



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103076131 A

(43) 申请公布日 2013. 05. 01

(21) 申请号 201210589784. 7

(22) 申请日 2012. 12. 31

(71) 申请人 东南大学

地址 211189 江苏省南京市江宁开发区东南
大学路 2 号

(72) 发明人 宋爱国 陈丹凤 徐宝国 茅晨
武秀秀 潘栋成

(74) 专利代理机构 南京苏高专利商标事务所
(普通合伙) 32204

代理人 柏尚春

(51) Int. Cl.

G01L 5/16(2006. 01)

G01L 3/00(2006. 01)

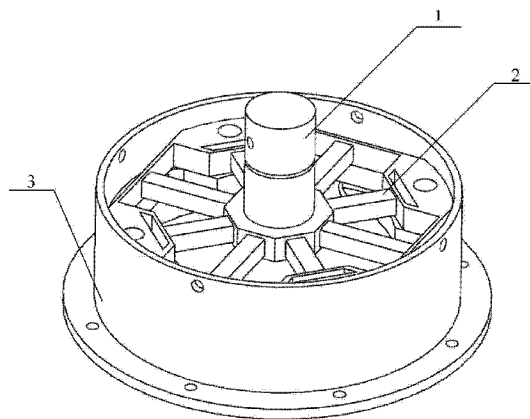
权利要求书1页 说明书8页 附图11页

(54) 发明名称

用于测量大型机械臂大力与小力矩的六维力与力矩传感器

(57) 摘要

本发明公开了一种用于测量大型机械臂大力与小力矩的六维力与力矩传感器,包括中心轴、力敏元件、底座和应变片组件,力敏元件固定连接在底座上,中心轴穿过力敏元件和底座,且中心轴与力敏元件过盈配合,应变片组件贴覆在力敏元件上,力敏元件包括四根弹性主梁、四根弹性副梁、呈正八角形的中心轴台、四个固定台、四个主浮动梁和四个副浮动梁,应变片组件包括第一应变片组和第二应变片组,四根弹性主梁中相对的两根弹性主梁上分别贴覆第一应变片组,其余两根弹性主梁上分别贴覆第二应变片组;中心轴与中心轴台的通孔过盈配合。该六维力与力矩传感器可提高对力的测量的刚度,同时对力矩的测量刚度也有小幅提高。



1. 一种用于测量大型机械臂大力与小力矩的六维力与力矩传感器,其特征在于,该六维力与力矩传感器包括中心轴(1)、力敏元件(2)、底座(3)和应变片组件,力敏元件(2)固定连接在底座(3)上,中心轴(1)穿过力敏元件(2)和底座(3),且中心轴(1)与力敏元件(2)过盈配合,应变片组件贴覆在力敏元件(2)上,其中,

所述的力敏元件(2)包括四根弹性主梁(21)、四根弹性副梁(22)、呈正八角形的中心轴台(23)、四个固定台(24)、四个主浮动梁(25)和四个副浮动梁(26),中心轴台(23)的几何中心设有通孔,四个固定台(24)均匀分布在中心轴台(23)周边,主浮动梁(25)固定连接在相邻的两个固定台(24)之间,每个副浮动梁(26)固定连接在一个固定台(24)上,且副浮动梁(26)朝向中心轴台(23),副浮动梁(26)和固定台(24)之间设有空腔(27);每根弹性主梁(21)的一端固定连接在中心轴台(23)的侧壁上,每根弹性主梁(21)的另一端固定连接在主浮动梁(25)上,且弹性主梁(21)分别与中心轴台(23)的侧壁和主浮动梁(25)垂直;每根弹性副梁(22)的一端固定连接在中心轴台(23)的侧壁上,每根弹性副梁(22)的另一端固定连接在副浮动梁(26)上,且弹性副梁(22)分别与中心轴台(23)的侧壁和副浮动梁(26)垂直;弹性主梁(21)和弹性副梁(22)交替布置,且相邻的弹性主梁(21)和弹性副梁之间的夹角为45度;

所述的应变片组件包括第一应变片组和第二应变片组,四根弹性主梁(21)中相对的两根弹性主梁(21)上分别贴覆第一应变片组,其余两根弹性主梁(21)上分别贴覆第二应变片组,第一应变片组包括第一应变片、第二应变片、第三应变片、第四应变片、第五应变片和第六应变片,第一应变片、第二应变片、第三应变片和第四应变片分别贴覆在弹性主梁(21)的四侧壁面上,第五应变片贴覆在弹性主梁(21)的上壁面,第六应变片贴覆在弹性主梁(21)的下壁面,且第一应变片、第二应变片、第三应变片和第四应变片比第五应变片和第六应变片靠近中心轴台(23);第二应变片组包括第七应变片、第八应变片、第九应变片、第十应变片、第十一应变片和第十二应变片,第七应变片、第八应变片、第九应变片和第十应变片分别贴覆在弹性主梁(21)的四侧壁面上,第十一应变片贴覆在弹性主梁(21)的左壁面,第十二应变片贴覆在弹性主梁(21)的右壁面,且第十一应变片和第十二应变片比第七应变片、第八应变片、第九应变片和第十应变片靠近中心轴台(23);

所述的力敏元件(2)的固定台(24)与底座(3)固定连接,中心轴(1)与中心轴台(23)的通孔过盈配合。

2. 按照权利要求1所述的用于测量大型机械臂大力与小力矩的六维力与力矩传感器,其特征在于,所述的四根弹性主梁(21)和四根弹性副梁(22)的截面均呈正方形。

3. 按照权利要求1所述的用于测量大型机械臂大力与小力矩的六维力与力矩传感器,其特征在于,所述的副浮动梁(26)和固定台(24)呈整体式结构。

4. 按照权利要求1所述的用于测量大型机械臂大力与小力矩的六维力与力矩传感器,其特征在于,还包括顶盖,顶盖上设有中心孔,顶盖的中心孔穿过中心轴(1),且顶盖与力敏组件(2)的固定台(24)固定连接。

用于测量大型机械臂大力与小力矩的六维力与力矩传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种六维力与力矩传感器,具体来说,涉及一种用于测量大型机械臂大力与小力矩的六维力与力矩传感器。

背景技术

[0002] 多维力与力矩传感器是机电控制系统中一类非常重要的机械量测量传感器,它是保证精密装配、精密操作、精密控制以及人机交互控制的基础元件,也是机器人完成接触性作业任务的保障。随着我国空间探测技术、海洋开发技术以及机器人技术的迅速发展,如空间站对接、空间机械手力控制、工业机器人、水下机器人遥操作等,迫切需要研发各种用途的大量程高精度多维力与力矩传感器。现有的机器人力与力矩传感器主要分为六维和三维两种力与力矩传感器,绝大多数机器人力与力矩传感器的设计集中在六维力与力矩传感器方面,并产生了多项专利技术,具体有:“六自由度力与力矩传感器”,“双层预紧式多分支六维力传感器及其结构稳定性分析”,“一种具有弹性铰链的六维力与力矩传感器”,“并联解耦结构六维力与力矩传感器”,“整体预紧平台式六维力传感器”,等。现有的机器人六维力与力矩传感器结构相对复杂、贴片数量和组桥电路多、体积较大、价格高,并且存在着较为严重的维间耦合。

[0003] 基于十字梁弹性体的六维力与力矩传感器是目前使用较广的一种,它主要提供 X, Y, Z 三个方向的力信息和 M_x , M_y , M_z 三个维度的力矩信息,并且相对其他结构的传感器而言,具有结构简单、体积小、贴片数量较低等优点。六维力传感器的性能主要考虑其分辨率和量程。在实际应用中,往往希望传感器在一定的尺寸条件下,有尽量高的分辨率,同时具有较大的量程(刚度),然而这两个方面恰好形成一对矛盾,即:提高了刚度必然在一定程度上降低其分辨率;反之,提高分辨率往往会降低传感器的刚度,从而量程变小。而随着工业机器人、遥操作机器人等机器人系统的发展,尤其是具有大型机械臂的大型空间机器人的发展,对于力与力矩传感器的性能方面往往要求测量更大的力以及较小的力矩,这使得传感器测量范围上产生不对称的需求,而原来十字梁结构的六维力与力矩传感器不易满足。因此,发明一种可以测量大力、小力矩的传感器非常具有实用价值。

发明内容

[0004] 技术问题:本发明所要解决的技术问题是:提供一种用于测量大型机械臂大力与小力矩的六维力与力矩传感器,该六维力与力矩传感器可提高对力的测量的刚度,即提高测量力的量程;同时对力矩的测量刚度也有小幅提高,即可同时提高测量力矩的量程,形成一种具有测量大量程力、小量程力矩的六维力与力矩传感器。

[0005] 技术方案:为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:

[0006] 一种用于测量大型机械臂大力与小力矩的六维力与力矩传感器,该六维力与力矩传感器包括中心轴、力敏元件、底座和应变片组件,力敏元件固定连接在底座上,中心轴穿过力敏元件和底座,且中心轴与力敏元件过盈配合,应变片组件贴覆在力敏元件上,其中,

所述的力敏元件包括四根弹性主梁、四根弹性副梁、呈正八角形的中心轴台、四个固定台、四个主浮动梁和四个副浮动梁，中心轴台的几何中心设有通孔，四个固定台均匀分布在中心轴台周边，主浮动梁固定连接在相邻的两个固定台之间，每个副浮动梁固定连接在一个固定台上，且副浮动梁朝向中心轴台，副浮动梁和固定台之间设有空腔；每根弹性主梁的一端固定连接在中心轴台的侧壁上，每根弹性主梁的另一端固定连接在主浮动梁上，且弹性主梁分别与中心轴台的侧壁和主浮动梁垂直；每根弹性副梁的一端固定连接在中心轴台的侧壁上，每根弹性副梁的另一端固定连接在副浮动梁上，且弹性副梁分别与中心轴台的侧壁和副浮动梁垂直；弹性主梁和弹性副梁交替布置，且相邻的弹性主梁和弹性副梁之间的夹角为 45 度；所述的应变片组件包括第一应变片组和第二应变片组，四根弹性主梁中相对的两根弹性主梁上分别贴覆第一应变片组，其余两根弹性主梁上分别贴覆第二应变片组，第一应变片组包括第一应变片、第二应变片、第三应变片、第四应变片、第五应变片和第六应变片，第一应变片、第二应变片、第三应变片和第四应变片分别贴覆在弹性主梁的四侧壁面上，第五应变片贴覆在弹性主梁的上壁面，第六应变片贴覆在弹性主梁的下壁面，且第一应变片、第二应变片、第三应变片和第四应变片比第五应变片和第六应变片靠近中心轴台；第二应变片组包括第七应变片、第八应变片、第九应变片、第十应变片、第十一应变片和第十二应变片，第七应变片、第八应变片、第九应变片和第十应变片分别贴覆在弹性主梁的四侧壁面上，第十一应变片贴覆在弹性主梁的左壁面，第十二应变片贴覆在弹性主梁的右壁面，且第十一应变片和第十二应变片比第七应变片、第八应变片、第九应变片和第十应变片靠近中心轴台；所述的力敏元件的固定台与底座固定连接，中心轴与中心轴台的通孔过盈配合。

[0007] 有益效果：与现有技术相比，本发明具有以下有益效果：

[0008] (1) 提高测量力和力矩的量程。本发明改进了原六维力与力矩传感器的十字梁结构，改用米字形的弹性主梁和弹性副梁组成的力敏元件，在弹性主梁和弹性副梁的端部垂直设置主浮动梁和副浮动梁。与原十字梁结构在相同尺寸条件下，利用有限元分析软件 ANSYS 分析，本发明的传感器可在不减小测量灵敏度的情况下，对六维的力和力矩测量量程有不同程度的扩大。与同尺寸的十字弹性体相比，本发明的传感器对力的量程扩大 4—7 倍，对力矩的量程扩大 2—4 倍，最终形成一种可以测量大量程力和小量程力矩的六维力与力矩传感器，对于大型机械臂等相关领域具有极大的实用价值。

[0009] 也就是说，本发明的传感器具有尺寸小、灵敏度高、刚度高的优点。

[0010] (2) 耦合误差小。本发明中的弹性主梁和弹性副梁均采用了浮动梁结构，尤其是与弹性副梁连接的副浮动梁，副浮动梁和固定台之间设置空腔，以实现副浮动梁的弹性支撑效果。主浮动梁和副浮动梁在不同方向上分别起着柔性梁和弹性支撑梁的作用，从而使各个方向的作用力不影响其他方向上作用力的效果，因此，该传感器具有耦合误差小的优点。

[0011] (3) 测量准确。本发明的传感器采用六组全桥电路，每组全桥电路包括 4 片应变片的技术措施，使得每组全桥电路测量一个维度的力或力矩，电路互相独立、互不影响。对于每个维度的测量，利用全等臂差动电桥，可以最大程度地提高灵敏度，并消除了电路测量的非线性误差。因此，本发明以较少的应变片实现了误差的进一步减小。

附图说明

- [0012] 图 1 是本发明的结构示意图。
- [0013] 图 2 是本发明中力敏元件的结构示意图。
- [0014] 图 3 是本发明中贴覆应变片组件的弹性主梁和弹性副梁的俯视图。
- [0015] 图 4 是本发明中贴覆应变片组件的弹性主梁和弹性副梁的仰视图。
- [0016] 图 5 是本发明测量的 X 维力 U_{fx} 的全桥组桥电路图。
- [0017] 图 6 是本发明测量的 Y 维力 U_{fy} 的全桥组桥电路图。
- [0018] 图 7 是本发明测量的 Z 维力 U_{fz} 的全桥组桥电路图。
- [0019] 图 8 是本发明测量的 X 维力矩 U_{tx} 的全桥组桥电路图。
- [0020] 图 9 是本发明测量的 Y 维力矩 U_{ty} 的全桥组桥电路图。
- [0021] 图 10 是本发明测量的 Z 维力矩 U_{tz} 的全桥组桥电路图。
- [0022] 图 11 是本发明具体实施方式中作为对比例的同尺寸十字形弹性主梁的结构示意图。
- [0023] 图 12 是对比例的传感器受 F_x 力时的形变图。
- [0024] 图 13 是本发明的传感器受 F_x 力时的形变图。
- [0025] 图 14 是对比例的传感器受 F_x 时弯曲的弹性主梁表面中心线上的应变线条图。
- [0026] 图 15 是本发明的传感器受 F_x 时弯曲的弹性主梁表面中心线上的应变线条图。
- [0027] 图 16 是对比例的传感器受 F_z 力时的形变图。
- [0028] 图 17 是本发明的传感器受 F_z 力时的形变图。
- [0029] 图 18 是对比例的传感器受 F_z 时弯曲的弹性主梁表面中心线上的应变线条图。
- [0030] 图 19 是本发明的传感器受 F_z 时弯曲的弹性主梁表面中心线上的应变线条图。
- [0031] 图 20 是对比例的传感器受 M_z 力时的形变图。
- [0032] 图 21 是本发明的传感器受 M_z 力时的形变图。
- [0033] 图 22 是对比例的传感器受 M_z 时弯曲的弹性主梁表面中心线上的应变图。
- [0034] 图 23 是本发明的传感器受 M_z 时弯曲的弹性主梁表面中心线上的应变图。
- [0035] 图 24 是对比例的传感器受 M_y 力时的形变图。
- [0036] 图 25 是本发明的传感器受 M_y 力时的形变图。
- [0037] 图 26 是对比例的传感器受 M_y 时弯曲的弹性主梁表面中心线上的应变图。
- [0038] 图 27 是本发明的传感器受 M_y 时弯曲的弹性主梁表面中心线上的应变图。
- [0039] 图中有：中心轴 1、力敏元件 2、底座 3、弹性主梁 21、弹性副梁 22、中心轴台 23、固定台 24、主浮动梁 25、副浮动梁 26、空腔 27。

具体实施方式

[0040] 下面结合附图，详细说本发明的技术方案。

[0041] 如图 1 至图 4 所示，本发明的一种用于测量大型机械臂大力与小力矩的六维力与力矩传感器，包括中心轴 1、力敏元件 2、底座 3 和应变片组件。力敏元件 2 固定连接在底座 3 上，中心轴 1 穿过力敏元件 2 和底座 3，且中心轴 1 与力敏元件 2 过盈配合，应变片组件贴覆在力敏元件 2 上。通过中心轴 1 的转动，带动整个传感器的转动，实现对力与力矩的测量。力敏元件 2 包括四根弹性主梁 21、四根弹性副梁 22、呈正八角形的中心轴台 23、四个固定台 24、四个主浮动梁 25 和四个副浮动梁 26。中心轴台 23 的几何中心设有通孔。四个固定台

24 均匀分布在中心轴台 23 周边。四个固定台 24 的最外层轮廓可为圆形,便于放置到底座 3 中。主浮动梁 25 固定连接在相邻的两个固定台 24 之间。每个副浮动梁 26 固定连接在一个固定台 24 上,且副浮动梁 26 朝向中心轴台 23。副浮动梁 26 和固定台 24 之间设有空腔 27。设置空腔 27,避免了副浮动梁 26 和固定台 24 直接接触,有利于副浮动梁 26 发生形变,提高测量精度。作为优选方案,副浮动梁 26 和主浮动梁 25 的厚度相等。每根弹性主梁 21 的一端固定连接在中心轴台 23 的侧壁上,每根弹性主梁 21 的另一端固定连接在主浮动梁 25 上,且弹性主梁 21 分别与中心轴台 23 的侧壁和主浮动梁 25 垂直。每根弹性副梁 22 的一端固定连接在中心轴台 23 的侧壁上,每根弹性副梁 22 的另一端固定连接在副浮动梁 26 上,且弹性副梁 22 分别与中心轴台 23 的侧壁和副浮动梁 26 垂直。弹性主梁 21 和弹性副梁 22 交替布置,且相邻的弹性主梁 21 和弹性副梁之间的夹角为 45 度。弹性主梁 21 和弹性副梁 22 的截面尺寸相同,但弹性副梁 22 的长度比弹性主梁 21 的长度短。应变片组件包括第一应变片组和第二应变片组。四根弹性主梁 21 中相对的两根弹性主梁 21 上分别贴覆第一应变片组,其余两根弹性主梁 21 上分别贴覆第二应变片组。第一应变片组包括第一应变片、第二应变片、第三应变片、第四应变片、第五应变片和第六应变片。第一应变片、第二应变片、第三应变片和第四应变片分别贴覆在弹性主梁 21 的四侧壁面上。弹性主梁 21 的四侧壁面包括上壁面、下壁面、左壁面和右壁面,不包括端面。第五应变片贴覆在弹性主梁 21 的上壁面,第六应变片贴覆在弹性主梁 21 的下壁面,且第一应变片、第二应变片、第三应变片和第四应变片比第五应变片和第六应变片靠近中心轴台 23。第二应变片组包括第七应变片、第八应变片、第九应变片、第十应变片、第十一应变片和第十二应变片。第七应变片、第八应变片、第九应变片和第十应变片分别贴覆在弹性主梁 21 的四侧壁面上。第十一应变片贴覆在弹性主梁 21 的左壁面,第十二应变片贴覆在弹性主梁 21 的右壁面,且第十一应变片和第十二应变片比第七应变片、第八应变片、第九应变片和第十应变片靠近中心轴台 23。力敏元件 2 的固定台 24 与底座 3 固定连接,中心轴 1 与中心轴台 23 的通孔过盈配合。

[0042] 进一步,所述的四根弹性主梁 21 和四根弹性副梁 22 的截面均呈正方形。采用正方形的截面,可以使弹性主梁 21 和弹性副梁 22 的 z 方向的形变和 x、y 方向的形变具有等效的效果,通过后面的电路采集系统分析形变量之后,再换算到力或力矩的对应关系更加简单,从而简化换算和解耦算法,进而简化测量过程。

[0043] 进一步,所述的副浮动梁 26 和固定台 24 呈整体式结构。这有利于制作,并且可以提高副浮动梁 26 和固定台 24 连接的稳定性。

[0044] 进一步,所述的用于测量大型机械臂大力与小力矩的六维力与力矩传感器,还包括顶盖,顶盖上设有中心孔,顶盖的中心孔穿过中心轴 1,且顶盖与力敏组件 2 的固定台 24 固定连接。设置顶盖,可以避免杂质落入力敏元件 2 中,影响测量精度。

[0045] 上述结构的六维力与力矩传感器对力和力矩的测量由电阻应变电桥实现。每 4 片应变片为一组,构成一个全桥电路测量一个维度的力或力矩。本发明采用 24 片应变片,组成六个全桥电路。通过测量每个电桥的输出电压后,根据现有的多维力传感器解耦方法可以计算出三个维度的力和三个维度的力矩。例如,申请号为 201010168331.8,发明名称为基于耦合误差建模的多维力传感器解耦方法的中国专利文献公开了该解耦方法。如图 3 和图 4 所示,位于上部的弹性主梁 21 贴覆第一应变片组,分别为包括上第一应变片 R_1 、上第二应变片 R_{14} 、上第三应变片 R_7 、上第四应变片 R_{13} 、上第五应变片 R_2 和上第六应变片 R_8 。位于下

部的弹性主梁 21 也贴覆第一应变片组,分别为下第一应变片 R_3 、下第二应变片 R_{16} 、下第三应变片 R_9 、下第四应变片 R_{15} 、下第五应变片 R_4 和下第六应变片 R_{10} 。位于左部的弹性主梁 21 贴覆第二应变片组,分别为左第七应变片 R_6 、左第八应变片 R_{22} 、左第九应变片 R_{12} 、左第十应变片 R_{24} 、左第十一应变片 R_{21} 和左第十二应变片 R_{23} 。位于右部的弹性主梁 21 贴覆第二应变片组,分别为右第七应变片 R_{11} 、右第八应变片 R_{18} 、右第九应变片 R_5 、右第十应变片 R_{20} 、右第十一应变片 R_{17} 和右第十二应变片 R_{19} 。

[0046] 测量 F_x 的四片应变片为在 y 向的十字形弹性主梁 21 的左右两侧,并且位于弹性主梁 21 的根部,靠近中心轴台 23,即图中的上第四应变片 R_{13} 、上第二应变片 R_{14} 、下第四应变片 R_{15} 、和下第二应变片 R_{16} 。测量 F_x 的电路图如图 5 所示,当力敏元件 2 受正向 F_x 力产生形变时,上第二应变片 R_{14} 和下第二应变片 R_{16} 被拉伸,电阻增大;上第四应变片 R_{13} 和下第四应变片 R_{15} 被压缩,电阻减小。当受反向力时,则该四个应变片的电阻变化相反。由于机械形变和应变片的对称性,变化的电阻 ΔR 几乎相等。组桥时,电桥相对臂的应变片同向变化(受拉或受压),相邻臂的应变片异向变化(一个受拉一个受压),即保证上第二应变片 R_{14} 和下第二应变片 R_{16} 处于相对臂,上第四应变片 R_{13} 和下第四应变片 R_{15} 处于相对臂,形成一个全等臂差动电桥。

[0047] 测量 F_y 的四片应变片,在 x 向的十字形弹性主梁 21 的左右两侧,且位于弹性主梁 21 的根部,即图中的右第十一应变片 R_{17} 、右第十二应变片 R_{19} 、左第十一应变片 R_{21} 和左第十二应变片 R_{23} 。测量 F_y 的电路图如图 6 所示,当力敏元件 2 受正向 F_y 力产生形变时,右第十一应变片 R_{17} 和左第十一应变片 R_{21} 被拉伸,电阻增大,右第十二应变片 R_{19} 和左第十二应变片 R_{23} 被压缩,电阻减小。当受反向力时,则该四个应变片的电阻变化相反。组桥时,右第十一应变片 R_{17} 和左第十一应变片 R_{21} 处于相对臂,右第十二应变片 R_{19} 和左第十二应变片 R_{23} 处于相对臂,形成一个全等臂差动电桥。

[0048] 测量 F_z 的四片应变片,在 y 向的十字形弹性主梁 21 的上下两侧,即正面和背面,且位于弹性主梁 21 的根部,即图中的上第一应变片 R_1 、下第一应变片 R_3 、上第三应变片 R_7 、下第三应变片 R_9 。测量 F_z 的电路图如图 7 所示,当力敏元件 2 受正向 F_z 力产生形变时,上第三应变片 R_7 和下第三应变片 R_9 被拉伸,电阻增大,上第一应变片 R_1 和下第一应变片 R_3 被压缩,电阻减小。当受反向力时,则该四个应变片的电阻变化相反。组桥时,上第三应变片 R_7 和下第三应变片 R_9 处于相对臂,上第一应变片 R_1 和下第一应变片 R_3 处于相对臂,形成一个全等臂差动电桥。

[0049] 测量 M_x 的四片应变片,在 y 向的十字形弹性主梁 21 的上下两侧,且位于弹性主梁 21 的中部,即图中的上第五应变片 R_2 、下第五应变片 R_4 、上第六应变片 R_8 和下第六应变片 R_{10} 。测量 M_x 的电路图如图 8 所示,当力敏元件 2 受正向 M_x 力矩产生形变时,上第五应变片 R_2 和下第六应变片 R_{10} 被拉伸,电阻增大,下第五应变片 R_4 和上第六应变片 R_8 被压缩,电阻减小。当受反向力时,则该四个应变片的电阻变化相反。组桥时,上第五应变片 R_2 和下第六应变片 R_{10} 处于相对臂,下第五应变片 R_4 和上第六应变片 R_8 处于相对臂,形成一个全等臂差动电桥。

[0050] 测量 M_y 的四片应变片,在 x 向的十字形弹性主梁 21 的上下两侧,且位于弹性主梁 21 的中部,即图中的右第九应变片 R_5 、左第七应变片 R_6 、右第七应变片 R_{11} 和左第九应变片 R_{12} 。测量 M_y 的电路图如图 9 所示,当力敏元件 2 受正向 M_y 力矩产生形变时,左第七应变片

R_6 和左第九应变片 R_{12} 被拉伸,电阻增大,右第九应变片 R_5 和右第七应变片 R_{11} 被压缩,电阻减小。当受反向力时,则该四个应变片的电阻变化相反。组桥时,左第七应变片 R_6 和左第九应变片 R_{12} 处于相对臂,右第九应变片 R_5 和右第七应变片 R_{11} 处于相对臂,形成一个全等臂差动电桥。

[0051] 测量 M_z 的四片应变片,在 x 向的十字形弹性主梁 21 的左右两侧,并且位于弹性主梁 21 的中部,即图中的右第八应变片 R_{18} 、右第十应变片 R_{20} 、左第八应变片 R_{22} 和左第十应变片 R_{24} 。测量 M_z 的电路图如图 10 所示,当力敏元件 2 受正向 M_z 力矩产生形变时,右第八应变片 R_{18} 和左第十应变片 R_{24} 被拉伸,电阻增大,右第十应变片 R_{20} 和左第八应变片 R_{22} 被压缩,电阻减小。当受反向力时,则该四个应变片的电阻变化相反。组桥时,右第八应变片 R_{18} 和左第十应变片 R_{24} 处于相对臂,右第十应变片 R_{20} 和左第八应变片 R_{22} 处于相对臂,形成一个全等臂差动电桥。

[0052] 为了保证测量的精确性,应变片的位置保持对称性,各应变片的中心轴线要和弹性主梁 21 的中心轴线重合。其中,位于弹性主梁 21 根部的应变片距离中心轴台的圆心的距离用 a 表示,位于弹性主梁 21 中部的应变片距离中心轴台 23 圆心的距离用 b 表示。 a 和 b 的值根据弹性主梁 21 的具体尺寸变化而进行比例性的伸缩。设弹性主梁 21 的长度为 L ,中心轴台 23 圆心到中心轴台 23 侧壁的距离为 s ,则:

$$[0053] \quad a=s+L/5$$

$$[0054] \quad b=s+2L/5$$

[0055] 下面通过试验对比,来证明本发明的六维力与力矩传感器的优良性能。

[0056] 作为对比的六维力与力矩传感器(下文简称:对比比例的传感器),其结构与本发明相同,不同的是,没有采用弹性副梁 22 和副浮动梁 26 结构,其余结构与本发明相同,包括应变片的贴覆位置均与本发明相同,具体参数如表 1 所示。对比比例的传感器的力敏元件结构如图 11 所示。

[0057] 表 1 传感器尺寸参数

尺寸 (mm)	对比比例的传感器			本发明的传感器				
	弹性梁	浮动梁	整体尺寸	弹性主梁	主浮动梁	弹性副梁	副浮动梁	整体尺寸
[0058] 长度	25	32	78	25	32	18	14	78
宽度	5	1	78	5	1	5	1	78
高度	5	5	7	5	5	5	5	7

[0059] 通过有限元分析软件 ANSYS14.0,对两种结构的六维力与力矩传感器的性能进行试验。试验中,对两者施加的力和力矩均相同。

[0060] 试验结果由仿真软件 ANSYS 分析获得,如图 12-24 所示。根据其中的应变曲线,将所得的主要数据列于表 2。

[0061] 表 2 主要试验结果

[0062]

施加的力 / 力矩	对比比例的传感器	本发明的传感器	倍数关系
$F_x=200\text{N}$	9.452×10^{-4}	1.374×10^{-4}	6.88
$F_z=200\text{N}$	7.562×10^{-4}	2.018×10^{-4}	3.75
$M_z=10\text{N} \cdot \text{m}$	1.161×10^{-3}	4.628×10^{-4}	2.51
$M_y=10\text{N} \cdot \text{m}$	1.904×10^{-3}	4.733×10^{-4}	4.02

[0063] 下面结合每一幅图进行详细的分析,对比两者的性能。

[0064] 通过观察图 12 和图 13 可知:在受 F_x 力时,本发明的传感器的弹性主梁和主浮动梁,与对比比例的传感器具有几乎一致的形变规律。ANSYS 软件对于机械结构的形变具有自动放大功能,查看两幅图的形变放大倍数可知,本发明的传感器的实际形变小于对比比例的传感器,说明本发明的传感器对 F_x 的刚度有所提高。通过对比图 14 和图 15 可知:当 $F_x=200\text{N}$ 时,对比比例的传感器最大应变为: 9.452×10^{-4} ,本发明的传感器最大应变为: 1.374×10^{-4} 。当最大应变在 $7 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-3}$ 区间内时,能同时保证屈服强度和刚度,并有较好的灵敏度。在此区间内,对比比例的传感器和本发明的传感器的应变呈线性变化。由于对比比例的传感器最大应变是本发明的 6.88 倍,可说明本发明的传感器在 6.88 倍的施力条件下具有和对比比例的传感器相同的性能。因此,在保证屈服强度和灵敏度的情况下,本发明的传感器比对比比例的传感器刚度扩大了 6.88 倍,相应的量程可以扩大大约 7 倍。

[0065] 由于弹性主梁 21 关于坐标轴对称,因此 F_x 和 F_y 的分析完全相同,仅仅是角度相差 90° 。

[0066] 通过观察图 16 和图 17 可知:在受 F_z 力时,本发明的传感器的弹性主梁和主浮动梁,与对比比例的传感器具有几乎一致的形变规律。查看两幅图的形变放大倍数可知,本发明的传感器的实际形变小于对比比例的传感器,说明本发明的传感器对 F_z 的刚度有所提高。通过对比图 18 和图 19 可知:当 $F_z=200\text{N}$ 时,对比比例的传感器最大应变为 7.562×10^{-4} ,本发明的传感器最大应变为 2.018×10^{-4} 。由于对比比例的传感器最大应变是本发明的 3.75 倍,可说明本发明的传感器在 3.75 倍的施力条件下具有和对比比例的传感器相同的性能。因此,在保证屈服强度和灵敏度的情况下,本发明的传感器比对比比例的传感器刚度扩大了 3.75 倍,相应的量程可以扩大大约 4 倍。

[0067] 通过观察图 20 和图 21 可知:在受 M_z 力时,本发明的传感器的弹性主梁和主浮动梁,与对比比例的传感器具有几乎一致的形变规律。查看两幅图的形变放大倍数可知,本发明的传感器的实际形变小于对比比例的传感器,说明本发明的传感器对 M_z 的刚度有所提高。通过对比图 22 和图 23 可知:当 $M_z=10\text{N} \cdot \text{m}$ 时,对比比例的传感器最大应变为 1.161×10^{-3} ,本发明的传感器最大应变为 4.628×10^{-4} 。由于对比比例的传感器最大应变是本发明的 2.51 倍,说明本发明的传感器在 2.51 倍的施力条件下具有和对比比例的传感器相同的性能。在保证屈服强度和灵敏度的情况下,本发明的传感器比对比比例的传感器刚度扩大了 2.51 倍,相应的量程可以扩大大约 2.5 倍。

[0068] 通过观察图 24 和图 25 可知:在受 M_y 力时,本发明的传感器的弹性主梁和主浮动梁,与对比比例的传感器具有几乎一致的形变规律。查看两幅图的形变放大倍数可知,本发明

的传感器的实际形变小于对比例的传感器,说明本发明的传感器对 M_y 的刚度有所提高。通过对比图 26 和图 27 可知:当 $M_y=10\text{N}\cdot\text{m}$ 时,对比例的传感器最大应变为 1.904×10^{-3} ,本发明的传感器最大应变为 4.733×10^{-4} 。由于对比例的传感器最大应变是本发明的 4.01 倍,说明本发明的传感器可在 4.01 倍的施力条件下具有和对比例的传感器相同的性能。在保证屈服强度和灵敏度的情况下,本发明的传感器比对比例的传感器刚度扩大了 4.01 倍,相应的量程可以扩大大约 4 倍。

[0069] 由弹性主梁的对称性, M_x 的分析结果和 M_y 的分析结果完全相同。

[0070] 本发明通过中心轴 1 传递外界的力和力矩,中心轴台 23 的通孔用于与中心轴 1 进行过盈配合,从而测量从中心轴 1 上传递过来的力和力矩。本发明采用米字形的弹性梁结构作为力敏元件 2。本发明的六维力与力矩传感器可以测量 F_x, F_y, F_z 三个维度的力和 M_x, M_y, M_z 三个维度的力矩。同时,弹性主梁 21 和弹性副梁 22 上均采用了浮动梁结构,即有四根主浮动梁 25 和四根副浮动梁 26。浮动梁在不同方向上分别起着柔性梁和弹性支撑梁的作用,从而使各个方向的作用力不影响其他方向上作用力的效果。

[0071] 本发明的传感器具有尺寸小、灵敏度高、刚度高以及耦合误差小的优点。与具有相同尺寸的十字形弹性梁相比,本发明的米字形弹性梁对力的刚度大大提高,对力矩的刚度有较小的提高,从而对力的量程扩大 4~7 倍,对力矩的量程扩大 2~4 倍。本发明的传感器适用于大型机械臂测量大量程力和小量程力矩的测量。在实际应用中,在尺寸不增加的情况下,本发明的传感器可提高对力的测量量程。

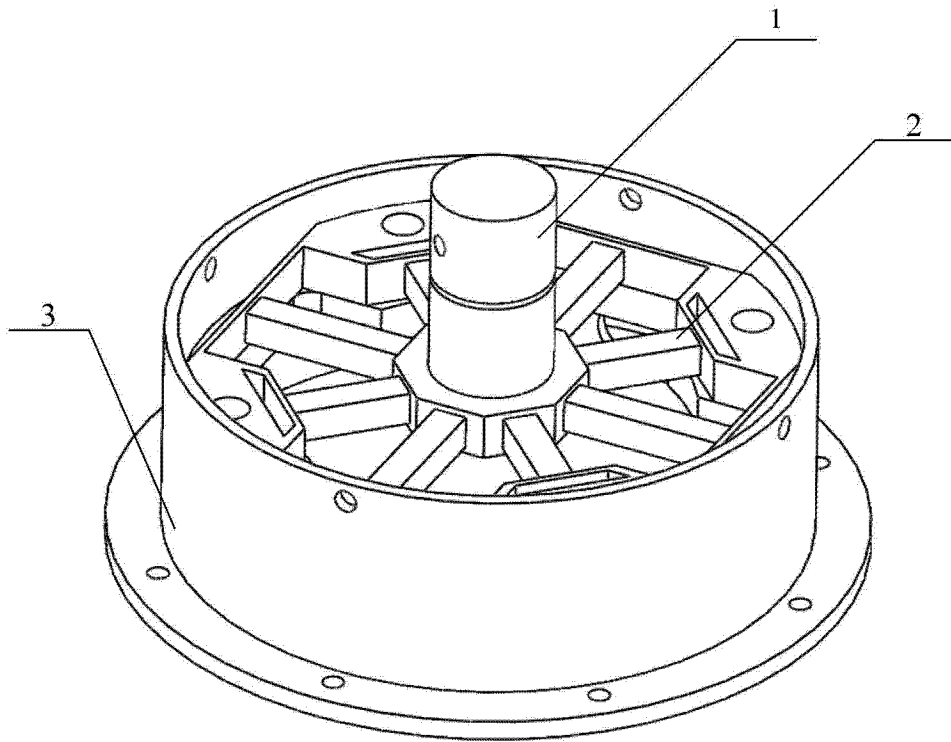


图 1

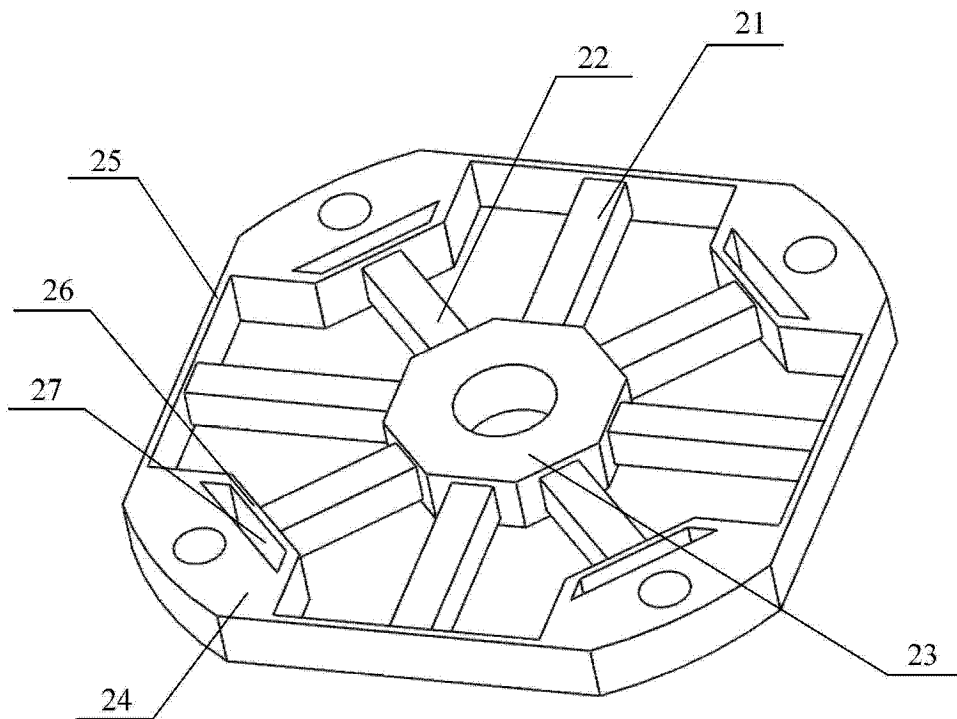


图 2

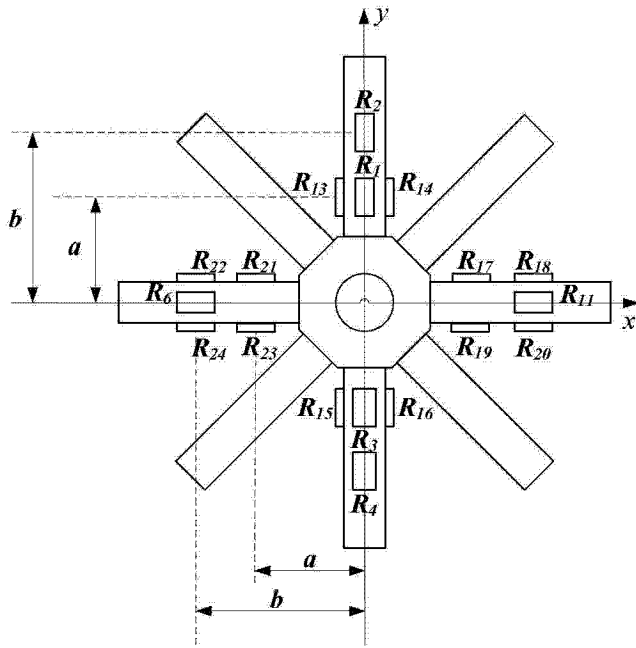


图 3

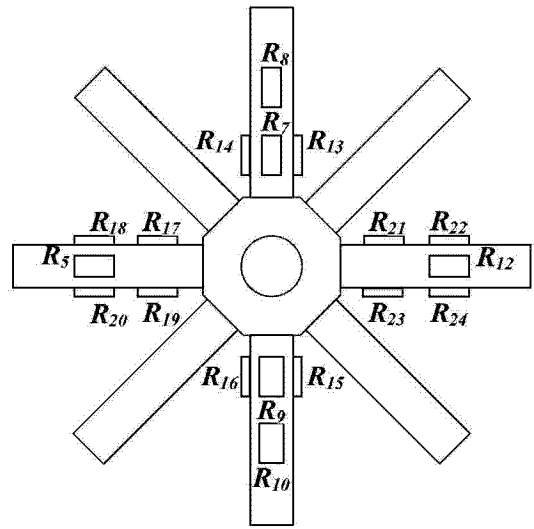


图 4

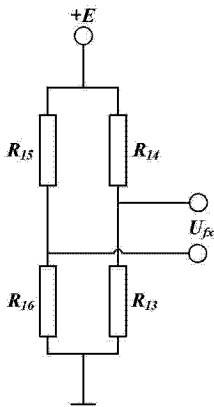


图 5

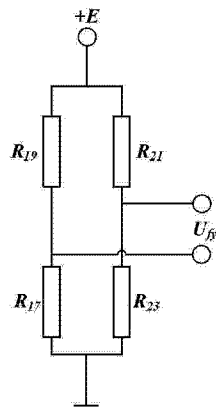


图 6

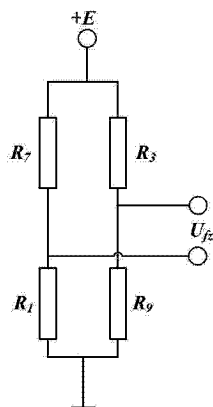


图 7

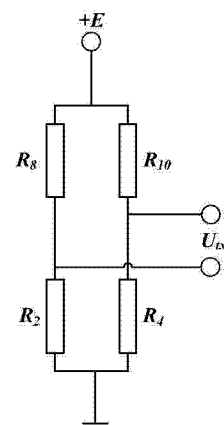


图 8

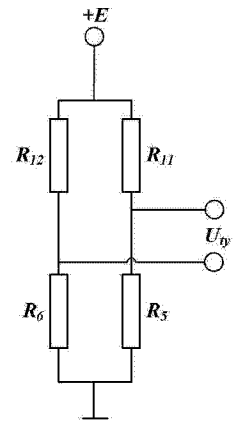


图 9

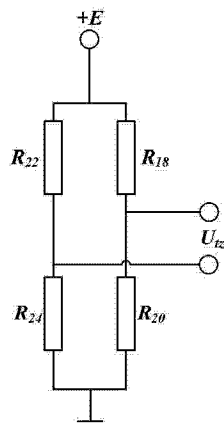


图 10

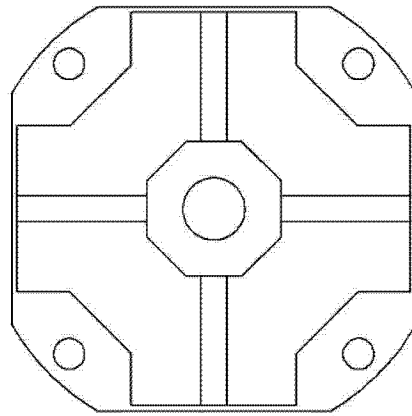


图 11

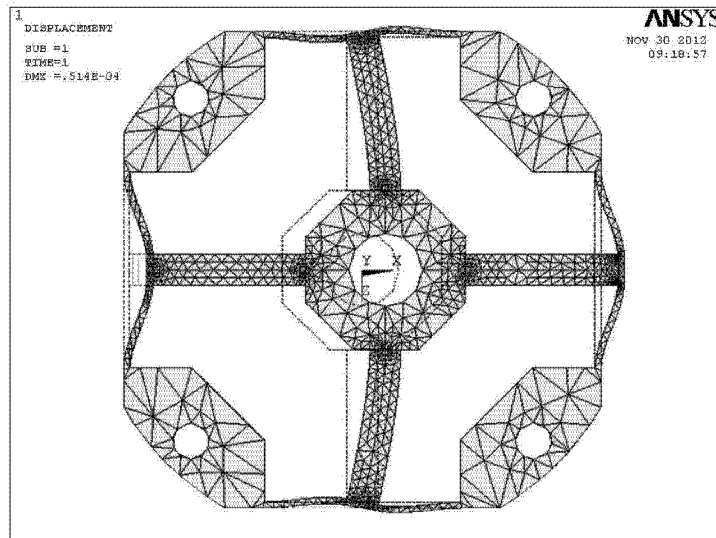


图 12

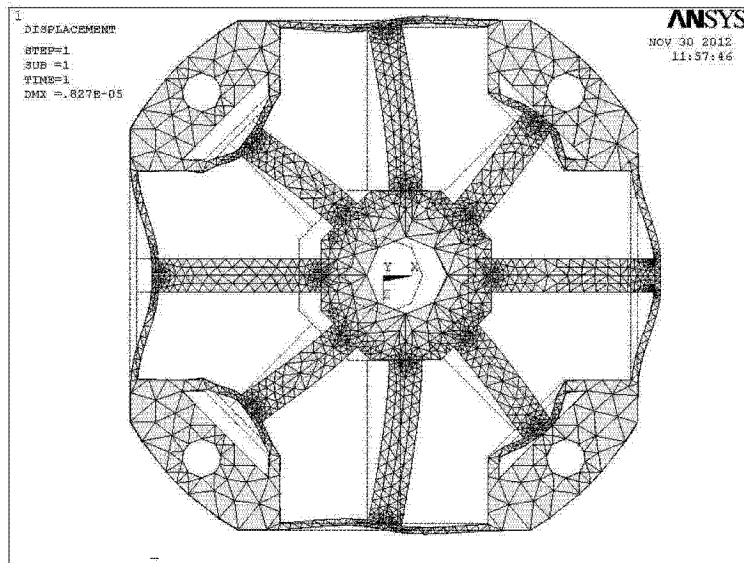


图 13

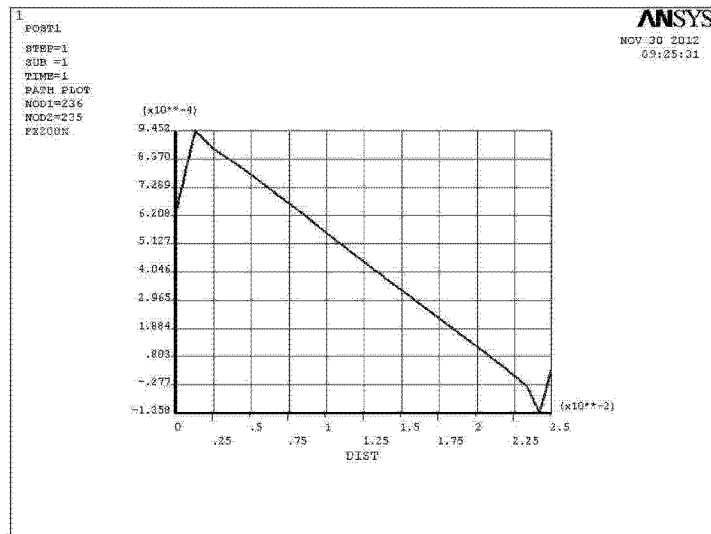


图 14

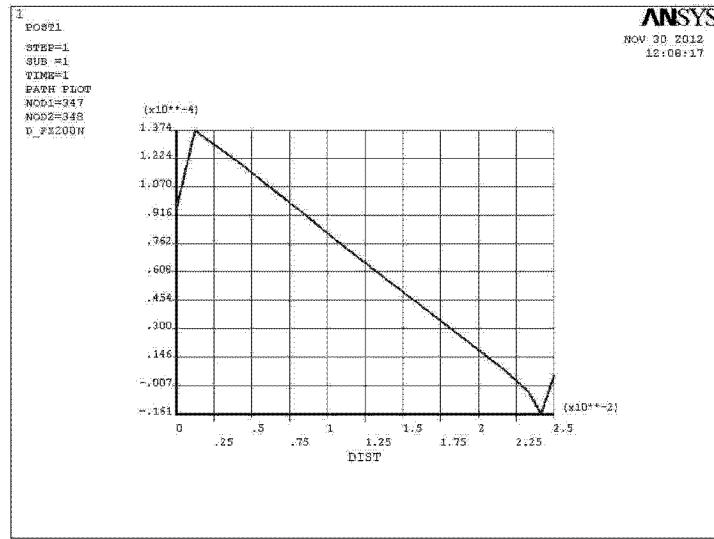


图 15

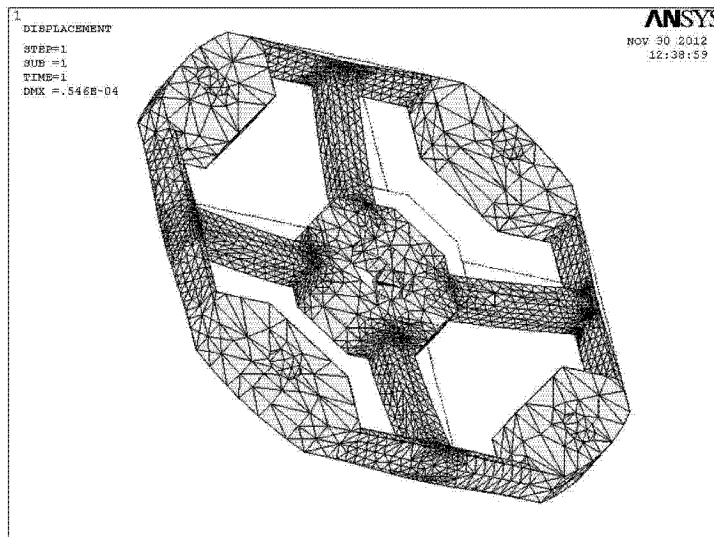


图 16

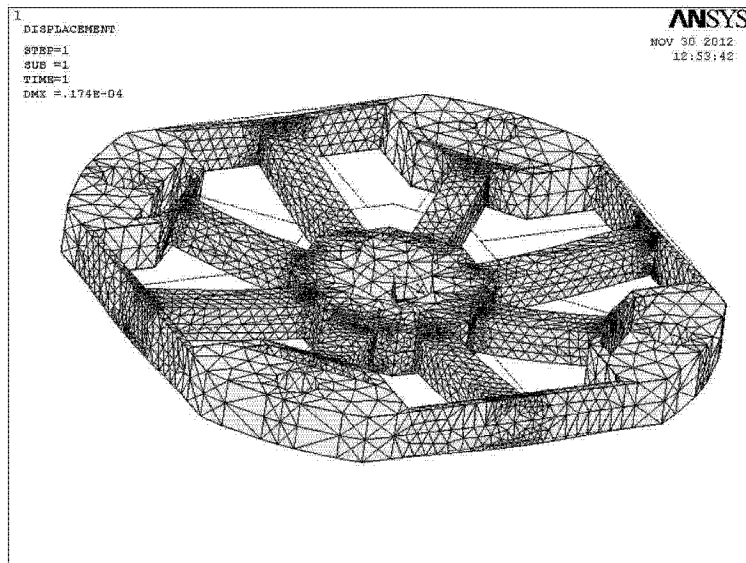


图 17

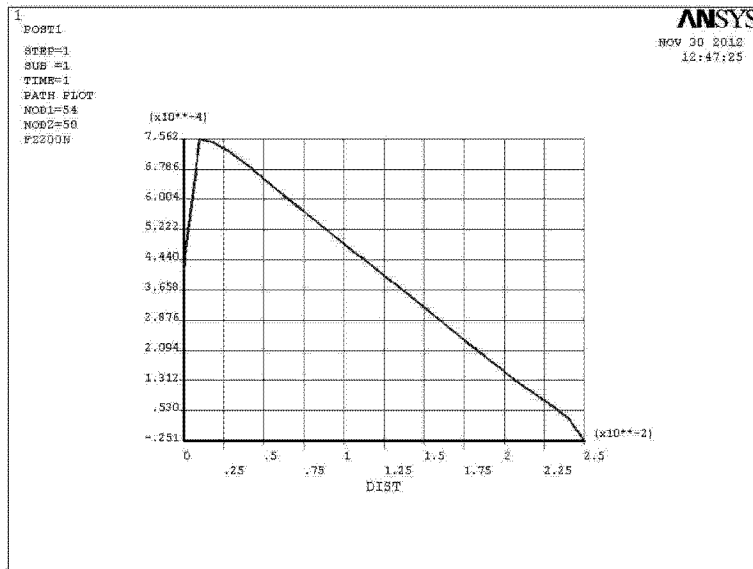


图 18

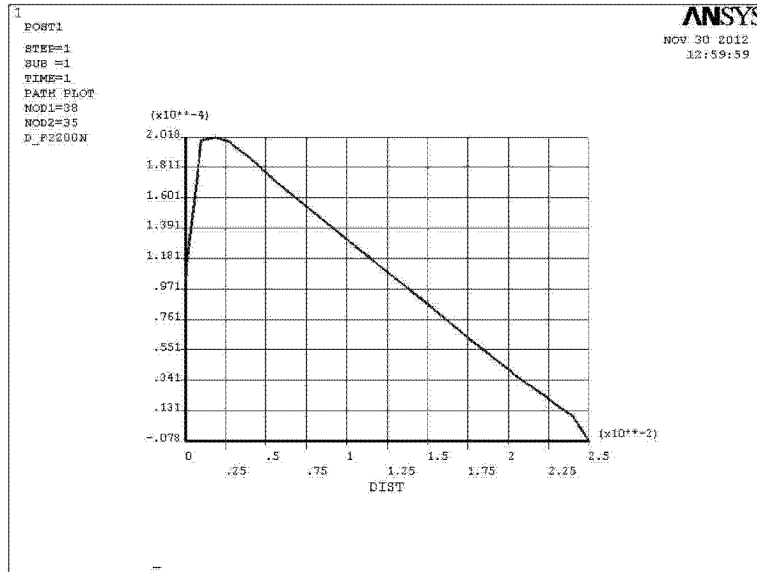


图 19

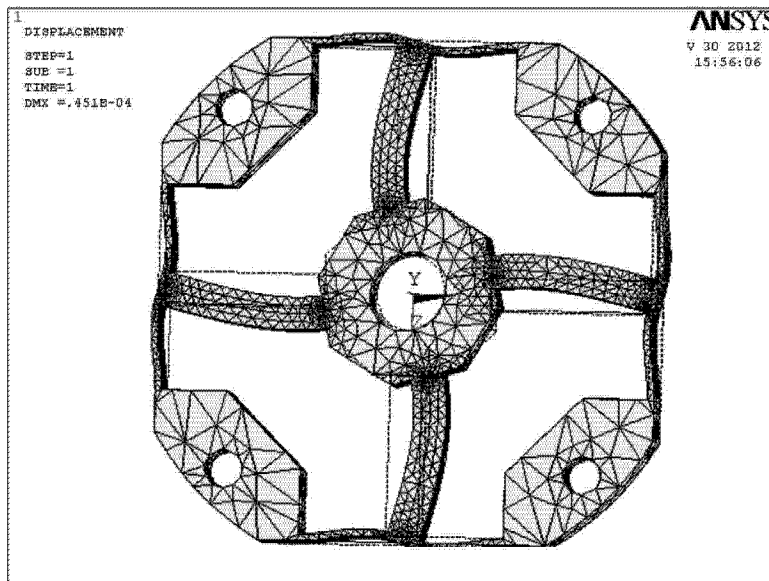


图 20

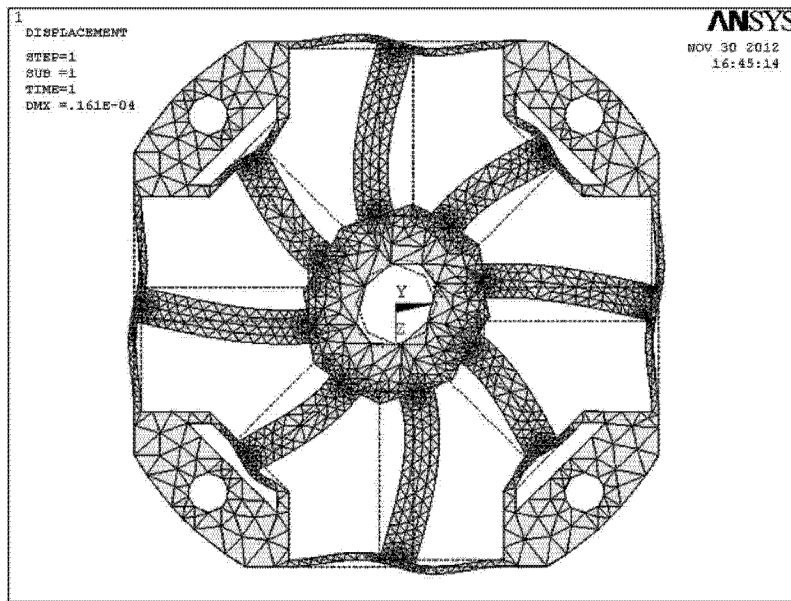


图 21

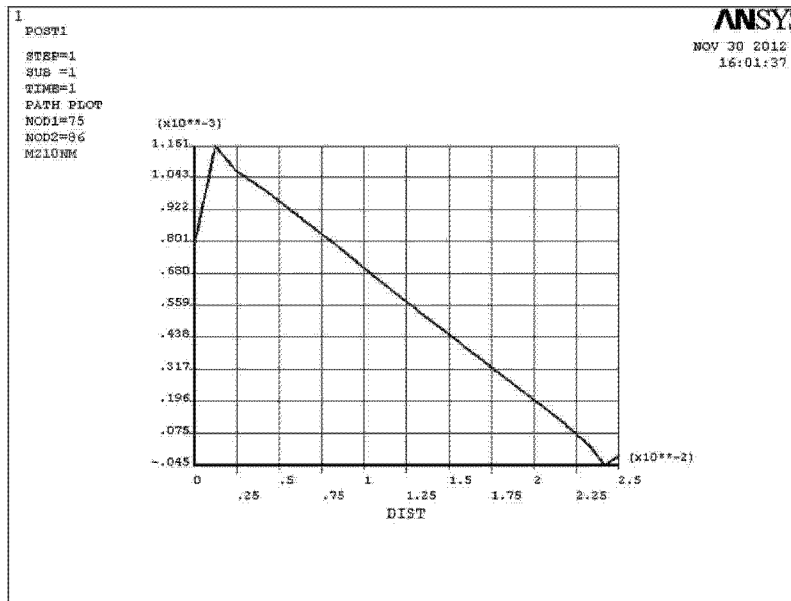


图 22

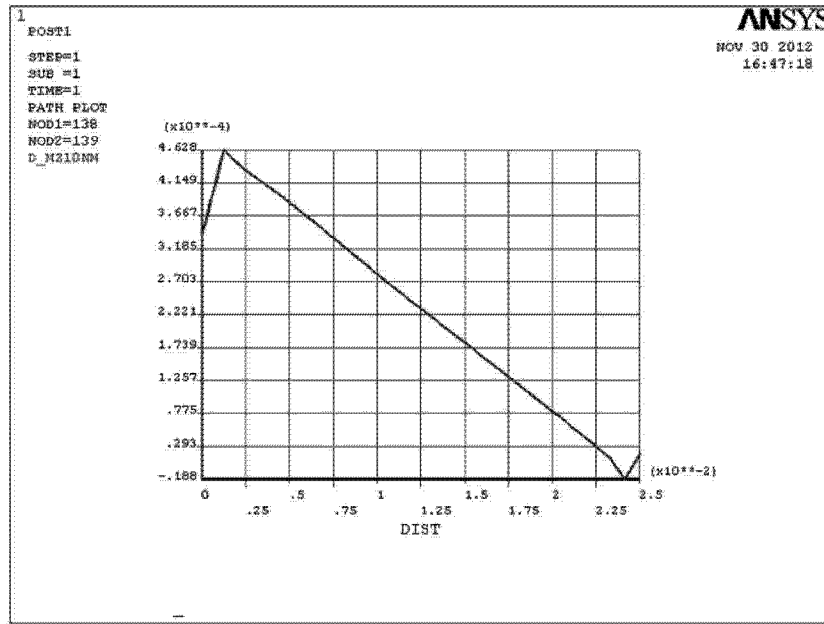


图 23

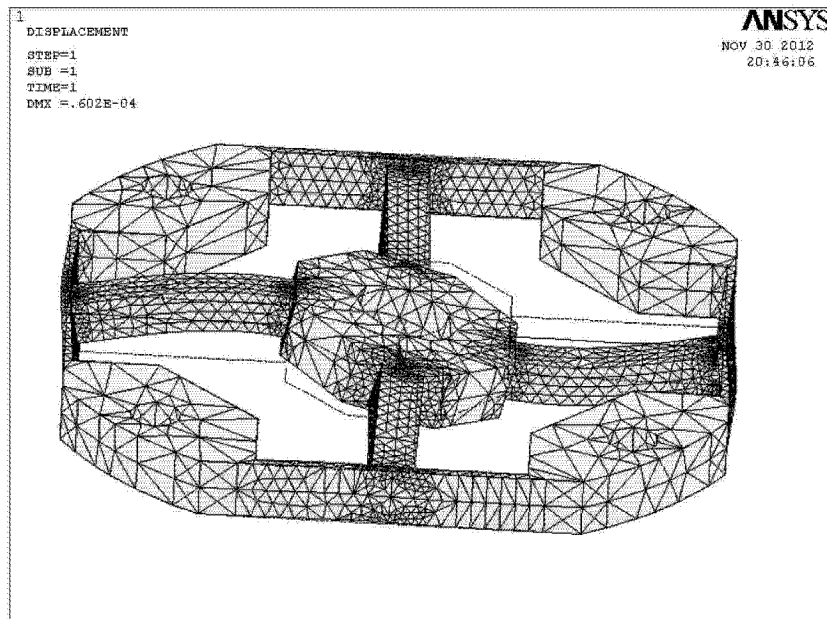


图 24

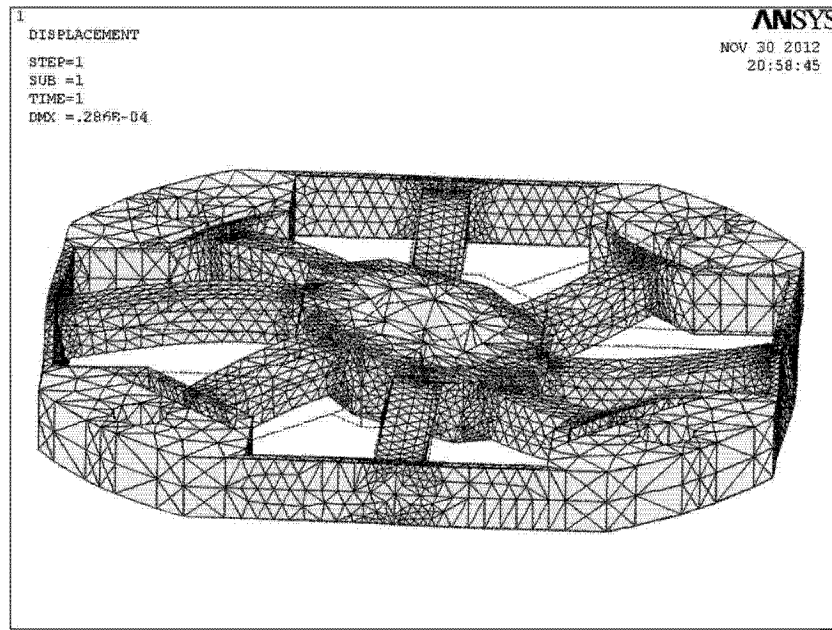


图 25

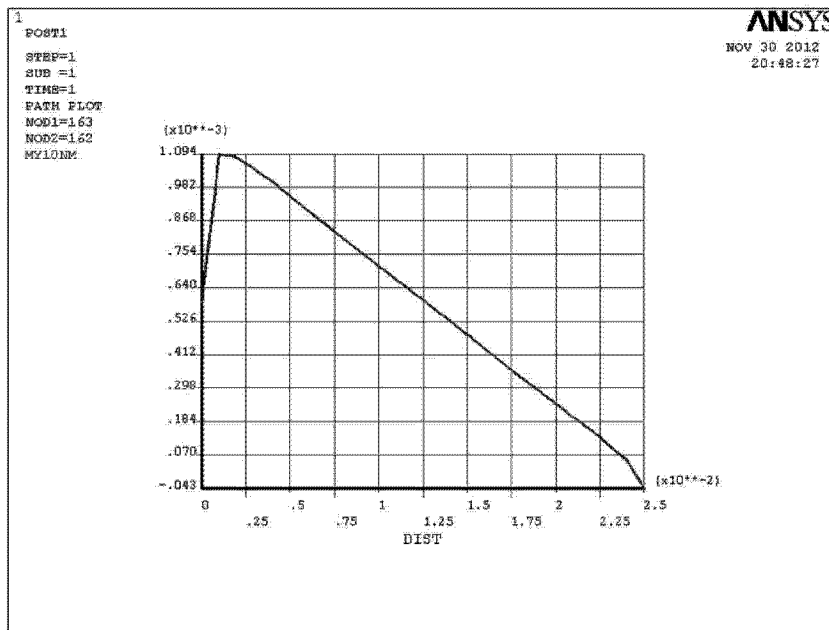


图 26

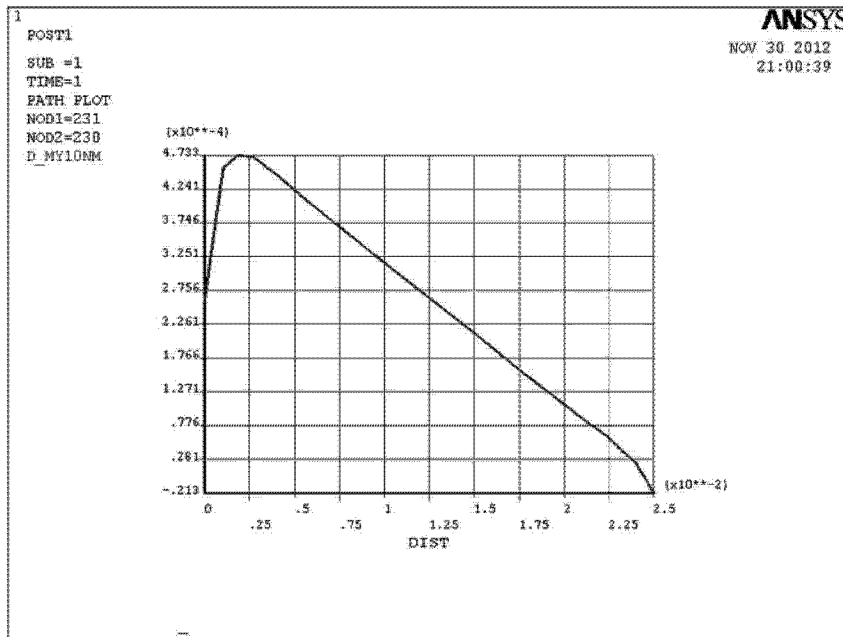


图 27