



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104236907 A

(43) 申请公布日 2014. 12. 24

(21) 申请号 201410448639. 6

(22) 申请日 2014. 09. 04

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路 28 号

(72) 发明人 张进华 洪军 马劭航 李小虎  
杨朝晖 吴文武 刘光辉 万少可

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任  
公司 61200

代理人 徐文权

(51) Int. Cl.

G01M 13/04 (2006. 01)

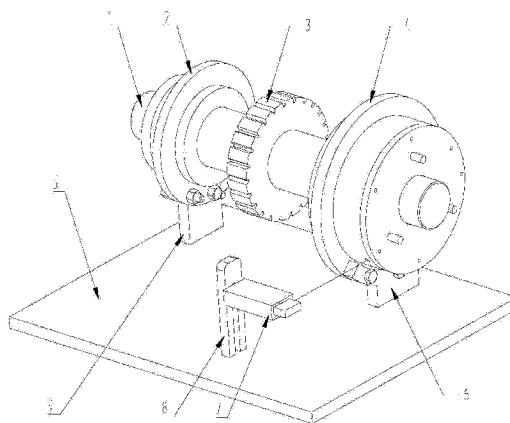
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置及方法

(57) 摘要

一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置及方法,该装置包括实验主轴、后支承组件、加载带轮、前支承组件、实验台以及固定在实验台上的前托架、微型梁传感器托架和后托架等;该方法包括以下步骤:1) 分别将微型梁称重传感器、力传感器以及位移传感器安装在对应的位置上;2) 通过向加载套圈施力,使待测角接触球轴承实现预紧;3) 启动拖动电主轴,带动实验主轴在设定转速下运转;4) 测量得到待测角接触球轴承的摩擦力矩、轴承轴向载荷变化量及内外圈相对位移;5) 将测得的轴向载荷变化量、内圈相对位移绘制成轴承刚度曲线,得到待测角接触球轴承的轴承刚度。本发明能够测量在不同转速、预紧力、轴上载荷三个因素影响下滚动轴承的摩擦力矩与刚度。



1. 一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置,其特征在于:包括实验主轴(1)、后支承组件(2)、加载带轮(3)、前支承组件(4)、实验台(5)以及固定在实验台(5)上的前托架(6)、微型梁传感器托架(8)和后托架(9);其中,实验主轴(1)的前后两端各设有一个轴肩;前支承组件(4)包括设置在实验主轴(1)前端轴肩处的待测角接触球轴承(20),待测角接触球轴承(20)的一端与实验主轴(1)前端轴肩贴合,其另一端通过前支承锁紧螺母(19)锁紧,待测角接触球轴承(20)的周向由内向外依次设置有加载套圈(21)、空气径向轴承(17)和前支承轴承座(16),前支承轴承座(16)固定在前托架(6)上,实验主轴(1)前端还设置有用于贴合加载套圈(21)、空气径向轴承(17)的空气止推轴承(15)和用于密封前支承轴承座(16)的前支承前端盖(18),空气止推轴承(15)的端面上周向均匀设置有若干提供压缩空气的空气止推轴承气孔(151),空气径向轴承(17)的周向均匀设置有若干用以提供压缩空气的空气径向轴承气孔(171),加载套圈(21)的周向设置有一个加载套圈凸台(211),若干力传感器(22)周向均匀安装在加载套圈(21)的挡边内,且与待测角接触球轴承(20)外圈端面接触,若干位移传感器(23)周向均匀安装在前支承前端盖(18)上;后支承组件(2)包括设置在实验主轴(1)后端轴肩处的角接触球轴承(13),角接触球轴承(13)的一端与实验主轴(1)后端轴肩贴合,其另一端通过后支承锁紧螺母(11)锁紧,角接触球轴承(13)的周向设置有后支承轴承座(12),后支承轴承座(12)固定在后托架(9)上,后支承轴承座(12)的前后两端通过后支承前端盖(14)和后支承后端盖(10)密封;微型梁称重传感器(7)安装在微型梁传感器托架(8),其通过柔性细线穿过开设在前支承轴承座(16)周向的通孔与加载套圈凸台(211)相连接;加载带轮(3)安装在实验主轴(1)的中部。

2. 根据权利要求1所述的一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置,其特征在于:加载套圈(21)采用过盈配合安装在待测角接触球轴承(20)的外圈。

3. 根据权利要求1所述的一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置,其特征在于:加载套圈凸台(211)位于加载套圈(21)的后部周向最低点位置,使得微型梁称重传感器(7)的测量端与加载套圈(21)切向连接。

4. 根据权利要求1所述的一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置,其特征在于:空气止推轴承(15)的端面上周向均匀设置有六个提供压缩空气的空气止推轴承气孔(151)。

5. 根据权利要求1所述的一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置,其特征在于:空气径向轴承(17)的周向均匀设置有四列用以提供压缩空气的空气径向轴承气孔(171),每列上各周向均匀设置有六个空气径向轴承气孔(171)。

6. 根据权利要求1所述的一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置,其特征在于:力传感器(22)的数量为三个,其导线通过加载套圈(21)上的线槽引出。

7. 权利要求1至6中任一项所述的一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置的测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 安装传感器:将微型梁称重传感器(7)安装在微型梁传感器托架(8)上,柔性细线一端连接微型梁称重传感器(7)的测头,其另一端穿过前支承轴承座(16)上通孔并胶粘在加载套圈(21)周向的加载套圈凸台(211)上;将若干力传感器(22)周向均匀安装在加载套圈(21)挡边内,并与待测角接触球轴承(20)的外圈端面接触;将若干位移传感器(23)周向均匀安装在前支承前端盖(18)上的安装孔内,并保证位移传感器(23)的测头与加载套圈(21)保持设定距离;

2) 打开供气系统,检查空气止推轴承(15)和空气径向轴承(17)供气回路工作状态;调节供气压力,使空气径向轴承(17)与加载套圈(21)之间形成稳定的气膜;空气止推轴承(15)向加载套圈(21)施加推力,并通过加载套圈(21)传递给待测角接触球轴承(20)外圈,使待测角接触球轴承(20)实现预紧;

3) 启动拖动电主轴,带动实验主轴(1)在设定转速下运转;

4) 由微型梁称重传感器(7)、若干力传感器(22)、若干位移传感器(23)分别得到待测角接触球轴承(20)的摩擦力矩 $M$ 、轴承轴向载荷变化量 $\Delta F$ 以及内外圈相对位移 $\Delta x$ ;

5) 将测得的待测角接触球轴承(20)不同工作条件下的摩擦力矩 $M$ 、轴向载荷变化量 $\Delta F$ 、内外圈相对位移 $\Delta x$ 记录下来;将测得的轴向载荷变化量 $\Delta F$ 、内圈相对位移 $\Delta x$ 绘制成轴承刚度曲线,得到待测角接触球轴承(20)的轴承刚度。

8. 根据权利要求7所述的一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置的测量方法,其特征在于,还包括以下步骤:

6) 一次数据测量完成后,通过改变待测角接触球轴承(20)的转速、调节空气止推轴承(15)施加的载荷改变待测角接触球轴承(20)所承受的预紧力、通过加载带轮(3)调节施加在实验主轴(1)上的载荷,得到待测角接触球轴承(20)在不同工作条件下的摩擦力矩与刚度测量数据。

## 一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置及方法

### 【技术领域】

[0001] 本发明属于测量技术领域,具体涉及一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置及方法。

### 【背景技术】

[0002] 滚动轴承作为机械装备的重要基础部件,在机械制造的各个领域应用广泛,其在机械装备中起着承载和传递运动的作用。滚动轴承在旋转过程中,由于其外圈、内圈、保持架、滚珠、密封部件的相互接触,存在着摩擦力矩,摩擦力矩的大小不仅取决于轴承本身的结构尺寸、几何精度、材料性能,还与工作载荷、装配精度、润滑条件以及加工因素等有关。滚动轴承摩擦力矩的大小影响着功率消耗以及轴承的发热量,直接影响着轴承的温升失效,是轴承优化设计中的一个重要的性能指标。

### 【发明内容】

[0003] 本发明的目的在于针对现有技术的不足,提供了一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置及方法,其能够检测一种安装在轴系中的滚动轴承在不同转速、预紧力以及轴上载荷作用下,相应的摩擦力矩及刚度。

[0004] 为达到上述目的,本发明通过如下的技术方案予以实现的:

[0005] 一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置,包括实验主轴、后支承组件、加载带轮、前支承组件、实验台以及固定在实验台上的前托架、微型梁传感器托架和后托架;其中,实验主轴的前后两端各设有一个轴肩;前支承组件包括设置在实验主轴前端轴肩处的待测角接触球轴承,待测角接触球轴承的一端与实验主轴前端轴肩贴合,其另一端通过前支承锁紧螺母锁紧,待测角接触球轴承的周向由内向外依次设置有加载套圈、空气径向轴承和前支承轴承座,前支承轴承座固定在前托架上,实验主轴前端还设置有用以贴合加载套圈、空气径向轴承的空气止推轴承和用于密封前支承轴承座的前支承前端盖,空气止推轴承的端面上周向均匀设置有若干提供压缩空气的空气止推轴承气孔,空气径向轴承的周向均匀设置有若干用以提供压缩空气的空气径向轴承气孔,加载套圈的周向设置有一个加载套圈凸台,若干力传感器周向均匀安装在加载套圈的挡边内,且与待测角接触球轴承外圈端面接触,若干位移传感器周向均匀安装在前支承前端盖上;后支承组件包括设置在实验主轴后端轴肩处的角接触球轴承,角接触球轴承的一端与实验主轴后端轴肩贴合,其另一端通过后支承锁紧螺母锁紧,角接触球轴承的周向设置有后支承轴承座,后支承轴承座固定在后托架上,后支承轴承座的前后两端通过后支承前端盖和后支承后端盖密封;微型梁称重传感器安装在微型梁传感器托架,其通过柔性细线穿过开设在前支承轴承座周向的通孔与加载套圈凸台相连接;加载带轮安装在实验主轴的中部。

[0006] 本发明进一步改进在于:加载套圈采用过盈配合安装在待测角接触球轴承的外圈。

[0007] 本发明进一步改进在于:加载套圈凸台位于加载套圈)的后部周向最低点位置,

使得微型梁称重传感器的测量端与加载套圈切向连接。

[0008] 本发明进一步改进在于：空气止推轴承的端面上周向均匀设置有六个提供压缩空气的空气止推轴承气孔。

[0009] 本发明进一步改进在于：空气径向轴承的周向均匀设置有四列用以提供压缩空气的空气径向轴承气孔，每列上各周向均匀设置有六个空气径向轴承气孔。

[0010] 本发明进一步改进在于：力传感器的数量为三个，其导线通过加载套圈上的线槽引出。

[0011] 一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置的测量方法，包括以下步骤：

[0012] 1) 安装传感器：将微型梁称重传感器安装在微型梁传感器托架上，柔性细线一端连接微型梁称重传感器的测头，其另一端穿过前支承轴承座上通孔并胶粘在加载套圈周向的加载套圈凸台上；将若干力传感器周向均匀安装在加载套圈挡边内，并与待测角接触球轴承的外圈端面接接触；将若干位移传感器周向均匀安装在前支承前端盖上的安装孔内，并保证位移传感器的测头与加载套圈保持设定距离；

[0013] 2) 打开供气系统，检查空气止推轴承和空气径向轴承供气回路工作状态；调节供气压力，使空气径向轴承与加载套圈之间形成稳定的气膜；空气止推轴承向加载套圈施加推力，并通过加载套圈传递给待测角接触球轴承外圈，使待测角接触球轴承实现预紧；

[0014] 3) 启动拖动电主轴，带动实验主轴在设定转速下运转；

[0015] 4) 由微型梁称重传感器、若干力传感器、若干位移传感器分别得到待测角接触球轴承的摩擦力矩  $M$ 、轴承轴向载荷变化量  $\Delta F$  以及内外圈相对位移  $\Delta x$ ；

[0016] 5) 将测得的待测角接触球轴承不同工作条件下的摩擦力矩  $M$ 、轴向载荷变化量  $\Delta F$ 、内外圈相对位移  $\Delta x$  记录下来；将测得的轴向载荷变化量  $\Delta F$ 、内圈相对位移  $\Delta x$  绘制成轴承刚度曲线，得到待测角接触球轴承的轴承刚度。

[0017] 8、根据权利要求 7 所述的一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置的测量方法，其特征在于，还包括以下步骤：

[0018] 6) 一次数据测量完成后，通过改变待测角接触球轴承的转速、调节空气止推轴承施加的载荷改变待测角接触球轴承所承受的预紧力、通过加载带轮调节施加在实验主轴上的载荷，得到待测角接触球轴承在不同工作条件下的摩擦力矩与刚度测量数据。

[0019] 与现有技术相比，本发明具有如下的技术效果：

[0020] 本发明一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置及方法，该方法能够测量转速、预紧力、轴上载荷三个因素影响下滚动轴承的摩擦力矩与刚度；该装置中利用空气轴承实现非接触式的加载和支撑可以保证待测角接触球轴承可自由运动而不受约束，使得所测得的数据更加接近轴承运动的实际情况。

#### 【附图说明】

[0021] 图 1 为本发明一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置的立体图；

[0022] 图 2a 为本发明一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置去除实验台后的一种状态的正视图，图 2b 为图 2a 的 A-A 向剖视图；

[0023] 图 3a 为本发明一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置去除实验台后的另一种状态的正视图，图 3b 为图 3a 的 B-B 向剖视图；

[0024] 图 4 为本发明空气止推轴承的结构示意图；

[0025] 图 5 为本发明空气径向轴承的结构示意图；

[0026] 图 6 为本发明力传感器安装位置图。

[0027] 其中：1、实验主轴；2、后支承组件；3、加载带轮；4、前支承组件；5、实验台；6、前托架；7、微型梁称重传感器；8、微型梁传感器托架；9、后托架；10、后支承后端盖；11、后支承锁紧螺母；12、后支承轴承座；13、角接触球轴承；14、后支承前端盖；15、空气止推轴承；16、前支承轴承座；17、空气径向轴承；18、前支承前端盖；19、前支承锁紧螺母；20、待测角接触球轴承；21、加载套圈；22、力传感器；23、位移传感器；151、空气止推轴承气孔；171、空气径向轴承气孔；211、加载套圈凸台。

### 【具体实施方式】

[0028] 下面结合附图对本发明作进一步详细说明。

[0029] 参见图 1 至图 6，本发明一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置，包括实验主轴 1、后支承组件 2、加载带轮 3、前支承组件 4、实验台 5 以及固定在实验台 5 上的前托架 6、微型梁传感器托架 8 和后托架 9；其中，实验主轴 1 的前后两端各设有一个轴肩；前支承组件 4 包括设置在实验主轴 1 前端轴肩处的待测角接触球轴承 20，待测角接触球轴承 20 的一端与实验主轴 1 前端轴肩贴合，其另一端通过前支承锁紧螺母 19 锁紧，待测角接触球轴承 20 的周向由内向外依次设置有加载套圈 21、空气径向轴承 17 和前支承轴承座 16，前支承轴承座 16 通过螺栓固定在前托架 6 上，实验主轴 1 前端还设置有用以贴合加载套圈 21、空气径向轴承 17 的空气止推轴承 15 和用于密封前支承轴承座 16 的前支承前端盖 18，空气径向轴承 17 和空气止推轴承 15 作为加载和支撑装置，空气止推轴承 15 的端面上周向均匀设置有若干提供压缩空气的空气止推轴承气孔 151，空气径向轴承 17 的周向均匀设置有若干用以提供压缩空气的空气径向轴承气孔 171，加载套圈 21 的周向设置有一个加载套圈凸台 211，若干力传感器 22 周向均匀安装在加载套圈 21 的挡边内，且与待测角接触球轴承 20 外圈端面接触，若干位移传感器 23 周向均匀安装在前支承前端盖 18 上；后支承组件 2 包括设置在实验主轴 1 后端轴肩处的角接触球轴承 13，角接触球轴承 13 的一端与实验主轴 1 后端轴肩贴合，其另一端通过后支承锁紧螺母 11 锁紧，角接触球轴承 13 的周向设置有后支承轴承座 12，后支承轴承座 12 通过螺栓固定在后托架 9 上，后支承轴承座 12 的前后两端通过后支承前端盖 14 和后支承后端盖 10 密封；微型梁称重传感器 7 安装在微型梁传感器托架 8，其通过柔性细线穿过开设在前支承轴承座 16 周向的通孔与加载套圈凸台 211 相连接；加载带轮 3 安装在实验主轴 1 的中部，可向实验主轴 1 施加载荷。

[0030] 其中，加载套圈 21 采用过盈配合安装在待测角接触球轴承 20 的外圈，以保证与待测角接触球轴承 20 的外圈运动保持一致。

[0031] 进一步地，加载套圈凸台 211 位于加载套圈 21 的后部周向最低点位置，使得微型梁称重传感器 7 的测量端与加载套圈 21 切向连接，将测量的力传递给力传感器 22。即微型梁称重传感器 7 的测量端与加载套圈凸台 211 的位置保持平行，且高度与加载套圈凸台 211 的高度位置保持一致。

[0032] 进一步地，空气止推轴承 15 的端面上周向均匀设置有六个提供压缩空气的空气止推轴承气孔 151，从而在待测角接触球轴承 20 上施加预紧力。空气径向轴承 17 的周向均

匀设置有四列用以提供压缩空气的空气径向轴承气孔 171, 每列上各周向均匀设置有六个空气径向轴承气孔 171, 使得在空气径向轴承 17 与加载套圈 21 之间形成气膜, 从而为实验主轴提供后部支撑。力传感器 22 的数量为三个, 其导线通过加载套圈 21 上的线槽引出。

[0033] 为了对本发明进一步了解, 现对其结构做进一步详细说明。

[0034] 本发明一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置, 包括实验主轴 1、滚动轴承刚度检测装置和测量滚动轴承的摩擦力矩的微型梁称重传感器 7; 实验主轴 1 通过前托架 6 和后托架 9 安装在实验台 5 上; 实验主轴 1 的后端与拖动电主轴的前端使用联轴器连接并保证同轴。实验主轴 1 由前后两个支承作为支撑, 实验主轴 1 中部安装有用来加载力的加载带轮 3。

[0035] 前支承组件 4 为轴承摩擦力矩测试对象, 同时起支撑作用。包括待测角接触球轴承 20, 待测角接触球轴承 20 的一端由实验主轴 1 的轴肩固定, 另一端由前支承锁紧螺母 19 锁紧。待测角接触球轴承 20 外装有加载套圈 21, 加载套圈 21 与待测角接触球轴承 20 采用过盈配合, 以保证加载套圈 21 与待测角接触球轴承 20 外圈运动保持同步。加载套圈 21 外同轴安装有空气止推轴承 15 和空气径向轴承 17 作为加载和支撑装置; 空气径向轴承 17 外同轴安装有前支承轴承座 16, 前支承轴承座 16 通过前托架 6 固定在实验台 5 上。后支承组件 2 只起支撑的作用, 包括角接触球轴承 13, 角接触球轴承 13 一端由实验主轴 1 的轴肩固定, 另一端由后支承锁紧螺母 11 锁紧; 角接触球轴承 13 上套装有后支承轴承座 12, 后支承轴承座 12 用螺栓固定在后托架 9 上, 后托架 9 固定在实验台 5 板面上。

[0036] 空气止推轴承 15 周向均布六个空气止推轴承气孔 151 用以提供压缩空气, 从而在待测角接触球轴承 20 上施加预紧力。空气径向轴承 17 上分周向均布四列空气径向轴承气孔 171, 每列上各有六个空气径向轴承气孔 171, 用以提供压缩空气, 在加载套圈 21 与待测角接触球轴承 20 之间形成气膜, 从而为实验主轴 1 提供后部支撑。

[0037] 前支承轴承座 16 与微型梁称重传感器 7 平行位置打有细孔以使柔性细线从轴承座中穿出, 连接到微型梁称重传感器 7 上。

[0038] 利用空气止推轴承 15 实现滚动轴承预紧力的非接触式加载, 通过调节供气压力的大小, 可以控制作用在待测角接触球轴承 20 上预紧力的大小。利用空气径向轴承 17 作为实验主轴前部以及待测角接触球轴承 20、前支承锁紧螺母 19、加载套圈 21 的支撑, 这种非接触式的加载和支撑方式可以保证待测角接触球轴承 20 可自由运动而不受约束, 使得所测得的数据更加接近轴承运动的实际情况。

[0039] 测量装置中传感器包括测量轴承摩擦力矩的微型梁称重传感器 7、测量轴承所受载荷的力传感器 22 以及测量轴承内外圈相对位移的位移传感器 23。微型梁称重传感器 7 通过微型梁传感器托架 8 固定在实验台 5 上, 力传感器 22 安装在加载套圈 21 上, 位移传感器 23 设置在前支承轴承座上 16。

[0040] 加载套圈 21 根据待测角接触球轴承 20 的外径配套加工; 采用轻质材料以减小其对待测角接触球轴承 20 运动的影响。该加载套圈 21 采用过盈配合与待测角接触球轴承 20 外圈连接, 加载套圈 21 的前端面和圆柱表面经过局部加工处理以用于和空气止推轴承 15、空气径向轴承 17 配合实现轴向的加载和径向的支撑。加载套圈 21 挡边径向分布有三个圆槽用以安装力传感器 22, 套圈内壁与圆槽对应位置开有三个线槽用以将传感器线引出。所述套圈的后部周向最低点位置设有加载套圈凸台 211, 用于和微型梁称重传感器 7 连接以

实现摩擦力矩测量。

[0041] 微型梁称重传感器 7 通过微型梁传感器托架 8 固联于实验台 5 上, 胶粘在加载套圈凸台 211 上的柔性细线另一端连接在微型梁称重传感器 7 上。待测角接触球轴承 20 内圈随实验主轴 1 旋转时产生的摩擦力传递到待测角接触球轴承 20 外圈, 继而传递到加载套圈 21 上, 使加载套圈 21 和微型梁称重传感器 7 之间有相对运动趋势, 此时通过微型梁称重传感器 7 测量到的作用力即可推算出待测角接触球轴承 20 启动及稳定旋转时的摩擦力矩。

[0042] 力传感器 22 共三只, 径向均布安装在加载套圈 21 挡边内, 与待测角接触球轴承 20 外圈端面接触, 导线通过加载套圈 21 的线槽引出。位移传感器 23 共三只, 周向均布安装在前支承端盖 18 上。

[0043] 本发明一种滚动轴承摩擦力矩与刚度测量装置的测量方法, 该方法可进行不同转速、预紧力、轴力的工况下轴承的刚度及摩擦力矩的测量, 具体包括下列步骤:

[0044] 1) 安装传感器: 将微型梁称重传感器 7 安装在微型梁传感器托架 8 上, 柔性细线一端连接微型梁称重传感器 7 的测头, 其另一端穿过前支承轴承座 16 上通孔并胶粘在加载套圈 21 周向的加载套圈凸台 211 上; 将若干力传感器 22 周向均匀安装在加载套圈 21 挡边内, 并与待测角接触球轴承 20 的外圈端面接触; 将若干位移传感器 23 周向均匀安装在前支承前端盖 18 上的安装孔内, 并保证位移传感器 23 的测头与加载套圈 21 保持设定距离;

[0045] 2) 打开供气系统, 检查空气止推轴承 15 和空气径向轴承 17 供气回路工作状态; 调节供气压力, 使空气径向轴承 17 与加载套圈 21 之间形成稳定的气膜; 空气止推轴承 15 向加载套圈 21 施加推力, 并通过加载套圈 21 传递给待测角接触球轴承 20 外圈, 使待测角接触球轴承 20 实现预紧;

[0046] 3) 启动拖动电主轴, 带动实验主轴 1 在设定转速下运转;

[0047] 4) 由微型梁称重传感器 7、若干力传感器 22、若干位移传感器 23 分别得到待测角接触球轴承 20 的摩擦力矩  $M$ 、轴承轴向载荷变化量  $\Delta F$  以及内外圈相对位移  $\Delta x$ ;

[0048] 5) 将测得的待测角接触球轴承 20 不同工作条件下的摩擦力矩  $M$ 、轴向载荷变化量  $\Delta F$ 、内外圈相对位移  $\Delta x$  记录下来; 将测得的轴向载荷变化量  $\Delta F$ 、内圈相对位移  $\Delta x$  绘制成轴承刚度曲线, 得到待测角接触球轴承 20 的轴承刚度;

[0049] 6) 一次数据测量完成后, 通过改变待测角接触球轴承 20 的转速、调节空气止推轴承 15 施加的载荷改变待测角接触球轴承 20 所承受的预紧力、通过加载带轮 3 调节施加在实验主轴 1 上的载荷, 得到待测角接触球轴承 20 在不同工作条件下的摩擦力矩与刚度测量数据。



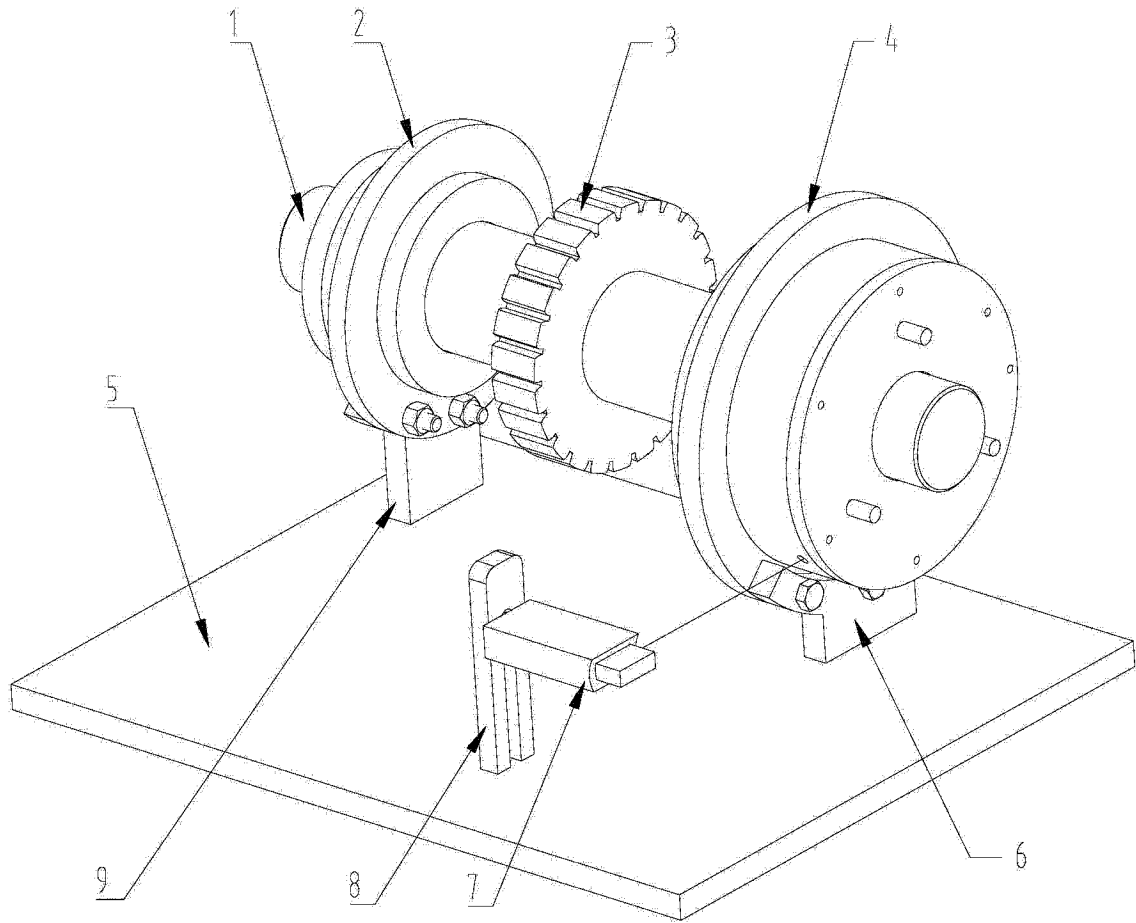


图 1

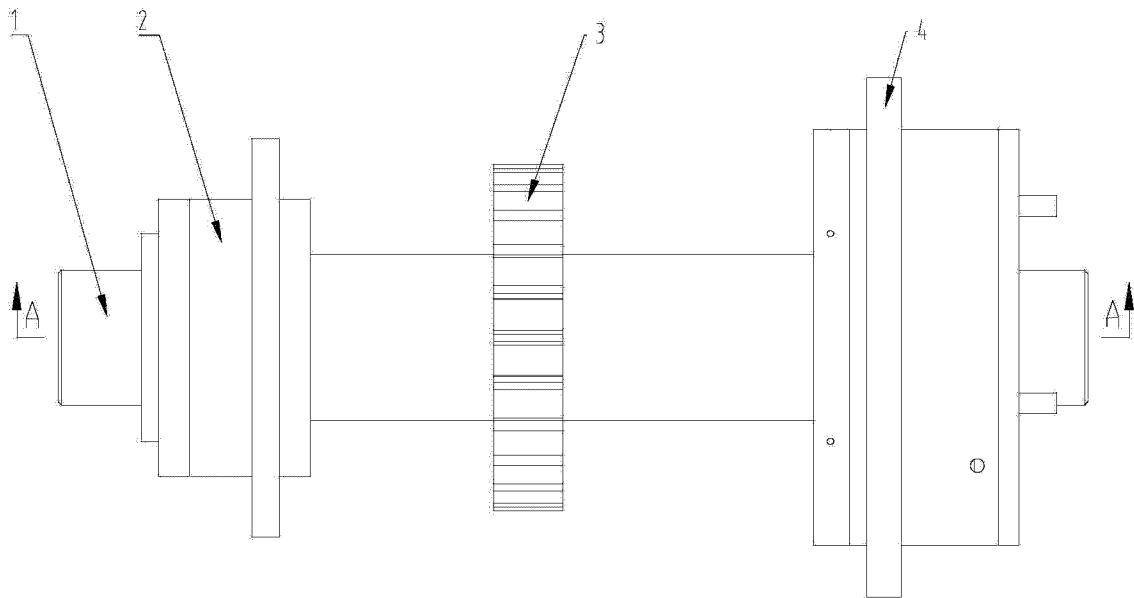


图 2a

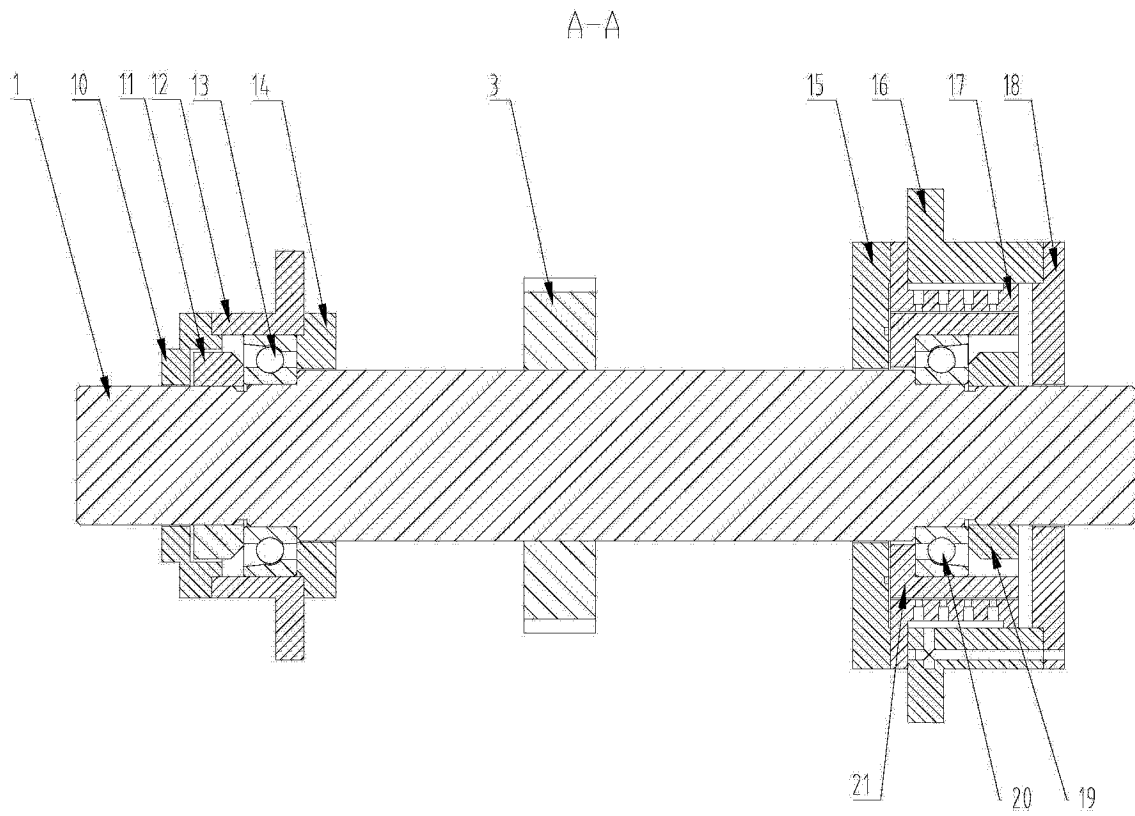


图 2b

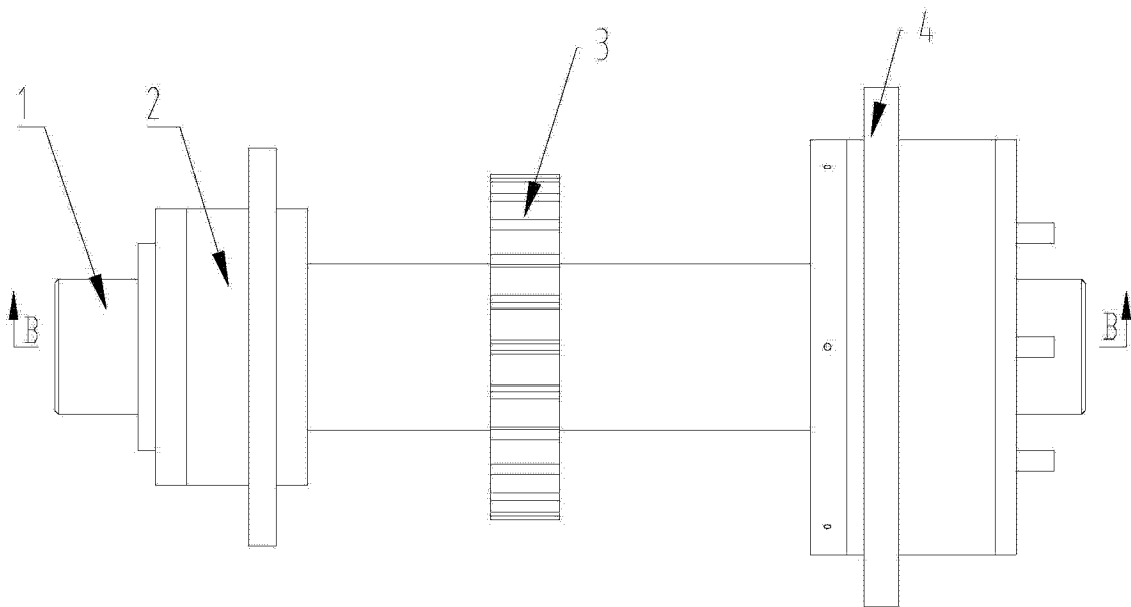


图 3a

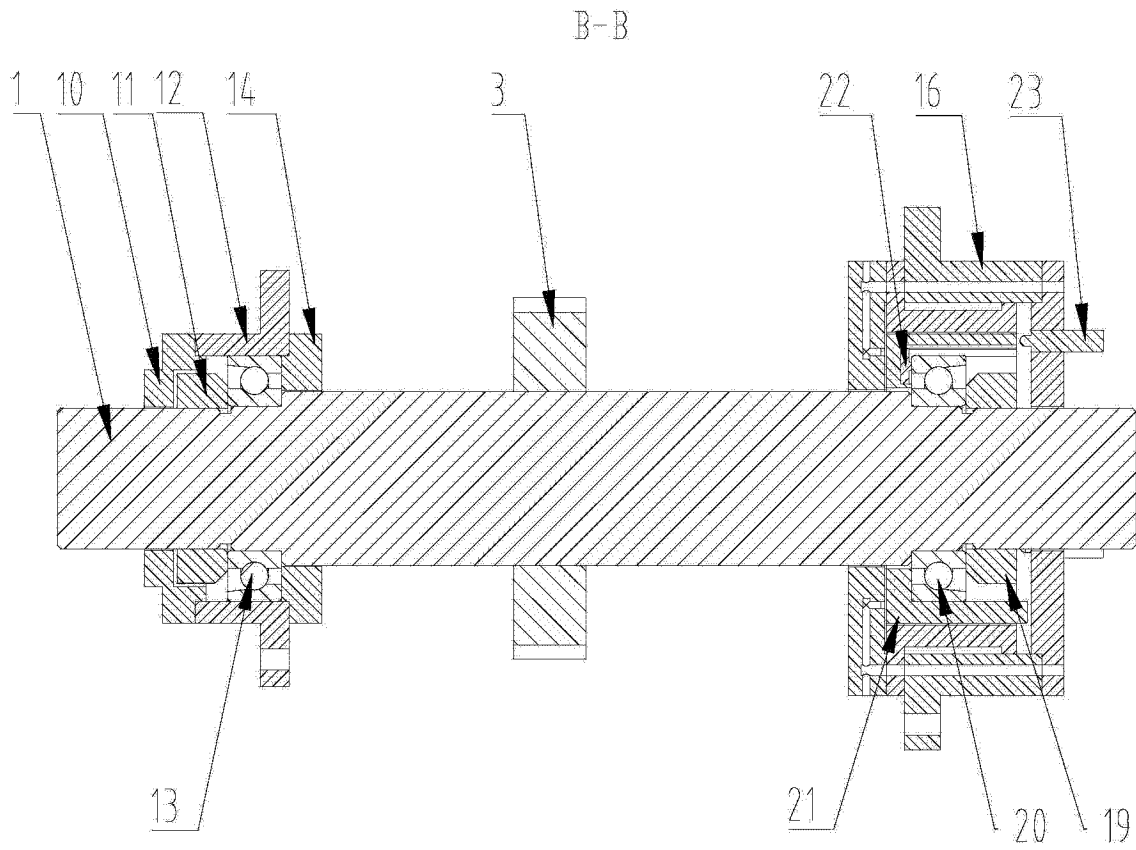


图 3b

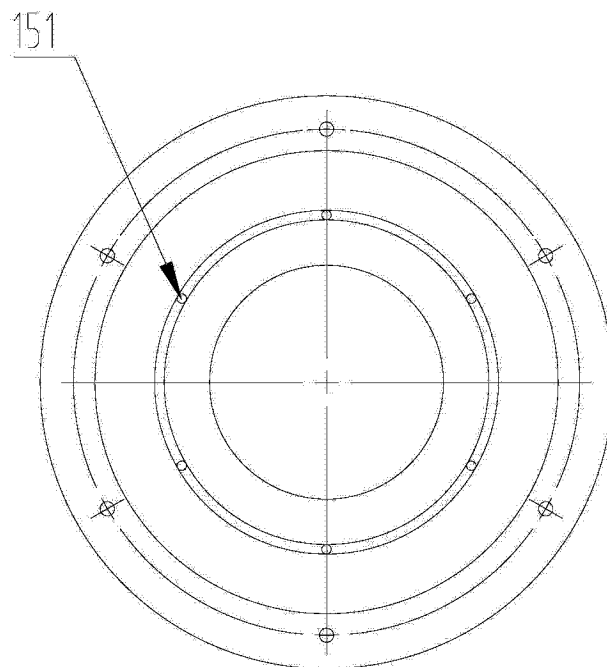


图 4

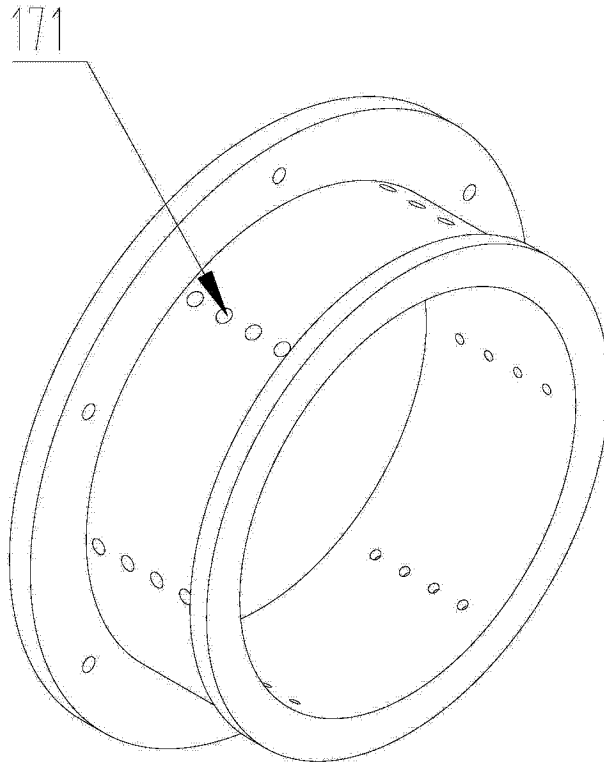


图 5

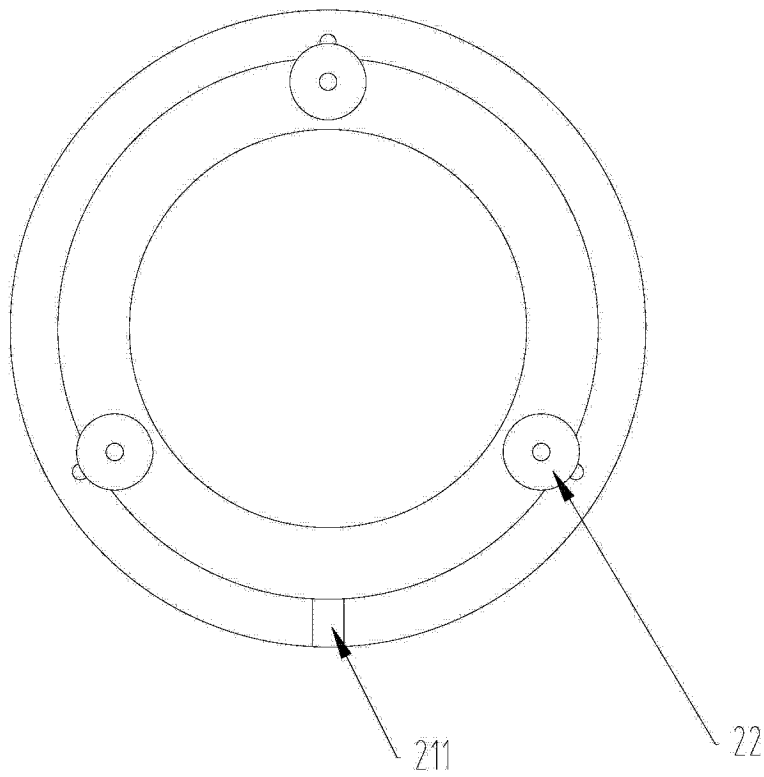


图 6