

旋翼以及旋翼飞行器

本申请要求于 2022 年 12 月 26 日提交的申请号为 202211679092.1、发明名称为“一种旋翼以及旋翼飞行器”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及飞行器技术领域，特别涉及一种旋翼以及旋翼飞行器。

背景技术

旋翼飞行器能够垂直起降、低空飞行，特有的飞行优势使其在军事和民用领域都得到了广泛应用，并将成为未来城市空中交通的主要载运工具。

发明内容

发明的目的是提供一种旋翼以及旋翼飞行器，以解决相关技术中的技术问题，它能够提升旋翼的降噪效果。

第一方面，本申请提供了一种旋翼，包括桨叶，所述桨叶的表面凸设有多个凸起结构，所述多个凸起结构沿所述桨叶的展向依次间隔设置，相邻的所述凸起结构之间具有高度差。

如上所述的一种旋翼，其中，所述多个凸起结构的高度沿所述桨叶的展向依次降低，形成阶梯状分布。

如上所述的一种旋翼，其中，最靠近所述桨叶的旋转中心的凸起结构与最远离所述旋转中心的凸起结构之间的高度差为 0.1mm。

如上所述的一种旋翼，其中，所述凸起结构为多边形凸台。

如上所述的一种旋翼，其中，所述多边形凸台包括前部，所述前部的横截面为三角形。

如上所述的一种旋翼，其中，所述三角形中最靠近所述桨叶的前缘的内角大于等于 30°，且小于等于 90°。

如上所述的一种旋翼，其中，所述凸起结构的高度满足：

$$t = \frac{kc}{Re^{0.2}};$$

其中， t 为所述凸起结构的高度；

k 为比例系数， k 的取值范围为 0.01-0.2；

c 为当地弦长；

Re 为当地雷诺数。

如上所述的一种旋翼，其中，所述当地雷诺数满足如下要求：

$$Re = \frac{\rho \omega r c}{\mu};$$

其中， ρ 为空气密度；

ω 为所述桨叶的旋转角速度；

r 为当地展向位置；

μ 为空气动力粘度。

如上所述的一种旋翼，其中，所述当地雷诺数大于等于 10000，且小于等于 500000。

如上所述的一种旋翼，其中，所述凸起结构的弦向长度大于等于 $0.05c$ ，且小于等于 $0.2c$ ，其中， c 为当地弦长。

如上所述的一种旋翼，其中，所述凸起结构的展向宽度与所述凸起结构的弦向长度的比值大于 0.01，且小于 0.2。

如上所述的一种旋翼，其中，相邻所述凸起结构之间的间距与所述凸起结构的展向宽度的比值大于 0.1，且小于 2。

如上所述的一种旋翼，其中，所述凸起结构与所述桨叶的前缘之间的间距大于等于 $0.05c$ ，且小于等于 $0.5c$ ，其中， c 为当地弦长。

第二方面，本申请还提供了一种旋翼飞行器，包括前述的旋翼。

与相关技术相比，本申请通过沿桨叶的展向依次间隔设置多个凸起结构，利用具有高度差的多个凸起结构增大与空气的接触区域，实现对桨叶层流分离泡的强制扰流转捩，使得气流更加贴合桨叶表面，降低尾缘边界层厚度，从而减小噪声的发生区域，达到降低噪音的目的。

附图说明

图 1 是本申请实施例所提供的旋翼的整体结构的立体图；

图 2 是本申请实施例所提供的旋翼的整体结构的主视图；

图 3 是本申请实施例所提供的旋翼的局部位置的结构示意图；

图4是本申请实施例所提供的旋翼的凸起结构的立体图。

附图标记说明：1-桨叶，2-凸起结构，3-主桨，4-桨尖，5-前缘，6-后缘，7-前部，8-凹陷部。

具体实施方式

下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，仅用于解释本申请，而不能解释为对本申请的限制。

在相关技术中，旋翼飞行器能够垂直起降、低空飞行，特有的飞行优势使其在军事和民用领域都得到了广泛应用，并将成为未来城市空中交通的主要载运工具。但是飞行器噪声很大程度上限制了其应用场景，降低螺旋桨气动噪声的重要性也逐渐显现。

本申请提供了一种旋翼以及旋翼飞行器，以解决相关技术中的技术问题，它能够提升旋翼的降噪效果。下面，对其进行介绍：

在此需要说明的是，本申请所涉及到的参数均采用本领域通常的方式进行定义，以图2中的桨叶为例，其中，定义翼型是指桨叶1在展向上任意位置的二维剖面，将旋转中心设定为原点建立坐标系，旋转中心是指桨叶1旋转的中心点，桨叶1围绕旋转中心转动，翼型的靠近旋转中心的一端为主桨3，翼型的远离旋转中心的一端为桨尖4，主桨3到桨尖4的延伸方向定义为展向（图2中从左向右方向），对应地，垂直于展向的方向即为弦向，桨叶1的弦向方向上包括前缘5以及后缘6，后缘6到前缘5的延伸方向即为桨叶的旋转方向。

参照图1至图4所示，本申请所提供的旋翼包括桨叶1，桨叶1的表面凸设有多个凸起结构2，多个凸起结构2沿桨叶1的展向依次间隔设置，相邻的凸起结构2之间具有高度差，利用具有高度差的多个凸起结构2增大与空气的接触区域，实现对桨叶1层流分离泡的强制扰流转捩，使得气流更加贴合桨叶1表面，降低尾缘边界层厚度，从而减小噪声的发生区域，达到降低噪音的目的，根据实际噪声测试，设有凸起结构2的旋翼在相同拉力下可以实现最大5dBA的降噪。

本申请所提供的实施例中，多个凸起结构2的高度沿桨叶1的展向依次降低，形成阶梯状分布，从而更有利于对层流分离泡的强制转捩，可以有效降低总声压级，实现整个桨叶1的进一步降噪，优选的是，多个凸起结构2呈等间隔分布，相邻的凸起结构2之间具有同样尺寸的间隙，最靠近桨叶1旋转中心

的凸起结构 2 的高度与最远离桨叶 1 旋转中心的凸起结构 2 的高度之间的高度差为 0.1mm, 一种可行的实施方式中, 最靠近桨叶旋转中心的凸起结构的高度为 0.2mm, 最远离桨叶 1 旋转中心的凸起结构 2 的高度为 0.1mm, 期间设置 40-50 个凸起结构 2, 多个凸起结构 2 的高度呈线性递减分布, 最远离桨叶 1 旋转中心的凸起结构 2 位于桨尖 4 的尾端, 最靠近桨叶 1 旋转中心的凸起结构 2 的当地展向位置 r 为桨尖 4 到桨叶 1 旋转中心的长度 R 的 $1/4-1/3$ 。

本领域的技术人员可以知晓, 多个凸起结构 2 可以形成其他形状的分布, 例如多个凸起结构 2 沿着桨叶 1 的展向排列可以形成锯齿状分布, 多个凸起结构 2 沿桨叶 1 的展向呈周期性的高度变化。

为更进一步降低噪音, 参照图 3 以及图 4 所示, 凸起结构 2 为多边形凸台, 多边形凸台的面向桨叶 1 的前缘 5 的一端形成三角形形状的前部 7, 前部 7 包括两个倾斜设置的外壁面, 两个外壁面的一端相交, 两个外壁面的另一端分别与凸起结构 2 的两个侧面接续, 前部 7 的开口面向桨叶 1 的后缘 6 设置, 前部 7 的中心线的延伸方向平行于桨叶 1 的旋转方向, 多个凸起结构 2 的前部 7 之间相互平行设置, 优选的是, 三角形中最靠近桨叶的前缘 5 的内角大于等于 30° , 且小于等于 90° , 这种对凸起结构 2 前端的优化设计能够减弱凸起结构 2 前端的涡流, 降低涡流的干扰, 从而实现降低噪声的目的。

本申请所提供的实施例中, 凸起结构 2 的面向桨叶 1 的后缘 6 的一端设有凹陷部 8, 凹陷部 8 为凹陷形成于凸起结构 2 后部的凹槽, 凹槽呈箭头形状, 包括两个倾斜设置的内壁面, 两个内壁面的一端相交, 两个内壁面的另一端分别与凸起结构 2 的两个侧面接续, 凹陷部 8 的开口面向桨叶 1 的后缘 6 设置, 凹陷部 8 的中心线的延伸方向平行于桨叶 1 的旋转方向, 多个凸起结构 2 的凹陷部 8 之间相互平行设置, 优选的是, 凹陷部 8 的夹角介于 $30^\circ-90^\circ$ 之间, 这种对凸起结构 2 后端的优化设计能够减弱凸起结构 2 后端的涡流, 降低涡流的干扰, 从而实现降低噪声的目的。

本申请所提供的实施例中, 凸起结构 2 具有设定的高度 t , 高度满足:

$$t = \frac{kc}{Re^{0.2}};$$

其中, t 为凸起结构 2 的高度, k 为比例系数, c 为当地弦长, 即为站位截面翼型前缘 5 到后缘 6 的距离, Re 为当地雷诺数。

通过控制凸起结构 2 的尺寸和布置形式, 可以有效降低总声压级, 从第一

公式可以知晓，凸起结构 2 的高度 t 是变化的，主要是根据当地雷诺数 Re 的数值而改变，具体地，沿着桨叶 1 的展向方向，越远离旋转中心，当地雷诺数 Re 越大，凸起结构 2 的高度 t 越小，凸起结构 2 的高度沿展向方向呈梯度减少，使得气流更加贴合桨叶 1 表面，更有利于对层流分离泡的强制转捩，可以实现整个桨叶 1 的最优降噪。

本申请所提供的实施例中， k 的取值范围为 0.01-0.2，包括端点值，比例系数 k 的取值可以使得当地弦长 c 、当地雷诺数 Re 与凸起结构 2 的高度 t 之间保持一个合理的对应关系，当地弦长 c 以及当地雷诺数 Re 变化以后，使得凸起结构 2 随之发生合适的高度变化，凸起结构 2 的高度 t 变化能同时兼顾飞行器气动性能与噪声抑制，在不影响桨叶 1 气动效率的前提下，一定程度上降低旋翼噪声。

进一步地， Re 的取值满足：

$$Re = \frac{\rho \omega r c}{\mu};$$

其中， ρ 为空气密度， ω 为桨叶 1 的旋转角速度， r 为当地展向位置， c 为当地弦长， μ 为空气动力粘度。

当地雷诺数 Re 随着空气密度 ρ 、桨叶 1 旋转角速度 ω 、当地展向位置 r 、当地弦长 c 以及空气动力粘度 μ 的数值变化而变化，桨叶 1 转速一定后，当地雷诺数 Re 主要和当地展向位置 r 以及当地弦长 c 相关，当地雷诺数 Re 越大，凸起结构 2 的高度 t 越小，当地雷诺数 Re 越小，凸起结构 2 的高度 t 较大，高度较高的凸起结构 2 靠近旋转中心，这样有利于提高旋翼飞行器的气动效率。由于旋翼飞行器气动效率提高，在同样的升力面分布的情况下，所需要的转速更低，使得减小旋翼飞行器飞行过程中产生的噪音成为可能，优选的是，当地雷诺数大于等于 10000，且小于等于 500000，以获得较高的降噪收益。

本申请所提供的实施例中，凸起结构 2 具有设定的弦向长度 L ，弦向长度 L 大于等于 $0.05c$ ，且小于等于 $0.2c$ ，其中： L 为凸起结构 2 的弦向长度， c 为当地弦长。凸起结构 2 的弦向长度 L 随着当地弦长 c 保持正比例关系，当地弦长 c 越长，凸起结构 2 的弦向长度 L 也越长，凸起结构 2 的作用区域也越大，从而减小噪声的发生区域。

本申请所提供的实施例中，凸起结构 2 的具有设定的展向宽度 $h1$ ，展向宽度 $h1$ 与凸起结构的弦向长度 L 的比值大于 0.01，且小于 0.2，其中： $h1$ 为凸起

结构 2 的展向宽度, L 为凸起结构 2 的弦向长度, 凸起结构 2 呈狭长型结构, 使得气流能够平缓流向尾缘, 以获得更好的气动性能和降噪效果。

本申请所提供的实施例中, 多个凸起结构 2 之间的间距 h_2 与凸起结构 2 的展向宽度 h_1 的比值大于 0.1, 且小于 2, 其中: h_1 为凸起结构 2 的展向宽度, h_2 为相邻的两个凸起结构 2 之间的间距。为进一步降低桨叶 1 转动发出的噪音, 参照图 1 以及图 2 所示, 多个凸起结构 2 靠近桨叶 1 的前缘 5 设置, 具体地, 凸起结构 2 与桨叶 1 的前缘 5 之间的间距大于等于 $0.05c$, 且小于等于 $0.5c$ 。

其中, d 为凸起结构 2 与桨叶 1 的前缘 5 之间的间距, c 为当地弦长。根据低雷诺数层流翼型的流动特性, 层流分离泡位于桨叶 1 的前缘 5 附近, 将凸起结构 2 靠近桨叶 1 的前缘 5 设置, 可以对前缘 5 的层流分离泡进行强制转捩, 切断桨叶 1 旋转时空气在桨叶 1 的前缘 5 上的展向流动, 减少桨叶 1 的前缘 5 所形成的涡流, 进一步降低了桨叶 1 转动发出的噪音。

参照图 1 至图 4 所示, 凸起结构 2 的横截面为箭头形结构, 本领域的技术人员可以知晓, 凸起结构 2 的横截面还可以包括圆形、三角形、矩形或多边形等规则形状或不规则形状, 在此不做限定。

基于上述实施例, 本申请还提供了一种旋翼飞行器, 该旋翼飞行器包括上述的旋翼, 并具有其所有的有益效果, 此处不再赘述。

以上依据图式所示的实施例详细说明了本申请的构造、特征及作用效果, 以上所述仅为本申请的其中一个或多个实施例, 但本申请不以图面所示限定实施范围, 凡是依照本申请的构想所作的改变, 或修改为等同变化的等效实施例, 仍未超出说明书与图示所涵盖的范围时, 均应在本申请的保护范围内。

权 利 要 求 书

1.一种旋翼，包括桨叶（1），所述桨叶（1）的表面设有多个凸起结构（2），所述多个凸起结构（2）沿所述桨叶（1）的展向依次间隔设置，相邻的所述凸起结构（2）之间具有高度差。

2.根据权利要求1所述的旋翼，所述多个凸起结构（2）的高度沿所述桨叶（1）的展向依次降低，形成阶梯状分布。

3.根据权利要求2所述的旋翼，最靠近所述桨叶（1）的旋转中心的凸起结构（2）与最远离所述旋转中心的凸起结构（2）之间的高度差为0.1mm。

4.根据权利要求1所述的旋翼，所述凸起结构（2）为多边形凸台。

5.根据权利要求4所述的旋翼，所述多边形凸台包括前部（7），所述前部（7）的横截面为三角形。

6.根据权利要求5所述的旋翼，所述三角形中最靠近所述桨叶（1）的前缘（5）的内角大于等于 30° ，且小于等于 90° 。

7.根据权利要求1所述的旋翼，所述凸起结构（2）的高度满足：

$$t = \frac{kc}{Re^{0.2}};$$

其中，t为所述凸起结构（2）的高度；

k为比例系数，k的取值范围为0.01-0.2；

c为当地弦长；

Re为当地雷诺数。

8.根据权利要求7所述的旋翼，所述当地雷诺数满足如下要求：

$$Re = \frac{\rho \omega r c}{\mu};$$

其中， ρ 为空气密度；

ω 为所述桨叶（1）的旋转角速度；

r为当地展向位置；

μ 为空气动力粘度。

9.根据权利要求8所述的旋翼，所述当地雷诺数大于等于10000，且小于等于500000。

10.根据权利要求1所述的旋翼，所述凸起结构（2）的弦向长度大于等于

0.05c, 且小于等于 0.2c, 其中, c 为当地弦长。

11. 根据权利要求 1 所述的旋翼, 所述凸起结构 (2) 的展向宽度与所述凸起结构 (2) 的弦向长度的比值大于 0.01, 且小于 0.2。

12. 根据权利要求 1 所述的旋翼, 相邻所述凸起结构 (2) 之间的间距与所述凸起结构 (2) 的展向宽度的比值大于 0.1, 且小于 2。

13. 根据权利要求 1 所述的旋翼, 所述凸起结构 (2) 与所述桨叶 (1) 的前缘 (5) 之间的间距大于等于 0.05c, 且小于等于 0.5c, 其中, c 为当地弦长。

14. 一种旋翼飞行器, 包括权利要求 1-13 中任一项所述的旋翼。