴向碰磨风险;叶尖前掠增加压气机的效率和稳定工作范围。通过三个控制点的坐标变量和相对简单的方程对压气机复合掠型的轴向进行参数化描述。进一步,依据损失最小或效率最佳原则确定最优的周向偏移量和轴向偏移量分布。

[0084] 周向和轴向偏移量的参数化方程简单,生成的曲线光滑连续,有利于提高优化叶型的计算效率。也就是说,这相对于现有技术中,通过试错的方法来构造积叠线的方式,大大地提高了计算效率。

[0085] 虽然以上描述了本发明的具体实施方式,但是本领域的技术人员应当理解,这仅是举例说明,本发明的保护范围是由所附权利要求书限定的。本领域的技术人员在不背离本发明的原理和实质的前提下,可以对这些实施方式做出多种变更或修改,但这些变更和修改均落入本发明的保护范围。

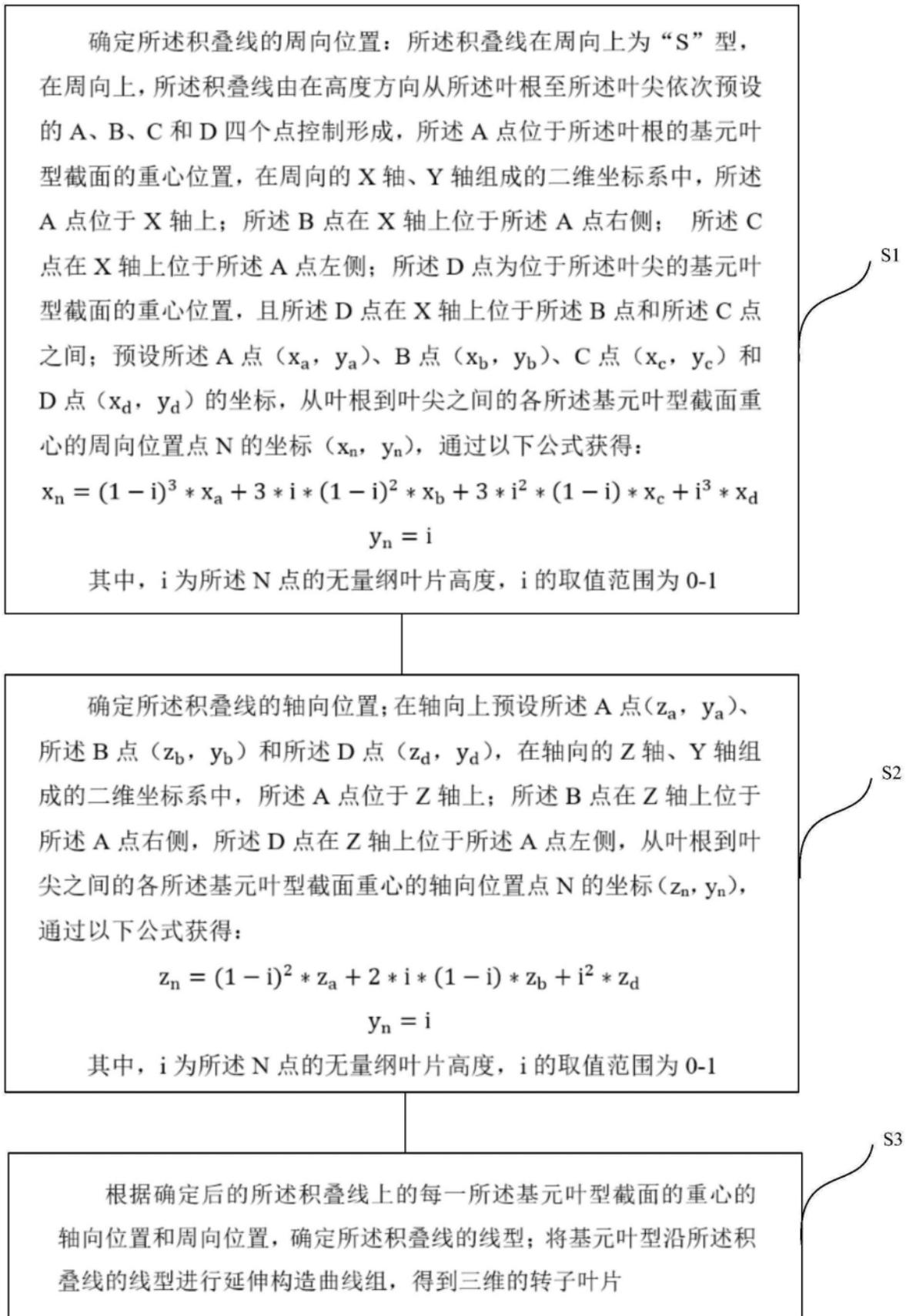


图1

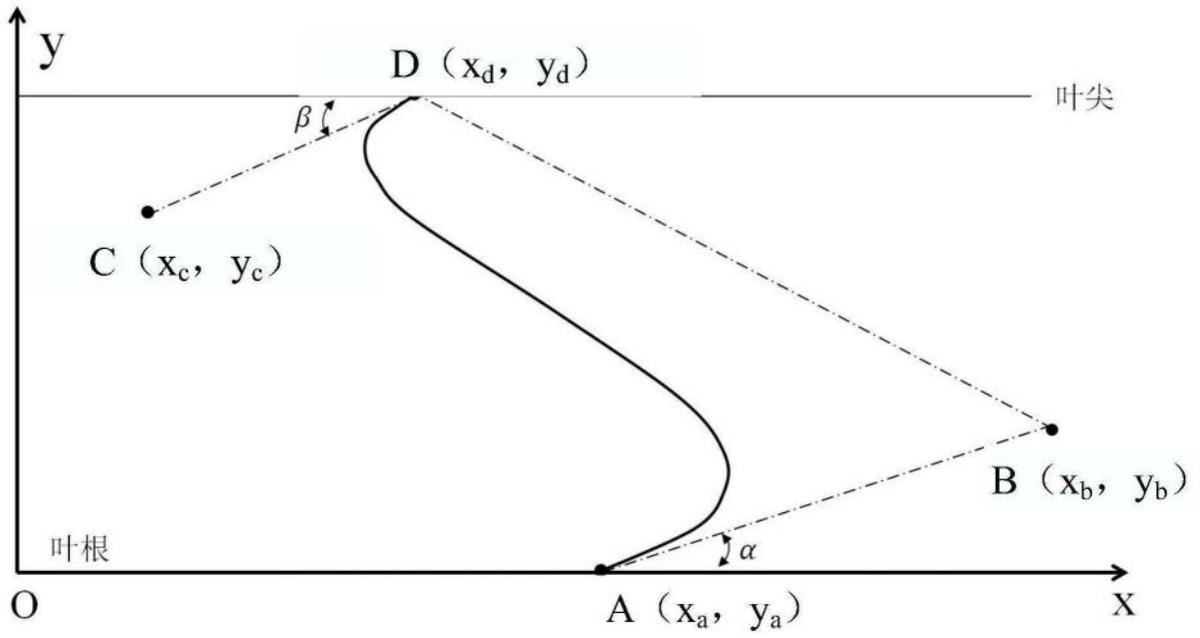


图2

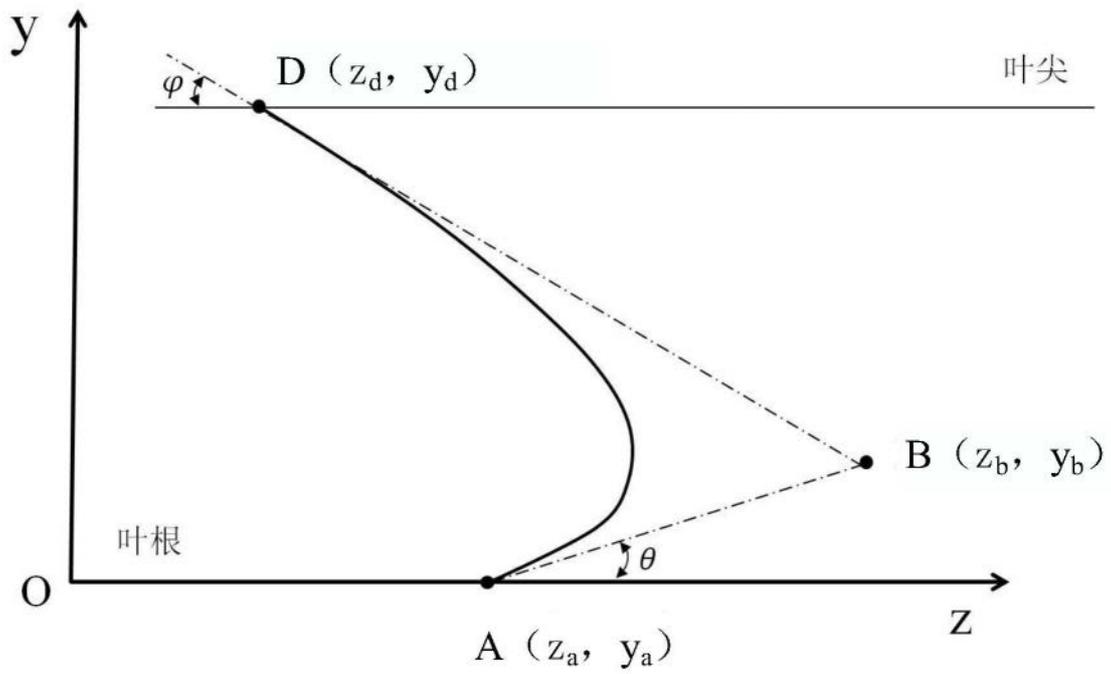


图3

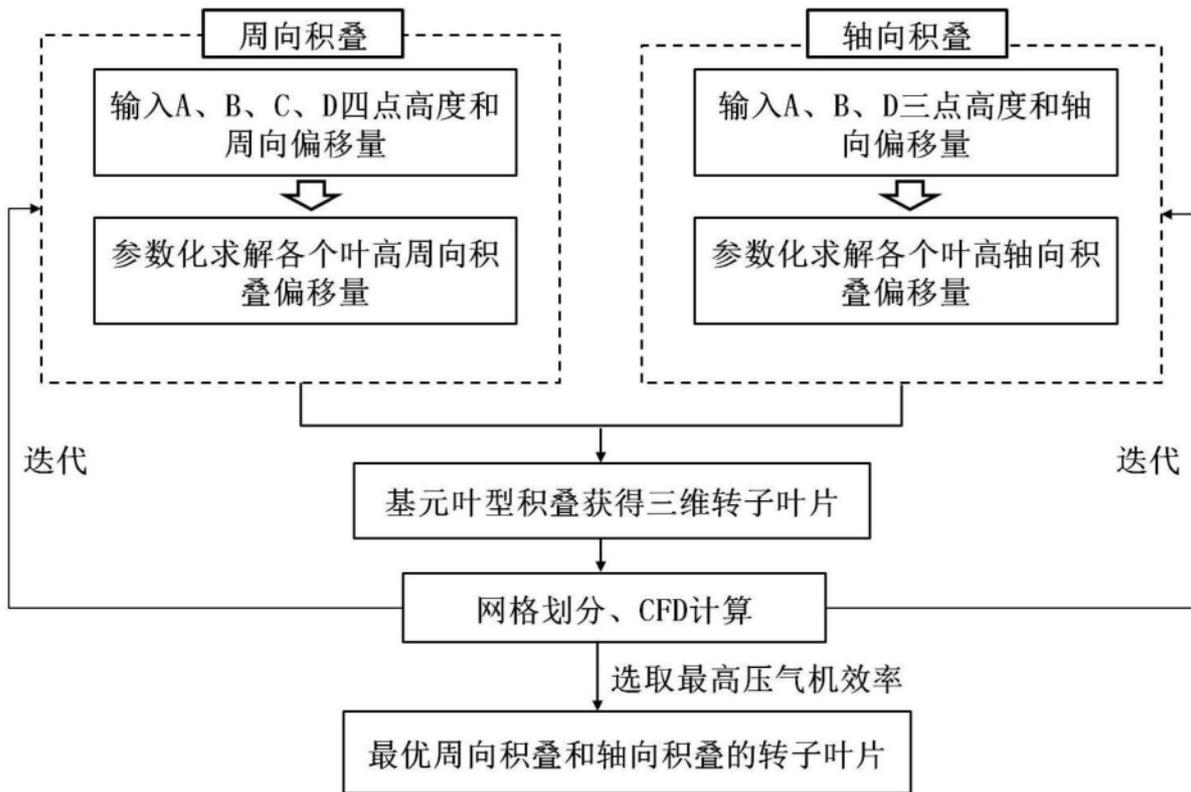


图4

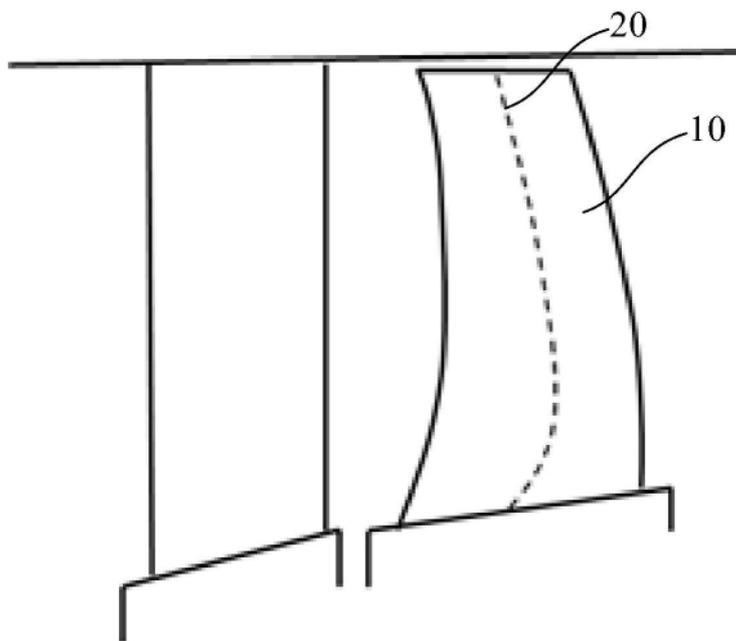


图5

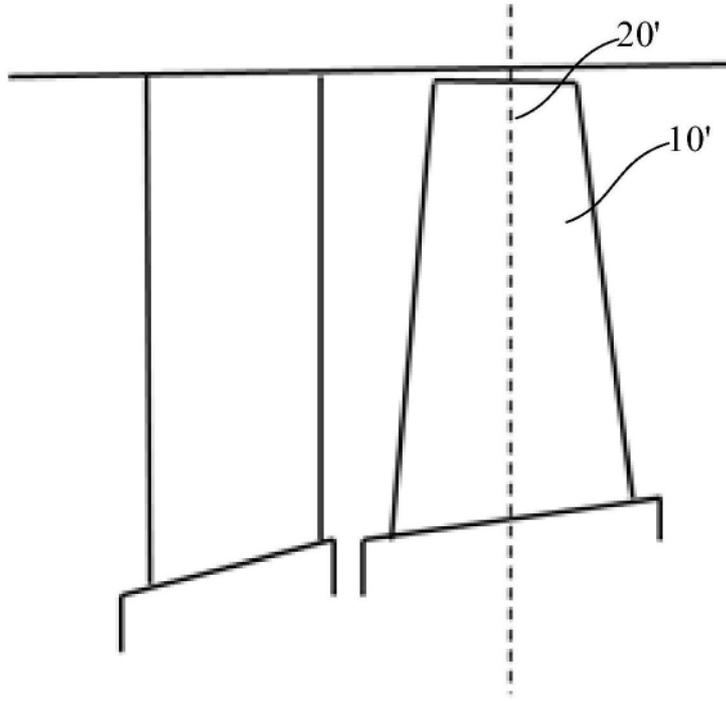


图6