

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810038014.7

[51] Int. Cl.

F03D 7/00 (2006.01)

F03D 11/00 (2006.01)

F16F 15/00 (2006.01)

[43] 公开日 2008 年 11 月 12 日

[11] 公开号 CN 101302995A

[22] 申请日 2008.5.21

[21] 申请号 200810038014.7

[71] 申请人 三一电气有限责任公司

地址 201200 上海市浦东新区川大路 318 号

[72] 发明人 黄 亮

[74] 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

代理人 沈 泳

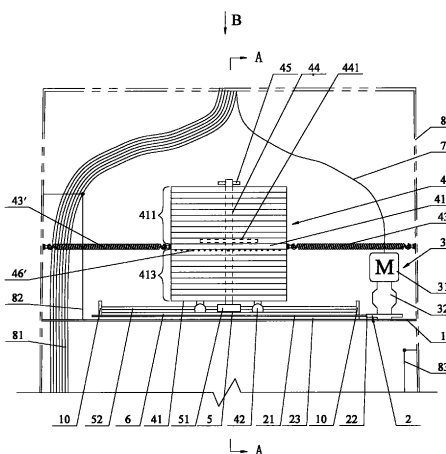
权利要求书 3 页 说明书 14 页 附图 11 页

[54] 发明名称

风机用调谐质量阻尼器减振控制装置

[57] 摘要

本发明公开一种风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，它涉及调谐质量阻尼器减振控制技术。本发明设置于风力发电机上端的塔架内，包括平台、以及设置在平台上的旋转调节装置、动力装置、质量块总成和阻尼器；平台固定在塔架的内壁上；设计要点在于所述动力装置的动力经旋转调节装置驱动所述质量块总成转动，进而平台上的各部件能够随风机偏航同步旋转。本发明可以随风向主动进行对向调整，最大限度地控制振动幅值。进一步地，基于 MTMD 的减振机理，本发明还提供了一种 MTMD 的技术方案，多个单一 TMD 由上至下依次设置；所述动力装置同轴驱动各旋转调节装置，保证了每个转盘的转速同步，可有效控制风轮旋转所产生的频带范围内的塔架振动。



1、一种风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，包括：
至少一个平台，固定在塔架的内壁上；
至少一个旋转调节装置，包括：

转盘，设置在所述平台的上方，

转盘传动总成，固定设置在所述平台上且驱动所述转盘旋转，

回转支撑部件，设置在所述转盘与平台之间；

动力装置，固定设置在所述平台上且其动力输出至转盘传动总成；

至少一个质量块总成，设置在转盘上，该总成包括：

质量块，

至少两个质量块支撑装置，左、右对称固定在质量块的下表面上；

至少一个阻尼器，所述阻尼器的缸体与质量块的下表面固定连接，所述阻尼器的活塞杆的端头固定在转盘上。

2、根据权利要求1所述的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，还包括至少一个具有直线导向槽的限位导轨，固定设置在所述质量块下方的转盘上；所述质量块支撑装置的下端置于所述直线导向槽内并可沿该限位导轨直线位移。

3、根据权利要求2所述的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，所述平台、旋转调节装置、质量块总成和限位导轨均为若干个，由上至下依次设置；所述动力装置同轴驱动每个转盘传动总成。

4、根据权利要求1至3中任一项权利要求所述的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，所述质量块总成还包括若干个弹簧，所述质量块由上部质量块、质心质量块和下部质量块组成且由上至下依次设置；所述若干个弹簧的两端分别与所述质心质量块外周表面和塔架内表面固定连接，且沿质心质量块的外周表面均布设置。

5、根据权利要求4所述的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，所述质量块总成还包括竖向串杆，所述竖向串杆的下端与下部质量

块固定连接且所述竖向串杆的中部设有横向撑杆；所述上部质量块和质心质量块套装在所述竖向串杆上且分别置在所横向撑杆的上、下两侧。

6、根据权利要求 5 所述的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，所述质量块总成还包括锁紧销钉，所述上部质量块和下部质量块均由圆盘状质量片组成，所述锁紧销钉穿装在从上部质量块上方的竖向串杆的端部。

7、根据权利要求 6 所述的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，所述横向撑杆为米字形结构，所述上部质量块的下表面上开有容置横向撑杆的米字形凹槽。

8、根据权利要求 7 所述的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，所述下部质量块与质心质量块之间设置有沿圆周方向均布的若干个润滑滚珠。

9、根据权利要求 8 所述的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，所述动力装置包括驱动电机和减速机，所述转盘传动总成为相互啮合的主动齿轮和被动齿轮；其中，所述被动齿轮套装在所述转盘的外侧，所述主动齿轮与减速机的输出轴固定连接，所述减速机的输入轴与驱动电机的输出轴固定连接。

10、根据权利要求 9 所述的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，所述回转支撑部件为若干个回转滚珠，在所述平台的上表面和所述转盘的下表面上分别相对设置有一号环形槽和二号环形槽，所述若干个回转滚珠设置在一号环形槽和二号环形槽内且所述平台上表面与转盘下表面之间的距离小于所述回转滚珠的直径。

11、根据权利要求 9 所述的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，所述回转支撑部件为回转支承轴承，所述回转支承轴承的内圈与转盘的下表面固定连接，所述回转支承轴承的外圈与平台的上表面固定连接。

12、根据权利要求 9 所述的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，所述质量块支撑装置为滚轮。

13、根据权利要求9所述的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，所述质量块支撑装置为滑块。

14、根据权利要求1至3中任一权利要求所述的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，所述阻尼器的介质入口设置有阻尼调节阀。

15、根据权利要求1至3中任一权利要求所述的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，所述质量块总成4还包括若干个弹簧；所述质量块由芯部质量块和外部质量块组成；其中，芯部质量块的轴向截面形状为上小、下大的阶梯形，外部质量块为环状结构，所述环状外部质量块套装在芯部质量块上部柱状体的外侧；所述若干个弹簧的两端分别与所述外部质量块外周表面和塔架内表面固定连接，且沿外部质量块的外周表面均布设置。

16、根据权利要求15所述的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，所述芯部质量块下部台阶的上表面上设置有沿圆周方向均布的若干个润滑滚珠。

17、根据权利要求9中任一权利要求所述的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，其特征在于，所述质量块为盛放液体的容器。

风机用调谐质量阻尼器减振控制装置

技术领域

本发明涉及一种调谐质量阻尼器减振控制装置，具体涉及一种风机用调谐质量阻尼器减振控制装置。

背景技术

调谐质量阻尼器减振控制装置 (Tuned mass damper, 简称 TMD) 利用了共振原理, 将受控结构主体的振动能量转移到减振控制装置 (TMD) 上, 从而减小风振及地震对高耸结构主体的影响, TMD 在国内外已经有较多的应用 (如上海东方明珠电视塔、合肥电视塔、台北 101 大厦等)。

通过理论计算、有限元分析以及工程应用实例表明: 当 TMD 的质量适当, TMD 减振控制装置与受控结构主体的频率接近, TMD 的阻尼比在 5% - 15% 之间时, 受控高耸结构主体的大部分振动能量将转移到 TMD 装置上。

多重 TMD 指的是在高耸结构主体的不同位置布置多个 TMD (简称 MTMD), 与单一 TMD 相比: MTMD 克服了由于结构主体内部可利用空间的限制而导致的 TMD 质量块的质量及缓冲行程受限制的缺点; 单一 TMD 只能控制一种频率的振动, 而 MTMD 能控制多种频率的振动, 这对于像风振这样的宽频激励效果更佳。通过计算分析表明, 对相同的 TMD 质量比 (质量块与受控主体之间的质量比), 比如 4%, 若采用一个 TMD 布置在高耸结构主体的最顶部, 能减小结构主体振动位移 88% (质量比为 1% 时减振 81%、质量比为 2% 时减振 85%、质量比为 3% 时减振 87%); 而采用 MTMD 方案时, 当所有 TMD 质量比之和为 4%, 用 2 个 TMD 能减振 90%, 用 3 个 TMD 能减振 91.5%, 用 4 个 TMD 能减振 93%。因此, 对于同样的减振效果而言, MTMD 较 TMD 有更小的质量; 对于同样的质量比而言, MTMD 较 TMD 有更好的减振效果。

风力发电机塔架的稳定性是塔架设计中最重要考虑因素之一, 也就

是说,设计人员要尽量避免由于风轮叶片旋转时产生的周期性载荷激励,导致塔架产生共振,破坏塔架的稳定性,加速塔架的损坏,缩短其使用寿命。

当前,风力发电机塔架的减振方案(以圆筒钢塔结构为例),大多采用在距塔顶 2.5 米处沿塔架内壁布置一圈厚 8cm 左右的内填砂,以增加局部质量的配重,该方案是一种被动的控制方式,其中的砂粒质量与主体结构之间并无相对运动;该方案不是严格意义上的振动控制,而是一种避免塔架一阶频率与风轮旋转频率接近时发生共振的措施;因此,该方案对机舱内部零件的振动位移的控制没有明显的效果。

对于风力发电机来说,外加的振动激励主要来自风轮叶片旋转时产生的通过频率,它是一个强迫振动,从理论上来说,只要控制这个激励的频率就能达到较好的效果;但是,由于随着风向的改变,风力发电机的机舱将会跟随产生偏航旋转,以确保叶片处于迎风状态。因此相对于风力发电机塔架,所述强迫振动也会随之发生旋转。

目前,在实际工程中应用的 TMD 大多为悬吊式 TMD 和支承式 TMD 两种形式。如图 1a 所示,该图为悬吊式 TMD 的结构示意图,它主要由配重质量块 102、吊线 105、弹簧 103 和阻尼器 104 组成,配重质量块 102 通过吊线 105 悬吊在结构主体 108 的顶部;如图 1b 所示,该图为支承式 TMD 的结构示意图,它主要由配重质量块 202、弹簧 203、阻尼器 204 和滚轮 205 组成,配重质量块 202 通过滚轮 205 与结构主体 208 相接触。上述两种形式的 TMD 均在配重质量块与主体结构之间设置有活塞式阻尼器及弹簧装置,通过阻尼器和弹簧实现对配重质量块的运动控制,完成对结构主体的减振控制。

上述两种 TMD 装置应用于风机架内,无法实现伴随风力发电机的偏航对风而同步旋转调向,因此,不能充分发挥 TMD 的减振控制效果。

发明内容

针对上述缺陷,本发明解决的技术问题在于,提供一种风机用调谐质

量阻尼器减振控制装置，可以随风向主动进行对向调整，最大限度地控制振动幅值。

本发明提供的装置，包括：

至少一个平台，固定在塔架的内壁上；

至少一个旋转调节装置，包括：

转盘，设置在所述平台的上方，

转盘传动总成，固定设置在所述平台上且驱动所述转盘旋转，

回转支撑部件，设置在所述转盘与平台之间；

动力装置，固定设置在所述平台上且其动力输出至转盘传动总成；

至少一个质量块总成，设置在转盘上，该总成包括：

质量块，

至少两个质量块支撑装置，左、右对称固定在质量块的下表面上；

至少一个阻尼器，所述阻尼器的缸体与质量块的下表面固定连接，所述阻尼器的活塞杆的端头固定在转盘上。

优选地，还包括至少一个具有直线导向槽的限位导轨，固定设置在所述质量块下方的转盘上；所述质量块支撑装置的下端置于所述直线导向槽内并可沿该限位导轨直线位移。

优选地，所述平台、旋转调节装置、质量块总成和限位导轨均为若干个，由上至下依次设置；所述动力装置同轴驱动每个转盘传动总成。

优选地，所述质量块总成还包括若干个弹簧，所述质量块由上部质量块、质心质量块和下部质量块组成且由上至下依次设置；所述若干个弹簧的两端分别与所述质心质量块外周表面和塔架内表面固定连接，且沿质心质量块的外周表面均布设置。

优选地，所述质量块总成还包括竖向串杆，所述竖向串杆的下端与下部质量块固定连接且所述竖向串杆的中部设有横向撑杆；所述上部质量块和质心质量块套装在所述竖向串杆上且分别置在所横向撑杆的上、下两侧。

所述质量块总成还包括锁紧销钉，所述上部质量块和下部质量块均由

圆盘状质量片组成，所述锁紧销钉穿装在从上部质量块上方的竖向串杆的端部。

所述横向撑杆为米字形结构，所述上部质量块的下表面上开有容置横向撑杆的米字形凹槽。

所述下部质量块与质心质量块之间设置有沿圆周方向均布的若干个润滑滚珠。

优选地，所述动力装置包括驱动电机和减速箱，所述转盘传动总成为相互啮合的主动齿轮和被动齿轮；其中，所述被动齿轮套装在所述转盘的外侧，所述主动齿轮与减速箱的输出轴固定连接，所述减速箱的输入轴与驱动电机的输出轴固定连接。

优选地，所述回转支撑部件为若干个回转滚珠，在所述平台的上表面和所述转盘的下表面上分别相对设置有一号环形槽和二号环形槽，所述若干个回转滚珠设置在一号环形槽和二号环形槽内且所述平台上表面与转盘下表面之间的距离小于所述回转滚珠的直径。

优选地，所述回转支撑部件为回转支承轴承，所述回转支承轴承的内圈与转盘的下表面固定连接，所述回转支承轴承的外圈与平台的上表面固定连接。

所述质量块支撑装置为滚轮或滑块。

优选地，所述阻尼器的介质入口设置有阻尼调节阀。

优选地，所述质量块总成4还包括若干个弹簧；所述质量块由芯部质量块和外部质量块组成；其中，芯部质量块的轴向截面形状为上小、下大的阶梯形，外部质量块为环状结构，所述环状外部质量块套装在芯部质量块上部柱状体的外侧；所述若干个弹簧的两端分别与所述外部质量块外周表面和塔架内表面固定连接，且沿外部质量块的外周表面均布设置。

所述芯部质量块下部台阶的上表面上设置有沿圆周方向均布的若干个润滑滚珠。

优选地，所述质量块为盛放液体的容器。

本发明所提供的 TMD 的控制原理如下:

风机工作时, 主要荷载为风轮旋转时产生水平气动推力, 该推力比塔结构自身承受的风荷载大许多, 因此, 将结构简化为顶部集中质量的单自由度体系, 将水平气动推力简化为简谐外荷载。设 $x_{TMD}(t)$ 、 $x(t)$ 分别为 TMD、结构主体相对于空间的绝对位移, 其耦合运动方程为:

$$\begin{cases} M_{TMD}(\ddot{x}_{TMD} + \ddot{x}_{wind}) + c_{TMD}(\dot{x}_{TMD} - \dot{x}_{jg}) + k_{TMD}(x_{TMD} - x_{jg}) = 0 \\ M_{jg}(\ddot{x}_{jg} + \ddot{x}_{wind}) + c_{jg}\dot{x}_{jg} + k_{jg}x_{jg} - c_{TMD}(\dot{x}_{TMD} - \dot{x}_{jg}) - k_{TMD}(x_{TMD} - x_{jg}) = 0 \end{cases}$$

式中 $\ddot{x}_{wind} = F_{wind} \sin \omega t$ 为简谐外荷载, 用矩阵形式表达如下:

$$\begin{bmatrix} M_{TMD} & 0 \\ 0 & M_{jg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_{TMD} \\ \ddot{x}_{jg} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{TMD} & -C_{TMD} \\ -C_{TMD} & C_{TMD} + C_{jg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_{TMD} \\ \dot{x}_{jg} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{TMD} & -k_{TMD} \\ -k_{TMD} & k_{TMD} + k_{jg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{TMD} \\ x_{jg} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} M_{TMD} \\ M_{jg} \end{bmatrix} \ddot{x}_{wind}$$

当不考虑阻尼时, 运动方程 ($C=0$) 可以简化为:

$$\begin{bmatrix} M_{TMD} & 0 \\ 0 & M_{jg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_{TMD} \\ \ddot{x}_{jg} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{TMD} & -k_{TMD} \\ -k_{TMD} & k_{TMD} + k_{jg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{TMD} \\ x_{jg} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} M_{TMD} \\ M_{jg} \end{bmatrix} \ddot{x}_{wind}$$

式中 F_{wind} 为风轮在一转内的最大水平气动推力。

在 F_{wind} 的作用下, 结构主体的运动微分方程为:

$$[M]\{\ddot{x}_{jg}\} + [C]\{\dot{x}_{jg}\} + [K]\{x_{jg}\} = F_{wind} \sin \omega t$$

式中 $[M]$ 、 $[C]$ 和 $[K]$ 分别为结构的质量矩阵、阻尼矩阵和刚度矩阵, $F_{wind} \sin \omega t$ 为风轮气动水平推力。

利用振型向量正交性和振型分解法, 并且只考虑结构的第一振型时。当在结构顶部安装一个质量为 M_{TMD} 、阻尼为 C_{TMD} 、刚度为 K_{TMD} 的 TMD 时, 结构在风轮水平气动推力作用下的运动微分方程为:

$$M_{TMD}\ddot{x}_{TMD} + C_{TMD}(\dot{x}_{TMD} - \dot{x}_{jg}) + k_{TMD}(x_{TMD} - x_{jg}) = F_{wind} \sin \omega t + F_{TMD}$$

式中 F_{TMD} 为 TMD 对结构主体的作用力。

从上式可以看出, 由于有了 F_{TMD} 的存在, 就将外荷载对结构的作用力一部分转移到了 TMD 上面, 从而达到耗能减振的目的。

本发明提供的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置与现有技术相比, 具有下述优点:

1、控振方向可适时旋转。动力装置启动后，通过旋转调节装置驱动设置在转盘上的质量块总成完成旋转动作，当风力发电机的机舱随风向的改变偏航旋转时，所述减振控制质量块可同步旋转。因此，在工作状态，本发明所述 TMD 的控振方向始终处于迎风方向，能够实时与风轮叶片旋转时产生的强迫振动方向一致，实现 360 度全方位适时控振，以最大限度的削减顶部发电机结构的振动位移。

2、提高受控主体的工作寿命。由于在风荷载交变作用下，塔顶将产生横向的振动位移，塔顶机舱及其内部零部件也随着一起作往复振动。进一步地，应用本发明所述的 TMD，避免了轴承、电机及控制装置等风机机舱内部部件长期处于往复疲劳荷载作用的工作状态，进而提高其工作平稳性及疲劳寿命。

3、提高风机发电质量。通过合理的控制风机塔架的横向振动位移，提高了风力发电机的工作平稳性，从而提高入网电流频率的平稳性。

4、本发明提供的进一步的优选方案中，具有直线导向槽的限位导轨的设计，控振方向确定唯一，克服了传统 TMD 利用水平面内两个垂直的方向的合成运动控制 TMD 振动方向的模糊性缺陷。

5、宽频调节性。进一步地，本发明提供了一种 MTMD，多个 TMD 由上至下依次设置，在总体方案设计时，通过平衡 TMD 质量块的体积、行程与塔架内部可利用空间的关系，优化合适数量，有效控制风轮旋转所产生的频带范围内的塔架振动。

6、可调阻尼性。由于风电场的季风性特点，不同时期的风力强度和风向皆有差别，因此，本发明所述阻尼器设置有阻尼调节阀，可根据季节不同而适时调整阻尼器工作介质（油或气）的流量，从而达到调节阻尼的目的。

本发明提供的风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，不局限于风机专用，它也可以适用于其他可旋转高耸结构的减振控制，诸如：旋转餐厅、工程机械中的塔吊以及游乐园中的具有竖直旋转轴的高耸游戏设备等，对

于不同结构形式及材料的塔架，如钢筒、混凝土筒、钢桁架等结构同样可以适用。

附图说明

图 1 是背景技术中所述悬吊式 TMD 和支承式 TMD 的结构示意图，其中：图 1a 是悬吊式 TMD 的结构示意图，图 1b 是支承式 TMD 的结构示意图。

图 2 是本发明所述风机用调谐质量阻尼器减振控制装置的结构示意图。

图 3 是图 2 的 A-A 剖视图。

图 4 是图 2 的 B 向视图。

图 5 是图 3 的 I 部放大图。

图 6 是图 3 的 II 部放大图。

图 7 是回转支撑部件采用回转支承轴承 23'' 的结构简图。

图 8 是第二种质量块结构的 TMD 整体结构示意图。

图 9 是第二种质量块结构的轴向剖视图。

图 10 是第三种质量块结构的 TMD 整体结构示意图。

图 11 是第四种质量块结构的 TMD 整体结构示意图。

图 12 是本发明提供的 MTMD 的整体结构示意图。

图 2-图 10 中：

1-平台、11-一号环形槽、12-主电缆穿孔、13-爬梯穿孔；

2-旋转调节装置、21-转盘、211-二号环形槽、22-转盘传动总成、221-主动齿轮、222-被动齿轮、23-回转支撑部件、23'-回转滚珠、23''-回转支承轴承；

3-动力装置、31-驱动电机、32-减速箱；

4-质量块总成、41和41'-质量块、41-1和41-2-液体质量块、41-2-1-注液孔、411-上部质量块、412-质心质量块、413-下部质量块、415-芯部质量块、416-外部质量块、42-质量块支撑装置、43'和43''-弹簧、44-竖向串杆、441-横向撑杆、45-锁紧销钉、46'和46''-润

滑滚珠;

5 - 阻尼器、51 - 缸体、52 - 活塞杆、53 - 阻尼调节阀;

6 - 限位导轨、61 - 直线导向槽;

7 - 偏航信号传输线;

8 - 塔架、81 - 主电缆、82 - 防撞保护装置、83 - 爬梯;

9 - 传动轴;

10 附座。

具体实施方式

本发明所述风机用调谐质量阻尼器减振控制装置的设计要点在于，TMD 能够实现随风向变化主动进行对向调整，进而保证 TMD 的控振方向与该强迫振动方向的一致性。

下面结合说明书附图具体说明实施方式。

参见图 2，该图是本发明所述风机用调谐质量阻尼器减振控制装置的结构示意图。

如该图所示，本实施方式所述风机用调谐质量阻尼器减振控制装置，设置于风力发电机的上端塔架 8 内，包括平台 1、旋转调节装置 2、动力装置 3、质量块总成 4 和阻尼器 5。各部件之间的位置和连接关系，请一并参见图 3 和图 4，其中，图 3 是图 2 的 A-A 剖视图，图 4 是图 2 的 B 向视图。

如图 2 和图 3 所示，所述平台 1 固定在塔架 8 的内壁上；所述旋转调节装置 2 包括转盘 21、转盘传动总成 22 和回转支撑部件 23，所述转盘 21 设置在所述平台 1 的上方，所述转盘传动总成 22 固定设置在所述平台 1 上且驱动所述转盘 21 旋转，所述回转支撑部件 23 设置在所述转盘 21 与平台 1 之间，用于实现转盘 21 与平台 1 之间的相对旋转运动；所述动力装置 3 固定设置在所述平台 1 上且其动力输出至转盘传动总成 22；所述质量块总成 4，设置在转盘 21 上，该总成包括质量块 41 和质量块支撑装置 42，所述质量块支撑装置 42 为四个且左、右对称固定在质量块 41 的下表面上；

所述阻尼器 5 的缸体 51 与质量块 41 的下表面固定连接,所述阻尼器 5 的活塞杆 52 的两侧端头分别通过附座 10 固定在转盘 21 上。由于,液压粘滞阻尼器在工程结构减震中已有广泛应用,且技术较为成熟,因此,本实施方式中所述阻尼器 5 选用液压粘滞阻尼器作为最佳方案。

上述 TMD 在工作状态中,当风力发电机叶片随风向的变化进行偏航旋转时,本发明所述动力装置 3 启动,动力驱动旋转调节装置 2 的转盘 21 转动,进而带动质量块转动,使得 TMD 的控振方向与风轮旋转时产生强迫振动的方向保持一致,经阻尼器 5 来完成减振耗能。

进一步地,结合图 4 所示,所述 TMD 还包括两个具有直线导向槽 61 的限位导轨 6,左、右对称固定设置在所述质量块 41 下方的转盘 21 上;所述质量块支撑装置 42 的下端置于所述直线导向槽 61 内并可沿该限位导轨 6 直线位移。为了更清楚的表示限位导轨 6 的详细结构及连接关系,请参见图 5,该图是图 3 的 I 部放大图。本发明所述限位导轨 6 可确保控振方向确定唯一,克服了传统 TMD 利用水平面内两个垂直的方向的合成运动控制 TMD 振动方向的模糊性缺陷,以使 TMD 的控振效果最佳。

具体地,所述动力装置 3 由驱动电机 31 和减速箱 32 组成,所述转盘传动总成 22 为相互啮合的主动齿轮 221 和被动齿轮 222;其中,所述被动齿轮 222 套装在所述转盘 21 的外侧,所述主动齿轮 221 与减速箱 32 的输出轴固定连接,所述减速箱 32 的输入轴与驱动电机 31 的输出轴固定连接。

这里特别说明一点,当机舱偏航时,控制系统可以根据测风仪(风向、风速传感器)采集到的信号发出偏航控制信号,该偏航控制信号经偏航信号传输线 7 发送至所述驱动电机 31,精确地控制驱动电机 31 与风机偏航电机同步动作,使圆形转盘的转速与机舱的偏航转速保持一致,也就是说,保证机舱主轴的轴线与 TMD 质量块的运动方向一致。由于本领域的技术人员根据现有自控技术完全可以实现上述功能,因此,关于控制部分,在此不予赘述。

上述方案中,所述回转支撑部件 23 为若干个回转滚珠 23',参见图 6,

该图是图3的II部放大图。

如该图所示,在所述平台1的上表面和所述转盘21的下表面上分别相对设置有一号环形槽11和二号环形槽211,所述若干个回转滚珠23'设置在一号环形槽11和二号环形槽211内且所述平台1上表面与转盘21下表面之间的距离L小于所述回转滚珠23'的直径。限制转盘21只能沿固定轨迹运动,以保持其旋转的准确性。

另外,所述回转支撑部件23也可以采用回转支承轴承23"。参见图7,该图为回转支撑部件23采用回转支承轴承23"的结构简图。

如该图所示,所述回转支承轴承23"的上圈与转盘21的下表面固定连接,所述回转支承轴承23"的下圈与平台1的上表面固定连接。可以理解地,所述回转支承轴承23"可以根据具体工况选用四点接触滚珠式或交叉滚子轴承式,只要满足使用需要均可;在本实施例中,采用的是四点接触滚珠式回转支承轴承。

本发明中,用于支撑质量块41相对于转盘21运动的质量块支撑装置42,可以为滚轮或滑块(滑块在图中未示出)。

考虑到风机在年周期内运行时的季风性变化,如图3所示,所述阻尼器5的介质入口设置有阻尼调节阀53。本发明所述阻尼器设置有阻尼调节阀,可根据季节不同而适时调整阻尼器4工作介质(油或气)的流量,从而达到调节阻尼的目的。

可以理解地是,所述质量块41可以根据塔架内部空间以及装配工艺要求而采用不同的结构,本实施方式给出下述四种具体方案。

第一种质量块结构,请一并参见图2、图3和图4,所述质量块41由上部质量块411、质心质量块412和下部质量块413组成且由上至下依次设置;所述质量块总成4还包括沿质心质量块412的外周表面均布设置的若干个弹簧43',所述若干个弹簧43'的两端分别与所述质心质量块412外周表面和塔架8内表面固定连接。

图中所示的弹簧43'为八条且呈放射状米字形设置。所述弹簧43'可

以选用拉簧或者压簧。选用拉簧时，装配需要预拉伸；选用压簧时，装配需要预压缩。该预拉或预压值应能保证弹簧在 TMD 的行程范围内，始终处于受拉或受压状态，避免了弹簧由于压缩或拉伸而发生失稳脱离几何轴线。

进一步地，所述质量块总成 4 还包括竖向串杆 44，所述竖向串杆 44 的下端与下部质量块 413 固定连接且竖向串杆 44 的中部设有横向撑杆 441；所述上部质量块 411 和质心质量块 412 套装在所述竖向串杆 44 上且分别置于所横向撑杆 441 的上、下两侧。

所述质量块总成 4 还包括锁紧销钉 45，所述上部质量块 411 和下部质量块 413 均由圆盘状质量片组成；所述竖向串杆 44 的上端从上部质量块 411 上方的穿出，锁紧销钉 45 穿装在竖向串杆 44 的上端，限制质量块 8 在运动中沿竖向串杆 44 的轴向串动；同时，当需要增减质量片时，可以将锁紧销钉 45 拔出后操作。

更进一步地，所述横向撑杆 441 为米字形结构，所述上部质量块 411 的下表面上开有容置横向撑杆 441 的米字形凹槽（图中未示出）。该横向撑杆 441 用于承载上部质量块 411 的重量。

为增加本发明可操作性，如图 2 所示，所述下部质量块 413 与质心质量块 412 之间设置有沿圆周方向均布的若干个润滑滚珠 46'。

下面结合相应结构说明第一种质量块结构的工作原理：理论上，所述质心质量块 412 只能随滚轮或滑块在限位导轨 6 内作不同方向的直线位移，在空间范围内不发生旋转，与此相连的八条弹簧 43' 只是伸长或缩短而不会发生旋转运动。而上部质量块 411 和下部质量块 413 会随着竖向串杆 44 在空间范围内旋转，因此质心质量块 412 与上部质量块 411 和下部质量块 413 的运动是分离的。竖向串杆 44 的中部（与上部质量块 411 最下面相交的位置处）的米字形的横向撑杆 441，与上部质量块 411 的下表面上的米字形凹槽配合。这样，上部质量块 411 的重量由米字形横向撑杆 441 承载，在理论上保证上部质量块 411 的下表面与质心质量块 412 的上表面之间保

持零压力接触，因此，可避免相对旋转产生的摩擦力。同理，所述下部质量块 413 与质心质量块 412 之间设置的润滑滚珠 46' 用于克服下部质量块 413 与质心质量块 412 之间相对运动而产生的摩擦力。

第二种质量块结构，参见图 8 和图 9，图 8 是第二种质量块结构的 TMD 整体结构示意图，图 9 是第二种质量块结构的轴向剖视图。

如图所示，所述质量块 41' 由芯部质量块 415 和外部质量块 416 组成，其中，芯部质量块 415 的轴向截面形状为上小、下大的阶梯形，外部质量块 416 为环状结构，所述环状外部质量块 416 套装在芯部质量块 415 上部柱状体的外侧；所述质量块总成 4 还包括沿外部质量块 416 的外周表面均布设置的还包括若干个弹簧 43''；所述若干个弹簧 43'' 的两端分别与所述外部质量块 416 外周表面和塔架 8 内表面固定连接。

进一步地，所述芯部质量块 415 下部台阶的上表面上设置有沿圆周方向均布的若干个润滑滚珠 46''。

与第一种质量块结构的工作原理相似，所述环状外部质量块 416 也只能随滚轮或滑块在限位导轨 6 内作不同方向的直线位移，芯部质量块 415 下部台阶的上表面上设置的润滑滚珠 46'' 用于克服芯部质量块 415 与外部质量块 416 之间相对运动而产生的摩擦力。

第三种质量块结构，参见图 10，该图是第三种质量块结构的 TMD 整体结构示意图。如该图所示，它与第一、二种质量块结构的不同点在于，所述质量块 41-1 为盛放液体的容器，即液体质量块（TLD），该容器是封闭的且内部液体为半充满状态。该结构通过容器内液体在非充满封闭空间的波浪式振动进一步实现耗能控振的目的。

第四种质量块结构，参见图 11，该图是第四种质量块结构的 TMD 整体结构示意图。如该图所示，所述质量块 41-2 也是液体质量块，但与第三种质量块结构不同的是，该容器的上盖开有注液孔 41-2-1，所述容器内的液体为充满状态且所述上盖可随液面的升降而上下移动。本方案可在结构空间不受限的场合应用，注液孔 41-2-1 可与注液系统连通，通过实时监测

外载荷的频率,根据需要控制液体的注入或抽取以获得可变重量的质量块,能够在一定频范围内实现精确。

特别地,基于 MTMD 的减振机理,本发明还提供了一种 MTMD 的技术方案。参见图 12,该图是本发明提供的 MTMD 的整体结构示意图。如图 12 所示,所述平台 1、旋转调节装置 2、质量块总成 4 和限位导轨 6 均为若干个,由上至下依次设置;所述动力装置 3 同轴驱动每个转盘传动总成 22,其中,若干个主动齿轮分别与传动轴 9 同轴固定,经同一动力装置 3 同轴驱动,保证每个转盘的转速同步。在方案设计时,可以根据实际情况采用 MTMD 分散控制结构,通过平衡 TMD 质量块体积、行程与塔架内部可利用空间的关系,优化 TMD 的数量。其中,每个 TMD 的质量块质量、弹簧刚度及阻尼参数等参数需要根据实际的激励频带范围来确定,从而有效控制风轮旋转所产生的频带范围内的塔架振动。

另外,在平台 1 上开有主电缆穿孔 12,受控风力发电机的主电缆 81 通过主电缆穿孔 12 沿塔下垂至塔底,主电缆穿孔 12 应有足够的空间,以保证机舱偏航时主电缆 81 不会因扭转空间过小而拉断;与现有技术相同,在塔架 8 的侧壁上焊接有主电缆的防撞保护装置 82;在平台 1 上还开有爬梯穿孔 13,爬梯 83 焊接固定在此位置的塔架 8 的侧壁上,用于检修人员上机操作。当然,为使平台 1 的应力分布较均匀,应当根据具体工况布置主电缆穿孔 12 和爬梯穿孔 13。

下面是对本发明安装过程的工艺要点所作的简要介绍:

1、将转盘 21、限位导轨 6、主动齿轮 221、减速箱 32 和驱动电机 31 安装到位,并采取临时措施加以固定,使其不在塔筒的吊装过程中作相对运动。

2、将整个 TMD 质量块串联装配,用锁紧销钉 45 锁紧固定,底部安装滚轮或滑块及阻尼器 5,并把该部件整体打包并临时固定在塔筒内部的某一位置。

3、待顶部塔筒吊装到位、法兰连接后,断开所有临时固定措施,将滚

轮或滑块放置到限位导轨 6 的直线导向槽 61 中, 再将阻尼器 5 的活塞杆 52 固定于限位导轨 6 两端的附座 10 上; 此时, 将阻尼器 5 的阻尼调节阀 53 调节到阻尼最大位置, 使竖向串杆 44 轴线与塔中轴线重合。

4、完成定位后, 安装弹簧 43。每两根处于同一直线上的对称设置的弹簧 43 同时装配, 直至八根弹簧 43 呈米字型装配完毕。

5、最后根据当时的季节特征与风速情况, 将阻尼器 5 的调节阀 53 调到理论位置, 至此, 整个安装过程结束。

对于 MTMD 的安装, 需要塔筒在加工制作的过程中放置每个 TMD。当最下面一个 TMD 安装完毕后, 再封闭焊接其上面的平台 1, 直至最上面一个 TMD 安装结束; 同样, 对于每一个 TMD, 均在塔筒吊装到位后再进行弹簧 43 的装配。

综上所述, 风机正常工作时, 迎风方向为正对风机叶片旋转所在平面, 而此时 TMD 的运动方向垂直于叶片旋转平面, 因此风向就是 TMD 控振运动方向, 这样在理论上就保证了 TMD 始终朝着来风方向运动进行控振, 即风向与控振方向零度夹角的运动关系, 控振效果就达到最佳。由于风向本身是随机变化的, 当风向转变时, 为了保证发电的质量, 风机机舱会随着风向偏转对向, 此时机舱内部控制系统就要发出偏航旋转信号, 将该信号传输至驱动电机 31, 驱动电机 31 的动力经减速箱 32 减速, 最终通过连接减速箱的主动齿轮以一个传动比带动可旋转齿盘旋转, 保证转盘的转速与风机机舱一致。通过理论计算表明, 合理调节调谐质量阻尼器的质量、刚度及阻尼, 将使结构顶端位移减小为无控时的 15%以下。

由于 TMD 装置的转盘始终与机舱保持同步旋转, 因此当机舱处于一个新的迎风位置时, TMD 仍然能够在零度角方向对风控振, 即, 随风向的变化在 360° 范围内全方位控振的原理。

以上所述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。

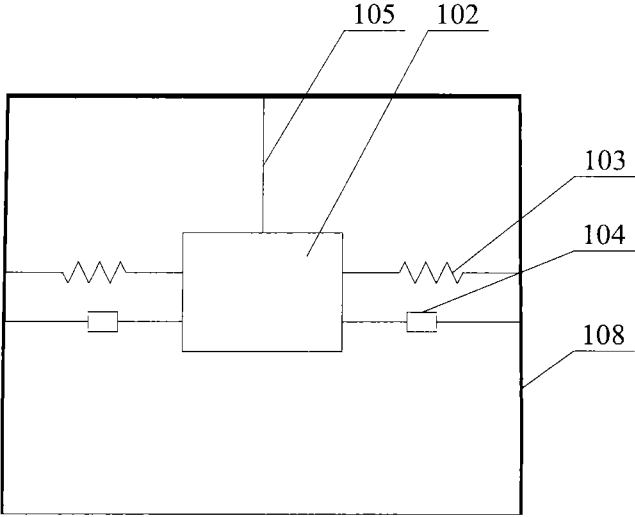


图 1a

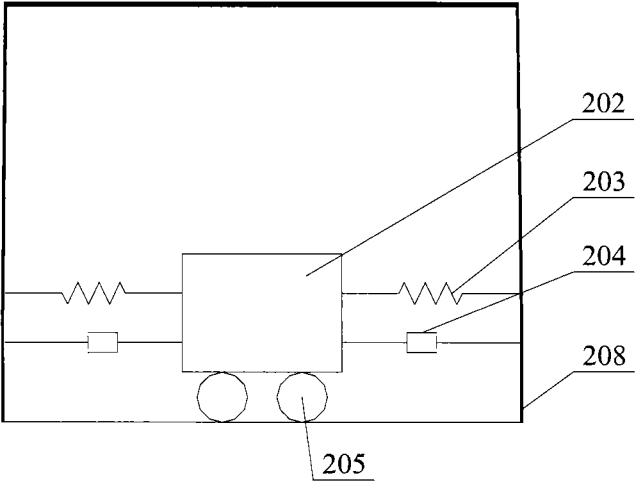


图 1b

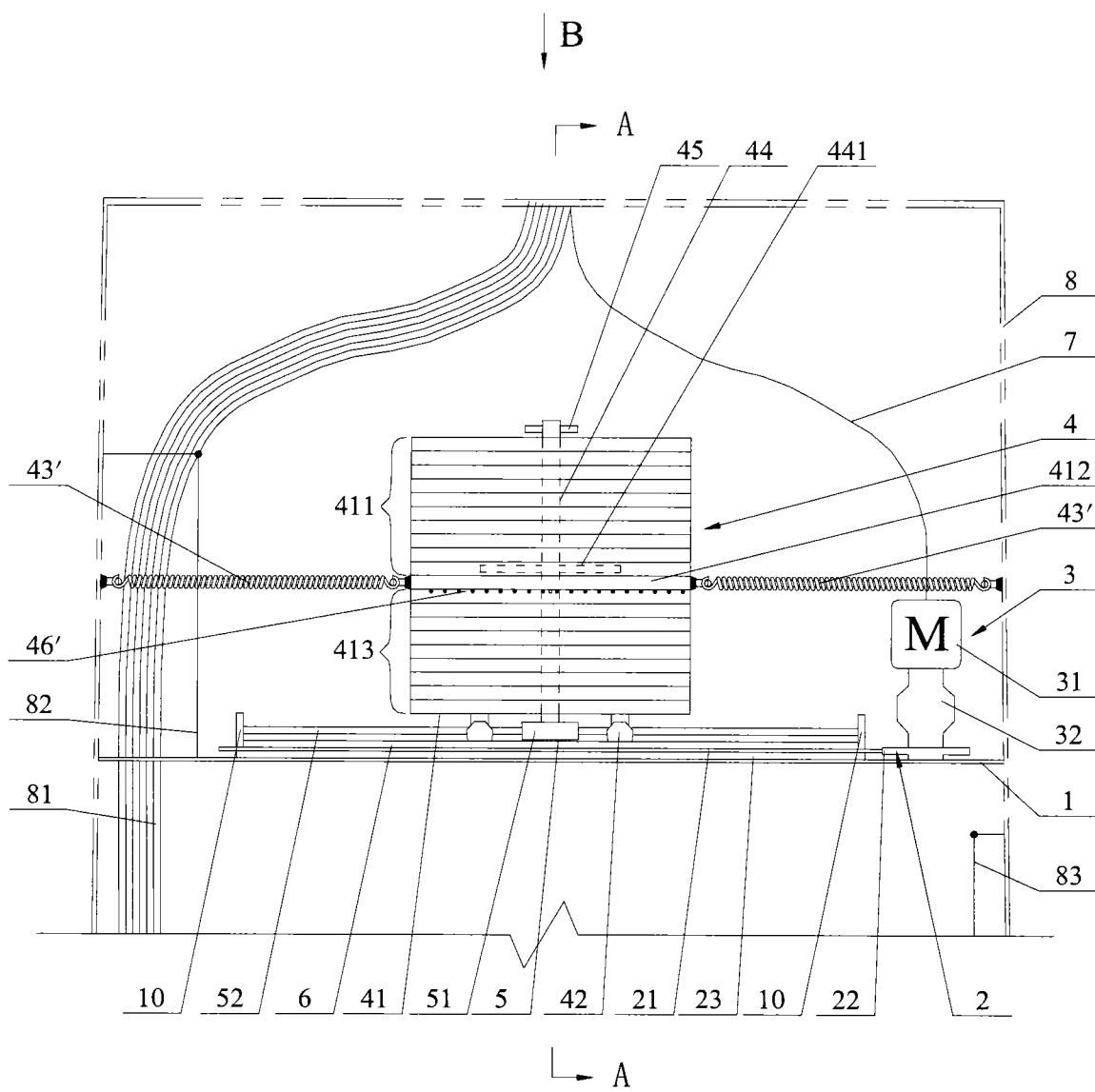


图 2

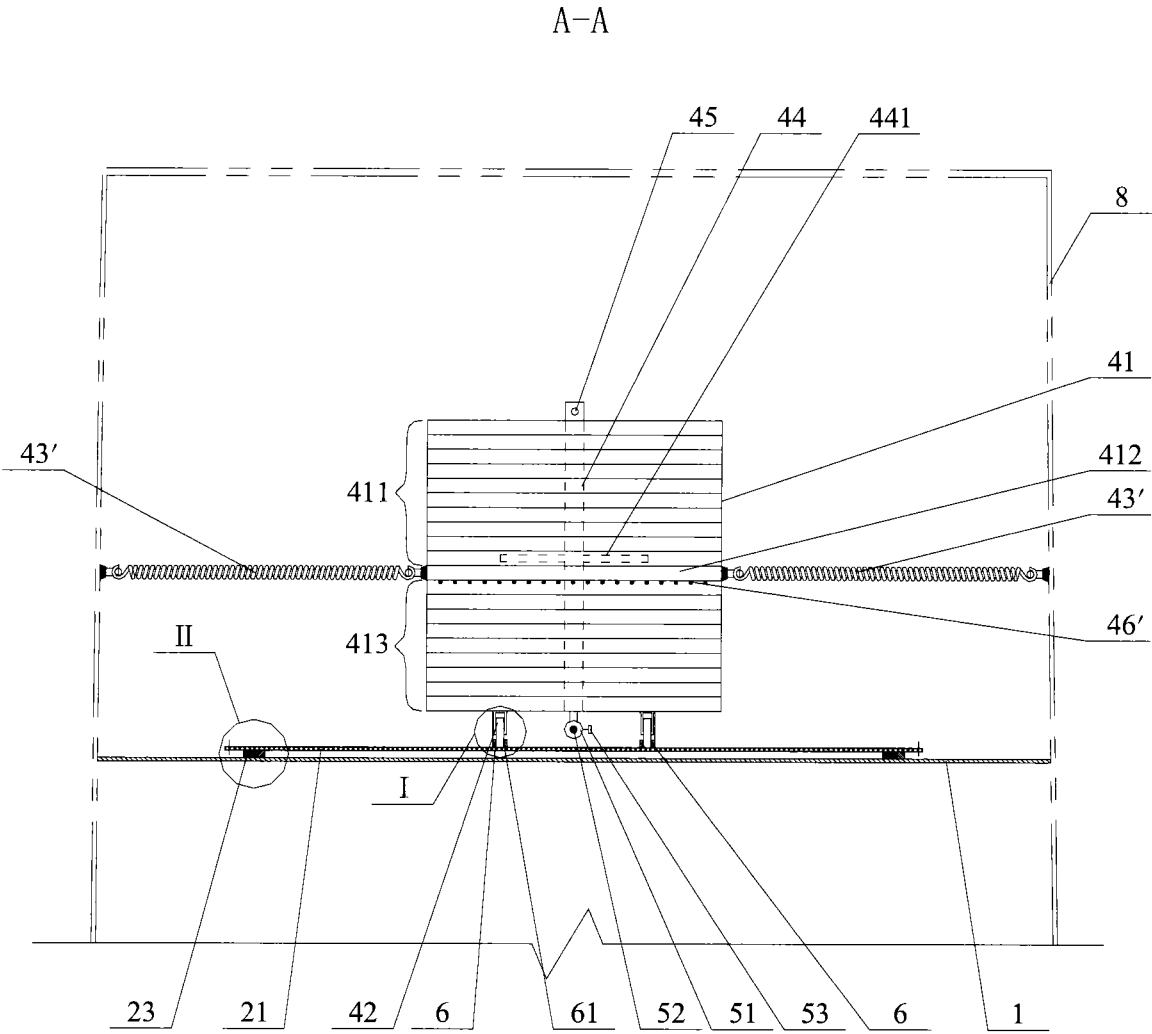


图 3

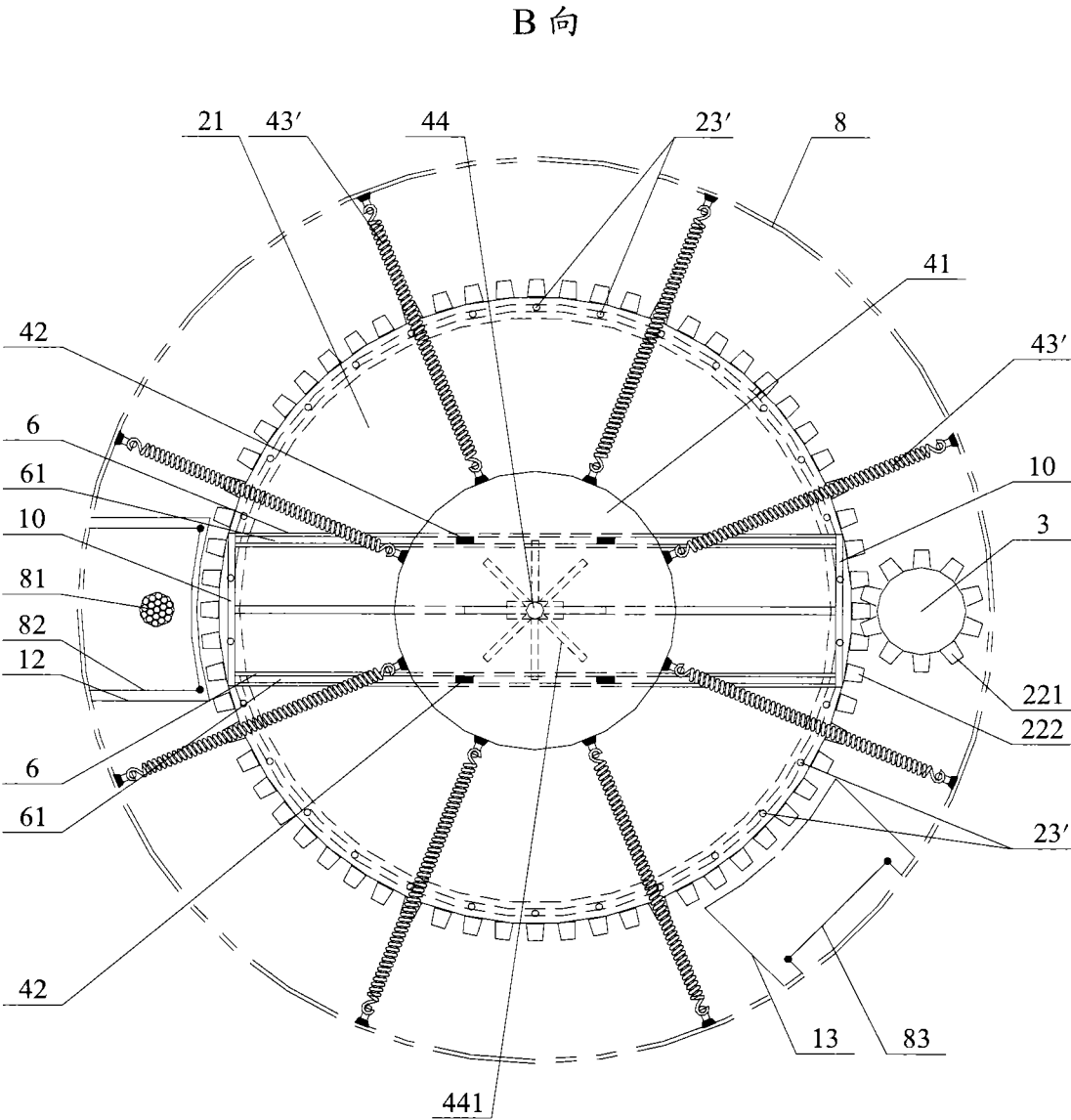


图 4

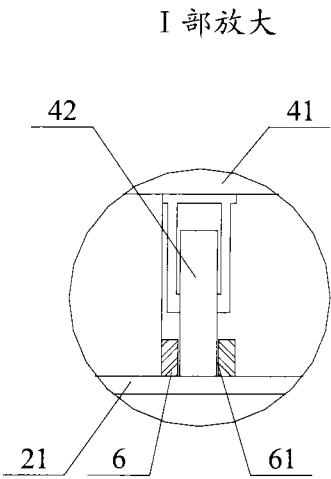


图 5

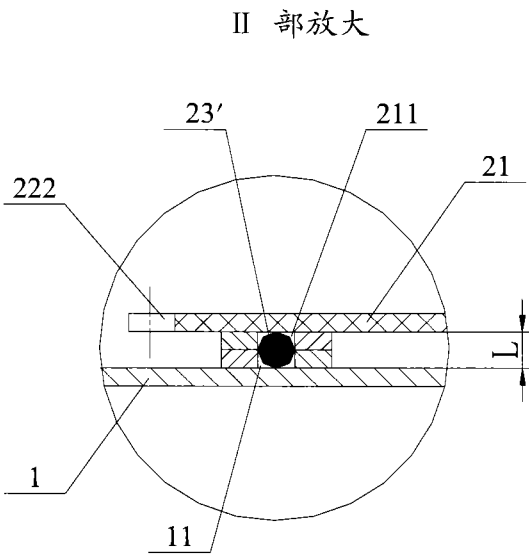


图 6

II 部放大

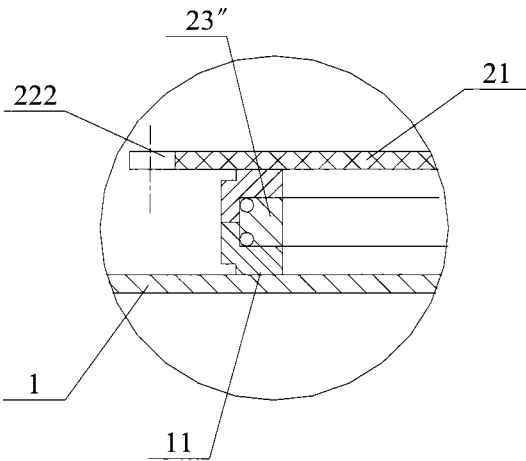


图 7

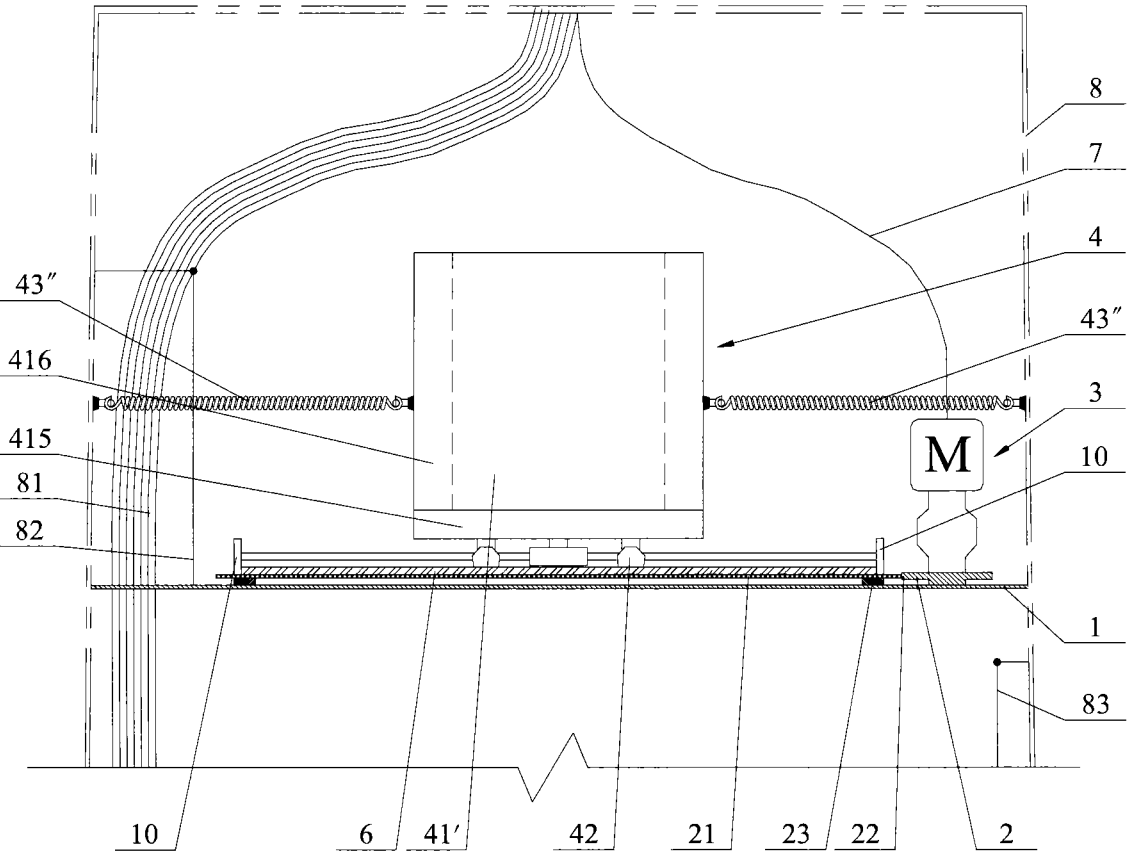


图 8

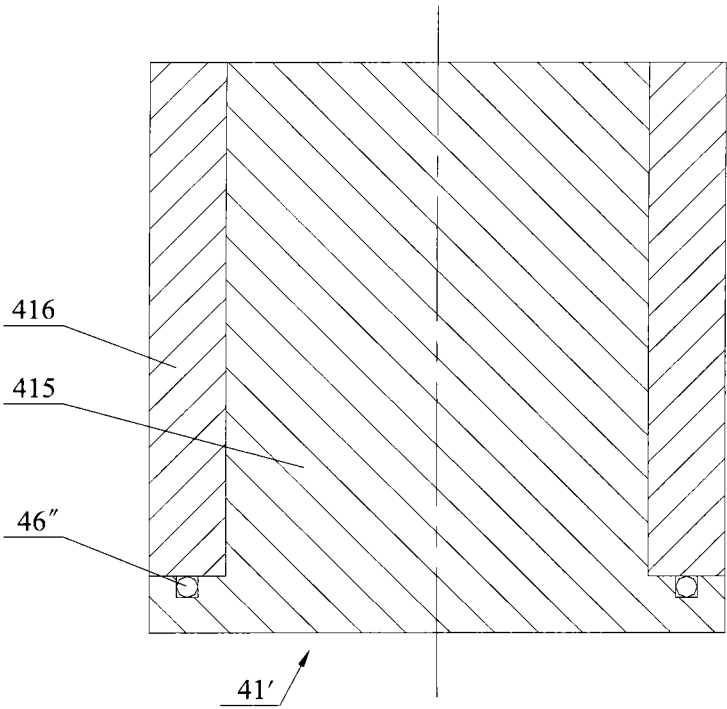


图 9

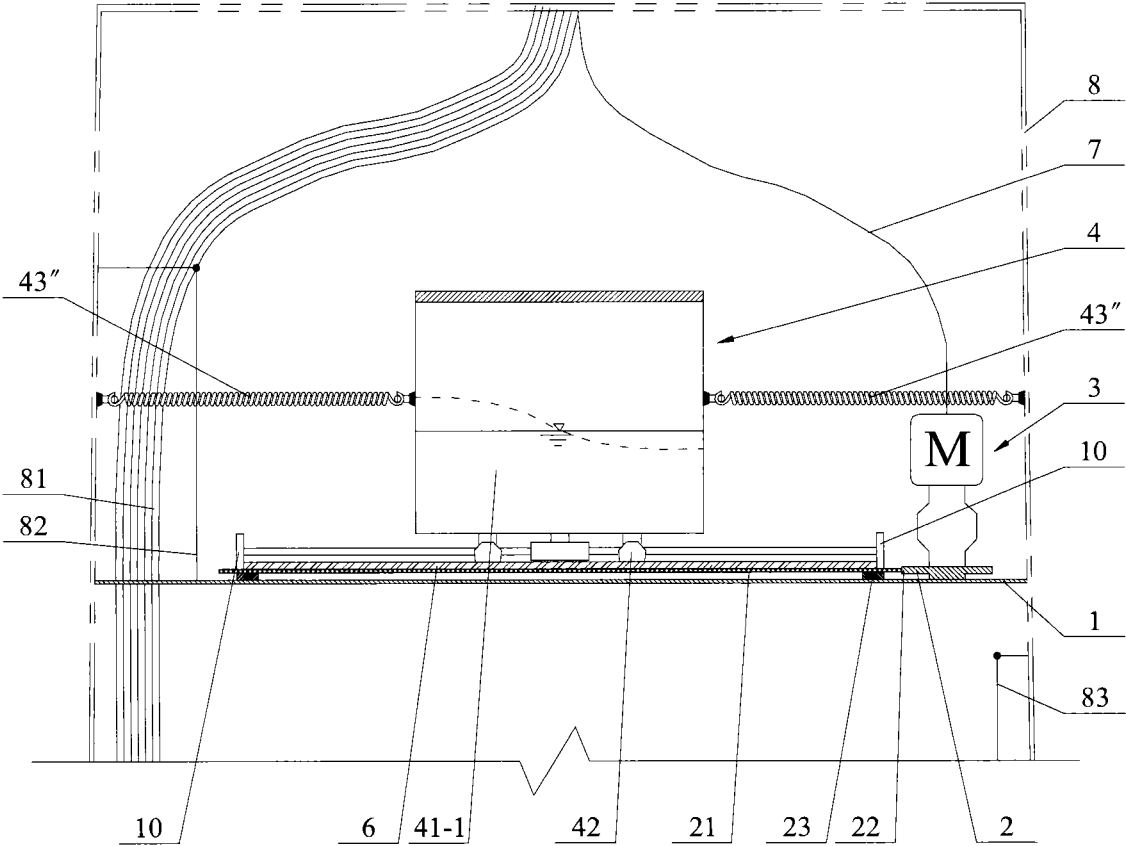


图 10

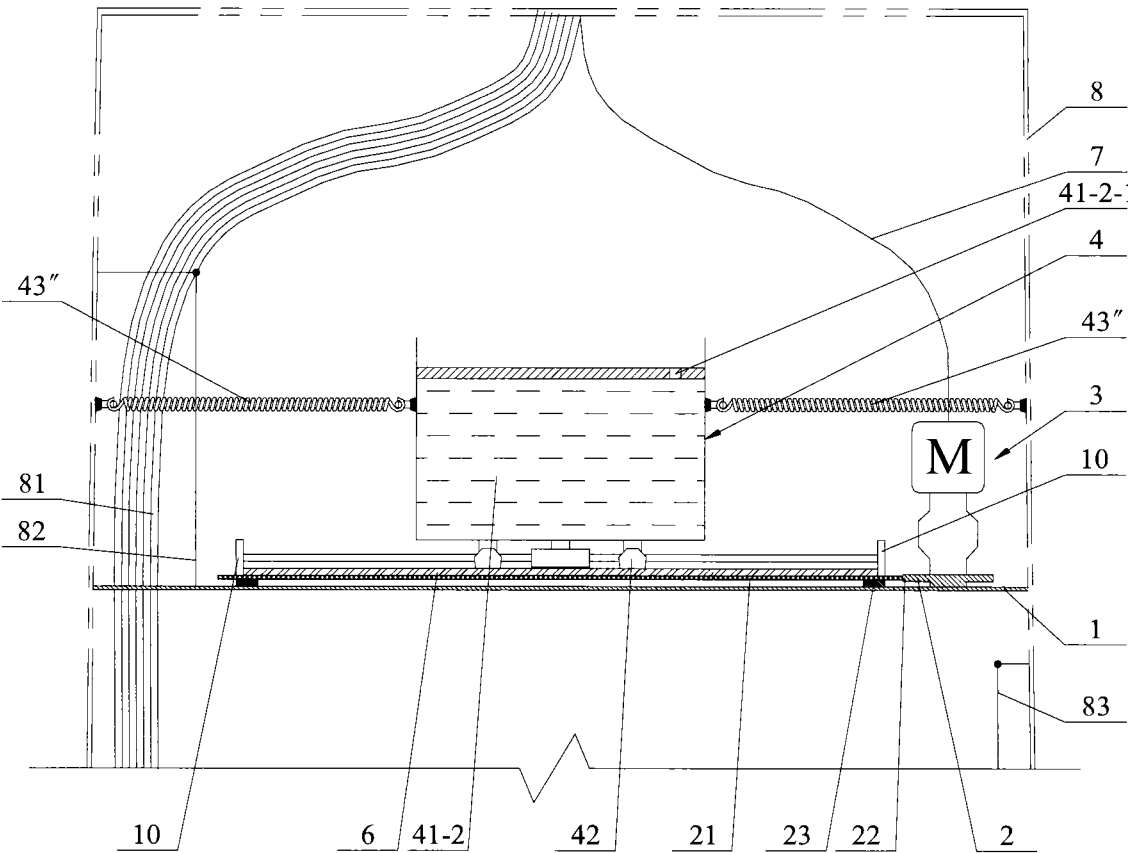


图 11

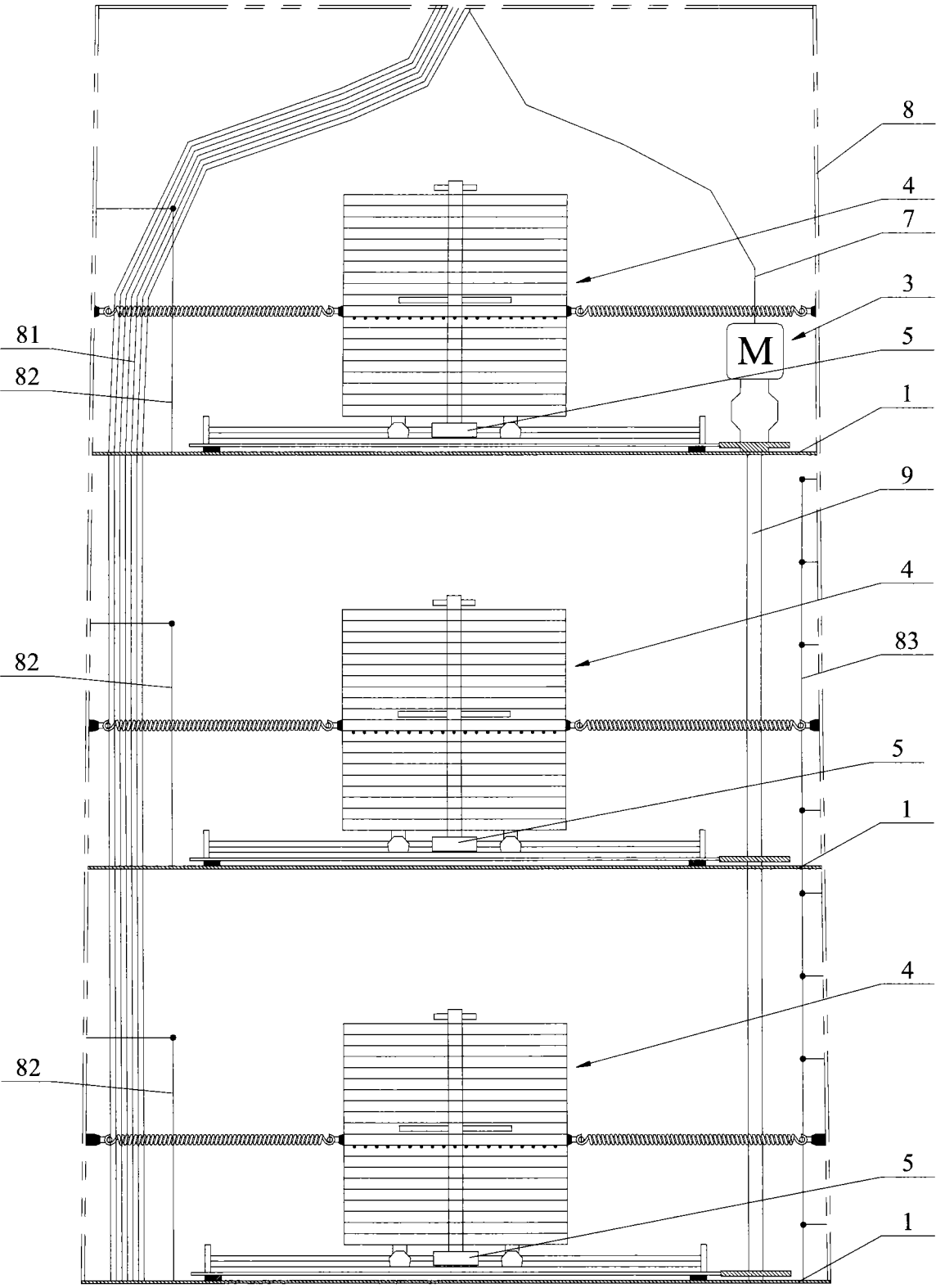


图 12