



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 120498332 A

(43) 申请公布日 2025.08.15

(21) 申请号 202510495968.4

G06F 113/08 (2020.01)

(22) 申请日 2025.04.21

(71) 申请人 石家庄铁道大学

地址 050000 河北省石家庄市北二环东路  
17号

(72) 发明人 马文勇 张淑慧 苏政忠

(74) 专利代理机构 河北中科律政知识产权代理

事务所(普通合伙) 13182

专利代理师 王丽巧

(51) Int.Cl.

H02S 20/00 (2014.01)

H02S 30/00 (2014.01)

G06F 30/23 (2020.01)

G06T 17/20 (2006.01)

G06F 111/10 (2020.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

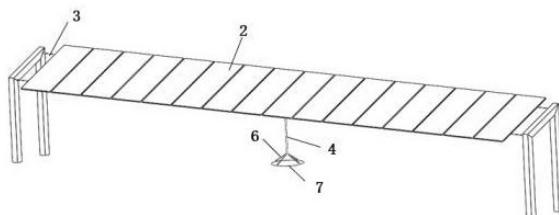
渔光互补抗风型光伏支架及其弱耦合数值  
模拟方法

(57) 摘要

本发明公开了一种渔光互补抗风型光伏支架及其弱耦合数值模拟方法,属于光伏设备技术领域,抗风型光伏支架包括横跨在鱼塘上方的柔性索及其两侧的立柱,两根以上柔性索并列承托光伏组件,相邻柔性索之间的支撑杆中部与垂直杆铰接相连,垂直杆下端与水下阻尼结构相连;弱耦合数值模拟方法将风荷载、支架振动和水阻效应分步耦合计算,将风洞试验数据分区映射到光伏组件表面,模拟非均匀风压分布;采用动网格技术捕捉阻尼网的流固交互过程。本发明采用“水下阻尼结构+柔性铰接”的复合结构将风致振动传递至水下阻尼结构,利用水的阻力抑制支架的大幅振动;通过分步耦合策略既避免了传统强耦合方法的高计算成本,又保证了关键物理场的交互精度。

A

CN 120498332



CN

1. 一种渔光互补抗风型光伏支架,其特征在于:包括横跨在鱼塘上方的柔性索及设置于鱼塘边缘的立柱,所述柔性索为两根以上并列,用于承托光伏组件;相邻柔性索之间通过刚性的支撑杆相连,所述支撑杆的中部与刚性的垂直杆上端铰接相连,所述垂直杆的下端延伸至水面以下1~1.5m,所述垂直杆的下端与水下阻尼结构相连。

2. 根据权利要求1所述的一种渔光互补抗风型光伏支架,其特征在于:所述水下阻尼结构包括柔性的阻尼网和多根刚性的分支杆,多根分支杆呈伞状布置,多根分支杆的顶部与垂直杆的下端相连,多根分支杆的末端分别与阻尼网的四周边缘相连,所述阻尼网的孔隙率为20%。

3. 根据权利要求2所述的一种渔光互补抗风型光伏支架,其特征在于:所述垂直杆的上端通过铰接头与支撑杆相连,所述铰接头包括球冠状的连接座和球头,所述连接座的外壁固定于支撑杆的底面上,所述球头设置于连接座内,且连接座的开口直径小于球头的直径;所述球头固定于垂直杆的上端。

4. 根据权利要求3所述的一种渔光互补抗风型光伏支架,其特征在于:所述垂直杆能够在45°内摆动;所述连接座与球头之间填充弹性衬套。

5. 根据权利要求2所述的一种渔光互补抗风型光伏支架,其特征在于:所述分支杆通过快拆扣与阻尼网相连。

6. 根据权利要求2所述的一种渔光互补抗风型光伏支架,其特征在于:所述分支杆为3~5根,相邻两根分支杆的夹角为120°~150°。

7. 根据权利要求3所述的一种渔光互补抗风型光伏支架,其特征在于:所述支撑杆及垂直杆为碳纤维或玻璃纤维增强塑料材质;所述连接座及球头均采用不锈钢材质。

8. 根据权利要求2所述的一种渔光互补抗风型光伏支架,其特征在于:所述阻尼网为高强度尼龙或聚酯纤维材质,所述阻尼网表面涂覆防腐蚀涂层。

9. 根据权利要求2所述的一种渔光互补抗风型光伏支架,其特征在于:所述阻尼网大小不超过3平方米。

10. 一种渔光互补抗风型光伏支架的弱耦合数值模拟方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤一:采集如权利要求2-9任一项所述的渔光互补抗风型光伏支架的实际尺寸;

步骤二:利用ANSYS APDL软件建立柔性光伏支架的有限元模型,在布置阻尼网位置的相邻柔性索之间增加支撑杆;并对柔性索施加预应力,进行静力计算,调节预应力大小来匹配实际工程中渔光互补抗风型光伏支架的垂跨比,得到柔性光伏支架和支撑杆的有限元模型;

步骤三:将风洞试验得到的光伏组件所受风压系数时程数据按时间缩尺比还原到实际工程中渔光互补抗风型光伏支架,并与基本风压相乘,得到光伏组件各区域的风压力时程数据;将有限元模型的每个光伏组件划分为n部分,分别对应试验模型每列n个测点所在区域,对有限元模型进行加载,计算完毕后,将柔性索上的每个节点的竖向位移变化时程数据分别导出;

步骤四:通过两根柔性索跨中位置节点的竖向位移时程数据确定跨中位置处的合成竖向位移时程和扭转位移时程,通过计算得到跨中位置竖向位移和扭转位移的平均值和脉动值;

步骤五:在space Claim软件中,首先先画出水域部分,将上表面标记为“output”,其他面标记为“wall”;再次打开space Claim软件,绘制出阻尼网的形状,标记为“wang”,创建一个包裹住阻尼网的长方体阻尼区域,表面标记为neibumian;

步骤六:在ANSYS APDL软件中打开Mesh模块,导入水域部分几何模型,增长率全部改为1.1,其他参数按照默认设置即可,生成体网格;打开阻尼区域部分,增长率全部改为1.1,在阻尼网边界区域施加局部网格加密,其他参数按照默认设置,生成体网格;

步骤七:编写用户自定义函数udf,将ANSYS APDL软件中计算得到的竖向位移时程数据以静态数组形式存储于udf中,并通过CG\_MOTION宏实现动态边界条件映射;

步骤八:打开ANSYS Fluent软件中打开Solution模块,读入水域部分体网格,将阻尼部分体网格作为附加读入;将流体材料调整为液态水和空气,多相流选择流体体积法vof,粘性模型选择k-epsilon模型,调整重叠网格交界面,调节动网格参数,输出“wang”表面平均压力后开始计算;

步骤九:将在ANSYS Fluent软件Solution模块中得到的阻尼网在水下运动产生的阻力时程数据施加到支撑杆上,同时将风荷载施加到光伏组件,计算100秒,得到柔性索上每个节点的竖向位移变化时程数据;

重复步骤四,计算得到布设阻尼网后的跨中位置处竖向位移和扭转位移的平均值和脉动值;

步骤十:对比布设阻尼网前后的跨中位置处竖向位移和扭转位移平均值和脉动值的变化,确定阻尼网的抑振效果。

## 渔光互补抗风型光伏支架及其弱耦合数值模拟方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于光伏设备技术领域,特别涉及一种渔光互补抗风型光伏支架及其弱耦合数值模拟方法。

### 背景技术

[0002] 渔光互补是一种将光伏发电与水产养殖相结合的新型绿色能源模式,通过在鱼塘、湖泊等水域上方架设光伏组件,实现“上方发电、下方养鱼”的双重效益。该模式不仅提高了土地资源利用率,还促进了清洁能源与生态养殖的协同发展。近年来,随着柔性光伏技术不断进步,凭借其轻量化、安装便捷及对复杂地形的良好适应性,逐渐成为渔光互补项目的优选方案。

[0003] 由于柔性光伏支架刚度低,在强风作用下易发生大幅振动,不仅影响光伏发电的稳定性和效率,还可能加剧组件与支架的疲劳损伤,缩短使用寿命。更严重的是,剧烈振动可能导致组件脱落或结构失稳,对下方水产养殖设施及周边环境造成潜在安全隐患。

[0004] 目前,针对柔性光伏组件在大风条件下发生大幅振动问题,常见的解决方案主要包括:

(1) 增加支架刚度:通过强化支架结构提升抗风能力,但此方法会显著提高材料成本。

[0005] (2) 增加配重:在支架上附加配重以抑制位移,然而这种方法会显著增加整体重量,从而削弱柔性光伏组件轻量化的优势。

[0006] (3) 优化组件布局:通过调整光伏组件的排列方式来降低风荷载的影响。

[0007] 这些方法虽然在一定程度上缓解了柔性光伏的位移问题,但往往以牺牲柔性光伏的轻量化、低成本优势为代价,难以平衡轻量化与抗风性能的矛盾。

### 发明内容

[0008] 为了解决以上问题,本发明提供了一种渔光互补抗风型光伏支架及其弱耦合数值模拟方法。

[0009] 为实现上述目的,本发明所采用的技术方案如下:

一种渔光互补抗风型光伏支架,包括横跨在鱼塘上方的柔性索及设置于鱼塘边缘的立柱,所述柔性索为两根以上并列,用于承托光伏组件;相邻柔性索之间通过刚性的支撑杆相连,所述支撑杆的中部与刚性的垂直杆上端铰接相连,所述垂直杆的下端延伸至水面以下1~1.5m,所述垂直杆的下端与水下阻尼结构相连。

[0010] 进一步的,所述水下阻尼结构包括柔性阻尼网和多根刚性的分支杆,多根分支杆呈伞状布置,多根分支杆的顶部与垂直杆的下端相连,多根分支杆的末端分别与阻尼网的四周边缘相连,所述阻尼网的孔隙率为20%。

[0011] 进一步的,所述垂直杆的上端通过铰接头与支撑杆相连,所述铰接头包括球冠状的连接座和球头,所述连接座的外壁固定于支撑杆的底面上,所述球头设置于连接座内,且

连接座的开口直径小于球头的直径;所述球头固定于垂直杆的上端。

[0012] 进一步的,所述垂直杆能够在45°内摆动;所述连接座与球头之间填充弹性衬套。

[0013] 进一步的,所述分支杆通过快拆扣与阻尼网相连。

[0014] 进一步的,所述分支杆为3~5根,相邻两根分支杆的夹角为120°~150°。

[0015] 进一步的,所述支撑杆及垂直杆为碳纤维或玻璃纤维增强塑料材质;所述连接座及球头均采用不锈钢材质。

[0016] 进一步的,所述阻尼网为高强度尼龙或聚酯纤维材质,所述阻尼网表面涂覆防腐蚀涂层。

[0017] 进一步的,所述阻尼网大小不超过3平方米。

[0018] 本发明还提供一种渔光互补抗风型光伏支架的弱耦合数值模拟方法,包括如下步骤:

步骤一:采集上述渔光互补抗风型光伏支架的实际尺寸;

步骤二:利用ANSYS APDL软件建立柔性光伏支架的有限元模型,在布置阻尼网位置的相邻柔性索之间增加支撑杆;并对柔性索施加预应力,进行静力计算,调节预应力大小来匹配实际工程中渔光互补抗风型光伏支架的垂跨比,得到柔性光伏支架和支撑杆的有限元模型;

步骤三:将风洞试验得到的光伏组件所受风压系数时程数据按时间缩尺比还原到实际工程中渔光互补抗风型光伏支架,并与基本风压相乘,得到光伏组件各区域的风压力时程数据;将有限元模型的每个光伏组件划分为n部分,分别对应试验模型每列n个测点所在区域,对有限元模型进行加载,计算完毕后,将柔性索上的每个节点的竖向位移变化时程数据分别导出为文本文档;

步骤四:通过MATLAB程序读取两根柔性索跨中位置节点的竖向位移时程数据 $U_1$ 、 $U_2$ ,计算跨中位置处的合成竖向位移时程 $U(t)$ 和扭转位移时程 $A(t)$ ,通过计算得到跨中位置竖向位移和扭转位移的平均值 $U_m$ 、 $A_m$ 和脉动值 $U_s$ 、 $A_s$ ;所述MATLAB程序的实现方式示例如下:

```

 $U(t) = (U_1 + U_2) / 2;$ 
 $U_m = [\text{mean}(U(t))]$ 
 $U_s = [\text{std}(U(t))]$ 
 $A(t) = (U_1 - U_2) / d * 180 / 3.14; \quad \% d \text{ 为两根索的水平投影距离}$ 
 $A_m = [\text{mean}(A(t))]$ 
 $A_s = [\text{std}(A(t))]$ 

```

步骤五:在space Claim软件中,首先先画出水域部分,将上表面标记为“output”,其他面标记为“wall”;再次打开space Claim软件,绘制出阻尼网的形状,标记为“wang”,创建一个包裹住阻尼网的长方体阻尼区域,表面标记为neibumian;

步骤六:在ANSYS APDL软件中打开Mesh模块,导入水域部分几何模型,增长率全部改为1.1,其他参数按照默认设置即可,生成体网格;打开阻尼区域部分,增长率全部改为1.1,在阻尼网边界区域施加局部网格加密,其他参数按照默认设置,生成体网格;

步骤七:编写用户自定义函数udf,将ANSYS APDL软件中计算得到的竖向位移时程数据以静态数组形式存储于udf中,并通过CG\_MOTION宏实现动态边界条件映射;

步骤八:打开ANSYS Fluent软件中打开Solution模块,读入水域部分体网格,将阻尼部分体网格作为附加读入;将流体材料调整为液态水和空气,多相流选择流体体积法vof,粘性模型选择k-epsilon模型,调整重叠网格交界面,调节动网格参数,输出“wang”表面平均压力后开始计算;

步骤九:将在ANSYS Fluent软件Solution模块中得到的阻尼网在水下运动得到的阻力时程数据施加到支撑杆上,同时将风荷载施加到光伏组件,计算100秒,得到柔性索上每个节点的竖向位移变化时程数据;

重复步骤四,计算得到布设阻尼网后的跨中位置处竖向位移和扭转位移的平均值 $U_m$ 、 $A_m$ 和脉动值 $U_s$ 、 $A_s$ ;

步骤十:对比布设阻尼网前后的跨中位置处竖向位移和扭转位移平均值和脉动值的变化,确定阻尼网的抑振效果。

[0019] 本发明与现有技术相比,所取得的技术进步在于:

1.本发明采用“水下阻尼结构+柔性铰接”的复合抗风结构,通过支撑杆将风致振动传递至水下阻尼网,利用水的阻力抑制光伏支架的大幅振动。

[0020] 2.采用碳纤维或玻璃纤维制作的支撑杆和高强度聚合物阻尼网,整体重量大大减小,完全保留了柔性光伏轻便、易安装、适应复杂地形的特点。

[0021] 3.水下部分的阻尼网采用环保材料,不影响水体生态,保持水域自然状态。这种“光伏+生态”的协同设计理念,使项目在发电的同时兼顾生态环境保护,符合现代绿色能源的发展趋势,具有显著的社会效益和环境价值。

[0022] 4.本发明选择弱耦合数值模拟方法将风荷载、支架振动和水阻效应分步耦合计算。通过将风洞试验数据分区映射到光伏组件表面,精确模拟非均匀风压分布;同时采用动网格技术捕捉水下网状结构的流固交互过程。这种分步耦合策略既避免了传统强耦合方法的高计算成本,又保证了关键物理场的交互精度。

## 附图说明

[0023] 附图用来提供对本发明的进一步理解,并且构成说明书的一部分,与本发明的实施例一起用于解释本发明,并不构成对本发明的限制。

[0024] 在附图中:

图1为本发明实施例提供的一种渔光互补抗风型光伏支架的结构示意图;

图2为本发明实施例中垂直杆与支撑杆交界处的断面结构示意图;

图3为本发明实施例中水下阻尼结构的示意图;

图4为本发明实施例中铰接头的剖面示意图;

图5为本发明的工作原理示意图;

图6为本发明的有限元模型图;

图7为本发明阻尼区域有限元划分示意图;

图8为本发明位移时程对比图(蓝色为加阻尼网前,橙色为加阻尼网后);

图中:1、支撑杆;2、光伏组件;3、柔性索;4、垂直杆;5、铰接头;6、分支杆;7、阻尼网;8、快拆扣;9、弹性衬套。

## 具体实施方式

[0025] 下面这几个具体的实施例可以相互结合,对于相同或相似的概念或过程可能在某些实施例中不再赘述。下面将结合附图,对本发明的实施例进行描述。

[0026] 如图1、图2所示,一种渔光互补抗风型光伏支架,包括横跨在鱼塘上方的柔性索3及设置于鱼塘边缘的立柱,所述柔性索3为两根以上并列,用于承托光伏组件2;相邻柔性索3之间通过刚性的支撑杆1相连,所述支撑杆1的中部与刚性的垂直杆4上端铰接相连,所述垂直杆4的下端延伸至水面以下1~1.5m,所述垂直杆4的下端与水下阻尼结构相连。如图3所示,所述水下阻尼结构包括柔性的阻尼网7和多根刚性的分支杆6,多根分支杆6呈伞状布置,多根分支杆6的顶部与垂直杆4的下端相连,多根分支杆6的末端分别通过快拆扣8与阻尼网7的四周边缘相连,所述阻尼网7的孔隙率为20%。当风作用在光伏组件2上时,光伏支架产生位移,支撑杆1带动下方阻尼网7运动,阻尼网7在水下运动时产生与运动方向相反的阻力并由支撑杆1传递到光伏支架,以此来抑制光伏支架的振动。

[0027] 如图2、图4所示,所述垂直杆4的上端通过铰接头5与支撑杆1中部相连,所述铰接头5包括球冠状的连接座和球头,所述连接座的外壁固定于支撑杆1的底面上,所述球头设置于连接座内,且连接座的开口直径小于球头的直径;所述球头固定于垂直杆4的上端。其中,所述连接座与球头之间填充弹性衬套9,弹性衬套采用高弹性橡胶衬套,橡胶衬套吸收高频微振动,减少金属疲劳。

[0028] 具体制作时,所述分支杆6为3~5根,相邻两根分支杆6的夹角为120°~150°。支撑杆1及垂直杆4采用碳纤维或玻璃纤维增强塑料材质,兼具轻量化与高强度的特性。同时,所述连接座及球头均采用不锈钢材质,垂直杆上端球头插入连接座内并通过锁紧环固定,铰接允许垂直杆在45°内摆动。

[0029] 另外,所述阻尼网7采用高强度尼龙或聚酯纤维材质,且表面涂覆防腐蚀涂层。高强度尼龙可选用尼龙6/6(聚酰胺66)、尼龙12或尼龙66增强材料。阻尼网7通过快拆扣8与分支杆6相连,可调节张紧度。

[0030] 进一步优化上述方案,所述阻尼网7大小不超过3平方米。

[0031] 本发明还提供一种渔光互补抗风型光伏支架的弱耦合数值模拟方法,包括如下步骤:

步骤一:采集上述渔光互补抗风型光伏支架的实际尺寸;

实际尺寸包括:柔性索离地高度、跨度L、垂度d、倾角β、光伏组件间的间距、跨数、排数,柔性光伏支架的材料属性、截面面积等。

[0032] 步骤二:利用ANSYS APDL软件建立柔性光伏支架的有限元模型,在布置阻尼网位置的相邻柔性索之间增加支撑杆;并对柔性索施加预应力,进行静力计算,调节预应力大小来匹配实际工程中渔光互补抗风型光伏支架的垂跨比,得到柔性光伏支架及支撑杆的有限元模型;

步骤三:将风洞试验得到的光伏组件所受风压系数时程数据按时间缩尺比还原到实际工程中渔光互补抗风型光伏支架,并与基本风压相乘,得到光伏组件各区域的风压力时程数据;将有限元模型的每个光伏组件划分为n部分,分别对应试验模型每列n个测点所在区域,对有限元模型进行加载,计算完毕后,将柔性索上的每个节点的竖向位移变化时程数据分别导出为文本文档;

步骤四:通过两根柔性索跨中位置节点的竖向位移时程数据确定跨中位置处的合成竖向位移时程和扭转位移时程,通过计算得到跨中位置竖向位移和扭转位移的平均值和脉动值;

步骤五:在space Claim软件中,首先先画出水域部分,将上表面标记为“output”,其他面标记为“wall”;再次打开space Claim软件,绘制出阻尼网的形状,标记为“wang”,创建一个包裹住阻尼网的长方体阻尼区域,表面标记为neibumian;

步骤六:在ANSYS Fluent软件中打开Mesh模块,导入水域部分几何模型,增长率为全部改为1.1,其他参数按照默认设置即可,生成体网格;打开阻尼区域部分,增长率为全部改为1.1,在阻尼网边界区域施加局部网格加密,其他参数按照默认设置即可,生成体网格;

步骤七:编写用户自定义函数udf,将ANSYS APDL软件计算得到的竖向位移时程数据以静态数组形式存储于UDF中,并通过CG\_MOTION宏实现动态边界条件映射;

步骤八:打开ANSYS Fluent软件中打开Solution模块,读入水域部分体网格,将阻尼部分体网格作为附加读入;将流体材料调整为液态水和空气,多相流选择流体体积法vof,粘性模型选择k-epsilon模型,调整重叠网格交界面,调节动网格参数,输出“wang”表面平均压力后开始计算;

步骤九:将ANSYS Fluent软件Solution模块中得到的阻尼网在水下运动得到的阻力时程数据施加到支撑杆上,同时将风荷载施加到光伏组件,计算100秒,得到柔性索上的每个节点的竖向位移变化时程数据;

重复步骤四,计算得到布设阻尼网后的跨中位置处竖向位移和扭转位移的平均值 $U_m$ 、 $A_m$ 和脉动值 $U_s$ 、 $A_s$ ;

步骤十:对比布设阻尼网前后的跨中位置处竖向位移和扭转位移平均值的变化,确定水下阻尼结构的抑振效果。

[0033] 以下通过一个具体实施例来对上述方案进行解释说明。

[0034] 1)以某柔性光伏工程方案为研究背景,该工程为单排单跨,跨度 $L=19.9m$ ,高 $2.5m$ ,垂跨比为 $L/200$ 倾角 $25^\circ$ ,组件尺寸为 $2.278m \times 1.134m \times 0.03m$ ,相邻两光伏组件间距 $0.04m$ ,两根柔性索间距为 $1.4m$ ,在本柔性光伏支架跨中位置架设支撑杆、垂直杆及水下阻尼网。创建节点坐标和单元,根据以上信息和材料属性及截面面积进行有限元建模,调节施加的预应力大小达到垂跨比为 $L/200$ ,此时迎风侧柔性索的预应力大小为 $19.1kN$ ,另一根柔性索的预应力 $22.7kN$ 。

[0035] 2)在进行有限元建模时,将光伏组件划分为六部分,分别对这六部分施加基本风压为 $0.5$ 的风荷载时程,风荷载时程是通过柔性光伏支架刚性测压实验获得的风压系数时程与基本风压相乘得到的,计算风向角为 $0^\circ$ 的工况。在计算中开启大变形与应力刚化效应,总计算时长为100秒,采用变步长求解策略,基准载荷步长设为0.001秒,时间步长动态调整范围设定为0.0001至0.002秒,并启用自适应时间步长控制模块,每20个载荷步输出一个结果。通过上述设置获取跨中节点的竖向位移时程。

[0036] 3)将跨中位移时程文件导入MATLAB文件,将其转化为竖向位移和扭转位移的平均值和脉动值。计算得到的 $0^\circ$ 风向角竖向位移的平均值和脉动值为 $-0.254m$ 、 $0.058m$ ,风振系数为 $1.571$ 。

[0037] 4)在space Claim软件中,首先先画出 $11m \times 11m \times 8m$ 的水域部分,将上表面标记为

output, 其他面标记为wall。再次打开软件, 创建一个3m\*3m\*2m的长方体阻尼区域, 表面标记为neibumian, 在阻尼区域绘制一个直径为1m的圆形, 孔隙率为20%, 拉伸厚度为2mm, 标记为wang。

[0038] 5) 在ANSYS Fluent软件中打开Mesh模块, 导入水域部分几何模型, 增长率全部改为1.1, 其他按照默认设置即可, 生成体网格。打开阻尼区域部分, 添加局部尺寸, 选中“wang”, 增长率调整为1.1, 目标网格尺寸与“wang”厚度一致; 生成表面网格, 最小尺寸为0.002m, 最大尺寸为0.04m, 增长率调整为1.1, 对face施加临近检测; 描述几何结构, 几何结构类型调整为几何图形仅由没有空隙的流体区域组成; 更新边界时, 将“neibumian”调整为internal; 更新区域时将“wang”区域改为“dead”, 其余区域改为“fluid”; 添加边界层, 选择“wang”, 将偏移方法类型选择“uniform”, 层数为4层, 选择在“selected-labels”增长; 生成体网格, 选择poly-hexcore充满, 缓冲层为4层, 最小单元长度0.002m。完成网格划分。

[0039] 6) 编写用户自定义函数udf, 将ANSYS APDL软件计算得到的竖向位移时程数据以静态数组形式存储于UDF中, 并通过CG\_MOTION宏实现动态边界条件映射(由于数据较多, 再次以5个数据点展示):

```
#include "udf.h"
#define NUM_POINTS 5 // 数据点数量
static real time_data[NUM_POINTS] = {0.00, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08};
// 时间序列
static real displacement_data[NUM_POINTS] = {0.00, -0.01, -0.03, -0.07, -0.12}; // 竖向位移变化时程数据
DEFINE(CG_MOTION)(velocity, dt, vel, omega, time, dtime) {
    for (int i = 0; i < NUM_POINTS - 1; i++) {
        if (time >= time_data[i] && time < time_data[i+1]) {
            vel[2] = (displacement_data[i+1] - displacement_data[i]) /
            (time_data[i+1] - time_data[i]); // 计算分段速度
            break;
        }
    }
}
```

打开ANSYS Fluent软件中打开Solution模块, 读入水域部分体网格, 将阻尼部分作为附加读入体网格。修改流体材料整为液态水和空气, 多相流选择vof, 勾选隐式体积力, 粘性模型选择k-epsilon, 设置重叠网格交界面。编译udf, 动网格方法选择光滑和网格重构, 6自由度, 调节动网格参数, 设置输出“wang”表面平均压力后开始计算。

[0040] 8) 将ANSYS Fluent软件Solution模块中得到的阻尼网在水下运动得到的阻力时程数据施加到支撑刚性杆上, 同时将风荷载施加到光伏组件, 计算100秒时长, 得到每个节点竖向位移。

[0041] 重复步骤四, 计算得到布设阻尼网后的0°风向角竖向位移的平均值和脉动值为-0.257m、0.037m, 风振系数为1.36。通过对比, 布设阻尼网前后跨中位置竖向位移平均值几乎没有变化, 但脉动值降低了36.2%, 风振系数降低了13.4%, 抑振效果显著。

[0042] 综上所述,本发明具有以下优点:

1.本发明采用"水下阻尼结构+柔性铰接"的复合抗风结构,通过刚性支撑杆将风致振动传递至水下网状的阻尼网,利用水的阻力抑制光伏支架的大幅振动。铰接头不仅内嵌高弹性橡胶衬套,吸收高频微振动,又允许结构随风向水流自适应摆动。这种双重抑振机制可有效抑制支架的大幅振动,防止光伏组件脱落和结构疲劳损伤。

[0043] 2.装置采用碳纤维或玻璃纤维制作的刚性支撑杆和高强度聚合物制作的阻尼网,整体重量大大减小,完全保留了柔性光伏轻便、易安装、适应复杂地形的特点。采用快拆扣保证了安装的便捷性,又便于后期维护更换,真正实现了"以轻制振"的技术突破。

[0044] 3.水下阻尼结构采用环保材料,网状结构不影响水体生态,保持水域自然状态。这种"光伏+生态"的协同设计理念,使项目在发电的同时兼顾生态环境保护,符合现代绿色能源的发展趋势,具有显著的社会效益和环境价值。

[0045] 4.本发明选择弱耦合数值模拟方法将风荷载、支架振动和水阻效应分步耦合计算。通过将风洞试验数据分区映射到光伏组件表面,精确模拟非均匀风压分布;同时采用动网格技术捕捉水下网状结构的流固交互过程。这种分步耦合策略既避免了传统强耦合方法的高计算成本,又保证了关键物理场的交互精度。

[0046] 最后应说明的是:以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,对于本领域的技术人员来说,其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明权利要求保护的范围之内。

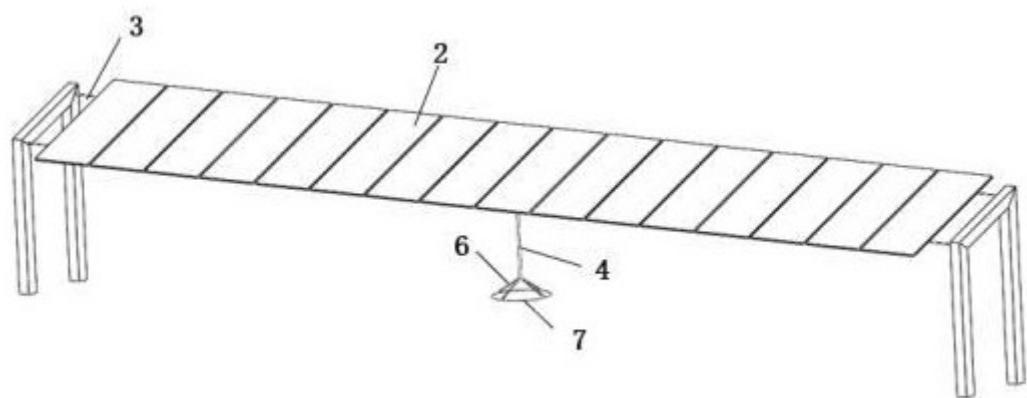


图 1

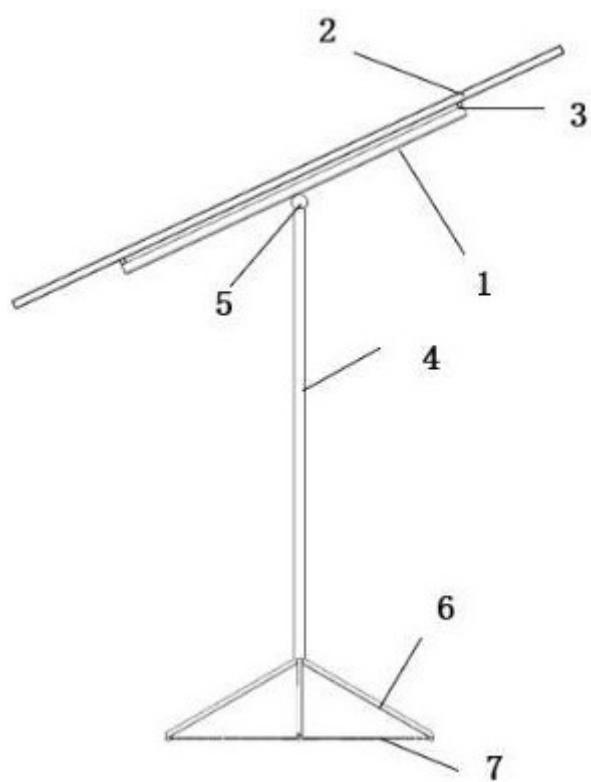


图 2

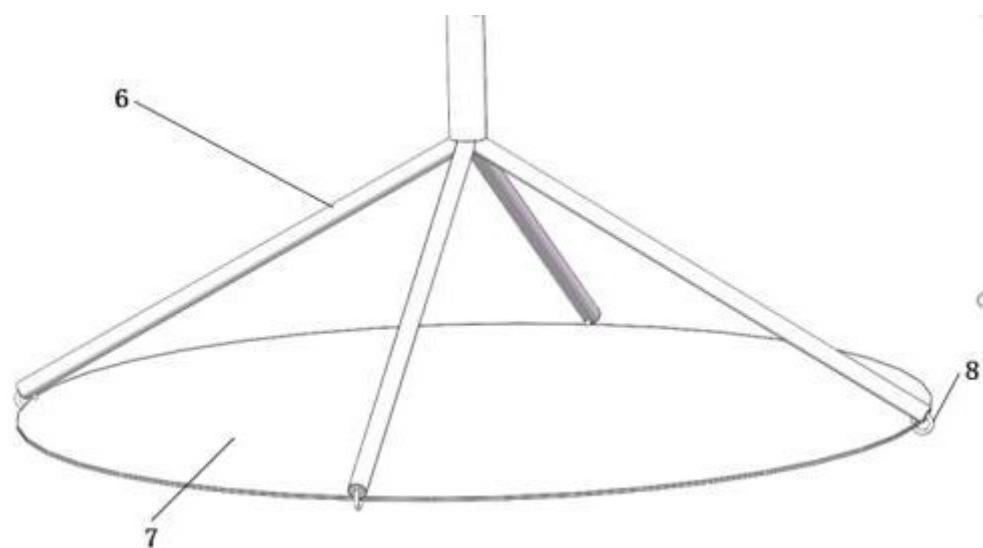


图 3

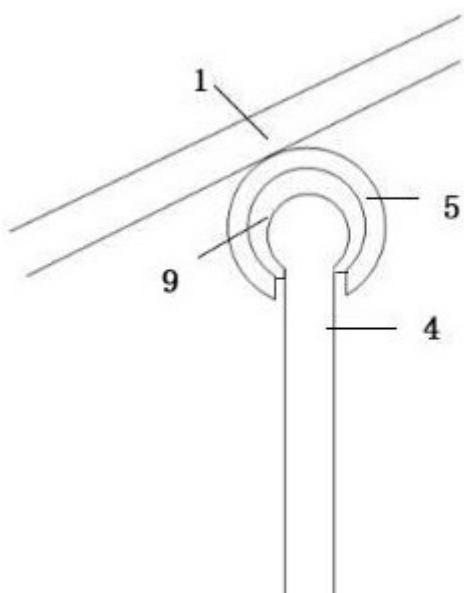


图 4

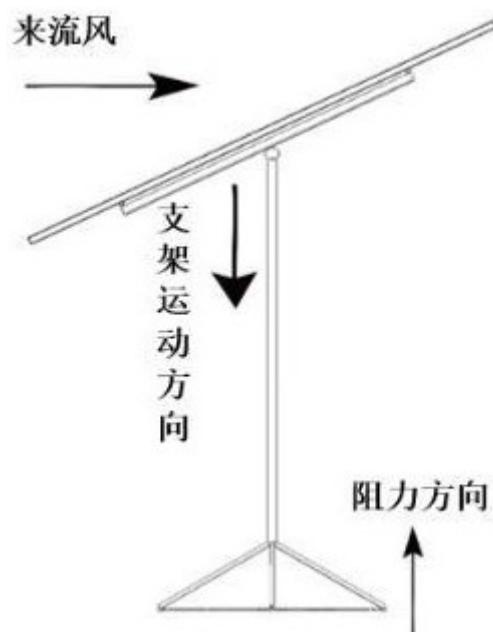


图 5



图 6

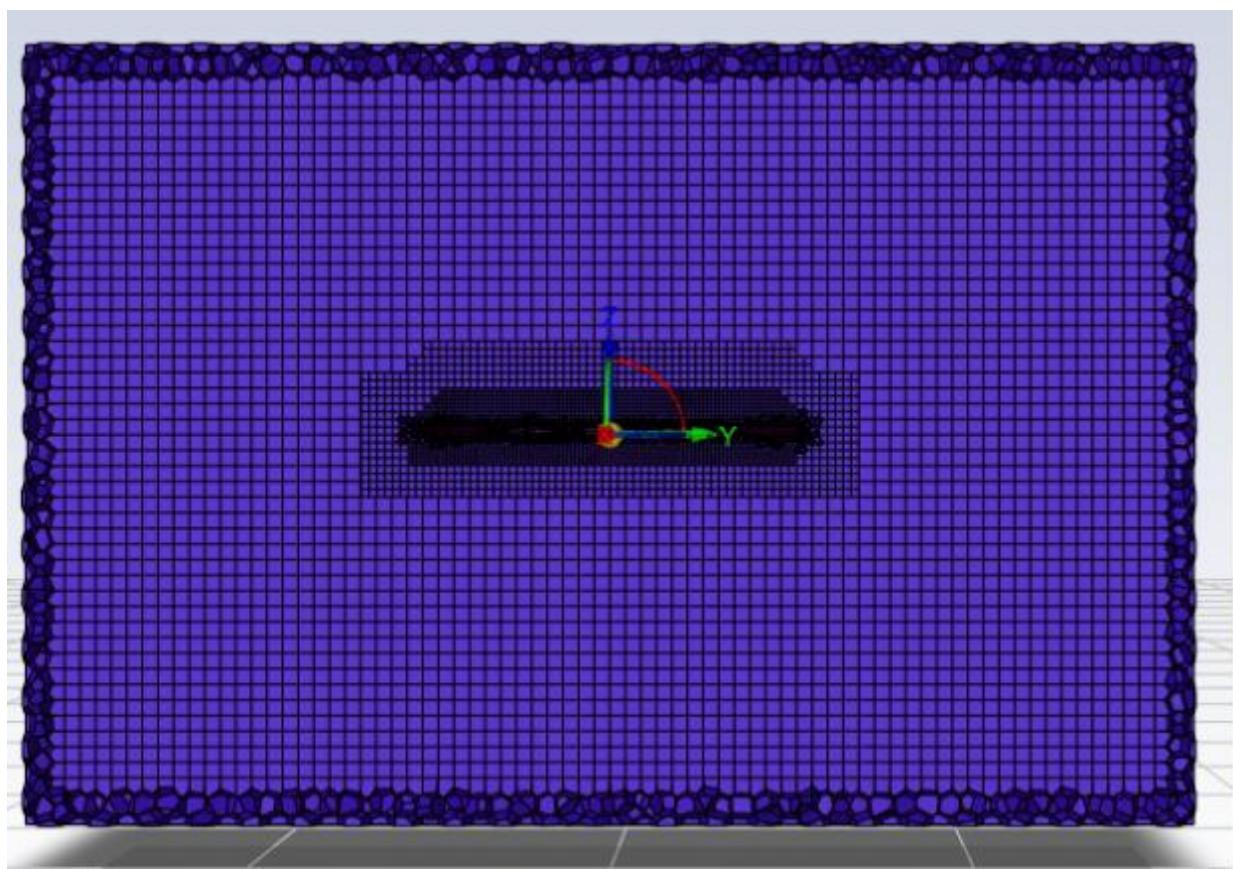


图 7

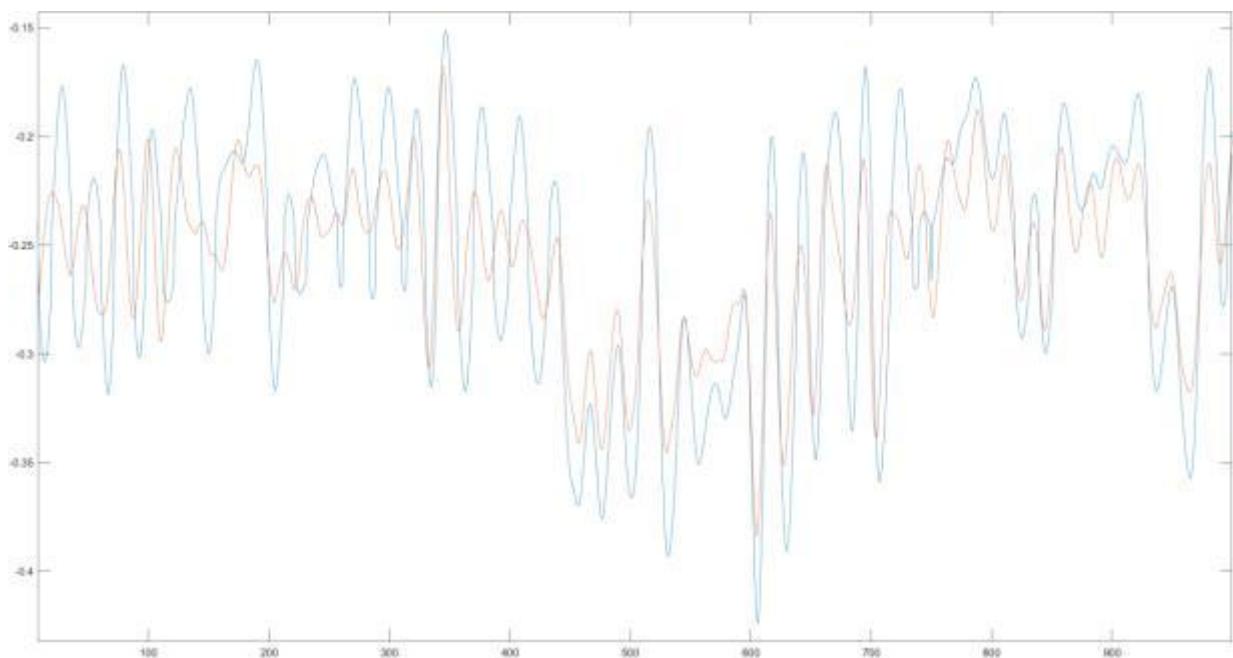


图 8