



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102777546 A

(43) 申请公布日 2012. 11. 14

(21) 申请号 201210273241. 4

(22) 申请日 2012. 07. 27

(71) 申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

(72) 发明人 吴伟国 于鹏飞

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事务所 23109

代理人 杨立超

(51) Int. Cl.

F16H 1/32(2006. 01)

F16H 55/17(2006. 01)

G01M 13/02(2006. 01)

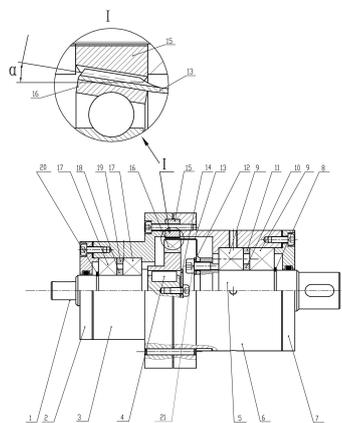
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 5 页

(54) 发明名称

刚轮轮齿有倾角的短筒柔轮谐波减速器及其传动刚度测试装置

(57) 摘要

刚轮轮齿有倾角的短筒柔轮谐波减速器及其传动刚度测试装置, 涉及谐波减速器技术领域。本发明为了短筒柔轮谐波减速器因轴向尺寸减小而导致的柔轮轮齿的偏斜而引起刚轮轮齿和柔轮轮齿间的接触面积减小, 导致其传动刚度降低; 本发明还为了解决现有的谐波传动刚度实验测试装置存在操作过程复杂的问题。柔轮为长径比为 1/4 ~ 3/5 的短筒柔轮, 轮齿具有倾角的刚轮的内齿为沿着刚轮轴线方向具有倾角 α 的轮齿, 倾斜方向与柔轮在长轴处的张角方向一致。所涉及的短筒柔轮谐波减速器传动刚度测试装置通过计算机、伺服驱动器对伺服电机实施电流控制即力矩控制, 从而对谐波传动输出端实现连续加载卸载; 得到短筒柔轮谐波传动刚度。可连续、快速、准确的得到传动刚度。



1. 一种刚轮轮齿有倾角的短筒柔轮谐波减速器,其特征在于:所述谐波减速器包括轮齿具有倾角的刚轮(15)、柔轮(13)和波发生器(16),波发生器(16)安装在柔轮(13)内部,轮齿具有倾角的刚轮(15)套在柔轮(13)上,轮齿具有倾角的刚轮(15)上的内齿与柔轮(13)上的外齿相啮合;柔轮(13)为长径比为 $1/4 \sim 3/5$ 的短筒柔轮,轮齿具有倾角的刚轮(15)的内齿为沿着刚轮轴线方向具有倾角(α)的轮齿,倾角(α)倾斜方向与柔轮在长轴处的张角方向一致,倾角(α)为 $0.1^\circ \sim 1^\circ$ 。

2. 根据权利要求1所述的刚轮轮齿有倾角的短筒柔轮谐波减速器,其特征在于:所述谐波减速器还包括输入轴(1)、输出轴(5)、输入端端盖(2)、输入端壳体(3)、输出端端盖(7)、输出端壳体(6)、两个输入轴角接触轴承(17)、输入轴轴承内圈垫片(18)、输入轴轴承外圈垫片(19)、两个输出轴角接触轴承(9)、输出轴轴承内圈垫片(10)、输出轴轴承外圈垫片(11)、挡板(14)和压板(12)、输入轴弹簧挡圈(20)和输出端弹簧挡圈(8);轮齿具有倾角的刚轮(15)固定在输入端壳体(3)和输出端壳体(6)上,输入轴(1)和波发生器(16)通过键4连接,柔轮(13)通过螺钉(21)和压板(12)紧固在输出轴(5)上;两个输入轴角接触球轴承(17)采取背对背的配置方式安装在输入轴(1)和输入端壳体(3)之间,两个输出轴角接触球轴承(9)采取背对背的配置方式安装在输出轴(5)和输出端壳体(6)之间;两个输入轴角接触球轴承(17)的外圈分别由输入端端盖(2)和输入端壳体(3)的挡肩固定,两个输入轴角接触球轴承(17)的内圈由输入轴弹簧挡圈(20)和输入轴(1)轴肩固定,两个输入轴角接触球轴承(17)的轴承游隙由输入轴轴承内圈垫片(18)和输出轴轴承外圈垫片(19)来调整;两个输出轴角接触球轴承(9)的外圈分别由输出端壳体(6)的挡肩和输出端端盖(7)固定,两个输出轴角接触球轴承(9)的内圈分由输出轴(5)轴肩和输出轴弹簧挡圈(8)固定,两个输出轴角接触球轴承(9)的轴承游隙由输出轴轴承内圈垫片(10)和输出轴轴承外圈垫片(11)来调整;所述谐波减速器的输出轴(5)上具有两个对称的扁平面。

3. 一种权利要求2所述的短筒柔轮谐波减速器的传动刚度测试装置,其特征在于:所述传动刚度测试装置包括底板(31)、电机支撑座(38)、伺服电机(39)、刚性联轴器(36)、谐波减速器支撑座(43)、左抱死夹紧端(32)和右夹紧抱死端(41),电机支撑座(38)固定在底板(31)上,伺服电机(39)固定在电机支撑座(38)上,伺服电机(39)的电机轴(37)通过刚性联轴器(36)与输入轴(1)相固连,所述谐波减速器固定在谐波减速器支撑座(43)上,谐波减速器支撑座(43)固定在底板(3-1)上,所述谐波减速器的输出轴(5)被左抱死夹紧端(32)和右夹紧抱死端(41)通过下夹紧螺钉(40)和下夹紧螺钉(42)夹紧抱死,完全不能转动。

刚轮轮齿有倾角的短筒柔轮谐波减速器及其传动刚度测试装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种短筒柔轮谐波减速器及其传动刚度测试装置,涉及谐波减速器技术领域。

背景技术

[0002] 谐波齿轮传动是一种依靠柔性齿轮的弹性变形来实现力和运动传递的减速器。筒型谐波减速器由波发生器、刚轮和柔轮三个元件组成。通常情况下,刚轮固定,波发生器为椭圆构件,安装在柔轮内部,迫使柔轮按照一定规律在长轴端产生径向变形成为椭圆状。当波发生器在原动机驱动下旋转时,使得柔轮不断产生变形,柔轮轮齿也在变形过程中逐渐进入刚轮齿间,与刚轮轮齿发生啮合,然后逐渐退出,直至完全脱开。波发生器不断旋转,柔轮轮齿不断和刚轮轮齿重复进行啮入、啮合、啮出、脱开的循环相互错齿运动。这种错齿运动将波发生器的输入转化为柔轮的输出实现减速传动。

[0003] 随着机器人技术和航空航天技术的发展,对谐波减速器的轴向尺寸大小提出了更高的要求。目前被广泛使用的是长径比为 1/2 和 1/4 比例的谐波减速器(短筒柔轮谐波减速器)。但是,轴向尺寸减小会带来应力急剧增大和柔轮张角变大导致轮齿啮合区减小的问题。啮合区域减小,谐波齿轮传动的重合度随之降低,严重影响了谐波减速器的传动刚度。为了克服这种缺点,现在采用的方式有(1)对柔轮轮齿进行修形(一种渐开线齿廓三维修形的谐波传动装置,申请号:200610127982.6)。(2)从减速器整体结构上进行改进:谐波减速器壳体中的轴承选用及其支撑方式(薄型谐波减速器,专利号:200520108605.9)(谐波传动减速器,专利号:02261809.0);对谐波减速器三元件进行结构上的改进(一种短杯型谐波减速器,专利号:200820089409.5)但是对柔轮进行修形的方法在工艺上并不容易实现。对整体结构和三元件的结构改进具有一定的局限性。

[0004] 目前对谐波传动刚度的测试不能通过推广普通齿轮的计算公式,而主要依赖于实验法来进行。目前,使用的实验测试装置用砝码进行加载,其得到的数据较为离散,而且需要人工反复操作,比较繁琐。并且在输出端的测量扭转角需要复杂的光学测量装置。据此开发了简单、快速、有效的测试谐波传动刚度的装置。

发明内容

[0005] 本发明为了短筒柔轮谐波减速器因轴向尺寸减小而导致的柔轮轮齿的偏斜从而引起刚轮轮齿和柔轮轮齿间的接触面积减小,导致其传动刚度降低的问题;本发明还为了解决现有的谐波传动刚度实验测试装置用砝码进行加载存在操作过程复杂的问题;进而提供了一种刚轮轮齿有倾角的短筒柔轮谐波减速器及其传动刚度测试装置。

[0006] 本发明为解决上述技术问题采取的技术方案是:

[0007] 本发明所述的刚轮轮齿有倾角的短筒柔轮谐波减速器包括轮齿具有倾角的刚轮、柔轮和波发生器,波发生器安装在柔轮内部,轮齿具有倾角的刚轮套在柔轮上,轮齿具有倾

角的刚轮上的内齿与柔轮上的外齿相啮合；柔轮为长径比为 $1/4 \sim 3/5$ 的短筒柔轮，轮齿具有倾角的刚轮的内齿为沿着刚轮轴线方向具有倾角的轮齿，倾角倾斜方向与柔轮在长轴处的张角方向一致，倾角为 $0.1^\circ \sim 1^\circ$ 。

[0008] 上述短筒柔轮谐波减速器的传动刚度测试装置，所述传动刚度测试装置包括底板、电机支撑座、伺服电机、刚性联轴器、谐波减速器支撑座、左抱死夹紧端和右夹紧抱死端，电机支撑座固定在底板上，伺服电机固定在电机支撑座上，伺服电机的电机轴通过刚性联轴器与输入轴相固连，所述谐波减速器固定在谐波减速器支撑座上，谐波减速器支撑座固定在底板上，所述谐波减速器的输出轴被左抱死夹紧端和右夹紧抱死端通过下夹紧螺钉和下夹紧螺钉夹紧抱死，完全不能转动。

[0009] 本发明的有益效果是：

[0010] 本发明的 $1/4 \sim 3/5$ 比例短筒柔轮谐波减速器中的刚轮采取轮齿具有一定倾角的形式，使其较刚轮轮齿正常的短筒柔轮谐波减速器具有更好的啮合效果和更大的传动刚度。相应的传动刚度测试装置可以迅速、准确、连续的测出谐波传动的传动刚度。

[0011] 本发明采用了刚轮轮齿具有一定倾角的形式，其有效的提高了刚轮轮齿和柔轮轮齿间的接触面积，从而提高了短筒柔轮谐波减速器的传动刚度，其在空回值小于刚轮轮齿正常的短筒柔轮谐波减速器 $1.6'$ (1.6 分，表示角度) 的情况下较刚轮轮齿正常的短筒柔轮谐波减速器传动刚度提高 39% (以柔轮长径比为 $1/4$ 的 50 机型为实验对象得到的结果)。其整机采用两套角接触球轴承支撑减速器输入、输出轴，作为传动单元可以承受比较大的径向力和一定的轴向力。

[0012] 传动刚度测试装置输入端由直流伺服电机工作在力矩控制模式下进行连续加载，通过读取直流伺服电机驱动器为直流电机提供的电流值和读取直流伺服电机光电码盘的数值，可以分别确定输入力矩和输入端转角。其使用的光电码盘只需有 500 线，经驱动器四倍频后，其分辨率达到 0.18° ，这样折算到输出端是 $0.108'$ 的分辨率，并不需要在输出端加高精度的编码器或者使用光学仪器进行测量就能准确得到输出端的转角 (即角位移)。将得到的所有数据，折算到输出端，即可得到输出端负载转矩与输出端角位移曲线，进而计算得到谐波传动刚度。该传动刚度测试装置具有的特点是可以连续的测量出在负载转矩作用下输出端转角的变化，并且采用的元件并不需要很高的精度要求就可以精确的测出传动刚度。测量过程简单，迅速，很容易实现多次测量。

[0013] 本发明涉及的短筒柔轮谐波减速器特征为刚轮轮齿是国内未见报道的沿着刚轮轴线方向有一定倾角、柔轮长径比为 $1/4 \sim 3/5$ 比例的短筒柔轮谐波减速器，可以实现很短的轴向尺寸；所涉及的短筒柔轮谐波减速器传动刚度测试装置通过计算机、伺服驱动器对伺服电机实施电流控制即力矩控制，从而对谐波传动输出端实现连续加载卸载；根据控制伺服电机的电流指令值、电机力矩常数、光电编码器计数值、短筒柔轮谐波减速器传动比，分别计算输出端力矩和输出端转角，绘制出输出端连续加载卸载的负载转矩 - 角位移曲线，计算得到短筒柔轮谐波传动刚度。其特点是可以连续、快速、准确的得到传动刚度。

附图说明

[0014] 图 1 是本发明所述的柔轮长径比为 $1/4 \sim 3/5$ 的短筒柔轮谐波减速器的结构图，图 2 是具有一定倾角的刚轮结构和刚轮与柔轮啮合情况得以改善的效果图；图 3 是传动刚

度测试装置机械部分的结构图,图 4 是图 3 的 A-A 部面图;图 5 是刚轮轮齿倾角 0.2° 时的 1/4 比例短筒柔轮谐波减速器的扭矩-转角曲线和刚轮轮齿无倾角的 1/4 比例短筒柔轮谐波减速器的扭矩-转角曲线对比图。

[0015] 图 6 是传动刚度测试系统装置实物图;图 6 中:4-1 电源、4-2 伺服电机驱动器、4-3 伺服电机(即伺服电机 39)、4-4 短筒柔轮谐波减速器(即短筒柔轮谐波减速器 50)、4-5 夹紧抱死端(指输出轴 5)、4-6 计算机、4-7 刚性联轴器(即刚性联轴器 36)、4-8 底板(即底板 31)、4-9 电机光电编码器。

具体实施方式

[0016] 具体实施方式一:如图 1~2 所示,本实施方式所述的刚轮轮齿有倾角的短筒柔轮谐波减速器包括轮齿具有倾角的刚轮 15、柔轮 13 和波发生器 16,波发生器 16 安装在柔轮 13 内部,轮齿具有倾角的刚轮 15 套在柔轮 13 上,轮齿具有倾角的刚轮 15 上的内齿与柔轮 13 上的外齿相啮合;柔轮 13 为长径比为 $1/4 \sim 3/5$ 的短筒柔轮,轮齿具有倾角的刚轮 15 的内齿为沿着刚轮轴线方向具有倾角 α 的轮齿,倾角 α 倾斜方向与柔轮在长轴处的张角方向一致,倾角 α 为 $0.1^\circ \sim 1^\circ$ 。

[0017] 具体实施方式二:如图 1~2 所示,本实施方式所述谐波减速器还包括输入轴 1、输出轴 5、输入端端盖 2、输入端壳体 3、输出端端盖 7、输出端壳体 6、两个输入轴角接触轴承 17、输入轴轴承内圈垫片 18、输入轴轴承外圈垫片 19、两个输出轴角接触轴承 9、输出轴轴承内圈垫片 10、输出轴轴承外圈垫片 11、挡板 14 和压板 12、输入轴弹簧挡圈 20 和输出端弹簧挡圈 8;轮齿具有倾角的刚轮 15 固定在输入端壳体 3 和输出端壳体 6 上,输入轴 1 和波发生器 16 通过键 4 连接,柔轮 13 通过螺钉 21 和压板 12 紧固在输出轴 5 上;两个输入轴角接触球轴承 17 采取背对背的配置方式安装在输入轴 1 和输入端壳体 3 之间,两个输出轴角接触球轴承 9 采取背对背的配置方式安装在输出轴 5 和输出端壳体 6 之间;两个输入轴角接触球轴承 17 的外圈分别由输入端端盖 2 和输入端壳体 3 的挡肩固定,两个输入轴角接触球轴承 17 的内圈由输入轴弹簧挡圈 20 和输入轴 1 轴肩固定,两个输入轴角接触球轴承 17 的轴承游隙由输入轴轴承内圈垫片 18 和输出轴轴承外圈垫片 19 来调整;两个输出轴角接触球轴承 9 的外圈分别由输出端壳体 6 的挡肩和输出端端盖 7 固定,两个输出轴角接触球轴承 9 的内圈分由输出轴 5 轴肩和输出轴弹簧挡圈 8 固定,两个输出轴角接触球轴承 9 的轴承游隙由输出轴轴承内圈垫片 10 和输出轴轴承外圈垫片 11 来调整;所述谐波减速器的输出轴 5 上具有两个对称的扁平面。其它组成及连接关系与具体实施方式一相同。

[0018] 柔轮长径比为 $1/4 \sim 3/5$ 比例的短筒柔轮谐波减速器其刚轮内齿圈轮齿设计与刚轮轴线成一定倾角的结构形式。由波发生器椭圆形盘 16-1、波发生器柔性轴承内圈 16-2 和滚动体 16-3 以及外圈 14-4 组成的柔性薄壁轴承构成的波发生器部件装入与刚轮 15 啮合的柔轮 13 中,柔轮 13 由于波发生器部件的涨紧作用将产生张角变形,而且柔轮 13 会产生较刚轮轮齿无倾角的非短筒柔轮常规谐波传动更大的张角,如此,如图 2 所示轮齿具有一定倾角的刚轮结构形式可以获得刚轮 15 与柔轮 13 轮齿间良好的啮合效果,沿齿长方向提高了啮合面积,从而提高了啮合传动刚度,大大改善了传动性能。

[0019] 具体实施方式三:如图 1~4 所示,本实施方式为具体实施方式二所述的短筒柔轮谐波减速器的传动刚度测试装置,所述传动刚度测试装置包括底板 31、电机支撑座 38、伺

伺服电机 39、刚性联轴器 36、谐波减速器支撑座 43、左抱死夹紧端 32 和右夹紧抱死端 41,电机支撑座 38 固定在底板 31 上,伺服电机 39 固定在电机支撑座 38 上,伺服电机 39 的电机轴 37 通过刚性联轴器 36 与输入轴 1 相固连,所述谐波减速器固定在谐波减速器支撑座 43 上,谐波减速器支撑座 43 固定在底板 3-1 上,所述谐波减速器的输出轴 5 被左抱死夹紧端 32 和右夹紧抱死端 41 通过下夹紧螺钉 40 和下夹紧螺钉 42 夹紧抱死,完全不能转动。

[0020] 将谐波减速器输出端固定,输入端与伺服电机输出轴用刚性联轴器固连,通过计算机发出电流指令给伺服驱动器对伺服电机进行力矩控制,实现连续加载卸载,并根据控制伺服电机的电流指令值、电机力矩常数、伺服电机上带有的光电编码器的计数值、短筒柔轮谐波减速器传动比,分别计算输出端力矩和输出端转角,绘制出输出端连续加载卸载的负载转矩-角位移曲线,进而计算得到短筒柔轮谐波传动刚度。

[0021] 如图 3 和图 4 所示的传动刚度测试系统装置中,对自行设计研制的长径比为 1/4 比例的、轮齿倾角为 0.2° 的短筒柔轮谐波减速器 50(本发明)进行了传动刚度测试。通过计算机向伺服驱动器发送电流指令,伺服驱动器工作在电流控制模式即实现对伺服电机 39 的力矩控制,因为伺服电机 39 工作在力矩控制模式,这样无需添加力矩传感器,可以根据实时读取伺服驱动器为伺服电机 39 提供的电流大小值、电机力矩常数、光电编码器的计数器值和谐波减速器 50 的传动比,分别计算出谐波减速器输入力矩、输出的负载转矩、输出端的转角(即角位移)。至此就得到了绘制谐波减速器输出端负载转矩-输出端角位移曲线所需要的一一对应的全部数据。在刚度测试实验中,采取的加载方式是先线性正向加载到额定转矩,再逐渐卸载至无负载即 0Nm ;然后继续反向线性加载到额定转矩;最后逐渐卸载至 0Nm ,并且为了得到完整封闭的输出端负载转矩——角位移曲线,继续再向正向加载一个很小的转矩。反复测量多次获得所需要的多组数据,并进行将输入轴的转角和力矩折算到输出轴的数据处理,可以绘出稳定的输出端负载转矩-转角曲线。

[0022] 实施例:刚轮轮齿倾角 0.2° 时的 1/4 比例短筒柔轮谐波减速器的负载转矩-角位移曲线和刚轮轮齿无倾角的 1/4 比例短筒柔轮谐波减速器的输出端负载转矩-角位移曲线如图 5 所示,其得到的效果是扭矩-转角曲线对比图。根据公式

[0023]

$$C = \frac{dT}{d\varphi}$$

[0024] 式中字母含义是传动刚度值 C (单位: $\text{Nm}/^\circ$),输出端扭矩 T (单位: Nm),输出端扭转角度 φ (单位: $^\circ$)。

[0025] 取图 5 中负载转矩-角位移曲线的第一象限内采样点数据,第一阶段是指由 0Nm 开始线性加载至约额定负载一半时的负载转矩——角位移曲线段;第二阶段是指约额定负载一半时的负载继续线性加载至额定转矩时的负载转矩——角位移曲线段;由额定负载线性卸载也是相应于该当的线性加载阶段一一对应的。

[0026] 计算得到传动刚度值如表 1 所示。根据计算结果可以看出,采取刚轮轮齿具有一定倾角的短筒柔轮谐波减速器可以取得更大的传动刚度,同轮齿无倾角(即倾角为 0°)的 1/4 比例短筒柔轮谐波减速器相比,第一阶段传动刚度提高了 77.4%,第二阶段的传动刚度提高了 39.01%。这充分证明了刚轮轮齿有倾角后大大改善了轮齿沿齿长方向的啮合面积,显著改善传动性能的有效性。

[0027] 表 1- 传动刚度计算结果及对比表

	刚轮轮齿倾角	第一阶段 (Nm/°)	第二阶段 (Nm/°)
[0028]	倾角 0.2°	98.72	182.78
	正常无倾角	55.64	131.48

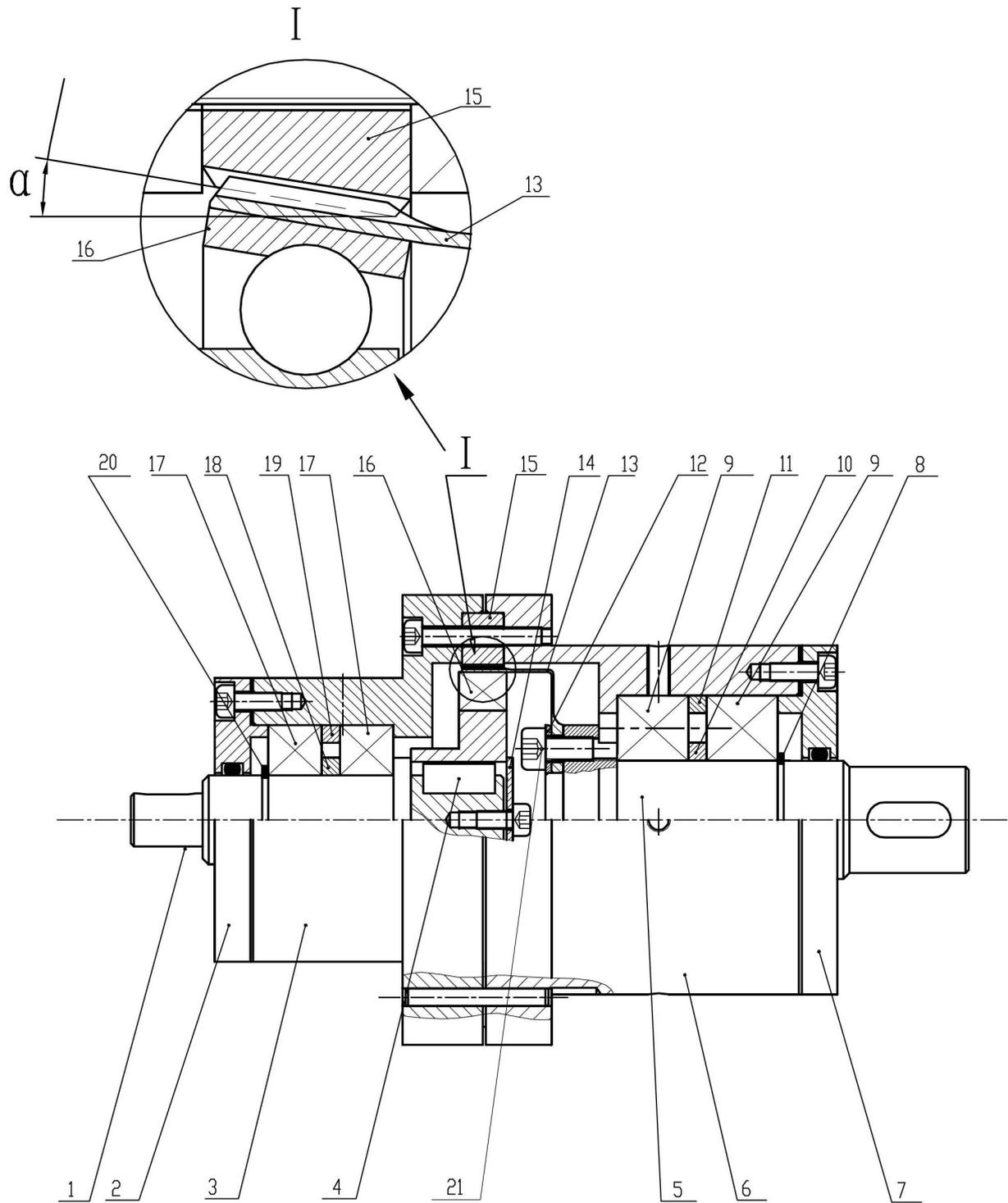


图 1

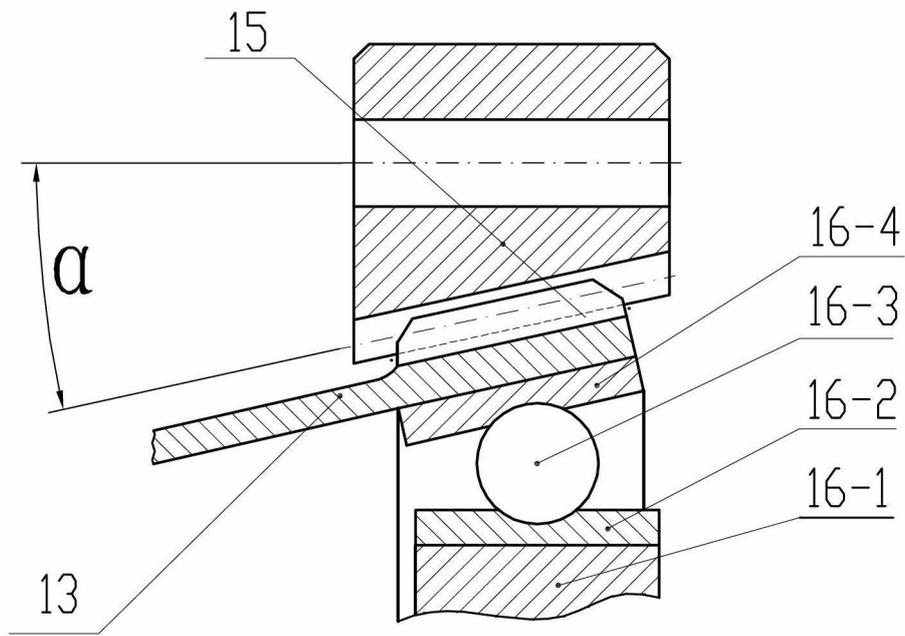


图 2

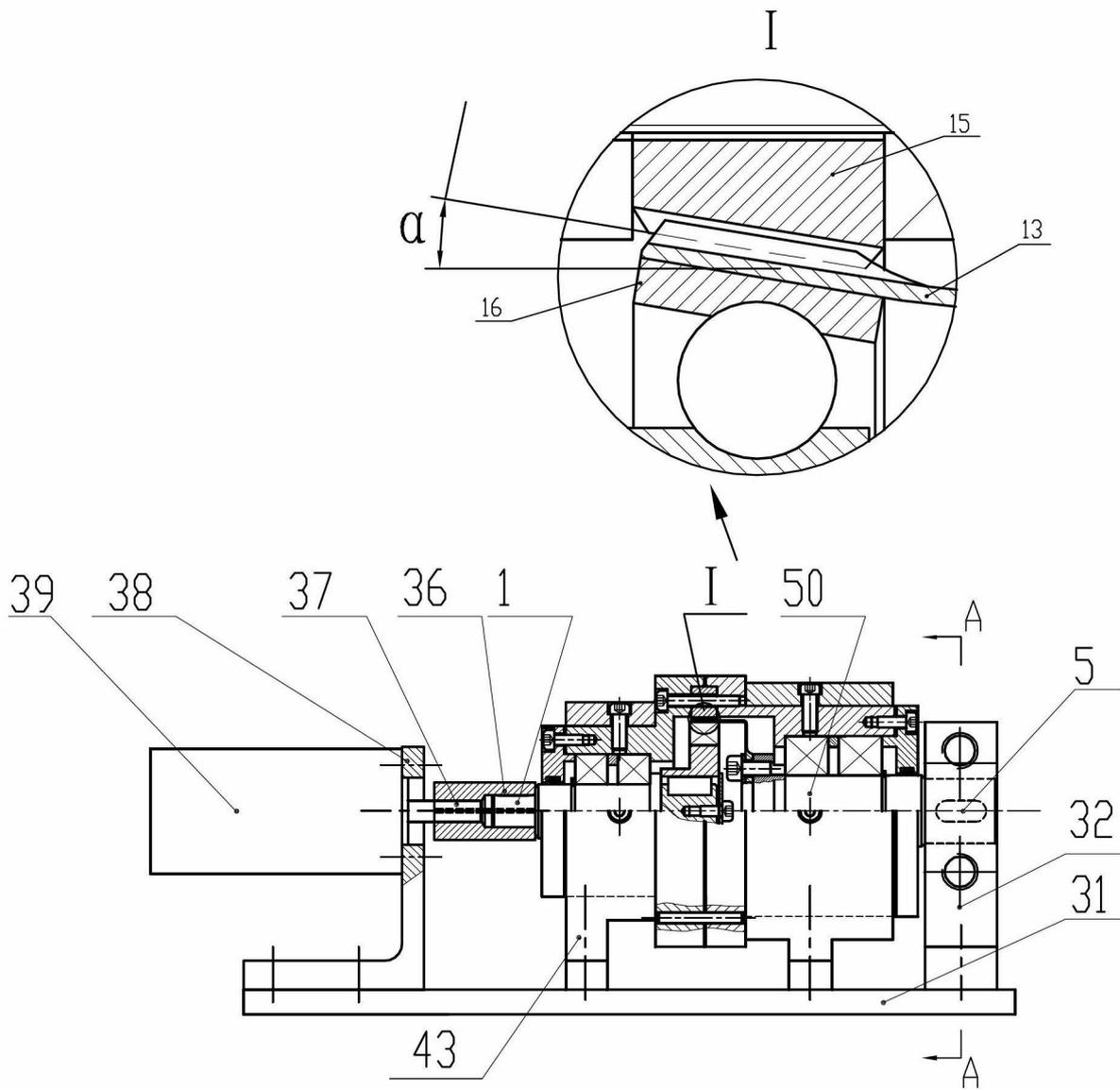


图 3

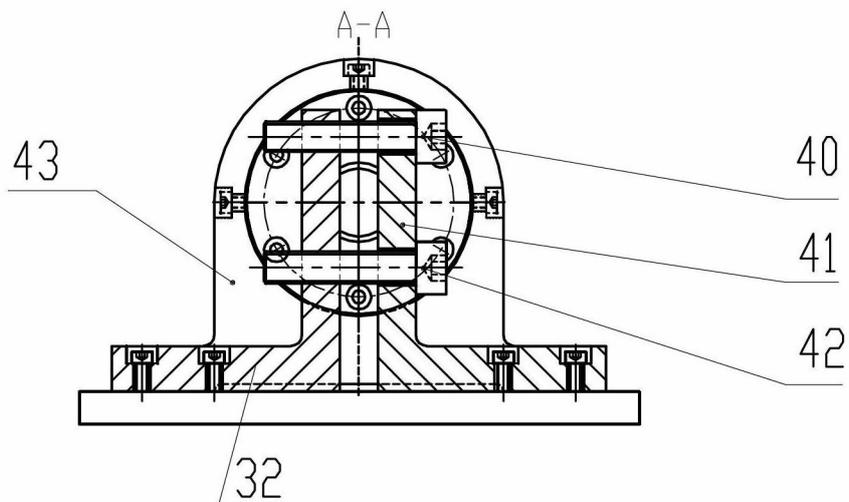


图 4

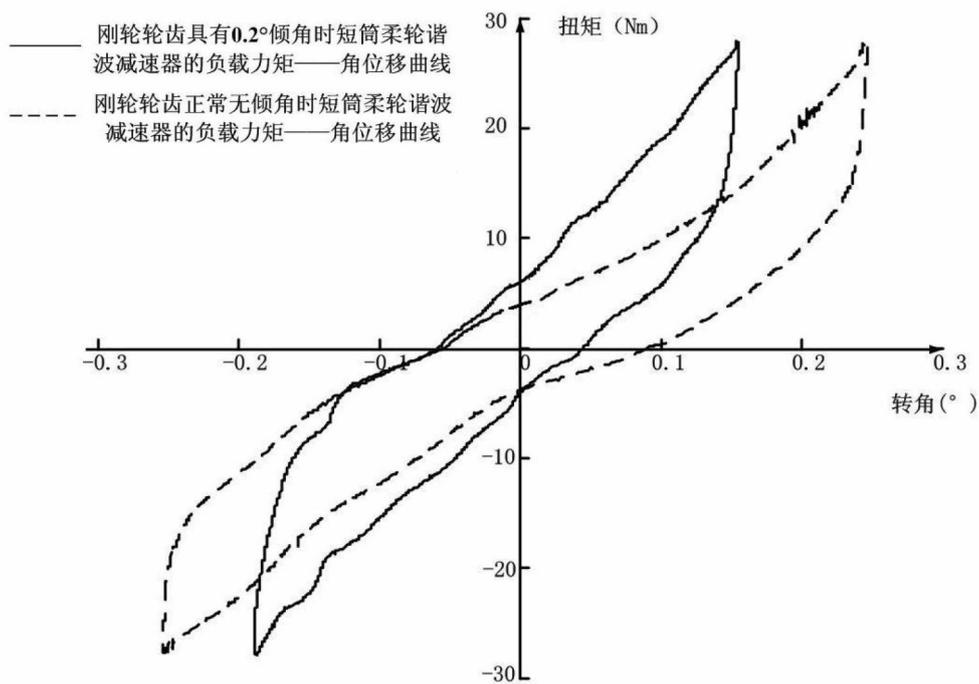


图 5

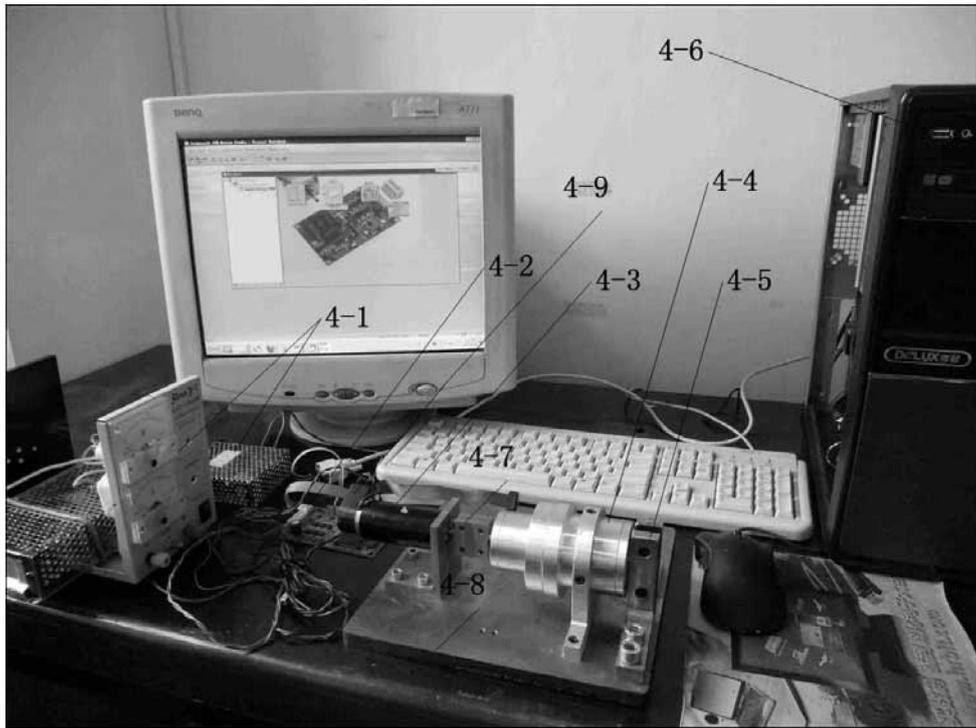


图 6