



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104653411 B

(45)授权公告日 2017.04.19

(21)申请号 201410816718.8

CN 203022980 U, 2013.06.26,

(22)申请日 2014.12.24

US 2011200444 A1, 2011.08.18,

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 张倩

申请公布号 CN 104653411 A

(43)申请公布日 2015.05.27

(73)专利权人 中国科学院工程热物理研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路11号A202

(72)发明人 秦志文 陈啸 杨科 徐宇

武广兴 白井艳

(51)Int.Cl.

F03D 1/06(2006.01)

(56)对比文件

US 2010028161 A1, 2010.02.04,

CN 102112734 A, 2011.06.29,

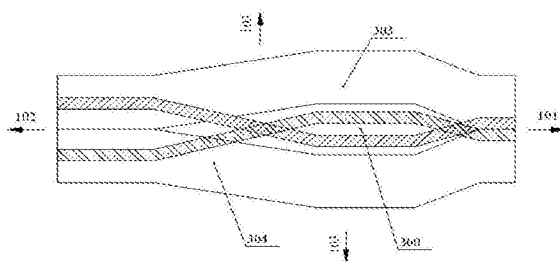
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种带有尾缘增强预制件的风力涡轮机叶片

(57)摘要

本发明公开了一种带有尾缘增强预制件的风力涡轮机叶片,叶片采用纤维层合复合材料制造,在钝尾缘部位,尾缘增强纤维单层沿压力面尾缘线和钝尾缘垂直部分交替铺层,在靠近叶尖的尖尾缘部位,增强纤维单层沿弦向依次向模具内侧缩进铺设以保证合适的合模间隙,在靠近叶根的圆弧尾缘部位,尽可能多的增强纤维层沿弦向靠近尾缘线以保证足够的合模粘接宽度;钝尾缘垂直部分内的增强纤维铺层可以根据结构性能的需要灵活设计铺设位置和增加额外的铺层以及铺层角。这种尾缘预制件的几何构造可以减少结构胶的用量和提高粘接强度,本申请的叶片尾缘结构具有较强的连接强度和工程可操作性,可以有效抑制尾缘开裂和尾缘失稳。



1. 一种带有尾缘增强预制件的风力涡轮机叶片,包括压力面壳体、吸力面壳体、和叶片尾缘段,所述压力面壳体和吸力面壳体在叶片迎风侧的结合处构成叶片前缘,其特征在于,所述叶片尾缘段主要由尾缘增强预制件构成,沿叶片展向,依次包括叶根尾缘、中部钝尾缘和叶尖尾缘;其中,

所述尾缘增强预制件,由尾缘增强纤维单层复合材料累积而成,尾缘增强纤维单层包括增强纤维单层的叶尖尾缘段部分、钝尾缘段部分和叶根尾缘段部分;增强纤维单层叶尖尾缘段部分铺设方向与模具叶尖段尾缘线平行,增强纤维单层叶根尾缘段铺设方向与模具叶根段尾缘线平行;在叶片壳体周向,增强纤维单层叶尖尾缘段部分铺层起始位置沿尾缘线逐层向叶片内部递退,形成一个变厚度的尖尾缘粘接面,同时避免合模干涉;

所述增强纤维单层钝尾缘段部分,起始于压力面和吸力面的各单层同时沿着模具压力面尾缘线或吸力面尾缘线铺设,或分别沿着压力面尾缘线和吸力面尾缘线铺设。

2. 根据权利要求1所述的叶片,其特征在于,所述增强纤维单层叶根尾缘段部分,在叶片壳体周向,增强纤维单层叶尖尾缘段部分铺层起始位置集中在模具尾缘线,形成一个较厚叶根尾缘粘接面,保证足够的粘接宽度。

3. 根据权利要求1所述的叶片,其特征在于,所述尾缘增强纤维单层,增强纤维单层钝尾缘段部分铺设方向与钝尾缘段尾缘线一致,在确定了增强纤维单层叶尖尾缘段部分和叶根尾缘段部分后,增强纤维单层钝尾缘段部分在叶尖交汇点和叶根交汇点之间渐进过渡铺设。

4. 根据权利要求1所述的叶片,其特征在于,所述尾缘增强纤维单层,引入两轴向纤维铺层来提高尾缘的沿弦向的强度和叶片的扭转刚度。

5. 根据权利要求1所述的叶片,其特征在于,所述尾缘增强预制件沿叶片展向依次包括叶根尾缘部分、钝尾缘部分和叶尖尾缘部分。

6. 根据权利要求1所述的叶片,其特征在于,所述尾缘增强预制件:在叶根尾缘和叶尖尾缘处,尾缘增强预制件由压力面部分和吸力面部分组成;在中部钝尾缘处,尾缘增强预制件由压力面部分、吸力面部分和垂直部分组成。

7. 根据权利要求1所述的叶片,其特征在于,所述尾缘增强预制件的叶尖尾缘和叶根尾缘的部分,其粘接位置分别沿叶片模具的尾缘线向叶片内部。

8. 根据权利要求1所述的叶片,其特征在于,所述尾缘增强预制件的钝尾缘部分,其粘接位置沿压力面壳体模具的压力面尾缘线向叶片内部。

9. 根据权利要求1所述的叶片,其特征在于,所述尾缘增强预制件的吸力面部分和垂直部分,其特征是,纤维铺层为等厚铺层,且铺层较厚,其与附近的吸力面尾缘芯材沿翼型轴向不存在搭接。

10. 根据权利要求1所述的叶片,其特征在于,所述尾缘增强预制件的压力面部分,其纤维铺层为变厚铺层,在叶片尾缘外侧与吸力面铺层等厚,在叶片尾缘内侧存在一变厚度区域,再往内侧,为一较薄的等厚区域,这种铺层厚度的变化形成了一个阶梯形的粘接面,有利于提高尾缘的粘接强度,无需内表面尾缘手糊加强。

一种带有尾缘增强预制件的风力涡轮机叶片

技术领域

[0001] 本发明涉及一种风力涡轮机叶片的铺层设计及其工艺实现,尤其涉及一种纤维增强复合材料风力涡轮机叶片的钝尾缘铺层设计、成型方法以及工艺实施装置,属于风力涡轮机叶片设计与制造方法和技术领域。

背景技术

[0002] 风能作为新能源家族中的一员,对促进能源供应多元化和保护生态环境发挥着重要作用,特别是近年来,伴随着技术的进步,为了充分利用风能和提高度电成本,风力涡轮机机组单机容量的不断增加,风力涡轮机叶片也越来越长,叶片的结构、气动性能以及产品质量已经成为衡量风力涡轮机服役性能的关键因素之一。

[0003] 钝尾缘翼型在气动性能上具有较低的粗糙度敏感性,采用这类翼型的风力涡轮机叶片具有更强的环境适应性,使叶片在受到昆虫、微生物、化学腐蚀、风沙侵蚀等环境影响后仍能保持良好的气动效率,同时,钝尾缘叶片在尾缘处增加了一个附加几何面,这个附加的几何面大多近似垂直于当地翼型的弦线,由于此处远离叶片截面结构的弹性中心,通过增加尾缘处的复合材料结构铺层厚度可以提高的叶片的结构效率,增加叶片的挥舞和扭转刚度。因此,在满足气动和结构设计要求下,采用钝尾缘叶片和合适的尾缘设计和制造工艺可以提高叶片材料利用效率,制造出发电量更多和质量更轻的风力涡轮机叶片。

[0004] 从叶片各构件的布局来看,靠近尾缘的芯材起到提高叶片结构稳定性的作用,成为叶片壳体结构中不可缺少的一部分,尾缘单向纤维增强提供了主要的摆振刚度和抵抗剪切变形,外蒙皮是靠近叶片最外侧的主要承力部分,起到稳定叶片气动外形、接收风压载荷,防止叶片受到侵蚀和稳定壳体芯材的作用,内蒙皮与外蒙皮类似,也具有稳定芯材和提供一定承受外载荷的作用,与外蒙皮一起保护着整个叶片结构。由于粘接结构胶的强度远远小于复合材料的强度,压力面和吸力面的粘接成为叶片的薄弱位置,因此,通常采用尾缘内手糊加强和外手糊加强来辅助和巩固叶片尾缘的粘接。钝尾缘垂直部分附近的芯材通常作为支撑来增加尾缘结构胶的粘接面积,提高尾缘的连接强度。根据模具的加工难易程度和企业的技术特点,现有钝尾缘叶片分模线(即结构胶粘接线)一般设置在尾缘垂直部分中心线处,或者设置在尾缘靠近压力面(或者吸力面)一侧。采用这种结构在工艺上实现起来比较容易,尾缘单向布沿压力面和吸力面尾缘铺设,采用芯材填充压力面和吸力面尾缘线不重合形成的几何空间,在芯材上涂覆粘接结构胶,合模实现叶片壳体的粘接,然后采用传统的尖尾缘叶片类似的尾缘内外手糊加强。

[0005] 随着装机容量的迅速增加,叶片损伤和失效屡有发生,其中叶片尾缘开裂和尾缘屈曲相当常见。钝尾缘叶片具有独特的尾缘构造,其尾缘垂直部分型面独立于压力面和吸力面,另外,用于粘接的尾缘区域往往难以形成两个接近且平行的几何型面,因此,钝尾缘叶片面临着更为复杂的尾缘连接、铺层设计和工艺成型的难题。

[0006] 申请号为201220740475.0的专利《尾缘预制型风力发电机叶片》公开了预制尾缘的方法来解决风力涡轮机叶片传统工艺存在的尾缘粘接困难、胶层厚度控制困难以及易产

生气泡等不足。其预制尾缘由多段组成,每段之间采用搭接的方式进行连接,然而,由于尾缘增强铺层作为承力部件在整个风力机叶片中的作用相当重要,由于大型风力涡轮机叶片基本上都是采用纤维增强复合材料,承力纤维的连续性不可忽视,在铺层时应尽量减少不必要的搭接和拼接,大厚度铺层的整体搭接往往是不允许的,上述专利采用搭接方法连接厚度较大的尾缘增强预制部件在实现工艺简化的同时极大地牺牲了叶片的结构强度和可靠性。

[0007] 针对钝尾缘叶片中特有的厚尾缘特性,尾缘部位远离叶片截面构造的弹性中心,这部分材料对摆振刚度贡献最大,采用低弹性模量的泡沫芯材,不是最优的结构形式,不利于叶片整体结构效率。降低了叶片的整体刚度和结构稳定性。相对于层合复合材料,粘接结构胶的本构强度和粘接界面的强度都比较低,而叶片尾缘部分承受较大挥舞剪切应力和扭转剪应力,势必尾缘成为叶片结构薄弱环节,而手糊加强铺层受到气动外形、内部操作空间以及工艺本身的限制,实现尾缘强度大幅增加往往得不偿失。因此,在保证尾缘纤维沿展向的连续铺设下,改善尾缘单向纤维增强铺层,实现叶片刚度显著增加和强度提高具有明显的工程实用价值。针对以上问题,本申请公开了一种预制尾缘增强层的结构,该结构形式能最大限度的满足尾缘的连接强度,在弦向铺层设计时,采用部分弦向纤维提高尾缘结构抗扭转性能,在展向铺层设计时,尾缘增强层在压力面(或吸力面)和尾缘交错铺层,合理规划叶尖段和叶根段尾缘铺层满足尾缘合模粘接要求,在工艺成型时,采用双硬质内外模具和在模具上帖附树脂钉保证纤维的铺层和几何外形尺寸精度。本申请的叶片尾缘结构具有较强的连接强度和工程可操作性。

发明内容

[0008] 针对现有技术的上述缺点与不足,本发明所要解决的技术问题提供了带有尾缘增强预制件的风力涡轮机叶片,可以有效提高叶片尾缘连接强度和抗失稳能力,还能最大限度的提高材料利用率,具备较强的工程可操作性。

[0009] 本发明为解决其技术问题所采取的技术方案是:

[0010] 一种带有尾缘增强预制件的风力涡轮机叶片,包括压力面壳体、吸力面壳体、和叶片尾缘段,所述压力面壳体和吸力面壳体在叶片迎风侧的结合处构成叶片前缘,其特征在于,所述叶片尾缘段主要由尾缘增强预制件构成,沿叶片展向,依次包括叶根尾缘、中部钝尾缘和叶尖尾缘;其中,

[0011] 所述尾缘增强预制件,由尾缘增强纤维单层复合材料累积而成,尾缘增强纤维单层包括增强纤维单层的叶尖尾缘段部分、钝尾缘段部分和叶根尾缘段部分;增强纤维单层叶尖尾缘段部分铺设方向与模具叶尖段尾缘线平行,增强纤维单层叶根尾缘段铺设方向与模具叶根段尾缘线平行;在叶片壳体周向,增强纤维单层叶尖尾缘段部分铺层起始位置沿尾缘线逐层向叶片内部递退,形成一个变厚度的尖尾缘粘接面,同时避免合模干涉。

[0012] 优选地,所述增强纤维单层叶根尾缘段部分,在叶片壳体周向,增强纤维单层叶尖尾缘段部分铺层起始位置集中在模具尾缘线,形成一个较厚叶根尾缘粘接面,保证足够的粘接宽度。

[0013] 优选地,所述尾缘增强纤维单层,增强纤维单层钝尾缘段部分铺设方向与钝尾缘段尾缘线一致,在确定了增强纤维单层叶尖尾缘段部分和叶根尾缘段部分后,增强纤维单

层钝尾缘段部分在叶尖交汇点和叶根交汇点之间渐进过渡铺设。

[0014] 优选地,所述增强纤维单层钝尾缘段部分,起始于压力面和吸力面的各单层可以同时沿着模具压力面尾缘线或吸力面尾缘线铺设,也可以分别沿着压力面尾缘线和吸力面尾缘线铺设。

[0015] 优选地,所述尾缘增强纤维单层,可以引入两轴向纤维铺层来提高尾缘的沿弦向的强度和叶片的扭转刚度。

[0016] 优选地,所述尾缘增强预制件沿叶片展向依次包括叶根尾缘部分、钝尾缘部分和叶尖尾缘部分。

[0017] 优选地,所述尾缘增强预制件:在叶根尾缘和叶尖尾缘处,尾缘增强预制件由压力面部分和吸力面部分组成;在中部钝尾缘处,尾缘增强预制件由压力面部分、吸力面部分和垂直部分组成。

[0018] 优选地,所述尾缘增强预制件的叶尖尾缘和叶根尾缘的部分,其粘接位置分别沿叶片模具的尾缘线向叶片内部。

[0019] 优选地,所述尾缘增强预制件的钝尾缘部分,其粘接位置沿压力面壳体模具的压力面尾缘线向叶片内部。

[0020] 优选地,所述尾缘增强预制件的吸力面部分和垂直部分,其特征是,纤维铺层为等厚铺层,且铺层较厚,其与附近的吸力面尾缘芯材沿翼型轴向不存在搭接。

[0021] 优选地,所述尾缘增强预制件的压力面部分,其纤维铺层为变厚铺层,在叶片尾缘外侧与吸力面铺层等厚,在叶片尾缘内侧存在一变厚度区域,再往内侧,为一较薄的等厚区域,这种铺层厚度的变化形成了一个阶梯形的粘接面,有利于提高尾缘的粘接强度,无需内表面尾缘手糊加强。

[0022] 同现有的技术对比,本发明的带有尾缘增强预制件的风力涡轮机叶片具有以下显著技术效果:

[0023] 1. 本发明的尾缘增强预制件的纤维布采用交替铺放,跨越了压力面、吸力面以及钝尾缘垂直部分,充分利用了垂直部分的几何空间,尾缘结构更紧凑,材料利用率更高。

[0024] 2. 本发明中引入了叶片周向的纤维铺层设计,这样尾缘预制件的抗扭转性能更优,可以有效防止尾缘开裂。

[0025] 3. 本发明的钝尾缘叶片粘接在压力面一侧,且为阶梯形粘接表面,粘接面积更大,采用薄板与厚板的非对称粘接,附加弯矩小,两者均有利于提高粘接强度。

[0026] 4. 本发明的成形尾缘预制件装置具有结构简单,适应性强,可满足多种成形工艺的要求。

附图说明

[0027] 图1. 本发明的纤维增强复合材料叶片整体构造示意图;

[0028] 图2. 本发明的纤维增强复合材料叶片截面构造示意图;

[0029] 图3. 现有叶片钝尾缘部分剖面铺层构造示意图;

[0030] 图4. 本发明专利叶片钝尾缘部分剖面铺层构造示意图;

[0031] 图5. 叶片钝尾缘模具截面正视图;

[0032] 图6. 叶片钝尾缘模具截面侧视图;

- [0033] 图7.叶片钝尾缘内模具展开示意图；
[0034] 图8.叶片尾缘增强纤维单层示意图；
[0035] 图9.第1层尾缘增强纤维铺覆位置示意图；
[0036] 图10.第2层尾缘增强纤维铺覆位置示意图；
[0037] 图11.第3层尾缘增强纤维铺覆位置示意图；
[0038] 图12.第4层尾缘增强纤维铺覆位置示意图。

具体实施方式

[0039] 为使本发明的目的、技术方法和优点更加清楚明白，以下结合具体实施例，并参照附图，对本发明进一步详细说明。

[0040] 如图1、2所示，本发明的纤维增强复合材料风力涡轮机钝尾缘叶片，包括，叶片前缘103、压力面壳体107和吸力面壳体108，如图1所示，叶片尾缘包括叶根段圆柱尾缘104、叶尖段尖尾缘106和中部钝尾缘105。

[0041] 如图3所示，现有钝尾缘叶片钝尾缘包括压力面部分、吸力面部分和垂直部分结构，压力面部分包括尾缘芯材201，内蒙皮203，外蒙皮204和压力面尾缘增强结构208，沿壳体厚度方向，内蒙皮203，尾缘芯材201和外蒙皮204依次由内向外层合为一整体；沿叶片壳体周向，尾缘芯材201和压力面尾缘增强结构208胶合在一起；吸力面部分包括尾缘芯材202，内蒙皮205，外蒙皮206和吸力面尾缘增强结构210，沿壳体厚度方向，内蒙皮205，尾缘芯材202和外蒙皮206依次由内向外层合为一整体；沿叶片壳体周向，尾缘芯材202和吸力面尾缘增强结构210胶合在一起；在垂直部分，包括垂直部分芯材213和粘接结构胶207，通过将结构胶207将包有内蒙皮203和205的芯材213粘接在一起实现压力面和吸力面的粘接，然后再采用内外手糊加强层212和211补强。

[0042] 与现有的钝尾缘叶片尾缘结构不同，如图4所示，本发明的钝尾缘叶片尾缘增强结构采用预制成形，将制备完成的预制件200与吸力面108一起灌注，尾缘无需芯材213填充来扩大粘接面积。风力涡轮机叶片尾缘增强预制件200，在叶根尾缘104和叶尖尾缘106处，尾缘增强预制件200由压力面部分208和吸力面部分210组成，在钝尾缘105处，尾缘增强预制件200由压力面部分208、吸力面部分210和垂直部分209组成；叶片尾缘增强预制件200的叶尖尾缘104和叶根尾缘106的部分，其粘接位置分别沿叶片模具的尾缘线312、313向叶片内部。叶片尾缘增强预制件200的钝尾缘部分105，其粘接位置沿压力面尾缘线314向叶片内部。叶片压力面107壳体和尾缘增强预制件200分别提前制备，然后将预制尾缘部分200放入吸力面壳体108一体灌注成型，接着与压力面壳体107采用结构胶207粘接方式实现叶片壳体107，108的无缝闭合，最后在叶片尾缘表面手糊加强211，成为一支拥有完成结构和气动外形风力涡轮机叶片。

[0043] 如图5、6、7所示，尾缘增强预制件200的模具包括内模具308、外模具309、固定在内模具上的支架306、叶根挡板310和叶尖挡板311。其内模具308和外模具309分别至少包括压力面部分303、301和吸力面部分304、302在钝尾缘局部105还包括尾缘垂直部分。

[0044] 如图8所示所述尾缘增强预制件200，其结构由尾缘增强纤维单层400复合材料累积而成，尾缘增强纤维单层400包括增强纤维单层的叶尖尾缘段部分401、钝尾缘段部分402和叶根尾缘段部分403。如图8所示，风力涡轮机叶片尾缘增强预制件200沿叶片展向由叶根

尾缘部分104、叶尖尾缘部分106和钝尾缘部分105组成。

[0045] 如图9、10、11、12为一组典型的制备尾缘增强预制件200的尾缘增强纤维单层400的前四层铺放示意图,其中第一层压力面和吸力面尾缘增强单层400分别沿压力面和吸力面尾缘内侧;第二层分别沿吸力面和压力面尾缘外侧;第三层分别沿压力面和吸力面尾缘内侧;第四层分别沿吸力面和压力面尾缘外侧;且各层叶尖部分逐层向内缩进,叶根部分保持不变。

[0046] 优选地,所述钝尾缘叶片主体部分由纤维增强复合材料和轻质芯材通过真空灌注或其它成型工艺制造。

[0047] 优选地,所述叶片尾缘增强预制件200的吸力面部分210和垂直部分209,纤维铺层为等厚铺层,且铺层较厚,其与附近的吸力面尾缘芯材202沿翼型轴向不存在搭接。

[0048] 优选地,所述叶片尾缘增强预制件200的压力面部分208,纤维铺层为变厚铺层,在叶片尾缘外侧与吸力面铺层等厚,内侧存在一变厚度区域213,再往内侧,为一较薄的等厚区域214,这种铺层厚度的变化形成了一个阶梯形的粘接面,有利于提高尾缘的粘接强度,无需内表面尾缘手糊加强212。

[0049] 优选地,所述内模具308的外表面贴附着若干树脂钉305,当纤维铺放在内模具308上时,纤维铺层穿过树脂钉305实现纤维铺层的准确铺放,防止纤维不必要的滑移。

[0050] 优选地,所述内模具308的外表用于构造尾缘预制件的内表面形貌和支撑纤维铺层,外模具309的内表面用于构造尾缘预制件的内表面形貌。

[0051] 优选地,所述叶根、叶尖挡板310,311垂直固定在内模具308表面,用于定位尾缘预制件200在展向的起始和终止位置。

[0052] 优选地,所述尾缘增强纤维单层400叶尖尾缘段部分401铺设方向与模具叶尖段尾缘线312平行,增强纤维单层叶根尾缘段403铺设方向与模具叶根段尾缘线313平行。

[0053] 优选地,所述增强纤维单层叶尖尾缘段部分401,其特征是,在叶片壳体周向,增强纤维单层叶尖尾缘段部分401铺层起始位置沿尾缘线312逐层向叶片内部递退,形成一个变厚度的尖尾缘106)粘接面,同时避免合模干涉。

[0054] 优选地,所述增强纤维单层叶根尾缘段部分403在叶片壳体周向,增强纤维单层叶尖尾缘段部分401铺层起始位置集中在模具尾缘线313,形成一个较厚叶根尾缘104)粘接面,保证足够的粘接宽度。

[0055] 优选地,所述尾缘增强纤维单层400钝尾缘段部分402铺设方向与钝尾缘段尾缘线314,315一致,在确定了增强纤维单层叶尖尾缘段部分401和叶根尾缘段部分403后,增强纤维单层钝尾缘段部分402在叶尖交汇点316和叶根交汇点317之间渐进过渡铺设。

[0056] 优选地,所述增强纤维单层钝尾缘段部分402,起始于压力面和吸力面的各单层400)可以同时沿着模具压力面尾缘线314或吸力面尾缘线315铺设,也可以分别沿着压力面尾缘线314和吸力面尾缘线315铺设。

[0057] 优选地,所述尾缘增强纤维单层400可以引入两轴向纤维铺层来提高尾缘的沿弦向的强度和叶片的扭转刚度。

[0058] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的范围之内。

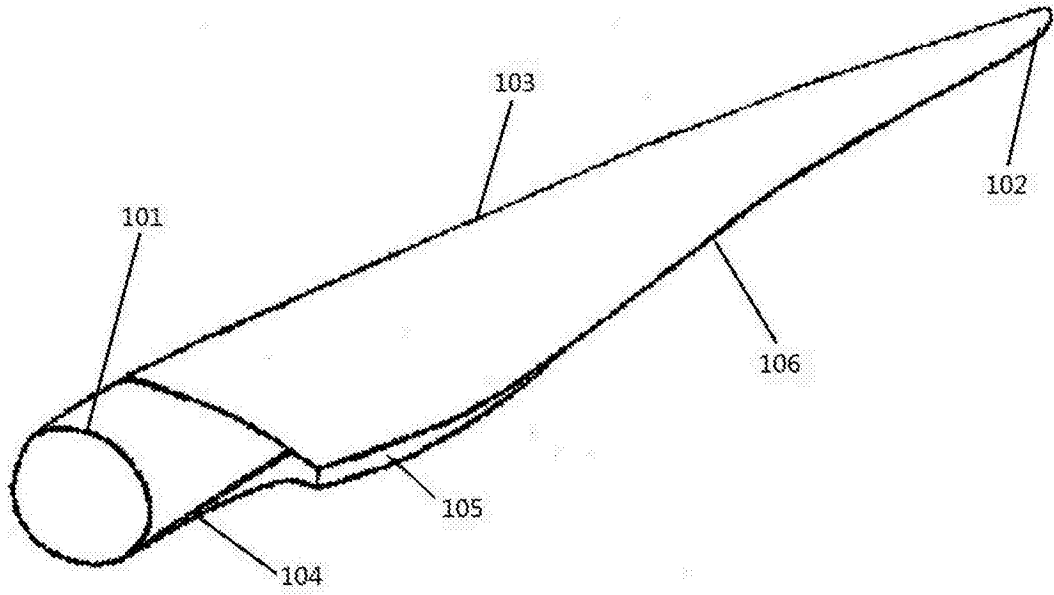


图1

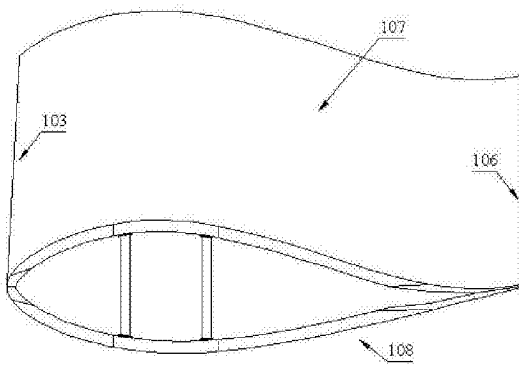


图2

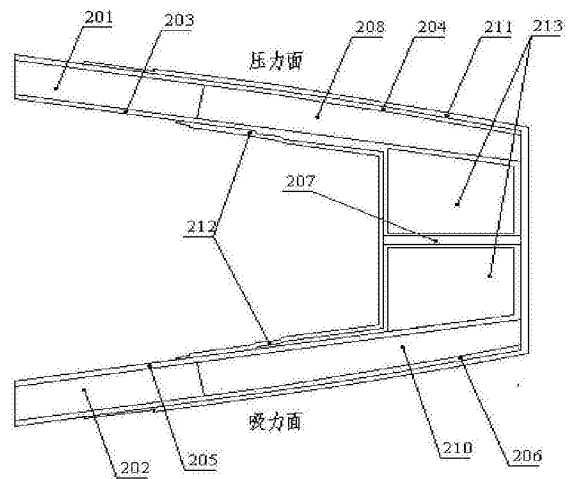


图3

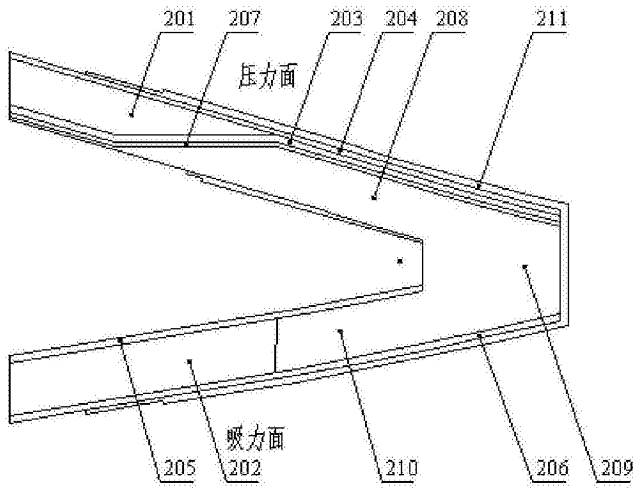


图4

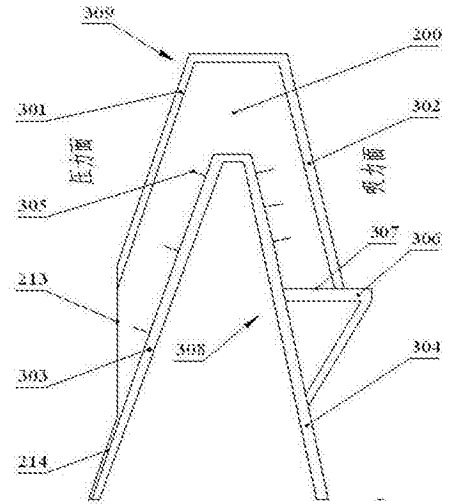


图5

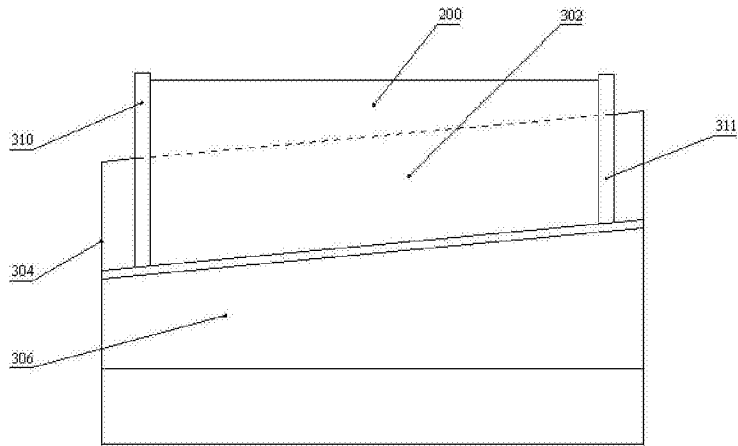


图6

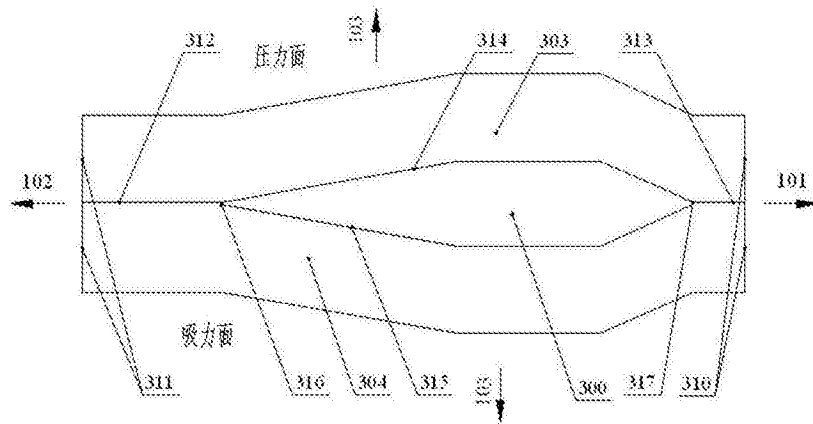


图7

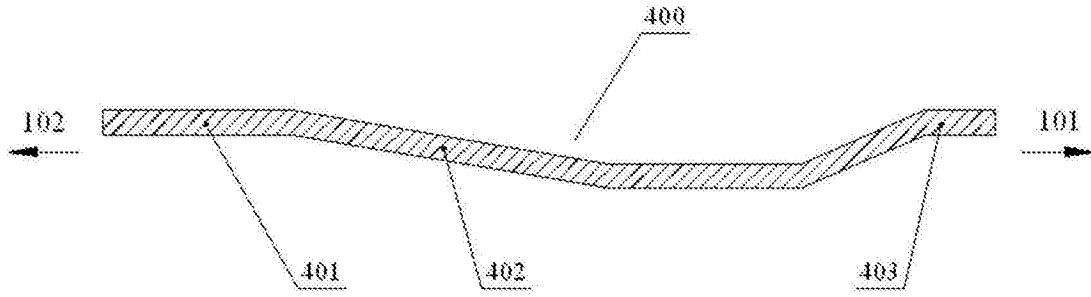


图8

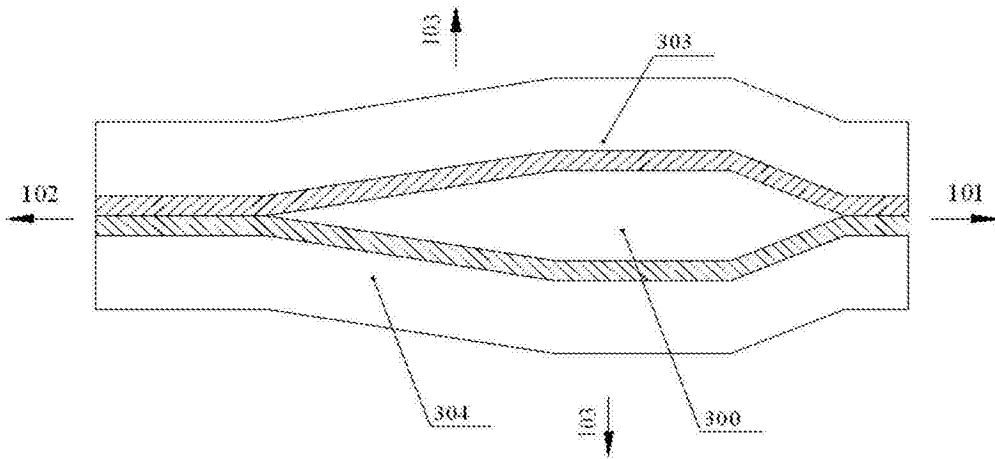


图9

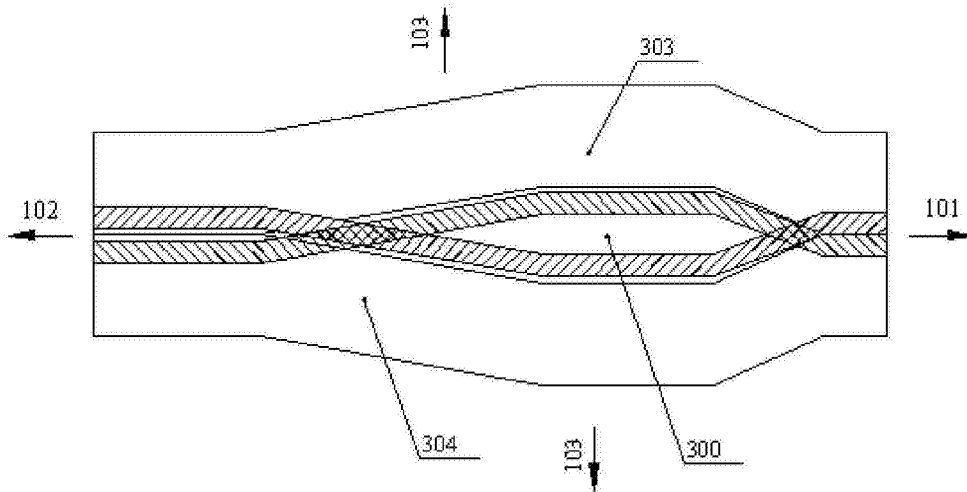


图10

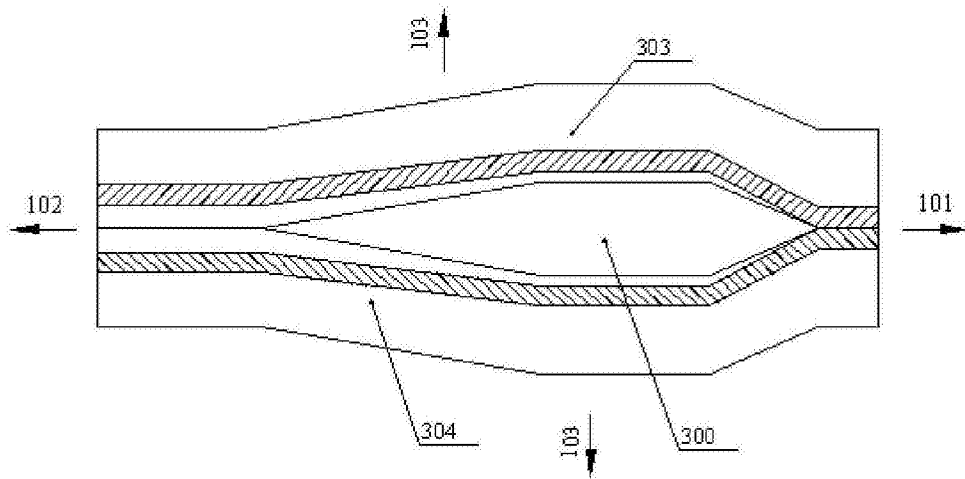


图11

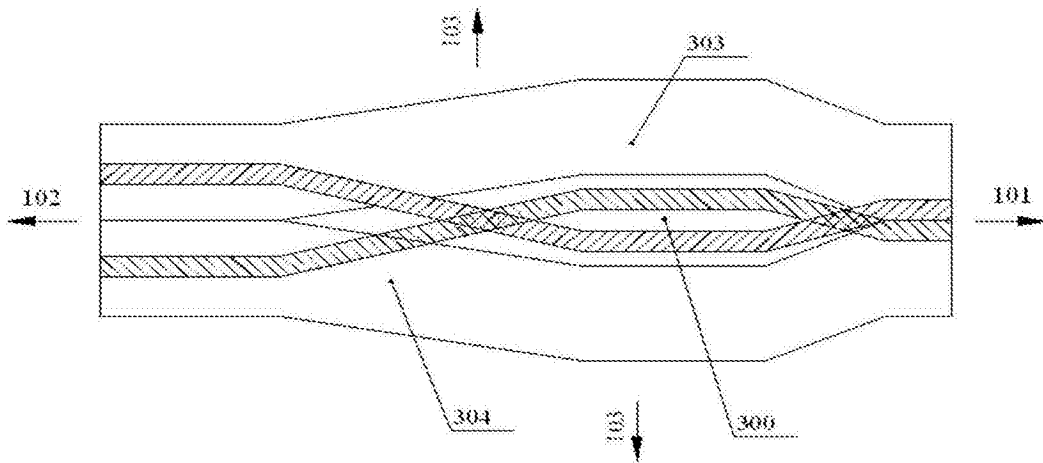


图12