



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102979815 A

(43) 申请公布日 2013. 03. 20

(21) 申请号 201210507458. 7

(22) 申请日 2012. 11. 30

(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 王国民 黄涵洋 张志永 徐进

(74) 专利代理机构 江苏致邦律师事务所 32230  
代理人 栗仲平

(51) Int. Cl.

F16C 32/04 (2006. 01)

G02B 23/16 (2006. 01)

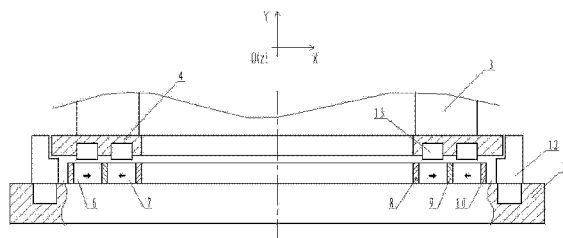
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 3 页

### (54) 发明名称

适用于月球地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构

### (57) 摘要

适用于月球地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构,地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构包括望远镜方位轴支承结构和高度轴支承结构;方位轴支承结构和高度轴支承结构分别由转子和定子组成,特征是,方位轴支承结构的定子上设有永磁体;方位轴支承结构的转子上设有与定子上的永磁体相对应的超导体;高度轴支承结构的定子上设有超导体;高度轴支承结构的转子上设有与定子上的超导体相对应的永磁体。本发明利用月球上超低温的条件,采用高温超导磁悬浮作为月球望远镜轴系的支承结构,省去复杂的制冷系统。同时,又解决了常规轴承在月球望远镜轴上使用的难题,使得月球望远镜实现高精度的天体跟踪成为可能。



1. 一种适用于月球的地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构,所述的地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构,包括望远镜方位轴支承结构和高度轴支承结构;该方位轴支承结构和高度轴支承结构分别由转子和定子组成,其特征在于,

所述的方位轴支承结构的定子上设有永磁体;所述的方位轴支承结构的转子上设有与定子上的永磁体相对应的超导体;

所述的高度轴支承结构的定子上设有超导体;所述的高度轴支承结构的转子上设有与定子上的超导体相对应的永磁体。

2. 根据权利要求1所述的适用于月球的地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构,其特征在于,所述方位轴支承结构定子上的永磁体与所述转子上的超导体,之间的悬浮间隙为5毫米;所述高度轴支承结构定子上的超导体与所述转子上的永磁体,之间的悬浮间隙为5毫米。

3. 根据权利要求1所述的适用于月球的地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构,其特征在于,所述的方位轴支承结构的定子上的永磁体和高度轴支承结构的转子上的永磁体,采用高强度铷铁硼永磁体。

4. 根据权利要求1所述的适用于月球的地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构,其特征在于,所述方位轴支承结构的转子上的超导体和高度轴支承结构的定子上的超导体,采用钇钡铜氧高温超导体。

5. 根据权利要求1所述的适用于月球的地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构,其特征在于,所述的方位轴支承结构的定子上的永磁体其设置方式如下:永磁体由外圈永磁体和内圈永磁体组成,该外圈永磁体和内圈永磁体的磁极同级相对摆放;同时,该外圈永磁体的外圈设有外聚磁极;该内圈永磁体的里圈设有内聚磁极;该外圈永磁体和内圈永磁体之间,设有中心聚磁极。

6. 根据权利要求1所述的适用于月球的地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构,其特征在于,所述的方位轴支承结构的定子上的永磁体,是由小磁铁拼接而成的永磁圈。

7. 根据权利要求6所述的适用于月球的地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构,其特征在于,所述的拼接小磁铁的尺寸在80毫米左右。

8. 根据权利要求1所述的适用于月球的地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构,其特征在于,所述的方位轴支承结构的转子上的超导体,是安装在方位转盘的孔内,超导体与孔通过微量过盈配合;或者用薄钢板做成压圈压住超导体。

9. 根据权利要求1所述的适用于月球的地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构,其特征在于,所述的方位轴支承结构的转子上的超导体,是由小高温超导块拼接而成;该小高温超导块在所述的方位轴支承结构的转子上的布置方式是,主要布置在叉臂的下方用于承重;在垂直于高度轴的方向,以及左右各45°方向上,各布置少量小高温超导块,用于提高系统的稳定性。

10. 根据权利要求1-9之一所述的适用于月球的地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构,其特征在于,所述高度轴支承结构定子上的超导体,和所述高度轴支承结构转子上的永磁体,均沿径向布置;所述高度轴支承结构定子上的超导体,是由小高温超导块拼接而成的半圆结构;所述的小高温超导块固定在轴承座上。

## 适用于月球地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种轴系结构,具体涉及一种适用于月球的地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构。

[0002] 本发明受国家自然科学基金资助。基金项目批准号:10973024。

### 背景技术

[0003] 天文观测离不开天文望远镜,但用天文望远镜进行天文观测又受到较多的环境因素的影响,其中最主要的是大气湍流和散射,影响望远镜的成像质量。所以,空间望远镜应运而生,空间望远镜在大气层之上,不再受到大气扰动的影响,如哈勃望远镜,它的清晰度为地面望远镜的 10 倍。但空间望远镜也有其自身的不足,一是空间望远镜漂浮在空中,难以实现精密定位、精密跟踪以及望远镜维护等工作;二是容易受到空间碎片的撞击导致损毁的危险。随着探月工程的不断进行,以及天文学家对天文望远镜成像质量要求的不断提高,天文学家提出在月球上安装天文望远镜,进行天文观测和研究。在月球上安装望远镜进行天文观测,既没有地球望远镜受大气层抖动,影响成像质量的问题,又避免了空间望远镜在空间漂浮不稳定的缺点。月球望远镜安装在月球上,有一个稳定的根基,有利于望远镜的装调和维护。

[0004] 根据规划,中国在未来 10 年内,将建成月球天文台。其中,地平式天文望远镜是首选的望远镜类型。地平式天文望远镜主轴通常指望望远镜的方位轴和高度轴,如图 1 所示。方位轴 5 垂直指向天顶,整个望远镜绕方位轴 5 旋转。望远镜镜筒 1 通过高度轴 2 支承在叉臂 3 上,镜筒绕高度轴 2 旋转。高度轴与方位轴垂直正交,通过方位轴和高度轴的旋转就能实现望远镜对天上星体的跟踪观测。但月球的特殊环境,使得天文望远镜上常用的轴系支承轴承在月球望远镜上无法正常使用。

[0005] 在月球上安装天文望远镜主要存在以下的技术问题:

①. 月球上夜晚的温度为  $-183^{\circ}\text{C}$ ,在如此超低温的环境下,液体静压轴承根本无法使用,因为目前还没有能够用于如此低温的液压油。接触式的机械轴承,在如此超低温的环境下,也会出现问题。主要是滚动体钢球与内外滚圈之间的接触状态和滚动性能在超低温的状态下发生变化,使得钢球的滚动不连续,以及滚动状态和滚动性能不一致。致使望远镜不能稳定的跟踪被观测天体。

[0006] ②. 月球自转的速度是地球的  $1/14$ ,所以,月球上望远镜的转动速度非常慢,仅为  $0.55''/\text{s}$  左右。如果用接触式机械轴承,在月球上  $-183^{\circ}\text{C}$  的超低温环境下,轴承难以得到很好的润滑,使得滚动钢球在内外圈滚道间发生低速爬行和突跳现象,导致望远镜不能平稳的运行。

[0007] ③. 超低温环境下机械轴承大多采用聚四氟乙烯固体润滑,但固体润滑在月球高真空和强辐射环境下,性能不稳定,一旦涂层消耗或脱落,摩擦副就会立即失效,且都是不可修复的,无法满足天文望远镜长期工作的要求。

[0008] ④. 月球表面是厚厚一层月尘颗粒,这些月尘颗粒的平均直径为  $40 \sim 130$  微米,

粒子摩氏硬度介于 7 ~ 9 级,比钢铰的硬度还高。由于月球的低重力(是地球的六分之一)和近乎真空的环境。在这种微重力和高真空环境下,这些月尘颗粒很容易漂浮起来,一旦掉入轴承,会严重污染液压油,使得轴承严重受损,望远镜上常用的液体静压轴承和机械轴承根本无法使用,无法实现望远镜对天体的精密跟踪。

[0009] 在月球超低温环境下,机械滚动轴承内外圈和滚动体之间的接触状态、摩擦性能、润滑脂性能等都要发生变化,这些变化影响轴系的旋转精度和制约轴系旋转精度的进一步提高。

[0010] 为了解决这一问题,美国月球车对其上面使用的机械轴承采用密封加热的方法。月球车上所使用的轴承尺寸不大,且对支承轴承没有精度要求,用防尘罩的方法可以满足要求。但天文望远镜轴承的尺寸很大,且需要长时间的精密稳定跟踪,密封加热比较困难,,用加防尘罩的方法无法保证望远镜对支承轴承的要求。而且月球上能源供应很困难(目前美国的月球探测器上使用的太阳能、充电电池和同位素电池,只能保证小型仪器的加热)。由于月球的自转周期为 27.3 天,所以月球望远镜的跟踪速度非常低,约为  $0.55''/s$ 。在这样超低速运行时,再加上超低温的影响,由于机械轴承动、静摩擦力矩的变化,使得旋转轴系发生严重的低速爬行和突跳现象,导致望远镜很难获得高精度的跟踪。

[0011] 超低温环境下机械轴承大多采用聚四氟乙烯固体润滑,但固体润滑在月球高真空强辐射环境下,性能不稳定,一旦涂层消耗或脱落,摩擦副就会立即失效,且都是不可修复的。因此,固体润滑的使用寿命较短。阿波罗月球车轴承采用的是陶瓷轴承加固体润滑,但只要要求其能够正常使用 72 小时,无法满足天文望远镜长期工作的要求。

## 发明内容

[0012] 为了解决现有技术的以上问题,本发明将提供一种适用于月球的地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构,该技术方案利用月球上超低温的条件,提出采用高温超导磁悬浮作为月球望远镜轴系的支承结构,是一种零能耗、自稳定的轴系的支承结构。本发明省去复杂的制冷系统;同时,又解决了常规轴承在月球望远镜轴上无法使用的难题,使得月球望远镜实现高精度的天体跟踪成为可能。

[0013] 完成上述发明任务的技术方案是,一种适用于月球的地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构,所述的地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构,包括望远镜方位轴支承结构和高度轴支承结构;该方位轴支承结构和高度轴支承结构分别由转子和定子组成,其特征在于,所述的方位轴支承结构的定子和高度轴支承结构的转子上分别设有永磁体;所述的方位轴支承结构的转子和高度轴支承结构的定子上分别设有与永磁体相对应的超导体。

[0014] 本发明的上述方案,是根据月球上的环境特点,提出的一套零能耗、自稳定的高温超导磁悬浮支承结构,用于望远镜的方位轴和高度轴的支承。高温超导磁悬浮支承由高强度铷铁硼永磁体和钇钡铜氧高温超导体组成,永磁体和超导体之间的磁斥力起承重支承作用,超导体特有的磁通钉扎力起稳定作用,不需要任何外部能量支持和控制,就能够实现望远镜的完全悬浮。超导体和永磁体之间有 5 毫米左右的间隙,彻底解决了常规轴承在月球望远镜中使用所面临的困难。

[0015] 以上所述的高强度铷铁硼永磁体和钇钡铜氧高温超导体,虽然从未用于天文望远

镜轴系支承结构,但均已经商品化。可以采用购买使用。

[0016] 本发明采用高温超导磁悬浮代替传统的接触式机械轴承和液体静压轴承。高温超导磁悬浮是一种自稳定系统,超导体和永磁体之间的磁斥力起支承承重作用,超导体特有的磁通钉扎力起稳定作用。不需要任何外部能量支持和控制,就能够实现望远镜的完全悬浮。磁悬浮支承的转子和定子之间不接触,通常有 5 毫米左右的间隙,在月球超低温的环境下,不会发生运动不灵活的问题,也不会出现低速爬行的问题,不存在由于润滑不佳而产生的问题。同样,由于有 5 毫米左右的间隙,对月球表面的尘埃也不敏感。彻底解决了常规轴承在月球望远镜中使用所面临的困难。另外,由于望远镜工作时的环境温度,是月球夜晚的超低温( $-183^{\circ}\text{C}$ ),低于高温超导体的临界温度,所以,在月球夜晚环境下,高温超导磁悬浮不需要制冷系统,就能够实现超导悬浮,使得悬浮系统的结构非常简单,这是月球上使用高温超导磁悬浮特有的优势。

[0017] 另外,天文望远镜的结构尺度比较大,从现有的工艺条件和研制成本考虑,永磁体和超导体都不可能整体制作,需要用小尺度的模块进行拼接。在目前情况下,同尺度的高温超导块的研制成本高于永磁块,因此,在高温超导块不需要制冷系统的前提下,需要整圈的用永磁块拼接;不需要整圈的可以用高温超导块拼接。

[0018] 以上方案的进一步改进,有以下优化方案:

所述的方位轴支承结构的定子上的永磁体其设置方式如下:永磁体由外圈永磁体和内圈永磁体组成,该外圈永磁体和内圈永磁体的磁极同级相对摆放;同时,该外圈永磁体的外圈设有外聚磁极;该内圈永磁体的里圈设有内聚磁极;该外圈永磁体和内圈永磁体之间,设有中心聚磁极。

[0019] 所述的方位轴支承结构的定子上的永磁体,是由小磁铁拼接而成的永磁圈。

[0020] 所述的方位轴支承结构的转子上的超导体,是安装在方位转盘的孔内,超导体与孔通过微量过盈配合;或者用薄钢板做成压圈压住超导体。

[0021] 所述的方位轴支承结构的转子上的超导体,是由小高温超导块拼接而成;该小高温超导块在所述的方位轴支承结构的转子上的布置方式是,主要布置在叉臂的下方用于承重;在垂直于高度轴的方向,以及左右各  $45^{\circ}$  方向上,各布置少量小高温超导块,用于提高系统的稳定性。

[0022] 所述高度轴支承结构定子上的超导体,和所述高度轴支承结构转子上的永磁体,均沿径向布置;所述高度轴支承结构定子上的超导体,是由小高温超导块拼接而成的半圆结构;所述的小高温超导块固定在轴承座上。

[0023] 本发明彻底解决了常规轴承在月球望远镜中使用所面临的困难。由于转子和定子之间不直接接触,不会发生由于低温造成的运动不灵活的问题,也不会出现低速爬行的问题。同样,由于有 5 毫米左右的间隙,对月球表面的尘埃也不敏感。磁悬浮转子和定子之间的摩擦系数只有  $10^{-7}$ ,比机械轴承的摩擦系数小几个数量级,有利于降低望远镜驱动能耗,对能源供应困难的月球非常有意义。

[0024] 如果将望远镜安装在月球环形山的阴暗面,始终没有阳光的照射,温度在  $-183^{\circ}\text{C}$  ( $90\text{K}$ )左右,低于高温超导体的临界温度  $-163^{\circ}\text{C}$  ( $110\text{K}$ ),这样,高温超导磁悬浮支承就不需要复杂的制冷系统,使得结构非常简单。这是在月球上使用高温超导磁悬浮非常有利的前提条件。

[0025] 本发明利用月球上超低温的条件,采用高温超导磁悬浮作为月球望远镜轴系的支承结构,省去复杂的制冷系统。同时,又解决了常规轴承在月球望远镜轴上使用的难题,使得月球望远镜实现高精度的天体跟踪成为可能。

## 附图说明

[0026] 图 1 为天文望远镜主轴示意图:其中,镜筒 1,高度轴 2,叉臂 3,方位转盘 4,方位轴 5;

图 2 为方位轴支承结构图;其中,外圈永磁体 6,内圈永磁体 7,内聚磁极 8,中心聚磁极 9,外聚磁极 10,方位底座 11,保护圈 12,高温超导体 13;

图 3 为方位永磁圈拼接示意图;

图 4 为方位超导块位置示意图;

图 5-1、图 5-2 为高度轴支承结构图;其中,2. 高度轴,轴向布置的永磁块 14,轴向布置的高温超导块 15;轴承座 16,保护圈 17。

## 具体实施方式

[0027] 实施例 1,适用于月球的地平式天文望远镜主轴磁悬浮支承轴系结构,参照图 1-图 5 (含图 5-1、图 5-2):

本发明专利提出的月球望远镜轴系高温超导磁悬浮支承包括望远镜方位轴支承和高度轴支承。下面将对这两个方面的技术方案进行说明。

[0028] 方位轴支承结构:

方位轴系支承结构如图 2 所示,整个望远镜的重量沿图 2 中坐标系的 Y 轴,作用在方位转盘 4 上,由方位转盘 4 下面的超导磁悬浮轴承支承。高温超导磁悬浮轴承由铷铁硼永磁体和钇钡铜氧高温超导体 13 组成。永磁体由外圈永磁体 6 和内圈永磁体 7 组成,外圈永磁体和内圈永磁体的磁极同级相对摆放,迫使磁力线集中通过中间的通路,从永磁轨道的上下表面中心聚磁极 9 穿出,在轨道上方形成较强的具有梯度分布的外磁场,有利于增强悬浮的载荷能力。通常聚磁极是用相对磁导率较高的材料制作,如铁等。由于望远镜尺寸较大,永磁圈需要用小磁铁进行拼接,拼接的示意图如图 3 所示。拼接小磁铁的尺寸可根据加工的实际情况而定,从充磁的性能方面考虑,一般尺寸在 80 毫米左右。

[0029] 与永磁体相对应的高温超导体钇钡铜氧 13 安装在方位转盘 4 的孔内,超导体与孔通过微量过盈配合,保证超导体不会因自重掉出,或者用薄钢板做成压圈压住超导体。从图 1 中可知,望远镜镜筒 1 的重量通过两边的叉臂 3 传到方位转盘 4 上,因此,高温超导块不需要整圈布置,主要布置在叉臂 3 的下方用于承重。在垂直于高度轴 2 的方向,以及左右各 45° 方向上,各布置少量超导块,用于提高系统的稳定性,布置的数量需根据具体的负载情况确定。布置图如图 4 所示。

[0030] 高度轴支承结构:

高度轴支承望远镜的整个镜筒(如图 1 所示),图 5 是镜筒一边的支承结构。与方位轴相反,高度轴在径向(图 5 中 Y 方向)承担镜筒重量,所以,永磁体和高温超导块沿径向布置。为了提高稳定性,高度轴 2 两边各布置整圈的铷铁硼永磁块 14,与永磁块对应的是高温超导块 15,高温超导块布置半圈,如图 5 右边图所示。高温超导块固定在轴承座 16 上。

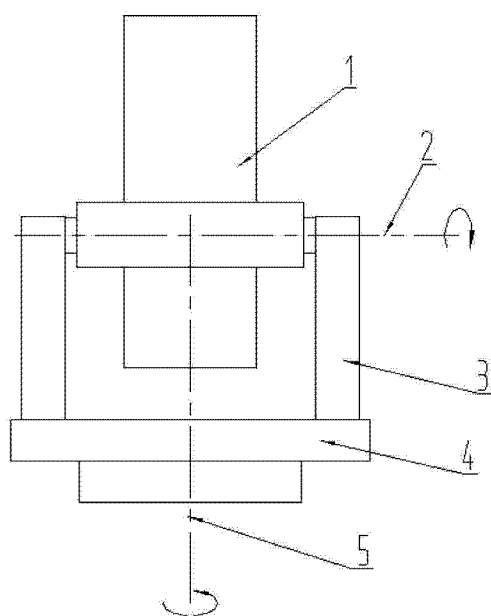


图 1

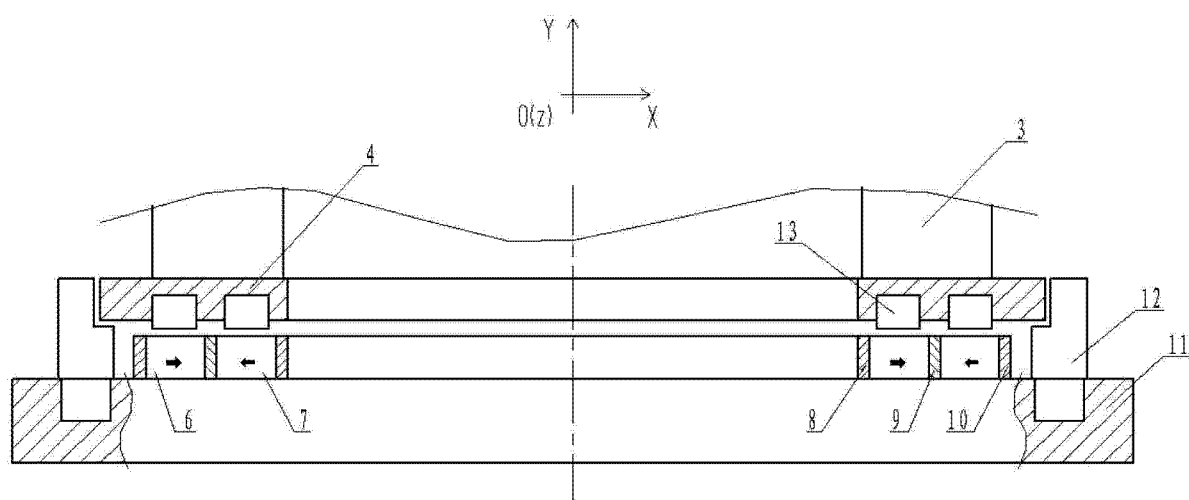


图 2

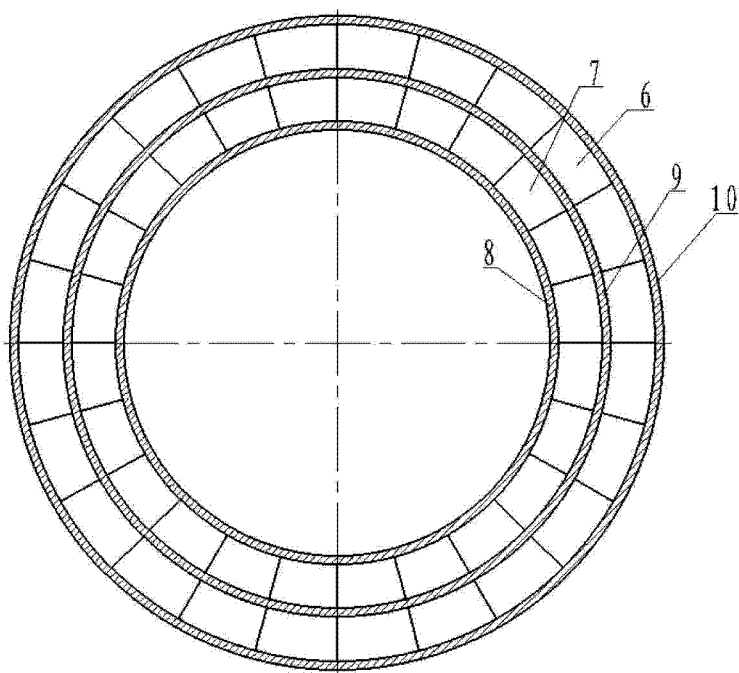


图 3

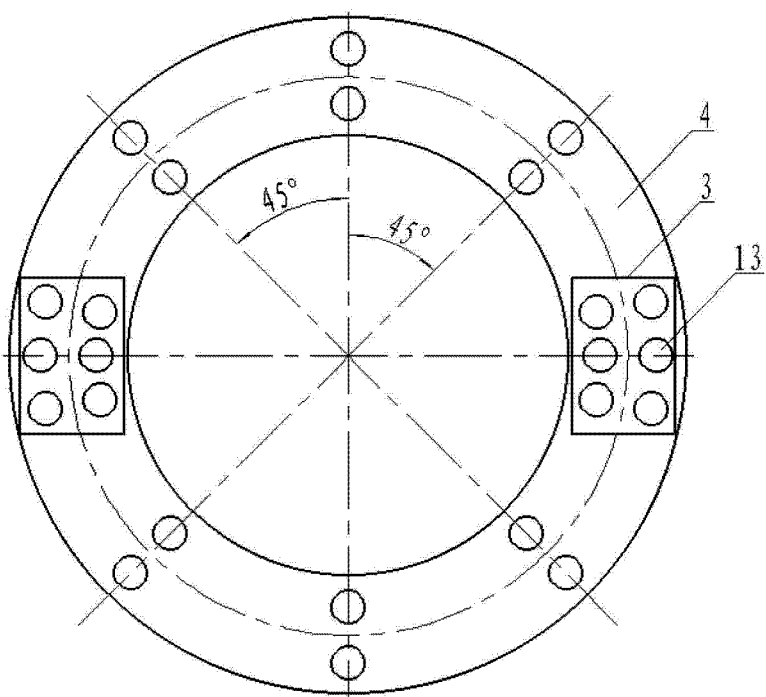


图 4



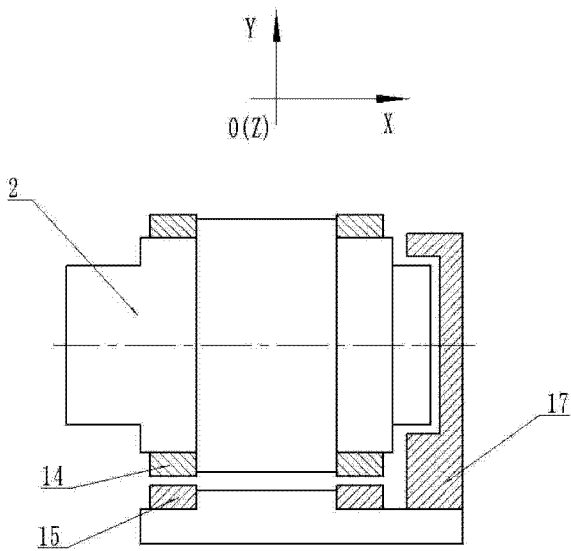


图 5-1

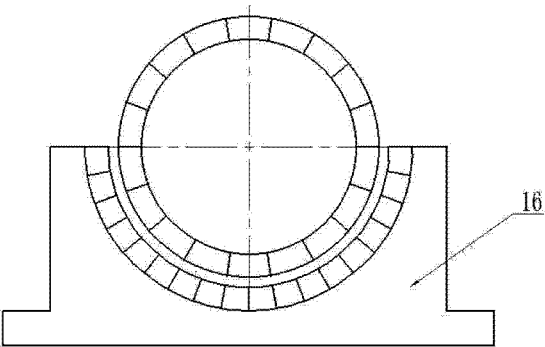


图 5-2