(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109421945 A
(43)申请公布日 2019.03.05

(21)申请号 201710774445.9

(22)申请日 2017.08.31

(71)申请人 天津大学
地址 300072 天津市南开区卫津路92号

(72)发明人 何柏岩 彭浩

(74)专利代理机构 天津创智天诚知识产权代理事务所(普通合伙) 12214
代理人 王秀奎

(51)Int.Cl.
B64G 7/00(2006.01)

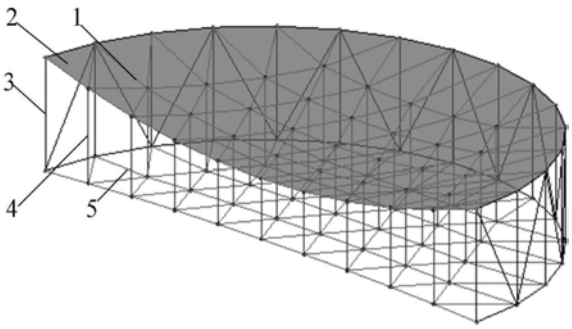
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

空间可展环形天线精确同步重力补偿系统

(57)摘要

本发明公开了空间可展环形天线精确同步重力补偿系统,包括桁架、总路立架、电机驱动系统、随动系统和悬挂系统;采用天线展开拉索电机驱动滑轮车主动定位,保证了随动系统与天线展开运动的同步性;采用滑轮车主动定位的随动系统,解决了传统吊丝配重法中吊丝非铅锤效应导致的吊丝竖向悬吊力不足和产生横向附加外力的问题,消除了传统吊丝配重法的原理误差。



CN 109421945 A

1.空间可展环形天线精确同步重力补偿系统，其特征在于：包括桁架、总路立架、电机驱动系统、随动系统和悬挂系统；

所述桁架由多个桁架单元结构连接构成，桁架单元结构由同步铰链、横杆、T型铰链、竖杆和伸缩杆组成，所述T形铰链连接横杆、伸缩杆与竖杆，所述同步铰链连接横杆与竖杆，在伸缩杆和T形铰链中设置有拉索，当拉索收缩时，拉索带动伸缩杆收缩进而实现桁架单元结构由收拢态展开；

所述总路立架由上板、下板、前板和后板构成，在前板的前端设置有桁架连接杆，桁架连接杆与桁架的竖杆相连接，电机驱动系统设置于下板上，随动系统设置于上板上；

所述电机驱动系统，包括电机、减速器、联轴器、中心传动齿轮、第一从动齿轮、卷绳轮、第二从动齿轮、凸轮和传动杆，电机连接减速器，减速器连接联轴器，联轴器连接中心传动齿轮，中心传动齿轮两侧啮合连接第一从动齿轮和第二从动齿轮，与第一从动齿轮同轴设置卷绳轮，卷绳轮上缠绕桁架的牵引拉索，当电机驱动卷绳轮转动时，展开拉索收拢，与第二从动齿轮同轴设置凸轮，凸轮的上端竖直的设置有传动杆；

所述随动系统设置于总路立架上侧，随动系统包括安装座、随动第一齿轮、随动横传动杆、随动第二齿轮、总路换向锥齿轮、总路齿轮、中心支路齿轮、两侧支路齿轮、支撑座、支路换向锥齿轮、丝杠联轴器和丝杠，随动横传动杆的两端分别连接随动第一齿轮和随动第二齿轮，第一齿轮与传动杆的上端啮合连接，随动第二齿轮与总路换向锥齿轮啮合连接，总路换向锥齿轮与总路齿轮为同轴设置，总路齿轮与中心支路齿轮啮合连接，以中心支路齿轮为中心，在中心支路齿轮两侧设置有两侧支路齿轮，总路齿轮与左右相邻的两侧支路齿轮啮合，各相邻的两侧支路齿轮之间相互啮合，两侧支路齿轮与支路换向锥齿轮在竖直方向上为同轴设置，支路换向锥齿轮连接丝杠联轴器，丝杠联轴器穿过设置于总路立架的支撑座与丝杠相连，在支撑座上丝杠的上侧设置有导轨，所述中心支路齿轮和两侧支路齿轮相加数量之和＝桁架的桁架单元结构个数-1；

所述悬挂系统包括支路立柱、导轨、丝杠、滑轮车、滑动块、定滑轮、从动滑轮、吊丝和配重物，所述导轨和丝杠为平行设置，丝杠设置于导轨下方，所述丝杠的一端通过丝杠联轴器、支路换向锥齿轮与中心支路齿轮、两侧支路齿轮相连，另一端垂直的设置有支路立柱，在丝杠靠近支路立柱一端设置有定滑轮，在丝杠上设置有滑动块，滑动块连接滑轮车，滑轮车的重力承载于导轨之上，在滑轮车下端设置有从动滑轮，在每个桁架的竖杆上端连接一段吊丝，吊丝向上拉伸绕过从动滑轮与定滑轮后向下的一端连接配重物。

2.根据权利要求1所述的空间可展环形天线精确同步重力补偿系统，其特征在于：所述拉索一端缠绕于卷绳轮上，拉索依次穿过多个桁架单元结构后，另一端连接于卷绳轮的侧壁上，当电机驱动卷绳轮转动时，展开拉索收拢。

3.根据权利要求1所述的空间可展环形天线精确同步重力补偿系统，其特征在于：所述重力补偿系统适用于周边环形桁架天线。

4.根据权利要求1所述的空间可展环形天线精确同步重力补偿系统，其特征在于：所述各吊丝末端连接的配重物的重量为相等的。

5.根据权利要求1所述的空间可展环形天线精确同步重力补偿系统，其特征在于：在所述的传动杆上设置有限位件，在总路立架的后板上设置有限位挡件，限位件与限位挡件相配合以使传动杆在凸轮的作用下始终沿竖直方向运动。

6.根据权利要求1所述的空间可展环形天线精确同步重力补偿系统,其特征在于:在所述的总路立架上侧设置有两个安装座,随动横传动杆设置于两个安装座上。

空间可展环形天线精确同步重力补偿系统

技术领域

[0001] 本发明属于航空航天领域，尤其涉及空间可展环形天线精确同步重力补偿系统。

背景技术

[0002] 天线是卫星通讯的核心部件，根据反射面类型的不同可分为三类：固面可展开天线、可充气天线、网状反射面天线。网状反射面天线中的环形天线由于其收纳率高、质量轻、口径大等优点，成为了目前星载天线的理想结构形式。

[0003] 环形天线主要由前索网、金属反射网、调节索、周边桁架、后索网等组成。其中周边桁架又由多个桁架单元组成，每个单元由同步铰链、T型铰链、横杆、竖杆、斜杆等组成。天线与转接臂固接，展开拉索由固定杆(与转接臂固接的竖杆)处T型铰链一端穿入，通过斜杆后进入下一个T型铰链，依次穿过各单元后再由固定杆T型铰链的另一端穿出，完成拉索的绕线。由拉索的收拢带动斜杆收缩，进而使桁架单元展开，在同步铰链的作用下，整个桁架各单元同步展开。为了保证环形天线在轨顺利展开，需要对其进行地面展开试验，故需要一定装置来模拟太空微重力环境。

[0004] 由于展开过程缓慢、运动复杂，环形天线地面展开试验多采用吊丝配重法模拟微重力环境。该方法通过对环形天线各悬吊点施加铅锤向上的外力来平衡重力，实现重力补偿。其主要由随动系统和悬挂系统两部分组成：悬挂系统由配重与定滑轮组成，为吊丝提供恒定悬吊力；随动系统主要由滑轮车和导轨组成，吊丝通过滑轮车后分别与配重和悬吊点连接，通过天线展开的牵引使滑轮车随之运动，进而实现吊丝与悬吊点的同步运动。由于滑轮车的定位采用了被动控制的方式，并且吊丝为柔性绳，故在运动过程中吊丝会发生非铅锤效应，进而造成卸载力不足，和对天线展开产生横向外力的影响，即该方法存在原理误差。

[0005] 另外，之前的研究提出了一种同时采用两个电机分别驱动天线展开和随动系统滑轮车定位的方案，该方案消除了吊丝配重法的原理误差，但由于电机的负载效应，在实际应用中会产生天线悬吊点与随动系统滑轮车运动不同步，即此种方法也存在误差。

发明内容

[0006] 本发明克服了现有技术中的缺点，提供了空间可展环形天线精确同步重力补偿系统。

[0007] 为了解决上述技术问题，本发明是通过以下技术方案实现的：

[0008] 空间可展环形天线精确同步重力补偿系统，包括桁架、总路立架、电机驱动系统、随动系统和悬挂系统；

[0009] 所述桁架由多个桁架单元结构连接构成，桁架单元结构由同步铰链、横杆、T型铰链、竖杆和伸缩杆组成，所述T形铰链连接横杆、伸缩杆与竖杆，所述同步铰链连接横杆与竖杆，在伸缩杆和T形铰链中设置有拉索，当拉索收缩时，拉索带动伸缩杆收缩进而实现桁架单元结构由收拢态展开；

[0010] 所述总路立架由上板、下板、前板和后板构成，在前板的前端设置有桁架连接杆，桁架连接杆与桁架的竖杆相连接，电机驱动系统设置于下板上，随动系统设置于上板上；

[0011] 所述电机驱动系统，包括电机、减速器、联轴器、中心传动齿轮、第一从动齿轮、卷绳轮、第二从动齿轮、凸轮和传动杆，电机连接减速器，减速器连接联轴器，联轴器连接中心传动齿轮，中心传动齿轮两侧啮合连接第一从动齿轮和第二从动齿轮，与第一从动齿轮同轴设置卷绳轮，卷绳轮上缠绕桁架的牵引拉索，当电机驱动卷绳轮转动时，展开拉索收拢，与第二从动齿轮同轴设置凸轮，凸轮的上端竖直的设置有传动杆；

[0012] 所述随动系统设置于总路立架上侧，随动系统包括安装座、随动第一齿轮、随动横传动杆、随动第二齿轮、总路换向锥齿轮、总路齿轮、中心支路齿轮、两侧支路齿轮、支撑座、支路换向锥齿轮、丝杠联轴器和丝杠，随动横传动杆的两端分别连接随动第一齿轮和随动第二齿轮，第一齿轮与传动杆的上端啮合连接，随动第二齿轮与总路换向锥齿轮啮合连接，总路换向锥齿轮与总路齿轮为同轴设置，总路齿轮与中心支路齿轮啮合连接，以中心支路齿轮为中心，在中心支路齿轮两侧设置有两侧支路齿轮，总路齿轮与左右相邻的两侧支路齿轮啮合，各相邻的两侧支路齿轮之间相互啮合，两侧支路齿轮与支路换向锥齿轮在竖直方向上为同轴设置，支路换向锥齿轮连接丝杠联轴器，丝杠联轴器穿过设置于总路立架的支撑座与丝杠相连，在支撑座上丝杠的上侧设置有导轨，所述中心支路齿轮和两侧支路齿轮相加数量之和＝桁架的桁架单元结构个数-1；

[0013] 所述悬挂系统包括支路立柱、导轨、丝杠、滑轮车、滑动块、定滑轮、从动滑轮、吊丝和配重物，所述导轨和丝杠为平行设置，丝杠设置于导轨下方，所述丝杠的一端通过丝杠联轴器、支路换向锥齿轮与中心支路齿轮、两侧支路齿轮相连，另一端垂直的设置有支路立柱，在丝杠靠近支路立柱一端设置有定滑轮，在丝杠上设置有滑动块，滑动块连接滑轮车，滑轮车的重力承载于导轨之上，在滑轮车下端设置有从动滑轮，在每个桁架的竖杆上端连接一段吊丝，吊丝向上拉伸绕过从动滑轮与定滑轮后向下的一端连接配重物。桁架展开时，电机通过传动杆结构带动随动系统运动，使丝杆驱动滑轮车沿导轨直线运动并与对应的桁架铰链节点相同步。

[0014] 在上述技术方案中，所述拉索一端缠绕于卷绳轮上，拉索依次穿过多个桁架单元结构后，另一端连接于卷绳轮的侧壁上，当电机驱动卷绳轮转动时，展开拉索收拢。

[0015] 在上述技术方案中，所述重力补偿系统适用于周边环形桁架天线。

[0016] 在上述技术方案中，所述各吊丝末端连接的配重物的重量为相等的。

[0017] 在上述技术方案中，在所述的传动杆上设置有限位件，在总路立架的后板上设置有限位挡件，限位件与限位挡件相配合以使传动杆在凸轮的作用下始终沿竖直方向运动。

[0018] 在上述技术方案中，在所述的总路立架上侧设置有两个安装座，随动横传动杆设置于两个安装座上。

[0019] 与现有技术相比，本发明的有益效果是：

[0020] (1)采用天线展开拉索电机驱动滑轮车主动定位，保证了随动系统与天线展开运动的同步性；

[0021] (2)采用滑轮车主动定位的随动系统，解决了传统吊丝配重法中吊丝非铅锤效应导致的吊丝竖向悬吊力不足和产生横向附加外力的问题，消除了传统吊丝配重法的原理误差。

附图说明

[0022] 图1为环形天线结构示意图。

[0023] 图2为桁架单元结构展开态示意图。

[0024] 图3为本发明中桁架的结构示意图。

[0025] 图4为本发明整体结构示意图。

[0026] 图5为电机驱动系统结构示意图。

[0027] 图6为随动系统结构示意图。

[0028] 图7为悬挂系统结构示意图。

[0029] 图8为吊丝配重法吊丝非铅锤效应示意图。

[0030] 图9为吊丝配重法支路结构示意图。

[0031] 其中,I为悬挂系统,II为随动系统,III为电机驱动系统;

[0032] 1为前索网,2为金属反射网,3为桁架,4为调节索,5为后索网,6为T型铰链,7为横杆,8为同步铰链,9为伸缩杆,10为竖杆,11为配重物,12为定滑轮,13为吊丝,14为滑轮车,15为导轨,16为支路立柱,17为总路立架,18为支撑座,19为卷绳轮,20为拉索,21为第一从动齿轮,22为中心传动齿轮,23为电机,24为减速器,25为联轴器,26为限位件,27为传动杆,28为第二从动齿轮,29为凸轮,30为支路换向锥齿轮,31为丝杠联轴器,32为支撑座,33为丝杠,34为中心支路齿轮,35为两侧支路齿轮,36为总路齿轮,37为总路换向锥齿轮,38为随动第一齿轮,39为安装座,40为随动横传动杆,41为随动第二齿轮,42为从动滑轮,43为滑动块,44为上板,45为下板,46为前板,47为后板,48为桁架连接杆。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图与具体的实施方式对本发明作进一步详细描述:

[0034] 如图中所示,空间可展环形天线精确同步重力补偿系统,包括桁架、总路立架、电机驱动系统、随动系统和悬挂系统;

[0035] 所述桁架由多个桁架单元结构连接构成,桁架单元结构由同步铰链、横杆、T型铰链、竖杆和伸缩杆组成,所述T形铰链连接横杆、伸缩杆与竖杆,所述同步铰链连接横杆与竖杆,在伸缩杆和T形铰链中设置有拉索,当拉索收缩时,拉索带动伸缩杆收缩进而实现桁架单元结构由收拢态展开;

[0036] 所述总路立架由上板、下板、前板和后板构成,在前板的前端设置有桁架连接杆,桁架连接杆与桁架的竖杆相连接,电机驱动系统设置于下板上,随动系统设置于上板上;

[0037] 所述电机驱动系统,包括电机、减速器、联轴器、中心传动齿轮、第一从动齿轮、卷绳轮、第二从动齿轮、凸轮和传动杆,电机连接减速器,减速器连接联轴器,联轴器连接中心传动齿轮,中心传动齿轮两侧啮合连接第一从动齿轮和第二从动齿轮,与第一从动齿轮同轴设置卷绳轮,卷绳轮上缠绕桁架的牵引拉索,当电机驱动卷绳轮转动时,展开拉索收拢,与第二从动齿轮同轴设置凸轮,凸轮的上端竖直的设置有传动杆;

[0038] 所述随动系统设置于总路立架上侧,随动系统包括安装座、随动第一齿轮、随动横传动杆、随动第二齿轮、总路换向锥齿轮、总路齿轮、中心支路齿轮、两侧支路齿轮、支撑座、支路换向锥齿轮、丝杠联轴器和丝杠,随动横传动杆的两端分别连接随动第一齿轮和随动

第二齿轮，第一齿轮与传动杆的上端啮合连接，随动第二齿轮与总路换向锥齿轮啮合连接，总路换向锥齿轮与总路齿轮为同轴设置，总路齿轮与中心支路齿轮啮合连接，以中心支路齿轮为中心，在中心支路齿轮两侧设置有两侧支路齿轮，总路齿轮与左右相邻的两侧支路齿轮啮合，各相邻的两侧支路齿轮之间相互啮合，两侧支路齿轮与支路换向锥齿轮在竖直方向上为同轴设置，支路换向锥齿轮连接丝杠联轴器，丝杠联轴器穿过设置于总路立架的支撑座与丝杠相连，在支撑座上丝杠的上侧设置有导轨，所述中心支路齿轮和两侧支路齿轮相加数量之和＝桁架的桁架单元结构个数-1；

[0039] 所述悬挂系统包括支路立柱、导轨、丝杠、滑轮车、滑动块、定滑轮、从动滑轮、吊丝和配重物，所述导轨和丝杠为平行设置，丝杠设置于导轨下方，所述丝杠的一端通过丝杠联轴器、支路换向锥齿轮与中心支路齿轮、两侧支路齿轮相连，另一端垂直的设置有支路立柱，在丝杠靠近支路立柱一端设置有定滑轮，在丝杠上设置有滑动块，滑动块连接滑轮车，滑轮车的重力承载于导轨之上，在滑轮车下端设置有从动滑轮，在前索网面T型铰链上连接有吊丝，吊丝向上拉伸绕过从动滑轮与定滑轮后向下的一端连接配重物。桁架展开时，电机通过传动杆结构带动随动系统运动，使丝杆驱动滑轮车沿导轨直线运动并与对应的桁架铰链节点相同步。

[0040] 在上述技术方案中，所述拉索一端缠绕于卷绳轮上，拉索依次穿过多个桁架单元结构后，另一端连接于卷绳轮的侧壁上，当电机驱动卷绳轮转动时，展开拉索收拢。

[0041] 在上述技术方案中，所述桁架包含桁架单元结构的数量为6。

[0042] 在上述技术方案中，所述各吊丝末端连接的配重物的重量相等。

[0043] 在上述技术方案中，在所述的传动杆上设置有限位件，在总路立架的后板上设置有限位挡件，限位件与限位挡件相配合以使传动杆在凸轮的作用下始终沿竖直方向运动。

[0044] 在上述技术方案中，在所述的总路立架上侧设置有两个安装座，随动横传动杆设置于两个安装座上。

[0045] 在天线牵引吊丝运动过程中，柔性吊丝会产生非铅锤效应，使吊丝竖向卸载力不足并产生横向外力，进而将导致环形天线重力卸载不充分，并对天线展开引入外力作用，使地面展开试验失准，即吊丝配重法存在原理误差。为了解决该问题，本技术方案进行了如下的理论推导，该推导提供本技术方案可以有效解决吊丝配重法存在原理误差的问题。

[0046] (1)如图3，令各T型铰链节点为O_i(i为由固定杆到各竖杆的顺时针编号)，在固定杆处铰链节点O_1建立坐标系，x方向沿O_1铰链角平分面方向指向天线中心，z沿竖杆向上，y由右手定则确定。通过对环形天线展开运动学分析，发现铰链节点O_i在天线展开过程中水平面位移s_i为：

[0047] $$s_n = l\sin\varphi\sqrt{(\sin\theta_1+\cdots\sin\theta_{n-1})^2+(\cos\theta_1+\cdots\cos\theta_{n-1})^2} \quad (1)$$

[0048] 其中，l为横杆长度，φ为展开过程中横杆与竖杆的夹角，θ_{n-1}为位于编号n-1竖杆右侧横杆与x方向夹角。当天线结构参数已知时，l、θ_{n-1}均为常量，由上可知$l\sin\varphi$仅表示展开过程中横杆在水平面的投影，只决定位移的大小；而θ_{n-1}决定位移的方向，由于θ_{n-1}为常数，令$r_n=\sqrt{(\sin\theta_1+\cdots\sin\theta_{n-1})^2+(\cos\theta_1+\cdots\cos\theta_{n-1})^2}$，则$r_n$为常数，故各铰链节点水平面内运动均为直线运动，且位移成比例，令位移比为$i'=r_n/r_{n-1}$。选取前索网面各铰链节点为悬吊点，各铰链节点水平面位移s_n为：

[0049] $$s_n = r_n l \sin\varphi \tag{2}$$

[0050] 其中心支路铰链节点对应的位移为：

[0051] $$s_{n+1} = r_{n+1} l \sin\varphi \tag{3}$$

[0052] (2)由结构对称性可知，环形天线中展开拉索总长等于各单元中拉索长度的2n倍(2n为桁架单元数)，令l_3为斜杆长度，由几何关系可知：

[0053] $$\cos\varphi = \frac{l^2 + h^2 - l_3^2}{2hl} \tag{4}$$

[0054] (3)通过控制电机转角δ、传动系统传动比i和卷绳器半径r，使卷绳器在电机的驱动下带动展开拉索按规律收拢，进而使天线斜杆收缩，直至天线完全展开。由天线结构对称性可知，斜杆长度l_3可以表示为：

[0055] $$l_3 = \frac{\delta r}{2ni_1} \tag{5}$$

[0056] (4)由式(4)、(5)可知，$\sin\varphi$又可表示为：

[0057] $$\sin\varphi = \frac{1}{2hl}\sqrt{\left[\left(\frac{\delta r}{2ni_1}\right)^2 - (h-l)^2\right] * \left[(h+l)^2 - \left(\frac{\delta r}{2ni_1}\right)^2\right]} = f(\delta) \tag{6}$$

[0058] (5)利用凸轮机构进行传动，使推杆的运动规律为：

[0059] $$s = Cf(\delta) \tag{7}$$

[0060] s为推杆位移；C为系数。

[0061] (6)经过凸轮机构传动后，利用齿轮齿条机构，将凸轮机构的线性运动转化为转动，并通过传动机构来驱动整个随动系统运动。

[0062] (7)随动系统分为总路和支路两部分，通过齿轮啮合实现总路与支路的连接。其中总路与最远端铰链所在支路的支路齿轮啮合；各相邻支路齿轮相互啮合，且传动比i_n与对应铰链节点位移比r_n相等；各支路齿轮分别带动支路丝杆转动使安装在螺母上的滑轮车运动。

[0063] (8)通过对传动系统传动比与丝杆尺寸参数的综合控制，使各支路滑轮车的位移等于s_n。

[0064] 当电机工作时，其转角为δ，中心传动齿轮与第一从动齿轮、第二从动齿轮的传动比的关系为$m = \frac{i_2}{i_1}\ (m = 2n)$，则第二从动齿轮的转角γ为：

[0065] $$\alpha = \frac{\delta}{ni_1} = \frac{\delta}{i_2} \tag{8}$$

[0066] 由凸轮的设计可知：$0 \leqslant \gamma \leqslant 2\pi$，故传动比和电机转角$i_2$、δ的设计要求为：

[0067] $$0 \leq \frac{\delta}{i_2} \leq 2\pi \tag{9}$$

[0068] 结合式(6)、(8)可得，此时推杆对应的位移方程为：

[0069] $$s = \frac{C}{2hl}\sqrt{\left[\left(\frac{\delta r}{i_2}\right)^2 - (h-l)^2\right] * \left[(h+l)^2 - \left(\frac{\delta r}{i_2}\right)^2\right]} = C\sin\varphi \tag{10}$$

[0070] 如上所述随动第一齿轮半径为r_1，换向锥齿轮传动比均为1，总路齿轮与最远端铰

链所在支路的支路齿轮的传动比为i_3，丝杠螺距为e，则有中心支路滑轮车位移s'_{n+1}为：

[0071] $$s'_{n+1}=\frac{i_3 eC\sin\varphi}{2\pi r_1} \quad (11)$$

[0072] 参数i_3、C、e、r_1使之与r_{n+1}的关系如下：

[0073] $$\frac{i_3 Ce}{2\pi r_1}=lr_{n+1} \quad (12)$$

[0074] 由式(11)、(12)可知：

[0075] $$s'_{n+1}=lr_{n+1}\sin\varphi \quad (13)$$

[0076] 所设计的各支路齿轮传动比i'与铰链水平面位移传动比i相等，结合式(3)、(13)可知可知所设计的重力补偿系统各支路滑轮车位移与对应铰链节点位移相等，即该方案可以实现完滑轮车与悬吊点全同步的重力卸载。

[0077] 则最远端铰链所在支路的滑轮车与之对应的悬吊点在水平面的位移函数相同，由支路齿轮的传动比与悬吊点的位移比相同，故各支路滑轮车的位移函数也与其所对应的悬吊点位移相同，即实现了滑轮车的精确定位。

[0078] 以上对本发明进行了详细说明，但所述内容仅为本发明的较佳实施例，不能被认为用于限定本发明的实施范围。凡依本发明申请范围所作的均等变化与改进等，均应仍归属于本发明的专利涵盖范围之内。

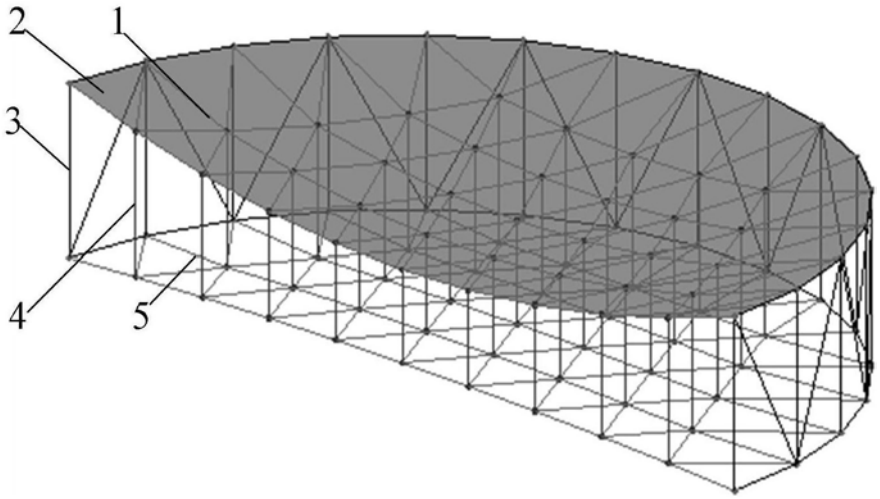


图1

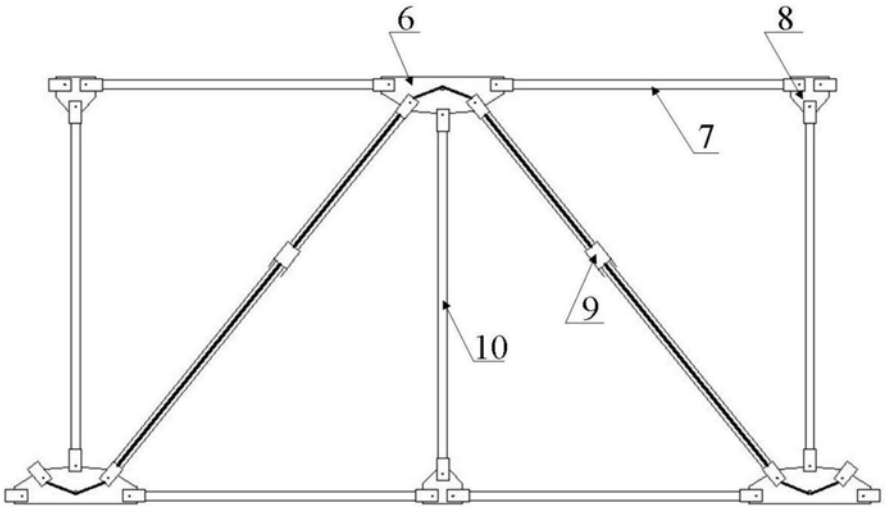


图2

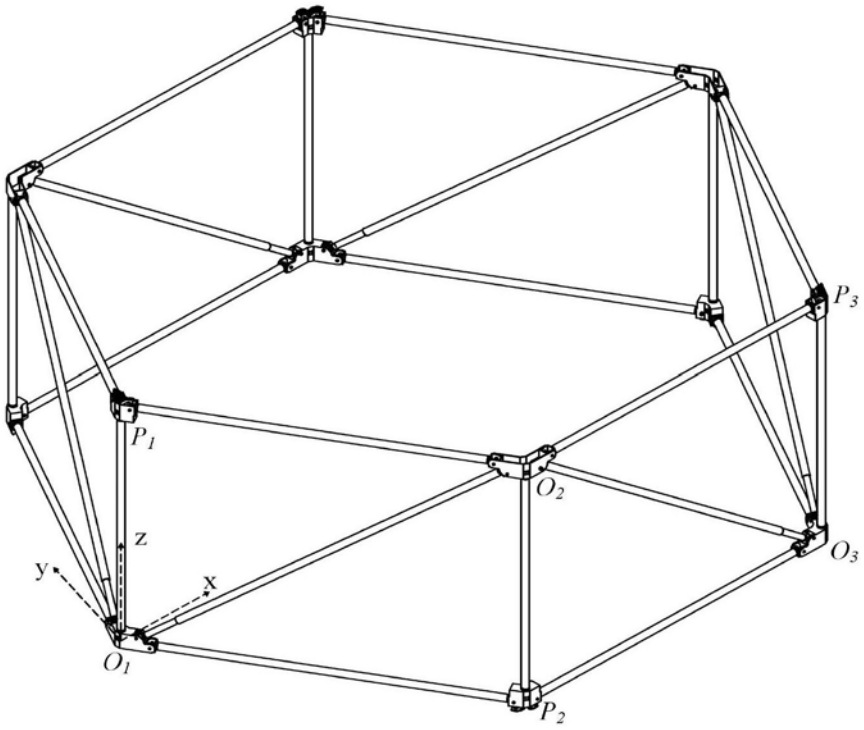


图3

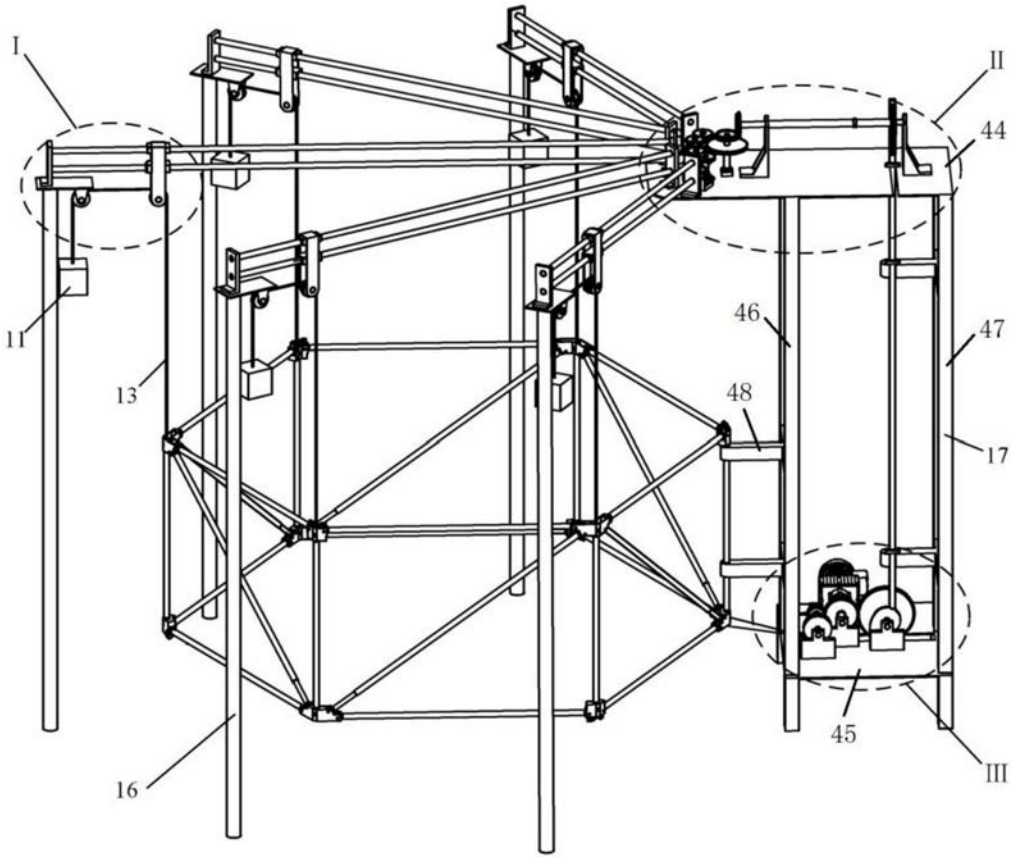


图4

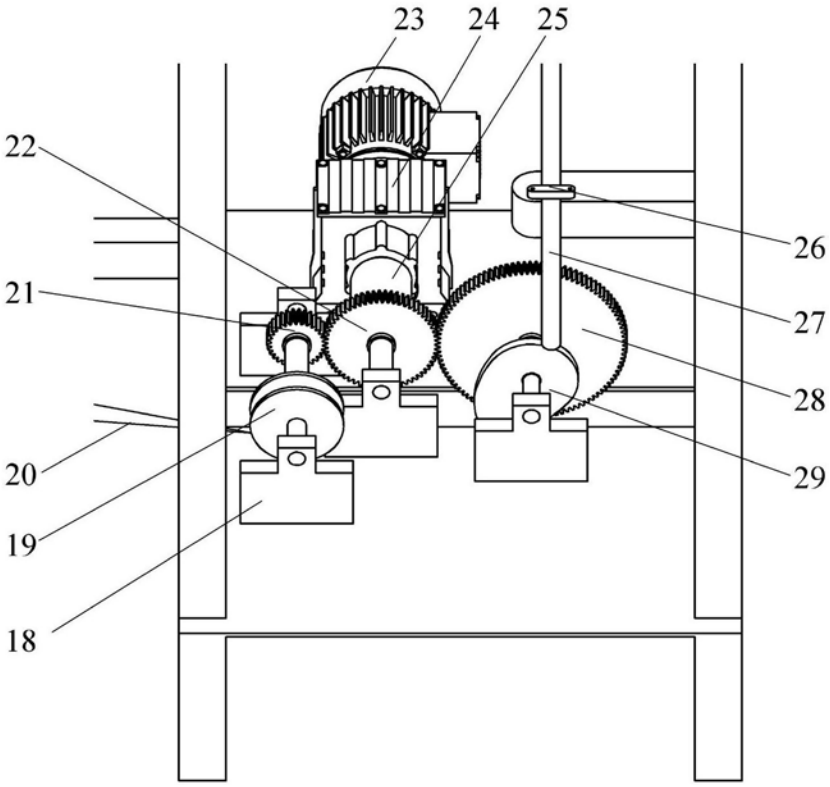

23
24
25
22
26
21
27
28
20
29
19
18

图5

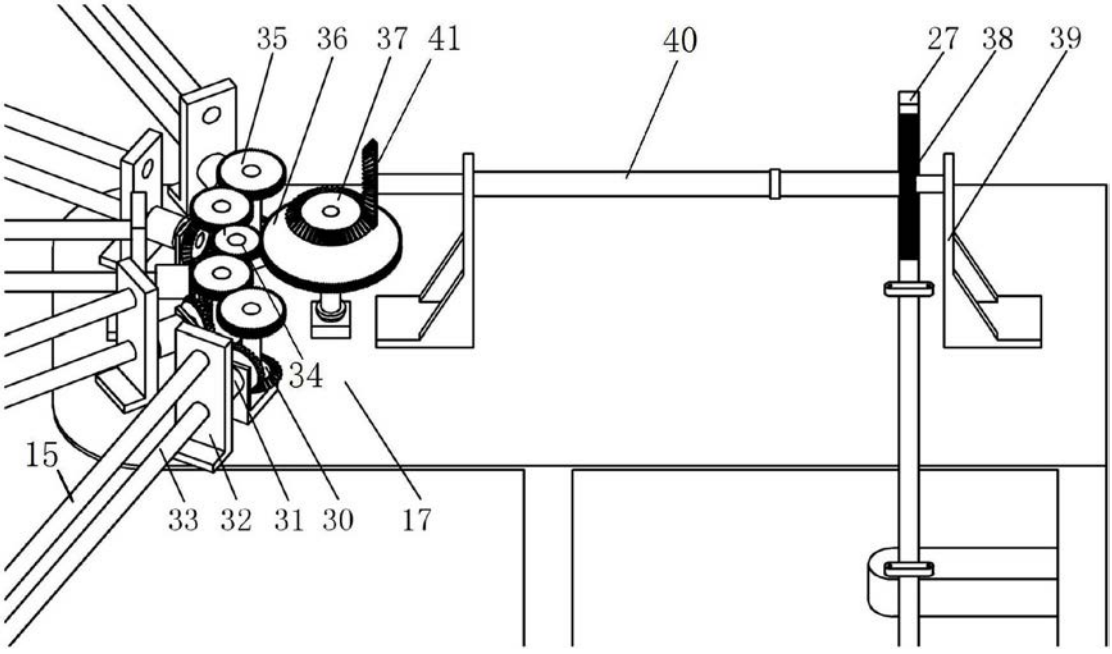

35
36
37
41
40
27
38
39
34
15
33
32
31
30
17

图6

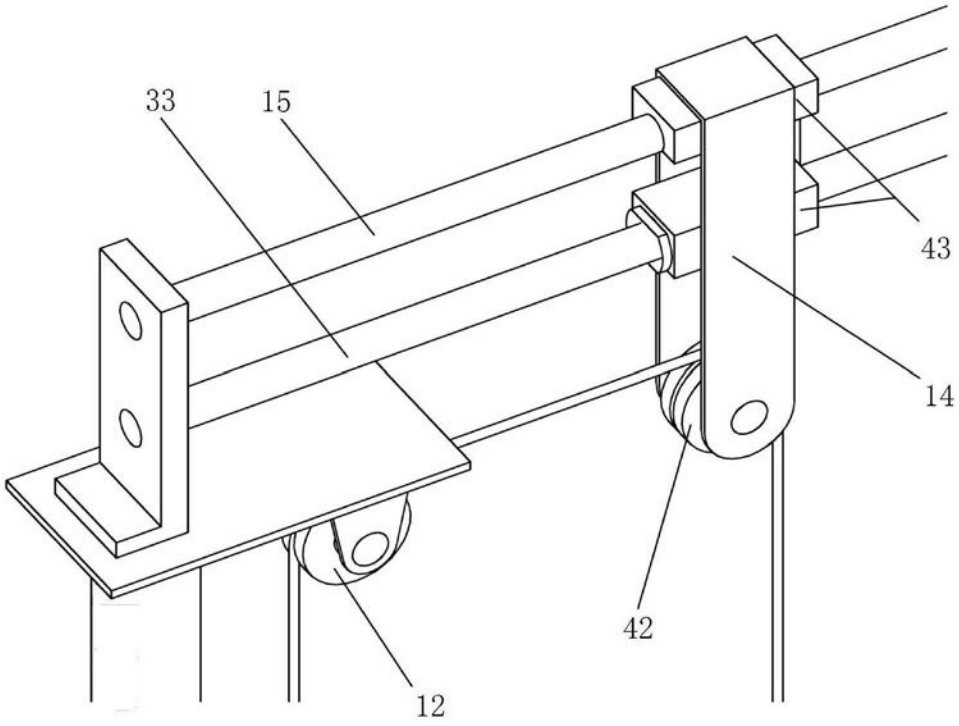


图7

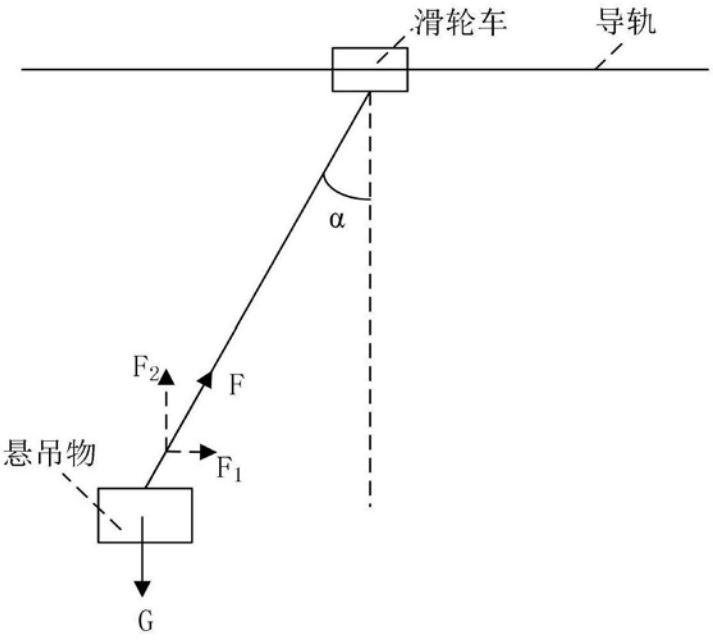


图8

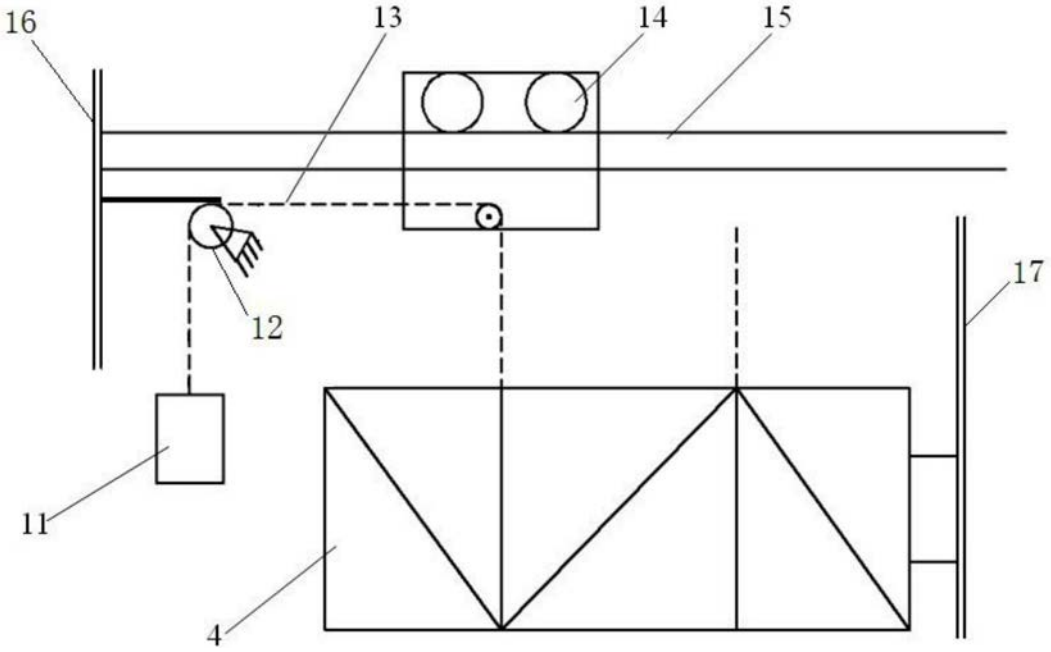


图9