



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103953580 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 06

(21) 申请号 201410226639. 1

(22) 申请日 2014. 05. 27

(73) 专利权人 山东理工大学

地址 255086 山东省淄博市高新技术产业开发区高创园 D 座 1012 室

(72) 发明人 韩鑫

(51) Int. Cl.

F04D 29/26(2006. 01)

F15D 1/00(2006. 01)

审查员 姚松勤

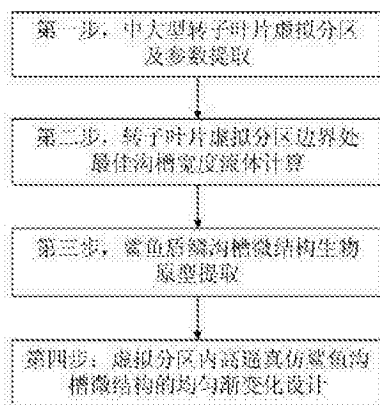
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

中大型转子叶片上均匀渐变型高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的设计方法

(57) 摘要

本发明涉及一种中大型转子叶片上均匀渐变型高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的设计方法,属于工程仿生技术领域。有益之处:(1)本发明充分考虑到了中大型转子叶片“以翼弦为特征长度的雷诺数在叶片径向方向是变化的”这一重要事实,较现有的以部分考虑或完全忽视该事实为基础所进行的非均匀渐变甚至沟槽等宽度、无差别化、均一型设计更加科学、合理;(2)本发明提供的均匀渐变型高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的设计方法较现有非均匀渐变以及抽象、简化型低逼真度仿鲨鱼减阻降噪微结构设计更能保证其更加高效的实际使用效果,有助于使转子叶片虚拟分区内的每一部分都能接近或最大化的模拟生物机能。



1. 中大型转子叶片上均匀渐变型高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的设计方法, 其特征在于, 包括如下步骤:

第一步: 中大型转子叶片虚拟分区及参数提取

(A) 兼顾减阻降噪必要性及后续加工经济性, 在每个中大型转子叶片正反两面上虚拟地各划设一条与其回转轨迹相一致的分界线, 将叶尖与该分界线之间的叶片区域作为实施仿鲨鱼沟槽微结构设计的区域;

(B) 从后续加工经济性角度将叶片正反两面上具有微小结构尺寸差别的对应分区视为完全相同, 进而根据叶片翼型及设计尺寸, 分别提取叶尖及经(A)步骤划设的虚拟分界线处叶片翼弦的弦长值;

(C) 根据中大型转子叶片的设计额定转速及叶片尺寸, 提取叶尖及经(A)步骤划设的虚拟分界线所处回转半径的数值, 进而计算叶尖及虚拟分界线处叶片翼弦的线速度;

第二步: 转子叶片虚拟分区边界处最佳沟槽宽度流体计算

(A) 根据第一步计算出的叶尖及虚拟分界线处叶片翼弦的线速度, 并以第一步提取出的叶尖及虚拟分界线处叶片翼弦的弦长值作为几何特征长度, 按照公式1计算转子叶片虚拟分区两个边界处的雷诺数 Re , 式中 v 为叶片翼弦线速度, L 为叶片翼弦的几何特征长度, ρ 为流体介质密度, μ 为流体介质动力粘度;

$$Re = \rho v L / \mu \quad (1)$$

(B) 根据经(A)步骤计算出的转子叶片虚拟分区边界处雷诺数 Re 的数值范围, 按照史里希丁公式2计算转子叶片虚拟分区边界处湍流边界层的摩阻系数 C_f ;

$$C_f = \frac{0.455}{(\lg Re)^{2.58}} - \frac{3700}{Re} \quad (2)$$

(C) 根据经(B)步骤计算出的叶片虚拟分区边界处湍流边界层的摩阻系数 C_f , 按照公式3计算转子叶片虚拟分区边界处仿鲨鱼沟槽微结构发挥最佳减阻效果时的最佳沟槽宽度 s ;

$$s = \frac{16\mu}{\rho v} \sqrt{\frac{2}{C_f}} \quad (3)$$

第三步: 鲨鱼盾鳞沟槽微结构生物原型提取

(A) 选择典型高游速鲨鱼并裁切出一定面积的新鲜鲨鱼皮, 借由适当的预处理工艺, 制得鲨鱼皮生物模板, 进而作为中大型转子叶片上高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的生物原型;

(B) 对经(A)步骤制得的鲨鱼皮生物模板进行高精度三维表面轮廓扫描, 得到其高精度表面形貌图像, 提取鲨鱼盾鳞沟槽微结构的横截面轮廓曲线, 进而提取沟槽宽度、鳞脊高度、鳞片倾角以及有关沟槽截面轮廓的具体数据;

第四步: 虚拟分区内高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的均匀渐变化设计

(A) 以第二步计算出的转子叶片虚拟分区边界处仿鲨鱼沟槽微结构发挥最佳减阻效果时的最佳沟槽宽度 s 作为叶片虚拟分区边界处仿鲨鱼沟槽微结构的设计沟槽宽度, 分别将两边界处的设计沟槽宽度与第三步获取的生物原型沟槽数据进行数值比对, 进而对两边界处仿鲨鱼沟槽横截面轮廓进行比例缩放基础上高精度二维化设计;

(B) 以(A)步骤中虚拟分区两个边界处仿鲨鱼沟槽横截面二维数字化轮廓作为数据渐变的两极, 在虚拟分区内沿虚拟分界线到叶尖方向进行仿鲨鱼沟槽横截面二维轮廓曲线的

均匀缩小化渐变设计;为降低后续加工成本,从虚拟分界线起到叶尖方向,限定在回转半径变化率为2%的叶片区域内采用完全相同的仿鲨鱼沟槽横截面设计;由此,经过若干步数的间歇性逐级渐变以后,整个虚拟分区内仿鲨鱼沟槽横截面便由尺寸较大一极完成向尺寸较小一极的均匀渐变;

(C)以第三步获取的高精度鲨鱼皮表面形貌作为中大型转子叶片上高逼真仿鲨鱼沟槽微形貌的设计依据,将经(B)步骤设计出的均匀渐变型仿鲨鱼沟槽横截面数字化轮廓进行三维化处理,生成鳞片独立、有倾角、呈菱形交错排列的仿鲨鱼鳞片结构,最终在中大型转子叶片的虚拟分区内完成高逼真、均匀渐变型仿鲨鱼沟槽微结构的设计。

2.根据权利要求1所述的中大型转子叶片上均匀渐变型高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的设计方法,其特征在于:所述中大型转子叶片的长度范围为3m~60m。

3.根据权利要求1所述的中大型转子叶片上均匀渐变型高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的设计方法,其特征在于:所述转子叶片虚拟分区涵盖的范围为沿叶尖到回转中心方向上15%~85%的区域。

4.根据权利要求1所述的中大型转子叶片上均匀渐变型高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的设计方法,其特征在于:所述高逼真仿鲨鱼沟槽微结构与生物原型相比,其逼真度为75%~95%。

5.根据权利要求1所述的中大型转子叶片上均匀渐变型高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的设计方法,其特征在于:所述高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的沟槽方向应与转子叶片的回转方向保持一致。

中大型转子叶片上均匀渐变型高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种中大型转子叶片上均匀渐变型高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的设计方法,更特别地说,是指根据转子叶片不同径向区域线速度的不同进行高逼真仿鲨鱼盾鳞沟槽微结构的均匀渐变化设计以实现高效仿生减阻降噪的方法,属于工程仿生技术领域。

背景技术

[0002] 以“鲨鱼皮效应”著称的鲨鱼是生物进化的成功典范,目前已知的“鲨鱼皮效应”耦合了减阻、降噪、脱附、防护等多种生物机能,而鲨鱼表皮盾鳞的微米级沟槽结构是促成“鲨鱼皮效应”的重要结构要素,近年来人们已将仿鲨鱼盾鳞沟槽微结构应用于飞机、舰船、潜艇等多种大型装备的设计,以解决某些工程实际问题。

[0003] 转子系统的大型化是降低使用成本的重要途径之一。随着转子系统额定功率的增加,作为关键部件的转子叶片直径也迅速增大,目前中大型转子系统转子叶片的长度多在3m以上,其运行时的风阻及噪声问题显得尤为严重。风阻过大将降低系统效率,噪声过大将引发环境污染、振动疲劳以及裂纹失效,因而中大型转子叶片的减阻降噪设计成为提高转子效率及设备可靠性的重要保障和设计难点。减阻的同时也意味着降噪,具有减阻降噪功能的鲨鱼皮为中大型转子叶片设计提供了生物范例。例如,申请号为10/802568的美国专利公开了一种采用简化型“U”形沟槽设计以模拟鲨鱼皮沟槽微结构的风力发电机叶片,将上述仿鲨鱼表皮微结构均一化地粘贴或加工到叶片表面可实现阻力及噪声的有效控制。

[0004] 然而,现有的低逼真度、均一型仿鲨鱼表皮微结构对于中大型转子型运动部件的减阻降噪仍存在较大的改进空间。原因在于:研究表明,一方面沟槽截面形状以及沟槽宽度是决定“鲨鱼皮效应”的重要结构要素,所设计的仿鲨鱼沟槽微结构其逼真度越高,则仿生减阻降噪的实际效果越显著;另一方面为了达到最佳减阻效率,不同的速度均对应一个最佳的沟槽宽度。而对于中大型转子叶片而言,其正常运转时不同径向位置区域的线速度各不相同,甚至差别较大,若简单的采用低逼真度、非均匀渐变甚至均一型仿鲨鱼盾鳞沟槽微结构设计,显然无法在径向不同位置区域同时实现高效的减阻降噪效果,且对于整机可靠性及寿命的提高亦较为有限。

[0005] 因此,若要在中大型转子叶片上实现高效率、高可靠性的减阻降噪设计,进行高逼真、均匀渐变型仿生微结构的设计势在必行。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于,提供一种中大型转子叶片上均匀渐变型高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的设计方法,以解决上述技术问题。

[0007] 本发明所解决的技术问题采用以下技术方案来实现:

[0008] 中大型转子叶片上均匀渐变型高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的设计方法,包括如下步骤:

[0009] 第一步:中大型转子叶片虚拟分区及参数提取

[0010] (A)兼顾减阻降噪必要性及后续加工经济性,在每个中大型转子叶片正反两面上虚拟地各划设一条与其回转轨迹相一致的分界线,将叶尖与该分界线之间的叶片区域作为实施仿鲨鱼沟槽微结构设计的区域;

[0011] (B)从后续加工经济性角度将叶片正反两面上具有微小结构尺寸差别的对应分区视为完全相同,进而根据叶片翼型及设计尺寸,分别提取叶尖及经(A)步骤划设的虚拟分界线处叶片翼弦的弦长值;

[0012] (C)根据中大型转子叶片的设计额定转速及叶片尺寸,提取叶尖及经(A)步骤划设的虚拟分界线所处回转半径的数值,进而计算叶尖及虚拟分界线处叶片翼弦的线速度;

[0013] 第二步:转子叶片虚拟分区边界处最佳沟槽宽度流体计算

[0014] (A)根据第一步计算出的叶尖及虚拟分界线处叶片翼弦的线速度,并以第一步提取出的叶尖及虚拟分界线处叶片翼弦的弦长值作为几何特征长度,按照公式1计算转子叶片虚拟分区两个边界处的雷诺数 R_e ,式中 V 为叶片翼弦线速度, L 为叶片翼弦的几何特征长度, ρ 为流体介质密度, μ 为流体介质动力粘度;

$$[0015] \quad R_e = \rho VL / \mu \quad (1)$$

[0016] (B)根据经(A)步骤计算出的转子叶片虚拟分区边界处雷诺数 R_e 的数值范围,按照史里希丁公式2计算转子叶片虚拟分区边界处湍流边界层的摩阻系数 C_f ;

$$[0017] \quad C_f = \frac{0.455}{(\lg R_e)^{2.58}} - \frac{3700}{R_e} \quad (2)$$

[0018] (C)根据经(B)步骤计算出的叶片虚拟分区边界处湍流边界层的摩阻系数 C_f ,按照公式3计算转子叶片虚拟分区边界处仿鲨鱼沟槽微结构发挥最佳减阻效果时的最佳沟槽宽度 s ;

$$[0019] \quad s = \frac{16\mu}{\rho V} \sqrt{\frac{2}{C_f}} \quad (3)$$

[0020] 第三步:鲨鱼盾鳞沟槽微结构生物原型提取

[0021] (A)选择典型高游速鲨鱼并裁切出一定面积的新鲜鲨鱼皮,借由适当的预处理工艺,制得鲨鱼皮生物模板,进而作为中大型转子叶片上高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的生物原型;

[0022] (B)对经(A)步骤制得的鲨鱼皮生物模板进行高精度三维表面轮廓扫描,得到其高精度表面形貌图像,提取鲨鱼盾鳞沟槽微结构的横截面轮廓曲线,进而提取沟槽宽度、鳞脊高度、鳞片倾角以及有关沟槽截面轮廓的具体数据;

[0023] 第四步:虚拟分区内高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的均匀渐变化设计

[0024] (A)以第二步计算出的转子叶片虚拟分区边界处仿鲨鱼沟槽微结构发挥最佳减阻效果时的最佳沟槽宽度 s 作为叶片虚拟分区边界处仿鲨鱼沟槽微结构的设计沟槽宽度,分别将两边界处的设计沟槽宽度与第三步获取的生物原型沟槽数据进行数值比对,进而对两边界处仿鲨鱼沟槽横截面轮廓进行比例缩放基础上高精度二维化设计;

[0025] (B)以(A)步骤中虚拟分区两个边界处仿鲨鱼沟槽横截面二维数字化轮廓作为数据渐变的两极,在虚拟分区内沿虚拟分界线到叶尖方向进行仿鲨鱼沟槽横截面二维轮廓曲

线的均匀缩小化渐变设计;为降低后续加工成本,从虚拟分界线起到叶尖方向,限定在回转半径变化率为2%的叶片区域内采用完全相同的仿鲨鱼沟槽横截面设计;由此,经过若干步数的间歇性逐级渐变以后,整个虚拟分区内仿鲨鱼沟槽横截面便由尺寸较大一极完成向尺寸较小一极的均匀渐变;

[0026] (C)以第三步获取的高精度鲨鱼皮表面形貌作为中大型转子叶片上高逼真仿鲨鱼沟槽微形貌的设计依据,将经(B)步骤设计出的均匀渐变型仿鲨鱼沟槽横截面数字化轮廓进行三维化处理,生成鳞片独立、有倾角、呈菱形交错排列的仿鲨鱼鳞片结构,最终在中大型转子叶片的虚拟分区内完成高逼真、均匀渐变型仿鲨鱼沟槽微结构的设计。

[0027] 所述中大型转子叶片的长度范围为3m~60m。

[0028] 所述转子叶片虚拟分区涵盖的范围为沿叶尖到回转中心方向上15%~85%的区域。

[0029] 所述高逼真仿鲨鱼沟槽微结构与生物原型相比,其逼真度为75%~95%。

[0030] 所述高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的沟槽方向应与转子叶片回转方向保持一致。

[0031] 本发明的有益之处:(1)本发明提供的均匀渐变型高逼真仿鲨鱼沟槽微结构设计方法,充分考虑到了中大型转子叶片“以翼弦为特征长度的雷诺数在叶片径向方向是变化的”这一重要事实,较现有的以部分考虑或完全忽视该事实为基础所进行的非均匀渐变甚至沟槽等宽度、无差别化、均一型设计更加科学、合理;(2)在结构形貌上最大程度的尊重和接近生物原型是最大化模拟生物机能的重要保障,本发明提供的均匀渐变型高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的设计方法较现有非均匀渐变以及抽象、简化型低逼真度仿鲨鱼减阻降噪微结构设计更能保证其更加高效的实际使用效果,有助于使转子叶片虚拟分区内的每一部分都能接近或最大化的模拟生物机能。

附图说明

[0032] 图1为本发明的中大型转子叶片上均匀渐变型高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的设计方法流程图。

[0033] 图2为本发明实施例提供的具有均匀渐变型高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的中大型转子系统示意图。

[0034] 图3为图2中转子叶片上A区域的放大视图。

[0035] 图4为在单个转子叶片上进行虚拟区域划分的示意图。

[0036] 图5为对图3中B区域仿鲨鱼沟槽微结构进行局部剖切取样后的三维放大视图。

[0037] 图6为本发明实施例中提取到的短尾真鲨盾鳞沟槽截面轮廓曲线。

[0038] 图中:1、转子叶片 2、仿鲨鱼沟槽微结构 3、虚拟分区 4、仿鲨鱼沟槽横截面。

具体实施方式

[0039] 为了使本发明实现的技术手段、创作特征、达成目的与功效易于明白了解,下面结合附图和具体实施例进一步阐述本发明。

[0040] 参照图1~图3,拟按照图1所示流程在某大型六叶、标准翅片型冷却塔风机叶片上进行高逼真、均匀渐变型仿鲨鱼沟槽微结构的设计。该型号冷却塔风机叶片的相关尺寸及工作参数为:单个冷却塔风机叶片1的长度为10m,轮盘直径2.5m,设计额定转速110rpm。

[0041] 第一步:冷却塔风机叶片虚拟分区及参数提取。

[0042] 参照图2、图4,首先确定在叶片正反面沿叶尖到回转中心方向75%的径向区域进行仿鲨鱼沟槽微结构2的设计,该虚拟分区3的分界线(图中以虚线表示)与风机叶片的回转轨迹保持一致。由于靠近回转中心附近的部位其线速度较低,从后续制造成本及效益回报等角度考量,不值得对余下25%的区域进行减阻降噪设计。

[0043] 其次,该翅片型叶片为普通等截面叶片,从后续加工经济性角度将叶片正反两面上具有微小结构尺寸差别的对应分区视为完全相同,根据其翼型及设计尺寸,提取叶尖及虚拟分界线处叶片翼弦的弦长值L均为1.0m。

[0044] 最后,根据冷却塔风机叶片的设计额定转速110rpm及叶片尺寸,并兼顾轮盘尺寸,提取叶尖及虚拟分界线所处回转半径的数值分别为10.3m、4.7m,进而计算出叶尖及虚拟分界线处叶片翼弦的线速度V分别为118.6m/s、54.1m/s。

[0045] 第二步:风机叶片虚拟分区边界处最佳沟槽宽度流体计算。

[0046] 首先,根据第一步计算出的叶尖及虚拟分界线处叶片翼弦的线速度(118.6m/s、54.1m/s),并以叶尖及虚拟分界线处叶片翼弦的弦长值1.0m作为几何特征长度,按照公式1计算转子叶片虚拟分区3两个边界处的雷诺数 Re 。分别为 7.9×10^6 、 3.6×10^6 ,式中空气介质动力粘度 μ 和密度 ρ 在常温(15°C~20°C)、常压下分别取值为 $1.8 \times 10^{-5} \text{kg/m} \cdot \text{s}$ 和 1.205kg/m^3 。

[0047] 进而,根据上述转子叶片虚拟分区3边界处雷诺数 Re 的数值范围,按照史里希丁公式2计算转子叶片虚拟分区3边界处湍流边界层的摩阻系数 C_f 分别为0.0026517、0.0025288。

[0048] 最后,根据上述叶片虚拟分区3边界处湍流边界层的摩阻系数 C_f (0.0026517、0.0025288),按照公式3计算转子叶片虚拟分区3边界处仿鲨鱼沟槽微结构2发挥最佳减阻效果时的最佳沟槽宽度 s 分别为55 μm 、124 μm 。

[0049] 第三步:鲨鱼盾鳞沟槽微结构生物原型提取。

[0050] 首先,选择成体的典型快游速鲨鱼品种短尾真鲨(*Carcharhinus brachyurus*)并裁切出一定面积的新鲜鲨鱼皮,借由清洗、化学固定、乙醇脱水、烘干等预处理工艺,制得短尾真鲨鱼皮生物模板,进而作为冷却塔风机叶片上高逼真仿鲨鱼沟槽微结构2的生物原型。

[0051] 进而,对上述制得的短尾真鲨鱼皮生物模板进行高精度三维表面轮廓扫描,得到其高精度表面形貌图像,提取短尾真鲨鱼盾鳞沟槽微结构的横截面轮廓曲线(参照图6),进而提取沟槽宽度48.0 μm 、中央鳞脊高度10.0 μm 、两侧副鳞脊高度8.0 μm 、鳞片倾角5°以及其他有关沟槽截面轮廓的具体数据。

[0052] 第四步:虚拟分区内高逼真仿鲨鱼沟槽微结构的均匀渐变化设计。

[0053] 首先,以第二步计算出的转子叶片虚拟分区3边界处仿鲨鱼沟槽微结构2发挥最佳减阻效果时的最佳沟槽宽度 s (55 μm 、124 μm)作为叶片虚拟分区3边界处仿鲨鱼沟槽微结构2的设计沟槽宽度,分别将两边界处的设计沟槽宽度与第三步获取的生物原型沟槽数据进行数值比对,进而对两边界处仿鲨鱼沟槽横截面4的轮廓进行比例缩放基础上高精度二维化设计。例如,叶尖及虚拟分界线处仿鲨鱼沟槽横截面4的主要结构数值如下所示。

[0054] 叶尖处:沟槽宽度55 μm 、中央鳞脊高度12 μm 、两侧副鳞脊高度9 μm 、鳞片倾角6°。

[0055] 虚拟分界线处:沟槽宽度124 μm 、中央鳞脊高度26 μm 、两侧副鳞脊高度21 μm 、鳞片倾

角 13° 。

[0056] 进而,以上述虚拟分区两个边界处仿鲨鱼沟槽横截面4的二维数字化轮廓作为数据渐变的两极,在虚拟分区3内沿虚拟分界线到叶尖方向进行仿鲨鱼沟槽横截面4二维轮廓曲线的均匀缩小化渐变设计;为降低后续加工成本,从虚拟分界线起到叶尖方向,限定在回转半径变化率为2%的叶片区域内采用完全相同的仿鲨鱼沟槽横截面4设计,亦即回转半径每增加20cm即需对仿鲨鱼沟槽横截面4进行一次缩小化渐变设计,经历若干个此类渐变,直至在整个虚拟分区3内完成仿鲨鱼沟槽横截面4由槽宽 $124\mu\text{m}$ 向 $55\mu\text{m}$ 的均匀渐变,其他结构数据如中央鳞脊高度、两侧副鳞脊高度以及鳞片倾角等亦同时完成均匀渐变。

[0057] 最后,以第三步获取的高精度鲨鱼皮表面形貌作为冷却塔风机叶片上高逼真仿鲨鱼沟槽微形貌的设计依据,将上述设计出的均匀渐变型仿鲨鱼沟槽横截面数字化轮廓进行三维化处理,生成鳞片独立、有倾角、呈菱形交错排列的仿鲨鱼鳞片结构(参照图3、图5),且其沟槽方向与冷却塔风机叶片的回转方向保持一致。由于已将叶片正反两面上的对应虚拟分区视为完全相同,因此叶片正反两面上的对应位置均应具有完全相同的仿鲨鱼沟槽微结构,由此便在大型冷却塔风机叶片上完成高逼真、均匀渐变型仿鲨鱼沟槽微结构的设计。

[0058] 参照图3、图5、图6,经上述流程所设计出的高逼真仿鲨鱼沟槽微结构与生物原型相比,其逼真度约为90%。

[0059] 以上显示和描述了本发明的基本原理和主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解,本发明不受上述实施例的限制,上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。本发明要求保护范围由所附的权利要求书及其等效物界定。

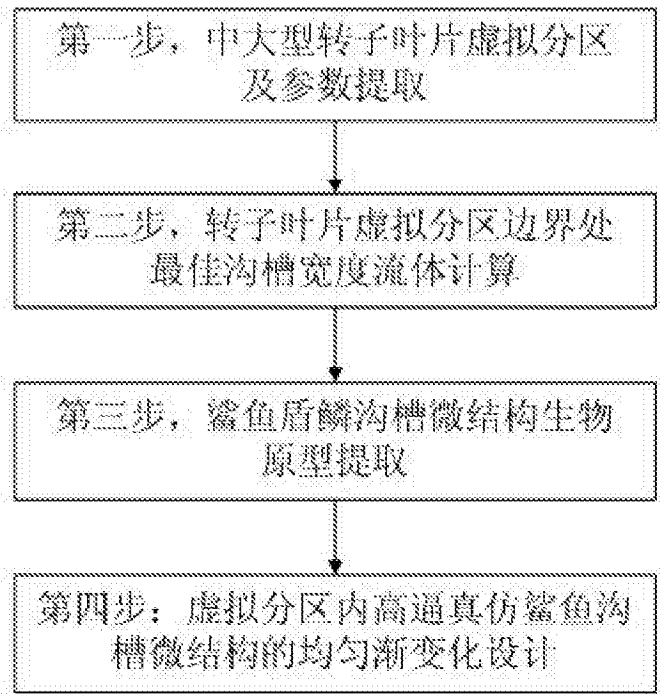


图1

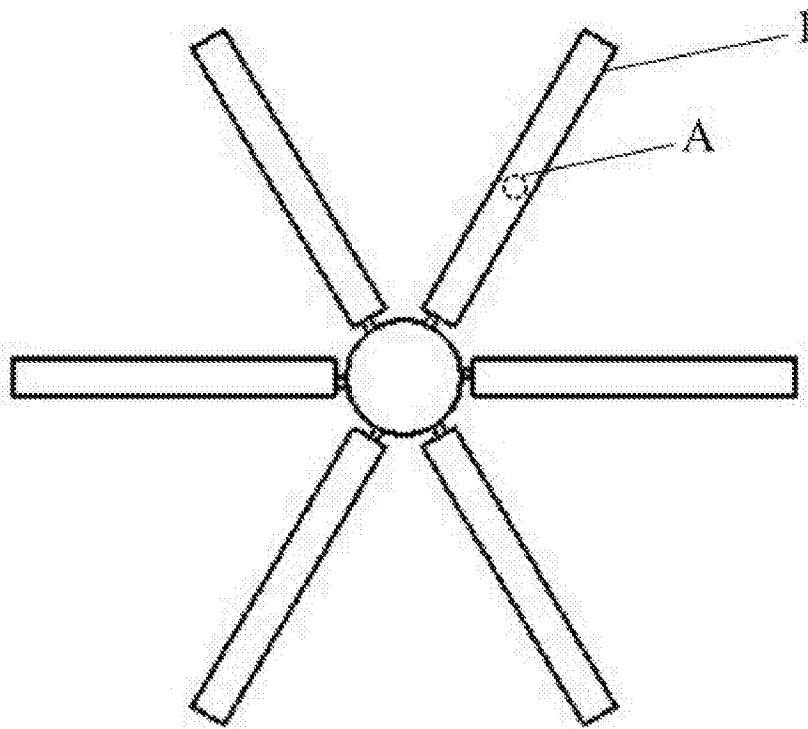


图2

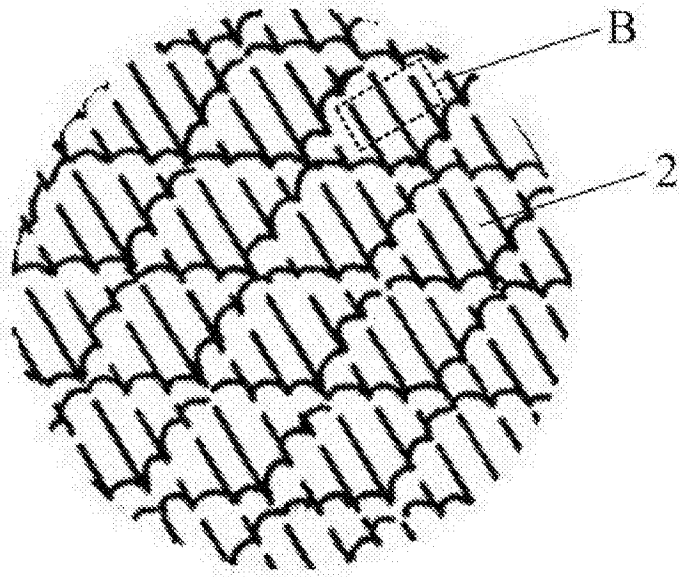


图3

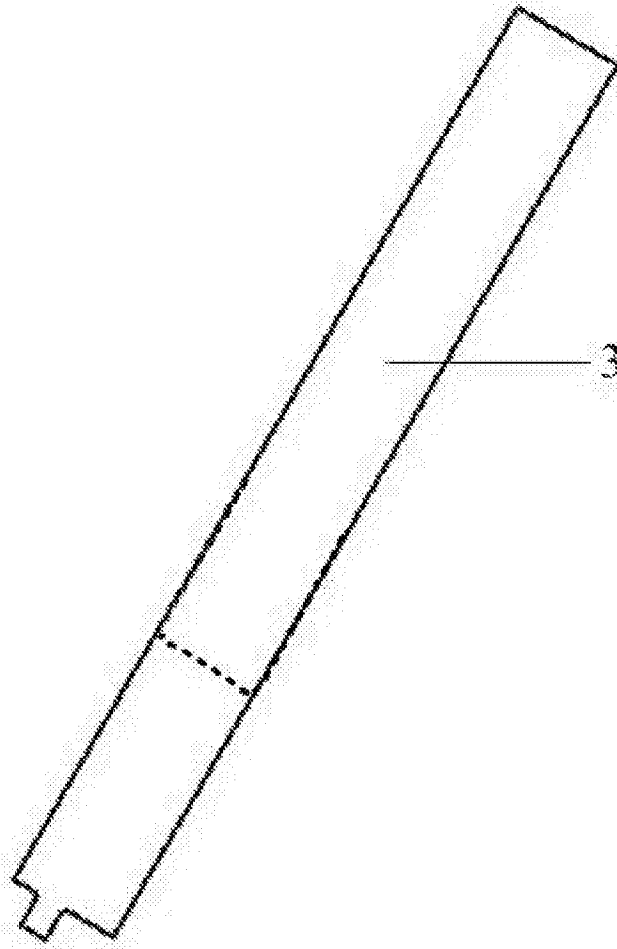


图4

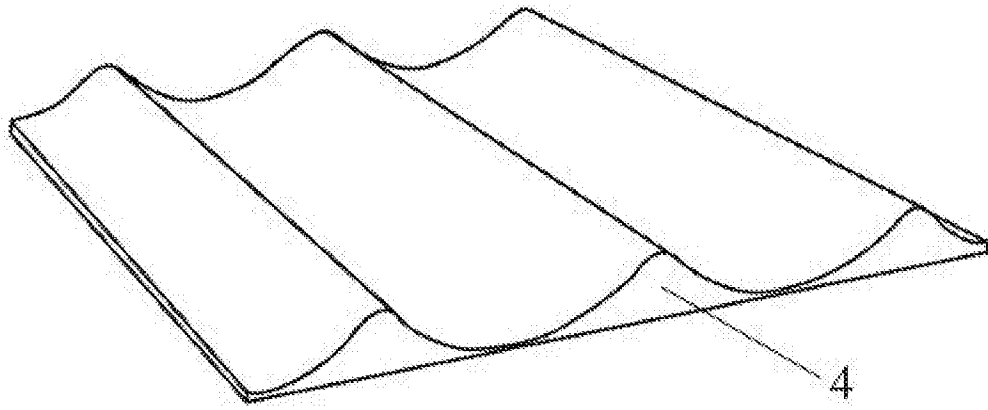


图5

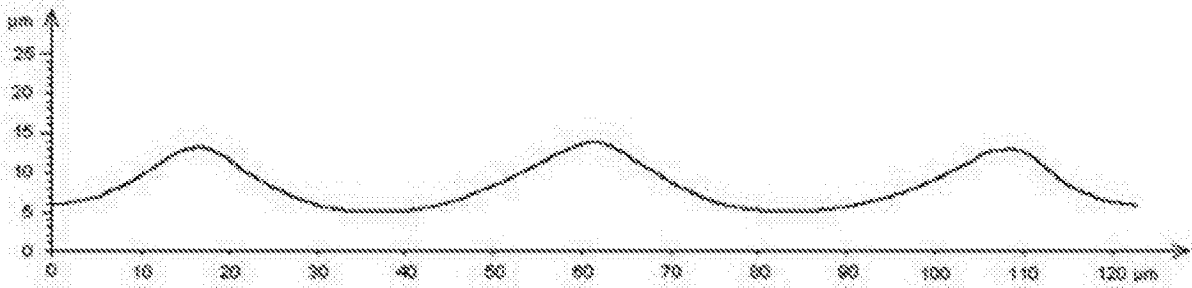


图6