

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

F16C 11/06 (2006.01)



## [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810023999.6

[43] 公开日 2008 年 9 月 10 日

[11] 公开号 CN 101260904A

[22] 申请日 2008.4.23

[74] 专利代理机构 南京知识律师事务所

[21] 申请号 200810023999.6

代理人 栗仲平

[71] 申请人 中国科学院国家天文台南京天文光学  
技术研究所

地址 210042 江苏省南京市板仓街 188 号

[72] 发明人 杨德华 陈昆新

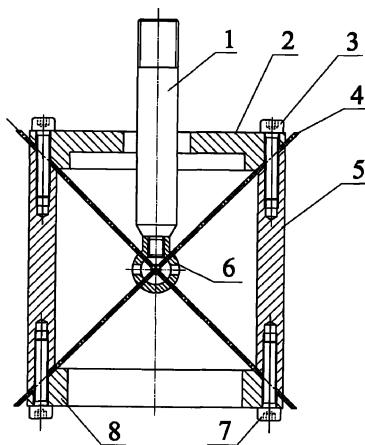
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 4 页

### [54] 发明名称

基于柔性元件的球铰机构

### [57] 摘要

基于柔性元件的球铰机构，设有工作运动件（摇臂），其特征在于，设有三根相同的细长钢丝，该三根钢丝在中点 O 处相互正交放置，所述三根钢丝的两端分别固定，所述的工作运动件的球节点与三根钢丝联接于 O 点处。优化方案的“工作运动件的球节点与三根钢丝联接于 O 点处”，是采用以下联结方式：球节点上正交地钻有三个比钢丝稍大的通孔，中心钻有尽可能大的空心，以便三根钢丝通过，并采用螺纹联接运动活动件摇臂。本发明允许被联接的工作运动件在小角度范围内具有三个转动自由度，而三个平动自由度被限制；该球铰机构可实现无间隙无摩擦且任意平动方向的刚度恒定和任意转动方向的柔度恒定的球面高副功能。



1、一种基于柔性元件的球铰机构，设有工作运动件摇臂，其特征在于，设有三根相同的细长钢丝，该三根钢丝在中点O处相互正交放置，所述三根钢丝的两端分别固定，所述的工作运动件的球节点与三根钢丝联接于O点处。

2、根据权利要求1所述的基于柔性元件的球铰机构，其特征在于，所述的“工作运动件的球节点与三根钢丝联接于O点处”，是采用以下联结方式：球节点上正交地钻有三个比钢丝稍大的通孔，中心钻有尽可能大的空心，以便三根钢丝通过，并采用螺纹联接运动活动件摇臂。

3、根据权利要求2所述的基于柔性元件的球铰机构，其特征在于，所述的三根钢丝通过球节点上对应小孔后，采用钎焊方式将钢丝和球节点上对应孔填充严实。

4、根据权利要求1或2或3所述的基于柔性元件的球铰机构，其特征在于，所述的基于柔性元件的球铰机构是固定设置在中筒里；所述的运动活动件摇臂穿过中筒的上压板的中孔；该上压板的中空的大小按球铰需要工作的角度范围设计，用以防止运动活动件摇臂超过工作角度范围。

5、根据权利要求4所述的基于柔性元件的球铰机构，其特征在于，三根钢丝两端的固定方式是：三根钢丝的一端分别通过上压板，采用八个螺钉紧固在中筒的上端面；三根钢丝的另一端分别通过下压板，采用八个螺钉紧固在中筒的下端面。

6、根据权利要求5所述的基于柔性元件的球铰机构，其特征在于，所述

---

的上压板、中筒和下压板的联接面均设计成锥面，而在钢丝穿过的位置，各铣有比钢丝直径稍小的半圆形槽，以便压紧钢丝。

7、根据权利要求5或6所述的基于柔性元件的球铰机构，其特征在于，所述的三根钢丝两端伸出中筒，以便于在安装中施加适当的预紧力从而使钢丝平直。

## 基于柔性元件的球铰机构

### 技术领域

本发明涉及一种基于柔性元件的球铰机构，是一种尤其适用于工作姿态需要变化的作小角度精密转动的物体的定位支撑和联接机构。

### 背景技术

球铰作为球面高副，对运动件约束三个平动自由度而留有三个转动自由度。传统上球铰一般采用诸如关节轴承或球面球轴承机构来实现，这种方式可以使运动机构具有较大的承载能力和刚度，但是除轴承机构安装和维护较为复杂外，摩擦和间隙是较难克服的问题。特别地，对于被联接的物体需要作精密运动时（例如，天文望远镜上的球面高副），摩擦和间隙是极其有害的；而且不同工作姿态或安装状态下，轴承机构中摩擦力大小往往不一样。因此，在使用这种基于轴承机构的球铰时需要合理设计安装方式和方位。

柔性元件如柔性铰链，往往被用来克服上述基于轴承机构的球铰的缺点，参见图1，工作运动件摇臂在末端附近采取缩颈的方式，形成刚度较小的部分，从而允许运动件摇臂可以在较小的角度范围内作转动运动，但沿其轴线的第三个转动自由度不易实现，因为缩颈部分扭转刚度相对较大；而且，缩颈的设计直接影响柔性铰链的刚度、运动范围和寿命。有时，也采用细钢丝取代图1中的缩颈部分。

### 发明内容

本发明提供一种基于钢丝或钢丝绳（下文统称钢丝）柔性元件的柔性球

铰机构，即，允许被联接的工作运动件在小角度范围内具有三个转动自由度，而三个平动自由度被限制；该球铰机构可实现无间隙无摩擦且任意平动方向的刚度恒定和任意转动方向的柔度恒定的球面高副功能。

本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：一种基于柔性元件的球铰机构，设有工作运动件（摇臂），其特征在于，设有三根相同的细长钢丝，该三根钢丝在中点O处相互正交放置，所述三根钢丝的两端分别固定，所述的工作运动件的球节点与三根钢丝联接于O点处。

本发明利用钢丝具有良好的轴向抗拉刚度及良好的轴外柔性，具体地说，细长的钢丝仅能承受轴向拉力，不能承受或仅能承受很小的轴向压力，否则将失稳；而对于两端固定的钢丝，在其上某点处承受力偶时，则在小转动角度内表现出良好的柔性。利用钢丝元件这一特性，参见图2柔性球铰机构原理图及图3 柔性球铰机构分析图，取三根相同的细长的钢丝r，s和t，在中点O处相互正交放置，分别在两端点A、A'，B、B'和C、C'处固定，工作运动件联接于O点处。这样，工作运动件的三个平动自由度被三根钢丝的合成的轴向抗拉刚度限制，而三个转动自由度在较小的转动角度范围内由三根钢丝的轴外柔性提供。

本发明有以下优化方案：

1、所述的“工作运动件的球节点与三根钢丝联接于O点处”，是采用以下联结方式：球节点上正交地钻有三个比钢丝稍大的通孔，中心钻有尽可能大的空心，以便三根钢丝（第三根垂直纸面）通过，并采用螺纹联接运动活动件摇臂；

2、为消除间隙和保持稳固，三根钢丝通过球节点上对应小孔后，采用

钎焊方式将钢丝和球节点上对应孔填充严实。

3、所述的基于柔性元件的球铰机构是固定设置在中筒里；所述的运动活动件摇臂穿过中筒的上压板的中孔；该上压板的中空的大小按球铰需要工作的角度范围设计，用以防止运动活动件摇臂超过工作角度范围。

4、三根钢丝两端的固定方式是：三根钢丝的一端分别通过上压板，采用八个螺钉紧固在中筒的上端面；三根钢丝的另一端分别通过下压板，采用八个螺钉紧固在中筒的下端面。

5、所述的上压板、中筒和下压板的联接面均设计成锥面，而在钢丝穿过的位臵，各铣有比钢丝直径稍小的半圆形槽，以便压紧钢丝。

6、所述的三根钢丝两端伸出中筒，以便于在安装中施加适当的预紧力从而使钢丝平直。

本发明的有益效果是，原理明了，结构简单，加工和安装工艺要求松；该柔性球铰机构允许被联接的工作运动件在小角度范围内具有三个转动自由度，而三个平动自由度被限制，可用于要求无间隙无摩擦的精密运动系统；该柔性球铰在任意平动方向的刚度恒定（即该球铰的任意方向支撑刚度恒定），且任意转动方向的柔度一致（即该球铰的任意转动方向柔性一致），这一效果特别有利于安装和使用。

下面对该柔性球铰机构的以上效果进行机构分析和证明。

图1中钢丝r, s和t在O点受负载时，各钢丝受拉的一半提供为抗拉负载能力，而另一半不起作用；当负载的方向相反时，则各钢丝的受力和工作状态也相反，这相当于各钢丝仅其一半工作，但可提供拉伸也可提供压缩的负载能力。因此，为方便分析，可将图1的形式等效为图2中形式，即从O点处截

断，取各钢丝的一半，并视为拉压弹簧。定义如图任意坐标系 Oxyz。

### 1. 任意方向平动刚度分析

该柔性球铰机构的平动刚度 K 直接来自于三根钢丝的轴向拉伸刚度，在图 3 中，已将钢丝等效为拉压弹簧，并记刚度为 k。由于三根钢丝 r, s 和 t 两两正交，恰可构成一个固定的直角坐标系，记为 Orst。设在外载荷力 F 以任意方向作用于 O 点，并记 F 作用下 O 点发生位移为 D，则有  $D=F/K$ 。记外力向量 F 关于 r, s 和 t 坐标轴的方向余弦分别为 l, m 和 n，则 F 在 r, s 和 t 三轴上的分量分别为  $F_r=lF$ ,  $F_s=mF$  和  $F_t=nF$ ，则在 r, s 和 t 三轴上，即三根钢丝上，对应的变形位移分别为  $D_r=lF/k$ ,  $D_s=mF/k$  和  $D_t=nF/k$ ，则根据虚功原理有：

$$FD = F_r D_r + F_s D_s + F_t D_t$$

$$\text{即: } F \cdot (F/K) = (lF) \cdot (lF/k) + (mF) \cdot (mF/k) + (nF) \cdot (nF/k)$$

$$F^2/K = (l^2 + m^2 + n^2)F^2/k$$

$$\text{因: } l^2 + m^2 + n^2 = 1$$

$$\text{有: } K=k$$

即，该柔性球铰机构的平动刚度是恒定的，且等于一根钢丝的刚度。

### 2. 任意转动方向的柔性分析

在 O 点作用任意方向力矩  $M_o$ ，则  $M_o$  可等效为一个力偶 M 和一个集中力 F。集中力 F 的影响可按 1 中方法分析；而力偶 M 会同时引起钢丝的弯曲和扭转两种效果，如图 4 和图 5 所示。

因柔性是刚度的倒数，为同 1 中的分析对应，按刚度进行分析。记钢丝的弯曲刚度为  $k_w$ ，扭转刚度为  $k_t$ 。由于弯曲和扭转效果均反映为角位移，因

此可将二者统一进行分析。在 Orst 坐标系内，沿任意 r, s 或 t 轴作用于 O 点的力矩将受到的两根钢丝的弯曲反力和一根钢丝的扭转反力，因此，可记该柔性球铰在三个正交轴线方向的刚度均为  $k_m=2k_w+k_t$ ，三个轴线方向刚度的合成效果即是该柔性铰链的转动方向刚度，记为  $K_m$ ；记力矩 M 作用下 O 点发生角位移为 V，则有  $V=M/K_m$ 。记力矩向量 M 关于 r, s 和 t 坐标轴的方向余弦分别为 l, m 和 n，则 M 在 r, s 和 t 三轴上的分量分别为  $M_r=lM$ ,  $M_s=mM$  和  $M_t=nM$ ，则在 r, s 和 t 三轴上，即三根钢丝上，对应的角度位移分别为  $V_r=lM/k_m$ ,  $V_s=mM/k_m$  和  $V_t=nM/k_m$ ，则根据虚功原理有：

$$V=M_rV_r+M_sV_s+M_tV_t$$

$$\text{即: } M \cdot (M/K_m) = (lM) \cdot (lM/k_m) + (mM) \cdot (mM/k_m) + (nM) \cdot (nM/k_m)$$

$$M^2/K_m = (l^2+m^2+n^2)M^2/k_m$$

$$\text{因: } l^2+m^2+n^2=1$$

$$\text{有: } K_m=k_m$$

即，该柔性球铰机构的转动刚度是恒定的，且等于两根钢丝的弯曲刚度和一根钢丝的扭转刚度之和，也即，该柔性球铰机构任意转动方向的柔性能是恒定的。

本发明的基于钢丝或钢丝绳柔性元件的柔性球铰机构，允许被联接的工作运动件在小角度范围内具有三个转动自由度，而三个平动自由度被限制；该球铰机构可实现无间隙无摩擦且任意平动方向的刚度恒定和任意转动方向的柔度恒定的球面高副功能。

#### 附图说明

图1为现有技术中柔性铰链机构原理图；

图2为柔性球铰机构原理图；

图3为柔性球铰机构分析图；

图4为钢丝在力偶作用下弯曲变形；

图5为钢丝在扭矩作用下扭转变形；

图6是本发明基于钢丝的柔性球铰机构实施方案剖视图；

图6中，1为工作运动件摇臂，2为上压板，3为上压板螺钉，4为钢丝，5为中筒，6为球节点，7为下压板螺钉，8为下压板。

图7是上压板主视图；

图8是上压板A-A剖视图。

### 具体实施方式

下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

实施例1，基于柔性元件的球铰机构参见图6、图7、图8，球节点6上正交地钻有三个比钢丝4稍大的通孔，中心钻有尽可能大的空心，以便三根钢丝4（第三根垂直纸面）通过，并采用螺纹联接运动活动件摇臂1。为消除间隙和保持稳固，三根钢丝4通过球节点6上对应小孔后，采用钎焊方式将钢丝4和球节点6上对应孔填充严实。然后，将运动活动件摇臂1穿过上压板2的中孔。上压板2的中空的大小按球铰需要工作的角度范围设计，用以防止运动活动件摇臂2超过工作角度方位，从而使球铰发生破坏。三根钢丝4的两端分别通过上压板2采用八个螺钉3紧固在中筒5的上端面；采用下压板8采用八个螺钉7紧固在中筒5的下端面。为使三根钢丝4安装中和工作中保持平直，上压板2、中筒5和下压板8的联接面均设计成特定的锥面，而在钢丝穿过的位罝，各铣有比钢丝4直径稍小的半圆形槽，以便压紧钢丝4；并且，三根钢丝4两端伸出中筒5，以便在安装中施加适当的预紧力从而使钢丝4平直。

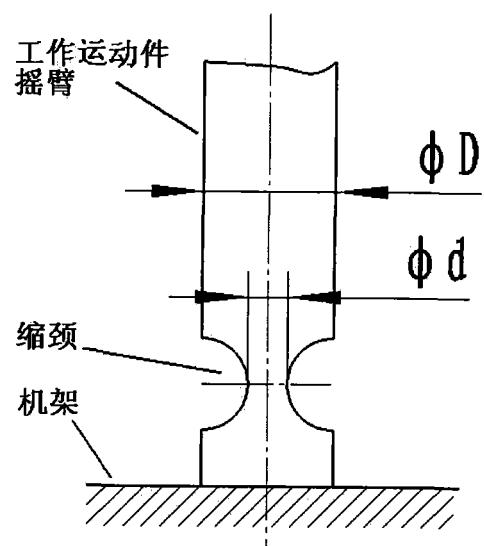


图 1

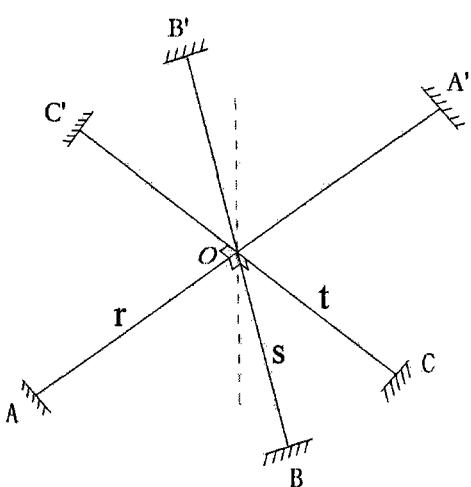


图 2

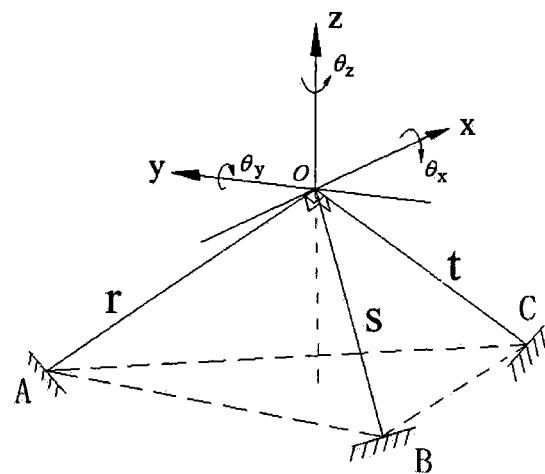


图 3

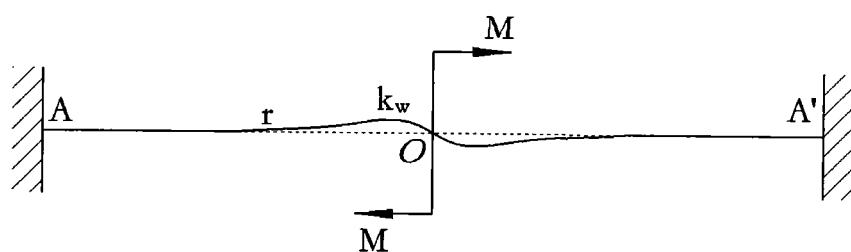


图 4

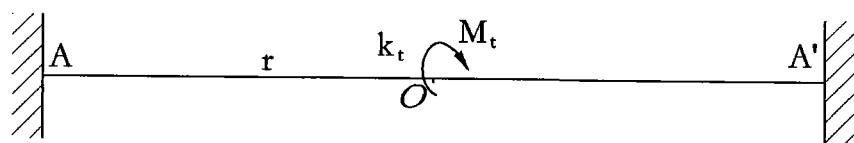


图 5

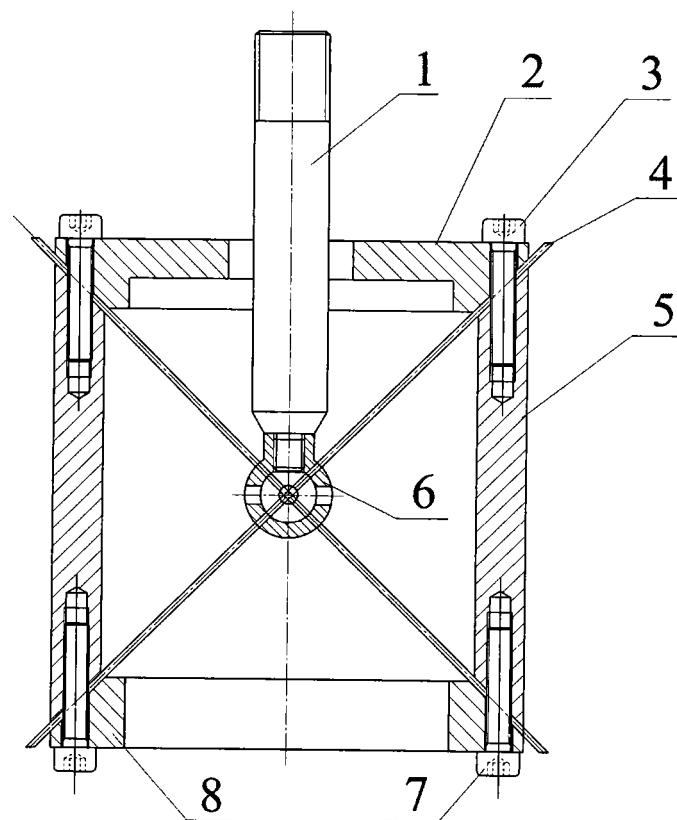


图 6

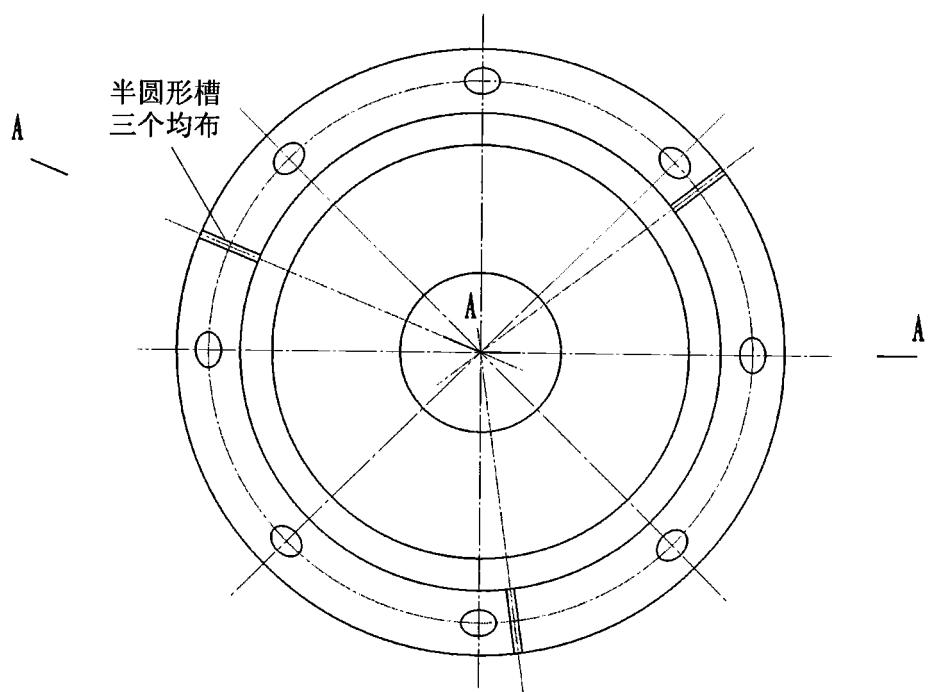


图 7

A-A

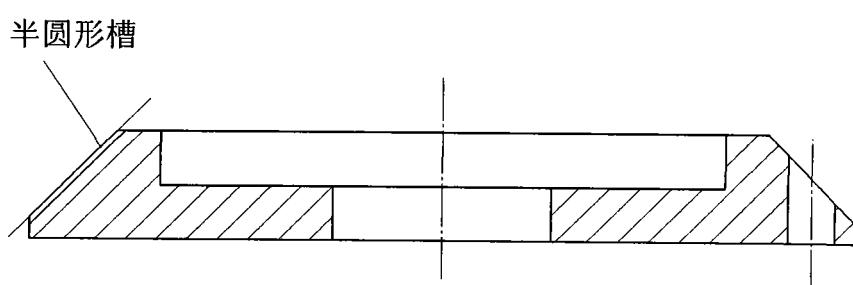


图 8