



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107387334 A

(43)申请公布日 2017. 11. 24

(21)申请号 201710812908.6

(22)申请日 2017.09.11

(71)申请人 北京金风科创风电设备有限公司  
地址 100176 北京市大兴区经济技术开发区博兴一路8号

(72)发明人 马盛骏

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 罗满

(51) Int. Cl.

F03D 13/20(2016.01)

F03D 17/00(2016.01)

F03D 80/00(2016.01)

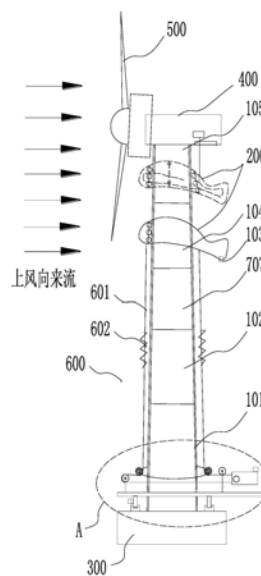
权利要求书2页 说明书19页 附图22页

(54)发明名称

抑制塔筒振动的浮动体设备

(57)摘要

本发明公开一种抑制围护结构振动的浮动体设备,包括环绕所述围护结构的浮动体,以及能够激发所述浮动体上下浮动的激发装置;所述激发装置包括连接所述浮动体以使其不脱离所述围护结构的系绳。当浮动体上下浮动时,可破坏塔筒外壁的气流边界层,直接抑制涡激振动的成因;另外,获得气动外形的变化,使得空气动力系数C变小(降低顺风向振动振幅),也可以降低涡激共振振幅A;浮动体上下浮动对附近流场的上、下段均进行了扰乱破坏,由此打乱了浮动体附近上风向气流的相关性,相应地即打乱了浮动体和其他位置气流旋涡脱落频率的一致性,从而使得它们共同作用削弱,也就阻止了塔筒涡激诱发的振动。



1. 抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,包括环绕所述围护结构的浮动体(200),以及能够激发所述浮动体(200)上下浮动的激发装置;所述激发装置包括连接所述浮动体(200)以使其不脱离所述围护结构的系绳(600)。

2. 如权利要求1所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,所述激发装置还包括绳索执行器(706),所述系绳(600)的一端连接所述浮动体(200),另一端连接所述绳索执行器(706),所述绳索执行器(706)控制所述系绳(600)伸缩,以主动激发所述浮动体(200)上下浮动。

3. 权利要求2所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,所述绳索执行器(706)包括绕有所述系绳(600)的卷扬,以及控制所述卷扬转动的伺服电机。

4. 如权利要求2所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,还包括滑轮,所述系绳(600)经滑轮后连接至所述绳索执行器(706),所述滑轮维持所述系绳(600)沿竖直方向牵拉所述浮动体(200)。

5. 如权利要求4所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,包括由同一所述绳索执行器(706)控制伸缩的至少两根系绳(600),且各所述系绳(600)均经对应的所述滑轮后进入同一所述绳索执行器(706)。

6. 如权利要求5所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,每个所述系绳(600)对应的滑轮包括导向滑轮(701、703)和限高滑轮(702、704);所述系绳(600)的外侧绕所述导向滑轮(701、703)后变向为与所述绳索执行器(706)控制的伸缩方向平行,并经所述限高滑轮(702、704)后连接至所述绳索执行器(706),所述限高滑轮(702、704)与所述围护结构相对固定;

还包括旋转环(705),所述旋转环(705)贯穿各所述导向滑轮,所述旋转环(705)作为所有所述导向滑轮的轮轴。

7. 如权利要求5所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,所述导向滑轮(701、703)为轴承。

8. 如权利要求2-6任一项所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,还包括随动系统支撑旋转平台(800),所述绳索执行器(706)置于所述随动系统支撑旋转平台(800);

还包括固定于地基基础(300)或所述围护结构的轨道(803),以及驱动所述随动系统支撑旋转平台(800)沿所述轨道(803)移动的驱动电机(801),所述随动系统支撑旋转平台(800)沿所述轨道(801)移动时,绕所述围护结构转动,使所述系绳(600)、所述绳索执行器(706)和所述浮动体(200)随动。

9. 如权利要求8所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,所述随动系统支撑旋转平台(800)的底部设有沿所述轨道(803)移动的滚轮(802)。

10. 如权利要求8所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,所述随动系统支撑旋转平台(800)设有配重。

11. 如权利要求8所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,还包括控制器,所述控制器控制所述绳索执行器(706)和/或所述驱动电机(801)启闭。

12. 如权利要求11所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,还包括检测所述围护结构振动的振动监测元件和/或测量所述围护结构所在地风速的风速传感器,所述

控制器根据检测的振动信号和/或风速信号,控制所述绳索执行器(706)启闭。

13.如权利要求12所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,所述控制器通过所述绳索执行器(706)控制所述系绳(600)的往复伸缩幅度和往复伸缩速度。

14.如权利要求13所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,还包括检测所述浮动体(200)所在高度的高度检测元件(707'),所述控制器根据检测的高度控制所述绳索执行器(706)驱动所述系绳(600)伸缩的幅度。

15.如权利要求14所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,所述控制器结合所述系绳(600)往复伸缩带动所述浮动体(200)上下升降后所述振动信号的变化,以及所述浮动体(200)所处的高度,分析所述浮动体(200)在预定风速、高度下的振动控制规律,以控制所述浮动体(200)根据风速、高度确定上下浮升幅度和速度。

16.如权利要求15所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,所述高度检测元件(707')安装于所述浮动体(200);还包括接收所述高度检测元件(707')信号的无线接收器(707),所述无线接收器(707)设于所述随动系统支撑旋转平台(800)。

17.如权利要求11所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,还包括测量所述围护结构所在地风向的风向仪;所述控制器根据检测的风向,控制所述驱动电机(801),以使所述随动系统支撑旋转平台(800)跟随所述浮动体(200)转动;

或,

还包括检测所述浮动体(200)方位的方位检测元件;所述控制器根据检测的所述浮动体(200)的方位,控制所述驱动电机(801),以使所述随动系统支撑旋转平台(800)跟随所述浮动体(200)转动。

18.如权利要求17所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,所述浮动体(200)具有流线形的前缘(201),所述前缘(201)能够朝向上风向来流,以使所述上风向来流形成正攻角和/或负攻角;

所述浮动体(200)还包括与所述前缘(201)相对的尾部(202),所述前缘(201)至所述围护结构外壁的距离小于所述尾部(202)至所述围护结构外壁的距离,以在上风向来流作用下,使所述前缘(201)自动对准上风向来流。

19.如权利要求1-6任一项所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,所述系绳(600)为弹性系绳,或所述系绳(600)的至少一段为弹性段,以收集上风向来流湍流脉动能量,激发并放大提升所述浮动体的上下浮动幅度。

20.如权利要求1-6任一项所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,所述浮动体(200)呈环状,其中部通孔(207)的横向尺寸满足:在所述围护结构顶部时,所述浮动体(200)中部通孔(207)的内壁与所述围护结构外壁之间的间隙(S)具有预定距离,以破坏所述上风向来流产生的浮升力,实现自平衡。

21.如权利要求1-6任一项所述的抑制围护结构振动的浮动体设备,其特征在于,所述围护结构包括风力发电机组的塔筒(100)、电视塔或测风塔。

## 抑制塔筒振动的浮动体设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及风电技术领域,具体涉及一种抑制塔筒振动的浮动体设备。

### 背景技术

[0002] 请参考图1-1,图1-1为风力发电装备构成示意图。

[0003] 风力发电装备的基础为塔筒10,对整机起承载作用,起围护作用,作为示例,以一个圆形截面塔筒10为例,塔筒10可以是钢筒,也可以是钢筒与混凝土塔筒的组合。塔筒10承载着风力发电装备的机舱30、发电机、风轮机20。由塔筒10、风轮机20、机舱30与发电机组成的风力发电机组完成获取风能并转化成电能的任务。转化成的电能经电力传输电缆40或电力输送母排传输,图中所示的电力传输电缆40从机舱30引出后由塔筒10顶部的电缆挡圈限位,电缆挡圈固定于电缆挡圈固定板50,然后经马鞍面支架60后沿塔筒10的内壁垂下至变流柜70处。塔筒10的下端还设有塔架门80。

[0004] 转化获得的电能经过风力发电机组的开关柜控制,借助电力传输电缆40或电力输送母排导线输运至完成电力电能变换任务的变流器(在变流柜70内),再经过变流器处理后可获得能与电网对接规则要求的电能。因此,风力发电装备的塔筒10可以说是是风力发电的塔杆,在风力发电机组装备中主要起支撑作用。

[0005] 同时,塔筒10承载由机舱30、风轮机20、发电机产生的结构风荷载或由此引发的顺风向振动和横风向振动,即:风致结构振动问题。

[0006] 请参考图1-2,图1-2为塔筒分段吊装的示意图。

[0007] 塔筒10目前一般分段安装,如图2所示,从下至上依次为第一塔筒段11、第二塔筒段12、第三塔筒段13、第四塔筒段14、第五塔筒段15。风力发电装备的安装过程中,首先将第一塔筒段11安装于塔筒10的地基基础90上,然后其他塔筒段被逐段吊装,在相互连接之后,塔筒10顶部(图2中的第五塔筒段15)与机舱30的偏航系统连接,机舱30与发电机对接,发电机(或齿轮箱)再与风轮机20对接。

[0008] 具体吊装过程如下:

[0009] 吊装塔筒10前,先清洁与第一塔筒段11连接的地基基础90的基础环,把多根螺栓(如120根)螺纹处抹油后放在基础环内圈处,同时将风力发电装备的控制柜吊入到基础环内;

[0010] 对第一塔筒段11的上端安装吊具,此处由主吊承担对第一塔筒段11上端的吊起,也同时对第一塔筒段11的下端安装吊具,此处由塔筒辅吊承担吊起任务,两吊车同时起吊,当第一塔筒段11的高度大于第一塔筒段11最大直径后,主吊提升第一塔筒段11上端的高度,辅吊停下,当第一塔筒段11吊到垂直地面位置后把辅吊移开,卸掉第一塔筒段11下端的吊具;

[0011] 将第一塔筒段11的法兰面连接好后,把螺栓从下往上穿,带好螺母后用电动扳手拧紧,至少对螺母实施拧紧3遍工序(等到整台风力发电装备吊装工序完成后,再用力矩扳手对塔筒连接螺母实施拧紧到要求的力矩值);

[0012] 其余的塔筒段与第一塔筒段11吊装过程相同,把最上段的塔筒段吊装完毕后,准备吊装机舱。

[0013] 以上这些对接、连接的安装工序都在对风电场小地域环境局部风不可预测的情况下开展施工。因此,在吊装安装过程中,常会遇到大小变化不定的阵风或持续的小风,而如上所述,这些阵风或持续风有可能对塔筒诱发振动,破坏围护结构稳定、危及现场人身和设备的安全,推迟安装工期。例如,吊装第四塔筒段14后,第四塔筒段14存在振动,导致第五塔筒段15无法对准;甚至,紧固的螺栓可能会在震动作用下断裂,从而危及安全。

[0014] 目前,风电行业吊装过程工程安全要求明确规定:风速大于6m/s时禁止叶片组吊装;风速大于8m/s时严禁机舱吊装;风速大于10m/s时严禁塔筒吊装。可见,现场吊装进度、安装工期明显受到局部区域风况的限制。对于高海拔、高山地域风电场的建设而言,工期更是容易受到影响。

[0015] 请参考图2~图3-6,图2为具有一定抑制振动功能的塔筒结构示意图;图3-1~3-6分别为圆柱涡脱(绕流脱体)与雷诺数六个区间的关系示意图,雷诺数(Re)的六个区间从图3-1至图3-6分别是, $Re < 5$ 、 $5 < Re < 15$ 、 $40 < Re < 150$ 、 $150 < Re < 3 \times 10^5$ 、 $3 \times 10^5 < Re < 3 \times 10^6$ 、 $Re > 3 \times 10^6$ 。

[0016] 根据物体结构周围气流绕流模式的不同,将结构分为钝体和像飞行器的机翼或船帆这样的浮动体。

[0017] 当 $Re < 5$ 时,流体流动将附着在圆柱体的整个表面上,即流动不分离。

[0018] 当 $5 < Re < 40$ 时,流动仍然是对称的,但出现了流动分离,在背风面形成两个对称排列的稳定漩涡,随着雷诺数的增大漩涡向外拉长,发生畸形。

[0019]  $40 < Re < 150$ 时,从雷诺数 $Re = 40$ 开始,漩涡将从圆柱体表面后方交替脱落,流入到圆柱体背后附近流体中形成剪切层,不稳定的剪切层很快卷成漩涡,向下游流动,形成卡门涡街,即涡激振动。此时的漩涡脱落是规则的,且具有周期性。

[0020]  $150 < Re < 300$ 时,是从层流向紊流过渡的转变期,此时周期性的漩涡脱落被不规则的紊流所覆盖。

[0021]  $300 < Re < 3 \times 10^5$ 时,称为亚临界区,圆柱体尾流在分离后主要表现为紊流尾流,漩涡脱落开始不规则,涡脱频率的周期可以大致定出,但涡脱时的干扰力将不再对称,而是随机的。

[0022]  $3 \times 10^5 < Re < 3 \times 10^6$ 时,称为超临界区,漩涡脱落点向后移动,已经无法辨认涡街,成了完全无周期的涡流。

[0023]  $3 \times 10^6 < Re$ ,称为跨临界区,圆柱体后方尾流十分紊乱,但又呈现出有规律的漩涡脱落。

[0024] 当均匀气流流经(横掠、绕流)钝体(圆柱体)时,在圆柱体横断面背后产生的周期性的漩涡脱落会对结构物(塔筒表面接触面)产生一个周期性变化的作用力——涡激力。被绕流的塔筒结构物下端与地下的地基基础构成单自由端振动体系(即塔筒的上端浸没在气流中,塔筒最下端被固定在地基基础上),当漩涡脱落频率与塔筒结构物的某阶自振频率相一致时,塔筒表面受到的周期性的涡激力(不平衡力)将引起塔筒体系结构的涡激共振(vortex-induced vibration)响应。

[0025] 涡脱频率等于结构体系的塔筒及其基础振动体系的固有频率的条件,是在一定风

速下才能满足的,但是固有频率为的塔筒及其基础振动体系将对漩涡的脱落产生某种反馈作用,使得涡脱的频率在一定的风速范围内被塔筒及其基础振动体系的振动频率所“俘获”,使其在这一风速范围内不随着风速的改变而改变,这种现象被称为锁定,锁定将扩大塔筒结构受涡激发生共振的风速范围。

[0026] 现代大型MW级风力发电机组的塔筒高度可达60~100m,塔筒10顶部装有主机架、副机架、轮毂和叶片(即风轮机20)等主要部件。风力发电机组运行时,塔筒10受到的载荷除了顶部零部件产生的重力和风轮旋转产生的动载荷外,还要受到自然风的作用,包括顺风向和横风向两种作用形式。风吹动叶轮旋转时会对塔筒产生弯矩和力,这种由顺风向产生的弯矩和力是塔筒10发生破坏的主要原因。风绕过塔筒10时产生的涡流还会引起使塔筒10发生共振破坏的横向振动。

[0027] 风吹过塔筒10时,尾流左右两侧产生成对的、交替排列的及旋转方向相反的反称漩涡,即卡门漩涡。漩涡以一定频率脱离塔筒10,使塔筒10发生垂直于风向的横向振动,也称风诱发的横向振动,即涡激振动。当漩涡的脱离频率接近塔筒固有频率时,塔筒10容易发生共振而破坏。

[0028] 图3中,在塔筒10外壁缠绕设置螺旋线10a(或螺旋板),用来抑制塔筒10表面发生的漩涡脱落。其中,螺旋线10a(或螺旋板)在不同的螺距布置时,有不同的横向振荡抑制效果;螺旋线10a高度增加利于破坏涡街发放周期,涡街生成及发放更不规则,利于抑制涡激振动,同时噪声、塔筒前后产生的阻力也逐渐增大,沿着风向俯仰振动幅度会增大。

[0029] 上述技术方案存在下述技术问题:

[0030] 空气流的风速会变化,如果将螺旋线10a(或螺旋板)的特征参数(螺距、高度)加工为根据空气流的风速变化而变化,则相应的制造成本、维护成本会大幅增加。

[0031] 有鉴于此,如何改善风力发电装备安装受到区域风况限制的情况,是本领域技术人员亟待解决的技术问题。

## 发明内容

[0032] 本发明提供一种抑制围护结构振动的浮动体设备,可以改善围护结构安装、使用受到区域风况限制的情况。

[0033] 本发明提供的抑制围护结构振动的浮动体设备,包括环绕所述围护结构的浮动体,以及能够激发所述浮动体上下浮动的激发装置;所述激发装置包括连接所述浮动体以使其不脱离所述围护结构的系绳。

[0034] 可选地,所述激发装置还包括绳索执行器,所述系绳的一端连接所述浮动体,另一端连接所述绳索执行器,所述绳索执行器控制所述系绳伸缩,以主动激发所述浮动体上下浮动。

[0035] 可选地,所述绳索执行器包括绕有所述系绳的卷扬,以及控制所述卷扬转动的伺服电机。

[0036] 可选地,还包括滑轮,所述系绳经滑轮后连接至所述绳索执行器,所述滑轮维持所述系绳沿竖直方向牵拉所述浮动体。

[0037] 可选地,包括由同一所述绳索执行器控制伸缩的至少两根系绳,且各所述系绳均经对应的所述滑轮后进入同一所述绳索执行器。

[0038] 可选地,每个所述系绳对应的滑轮包括导向滑轮和限高滑轮;所述系绳的外侧绕过所述导向滑轮后变向为与所述绳索执行器控制的伸缩方向平行,并经所述限高滑轮后连接至所述绳索执行器,所述限高滑轮与所述围护结构相对固定;

[0039] 还包括旋转环,所述旋转环贯穿各所述导向滑轮,所述旋转环作为所有所述导向滑轮的轮轴。

[0040] 可选地,所述导向滑轮为轴承。

[0041] 可选地,还包括随动系统支撑旋转平台,所述绳索执行器置于所述随动系统支撑旋转平台;

[0042] 还包括固定于地基基础或所述围护结构的轨道,以及驱动所述随动系统支撑旋转平台沿所述轨道移动的驱动电机,所述随动系统支撑旋转平台沿所述轨道移动时,绕所述围护结构转动,使所述系绳、所述绳索执行器和所述浮动体随动。

[0043] 可选地,所述随动系统支撑旋转平台的底部设有沿所述轨道移动的滚轮。

[0044] 可选地,所述随动系统支撑旋转平台设有配重。

[0045] 可选地,还包括控制器,所述控制器控制所述绳索执行器和/或所述驱动电机启闭。

[0046] 可选地,还包括检测所述围护结构振动的振动监测元件和/或测量所述围护结构所在地风速的风速传感器,所述控制器根据检测的振动信号和/或风速信号,控制所述绳索执行器启闭。

[0047] 可选地,所述控制器通过所述绳索执行器控制所述系绳的往复伸缩幅度和往复伸缩速度。

[0048] 可选地,还包括检测所述浮动体所在高度的高度检测元件(707'),所述控制器根据检测的高度控制所述绳索执行器驱动所述系绳伸缩的幅度。

[0049] 可选地,所述控制器结合所述系绳往复伸缩带动所述浮动体上下升降后所述振动信号的变化,以及所述浮动体所处的高度,分析所述浮动体在预定风速、高度下的振动控制规律,以控制所述浮动体根据风速、高度确定上下浮升幅度和速度。

[0050] 可选地,所述高度检测元件安装于所述浮动体;还包括接收所述高度检测元件信号的无线接收器,所述无线接收器设于所述随动系统支撑旋转平台。

[0051] 可选地,还包括测量所述围护结构所在地风向的风向仪;所述控制器根据检测的风向,控制所述驱动电机,以使所述随动系统支撑旋转平台跟随所述浮动体转动;

[0052] 或,

[0053] 还包括检测所述浮动体方位的方位检测元件;所述控制器根据检测的所述浮动体的方位,控制所述驱动电机,以使所述随动系统支撑旋转平台跟随所述浮动体转动。

[0054] 可选地,所述浮动体具有流线形的前缘,所述前缘能够朝向上风向来流,以使所述上风向来流形成正攻角和/或负攻角;

[0055] 所述浮动体还包括与所述前缘相对的尾部,所述前缘至所述围护结构外壁的距离小于所述尾部至所述围护结构外壁的距离,以在上风向来流作用下,使所述前缘自动对准上风向来流。

[0056] 可选地,所述系绳为弹性系绳,或所述系绳的至少一段为弹性段,以收集上风向来流湍流脉动能量,激发并放大提升所述浮动体的上下浮动幅度。

[0057] 可选地,所述浮动体呈环状,其中部通孔的横向尺寸满足:在所述围护结构顶部时,所述浮动体中部通孔的内壁与所述围护结构外壁之间的间隙具有预定距离,以破坏所述上风向来流产生的浮升力,实现自平衡。

[0058] 可选地,所述围护结构包括风力发电机组的塔筒、电视塔或测风塔。

[0059] 本发明提供的浮动体,具有激发装置,激发装置可促使浮动体上下浮动,当浮动体上下浮动变化进行“扫描”时,相当于不断地“刷新”塔筒外壁气流边界层,从而破坏塔筒外壁的气流边界层,如背景技术描述的卡门涡街振动形成原理,边界层被破坏后,阻碍塔筒后方两侧漩涡的形成,直接抑制了涡激振动的成因;

[0060] 另外,由于浮动体上下浮动变化,上风向来流绕流塔筒与浮动体接触时,获得气动外形的变化,上风向来流的气动外形和攻角进一步得到改变。则塔筒相对绕流气流变得流线型后的空气动力系数 $C$ 变小,可以理解为阻力得以降低,从而也可以降低涡激共振振幅 $A$ ,减小振动。

[0061] 可进一步量化分析,当气动外形变成椭圆形时,空气动力系数 $C$ 能够从一般的1.2降低到0.6左右,甚至更小,大幅降低阻力,减小振动。形象理解,当上风向来流水平掠过塔筒时,与塔筒外表面接触的为圆形气动外形,属于钝体,风向需要突变,将引起较大不平衡力,而攻角改变后,气动外形为椭圆形,流体(即空气流)沿着塔筒表面向后(即:下风向)运行轨迹被拉长,流体与塔筒外壁接触的角度发生变化,由于空气流上扬,使得接触角度变小,基于风向缓慢变化,益于抑制空气流绕流塔筒外壁的绕流脱体现象的发生,从而抑制塔筒横风向不平衡力的产生,减小空气流与塔筒外壁耦合过程不平衡力产生的振动。

[0062] 由于浮动体上下浮动,除了破坏塔筒外表面的气流边界层,实际上对附近流场的上、下段均进行了扰乱破坏,由此打乱了浮动体附近上风向气流的相关性。上风向气流的相关性被破坏后,相应地即打乱了浮动体和其他位置气流旋涡脱落频率的一致性,从而使得它们共同作用削弱,降低或阻止了塔筒外表面边界层绕流脱体时涡激共振响应,也就阻止了塔筒涡激诱发的振动。

## 附图说明

[0063] 图1-1为风力发电装备构成示意图;

[0064] 图1-2为塔筒分段吊装的示意图;

[0065] 图2为具有一定抑制振动功能的塔筒结构示意图;

[0066] 图3-1~3-6分别为圆柱涡脱(绕流脱体)与雷诺数六个区间的关系示意图;

[0067] 图4为本发明所提供环绕有浮动体的塔筒的一种具体实施例的结构示意图;

[0068] 图5-1为图4中A部位的局部放大示意图;

[0069] 图5-2为图4中浮动体环绕塔筒时的俯视图;

[0070] 图5-3为图4中浮动体的俯视图;

[0071] 图5-4为图5-3中I部位的局部放大示意图;

[0072] 图5-5为图4中浮动体随上风向来流风向变化而摆动的示意图;

[0073] 图6为翼形攻角示意图;

[0074] 图7为塔筒100未环绕浮动体200时的气动外形示意图;

[0075] 图8为图4中上风向来流攻角和气动外形改变的示意图;



- [0076] 图9为塔筒外表面斯托罗哈数与雷诺数的关系示意图；
- [0077] 图10为图4中浮动体浮升或下沉的示意图；
- [0078] 图11为浮动体上下浮动时对上风向来流绕流塔筒形成总脉动风力的削弱的示意图；
- [0079] 图12为另一种浮动体的结构示意图；
- [0080] 图13为图4中浮动体在下沉和浮升不同位置处，塔筒与浮动体200之间间隙S大小的变化示意图；
- [0081] 图14为气流从间隙S处向上流出的示意图；
- [0082] 图15为另一种浮动体的俯视图；
- [0083] 图16为图4中浮动体在浮升时候各位置的气流示意图；
- [0084] 图17为图16中II部位的局部放大示意图；
- [0085] 图18为图4中浮动体部分内侧外表面的展开示意图，此时的弹性球体203未受到挤压；
- [0086] 图19为图18中弹性球体受到挤压后的示意图；
- [0087] 图20为图19中III部位的局部放大示意图；
- [0088] 图21为图4中带有回收浮动体的回收装置出的放大示意图；
- [0089] 图22为图21中浮动体的俯视图；
- [0090] 图23为塔筒俯仰振动的示意图；
- [0091] 图24为设有浮动体后，振动被抑制从而与机舱安装的过程示意图。
- [0092] 图1-图3-6中附图标记说明如下：
- [0093] 10塔筒、11第一塔筒段、12第二塔筒段、13第三塔筒段、14第四塔筒段、15第五塔筒段、10a螺旋线、20风轮机、30机舱、40电力传输电缆、50电缆挡圈固定板、60马鞍面支架、70变流柜、80塔架门、90地基基础；
- [0094] 图4-图24中附图标记说明如下：
- [0095] 100塔筒、101第一塔筒段、102第二塔筒段、103第三塔筒段、104第四塔筒段、105第五塔筒段；
- [0096] 200浮动体、201前缘、202尾部、203弹性球体、203a内藏部、203b外露部、204气门芯、205内部管路、206无线电子锁、207中部通孔、200a外侧外表面、200b内侧外表面、200c对接面；
- [0097] 300地基基础；
- [0098] 400机舱、401气体收集装置、402回收口、403回收管；
- [0099] 500叶轮；
- [0100] 600系绳、601系绳段、602弹簧段；
- [0101] 701第一导向滑轮、702第一限高滑轮、703第二导向滑轮、704第二限高滑轮、705旋转环、706绳索执行器、707无线接收器、707' 高度检测元件；
- [0102] 800随动系统支撑旋转平台、801驱动电机、802滚轮、803轨道；
- [0103] S间隙；
- [0104] R缩放流道、R1渐缩流道、R2喉部、R3渐扩流道。

## 具体实施方式

[0105] 为了使本领域的技术人员更好地理解本发明的技术方案,下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步的详细说明。

[0106] 请参考图4,图4为本发明所提供环绕有浮动体的塔筒的一种具体实施例的结构示意图;图5-1为图4中A部位的局部放大示意图;图5-2为图4中浮动体环绕塔筒时的俯视图;图5-3为图4中浮动体的俯视图;图5-4为图5-3中I部位的局部放大示意图;图5-5为图4中浮动体随上风向来流风向变化而摆动的示意图。

[0107] 如图4所示,塔筒100安装于地基基础300,塔筒100由五段塔筒段从下至上依次相接形成,分别为图中所示的第一塔筒段101、第二塔筒段102、第三塔筒段103、第四塔筒段104、第五塔筒段105,可以理解,塔筒100分段并不限于五段。

[0108] 塔筒100套设有浮动体200,如图4所示,浮动体200环绕塔筒100的第四塔筒段104。请参考图5-2,浮动体200呈完整的环状,具有中部通孔207,以实现塔筒100的环绕,容纳塔筒100。

[0109] 本文所述的浮动体200,意指其能够浮动于空中,而不会下落,实现方式有多种,例如,本实施例中的浮动体200具体呈“鱼”状,从图5-2可看出,浮动体200为仿生结构,左端为浮动体200的前缘201,对应于“鱼嘴”的位置,右端为浮动体200的尾部202,对应于“鱼尾”。当浮动体200为流线形的鱼状时,基于浮升原理,该结构的浮动体200能够在上风向来流的作用下自动浮升在空中,即便风力很小,也可以浮升,类似于鱼类在水流中浮升的原理。再比如,还可以直接在浮动体200内部充满比空气密度低的气体,同样可以实现浮升,而且可以既充满低密度气体又设计为流线形外形。

[0110] 本实施例中,还设有激发装置,用于激发浮动体200上下浮动,激发装置具体包括连接浮动体200以使其不脱离塔筒100的系绳600,图4中,系绳600一端连接浮动体200,另一端连接在绳索执行器706(在后面会有详述)。如上所述,浮动体200可以浮升在空中,当风力一定时,浮动体200大致位于同一高度,风力发生变化时,浮动体200会存在一定的浮升高度变化。这里所述的激发装置,用于促使浮动体200发生升降变化,在一定范围内上下移动。

[0111] 本实施例中激发装置激发浮动体200沿塔筒100的上下方向浮动,如图10、图11所示,图10为图4中浮动体200浮升或下沉的示意图;图11为浮动体200上下浮动时对上风向来流绕流塔筒100形成总脉动风力的削弱的示意图。

[0112] 本实施例中,塔筒100仅环绕一个浮动体200,可以浮升到第五塔筒段105,也可以下沉到如图10所示的第三塔筒段103,当然附图仅是示例说明,具体的浮升高度区域不限于此。

[0113] 可知,当浮动体200设计为能够浮升的形状后,可以规律或不规律地进行浮升、下沉,相当于沿塔筒100高度方向(至少是在塔筒100的上部)上下移动,类似于“刷子”上下扫描,不断地改变不同高度塔筒段的攻角和气动外形。

[0114] 另外,当上风向来流接触到浮动体200的前缘201时,基于流线形设计,将会至少分成四部分:一部分气流经浮动体200的前缘201后向上倾斜,一部分气流经浮动体200前缘201后向下倾斜,还有部分气流左右分开,向浮动体200的两侧流动。

[0115] 显然,当上风向来流的气流一部分向上倾斜时,形成正攻角,向下倾斜的部分形成

负攻角。

[0116] 在解释上述浮动体200能够抑制塔筒100振动具体原理的过程中,会涉及“攻角”、“气动外形”等专业术语,下文一并作阐释。

[0117] 具体原理可以参考图6-图8,图6为翼形攻角示意图;图7为塔筒100未环绕浮动体200时的气动外形示意图;图8为图4中上风向来流攻角和气动外形改变的示意图。

[0118] 攻角(英文:Attack Angle),有时也称迎角,为流体力学名词。对于翼形截面S来说,攻角 $\alpha$ 定义为翼弦L与上风向来流速度之间的夹角,抬头为正,低头为负。如图8所示,在设置浮动体200的位置,经浮动体200前缘201后倾斜向上的气流形成正攻角(与左右水平方向的夹角),经浮动体200前缘201后向下倾斜的气流形成负攻角,塔筒100对应形成椭圆形的气动外形。

[0119] 气动外形(AerodynamicConfigurations)是指在气体介质中运动的物体为减少运动阻力,而采用的适合在该介质中运动的外形。气动外形主要是针对导弹、飞机等飞行器而提出的概念,本文则应用于塔筒100。气动外形具体是指飞机、导弹在飞行状态下所受到的升力、阻力、力的方向、大小,与其本身的截面、长度、推力、稳定性等会影响飞行物飞行的客观因素所组成的一个函数值,由这个函数值来决定飞行物的外形。

[0120] 当上风向来流方向改变时,气动外形随之改变,上风向来流方向水平时,气动外形是圆形,如图7所示,上风向来流水平接触塔筒100时,气动外形均是圆形,为钝体,图8中第五塔筒段105位置未设置浮动体200,气动外形也呈圆形(即塔筒100的横截面形状);当向上或向下倾斜时,气动外形将会呈椭圆形。由浮动体200的流线形状引起塔筒100的气动外形变化也不尽相同,如图8所示,中部椭圆形的气动外形,攻角相对较小;下侧椭圆形气动外形,长短轴比值相较于中部更大,攻角相对较大,更流线型化。

[0121] 应知,浸没在流体中的塔筒100结构物,由于流体(如:风电场的空气流)流经或横掠塔筒100结构的外表面时所产生的空气流旋涡从塔筒100(属于钝体)两侧交替脱落离开塔筒100表面导致的不平衡受力,将会在塔筒100两侧漩涡脱落处产生一个指向该侧的横向力,交替的脱落旋涡以这种方式使塔筒100结构作近似于简谐(即正弦)横风向(塔筒100上部、中部牵引下部的)强迫振动,称为涡激共振。即背景技术中所提到的卡门涡街现象诱发振动产生的涡激共振。

[0122] 当塔筒100结构物发生涡激共振时,作用于塔筒100结构外表面上的涡激力(即不平衡受力)近似为一个简谐力 $F(t)$ :

$$[0123] \quad F(t) = F_0 \sin \omega t \quad (1)$$

[0124] 式中: $\omega$  (Re, St) 为旋涡脱落的频率,  $\omega t$  整体为变量;

[0125] Re是雷诺数, St是斯托罗哈数;

[0126]  $F_0$ 为涡激力振幅值,  $F_0 = (\rho U^2 / 2) C_D$ ;

[0127]  $\rho$ 为塔筒100上风向来流密度;

[0128] U为塔筒100上风向来流风速;

[0129] C为塔筒100结构截面的空气动力系数;空气动力系数也称风载体型系数,它是风在工程结构表面形成的压力(或吸力)与按来流风速算出的理论风压的比值。它反映出稳定风压在工程结构及建筑物表面上的分布,并随建筑物形状、尺度、屏蔽状况以及气流方向等而异;

[0130] D为塔筒100结构外表面被流体横掠时的特征尺度,是流体经过障碍物、绕流障碍物时的障碍物面对流体形成的空间结构的特征尺度,是传热学领域通用术语。本实施例中,是指围护结构(这里是塔筒外表面形状)与流体接触面(这里是空气流)的特征尺度,通常取垂直于风向的结构宽度,塔筒100在相应高度处的外径。

[0131] 涡激力引起的塔筒100结构横向振幅变化为:

$$[0132] \quad A(t) = \frac{\pi}{\delta} \frac{1}{K} (\rho U^2 / 2) C D \sin \omega t \quad (2)$$

[0133] 式中:K为塔筒100结构体系(可以包括机舱400)的刚度;

[0134]  $\delta$ 为对数衰减率(大约0.05)。

[0135] 当上风向来流的风速达到一定合适的数值、并持续作用一段时间后,塔筒100结构可能发生涡激共振,此时振动的振幅A:

$$[0136] \quad A = \frac{\pi}{\delta} \frac{\rho C f^2}{2K (St)} D^3 \quad (3)$$

[0137] 可以看出,当结构的截面尺寸已定,可提高提高刚度K或增大阻尼来降低涡激共振振幅。

[0138] 上式的  $St = \frac{fD}{U}$ , 即斯脱罗哈数,斯托罗哈数的定义描述了漩涡脱落频率、风速和圆柱体直径之间的关系。

[0139] 式中:f为涡脱频率,Hz;

[0140] U为塔筒100上风向来流风速;

[0141] D为塔筒100结构外表面被流体横掠时的特征尺度。

[0142] D在本实施例中指塔筒100不同高度处的外径。此外径会变化,当上风向来流非水平,而是以一定倾角的方式绕流塔筒100时,绕流塔筒100外围的路径形成近似椭圆,如上述气动外形的描述,这时特征尺寸D就为气动外形椭圆的当量直径(传热学专门术语,是一种假想的圆形截面的直径,即非圆形截面按照周长折算成圆形截面后的直径)。此时,被流体润湿或与流体接触的边界变得更加流线型化,远离钝化。从振动形式上看,涡激共振是带有自激与强迫双重性质的限幅振动。

[0143] 斯托罗哈数可以根据雷诺数获取,与雷诺数的关系可以参考图9,图9为塔筒外表面斯托罗哈数与雷诺数的关系示意图,横轴为雷诺数,纵轴为斯托罗哈数。雷诺数达到  $2 \times 10^5$  之前,斯托罗哈数为常数0.20;之后,随着雷诺数增大,斯托罗哈数先跳到0.30,再增加至0.43,随后当雷诺数等于  $2 \times 10^6$  时又降到0.2。因此,斯托罗哈数、D、U均是可以获得的参数,f也可以根据斯托罗哈数的公式计算获得,相应地,振幅A也可以计算获得。

[0144] 据此,本方案在塔筒100上环绕浮动体200,达到减振效果的原理分析如下:

[0145] 1、当浮动体200上下浮动变化进行“扫刷”时,相当于不断地“刷新”塔筒100外壁气流边界层,从而破坏塔筒100外壁的气流边界层,如背景技术描述的卡门涡街振动形成原理,边界层被破坏后,阻碍塔筒100后方两侧漩涡的形成,直接抑制了涡激振动的成因;

[0146] 2、由于浮动体200上下浮动变化,上风向来流绕流塔筒100与浮动体200接触时,获得气动外形的变化,尤其是设置有流线形的前缘201后,上风向来流的气动外形和攻角进一

步得到改变。则塔筒100相对绕流气流变得流线型后的空气动力系数C变小,可以理解为阻力得以降低,从而也可以降低涡激共振振幅A,减小振动。

[0147] 可进一步量化分析,当气动外形变成椭圆形时,空气动力系数C能够从一般的1.2降低到0.6左右,甚至更小,大幅降低阻力,减小振动。形象理解,当上风向来流水平掠过塔筒100时,与塔筒100外表面接触的为圆形气动外形,属于钝体,风向需要突变,将引起较大不平衡力,而攻角改变后,气动外形为椭圆形,流体(即空气流)沿着塔筒100表面向后(即:下风向)运行轨迹被拉长,流体与塔筒100外壁接触的角度发生变化,由于空气流上扬,使得接触角度变小,基于风向缓慢变化,益于抑制空气流绕流塔筒100外壁的绕流脱体现象的发生,从而抑制塔筒100横风向不平衡力的产生,减小空气流与塔筒100外壁耦合过程不平衡力产生的振动。

[0148] 3、由于浮动体200上下浮动动作,除了破坏塔筒100外表面的气流边界层,实际上对附近流场的上、下段均进行了扰乱、破坏,由此打乱了浮动体200附近上风向气流的相关性。当然,当浮动体200作如上所述的流线形设计时,上风向来流经过浮动体200后,在对应于浮动体200的位置,气流方向和路径也会发生变化,同样是破坏浮动体200附近上风向气流的相关性。上风向气流的相关性被破坏后,相应地即打乱了浮动体200和其他位置气流旋涡脱落频率的一致性,从而使得它们共同作用削弱,降低或阻止了塔筒100外表面边界层绕流脱体时涡激共振响应,也就阻止了塔筒100涡激诱发的振动。

[0149] 相关性是脉动风的重要特征,在这里它与空间两点的脉动风速或塔筒100表面不同高度的两点的脉动压力有关。

[0150] 相关系数 $\rho$ 定义为 $\rho = \frac{\overline{u'(Z_1)u'(Z_2)}}{\sigma_u(Z_1)\sigma_u(Z_2)}$ ,

[0151] 在两个不同高度处( $Z_1$ 、 $Z_2$ ),脉动风速的协方差定义如下:

$$[0152] \quad \overline{u'(Z_1)u'(Z_2)} = \frac{1}{T} \int_0^T [U(Z_1, t) - \overline{U}(Z_1)][U(Z_2, t) - \overline{U}(Z_2)] dt$$

[0153] 因此,协方差是两个高度处脉动风速乘积的时间平均。等式右侧的每个风速值都减去了各自的平均值 $\overline{U}(Z_1)$ 和 $\overline{U}(Z_2)$ 。

[0154] 在数学上,标准差的公式可写成:

$$[0155] \quad \sigma_u = \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T [U(t) - \overline{U}(Z)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}}$$

[0156] 式中 $U(t)$ ——平均风速方向上的风速分量,其等于 $\overline{U}(Z) + u(t)$ ;

[0157]  $u(t)$ 为顺风向湍流分量,即平均风速方向上的脉动风速分量。

[0158] 分子表示塔筒100在两个不同高度处有不同的风速,脉动风速的协方差。

[0159] 协方差是两个高度处脉动风速乘积的时间平均。

[0160] 湍流的总体强度可以用风速标准差或者均方根来衡量,从风速中减去平均分量,

然后用偏差来量化剩余部分,对偏差平方后在做平均,最后开方,得出一个具有风速单位的物理量,获得标准差。由相关系数定义式,不同高度处风速的协方差除以标准差得到不同高度两处风速之间的相关性系数,相关性越小越好,阻碍旋涡形成后不同高度处旋涡的频率,打破频率一致性对涡激共振能量的聚集和增长,即:阻止涡激共振的增长,甚至致使涡激共振消失。

[0161] 在中国南方云、贵、川高海拔地域建设风电场,需要环绕高山修路,同时高山上吊装周期通常会长一些,风的不确定性随时会影响吊装施工,吊装费用在27-32万元/台,一旦吊装产生问题,损失巨大。本案发明人对高海拔、高山地域风电场建设实地调研,并提出了浮动体200的方案,使得现场吊装进度、安装工期不再受到局部区域风况的限制。浮动体200的设置能够确保或争取在风速小于8m/s时对机舱400的可靠吊装;风速小于10m/s时对塔筒100的吊装。以上两种风速下,现有吊装方式很有可能无法正常进行。本方案能够提高有限吊装时间内的安全性和吊装效率,缩短因为风的不确定性随时造成风电场建设周期的拖延、风电机组并网发电推迟造成的浪费,解决吊装过程风力发电机组承载结构的塔筒100本身受风诱发的晃动所带来的对塔筒100基础连接件的破坏和隐患;降低建设成本,帮助投资方及早受益、及早并网发电。

[0162] 另外,本方案中浮动体200设为鱼形,实际上是进一步达到了在上风向来流作用下浮升的目的。能够浮升的浮动体200,根据流体力学原理,可以设计出符合目的的其他形状,例如飞机机翼,本方案中采用鱼状的仿生结构(海洋里的鱼类基于其身体外形,大多可以实现在流体中的浮升,例如墨鱼),浮升主要是依靠上表面和下表面形成压差而产生浮升力。

[0163] 再比如附图12,图12为另一种浮动体200的结构示意图,为俯视角度。该浮动体200具有流线形的前缘201和尾部202,该结构的浮动体200同样能够实现浮升。从俯视角度来看,浮动体200的前缘201部分,呈相对的尖状,向两侧逐渐延展拓宽,然后宽度变化较小,最后在尾部202收窄,尾部202长度相对较短,类似于飞行器形状。

[0164] 请继续参考图11,由于塔筒100上部(塔筒100此时上端属于自由端,下端被固定,涡街发放产生不平衡的横风向作用力,这些作用力相对塔筒100基础固定端来讲,力臂较长)产生振动时,振动力矩最大,破坏较强,故将浮动体200设于塔筒100的上部,在图中所示的L高度区域内,上下浮动,当处于 $\delta y_i$ 时,气流对应于 $f_i$ 位置,此处上下受到浮动体200的干扰,下沉到 $\delta y_i$ 时,干扰 $f_i$ 位置的气流,依次类推 $\delta y_j$ 、 $\delta y_n$ 位置,各位置在被扰动的同时,沿着塔筒100外壁竖立高度方向,上下段外表面涡街发放产生不平衡的横风向作用力的一致性(不平衡的横风向作用力的属性,同方向且同频率)被破坏或被打断,则L高度区域内总脉动风力(不平衡的横风向作用力携带方向属性求和后的数值)被削弱。

[0165] 而且,基于浮动体200的浮动式设计,在仅设置一个浮动体200时,即可对塔筒100不同高度的外壁边界层绕流产生破坏作用,抑制涡激振动。当然,浮动体200的数量并不受限制,当塔筒100高度较高,需要抑制振动的段落长度更长时,也可以设置两个以上的浮动体200,共同上下浮升,破坏塔筒100外壁边界层绕流。

[0166] 需要说明的是,设置为流线形的浮动体200能够进一步提高边界层破坏能力,抑制涡激振动,但应当理解,即便浮动体200非流线形,也是可以的。根据上述减振原理,只要浮动体200上下浮动变化,就可以破坏气流边界层,并改变一部分上风向来流的气动外形,形成正攻角或负攻角,以及打破上下段的气流相关性,抑制振动。比如,浮动体200可以是普

通的圆环状结构。当然,为了更好地抑制涡激振动,实现更好地浮动,设置为上述流线体结构也是较为优选的方案。

[0167] 以上方式在减少涡激振动影响时,相较于背景技术中的螺旋线方式,而且,浮动体200上下浮动,破坏气流边界层和打破上下段的相关性,功能的发挥与风速变化并无特定的对应关系,风速变化时,可通过浮动幅度、快慢调节实现振动的抑制,因此,即便风速变化,依然能够保证抑制振动功能的发挥;而且,浮动体200朝向上风向来流一侧的前缘201设计为流线形时,还可减少上风向来流的阻力,降低噪音,满足生态法规要求。

[0168] 此外,对于鱼形的浮动体200而言,除了使得上风向来流产生正攻角和负攻角之外,上风向来流从浮动体200两侧向后流动时的路径也被拉长,因为该部分气流对应的气动外形实际上也是近似椭圆形,即绕浮动体200的两侧向后流动,相当于沿“鱼身”流动。则该部分气流的空气动力系数 $C$ 也变小,与上述减振原理2一致,同样能够抑制涡激振动。

[0169] 请继续参考图4,具体在本实施例中,激发装置包括绳索执行器706,系绳600的一端连接至绳索执行器,系绳600的另一端连接浮动体200。绳索执行器706可以控制系绳600的伸缩。绳索执行器706具体可以包括卷扬(图5中未示出)和伺服电机,系绳600的一端缠绕在卷扬上,伺服电机可控制卷扬正转或反转,从而控制系绳600的伸缩。

[0170] 如此设置,一方面可以防止浮动体200在阵风速度过大时,从塔筒100顶部脱落,而离开塔筒100。尤为重要的是,当绳索执行器706驱动系绳600伸缩时,可以较好地掌握系绳600伸缩的长度,相应地控制浮动体200上下浮动的范围。即浮动体200上下浮动可控,则可以根据振动抑制需求,控制浮动体200的上下浮动幅度、浮动速度,从而更好地抑制振动。

[0171] 为了进一步提高浮动体200上下浮动的可靠性和保持平衡,可以设置两根或以上的系绳600,以上述“鱼”状的浮动体200为例,可以在其前缘201和尾部202均设置系绳600,当然仅在一端设置系绳600,或是包括两侧的多处设置也是可以的。

[0172] 请继续参考4-5-1,激发装置还包括滑轮,系绳600经滑轮后连接至绳索执行器706,滑轮维持系绳600大致沿竖直方向牵拉所述浮动体200。绳索执行器706布置时,不可避免地会与塔筒100存在一定的距离,从中伸出的系绳600有可能为非竖直的状态,这样牵拉浮动体200时,容易产生横向力,本方案通过滑轮改变系绳600的方向,使其能够大致沿竖直方向牵拉浮动体,从而有效保持浮动体200的上下浮动,还可避免多根系绳600时可能发生的相互掣肘、缠绕。

[0173] 激发装置可以包括一台绳索执行器706,两根或以上的系绳600由同一所述绳索执行器706控制伸缩。此时,各所述系绳600均经对应的滑轮后进入同一所述绳索执行器706。如此设置,不仅可以简化设备,而且,同一绳索执行器706驱动系绳600伸缩时,易于保证各系绳600的收缩长度相当,从而确保浮动体200稳定地上下浮动。

[0174] 具体地,如图5-1所示,共设有两根系绳600,每个系绳600对应的滑轮包括导向滑轮和限高滑轮。图5-1示出与右侧系绳600对应的第一导向滑轮701、第一限高滑轮702,与左侧系绳600对应的第二导向滑轮703、第二限高滑轮704。

[0175] 系绳600的外侧(远离塔筒100的一侧)绕过导向滑轮后变向为与绳索执行器706控制的伸缩方向平行,并经限高滑轮后连接至所述绳索执行器706,限高滑轮与塔筒100相对固定(具体是固定在随动系统支撑旋转平台800)。

[0176] 激发装置还包括旋转环705,所述旋转环705贯穿各导向滑轮,旋转环705此时作为

所有导向滑轮的轮轴。如图5-1所示,旋转环705贯穿第一导向滑轮701、第二导向滑轮703。

[0177] 如上所述,为了保持平衡,设置两根或多根系绳600,系绳600必然处于不同的位置。不同位置的系绳600由同一绳索执行器706驱动时,依赖于导向滑轮的导向。本方案中还设置限高滑轮,如图5-1所示,旋转环705本身除了贯穿导向滑轮之外,不受其他限制,右侧系绳600内侧绕过第一导向滑轮701后,变向为水平,再经第一限高滑轮702进入绳索执行器706内部;左侧系绳600内侧绕过第二导向滑轮703后变向为水平,再环绕第二限高滑轮704,完成180度变向,水平进入绳索执行器706内。

[0178] 可知,单就变向而言,仅设置第一导向滑轮701、第二导向滑轮703(改为系绳600内侧环绕)也是可以的,此时将二者均相对于塔筒100固定即可。这里设置限高滑轮后,两个导向滑轮无需固定,从图5-1可看出,导向滑轮与旋转环705处于相对浮动的状态(由限高滑轮限定高度)。由于风向常会变化,所以当浮动体200在风向作用下出现周向转动而牵拉系绳200扭转时,可以允许旋转环705、两个导向滑轮作微小角度的偏转,以避免导向滑轮与系绳600的磨损。

[0179] 作为优选方案,导向滑轮可以为轴承,即系绳600绕于轴承的外圈,从而减少系绳600伸缩时对导向滑轮的磨损。

[0180] 如图5-1所示,激发装置还包括随动系统支撑旋转平台800,上述的绳索执行器706置于所述随动系统支撑旋转平台800,随动系统支撑旋转平台800支撑于地基基础300或塔筒100。本实施例中,激发装置还包括设于地基基础300或塔筒100的轨道803,以及驱动随动系统支撑旋转平台800沿轨道803移动的驱动电机801,随动系统支撑旋转平台800的底部设有沿轨道803移动的滚轮802,随动系统支撑旋转平台800沿所述轨道803移动时,绕塔筒100转动。驱动电机801以及上述绳索执行器706的伺服电机的电源均可以是电池,这样便于动力的获取。

[0181] 如上所述,浮动体200可能发生一定的周向转动(在下述实施例中,浮动体200还可以在风向改变时自动转动以使前缘201对准上风向来流),此时,为了使系绳600较好地牵拉浮动体200,可以控制随动系统支撑旋转平台800转动相应地角度,从而使系绳600与浮动体200随动,从而与浮动体200保持稳定的相对关系,以便于上下浮动的有效控制,充分达到上述破坏边界层、改变气动外形、攻角以及破坏上下相关性的目的。

[0182] 随动系统支撑旋转平台800上可设有配重(图中未示出),配重可增加随动系统支撑旋转平台800的重量,避免风力过大时,浮动体200带动系绳600拉扯随动系统支撑旋转平台800及其上的绳索执行器706等向上而脱离地基基础300。基于同一目的,图5-1中,滚轮802可以卡接在轨道803中,限制垂直方向的移动。

[0183] 激发装置还进一步包括控制器。此时可以在随动系统支撑旋转平台800设置箱体,控制器以及上述的绳索执行器706(主要是绳索执行器706的伺服电机、卷扬)均可以设置于箱体内。控制器控制上述绳索执行器706和/或驱动电机801启闭,相当于形成一套系绳随动和浮动体浮动激发控制系统,且均支撑于上述随动系统支撑旋转平台800。

[0184] 激发装置还可以包括检测塔筒100振动的振动监测元件,以及测量所述塔筒100所在地风速的风速传感器。振动监测元件可以通过磁力吸盘紧密贴附于塔筒100内表面或外表面;风速传感器可以布置在塔筒100上,如也可通过磁力吸附于塔筒100表面临时固定,也可以在塔筒100外围5-6倍距离外设置,以减少上风向来流绕流塔筒100时对风速、风向带来



的影响。

[0185] 振动监测元件和风速传感器将检测的振动信号和风速信号传递给控制器,控制器根据单独根据振动信号或风速信号控制绳索执行器706启闭,也可以参考二者进行绳索执行器706的控制。比如振动信号显示振动存在时,则可以开启绳索执行器706以控制系绳600伸缩,使浮动体200进行上下浮动,同时根据振动的强弱情况控制伸缩的幅度和伸缩的速度。系绳600伸缩速度快,则浮动体200上下浮动(一种往复运动)较快,浮动幅度也较大时,显然可以大范围、高频次地破坏上下相关性,扰乱气流边界层;浮动慢、幅度小,则反之。

[0186] 风速也可以在一定程度上反应振动情况,一般在一定风速区间,易于诱发振动,不一定是风速大振动大,例如,在100-120米区间,风速较小时,也可能引发较大的横向振动,即涡激振动。在根据振动信号控制时,可以结合风速信号进行参考,以相互校验。

[0187] 另外,还可以设置检测所述浮动体200所在高度的高度检测元件707',如图5-1所示,高度检测元件707'可以是红外发射器,通过向地面发射红外线即可获悉浮动体200所在的高度。可以在随动系统支撑旋转平台800处设置无线接收器707,用于接收高度检测元件707'检测的高度信号,图5-1中,无线接收器707也安装于设置绳索执行器706、控制器的箱体上,接收的信号传递给控制器,不仅是高度检测元件707'检测的高度信号,其他检测元件检测的信号都可以发送给无线接收器,以便控制器接收各类信号。

[0188] 控制器可根据检测的高度控制所述绳索执行器600驱动系绳600伸缩的幅度。当然,控制器也可以根据绳索执行器706的伺服电机确定系绳600的伸缩长度,因为伺服电机转动时本身可以计算伸出或缩回的长度。

[0189] 浮动体设备还进一步包括检测所述浮动体200方位的方位检测元件。所述控制器根据检测的所述浮动体200的方位,控制驱动电机801,以使所述随动系统支撑旋转平台800能够跟随浮动体200转动。除了直接检测浮动体200的方位,还可以设置风向仪检测风向,如下述实施例所述的浮动体200的前缘201可以自动对准上风向来流,则获知风向后,即可知悉浮动体200的具体方位,从而控制随动系统支撑旋转平台800转动相应角度,以使系绳600维持原有的牵拉状态。

[0190] 系绳600可以是弹性系绳,或者如图4所示,弹性系绳600具体包括绳体段601和弹簧段602,即绳体段601和弹簧段602串联设置,图中弹簧段602串联在两段绳体段601之间。这里,只要弹簧段602和绳体段601串联即可,各段数量和位置顺序不限。设置弹簧段602以后,浮动体200在浮升下沉过程中产生晃动时,弹簧段602会保持或者加大浮动体200的上下晃动,提高抑制涡激振动的能力。

[0191] 据此可知,上述激发装置主要依靠能够伸缩变化的系绳600使浮动体200主动进行上下浮动,当设置弹性段602或整体系绳600设为弹性系绳600时,仅依风力变化也可使浮动体200上下浮动,此时的弹性段602可收集上风向来流湍流脉动能量,从而能够维持或加大浮动幅度,即便浮动体200不再具有上升和下沉的浮力变化,但弹簧段602依然会持续进行晃动,从而对上风向来流进行上下扰动,破坏塔筒100边界层绕流,抑制涡激振动。即此处的弹性段602类似于“放大电路”,对浮动体200的浮动幅度有放大作用。

[0192] 本实施例中,振动信号反馈给控制器后,控制器通过绳索执行器706控制系绳600往复伸缩带动所述浮动体200上下浮动升降,由于浮动对上下相关性的打破、气流边界层的破坏,振动信号会产生变化,即振动信号会逐渐减弱。控制器根据振动信号的变化,并结合

浮动体200所处的高度、当前的风速,可以进行分析,获得在浮动体200在一定高度、风速下,以何种上下浮动的幅度、速度可以获得最佳的减振效果,即获得控制浮动体200上下浮动以减振的规律,相当于具有自动寻优的功能。这样,在塔筒100吊装过程中或者可能在安装后的使用中,都可以根据实际情况选取最佳的减振方案,同时,还可以将此控制规律应用在其他塔筒安装、使用的场合。

[0193] 图4中,系绳600设有一段弹簧,如上所述,数量不限,串联一段或者多段均是可行的。这里,弹簧段602的长度、弹性系数以及系绳600的总体长度,可以根据浮动体200所需要浮升的高度,以及浮动体200重量、风力等因素来确定,其最终目的是要求系绳600能够防止浮动体200从塔筒100顶部脱离,另外,不妨碍浮动体200的浮升,并且能够依靠弹簧段602产生晃动。

[0194] 针对防止浮动体200脱离塔筒100顶部的措施,还可以参考图13、14,图13为图4中浮动体200在下沉和浮升不同位置处,塔筒100与浮动体200之间间隙S大小的变化示意图;图14为气流从间隙S处向上流出的示意图。

[0195] 如图13所示,塔筒100由下至上,筒径逐渐减小,当浮动体200向上浮升时,浮动体200与塔筒100外壁之间的间隙S会逐渐增大,浮升到塔筒100最顶端时,间隙S最大。本方案中,对于浮动体200的中部通孔207,其横向尺寸设计优选地满足:在塔筒100顶部时,浮动体200与塔筒100之间的间隙S具有预定距离,以破坏上风向来流产生的浮升力。当浮动体200与塔筒100外壁之间的间隙S足够大时,可以削弱浮动体200的浮升力。具体而言,间隙S足够大时,相当于将浮动体200的上下表面连通,破坏上下表面产生流体压差的条件,则浮升力不再增大,从而实现自平衡。

[0196] 上述横向尺寸的“横向”,就是能够计算与塔筒100外壁间距的方向。浮动体200的中部通孔207为圆形时,横向尺寸即径向尺寸,中部通孔207也可以是其他形状,例如椭圆形,此时的横向尺寸并不唯一。

[0197] 在设置浮动体200的中部通孔207尺寸时,可以根据塔筒100顶部的外径确定,对于流体力学领域而言,具体可以通过尺寸计算、仿真或风洞试验获得所需的中部通孔207尺寸,该尺寸根据不同的应用场合有多种数值。该方式在不需要外力的情况下,可实现自平衡,可以单独使用,也可以与系绳600相结合共同阻止浮动体200脱离。

[0198] 上述实施例所描述的浮动体200呈具有中部通孔207的鱼形,环绕塔筒100而呈封闭的环状。可以理解,本方案主要利用浮动体200的流线形,实现攻角的改变,以破坏浮动体200附近的气流上下相关性,抑制涡激振动,而浮动体200能够浮升则可以进一步提高扰乱塔筒100外壁边界层的效果。这里的封闭环状主要是防止浮动体200从塔筒100脱落,可以理解,在此要求下,浮动体200也并不限于封闭环状,例如在其尾部202具有开口,但能够沿径向卡住塔筒100也是可以的。再比如,本方案主要利用前缘201实现气流攻角的改变,则浮动体200可以是非环状,也不具有尾部202,浮动体200的两侧通过拉绳系栓,或是不浮升,直接定位于塔筒100、定位于塔筒100并实现偏航对风转动,均能够实现一定程度上抑制涡激振动的目的。

[0199] 因此,本实施例所述的“环绕”,并不要求浮动体200封闭环状环绕,只要保证前缘201位置能够实现改变上风向来流攻角即可,所以能够环绕一半或以上的塔筒100范围即可。

[0200] 如前所述,本方案浮动体200具体为仿生结构的鱼形,浮动体200包括与前缘201相对的尾部202,如图5-2所示的“鱼尾巴”,相对于塔筒100而言,前缘201至塔筒100的距离小于尾部202至塔筒100的距离。

[0201] 如此设置,当上风向来流方向改变时,基于尾部202的存在,上风向来流对于尾部202的力矩会大于前缘201的力矩,从而使得浮动体200产生摆动,如图5-5所示,则浮动体200会转动至前缘201对准上风向来流,即实现自动对准,浮动体200的前缘201能够始终对准上风向来流,实现上述的改变攻角和气动外形的目的,从而根据风向适时转向以一直发挥其抑制涡激振动的功能。

[0202] 显然,由于风速的不稳定性,以及浮动体200在空中本身的受力复杂性,浮动体200随着风向的变化,转动的过程中,会存在不停的摆动现象,浮动体200也会前后左右地与塔筒100外壁发生碰撞,从而进一步扰乱浮动体200附近的气流,抑制卡门涡街现象的发生,抑制涡激振动。

[0203] 如图5-2所示,浮动体200的前缘201向两侧扩张拉长,再逐渐向后收拢,然后再逐渐扩张,形成尾部202。也就是说,浮动体200的两侧也呈流线形,且两侧呈对称设置,当上风向来流经由前缘201之后,向后流动的过程中,过渡平缓,并且在扩张的尾部202受到一定阻力,从而在先收缩的收缩段、后扩张的扩张段之间(“鱼”的“腰部”)堆积,阻碍上风向来流形成的漩涡的脱落,抑制涡激振动。

[0204] 浮动体200的尾部202的外缘呈弧面,弧面利于降低浮动体200对流体绕流的阻力,利于降低尾部200横风向摆动的阻力。。

[0205] 浮动体200优选设计为对称结构,对称中线为前缘201中部至尾部202中部的连线,当环绕至塔筒100时,对称中线实际上与上风向来流方向相同。如图5-2所示,鱼形浮动体200为对称结构。对称结构的浮动体200,有利于浮动体200在空气流作用下较为平衡,确保其前缘201能够始终对准上风向来流。

[0206] 前述浮动体200结构时,提到浮动体200或者能够实现浮升的浮动体200结构多样化,故浮动体200的形状并不限于附图中的“鱼形”。比如,当仅实现攻角改变时,浮动体200的两侧并不需要是流线形;而且,前缘201的下表面向下倾斜即可实现负攻角的形成,不需要将整个浮动体200的下表面设计为向下倾斜,图4中,浮动体200前缘201的下表面向下倾斜,然后略微上扬后,再整体向下倾斜,改变气流方向,向下形成较大的负攻角(图8),这里略微上扬再向下倾斜有助于获得升力。

[0207] 另外,从尾部202跟随风向摆动的角度来看,在浮动体200两侧设置类似于前缘201的凸起208也是可以的,如图15所示,图15为另一种浮动体的俯视图。

[0208] 该浮动体200结构的两侧设有凸起208,能够使浮动体200更快地响应上风向来流的风向改变,实现前缘201快速自动对准上风向来流。

[0209] 如上所述,当浮动体200能够浮升后,可以进一步扰流破坏涡脱频率一致性,抑制振动。则为了提高浮动体200的浮升性能,环状浮动体200可以具有环形空腔(类似于游泳圈),环形空腔内部充满气体,并且气体密度小于空气密度。此处填充的气体例如可以是氢气、氦气等。则此时浮动体200的浮升力为气体密度差产生的浮升力和浮动体200基于上风向来流(速度一般可达3-4m/s)产生的浮升力之和,使得浮动体200更易于浮升。

[0210] 基于浮升和碰撞等目的,浮动体200整体可以采用轻便、气密封性好、耐磨的材质

制成。例如可以是帆布、高分子材料、阻燃高分子材料等。气密封性良好可以防止内部充气泄漏,也防止吸入雨水增加重量,耐磨可以满足碰撞晃动的需求,也避免被自然环境中树枝等物体划伤。

[0211] 请继续参考图图5-3、图5-4,浮动体200具有朝向塔筒100的内侧外表面200b,以及背离塔筒100的外侧外表面200a。内侧外表面200b设有能够挤压塔筒100的若干弹性体。此处的弹性体可以是弹性材质的实体,也可以是腔体,是腔体时,可在腔体内固封气体。本实施例中,具体设置弹性球体203,弹性球体203一部分(可以是一半或者其他比例,本方案以一半外露示例)外露浮动体200的内侧外表面200b,可定义为外露部203b,外露部203b形成所述弹性体,另一部分则固定于浮动体200的环形腔体内部,可定义为内藏部203a。

[0212] 请结合图16-图20理解,图16为图4中浮动体在浮升时候各位置的气流示意图;图17为图16中II部位的局部放大示意图;图18为图4中浮动体200部分内侧外表面200b的展开示意图,此时的弹性球体203未受到挤压;图19为图18中弹性球体203受到挤压后的示意图;图20为图19中III部位的局部放大示意图。

[0213] 如图18所示,弹性球体203沿塔筒100内侧外表面200b整个环周、高度方向分布,即沿环周方向布置有若干列弹性球体203,弹性球体203包括外露部203b,布置时,使相邻两排的外露部203b之间能够形成流道R,即优选规则排布以大致形成直线形的流道R,便于气流通。

[0214] 如图17所示,上风向来流经过浮动体200时,一部分气流沿前缘201(图中所示G-A-B区域)流动后,向下倾斜,途径C-D-E-F区域,一部分绕流至塔筒100后方,还有部分会被从下向上吸入浮动体200与塔筒100外壁之间的环形间隙S(结合图5-2理解),并从间隙S内向上流动,即图中所示的空气流H。空气流H会沿图18-20中所示的缩放流道R流动,如图20所示,六个弹性球体203的外露部203b之间形成的一个流道单元,当上风向来流作用于浮动体200时,则作用力对应的该方位的浮动体200部分会贴靠向塔筒100的外壁,继而与塔筒100外壁产生挤压,则外露部203b之间的缩放流道R将由图18向图19的状态转化,流道变窄。

[0215] 可以理解,当弹性球体203的外露部203b与塔筒100外壁贴靠挤压时,该位置处对应的间隙S,实际上被此处若干列的外露部203b分成若干列缩放流道R。

[0216] 如图20所示,沿周向,相邻两个弹性球体203的外露部203b之间间隙变窄,其间的空气接受挤压,此时形成的缩放流道R如同缩放喷管的内部流道。如图20所示,从进口开始,依次为渐缩流道R1(流道收窄)、喉部R2(流道宽度大致不变)、渐扩流道R3(流道变宽),然后再历经渐缩流道R1、喉部R2、渐扩流道R3,即缩放流道R定义为包括收缩和扩张的流道段。该结构可借助挤压过程将原来的流道缩小,在缩小过程对气体实施弹性压缩、绝热压缩,气流获得加速。当浮动体200具有较长的尾部202时,在摆动过程中,浮动体200圆周各方向的气流实际上都会得以加速,不限于前缘201的位置。

[0217] 挤出缩放流道R的气流H对方塔筒100边界层具有“吹气”的功能,从而干扰上方绕流塔筒100壁的气流,破坏此处的边界层,抑制并破坏卡门涡街的形成,抑制塔筒100横向振动的发生,即抑制涡激振动。这里本发明的意愿在于充分利用自然力,在绿色环保的前提下,达到最佳的扰流破坏效果,抑制卡门涡街现象的发生,阻碍涡激振动的发生或是减小振动。

[0218] 如上所述,这里设置弹性球体203的目的,是与塔筒100外壁挤压,从而形成缩放流

道,以加速进入塔筒100外壁和浮动体200之间的空气流,故弹性球体203内可填充气体,但为保证挤压安全性,可以填充较为安全不易爆炸的气体,例如氦气。

[0219] 此外,这里设置完整的弹性球体203,只是部分外露,还包括内藏于浮动体200内部的内藏部203a,每个弹性球体203独立,则在挤压时,外露部203b的气体向内藏部203a移动,增加单个弹性球体203的活动空间,目的是构建缩放流道,缩放流道借助撞击过程的能量加速气流流动。当然,只是在浮动体200内侧外表面200b形成若干半球体或是其他比例的部分球体也是可以的。另外,弹性体的形成并不限于弹性球体203,这里球体的形状是便于在挤压时能够形成缩放流道,故弹性体可以是椭球体、三角体等。实际上,未受挤压时,相邻两排弹性球体203之间也形成缩放流道R,但是缩放流道R宽度较大,而且与塔筒100外壁还存在间隙,为开放式流道,加速作用没有挤压状态明显。

[0220] 请继续查看图5-2,在浮动体200的前缘201,弹性球体203的密度小于其余位置的弹性球体203的密度。浮动体200的前缘201朝向上风向来流,弹性球体203受到挤压力更大,变形也就更大,故密度可以设置地偏小,其余位置受力相对较小,变形小,为了形成较适合的缩放流道R,密度可以设置地偏大。

[0221] 请继续参考图17,可以看出,浮动体200中部通孔207,从下至上,横截面尺寸逐渐减小。则当上风向来流作用于浮动体200的前缘201而挤压时,尾部202一侧与塔筒100外壁之间形成一减缩通道R',挤压流经该间隙处的空气流,与上述缩放流道R的原理相似,也能够起到加速此处空气流,而使其干扰塔筒100此处边界层的目的,抑制涡激振动。当然,除了尾部202区域,浮动体200被挤压位置的其他方位与塔筒100外壁之间都会形成减缩通道R'(图17的方位只示出前缘201和尾部202)。即,当上风向来流作用于浮动体200时,缩放流道R和减缩通道R'同时作用,向上风“吹气”,破坏边界层绕流。

[0222] 请参考图21-图22,图21为图4中带有回收浮动体200的回收装置出的放大示意图;图22为图21中浮动体200的俯视图。

[0223] 该实施例中的浮动体200具有对接面200c,沿对接面200c对接锁定后可形成完整的环形。如图22所示,在对接面200c位置,浮动体200能够对合锁定形成环形,或者解锁打开,成为开环。设置对接面200c的形式,便于外套塔筒100的操作,也便于回收。

[0224] 浮动体200的环形空腔内可以充气,可设置气门芯204,气门芯204连通浮动体的内部管路205,实现充气、放气。

[0225] 如图21所示,在塔筒100顶部安装有机舱400,机舱400外部安装叶轮500,机舱400内还设有气体收集装置401,并配设回收管403,在机舱400的底部设有回收口402,回收管403穿过该回收口402,一端连接机舱400外部浮动体200的气门芯204,另一端连接机舱400内的气体收集装置401,可以回收浮动体200内的气体至气体收集装置401。即,不需要使用浮动体200时,可以将回收管403插入气门芯204,排出压入浮动体200环形腔体内的气体,便于从机舱400的回收口402将浮动体200起吊回收至机舱400内。

[0226] 如上所述,为了增加浮升力,浮动体200内可以填充比空气密度小的气体,例如氢气、氦气等,回收后可以重复利用,节约资源,降低成本。浮动体200的材质可以选用可折叠的材质,在排出气体回收时,可以折叠便于存放,减少占用空间。

[0227] 前述浮动体200具有对接面200c,此时,还可以配设无线电子锁206,对接面200c通过无线电子锁206锁定对合,形成完整的环形;同时在机舱400内设有遥控器,以无线控制电

子锁,则回收时候,可以在机舱400内遥控无线电子锁206打开,从而浮动体200可以离开塔筒100,被起吊回收至机舱400内。当然,遥控器也可以设置地面或塔筒100内的底部,以便操作人员更便捷地操控。

[0228] 上述气体收集装置401以及遥控器等都设在机舱400,因为塔筒100上部抑制振动需求最大,故浮动体200优选设计为浮升到塔筒100顶部,将其回收到顶部的机舱400也就便于实际操作。

[0229] 上述浮动体200环绕塔筒100时,可在塔筒100吊装阶段使用。

[0230] 如图23所示,图23为塔筒100俯仰振动的示意图;图24为设有浮动体200后,振动被抑制从而与机舱400安装的过程示意图。

[0231] 在未设置浮动体时,与背景技术描述相同,塔筒100可能发生涡激振动,图23示出的是整个塔筒200吊装完毕后,整体在上风向来流作用下俯仰振动,地基基础300位置处的螺栓会发生破坏。实际上,在塔筒100吊装过程中,已安装好的塔筒段也会发生振动,导致该塔筒段上方塔筒段安装困难,塔筒100吊装完毕后,其上方的机舱400、叶轮500安装困难。

[0232] 如图24所示,设置浮动体200后,塔筒100的振动得以抑制,从而避免或是降低振动幅度,避免对连接螺栓或是其他紧固件产生破坏,从而保证安装的可靠性,减小天气对于施工的影响,大大缩短施工周期,减少建设成本,也提高施工的安全性。

[0233] 具体在施工时,从吊装第一塔筒段101开始,即可在其上环绕浮动体200,但如前所述,振动的破坏力主要体现在高度相对较高的上部位置,所以就图24而言,在分段吊装时,可以从第三塔筒段103或者第四塔筒段104开始,再环绕浮动体200即可,环绕一个具备浮升功能的浮动体200时,其可以自动浮升到高一级的塔筒段,持续抑制振动。当所有的塔筒段吊装完毕后,浮动体200位于顶端最高的第五塔筒段105,在振动得到抑制的状态下,安装机舱400和叶轮500,安装完毕后,可卸下浮动体200,采用如上所述的回收方式回收浮动体200至机舱400内,以便重复利用。

[0234] 应知,浮动体200在塔筒100吊装结束后,也可以不作回收,持续利用,对于安装完毕的塔筒100持续起到抑制振动的作用。当然,可以根据实际需求决定是否进行回收操作。

[0235] 综上,本案专门关注的是风力发电机组在安装过程处于空气流中,从塔筒100吊装开始,就有可能发生与空气流耦合后的共振、卡门涡街破坏现象。因此,需要构建一种保护系统,即本实施例所述的浮动体200,在风电场建设过程中,预备安装在塔筒100上部几段的周围,浮动体200在塔筒100周围借助自然力空气流进行流场破坏,达到该保护系统造成对塔筒100表面及其附近流场的改变,阻止塔筒100涡街现象发生、阻止塔筒100涡激响应的放大、抑制塔筒100的涡激振动。

[0236] 需要说明的是,上述以塔筒为例进行说明,可以理解,类似的围护结构均可以采用上述系绳控制浮动体上下浮升的方式进行振动抑制,例如,还可以是电视塔或测风塔等,在安装时和安装后均可以根据实际需求使用或拆卸停用。

[0237] 以上仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

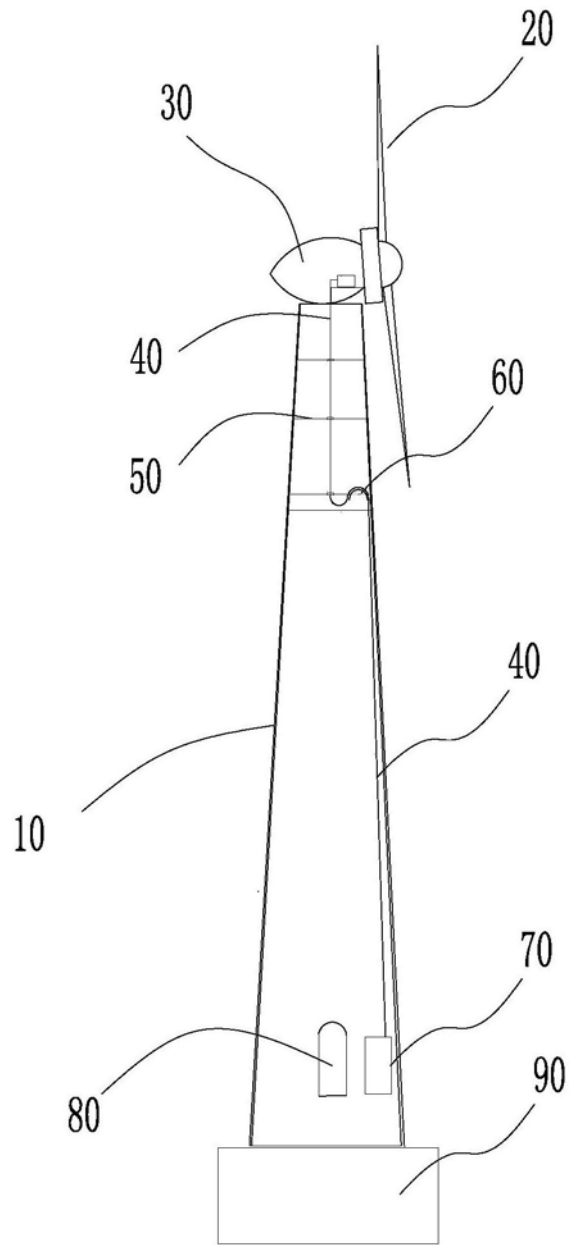


图1-1

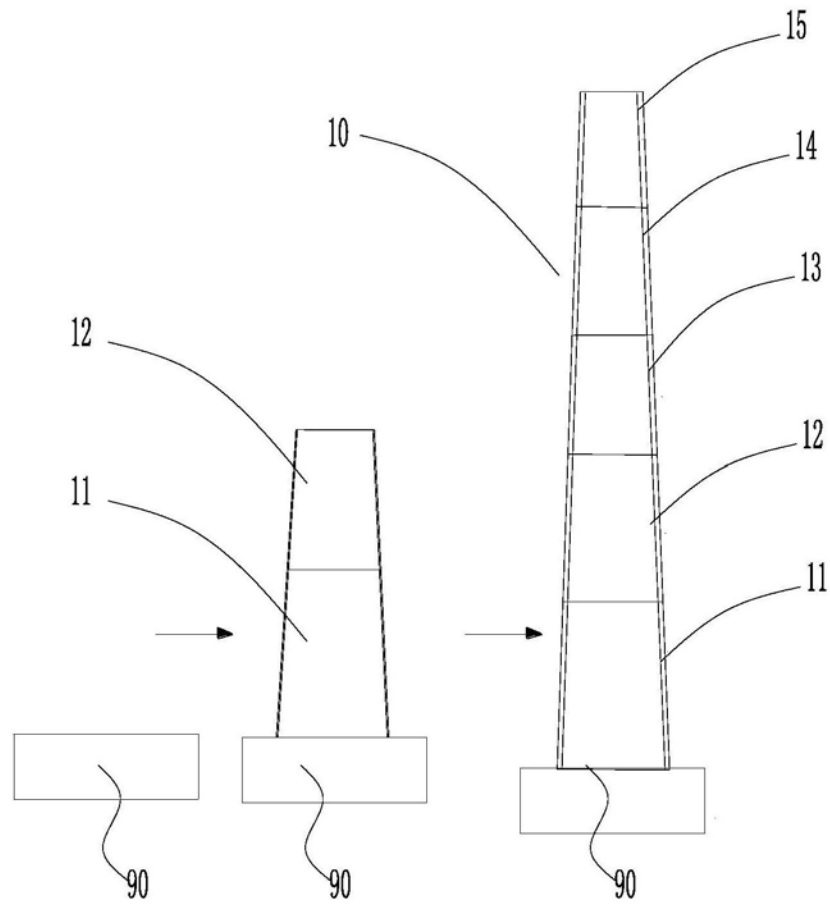


图1-2



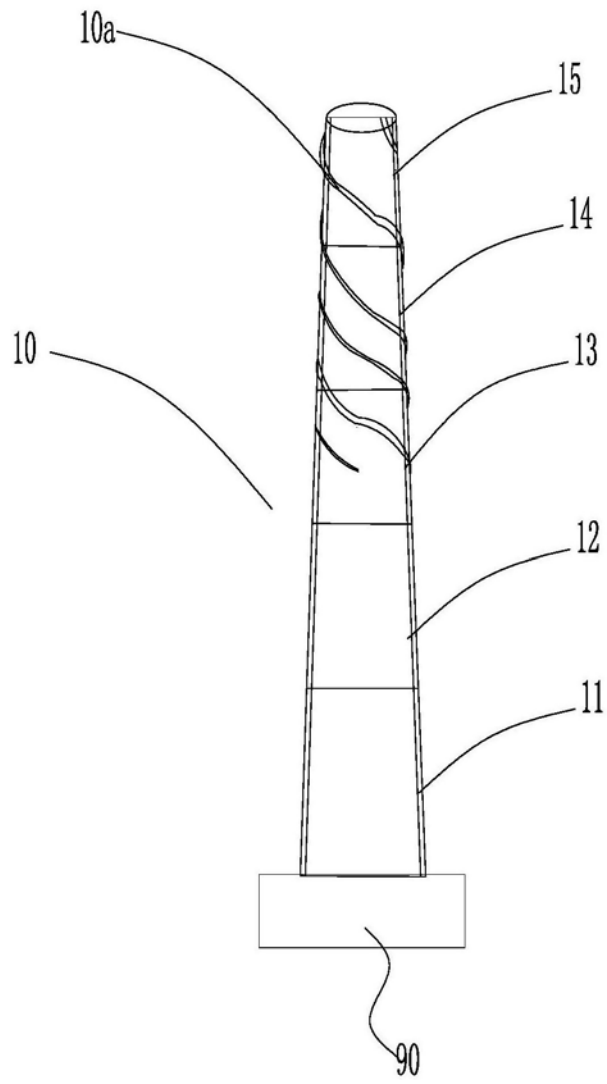


图2

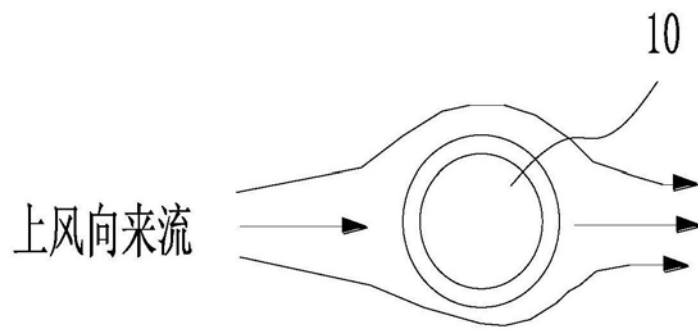


图3-1

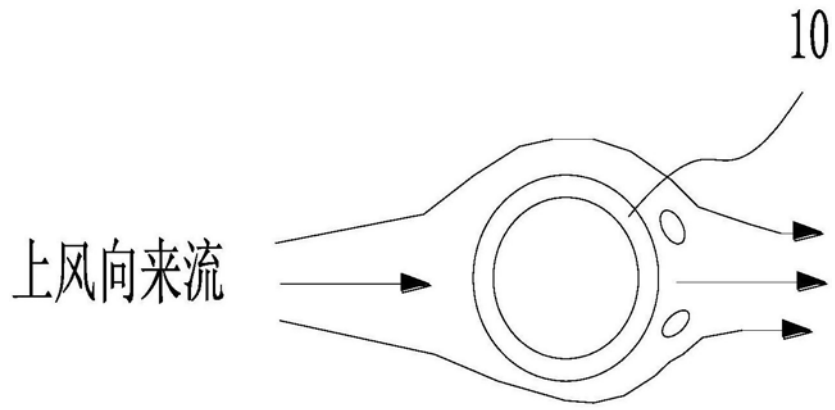


图3-2

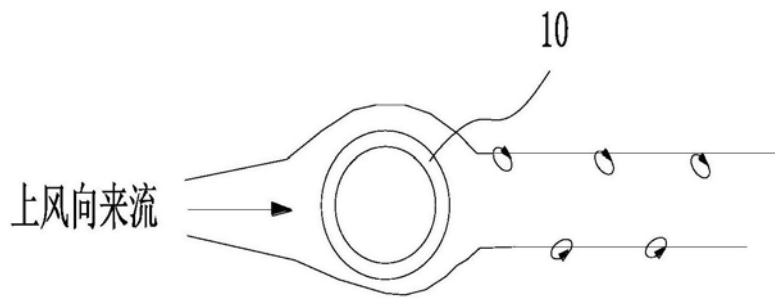


图3-3

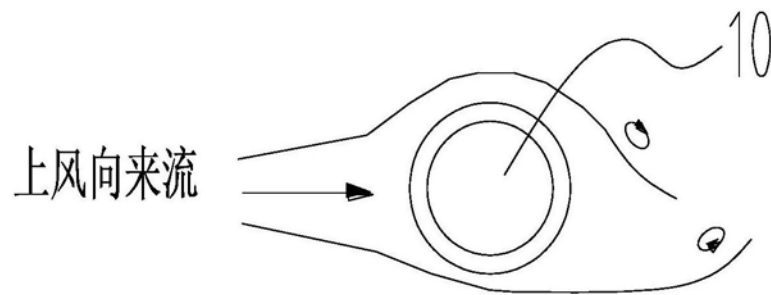


图3-4

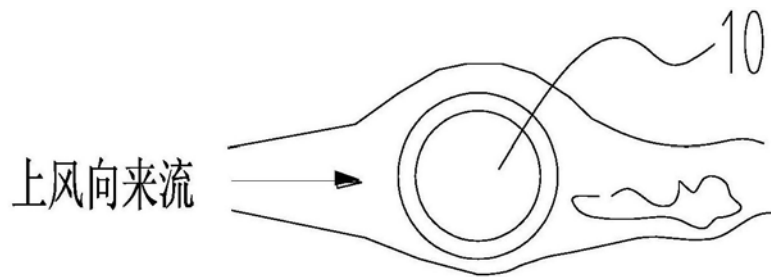


图3-5

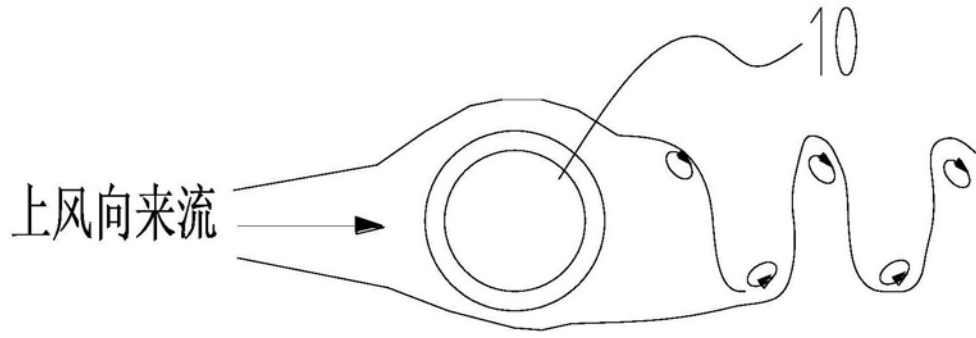


图3-6

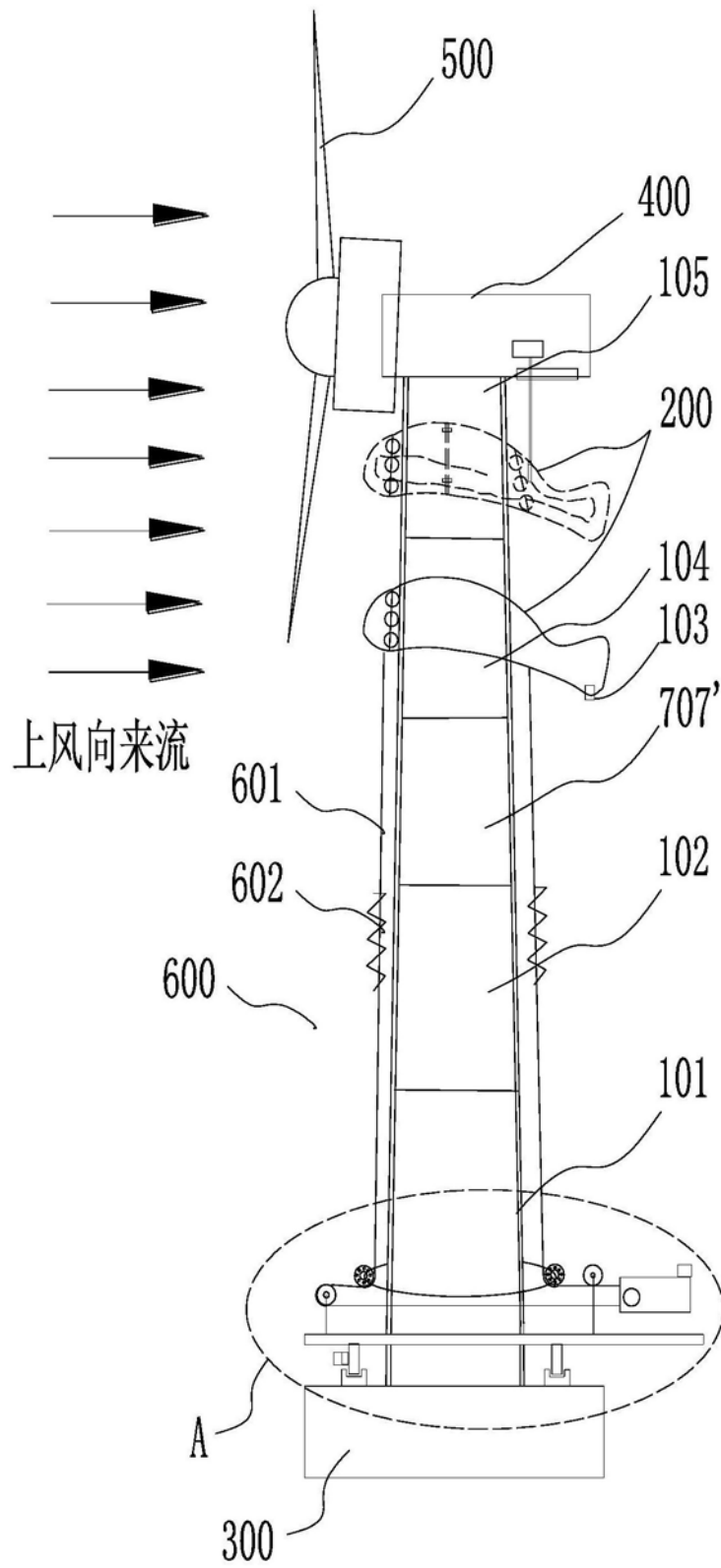


图4

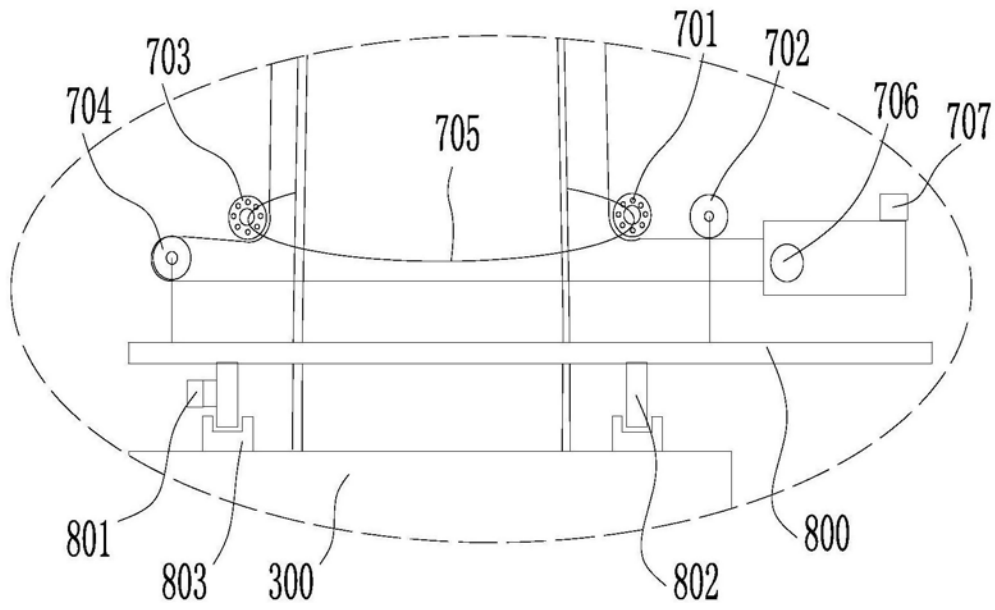


图5-1

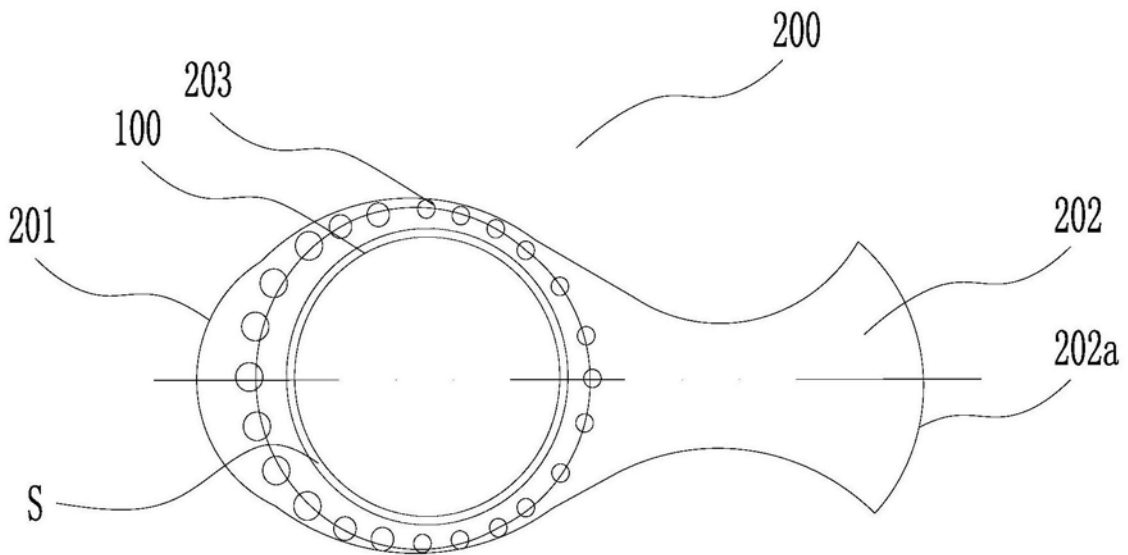


图5-2

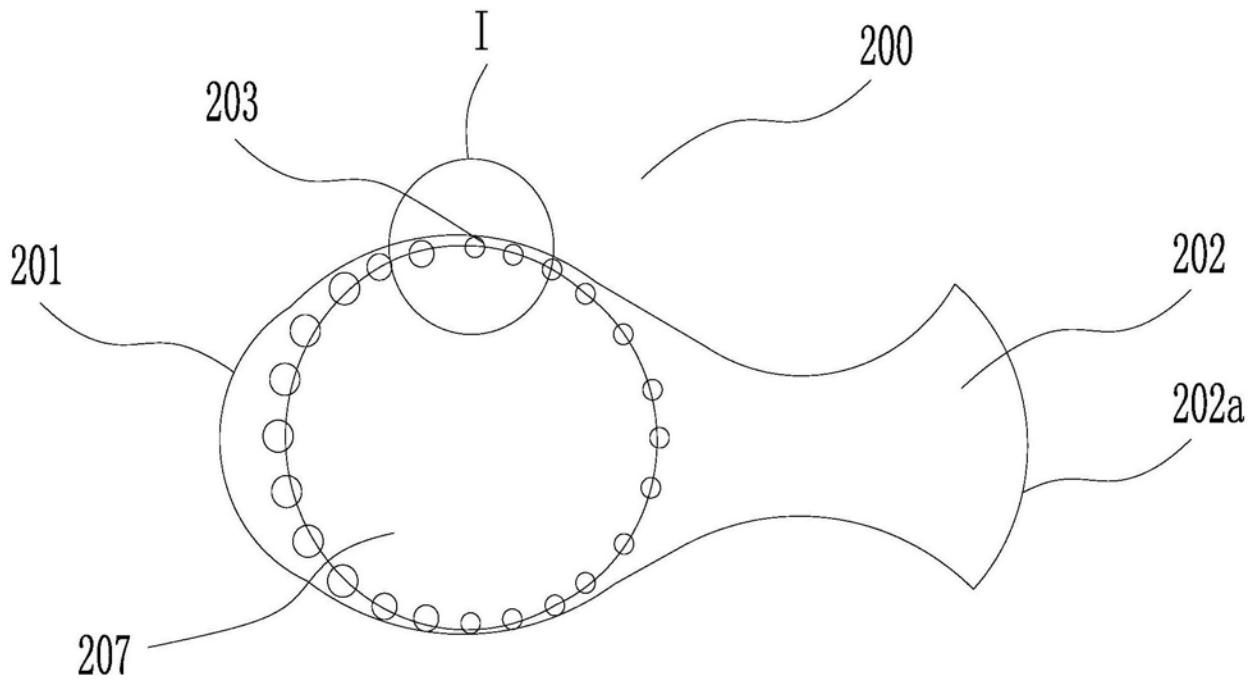


图5-3

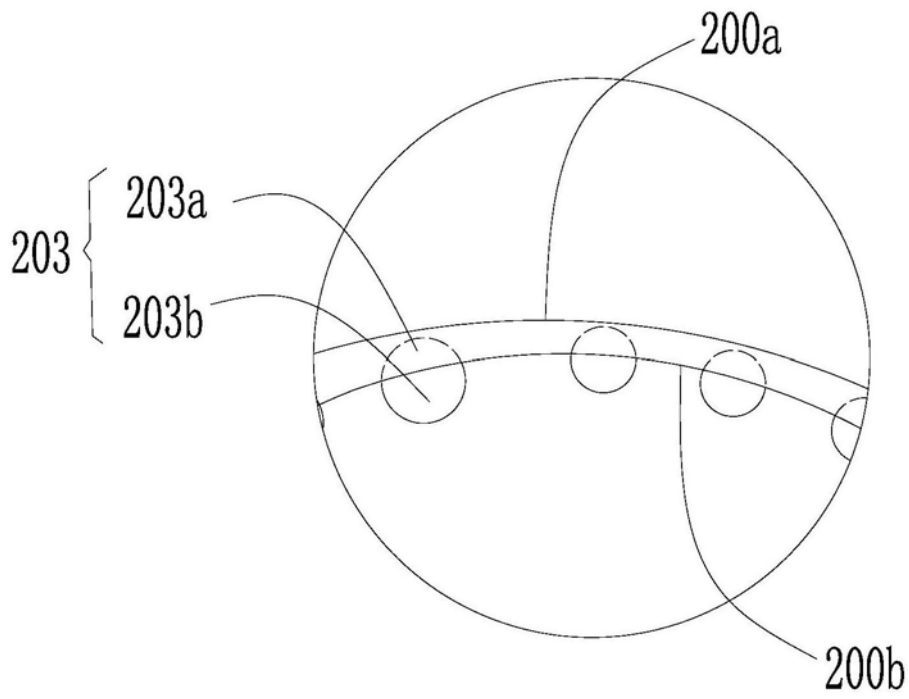


图5-4

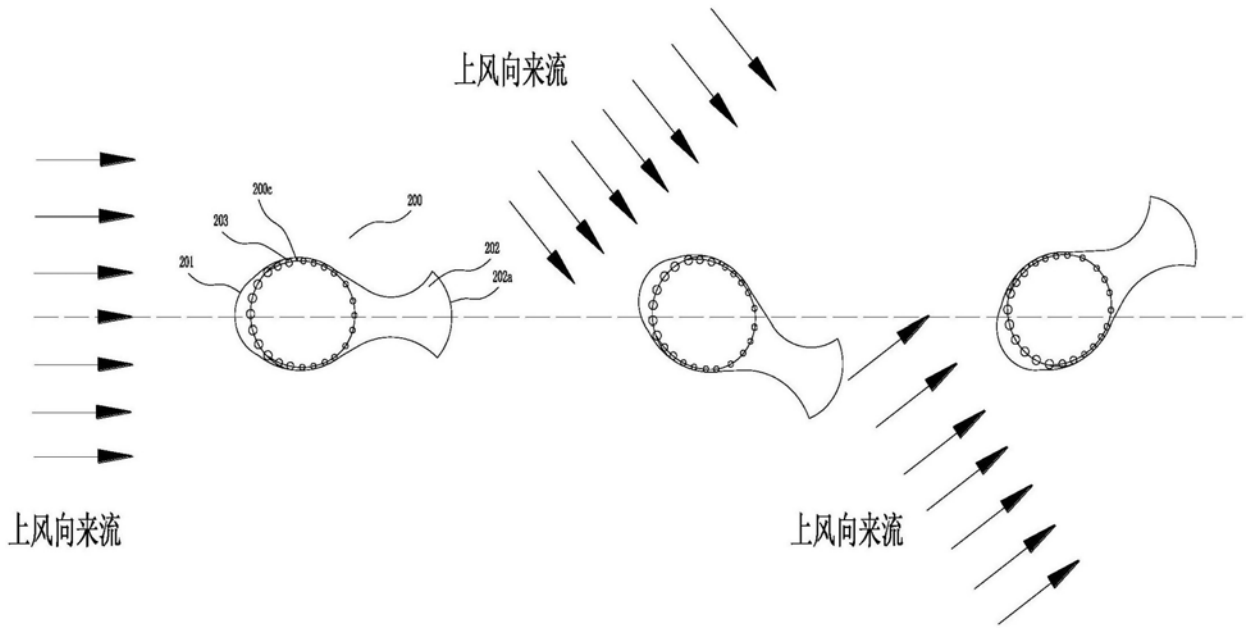


图5-5

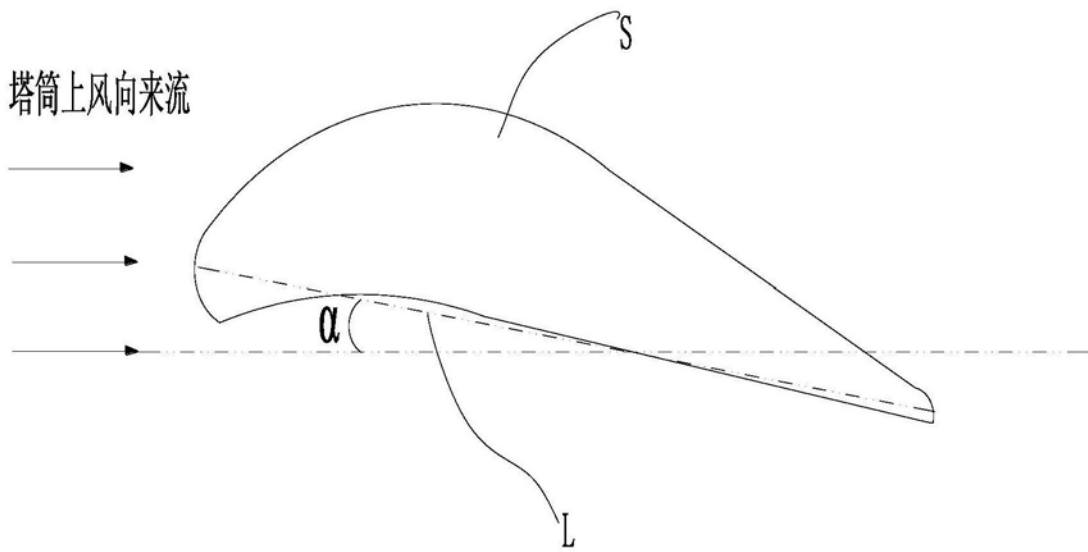


图6

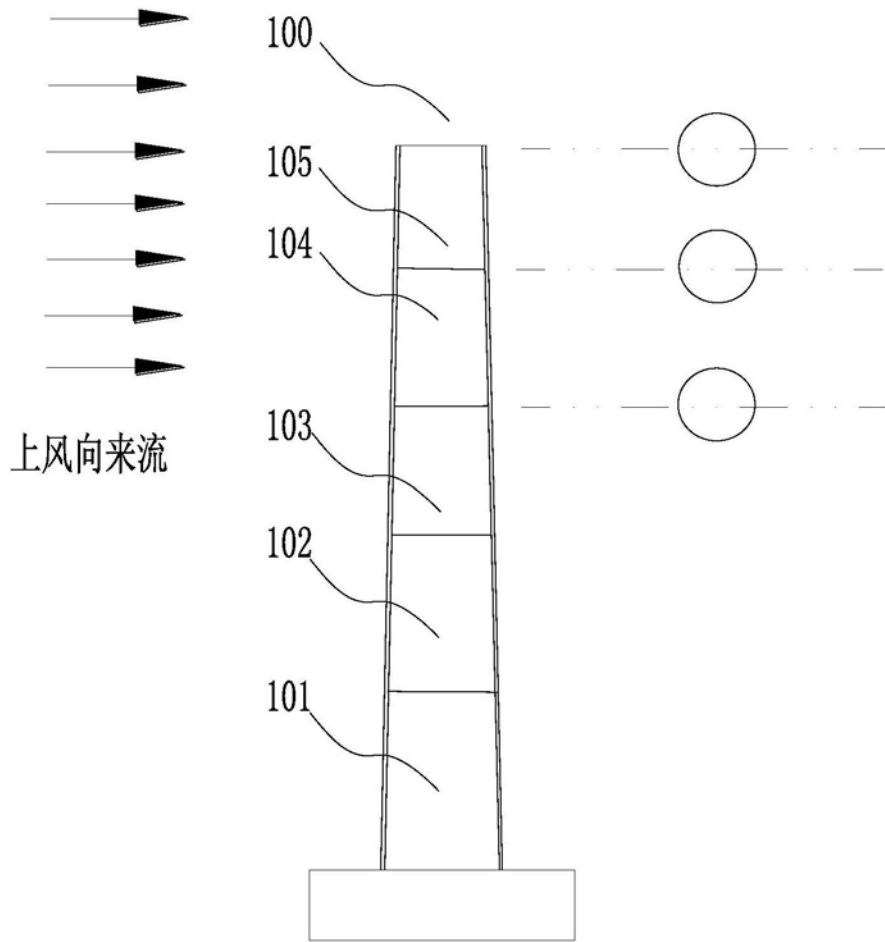


图7



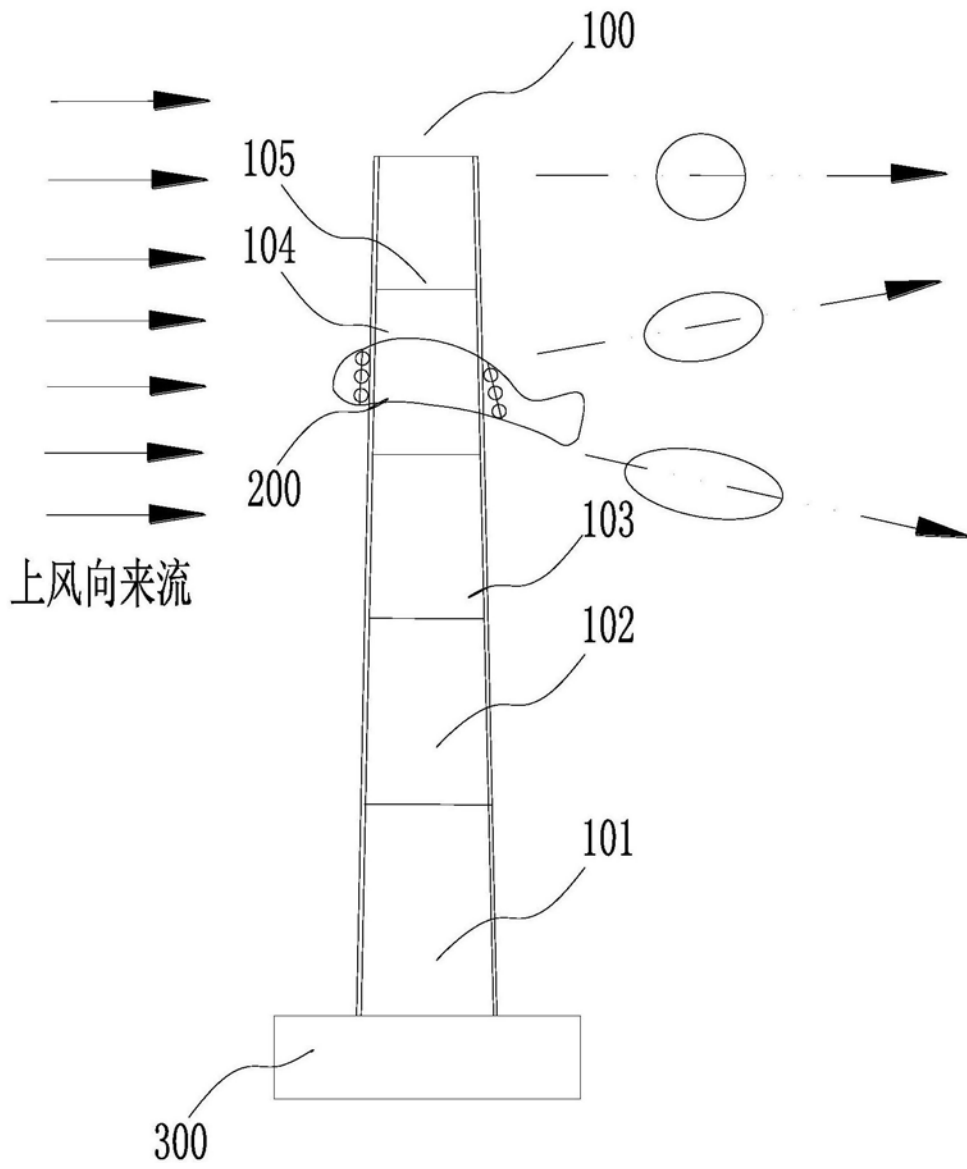


图8

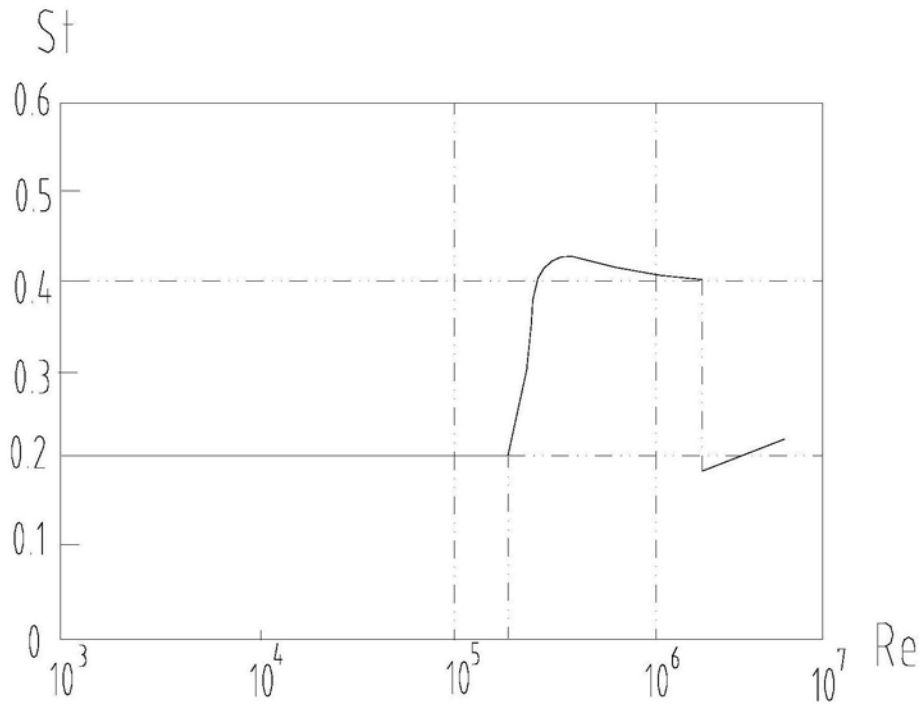


图9

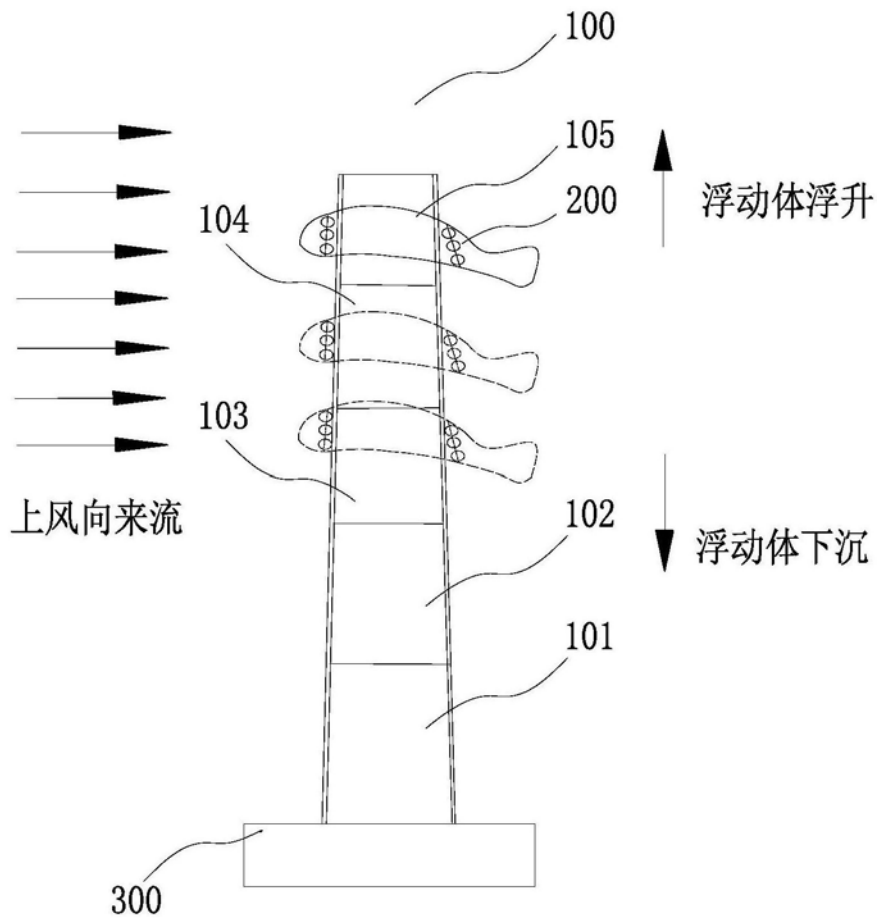


图10

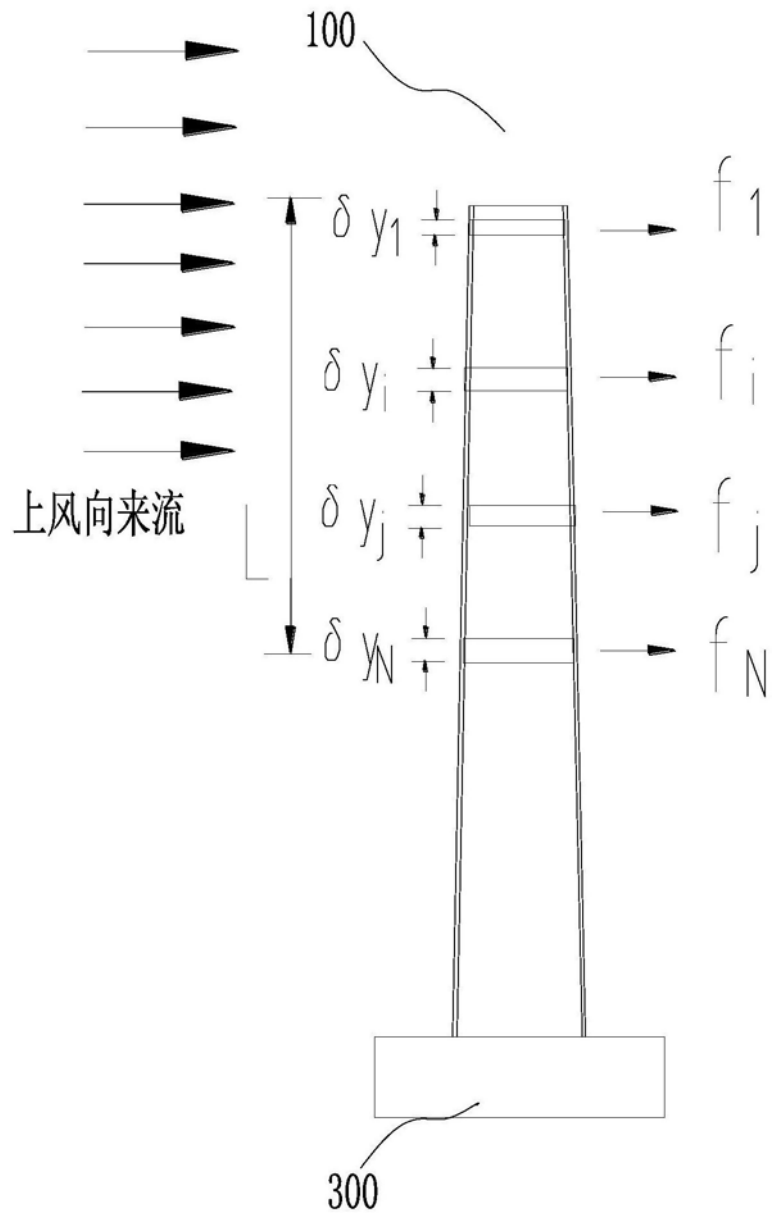


图11

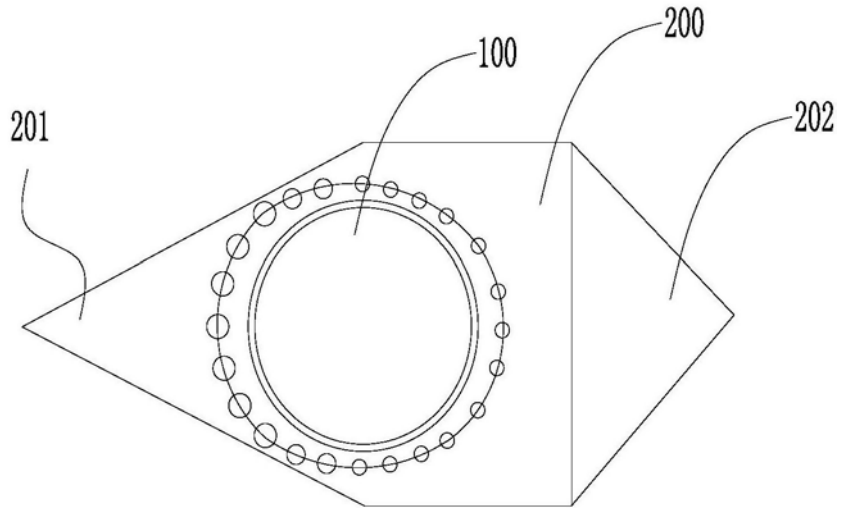


图12

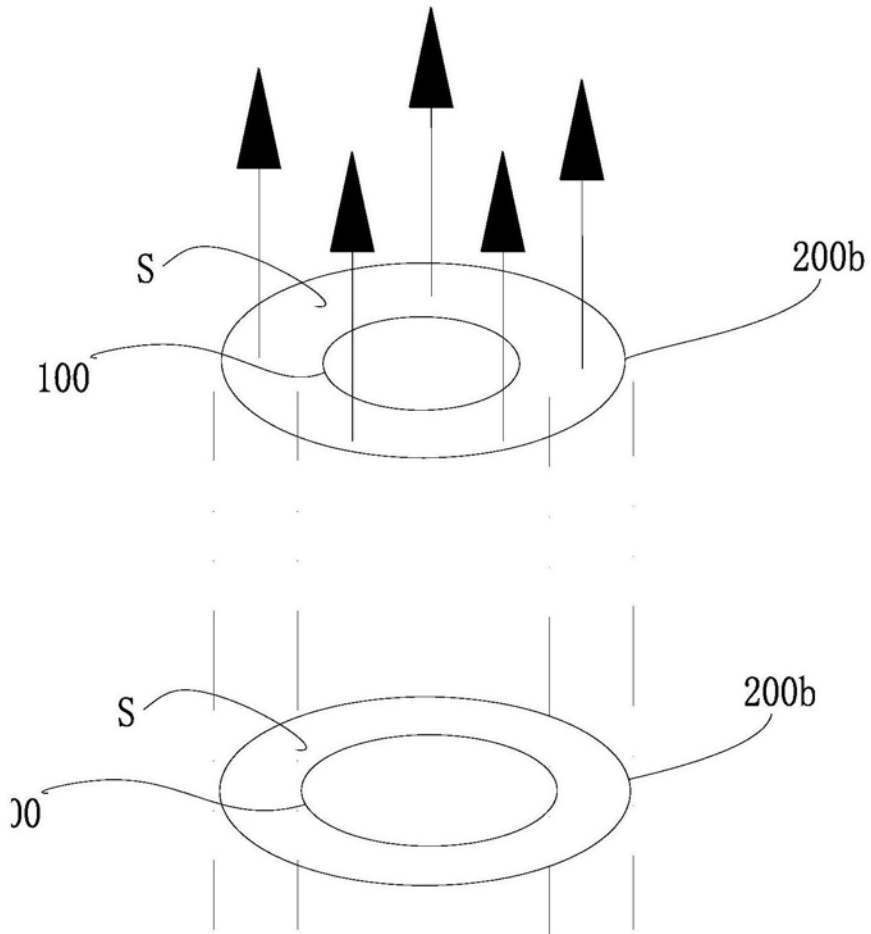


图13

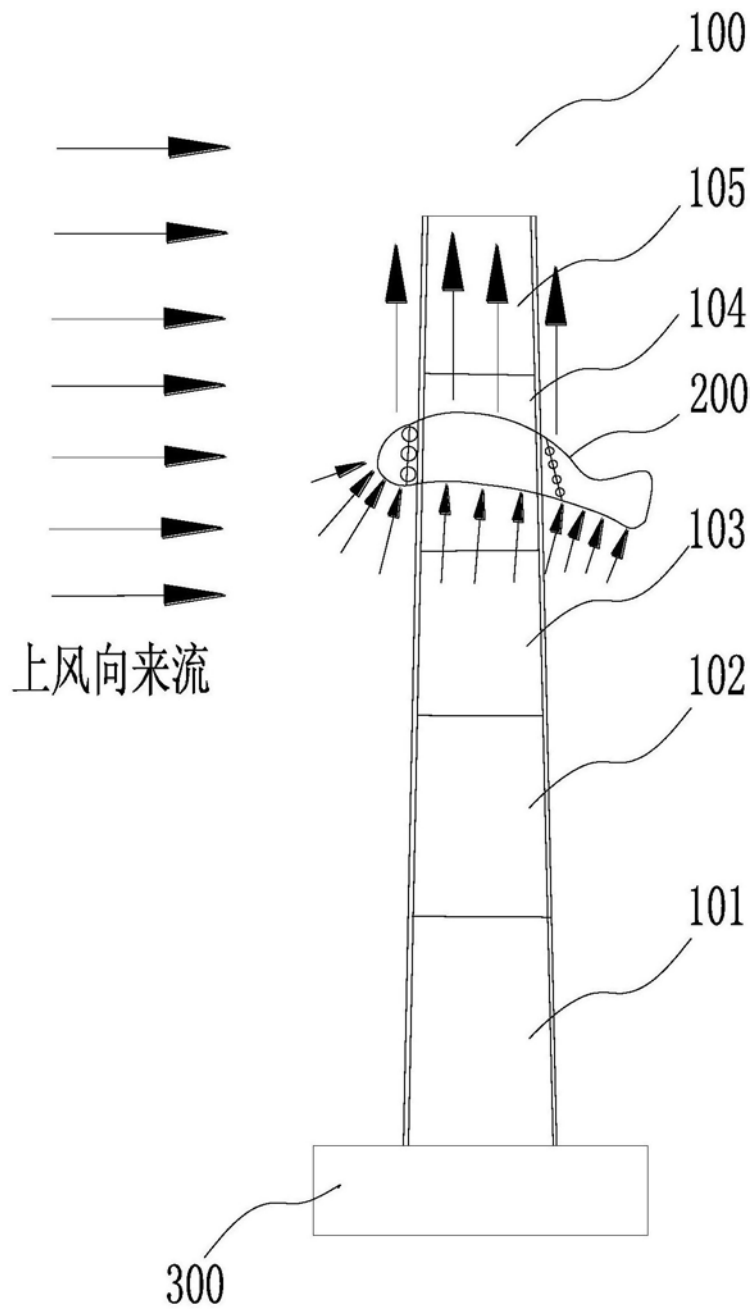


图14

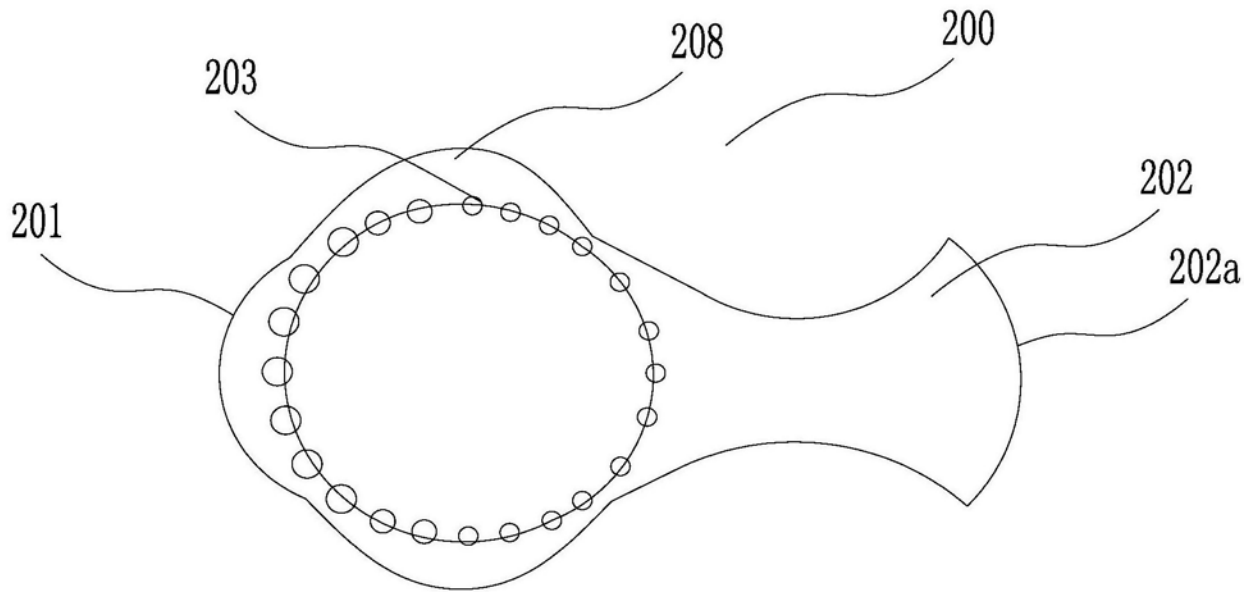


图15

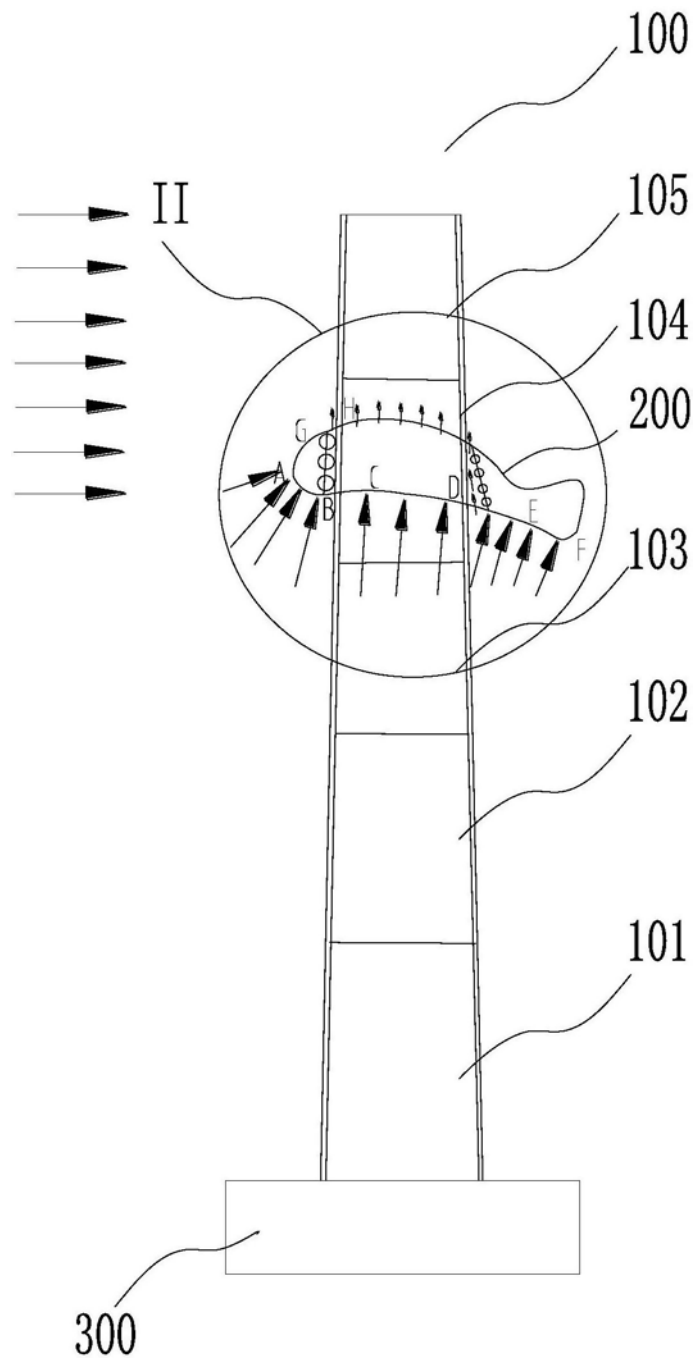


图16

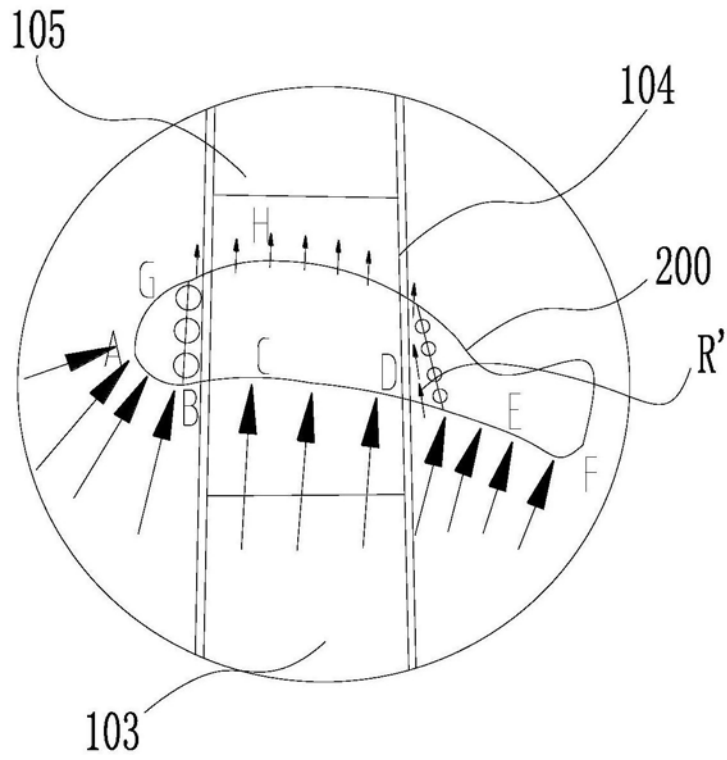


图17

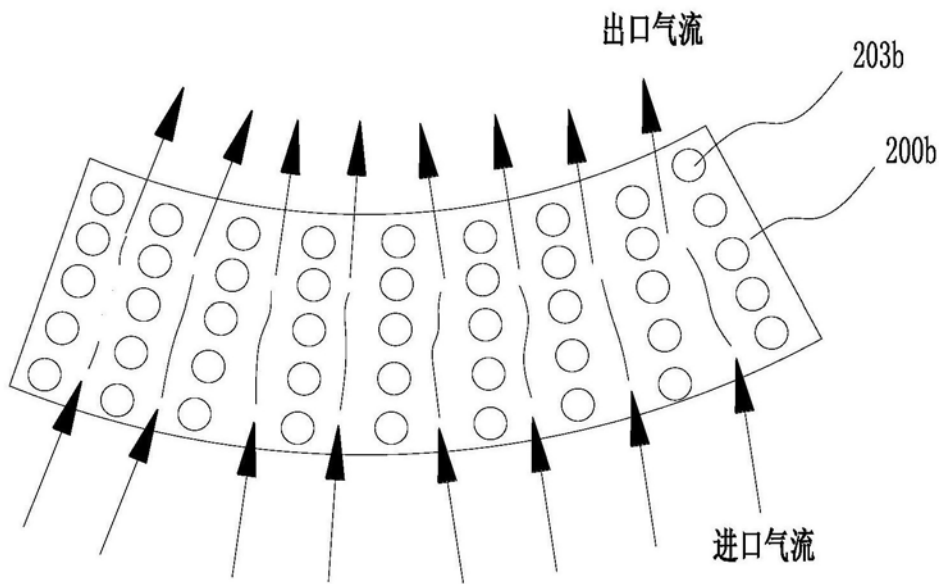


图18



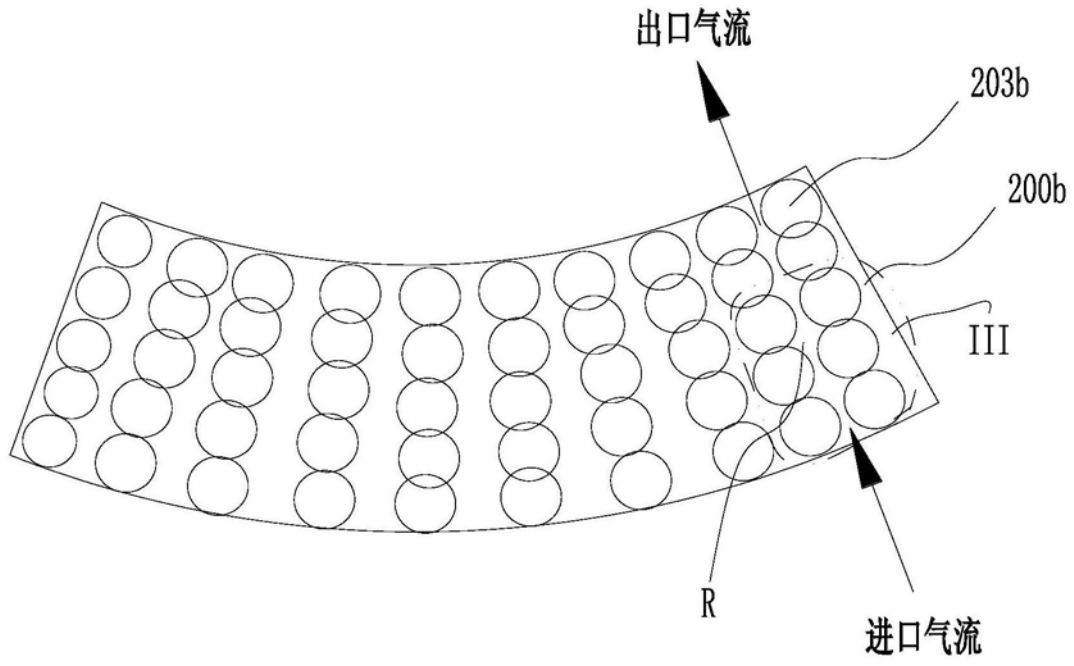


图19

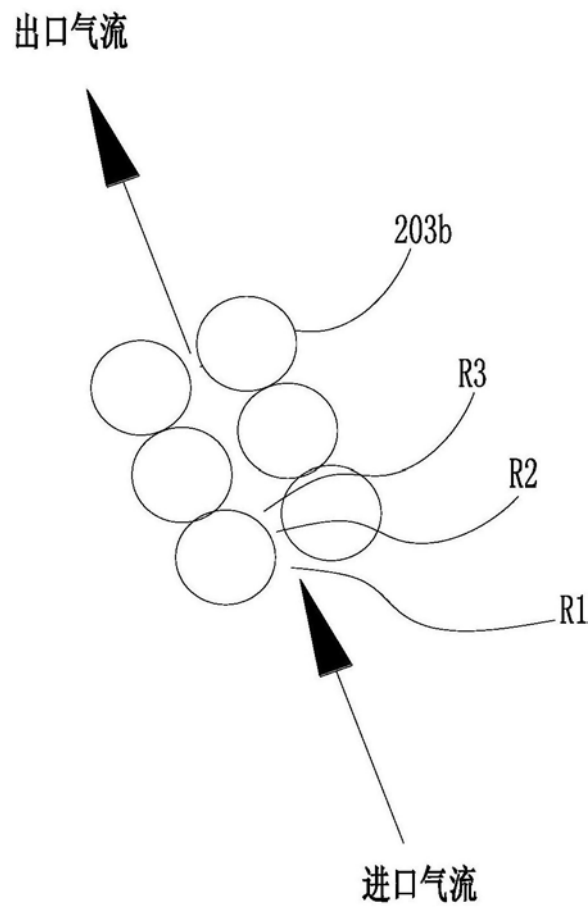


图20

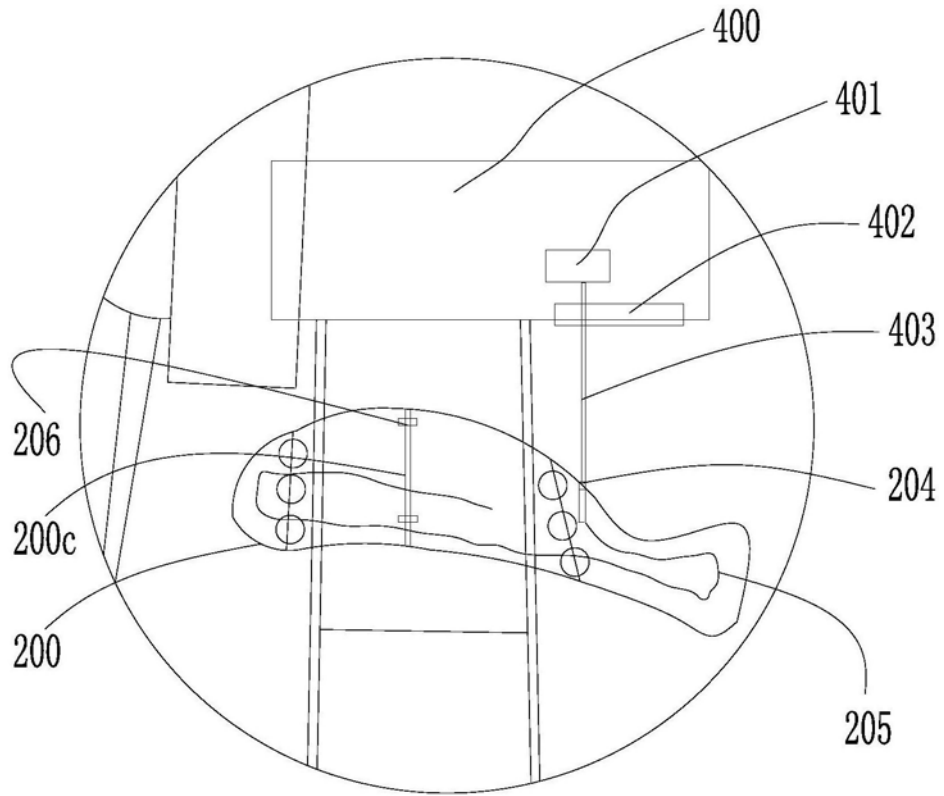


图21

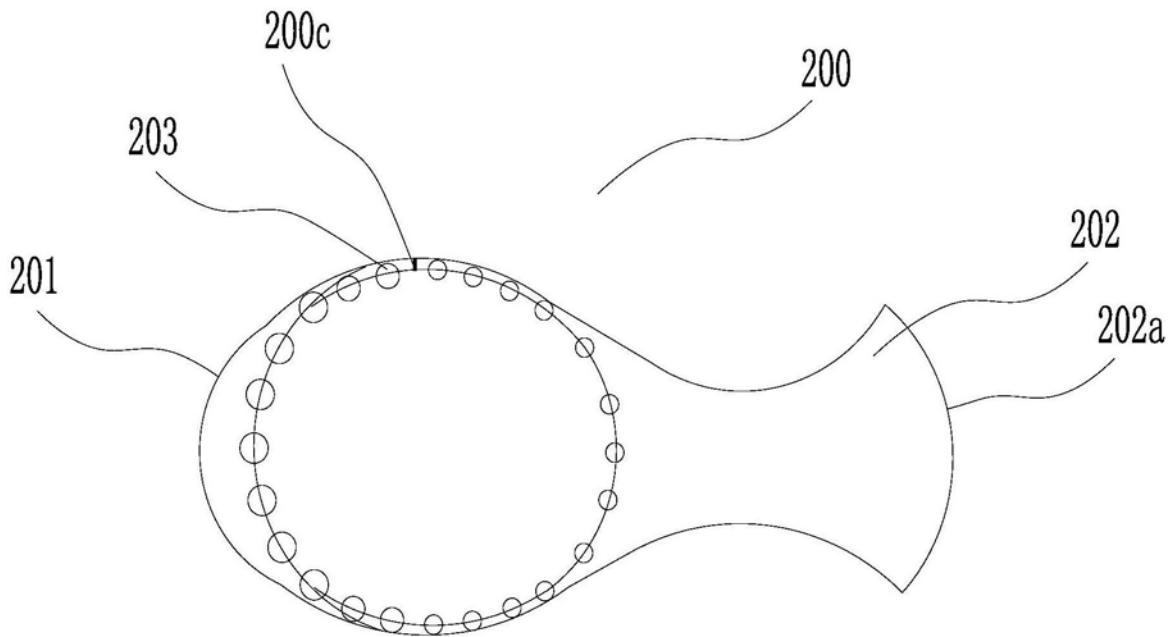


图22

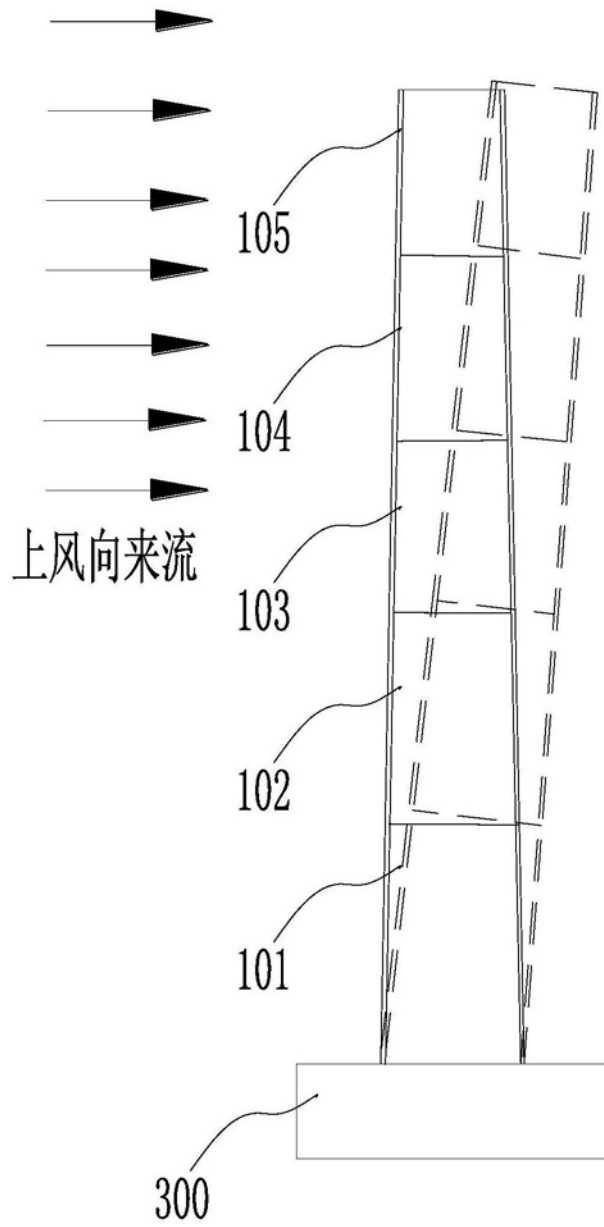


图23

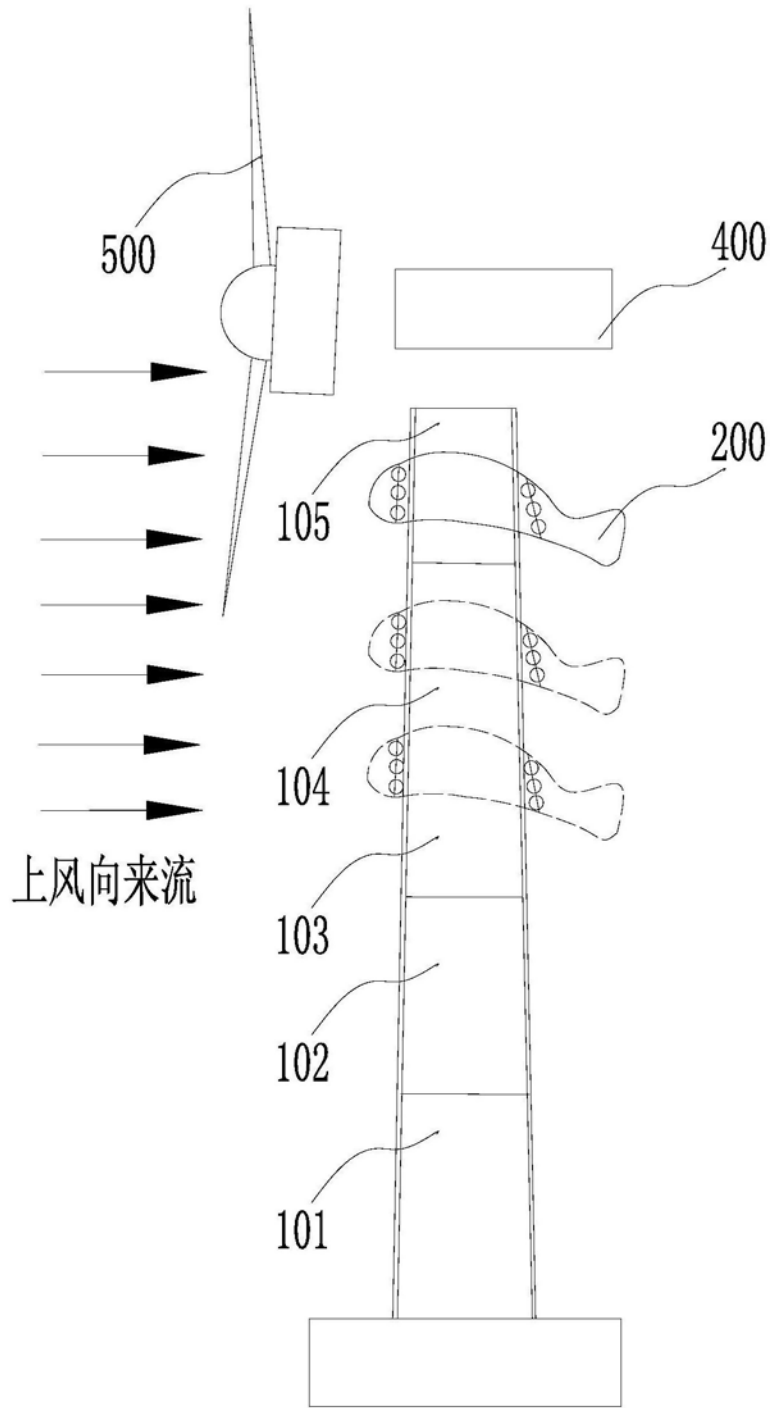


图24