



(21)申请号 201621266084.4

(22)申请日 2016.11.22

(73)专利权人 哈尔滨工业大学深圳研究生院

地址 518000 广东省深圳市南山区西丽镇
深圳大学城哈工大校区

(72)发明人 李朝 韩喜双 周盛涛 肖仪清
刘海涛 王晓璐

(74)专利代理机构 深圳市科吉华烽知识产权事
务所(普通合伙) 44248

代理人 严涓逢

(51)Int.Cl.

E02D 27/42(2006.01)

E02D 27/44(2006.01)

E02D 27/52(2006.01)

(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

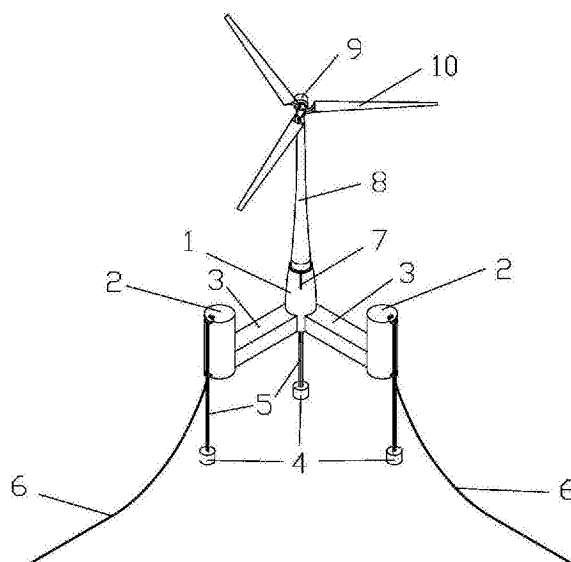
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)实用新型名称

一种三立柱半潜式海上风机基础

(57)摘要

本实用新型提供了一种三立柱半潜式海上风机基础,为海上风能开发服务,包括三个呈三角形排列的垂向立柱,立柱水上高度约占基础总高 $1/3 \sim 1/4$,风力发电机安装在主立柱顶部,主立柱水下底端通过浮筒分别与外围两个次立柱相连,两浮筒夹角为 $60^\circ \sim 90^\circ$ 之间,结构形式简练,传力路径清晰。立柱内部中空且设置加劲肋、压载物舱室。三立柱的甲板上设置锚机,柱身固定导缆器,张力筋与海底的外部压载物相连。通过调节外部悬挂压载物与海床的接触程度,控制风机-基础系统的倾斜角度,保证高效风能采集。基础采用悬链系泊,与海底的拖曳式锚连接。



1. 一种三立柱半潜式海上风机基础,其特征在于所述基础包括:
三个不共线排列的垂向立柱,立柱水上高度约占总高 $1/3 \sim 1/4$;
在主立柱(1)顶部与风力发电机的塔筒(8)相连,主立柱(1)水下底端通过浮筒(3)分别与外围两个次立柱(2)相连,两浮筒(3)夹角在 $60^\circ \sim 90^\circ$ 之间;
立柱(1)和两个次立柱(2)及浮筒(3)截面为圆形或者带圆倒角的矩形或正多边形,表面设置凹槽,内部中空且设置加劲肋、压载物舱室;
立柱(1)和两个次立柱(2)中放置内部固体和/或液体压载物;
立柱(1)和两个次立柱(2)的甲板上设置锚机(12),柱身固定导缆器(11),张力筋(5)与海底的外部压载物(4)相连;此外,基础采用悬链系泊(6),其海底端与固定在海床上的拖曳式锚连接。
2. 根据权利要求1所述的半潜式海上风机基础,其特征在于:基础结构可采用高强度钢材或者现浇高强混凝土建造,采用混凝土材料时,预留孔道,通过后张法为结构提供预应力。
3. 根据权利要求1所述的半潜式海上风机基础,其特征在于:立柱及浮筒采用圆形或者带圆倒角的矩形或正多边形截面,立柱之间仅通过水下的浮筒连接。
4. 根据权利要求1所述的半潜式海上风机基础,其特征在于:立柱表面设置了竖向凹槽,浮筒表面设置了水平向凹槽。
5. 根据权利要求1所述的半潜式海上风机基础,其特征在于:风机安装于主立柱上,而非三立柱的几何中心位置,风机-基础系统有明显的不对称性。
6. 根据权利要求1所述的半潜式海上风机基础,其特征在于:在立柱及浮筒中设置有多个舱室。
7. 根据权利要求1所述的半潜式海上风机基础,其特征在于:主次立柱分别设置了维护船舶停靠点及上甲板扶梯(7)。

一种三立柱半潜式海上风机基础

技术领域

[0001] 本实用新型属于风力发电领域,涉及一种海上漂浮式风机基础。

背景技术

[0002] 陆地风资源的逐步枯竭将人类的视线转移到了清洁能源的新方向——海上风电。海上风电具有风速高、电量高、运行稳定、适合大规模开发等优势,且海上风能资源最丰富的东南沿海地区,毗邻用电需求大的经济发达地区,可以实现用电就近消化,降低输送成本,发展潜力巨大。据估算,海上风能资源的能量效益比陆上风电要高20%至40%。

[0003] 对于水深大于40米的深水海洋环境,漂浮式的风机基础经济性更好。与海上风机的固定基础相比,漂浮式风机基础的优势包括:

[0004] (a) 受水深限制小,风场地址选取更灵活;

[0005] (b) 远海上风资源量更足、质更高;

[0006] (c) 风机、浮式基础及系泊锚的海上安装工艺简单,大部分施工可在港口完成;

[0007] (d) 受海床地基条件的影响小,成型方案可移植性高;

[0008] (e) 可安装在远海消除对近海景观的视觉污染。

[0009] 目前,依托于石油工业的海洋平台技术,主要存在三种浮式风机基础:单柱型(Spar)、张力腿型(Tension-Leg Platform, TLP)、半潜型(Semi-Submersible)。

[0010] 单柱型基础结构简单,但为了提供足够回复力矩和稳性,需降低重心及较大的吃水深度,其在竖向波浪外激力较小,具有较好的垂荡稳性,但较小的水线面面积无法贡献横摇及纵摇两个方向的稳性,风机的倾覆力矩将降低基础稳定和风机效率。

[0011] 张力腿型的浮式基础具有非常好的垂荡和转动稳性,但张力腿造价高、安装复杂,潮汐变化也会影响系泊腿中张力大小,且上部结构与张力腿系统的同频耦合振动都使得此类系统难于设计与施工。

[0012] 依靠分散柱体稳定的半潜式多柱平台水线面积较小(材料省)却能提供较大的回复力矩,在保证经济性的前提下,平台稳定性最好。此外,该基础和风机的施工安装均可在港口完成,拖航至海上风场下锚固定。

[0013] 基于以上分析,国际上提出的浮式风机概念设计很多,但目前已建造运营的浮式海上风机多数采用了柱稳式半潜基础,包括由Principle Power公司的Windfloat及日本Fukushima Forward项目中2MW Mirai及7MW Shimpuu。

[0014] Windfloat是由Principle Power公司设计海上浮式风机基础产品。在2011年建造了全尺寸原型机安装在离海岸5km的葡萄牙海域,其上安装了一台2MW风机,试运行一年后的发电量为3GWh。该平台由对称的三个圆立柱及连接的杆件组成,三个圆立柱底部设置了压水板,与桁架式立柱平台类似。风机安装在一个立柱上,每个圆立柱底部设置了恒定的压水舱用来降低浮体中心,提高稳性。当来流风向改变时,通过主动控制的闭环水泵调节三个浮筒的压舱水重也可提高系统的稳性,抑制振动。

[0015] Fukushima Forward项目第一阶段(2011-2013)包括建造一台2MW的半潜式四柱漂

浮风机。Fukushima Mirai采用全钢结构设计,采用了高品质钢材以提高平台防腐蚀和抗疲劳特性,其上安装的2MW风机转子直径80 m,轮毂高度离水面65m,基础平台高度为32m,吃水约16m,采用6根悬链式的钢制系泊索。改基础结构中四根立柱均为圆柱,外围圆柱底部向外扩展,起到了垂荡板的作用,底部浮筒截面较大,提供浮力并降低重心。

[0016] Fukushima Forward项目第二阶段(2014-2015)包括建造一台7MW的漂浮式风机 Fukushima Shimpuu,采用钢材制造,V型三柱式平台,立柱截面为矩形。

[0017] 海上浮式风机基础的设计并不能完全按照成熟的油气海洋平台设计方法进行。一方面,一部5MW风机的重量(700ton)约为一般海洋平台上部结构重量的十分之一甚至更小,因此浮式风机基础在波浪力作用下的动力响应将更大。另一方面,海洋平台的钻井及输油升管无法承受较大的竖向变形,因此对垂荡运动的抑制至关重要,而摇摆对平台的安全运营影响较小。海上风机对浮式基础平台的水动力特性要求恰恰相反,垂荡运动对于风机采能影响不大,只有足够小的纵摇及横摇自由度动态响应才能保证风机的高效运转。

实用新型内容

[0018] 为了解决40米-200米水深的海上风能利用问题,本实用新型提供了一种三立柱半潜式海上风机基础,结构形式简练,传力路径清晰,可采用高强度钢材或者现浇高强混凝土建造,适合在岸边浅水港口码头施工拼装,可支撑目前主流5MW级别以上的风机,保证正常作业、极限自存下的结构强度和风能转化效率。

[0019] 本实用新型中浮式基础包括三个呈三角形排列的垂向立柱,风力发电机安装在主立柱顶部,主立柱水下底端通过浮筒分别与外围两个次立柱相连。与风机安装于几何中心的四立柱式基础相比,本实用新型的偏心三立柱半潜式基础优势和原创性包括:a)基础结构更简单,材料使用更省,造价更低;b)针对于目前主流的5MW风机所需的基础结构特征尺寸,垂荡周期显著增加,避开了17秒左右的波浪周期,提高了系统的极限自存能力;c)当风机安装在三柱式基础的某一根立柱上时,结构的非对称性将使不同方向下的稳性差别较大,但合理的调节基础重心,依靠风气象资料选择安装角度,可使基础提供更大的抗倾覆力矩;d)本实用新型设计的一套外部压载物调节系统,能够在风向改变时及时连续的调整结构重心,控制风机的倾斜角度,保证发电效率。

[0020] 作为本实用新型的进一步改进,三个不共线排列的垂向立柱,立柱水上高度约占总高 $1/3 \sim 1/4$;

[0021] 在主立柱(1)顶部与风力发电机的塔筒(8)相连,主立柱(1)水下底端通过浮筒(3)分别与外围两个次立柱(2)相连,两浮筒(3)夹角在 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 之间;

[0022] 立柱(1)和两个次立柱(2)及浮筒(3)截面为圆形或者带圆倒角的矩形或正多边形,表面设置凹槽,内部中空且设置加劲肋、压载物舱室;

[0023] 立柱(1)和两个次立柱(2)中放置内部固体和/或液体压载物;

[0024] 立柱(1)和两个次立柱(2)的甲板上设置锚机(12),柱身固定导缆器(11),张力筋(5)与海底的外部压载物(4)相连;此外,

[0025] 基础采用悬链系泊(6),其海底端与固定在海床上的拖曳式锚连接。立柱及浮筒采用圆形或者带圆倒角的矩形或正多边形截面,立柱之间仅通过水下的浮筒连接。

[0026] 作为本实用新型的进一步改进,立柱及浮筒采用圆形或者带圆倒角的矩形或正多

边形截面,立柱之间仅通过水下的浮筒连接。

[0027] 作为本实用新型的进一步改进,风机安装于主立柱上,而非三立柱的几何中心位置,风机-基础系统有明显的不对称性。

[0028] 作为本实用新型的进一步改进,在作业状态下,不同风速引起的风机推力不同,风机的倾斜角度也不同,通过实测来流风速及风向,利用锚机及导缆装置,实时控制三立柱悬挂的外部压载物与海床的接触程度,主动调节系统的质量分布、重心及浮心位置,以达到抑制系统整体倾斜的目的。

[0029] 作为本实用新型的进一步改进,在极限自存状态下,依据风向,使外部压载物完全脱离或者沉落在海床上,降低系统重心,抑制基础的荡动及摇摆,提高系统安全性。

[0030] 除此之外,作为本实用新型的进一步改进,基础结构可采用高强度钢材或者现浇高强混凝土建造,采用混凝土材料时,预留孔道,通过后张法为结构提供预应力。

[0031] 作为本实用新型的进一步改进,基于浮体稳性及水动力学基本原理,立柱及浮筒可采用圆形或者带圆倒角的矩形或正多边形截面。

[0032] 作为本实用新型的进一步改进,立柱表面设置了竖向凹槽,浮筒表面设置了水平向凹槽,可起到消波消能,增加阻尼,抑制涡激振动。

[0033] 作为本实用新型的进一步改进,在立柱及浮筒中设置有多个舱室,用于存放内部固/液体压载物。调节内部压载物的初始质量及初始位置,使风机倾角在风速气象统计的大概率值附近为零。

[0034] 作为本实用新型的进一步改进,主次立柱分别设置了维护船舶停靠点及上甲板扶梯。

[0035] 作为本实用新型的进一步改进,作业状态下,基础在水面上的高度大于10米,避免上浪造成风机设备浸水破坏。

[0036] 作为本实用新型的进一步改进,系泊系统采用悬链状系泊,保证系统的位置保持,不发生漂移。

附图说明

[0037] 结合以下附图及实施例的描述,可使本实用新型的优点及原创性更加清晰和易于理解,其中:

[0038] 图1是本实用新型——三立柱半潜式海上风机基础的等轴视图;

[0039] 图2是本实用新型——三立柱半潜式海上风机基础的侧视图;

[0040] 图3是本实用新型中平衡控制系统的详细结构图。

具体实施方式

[0041] 下面结合附图说明,以5MW水平轴风机为例,详述本实用新型的实施例。

[0042] 本实用新型提出了一套40米-200米水深的海上风机基础,充分应用了空气动力学、结构力学及水动力学原理,其特点是结构简单,传力清晰,施工方便,材料可因地选取,工作状态稳定,自存能力强。

[0043] 图1是本实用新型——三立柱半潜式海上风机基础的等轴视图,附图2是本实用新型——三立柱半潜式海上风机基础的侧视图。本实用新型的三立柱半潜式海上风机基础包

括三个不共线排列的垂向立柱(1)和(2),立柱总高度约为30米-40米。

[0044] 如图1至3所示,在主立柱(1)顶部与风力发电机的塔筒(8)相连,风机还包括机舱(9)及叶片(10)等关键部件。主立柱(1)水下底端通过浮筒(3)分别与外围两个次立柱(2)相连,而两立柱并不直接相连。两浮筒(2)夹角在 $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 之间,可依据目标海域的风浪长期气象观测资料,优化设计该夹角的大小。

[0045] 立柱(1)和(2)及浮筒(3)截面为圆形或者带圆倒角的矩形或正多边形,截面的选取需在水动力荷载及结构抗力间取得平衡。其中立柱采用圆形截面水动力荷载较小,但可能会引起涡激共振破坏。本实用新型中采用圆柱壁面开设竖向凹槽,可避免规则旋涡脱落现象的发生。浮筒(3)设置为带圆倒角的矩形截面,提高截面的抗弯性能,表面设置水平向凹槽,可起到消波消能,抑制涡激振动,增加阻尼,减小基础的荡动和摇摆。

[0046] 立柱(1)和(2)及浮筒(3)内部中空且设置加劲肋,避免结构发生局部失稳。设置压载物舱室,用于存放内部固/液体压载物,保证舱室间的水密性,确保意外事故导致破舱时的整体稳性。通过调节内部压载物的初始质量及初始位置,使风机-基础的整体倾角在风速气象统计的大概率值附近为零,使在不调用外部压载平衡控制系统的情况下,风机依然能最大效率工作。

[0047] 立柱(1)和(2)的甲板上设置锚机(12),柱身固定导缆器(11),张力筋(5)与海底的外部压载物(4)相连。通过统一的平衡控制系统,结合实测来流风速及风向,实时控制三立柱悬挂的外部压载物与海床的接触程度,主动调节系统的质量分布、重心及浮心位置,控制系统整体倾斜尽可能小。

[0048] 在作业状态下,尽量使外部压载物完全沉落在海床上,单独控制某一立柱上的压载物,使基础平衡,避免张力筋(5)的疲劳破坏。

[0049] 在极限自存状态下,依据风向,使外部压载物完全脱离或者沉落在海床上,降低系统重心,抑制基础的荡动及摇摆,提高系统安全性。

[0050] 主次立柱(1)和(2)上分别设置了维护船舶停靠点及上甲板扶梯(7),便于风机和基础运营设备的维修和保养。水上高度约占总高 $1/3\sim 1/4$,一般大于10米,避免上浪造成风机设备浸水破坏。

[0051] 基础采用悬链系泊(6),其海底端与固定在海床上的拖曳式锚连接,保证系统的位置保持,不发生漂移。

[0052] 基础结构可因地制宜的采用高强度钢材或者现浇高强混凝土建造,采用混凝土材料时,预留孔道,通过后张法为结构提供预应力。在干船坞中施工养护完毕后,拼装风机,放水并拖航至目标场地。

[0053] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本实用新型所作的进一步详细说明,不能认定本实用新型的具体实施只局限于这些说明。对于本实用新型所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本实用新型构思的前提下,还可以做出若干简单推演或替换,都应当视为属于本实用新型的保护范围。

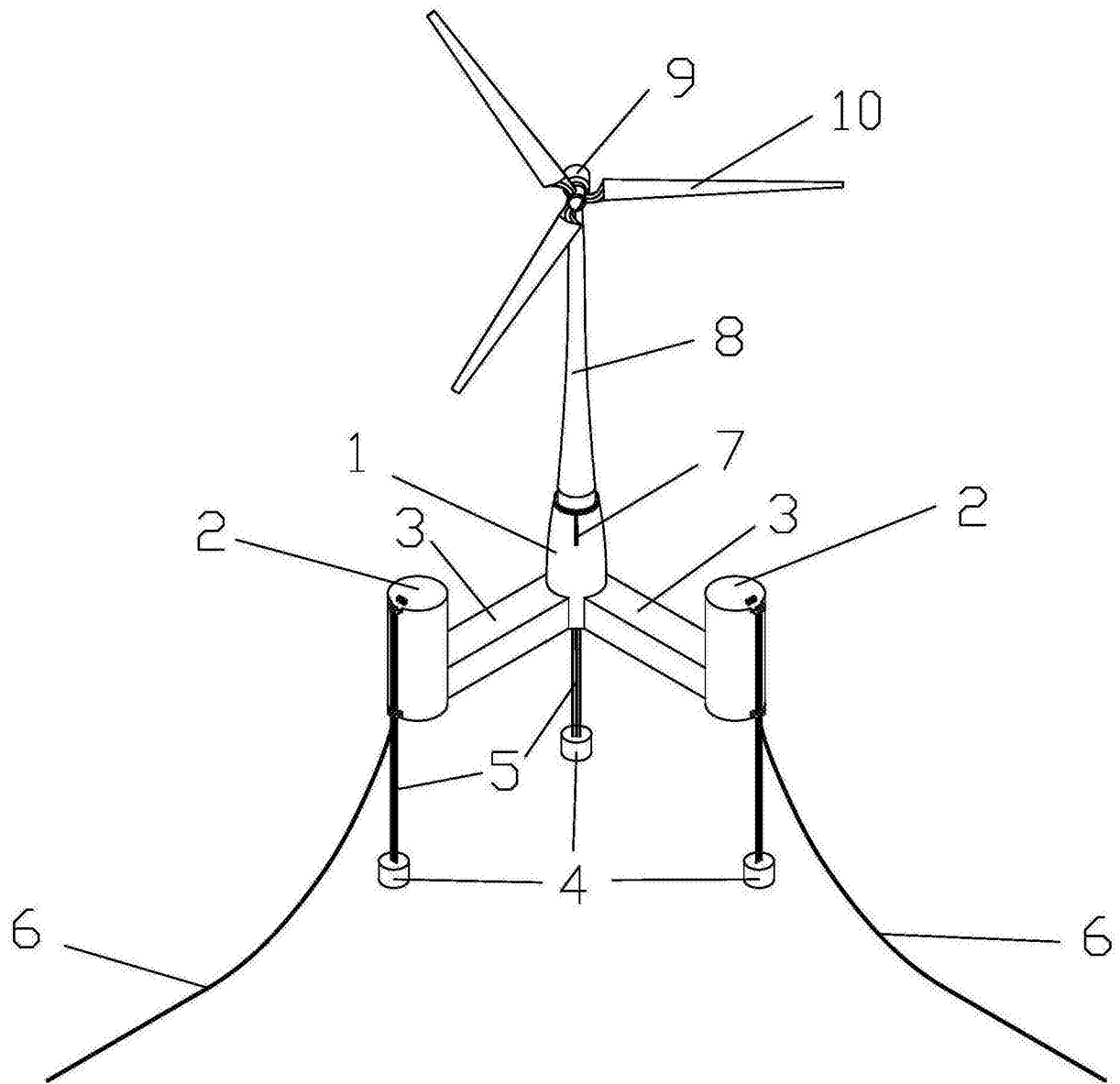


图1

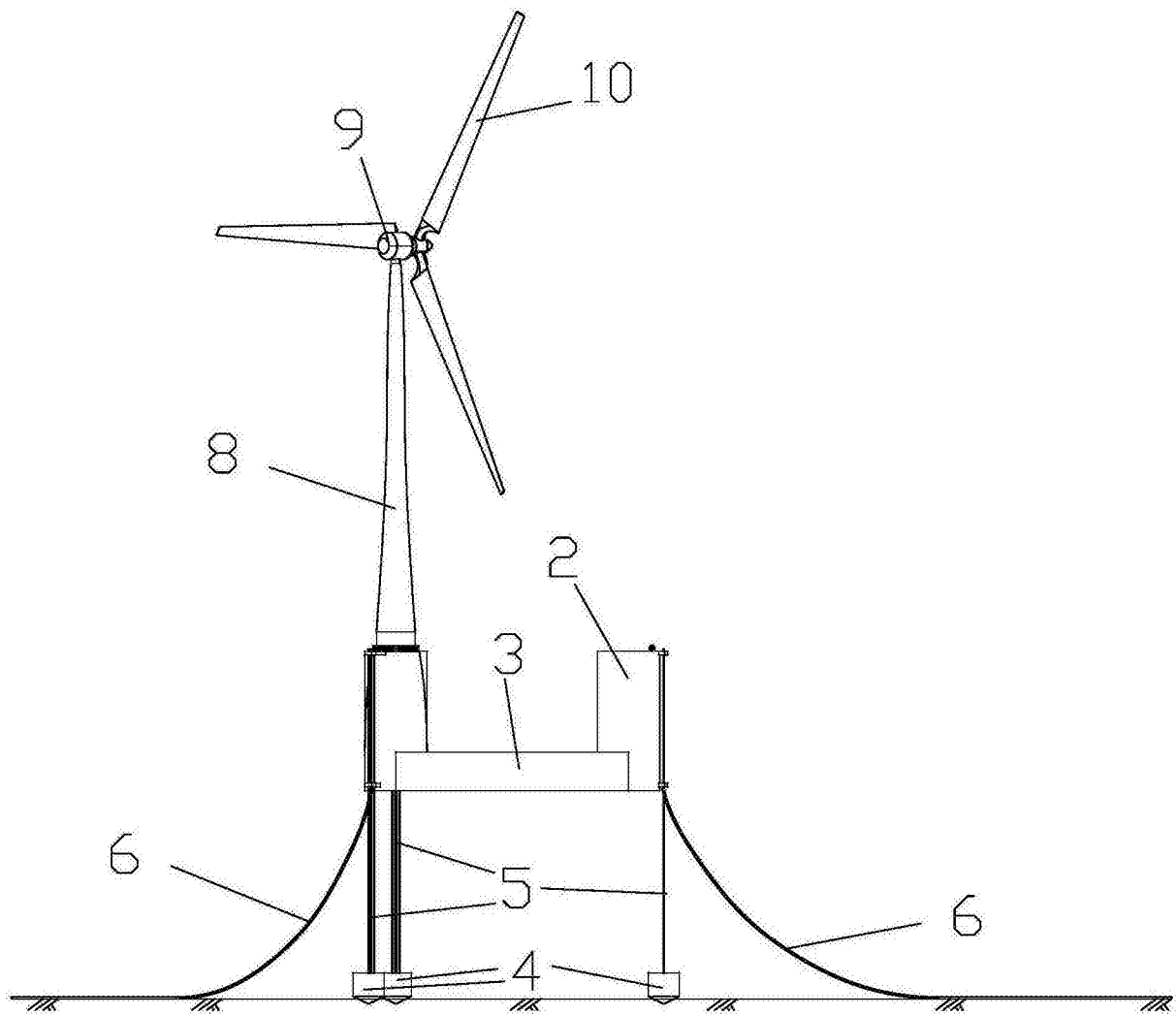


图2

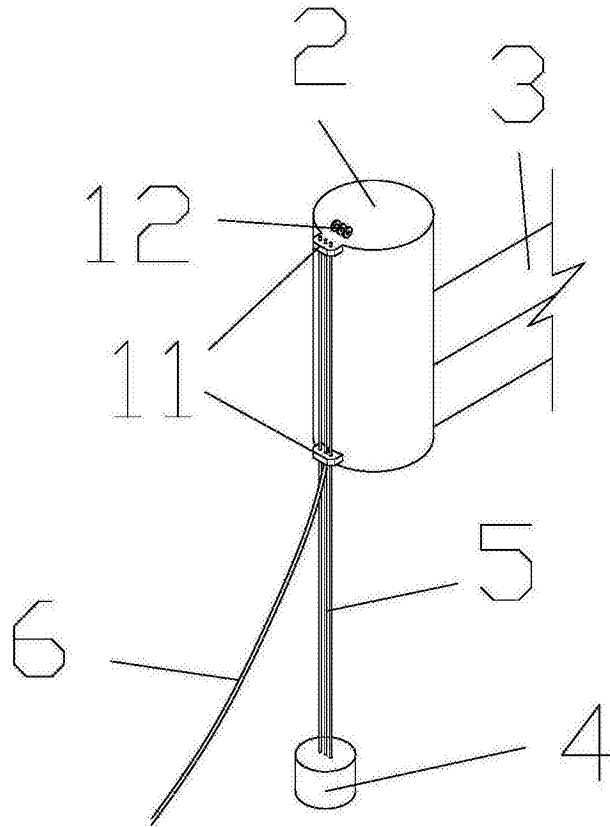


图3