



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107458564 A

(43)申请公布日 2017. 12. 12

(21)申请号 201710623548.5

(22)申请日 2017.07.27

(71)申请人 中国航空工业集团公司基础技术研究院

地址 101300 北京市顺义区双河大街中航  
工贸大楼507

(72)发明人 李雪芹 陈科 刘刚 钱正方  
邢军 马骋 安学锋 蒋靖伟  
蔡昊鹏

(74)专利代理机构 中国航空专利中心 11008  
代理人 李建英

(51)Int.Cl.

B63H 1/20(2006.01)

B63H 1/26(2006.01)

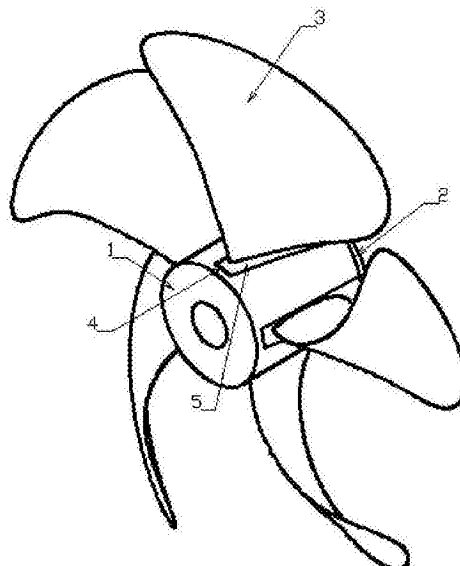
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

### (54)发明名称

船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片  
螺旋桨

### (57)摘要

本发明属于螺旋桨技术领域,涉及一种组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨,尤其涉及一种船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨。本发明提供的船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨,桨毂上的燕尾槽与叶根的装配面均为平面,燕尾槽与叶根的装配定位精度高;叶片从桨毂上的燕尾槽的大端插入,再将端盖与桨毂固定来施加紧固力使叶片安装到位,安装方便,不会造成复合材料叶片的损伤;燕尾槽和叶片之间填充树脂胶黏剂,端盖与桨毂之间固定,工作状态下测试后不发生叶片松动、脱出或破坏,螺旋桨的可靠性高;桨毂上燕尾槽的设计充分考虑了复合材料叶片的结构、性能和制造特点,适用于各种浸沉式螺旋桨和水面螺旋桨。



1. 一种船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨, 包括一个端盖(2)、具有燕尾槽(4)的桨毂(1)和连接在所述桨毂燕尾槽(4)中的叶片(3), 其特征在于: 所述桨毂(1)为圆柱形或圆锥形, 端盖(2)与桨毂(1)的配合面(16)为平面; 叶片(3)材料为连续纤维增强复合材料, 叶片通过楔形叶根(5)与桨毂(1)上的燕尾槽(4)连接; 燕尾槽(4)由底面(6)、两侧斜面(7, 8)、和两个端面(9, 10)构成, 底面(6)和两侧斜面(7, 8)为装配面; 燕尾槽(4)深度在 $0.01D \sim 0.06D$ 之间, 其中 $D$ 为螺旋桨直径; 燕尾槽(4)底面(6)的宽度从插入端面(9)开始逐渐变小, 范围为 $0.5 \sim 2.5/n \cdot d$ , 其中 $d$ 为桨毂的最大直径,  $n$ 为叶片的数目; 燕尾槽(4)底面(6)两边线的夹角在 $0^\circ \sim 20^\circ$ 之间, 燕尾槽(4)的两侧斜面(7, 8)与底面(6)的夹角在 $50^\circ \sim 85^\circ$ 之间; 叶片楔形叶根(5)的底面(11)、两侧斜面(12, 13)和大端面(14)为装配面, 楔形叶根(5)的小端面(15)为非装配面; 叶片楔形叶根(5)底面(11)的中心线(17)与叶片(3)半径为 $d$ 的截面螺距参考线(18)之间的夹角在 $0^\circ \sim 15^\circ$ 之间,  $d$ 为桨毂的最大直径; 安装时, 先将燕尾槽(4)内涂覆树脂粘结剂, 再将叶片从插入相应的燕尾槽(4)的插入端面(9)中插入, 然后施加紧固力将端盖(2)与桨毂(1)固定。

2. 根据权利要求1所述的一种船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨, 其特征在于, 所述端盖(2)和桨毂(1)为金属材料、复合材料或金属-复合材料组合均可。

3. 根据权利要求1所述的一种船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨, 其特征在于, 所述螺旋桨的叶片(3)数量大于等于3。

4. 根据权利要求1所述的一种船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨, 其特征在于, 所述桨毂(1)上燕尾槽(4)一侧斜面(7)与另一侧斜面(8)对称或不对称均可。

5. 根据权利要求1所述的一种船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨, 其特征在于, 所述桨毂(1)上燕尾槽(4)的长度可以贯穿整个桨毂(1), 也可以不贯穿整个桨毂(1)。

6. 根据权利要求1所述的一种船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨, 其特征在于, 所述桨毂(1)上的燕尾槽(4)的底面(6)与桨毂(1)的插入端面(9)的夹角在 $60^\circ \sim 90^\circ$ 之间。

7. 根据权利要求1所述的一种船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨, 其特征在于, 所述端盖(2)与桨毂(1)使用螺钉或胶粘剂连接或两种方式结合, 端盖(2)与桨毂(1)固定时可采用螺钉拧紧提供紧固力或将已插入叶片(3)的桨毂(1)与端盖(2)一同置于两平面工装之间, 在平面工装上施加压力提供紧固力。

8. 根据权利要求1所述的一种船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨, 其特征在于, 所述螺旋桨叶片(3)插入燕尾槽后, 施加紧固力使端盖(2)与桨毂(1)接触平面之间的间隙小于 $0.01\text{mm}$ 完成装配, 装配完成后燕尾槽(4)的终止端面(10)与楔形叶根(5)的小端面(15)之间允许间隙存在。

9. 根据权利要求1所述的一种船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨, 其特征在于, 所述桨毂(1)上的燕尾槽(4)中的树脂粘结剂固化后得到最终螺旋桨产品。

## 船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨

### 技术领域

[0001] 本发明属于螺旋桨技术领域,涉及一种组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨,尤其涉及一种船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨。

### 背景技术

[0002] 在现代船舶上较为常用的传统螺旋桨叶片基本采用金属材料制造而成。采用连续纤维增强复合材料制作叶片的螺旋桨与传统的金属螺旋桨相比,具有低振动,低噪音,轻质高效,耐海水腐蚀、易维修等特点,在军事领域和民用领域复合材料螺旋桨都具有巨大的应用潜力。但是,采用纤维增强复合材料制作叶片的螺旋桨研究大多集中在复合材料叶片铺层及结构设计方面,如中国专利CN 101706832A和CN 101706833A都是涉及纤维增强复合材料船用螺旋桨叶片的优化设计方面,鲜有涉及螺旋桨成型、制造、装配方面内容。

[0003] 船舶螺旋桨可以分为整体式和组合式两类。金属整体式螺旋桨是整体采用金属浇铸后,经机械加工得到最终外形;而复合材料整体式螺旋桨的制造流程更为复杂,难度更高。中国专利CN 101704302A采用模具整体成型了带有铝合金轴套的复合材料螺旋桨。但是桨毂和叶片整体采用复合材料的螺旋桨在制造上还存在一些障碍:一是考虑复合材料成型特点和要求使得整体螺旋桨模具和工装的设计复杂、尺寸也较大,制造难度和花费都较高;二是复合材料的成型制造过程较为复杂,一般分为铺叠、固化、脱模等过程,液体成型还包括注胶过程,成型工艺参数多、控制难度大,成型完成后不能像金属一样进行机加工,整体螺旋桨成型过程中一旦出现质量问题即报废,成本较高;三是整体螺旋桨的一个叶片损坏后,整个螺旋桨就不能继续使用,而复合材料螺旋桨的成本相对金属较高,需要整体更换时花费更大。

[0004] 组合式螺旋桨是把多个分离的叶片连接在桨毂上,作用在叶片上的载荷通过叶根连接传递到轮毂上,叶根连接方式对螺旋桨的安全运行起着决定性的作用。金属叶片与桨毂的连接方式多种多样,包括法兰连接、榫头连接、座孔连接等。由于金属本身叶片本身重量较大导致叶根的载荷较大且应力状态复杂,所以叶根连接必须具有足够的机械强度与弯扭刚度,一般仍需采用螺栓连接或焊接等方式紧固,否则易导致叶根破坏或叶片从桨毂中脱出。如中国专利CN 1868806A使用了圆形座孔连接叶片和桨毂并将两者焊接在一起。

[0005] 采用连续纤维增强复合材料制作螺旋桨叶片时,叶片是由多层纤维布或预浸料铺贴而成,也可由连续纤维三维编织而成;叶片叶身与叶根连接处的曲率变化不能过大,否则影响纤维承载能力或导致应力集中。船舶螺旋桨叶片与直升机螺旋桨叶片或风机叶片不同,直升机螺旋桨叶片或风机叶身的根部一般为圆形,而船舶螺旋桨叶片根部截面为机翼形、月牙形、梭形等,截面长度与厚度之比较大,采用沿叶身根部螺距方向的楔形根部连接叶片与桨毂能够使得作用在叶片上的载荷更加有效地传递。连续纤维增强复合材料叶片不宜采用螺栓连接的方式与桨毂连接,因为打孔会破坏纤维的连续性,不利于载荷的传递且降低叶根的承载能力,这对复合材料叶片叶根与桨毂连接的牢固度要求较高。

[0006] 采用楔形根部连接叶片与桨毂的中国专利CN 200964178Y,既可用于金属叶片也

可用于复合材料叶片；桨毂中的燕尾槽内设置有楔铁，通过该楔铁将叶片的楔形叶根紧固并填充环氧树脂。其不足之处在于采用楔铁紧固叶根时不易施加较大的紧固力，楔铁楔入不到位难以保证安装定位精度和牢固度，紧固力过大则楔铁在楔入时又容易对复合材料叶根造成损伤，紧固力的大小很难控制。中国专利CN 102930116A涉及一种可拆卸式复合材料螺旋桨，采用楔形叶根两侧各设置一个凸台的方式来实现定位和装配，但凸台的存在对叶片的叶根和桨毂成型加工的精度要求非常高、难度很大，装配操作时容易卡住，实际应用可行性不高。德国专利DE4211202A1采用了等宽度的燕尾槽来连接叶片和桨毂，其不足之处在于燕尾槽的装配面为曲面，加工、定位难度较大。以上专利中传统的螺旋桨叶片楔形叶根是等宽度的，主要靠两个侧面定位，因此对两个侧面的制造或加工精度要求较高；并且，叶根与桨毂上的槽采用过盈配合来保证定位精度，装配时叶根与桨毂槽内壁之间存在较大的摩擦力，复合材料叶片的叶根容易受到损伤而影响承载。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨，复合材料叶片整体成型、加工简单、可行，装配定位精度高同时安装方便、牢固，工作状态下不发生叶片松动、脱出或破坏。

[0008] 本发明的技术解决方案是，船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨包括一个端盖、具有燕尾槽的桨毂和连接在所述桨毂燕尾槽中的叶片，所述桨毂为圆柱形或圆锥形，端盖与桨毂的配合面为平面；叶片为连续纤维增强复合材料，叶片通过楔形叶根与桨毂上的燕尾槽连接；燕尾槽由底面、两侧斜面、和两个端面构成，底面和两侧斜面为装配面；燕尾槽深度在 $0.01D \sim 0.06D$ 之间，其中 $D$ 为螺旋桨直径；燕尾槽底面的宽度从插入端面开始逐渐变小，范围为 $0.5 \sim 2.5/n \cdot d$ ，其中 $d$ 为桨毂的最大直径， $n$ 为叶片的数目；燕尾槽底面两边线的夹角在 $0^\circ \sim 20^\circ$ 之间，燕尾槽的两侧斜面与底面的夹角在 $50^\circ \sim 85^\circ$ 之间；叶片楔形叶根的底面、两侧斜面和大端面为装配面，楔形叶根的小端面为非装配面；叶片楔形叶根底面的中心线与叶片半径为 $d$ 的截面螺距参考线之间的夹角在 $0^\circ \sim 15^\circ$ 之间， $d$ 为桨毂的最大直径；安装时，先将燕尾槽内涂覆树脂粘结剂，再将叶片从插入相应的燕尾槽的插入端面中插入，然后施加紧固力将端盖与桨毂固定。

[0009] 所述端盖和桨毂为金属材料、复合材料或金属-复合材料组合均可。

[0010] 所述螺旋桨的叶片数量大于等于3。

[0011] 所述桨毂上燕尾槽一侧斜面与另一侧斜面对称或不对称均可。

[0012] 所述桨毂上燕尾槽燕尾槽的长度可以贯穿整个桨毂，也可以不贯穿整个桨毂。

[0013] 所述桨毂上的燕尾槽的底面与桨毂的插入端面的夹角在 $60^\circ \sim 90^\circ$ 之间。

[0014] 所述端盖与桨毂使用螺钉或胶粘剂连接或两种方式结合，端盖与桨毂固定时可采用螺钉拧紧提供紧固力或将已插入叶片的桨毂与端盖一同置于两平面工装之间，在平面工装上施加压力提供紧固力。

[0015] 所述螺旋桨叶片插入燕尾槽后，施加紧固力使端盖与桨毂接触平面之间的间隙小于 $0.01\text{mm}$ 完成装配，装配完成后燕尾槽的终止端面与楔形叶根的小端面之间允许间隙存在。

[0016] 所述桨毂上的燕尾槽中的树脂粘结剂固化后得到最终螺旋桨产品。

[0017] 本发明具有的优点和有益效果

[0018] 本发明提供的船舶用组合式连续纤维增强复合材料叶片螺旋桨,桨毂上的燕尾槽与叶根的装配面均为平面,燕尾槽与叶根的成型加工难度小、成本低,装配定位精度高;叶片从桨毂上的燕尾槽的大端插入,再将端盖与桨毂固定来施加紧固力使叶片安装到位,安装方便,不会造成复合材料叶片的损伤;燕尾槽和叶片之间填充树脂胶黏剂,端盖与桨毂之间固定,工作状态下测试后不发生叶片松动、脱出或破坏,螺旋桨的可靠性高;桨毂上燕尾槽的设计充分考虑了复合材料叶片的结构、性能和制造特点,适用于各种浸沉式螺旋桨和水面螺旋桨,尤其是叶片数较多的螺旋桨、桨毂较小的螺旋桨和大侧斜螺旋桨。采用本发明,将连续纤维增强复合材料叶片安装到金属桨毂上,再将金属端盖采用螺钉紧固到桨毂上,得到的七叶大侧斜船舶螺旋桨在设计工况下进行实验,叶片未发生破坏或脱出,叶片的螺距、侧斜和纵斜未发生变化,证明了本发明的效果。

## 附图说明

[0019] 本发明的其他内容和优点将从下面的描述中得到更好理解,该描述系通过参附图的非限制性例子的方式来进行的。其中:

[0020] 图1为根据本发明装配的五叶组合式船用复合材料螺旋桨的等轴示意图;

[0021] 图2为图1所示部分1和2的等轴示意图;

[0022] 图3为图1所示部分3的立体示意图;

[0023] 图4为根据本发明装配的七叶组合式船用复合材料螺旋桨的等轴示意图;

[0024] 图5为图4所示部分1和2的等轴示意图;

[0025] 图6为图4所示部分3的立体示意图;

[0026] 图7为根据本发明装配的九叶组合式船用复合材料螺旋桨的等轴示意图;

[0027] 图8为图7所示部分1和2的等轴示意图;

[0028] 图9为图7所示部分3的立体示意图。

## 具体实施方式

[0029] 下面结合附图对本发明作一个详细地说明。本发明的技术方案不局限于所述实施方式,凡基于本发明技术方案构思的构造、特征及原理所做的等效或简单变化,均包括于本发明的技术方案中。

[0030] 图1所示船用复合材料螺旋桨包括了一个桨毂1、一个端盖2和五个叶片3组成,螺旋桨直径D为2500mm,桨毂1上有与叶片3进行装配的燕尾槽4。图1所示桨毂1材料为复合材料,形状为圆柱形,桨毂1的直径为550mm,如图2所示。叶片3为连续纤维增强复合材料,如图3所示;纤维种类为玻璃纤维,叶片通过楔形叶根5与桨毂1上的燕尾槽4连接。燕尾槽4形状、尺寸的设计要考虑叶片3的受力情况和桨毂1材料、尺寸的限制。桨毂1上的燕尾槽4深度在 $0.08D \sim 0.032D$ 之间,底面6的宽度在 $0.97/n*d \sim 1.86/n*d$ 之间,d为桨毂的直径,n为叶片的数目;燕尾槽4底面6两边线的夹角为 $10.0^\circ$ 。燕尾槽4的斜面7与底面6夹角为 $73^\circ$ ,斜面8与底面6夹角为 $84^\circ$ ,燕尾槽4的斜面7和斜面8并不对称。该燕尾槽4的底面6与桨毂1的插入端面9的夹角为 $85^\circ$ ,即随着桨毂1燕尾槽4的宽度减小,燕尾槽4的深度也越小。叶片楔形叶根5的底面11的中心线17与叶片3半径为d的截面螺距参考线18之间的夹角为 $10^\circ$ ,夹角过大的话

不利于作用在叶片上的载荷传递。安装时,先将燕尾槽4内壁涂上室温固化的环氧树脂粘结剂,再将叶片从插入相应的燕尾槽4的插入端面9中插入;燕尾槽4的长度并不贯穿整个桨毂1,叶片3插入后燕尾槽4终止端面10与叶片3楔形叶根5的小端面15之间存在较小的间隙,多余的树脂可由此间隙流出;端盖2与桨毂1采用螺钉进行装配,在螺钉提供的紧固力的作用下,端盖2与桨毂1配合面之间的间隙逐渐减小,叶片3在燕尾槽4中向终止端面10移动。拧紧螺钉使得端盖2和桨毂1配合面之间的间隙小于0.01mm,此时叶片3安装到位。最后,室温下放置24h使燕尾槽4中的树脂粘结剂固化,得到最终螺旋桨产品。

[0031] 图4所示船用复合材料螺旋桨包括了一个桨毂1、一个端盖2和七个叶片3组成,螺旋桨直径D为3160mm,桨毂1上有与叶片3进行装配的燕尾槽4。图4所示桨毂1材料为金属,形状为圆锥形,桨毂1的大端直径为880mm,小端直径为680mm,如图5所示。由于桨毂1为圆锥形并且尺寸相对较小,叶片3数量较多且侧斜角较大,若桨毂1上的燕尾槽4采用等宽度的设计桨毂1的空间不足,无法实现叶片和桨毂的组合式装配。叶片3为连续纤维增强复合材料,如图6所示;纤维种类为碳纤维,叶片通过楔形叶根5与桨毂1上的燕尾槽4连接。桨毂1上的燕尾槽4深度在 $0.014D \sim 0.051D$ 之间,底面6的宽度在 $1.0/n*d \sim 1.7/n*d$ 之间,d为桨毂的最大直径,n为叶片的数目;燕尾槽4底面6两边线的夹角为 $8.0^\circ$ 。燕尾槽4的斜面7与底面6夹角为 $75^\circ$ ,斜面8与底面6夹角为 $85^\circ$ ,燕尾槽4的斜面7和斜面8并不对称。该燕尾槽4的底面6与桨毂1的插入端面9的夹角为 $70^\circ$ ,桨毂1半径越小燕尾槽4的宽度和深度也越小。叶片楔形叶根5的底面11的中心线17与叶片3半径为d的截面螺距参考线18之间的夹角为 $8.5^\circ$ 。安装时,先将燕尾槽4内壁涂上中温固化的环氧树脂粘结剂,再将叶片从插入相应的燕尾槽4的插入端面9中插入;燕尾槽4的长度并不贯穿整个桨毂1,叶片3插入后燕尾槽4终止端面10与叶片3楔形叶根5的小端面15之间存在较大间隙,多余的树脂会将此间隙填满。端盖2与桨毂1采用螺钉加胶接进行装配,将已插入叶片3的桨毂1与涂覆好树脂粘结剂的端盖2一同置于平板热压机的上下平台之间,热压机施加压力,端盖2与桨毂1配合面之间的间隙逐渐减小,叶片3在燕尾槽4中向终止端面10移动;端盖2和桨毂1配合面之间的间隙小于0.01mm时叶片3安装到位。热压机加热,使端盖2和桨毂1之间以及燕尾槽4中的树脂粘结剂固化,从热压机上取下螺旋桨产品,再拧紧端盖2与桨毂1之间的螺钉以增加紧固的效果,得到最终螺旋桨产品。

[0032] 图7所示船用复合材料螺旋桨包括了一个桨毂1、一个端盖2和九个叶片3组成,螺旋桨直径D为1900mm,桨毂1上有与叶片3进行装配的燕尾槽4。图3所示桨毂1为包含金属衬套的复合材料,形状为圆柱形,桨毂1的直径为600mm,如图8所示。叶片3为连续纤维增强复合材料,如图5所示;纤维种类为芳纶纤维,叶片通过楔形叶根5与桨毂1上的燕尾槽4连接。桨毂1上的燕尾槽4深度为 $0.03D$ ,底面6的宽度在 $0.93/n*d \sim 2.25/n*d$ 之间,d为桨毂的最大直径,n为叶片的数目;燕尾槽4底面6两边线的夹角为 $7.0^\circ$ 。由于螺旋桨叶片3的数量较多,而桨毂1的尺寸相对较小,燕尾槽4的斜面7,8与底面6夹角不能太小;燕尾槽4的斜面7和斜面8对称,斜面7及斜面8与底面6夹角均为 $85^\circ$ 。该燕尾槽4的底面6与桨毂1的插入端面9的夹角为 $90^\circ$ ,即燕尾槽4的深度不变。叶片楔形叶根5的底面11的中心线17与叶片3半径为d的截面螺距参考线18之间的夹角为 $0^\circ$ ,有利于作用在叶片上的载荷通过连续的增强纤维更加有效地传递到叶根。安装时,先将燕尾槽4内壁涂上室温固化的环氧树脂粘结剂,再将叶片从插入相应的燕尾槽4的插入端面9中插入,燕尾槽4的长度贯穿整个桨毂1。端盖2与桨毂1采

用胶接进行装配,将已插入叶片3的桨毂1与涂覆好树脂粘结剂的端盖2一同置于平板热压机的上下平台之间,热压机施加压力,端盖2与桨毂1配合面之间的间隙逐渐减小,叶片3在燕尾槽4中向终止端面10移动;端盖2和桨毂1配合面之间的间隙小于0.01mm时叶片3安装到位。热压机加热,使端盖2和桨毂1之间以及燕尾槽4中的树脂粘结剂固化,从热压机上取下得到最终螺旋桨产品。

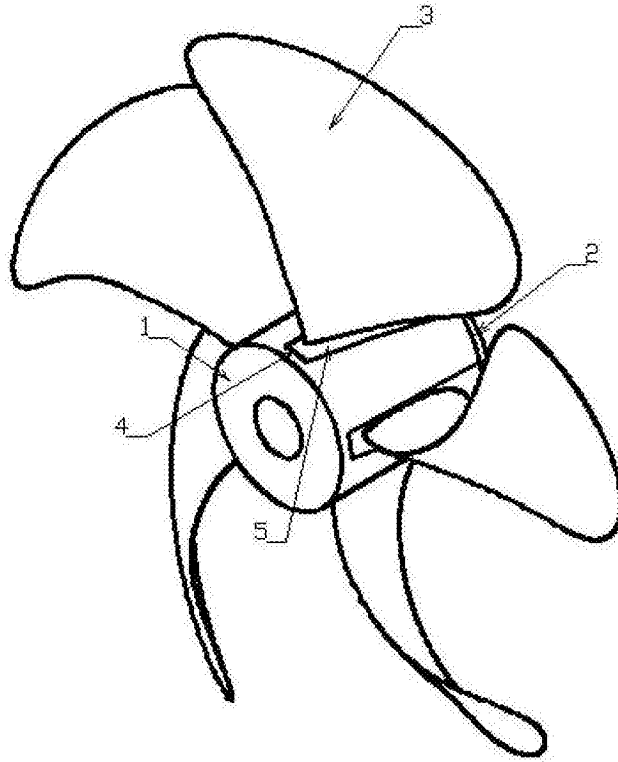


图1

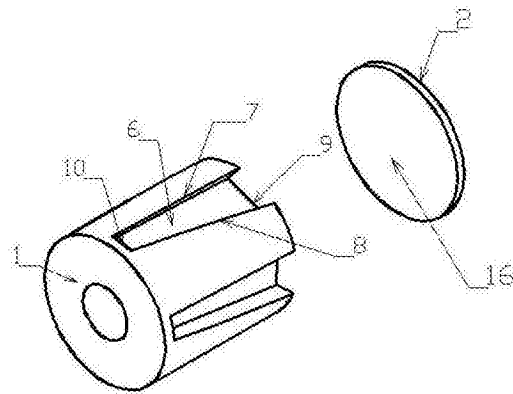


图2



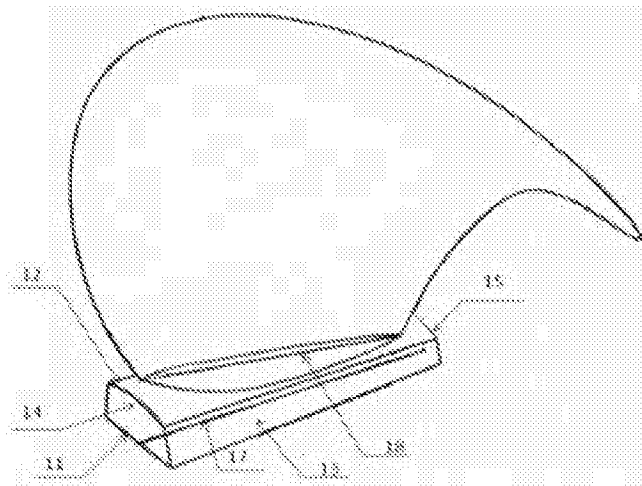


图3

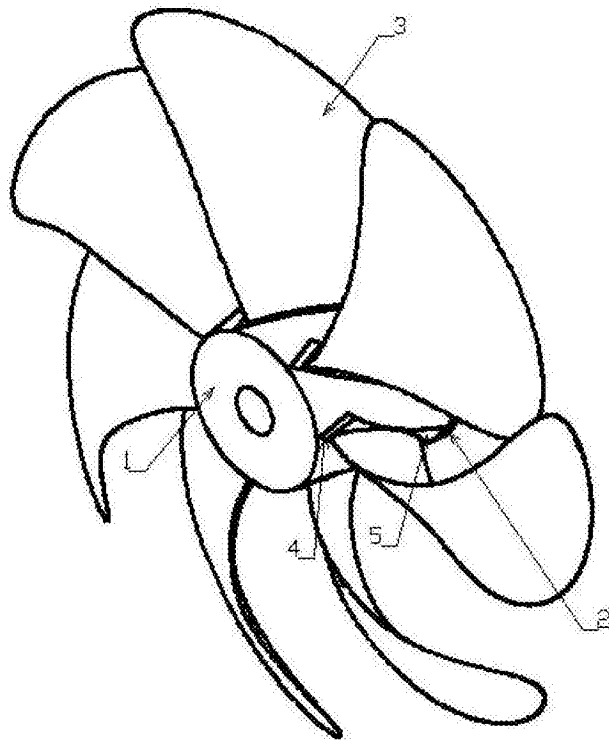


图4

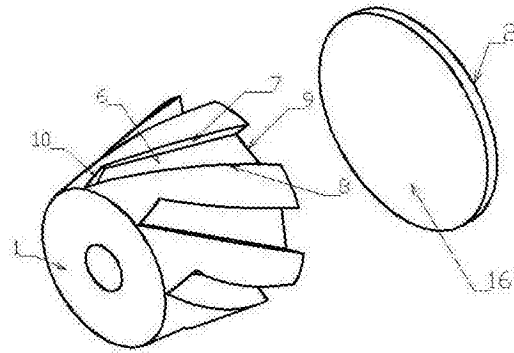


图5

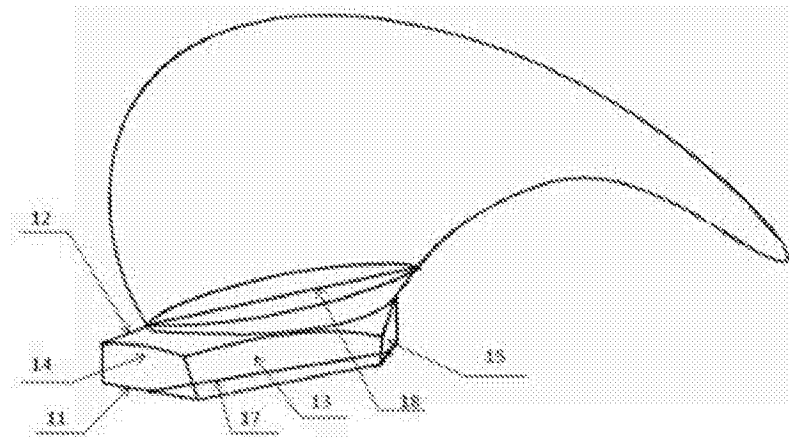


图6

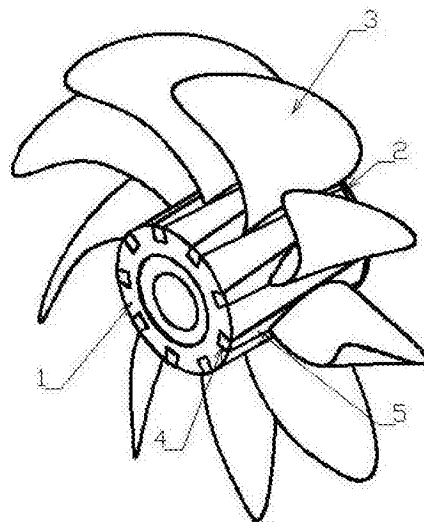


图7

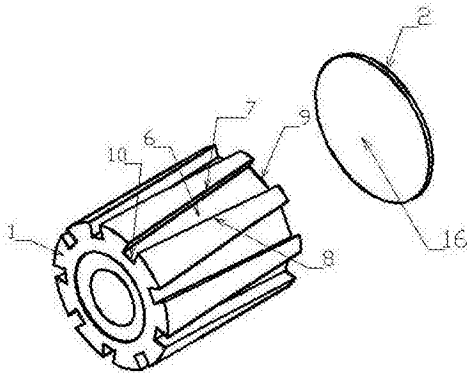


图8

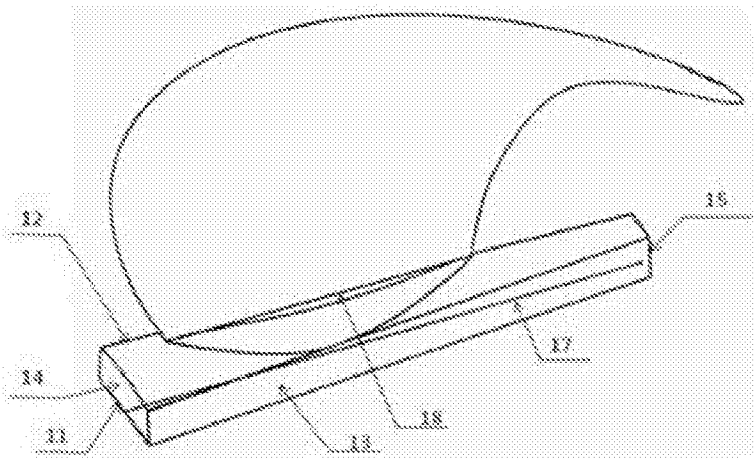


图9