



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113339200 B

(45) 授权公告日 2023. 06. 20

(21) 申请号 202110767571.8

F16F 7/116 (2006.01)

(22) 申请日 2021.07.07

审查员 林榕

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113339200 A

(43) 申请公布日 2021.09.03

(73) 专利权人 大连理工大学

地址 116024 辽宁省大连市甘井子区凌工
路2号

(72) 发明人 王文华 赵志新 李昕 施伟

(74) 专利代理机构 北京睿智保诚专利代理事务
所(普通合伙) 11732

专利代理师 周新楣

(51) Int. Cl.

F03D 13/25 (2016.01)

F03D 80/00 (2016.01)

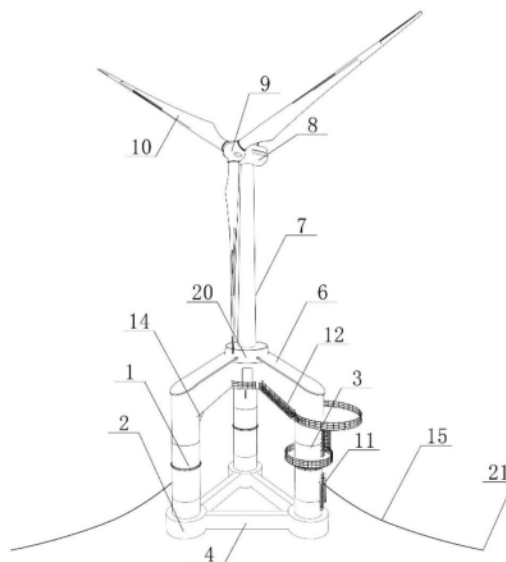
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

基于调谐质量阻尼器的超大型半潜漂浮式
风力机基础

(57) 摘要

本发明提供了一种基于调谐质量阻尼器的超大型半潜漂浮式风力机基础,属于海上风电技术领域。该基础垂荡立柱固定于主立柱的底部;上三角过渡构件负责连接风力机与主立柱;垂荡立柱之间通过与其等高的矩形下浮箱连接,呈正三角形,整个漂浮式基础无需布置横撑、斜撑等杆件结构;下浮箱利用舱室隔板分为上下两层,上层安装水平型调谐质量阻尼器装置;“垂荡立柱+下浮箱”作为垂荡抑制机构代替施工工艺复杂的垂荡板。本发明适用于50m以上水深、7MW以上的超大型风力机,能有效地抑制大风大浪强耦合海况下风力机与漂浮式基础之间的共振,增加了超大型半潜漂浮式风力机系统运行的稳定性并降低了风力机结构的疲劳损伤。



1. 一种基于调谐质量阻尼器的超大型半潜漂浮式风力机基础,其特征在于,该超大型半潜漂浮式风力机基础包括侧立柱、下浮箱(4)、水平型调谐质量阻尼器(5)、上三脚过渡构件(6)和系泊系统(15);侧立柱包括三根等直径的主立柱(1)和三根等直径的垂荡立柱(2),垂荡立柱(2)固定于主立柱(1)的底部,垂荡立柱(2)之间通过与其等高的矩形下浮箱(4)连接成正三角形;下浮箱舱室隔板(13)将下浮箱(4)分为上下两层,下层用于填充静态的压载物,上层布设水平型调谐质量阻尼器(5);水平型调谐质量阻尼器(5)的两端分别与垂荡立柱(2)的外壳板连接,并在连接处布置防撞橡胶块(19);下浮箱舱室隔板(13)的上面布设与下浮箱(4)中心线平行的滑道,水平型调谐质量阻尼器(5)在滑道内运动;上三脚过渡构件(6)连接在风力机塔架(7)和侧立柱之间,上三脚过渡构件(6)包括三个等截面箱型重梁和中央立柱,箱型重梁沿中央立柱向下倾斜且呈放射状均匀分布,箱型重梁的下端与主立柱(1)顶部连接;

所述侧立柱支撑上三脚过渡构件(6)的底部位于超大型半潜漂浮式风力机基础所处海况下的最大波高以上;所述上三脚过渡构件(6)的中央底面安装红外报警器(20),负责探测到周围海域船只时自动发出警报;

所述水平型调谐质量阻尼器(5)包括固体质量块(16)、弹簧减震器(17)和阻尼器(18),固体质量块(16)位于中间,弹簧减震器(17)和阻尼器(18)分别位于两侧。

2. 根据权利要求1所述的基于调谐质量阻尼器的超大型半潜漂浮式风力机基础,其特征在于,所述的垂荡立柱(2)的直径大于主立柱(1)的直径;所述主立柱(1)和垂荡立柱(2)外壳板的内侧布设纵桁、纵骨、垂向以及水平扶强材料;所述主立柱(1)靠近海平面的位置安装靠船件(11),并在主立柱(1)与上三脚过渡构件(6)的箱型重梁上布设维修步行通道(12)。

3. 根据权利要求1或2所述的基于调谐质量阻尼器的超大型半潜漂浮式风力机基础,其特征在于,所述上三脚过渡构件(6)顶面与塔架(7)底部连接处布设加强组件(14),加强组件(14)包括加强环和加劲肋;所述上三脚过渡构件(6)与侧立柱连接处布设加劲肋。

4. 根据权利要求1或2所述的基于调谐质量阻尼器的超大型半潜漂浮式风力机基础,其特征在于,所述侧立柱、下浮箱(4)均为中空结构;所述侧立柱采用隔板将其划分为多个舱室(3),布置压载并调节漂浮式基础平衡;下浮箱舱室隔板(13)下面布设纵桁提高下浮箱舱室隔板(13)的强度。

5. 根据权利要求3所述的基于调谐质量阻尼器的超大型半潜漂浮式风力机基础,其特征在于,所述侧立柱、下浮箱(4)均为中空结构;所述侧立柱采用隔板将其划分为多个舱室(3),布置压载并调节漂浮式基础平衡;下浮箱舱室隔板(13)下面布设纵桁提高下浮箱舱室隔板(13)的强度。

基于调谐质量阻尼器的超大型半潜漂浮式风力机基础

技术领域

[0001] 本发明涉及海上风电技术领域,具体涉及一种基于调谐质量阻尼器的超大型半潜漂浮式风力机基础。

背景技术

[0002] 目前海上安装应用的大型风电机组主要为3-5MW,且普遍采用浅海固定式基础,随着浅水区近海风能资源开发殆尽,同时深海风能资源具有储量大、风速高、风况稳定、不占用土地和不产生噪声和视觉污染等优势,因此,海上风电产业走向深海远岸是必然趋势。然而,当水深大于50m以后,固定式基础的成本将随着海水深度增加而急剧上升,采用漂浮式基础可以显著提升技术经济指标。考虑到深海风能开发的成本和效益,经济性分析表明需要更大单机容量的风力机来降低平准化发电成本(LCOE),海上风力机大型化是必然选择,因此对应需要较大体积的海上风力机支撑平台。目前普遍采用的漂浮式风力机基础主要包括Spar型、半潜式和TLP型基础。由于我国大陆架延伸范围广且坡度缓,50-120m水深范围涵盖了我国黄海大部分海域、东海和台湾海峡几乎全部海域、南海近海海域,同时综合考虑稳定性、水动力性能、建造安装成本等要素,半潜基础因其具有较强的回复力矩和良好的稳定性、适用水深范围广、安装方式简单、移动灵活且可采用托航安装而被广泛应用。现有的半潜漂浮式风力机基础多为驳船式或“三立柱+撑杆”的桁架式结构,其也存在以下不足:

[0003] 1) 传统的半潜漂浮式风力机基础主要通过横撑、斜撑等杆件结构与各个立柱连接,并利用立柱水线面积所提供的复原力矩来获得风力机系统所需的稳性。然而,在风力机系统正常运行时,杆件结构出入水会导致水线面面积的实时变化,这会影响风力机系统运行稳定性。此外,多斜撑的结构在斜撑与立柱、斜撑之间的连接点会形成疲劳敏感区,这给半潜漂浮式基础带来了诸多疲劳设计、制造困难以及结构疲劳失效风险,尤其是对于7MW以上的超大型漂浮式风力机,通常会增加立柱间距获得目标水线面惯性矩,这大大增加了杆件结构的长度、受力以及结构疲劳。

[0004] 2) 漂浮式风力机是复杂的风力机(包括叶片、轮毂、机舱等结构)-塔架-漂浮式基础-系泊系统强非线性相互作用(气动力-弹性-水动力相互耦合)的刚柔混合多体系统,其动力反应特性异常复杂,且漂浮式基础非定常效应明显,其微幅运动即可造成高耸的风力机结构产生显著的强非线性运动。另外,半潜漂浮式风力机基础压载水舱的各个舱室相对独立,故压舱水的运动行程明显受限,在不对称的或大风大浪的强耦合海况作用下,半潜漂浮式风力机基础将会出现抗振性不足的问题,同时超大型漂浮式风力机超重的转子和机舱质量也会进一步的放大此振动效应,这大幅的降低了风力机的风能转换效率和功率输出的稳定性,并对风力机系统运行安全的可靠度和结构疲劳损伤破坏造成了恶劣影响。

发明内容

[0005] 为了解决背景技术中存在的问题,本发明提出了一种基于调谐质量阻尼器的超大型半潜漂浮式风力机基础,应用于50m以上水深和7MW以上的超大型风电机组。通过采用预

制的上三脚海上三桩风力机过渡件和下浮箱连接各立柱而取消杆件结构,尽可能减轻漂浮式结构的疲劳损伤,并通过增加过渡构件和下浮箱的刚度来限制立柱的相对变形,以代替斜撑的作用;在下浮箱内布设等质量的调节质量阻尼器来代替部分的静态压载物,这既能有效地减少半潜漂浮式基础在复杂多变的风浪流强耦合作用海况下的振动响应,又能有效地避免风力机与漂浮式基础之间强非线性耦合作用所产生的共振反应;“垂荡立柱+下浮箱”代替垂荡板作为垂荡抑制机构,既能降低半潜漂浮式基础的重心,提高风力机系统整体的稳性,也能增大漂浮式基础垂向的附加质量和阻尼,进而增大其垂荡的固有周期,并减小其垂荡运动响应幅值,同时也进一步简化了垂荡板结构复杂的制造和施工工艺。

[0006] 本发明技术方案如下:

[0007] 一种基于调谐质量阻尼器的超大型半潜漂浮式风力机基础包括侧立柱、下浮箱4、水平型调谐质量阻尼器5、上三脚过渡构件6和系泊系统15;侧立柱包括三根等直径的主立柱1和三根等直径的垂荡立柱2,垂荡立柱2固定于主立柱1的底部,垂荡立柱2之间通过与其等高的矩形下浮箱4连接成正三角形;下浮箱舱室隔板13将下浮箱4分为上下两层,下层用于填充静态的压载物,上层布设水平型调谐质量阻尼器装置5;水平型调谐质量阻尼器5的两端分别与垂荡立柱2的外壳板连接,并在连接处布置防撞橡胶块19;下浮箱舱室隔板13的上面布设与下浮箱4中心线平行的滑道,水平型调谐质量阻尼器5在滑道内运动,以提高超大型半潜漂浮式基础在强耦合海况下的抗振性能,并提高风力机的风能转换效率;上三脚过渡构件6连接在风力机塔架7和侧立柱之间,上三脚过渡构件6包括三个等截面箱型重梁和中央立柱,箱型重梁沿中央立柱向下倾斜且呈放射状均匀分布,箱型重梁的下端与主立柱顶部1连接。

[0008] 垂荡立柱2的直径大于主立柱1的直径;主立柱1和垂荡立柱2外壳板的内侧布设纵桁、纵骨、垂向以及水平扶强材料;主立柱1靠近海平面的位置安装靠船件11,并在主立柱1与上三脚过渡构件6的箱型重梁上布设维修步行通道12,以便运维船旁靠和对风力机系统故障检修。

[0009] 上三脚过渡构件为预制的海上三桩风力机钢基础过渡构件,上三脚过渡构件6顶面与塔架7底部连接处布设加强组件14,加强组件14包括加强环和加劲肋;上三脚过渡构件6与侧立柱连接处布设加劲肋,以提高半潜漂浮式基础的强度;侧立柱支撑上三脚过渡构件6的底部位于超大型半潜漂浮式风力机基础所处海况下的最大波高以上;上三脚过渡构件6的中央底面安装红外报警器20,负责探测到周围海域船只时自动发出警报,避免船舶与漂浮式基础相撞而造成不必要的损失。

[0010] 水平型调谐质量阻尼器5包括固体质量块16、弹簧减震器17和阻尼器18,固体质量块16位于中间,弹簧减震器17和阻尼器18分别位于两侧。

[0011] 侧立柱、下浮箱4均为中空结构,以提供半潜漂浮式基础所需的浮力;侧立柱采用隔板将其划分为多个舱室3,布置压载并调节漂浮式基础平衡;下浮箱舱室隔板13下面布设纵桁提高下浮箱舱室隔板13的强度。

[0012] 上三脚过渡构件6的中央顶面安装风力机,并将塔基与过渡构件焊接成一个整体,风力机所受的风载荷通过塔架传递给上三脚过渡构件6,再由倾斜的箱型重梁分散到侧立柱,以尽可能的避免风力机塔基处出现过大的应力集中。

[0013] 系泊系统15包括三根由合成纤维绳索制成的系泊缆索,并呈辐射状均匀的分布于

半潜漂浮式基础周围,一段连接于主立柱与垂荡立柱连接处偏上的位置,另一端通过锚固系统固定于海床上。

[0014] 上三脚过渡构件6的中央顶面安装风力机,并将塔基与上三脚过渡构件6焊接成一个整体,风力机所受的风载荷通过塔架传递给上三脚过渡构件6,再由倾斜的箱型重梁分散到侧立柱,以尽可能的避免风力机塔基处出现过大的应力集中。

[0015] 采用隔板将侧立柱被划分为多个舱室3,方便布置压载并调节漂浮式基础平衡。

[0016] 调整吃水使漂浮式基础满足作业气隙的要求。

[0017] 本发明的有益效果:

[0018] 1) 本发明结合了Spar型和半潜漂浮式基础的特点,采用了大立柱跨度、小水面线、大潜没式设计,其侧立柱水线面提供风力机系统所需的稳性,且固定压载位于漂浮式基础的底部,这很好的解决了拖航与在位运动性能之间的冲突,极大的改善了漂浮式风力机基础的运动性能。同时利用高刚度、预制的海上三桩风力机钢基础上三脚过渡构件和下浮箱替代横撑、斜撑的使用,有效避免了漂浮式基础关键连接处形成较大范围的疲劳敏感区,减轻了结构疲劳设计的压力,限制了立柱的相对变形,降低了漂浮式基础结构疲劳损伤,延长了漂浮式基础服役年限并大大降低了运维成本。此外,本发明中空的内部空间配备海上养殖或海水淡化装置,实现海上风场的多用途利用。

[0019] 1) 在下浮箱内分别布设等质量的水平型调谐质量阻尼器来代替部分的静态压载物,以实现超大型半潜漂浮式风力机基础的稳定性控制,这不仅能有效地抑制漂浮式基础在不对称或大风大浪的强耦合海况下的动态响应,还避免了漂浮式基础与上部风力机发生共振反应,保证半潜漂浮式基础在复杂多变的海洋环境条件下运动的稳定性、风力机结构的可靠性、系泊锚链的安全性,尤其对于具有超长柔性叶片、超高柔性塔架以及超重转子和机舱质量的超大型风力机至关重要。

[0020] 2) 半潜漂浮式基础垂荡自振周期为20-50s,相比其它自由度的运动,其与一般的波浪周期更为接近,故半潜漂浮式基础的垂荡响应控制一直是热点问题。与传统的半潜漂浮式基础相比,本发明采用“垂荡立柱+下浮箱”代替垂荡板作为垂荡抑制机构,其使得半潜漂浮式基础整体在垂荡方向上的运动及加速度大大降低,并对结构强度的要求也将随之降低。另外,“垂荡立柱+下浮箱”除了简化垂荡板复杂的施工工艺外,还能够显著地降低半潜漂浮式基础的重心,增大其稳性并增强其抗风暴能力。此外,采用预制的海上三桩风力机钢基础过渡构件能够实现半潜漂浮式基础模块化组装、整体拖航、整体安装,大大提高了半潜漂浮式基础制造和安装效率,并降低了半潜漂浮式基础建造成本。

附图说明

[0021] 图1是本发明的整体结构立体图;

[0022] 图2是本发明的预制上三脚过渡构件示意图;

[0023] 图3是本发明的下浮箱内水平型调谐质量阻尼器布置图;

[0024] 图4是本发明的靠船构件示意图;

[0025] 图5是本发明的下浮箱内舱室隔板示意图。

[0026] 图中:1.主立柱;2.垂荡立柱;3.舱室;4.下浮箱;5.水平型调谐质量阻尼器;6.上三脚过渡构件;7.塔架;8.机舱;9.轮毂;10.风力机叶片;11.靠船件;12.维修步行通道;13.

下浮箱舱室隔板;14.加强组件;15.系泊系统;16.固体质量块;17.弹簧减震器;18.阻尼器;19.防撞橡胶块;20.红外报警器;21.锚固系统。

具体实施方式

[0027] 为了加深对本发明的理解,下面将结合实施例和附图对本发明做进一步详述,该实施例仅用于解释本发明,并不构成对本发明的保护范围限定。

[0028] 如图1所示,一种基于调谐质量阻尼器的超大型半潜漂浮式风力机基础,包括上三脚过渡构件6、侧立柱、下浮箱4、系泊系统15,其中上三脚过渡构件6的中央顶面与塔架7底部连接,超大型半潜漂浮式风力机还包括机舱8、轮毂9以及风力机叶片10等关键部件。

[0029] 侧立柱包括等截面的主立柱1和垂荡立柱2,垂荡立柱位于主立柱底部,且垂荡立柱的直径大于主立柱的直径,当半潜漂浮式基础运动时,三个侧立柱的水线面面积始终相同,进而半潜漂浮式基础获得了较好的稳性且固有周期保持不变。此外,为增加侧立柱强度,垂荡立柱2的外壳板连接下浮箱4内的水平型调谐质量阻尼器装置,主立柱1和垂荡立柱2外壳板的内侧布设纵桁、纵骨、垂向以及水平扶强材料。

[0030] 塔架7与侧立柱之间的连接采用预制的钢基础上三脚过渡构件6,由于DTU10MW样本风力机塔顶最大的水平剪力为4605kN,故上三脚过渡构件6箱型重梁所承受的最大剪力为2302.5kN,最后综合考虑半潜漂浮式风力机基础的稳性、强度、用钢量等要素,确定上三脚过渡构件6的跨度、横截面尺寸以及箱型重梁向下倾斜角度,且倾斜的合理角度在 10° 到 15° 范围内。

[0031] 主立柱1顶端分别与上三脚过渡构件6箱型重梁的底端连接,并在连接处布设承受足够荷载传递的加强组件14。三垂荡立柱2之间分别利用过两垂荡立柱2中心且与其等高的下浮箱4连接,并呈正三角形。然而,采用下浮箱4代替杆件结构作为各侧立柱之间的连接,除了限制侧立柱的相对变形并减少疲劳损伤,“垂荡立柱+下浮箱”可作为垂荡抑制机构,能够降低漂浮式基础的重心,增大其垂向的附加质量、辐射阻尼以及垂荡的固有周期,并抑制垂荡方向上的运动及加速度,这使得漂浮式基础获得了良好的水动力性能及稳性,改善了漂浮式基础的运动性能,提高了风力机风能转换的效率。另外,采用预制的下浮箱舱室隔板13在下浮箱4内偏下的位置将其分为上下两层,下层用于填充静态的、非液体的压载物,可以采用混凝土或水泥;上层用于布设等质量的水平型调谐质量阻尼器5来代替部分静态的压载物,水平型调谐质量阻尼器5包括固体质量块16,弹簧减震器17以及阻尼器18,进一步在下浮箱舱室隔板13的顶面布设与下浮箱4中心线平行的滑道,水平型调谐质量阻尼器5的两端分别与垂荡立柱2的外壳板连接,并在连接处布置防撞橡胶块19,防止固体质量块16对垂荡立柱2造成碰撞破坏。此外,由于下浮箱舱室隔板13要承担固体质量块16的重量,故在其底面布设了纵桁,以提高下浮箱舱室隔板13的强度。

[0032] 上三脚过渡构件6顶面与塔架7底面连接,并在连接处布设加强组件14,包括加劲肋和加强环,使其能够承受足够荷载的传递,并降低塔架7底部强度较大处的应力集中,另外,在上三脚过渡构件6底面也布设加强环和红外报警器20,当其探测到周围海域的船只时会自动的发出警报,避免船舶与半潜漂浮式基础发生碰撞。三主立柱1靠近海平面的位置安装靠船件11,便于维修船舶旁靠。靠船件11采用桁架结构,且其连接杆均为若干空心高强度耐腐蚀结构钢管。主立柱1与上三脚过渡构件6的箱型重梁上布设维修步行通道12,若机舱8

内设备发生故障,可将维修船旁靠在主立柱1附近,然后维修人员经过维修步行通道12到达塔架7底部,并穿过塔架7进入机舱进行维修。系泊系统15包括三根由合成纤维绳索制成的系泊缆索,呈 120° 放射状布置,三根系泊缆索一端分别与主立柱1靠近垂荡立柱2偏下位置的外壳板连接,另一端分别与固定于海床上的锚固系统21连接,并且锚固系统21采用桩锚、吸力桶锚或重力式锚。

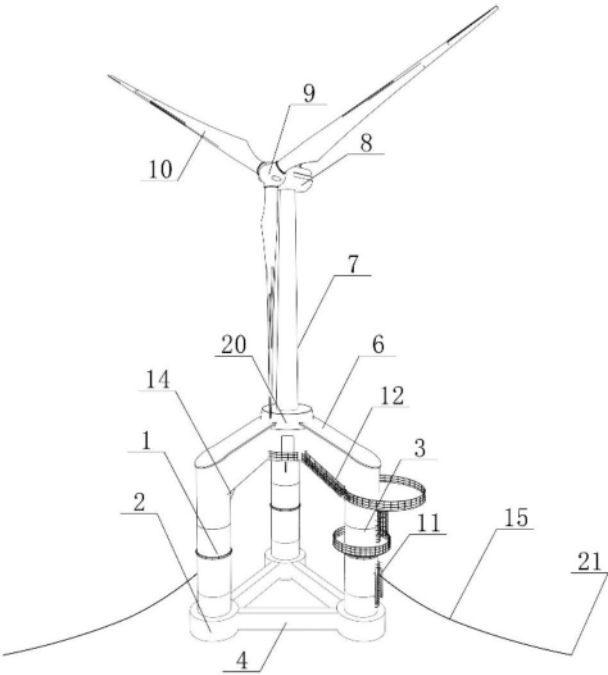


图1

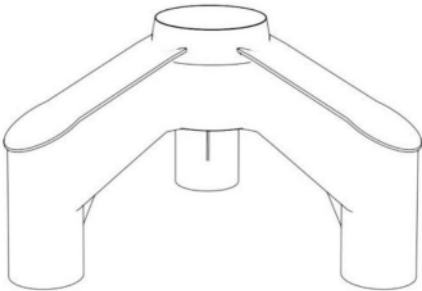


图2

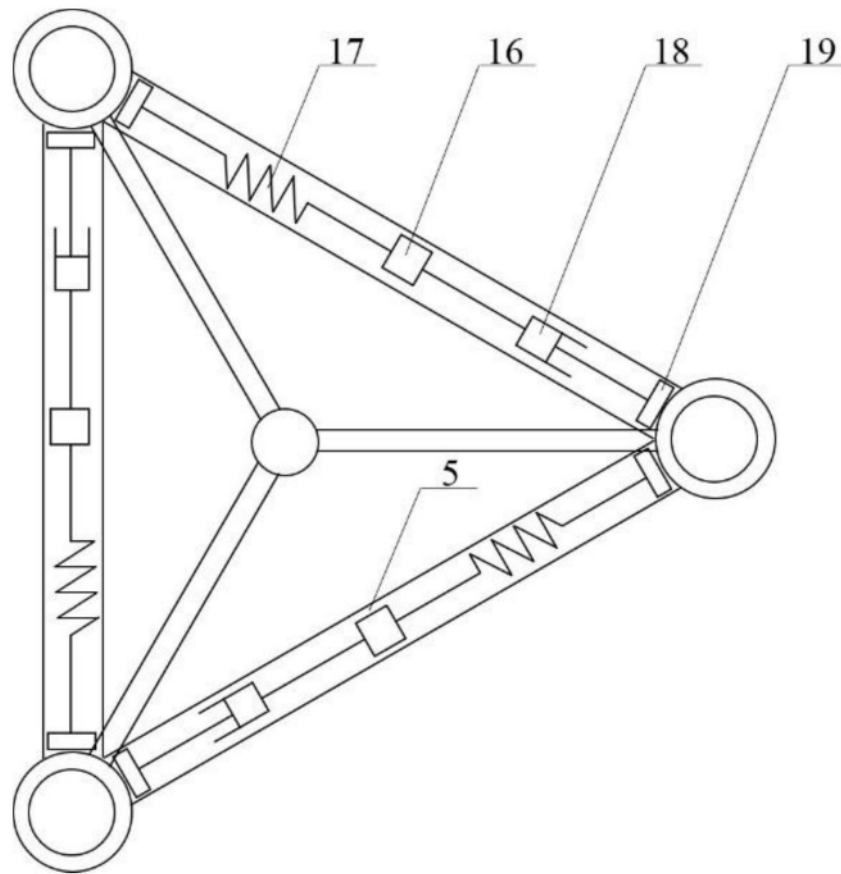


图3

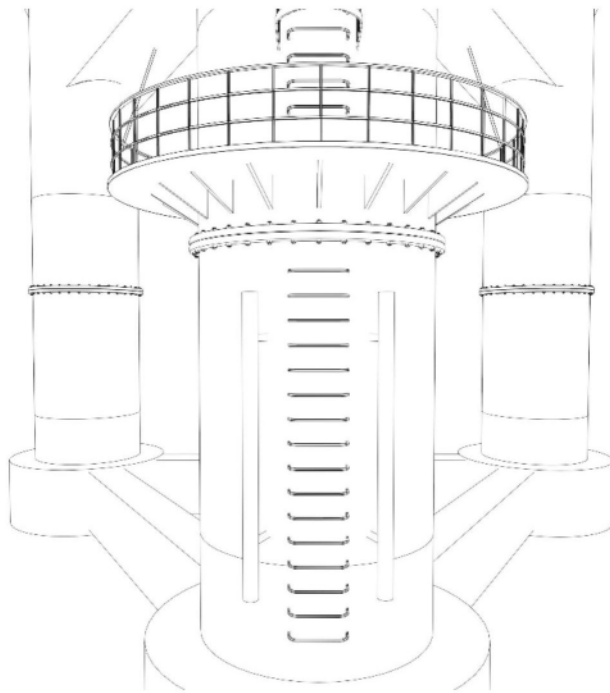


图4

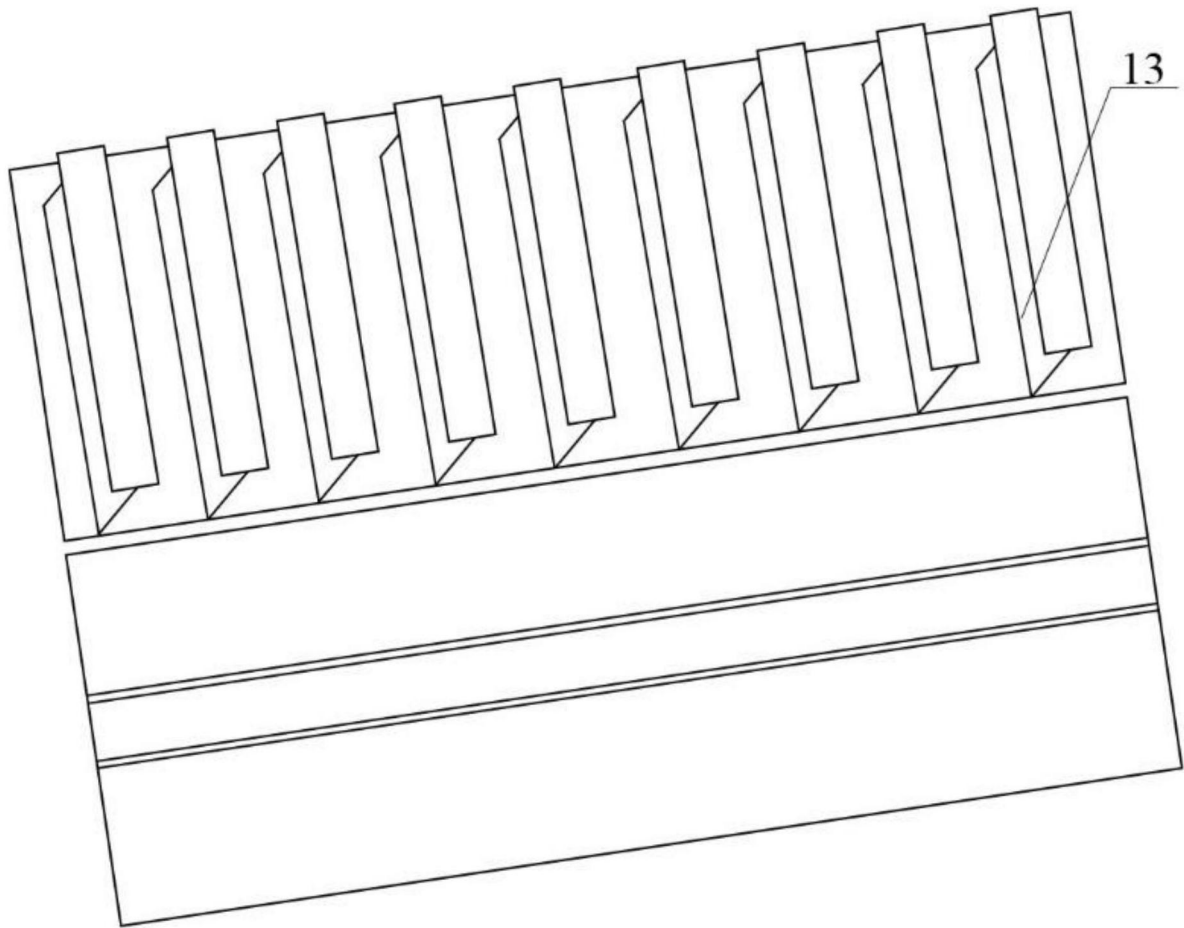


图5