



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113153636 B

(45) 授权公告日 2022. 11. 22

(21) 申请号 202110399673.9

F03D 80/00 (2016.01)

(22) 申请日 2021.04.14

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 107725285 A, 2018.02.23

申请公布号 CN 113153636 A

CN 107725285 A, 2018.02.23

(43) 申请公布日 2021.07.23

WO 2018177493 A1, 2018.10.04

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

US 2014/0167419 A1, 2014.06.19

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

CN 106897486 A, 2017.06.27

审查员 陈翔

(72) 发明人 李墨斌 杨晓雷 杨子轩

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理

事务所(普通合伙) 11390

专利代理师 胡剑辉

(51) Int. Cl.

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 17/00 (2016.01)

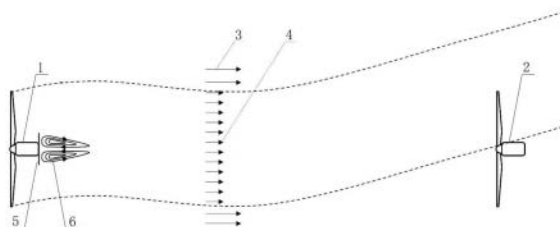
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制装置和方法

(57) 摘要

本发明属于风力发电设备技术领域,针对现有技术中存在的风机减弱尾流干扰的技术问题,本发明的目的在于提供一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制装置和方法,该装置包括自前向后间隔一定距离平行设置的上游风机和下游风机,所述上游风机的尾部设置有推力增加装置,通过推力增加装置提升尾部中心推力系数,通过推力增加装置在上游风机的后方产生回流区域。利用小尺寸的装置实现对尾流整体的扰动,最终达到增强掺混、促进尾流恢复、降低因尾迹遮蔽效应带来的风电场发电损失。



1. 一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制装置,其特征在于,包括自前向后间隔一定距离平行设置的上游风机和下游风机,在上游风机叶轮中心处安装有推力增加装置,通过推力增加装置提升尾部中心推力系数,通过推力增加装置在上游风机的后方产生回流区域,进而控制尾流自发地产生周期性地摆动;

所述推力增加装置设置为一个用于增加流动阻力的增阻盘,增阻盘采用刚性材质设置为圆形结构,固定在上游风机的机舱上,所述增阻盘上设有开孔,通过开孔调节阻力系数;

所述推力增加装置包括回流桨,回流桨的主体设置为板状结构、齿状结构、扇叶形结构或其他对称式几何结构形状,回流桨的直径设置为上游风机叶片直径的20%。

2. 根据权利要求1所述一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制装置,其特征在于,所述增阻盘的圆盘沿着垂直于上游风机的迎风方向设置,增阻盘的圆心位于通过上游风机主轴的直线上,增阻盘与风电机组机舱通过肘板连接。

3. 根据权利要求1或2所述一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制装置,其特征在于,所述推力增加装置的安装位置设置在上游风机的尾部。

4. 根据权利要求1或2所述一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制装置,其特征在于,所述增阻盘设置为两个带开孔的增阻盘,且两个带开孔的增阻盘沿着共轴线呈平行排布设置,通过调节两个带开孔增阻盘的相对角度,形成全开、半开、全闭三种状态,动态调节阻力系数。

5. 根据权利要求4所述一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制装置,其特征在于,两个带开孔的增阻盘包括增阻盘a和增阻盘b,增阻盘a设置为可移动式增阻盘,增阻盘b设置为固定式增阻盘,增阻盘a通过环形滑轨与增阻盘b连接,增阻盘a的内边缘设置为齿条,齿条和电机转轴连接,通过电机驱动齿条运行调节增阻盘a相对于增阻盘b的角度。

6. 一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制方法,采用权利要求1-5任意一项所述促进风力发电机尾流恢复的流动控制装置,其特征在于,具体包括如下步骤:

(1) 自由来流流过上游风机后,在上游风机的后方产生速度较低的尾流区域以及自由流动区域;

(2) 通过风机叶轮中心处安装的推力增加装置在上游风机的后方产生回流区域;

(3) 回流区域控制尾流进入绝对不稳定状态,尾流产生周期性的摆动,周期性的摆动控制尾流区域和自由流动区域之间的掺混,消散尾流;

(4) 周期性的摆动控制下游风机间歇性的免受尾流区域的影响,提升时均发电量。

7. 根据权利要求6所述一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制方法,其特征在于,所述步骤(3)和(4)中回流区域控制尾流以固有频率产生呈“S”形的周期性的摆动。

## 一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制装置和方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于风力发电设备技术领域,具体涉及一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制装置和方法。

### 背景技术

[0002] 大型风力发电场是大规模开发利用风能的重要手段。然而,同一风电场中的多个风机之间会相互干扰。这种干扰的主要表现是风机在把风能转化为电能后会产生速度较低的尾迹流动,可使位于尾流当中的下游风机的发电量下降40%之多。为减弱尾流干扰,一种方案是可以通过调整风机排布方式来扩大风机之间的距离;第二种方案可以改进现有的风机设计来促进风机尾流的消散,缩短尾流的影响距离。当前的风电场优化技术多属于第一种,但是这些技术都不可避免地减少了单位面积内的风机数量,降低了土地的利用效率。因此有必要发展第二种方案。

[0003] 在这一方面,现有的公开技术包括专利CN207470356U、W02018177493A1等,其共同原理是在风机机舱尾部增加复杂的流动干扰结构,通过提高尾流的湍流脉动来促进尾流和外流间的掺混,以达到加快尾流消散的目的。但是,以上装置的共同缺陷在于其影响范围和其自身大小相当,其尺寸要和风机直径相同才能对整个尾流产生影响(如CN207470356U)。因此,如何研发一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制方法和装置,以解决风机减弱尾流干扰的技术问题,具有重要的现实意义。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术中存在的风机减弱尾流干扰的技术问题,本发明的目的在于提供一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制装置和方法,更为具体的是,一种用于减弱水平轴风力发电机阵列间尾流影响的流动控制方法。

[0005] 本发明采取的技术方案为:

[0006] 一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制装置,包括自前向后间隔一定距离平行设置的上游风机和下游风机,在上游风机叶轮中心处安装有推力增加装置,通过推力增加装置提升尾部中心推力系数,通过推力增加装置在上游风机的后方产生回流区域,进而控制尾流自发地产生周期性地摆动。控制尾流从一般的对流不稳定状态转变为绝对不稳定状态,提升尾流与自由来流之间的掺混效率,最终加快尾流的恢复、减弱对下游风力发电机的影响。

[0007] 中心处推力增加装置包括两个主要的设计指标:(1)装置的尺寸和(2)推力系数。这些参数可以通过以下方法获得,

[0008] (1)通过叶素法(Blade Element Method)确定现有风机叶片的推力分布;

[0009] (2)根据叶片推力分布找到叶轮中心推力较低的区域;

[0010] (3)设计推力增加装置,使其大小能覆盖低推力的中心区,使其推力系数大于1;

[0011] (4)使用计算流体力学验证增设推力增加装置的效果。

[0012] 进一步的,所述推力增加装置设置为一个用于增加流动阻力的增阻盘,增阻盘采用刚性材质设置为圆形结构,固定在上游风机的机舱上。

[0013] 进一步的,所述增阻盘的圆盘沿着垂直于上游风机的迎风方向设置,增阻盘的圆心位于通过上游风机主轴的直线上,增阻盘与风电机组机舱通过肘板连接。

[0014] 进一步的,所述增阻盘上设有开孔,通过开孔调节阻力系数。

[0015] 更进一步的,所述开孔设置为中空镂空结构,包括第一边缘、第二边缘,第一边缘、第二边缘的长度一致且沿着增阻盘的半径呈对称式排布设置,第一边缘与第二边缘的顶端之间设置有第一圆弧过渡部,第一边缘与第二边缘的底端之间设置有第二圆弧过渡部,第一圆弧过渡部的长度小于第二圆弧过渡部的长度。

[0016] 进一步的,所述推力增加装置的安装位置设置在上游风机叶片之间、或上游风机的尾部、或通过支撑结构安装在上游风机和下游风机之间。

[0017] 进一步的,所述增阻盘设置为两个带开孔的增阻盘,且两个增阻盘沿着共轴线呈平行排布设置,通过调节两个带开孔增阻盘的相对角度,形成全开、半开、全闭三种状态,动态调节阻力系数。

[0018] 更进一步的,增阻盘包括增阻盘a和增阻盘b,增阻盘a设置为可移动式增阻盘,增阻盘b设置为固定式增阻盘,增阻盘a通过环形滑轨与增阻盘b连接,增阻盘a的内边缘设置为齿条,齿条和电机转轴连接,通过电机驱动齿条运行调节增阻盘a相对于增阻盘b的角度。

[0019] 进一步的,所述推力增加装置包括回流桨,回流桨的主体设置为板状结构、齿状结构、扇叶形结构或其他对称式几何结构形状。

[0020] 进一步的,所述回流桨的圆盘直径依据上游风机叶片的气动性能设置,回流桨的直径设置为与产生的回流区域相互适配,回流桨的直径设置为上游风机叶片直径的20%左右。

[0021] 一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制方法,采用所述促进风力发电机尾流恢复的流动控制装置,其特征在于,具体包括如下步骤:

[0022] (1) 自由来流流过上游风机后,在上游风机的后方产生速度较低的尾流区域以及自由流动区域;

[0023] (2) 通过风机叶轮中心处安装的推力增加装置在上游风机的后方产生回流区域;

[0024] (3) 回流区域控制尾流进入绝对不稳定状态,尾流产生周期性的摆动,周期性的摆动控制尾流区域和自由流动区域之间的掺混,消散尾流;

[0025] (4) 周期性的摆动控制下游风机间歇性的免受尾流区域的影响,提升时均发电量。

[0026] 进一步的,所述步骤(3)和(4)中回流区域控制尾流以固有频率产生呈“S”形的周期性的摆动。

[0027] 本发明的有益效果为:

[0028] 本发明利用这一原理的尾迹控制装置的尺寸小,结构简单,易于安装维护,可以方便地安装在现有风机型号之上。通过数值模拟检验,本方法能提升下游风机处的风速15%以上。克服了现有的尾流消散装置仅能影响局部流场的缺陷,利用小尺寸的装置实现对尾流整体的扰动,最终达到增强掺混、促进尾流恢复、降低因尾迹遮蔽效应带来的风电场发电损失。

## 附图说明

- [0029] 图1为现有技术中以俯视图表示的尾迹控制方法的原理示意图。
- [0030] 图2为本发明中以俯视图表示的尾迹控制方法的原理示意图。
- [0031] 图3为本发明的实施例1中的风机的结构示意图。
- [0032] 图4为本发明的实施例1中的风机的正视图。
- [0033] 图5为本发明的实施例1中的风机的侧视图。
- [0034] 图6为本发明的实施例1中的风机的俯视图。
- [0035] 图7为本发明中增阻盘与风电机组机舱连接结构示意图。
- [0036] 图8为图7的正视图。
- [0037] 图9为本发明中两个带孔增阻盘的相对角度调节形成具有(a)全开(b)半开(c)全闭三种状态结构示意图。
- [0038] 图10为本发明实施例中增阻盘a与增阻盘b连接结构示意图。
- [0039] 其中,1、上游风机;2、下游风机;3、自由流动区域;4、尾流区域;5、推力增加装置;6、回流区域;7、增阻盘;8、开孔;8-1、第一边缘;8-2、第二边缘;8-3、第一圆弧过渡部;8-4、第二圆弧过渡部;9、肘板;7-1、增阻盘a;7-2、增阻盘b;10、电机;11、齿条;12、风电机组机舱。

## 具体实施方式

- [0040] 下面结合附图进一步说明本发明。
- [0041] 实施例1
- [0042] 如图1所示,风从左至右流过,图中,当自由来流流过上游风机1之后,在其后方产生了速度较低的尾流区域4,引起下游风机2发电量损失。
- [0043] 如图2所示,一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制装置,包括自前向后间隔一定距离平行设置的上游风机1和下游风机2,所述上游风机1的尾部设置有增阻盘7,通过增阻盘7在上游风机1的后方产生回流区域6。
- [0044] 在图2中,上游风机1尾部增加了增阻盘7,并在其后方产生了回流区域6,根据流动稳定性理论,回流区域6将使尾流产生周期性的摆动。这种摆动能使下游风机2间歇性的免受尾流区域4的影响,因而提升时均发电量,另外这种摆动还促进了尾流区域4和自由流动区域3之间的掺混,有利于尾流的消散。推力增加装置5需保证能其后方产生足够大的回流区域6即可。
- [0045] 如图3-图6展示了一种实施例,推力增加装置5包括增阻盘7,增阻盘7的主体设置为呈圆盘形刚性结构,增阻盘7固定在上游风机1的机舱上,不随风机叶片的旋转而运动。增阻盘7的圆盘沿着垂直于上游风机1的迎风方向设置,圆心位于通过上游风机1主轴的直线上。增阻盘7的圆盘直径依据上游风机1叶片的气动性能设置,增阻盘7的直径设置为与产生的回流区域6相互适配,增阻盘7的直径一般设置为上游风机1叶片直径的20%左右。
- [0046] 本发明的运行原理是通过在风机中心区域局部地增加阻力系数,令尾迹中心区域产生回流,使得风机尾流整体从对流不稳定性状态变为绝对不稳定性状态,进而使风机的尾流以固有频率产生整体的大尺度蜿蜒摆动(类似于卡门涡街),最终整体地提升尾迹和外流的掺混,达到促进尾迹速度亏损消散的最终目的。

[0047] 在实施例1的基础上,不同于实施例1,本发明的又一实施例,如图7和图8所示,增阻盘7与风电机组机舱12通过肘板9连接,肘板9设置为L形支撑架,L形支撑架的中部设置有一倾斜式加强板,肘板9沿着风电机组机舱12的四周设置为数组,起到稳定的支撑固定作用。风电机组机舱12和增阻盘相互连接处设置为倾斜式架板,风电机组机舱12的上下两端分别设置为圆柱形卡接边,风电机组机舱12的四周分别和肘板9的垂直支撑架相互连接,安装牢固,可靠性强。

[0048] 在实施例1的基础上,不同于实施例1,本发明的又一实施例,如图7和图8所示,增阻盘7上设有开孔8,且开孔8沿着增阻盘7的中心呈环形等间距排布设置,开孔8设置为扇形孔结构,相邻的扇形孔之间的间距设置为一致,通过开孔8调节阻力系数。

[0049] 如图7和图8所示,开孔8设置为中空镂空结构,每个增阻盘7上设置有6个开孔8,每个开孔8分别包括第一边缘8-1、第二边缘8-2,第一边缘8-1、第二边缘8-2的长度一致且沿着增阻盘7的半径呈对称式排布设置,第一边缘8-1与第二边缘8-2的顶端之间设置有第一圆弧过渡部8-3,第一边缘8-1与第二边缘8-2的底端之间设置有第二圆弧过渡部8-4,第一圆弧过渡部8-3的长度小于第二圆弧过渡部8-4的长度。通过该开孔8的结构设计,实现阻力系数的调节,增加了适用性,应用前景广阔。

[0050] 在实施例1的基础上,不同于实施例1,本发明的又一实施例,如图9所示,增阻盘7设置为两个带开孔8的增阻盘7,分别为增阻盘a7-1和增阻盘b7-2,且两个增阻盘7沿着共轴线呈平行排布设置,增阻盘a7-1和增阻盘b7-2呈同轴排布安装,二者之间间隔形成一定的空隙,通过调节两个带开孔8增阻盘7的相对角度,形成全开、半开、全闭三种状态,动态调节阻力系数。

[0051] 在实施例1的基础上,不同于实施例1,本发明的又一实施例,如图10所示,增阻盘a7-1设置为可移动式增阻盘7,增阻盘b7-2设置为固定式增阻盘7,增阻盘a7-1通过环形滑轨与增阻盘b7-2连接,增阻盘a7-1的内边缘设置为齿条11,齿条11和电机10转轴连接,通过电机10驱动齿条11运行调节增阻盘a7-1相对于增阻盘b7-2的角度。通过电机10可实现开孔8相对角度精准调节,操作方便快捷,环形滑轨起到限位作用,避免增阻盘a7-1相对于增阻盘7相对脱轨现象,延长使用寿命,维修更换方便快捷,提高实用性。

[0052] 在实施例1的基础上,不同于实施例1,本发明的又一实施例,一种促进风力发电机尾流恢复的流动控制方法,采用所述促进风力发电机尾流恢复的流动控制装置,具体包括如下步骤:

[0053] (1) 自由来流流过上游风机1后,在上游风机1的后方产生速度较低的尾流区域4以及自由流动区域3;

[0054] (2) 通过提升尾部中心推力系数的装置在上游风机1的后方产生回流区域6;

[0055] (3) 回流区域6控制尾流产生周期性的摆动,周期性的摆动控制尾流区域4和自由流动区域3之间的掺混,消散尾流;

[0056] (4) 回流区域6控制尾流产生周期性的摆动,周期性的摆动控制下游风机2间歇性的免受尾流区域4的影响,提升时均发电量。

[0057] 进一步的,所述步骤(3)和(4)中回流区域6控制尾流产生呈“S”形的周期性的摆动。

[0058] 以上所述并非是对本发明的限制,应当指出:对于本技术领域的普通技术人员来

说,在不脱离本发明实质范围的前提下,还可以做出若干变化、改型、添加或替换,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

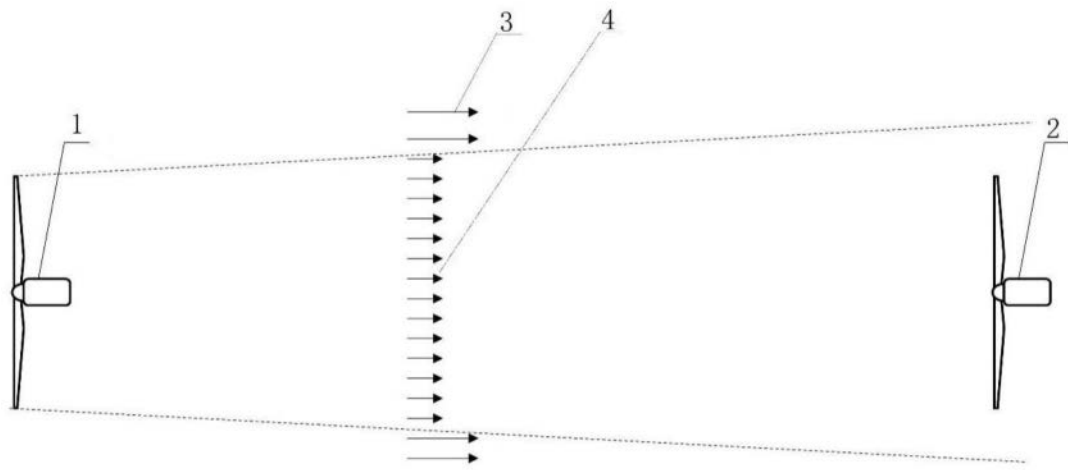


图1

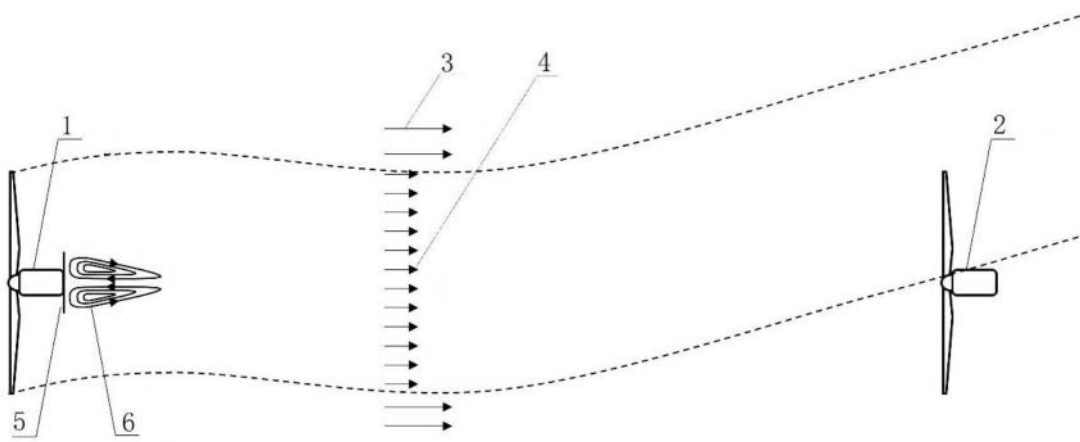


图2

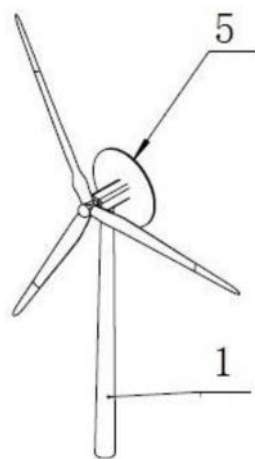


图3



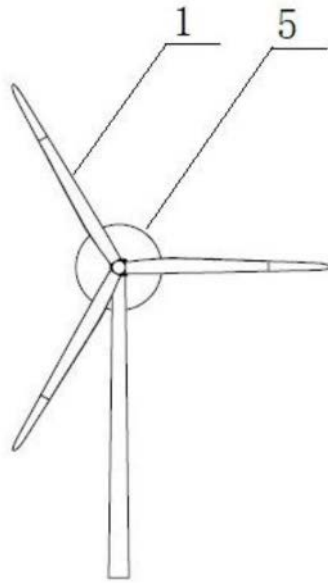


图4

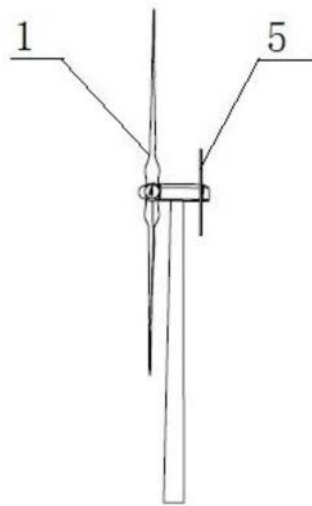


图5

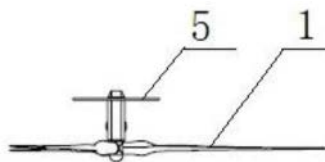


图6

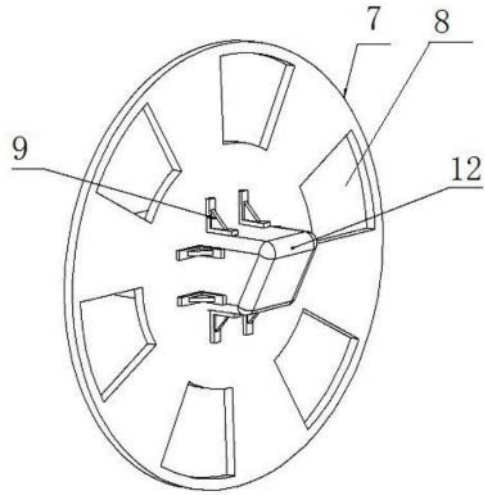


图7

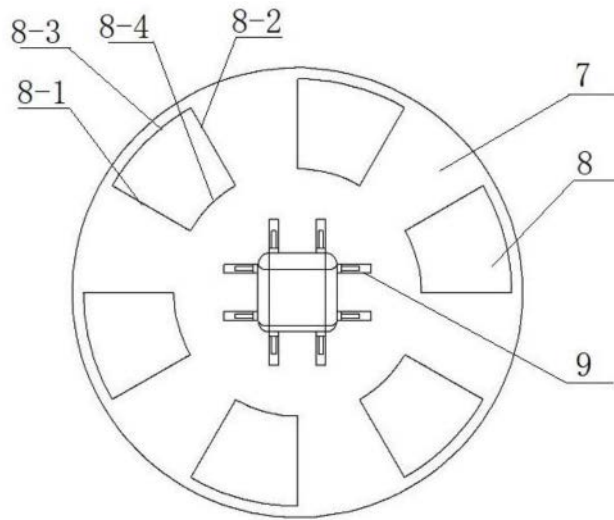


图8

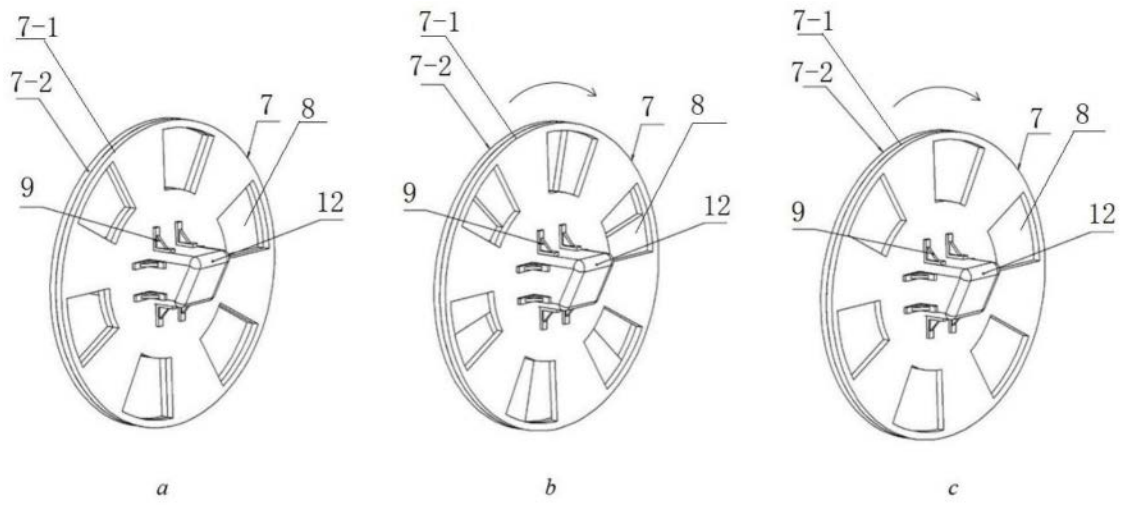


图9

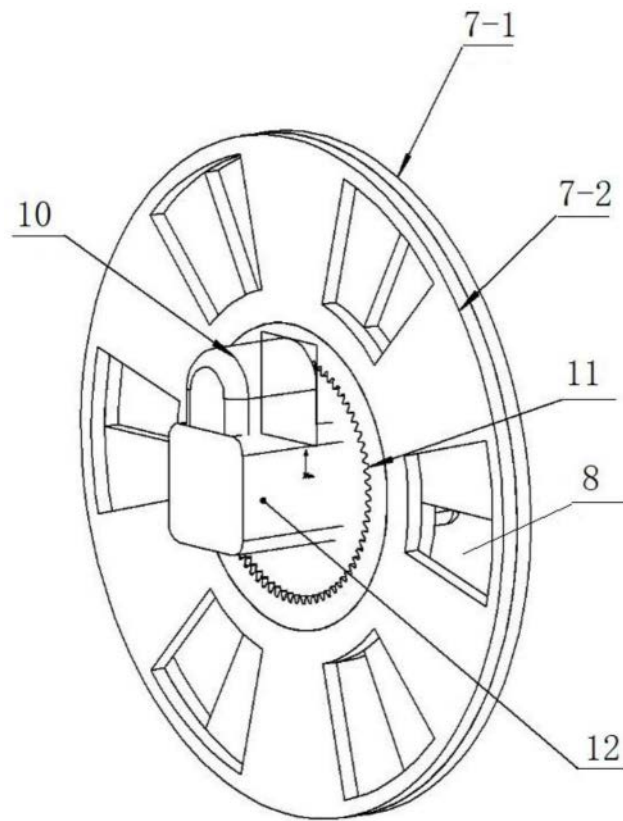


图10