

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 2 月 3 日 (03.02.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/021967 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01B 7/24 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2021/089779
- (22) 国际申请日: 2021 年 4 月 26 日 (26.04.2021)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202010753650.9 2020 年 7 月 30 日 (30.07.2020) CN
- (71) 申请人: 南京航空航天大学 (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) [CN/CN]; 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。
- (72) 发明人: 钱晓明 (QIAN, Xiaoming); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。楼佩煌 (LOU, Peihuang); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。胡益伟 (HU, Yiwei); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29

号, Jiangsu 210016 (CN)。李泷杲 (LI, Shuanggao); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。宋阳 (SONG, Yang); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。黄鑫 (HUANG, Xin); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。

(74) 代理人: 江苏圣典律师事务所 (JIANGSU SUNDY LAW FIRM); 中国江苏省南京市建邺区奥体大街 68 号新城科技园 4A 座 6 层陶得天, Jiangsu 210019 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

(54) Title: METHOD FOR HIGH-PRECISION MEASUREMENT OF DEGREE OF BENDING AND DEGREE OF TWISTING OF CONNECTING ROD

(54) 发明名称: 一种连杆弯曲度和扭曲度的高精度测量方法

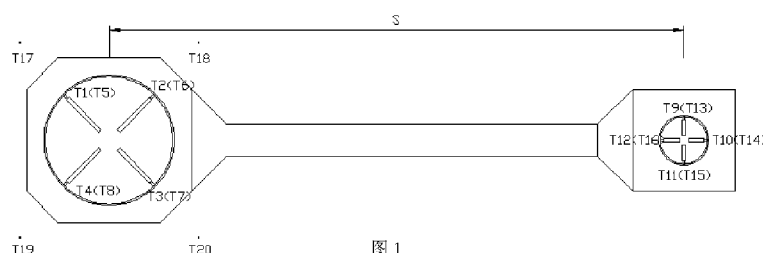


图 1

(57) Abstract: A method for the high-precision measurement of a degree of bending and a degree of twisting of a connecting rod, comprising the following steps: S1. arranging measuring heads; S2. obtaining coordinates of the measuring heads; S3. establishing a coordinate system; S4. measuring a target connecting rod; S5. calculating a degree of bending and a degree of twisting of the target connecting rod; S6. compensating for a thickness variation. The method can be integrated into an in-line measuring apparatus for a connecting rod to implement full-automatic measurement, and can greatly improve the measurement efficiency of connecting rods to an extent to match the current production efficiency of connecting rods. In addition, also provided is a measurement compensation method, capable of reducing an unexpected measurement error caused by a variation of the thickness of a measured connecting rod, thus further improving the measurement precision.

(57) 摘要: 一种连杆弯曲度和扭曲度的高精度测量方法, 包括如下步骤: S1、布置测头; S2、获取测头坐标; S3、建立坐标系; S4、测量目标连杆; S5、计算目标连杆的弯曲度和扭曲度; S6、厚度偏差补偿。可以集成到连杆的在线测量装备之中, 实现全自动化的测量, 可以极大地提高连杆的测量效率, 达到能够匹配如今连杆的生产效率。同时, 还提供了一种测量补偿方法, 可以减小被测连杆的厚度的偏差带来的预期之外的测量误差, 进一步提高测量的精度。

ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

一种连杆弯曲度和扭曲度的高精度测量方法

技术领域

本发明涉及一种连杆弯曲度和扭曲度的高精度测量方法，其属于在线测量技术应用领域。

背景技术

连杆是发动机的核心部件之一，连杆加工质量很大程度上决定着发动机的整体性能。连杆的生产量巨大，如上海某连杆生厂企业日产量超过了 10 万件。为了满足全自动化生产线的要求，连杆精度参数的在线测量也必定需要满足高精度、高节拍的要求，从而能够匹配连杆的生产节拍，全面的提高生产效率。由于连杆工作环境的特殊性，以及其结构的复杂性和加工质量要求的精确性，在传统检测过程中需要掌控的质量因素很多。传统手工抽样检测方法中工作人员的劳动强度重、一致性差，测量结果与自动化测量技术相比在很大程度上受到一些很难掌控的人为因素的影响。

其中弯曲度与扭曲度是连杆两个重要的位置度指标。传统的通用的连杆弯曲度和扭曲度的检测方法大致有通用量具测量方法、专用测量台测量方法和光电自动化设备测量方法。可见的报道中，文献“连杆几何参数综合测量方法的研究[硕士学位论文]，北京，北京交通大学，2009”研制的连杆几何参数的测量方法，所设计的方法无法实现在线测量，测量节拍有限。中国实用新型专利“连杆测量仪”，申请号为“201820497837.5”中设计的连杆测量仪为传统的手动测量装置，测量的精度和一致性有限。

因此，确有必要对于上述的连杆弯曲度和扭曲度的测量方法进行改变，以解决现有技术的不足。尤其是针对批量加工过程中，连杆出现肉眼不可见的弯曲与扭曲时，尤其需要对连杆的弯曲度与扭曲度进行高精度、且高效的测量，从而剔除出加工不合格的残次品。

发明内容

本发明针对以上问题，提出了一种可实现连杆弯曲度和扭曲度的高精度测量的连杆弯曲度和扭曲度的高精度测量方法。

本发明的技术方案为：所述连杆具有大端头和小端头，所述大头端以及小头端中均开设有圆柱孔，包括如下步骤：

S1、布置测头：取连杆标准件，在连杆标准件的大头端以及小头端布置高精度位移传感器；

S2、获取测头坐标：对连杆标准件进行标定，获得测头的位移零点，进行标定时，测头将会产生一段位移，根据位移量可以得到连杆标准件中大头端圆柱孔的半径以及小头端圆柱孔的半径；

S3、建立坐标系：以连杆标准件中大头端圆柱孔的中心 O 为坐标原点，连杆标准件的长度方向为 X 轴，连杆标准件中大头端圆柱孔的轴向为 Z 轴，垂直于 XOZ 平面的为 Y 轴，建立坐标系；

S4、测量目标连杆：使得所有高精度位移传感器的位置保持不变，移除连杆标准件，放上目标连杆，使得目标连杆的大头端以及小头端之内分别具有八个测点，进行测量，同样，测头将会产生一端位移，此时，可计算获得各个测点所处的坐标位置；

S5、计算目标连杆的弯曲度和扭曲度：

S5.1、得到 T1 -T4 的坐标之后，基于最小二乘法可拟合出 T1 -T4 所在圆的圆心 O_1 的坐标，同理，可得出 T5 -T8 所在圆的圆心 O_2 的坐标、T9 -T12 所在圆的圆心 O_3 的坐标、T13 -T16 所在圆的圆心 O_4 的坐标；

S5.2、根据 O_1 、 O_2 、 O_3 、 O_4 在 X 方向以及 Y 方向上的总偏移量求得连杆的弯曲度和扭曲度；

S6、厚度偏差补偿：

S6.1、在目标连杆的大头端之外布置四个竖直设置的高精度位移传感器，并取压板压住目标连杆大头端的顶面，使得压板的底面上具有四个测点，分别为 T17-T20；

S6.2、根据 T17-T20 的位移量以及初始高度得出目标连杆的厚度，从而得到厚度偏差数据，将厚度偏差数据代入步骤 S4 进行补偿，最终，得到补偿后的弯曲度和扭曲度。

步骤 S1 具体为：

S1.1、在大头端的圆柱孔中布置八个水平设置的高精度位移传感器，使得大头端的圆柱孔中具有八个测点，分别为 T1 -T8；

T1 -T4 同处于一个水平面上，T5 -T8 同处于另一个水平面上，这两个水平面沿大头端圆柱孔的中心上下对称；

S1.2、在小头端的圆柱孔中也布置八个水平设置的高精度位移传感器，使得小头端的圆柱孔中具有八个测点，分别为 T9 -T16；

T9 -T12 同处于一个水平面上，T13 -T16 同处于另一个水平面上，这两个水平面沿小头端圆柱孔的中心上下对称；

步骤 S1 中大头端的圆柱孔中布置的八个高精度位移传感器都与 X 轴或 Y 轴呈 45° 夹角；而小头端的圆柱孔中布置的八个高精度位移传感器则平行于 X 轴或 Y 轴。

以标定连杆的大头端为例，步骤 S2 中连杆标准件中大头端圆柱孔的半径为 R_0 ，

$$R_0 = d_0 + D \quad (1)$$

式中 D 为未检测状态下大头端之内的测头与大头端的中心之间的原始距离，标定时测头将会产生一段位移，该位移量为 d_0 ；

同理，可得出连杆标准件中小头端圆柱孔的半径。

步骤 S4 对目标连杆的大头端进行测量时，设大头端中测头实际测得的位移量为 d ，则可得该测头与原来连杆标准件大头端轴心所在位置的间距 R 为：

$$R = d + D \quad (2)$$

由 (1) 和 (2) 式，可得：

$$R = d - d_0 + R_0 = \Delta d + R_0 \quad (3)$$

则该测点的坐标为：

$$\begin{cases} x = R \times \cos 45^\circ \\ y = R \times \sin 45^\circ \end{cases} \quad (4)$$

从而可逐一得到 T1-T8 的坐标位置；

同理，可在对目标连杆的小头端进行测量时，根据小头端中各个测头的位移量，可以得出 T9-T16 的坐标位置。

步骤 S5 具体为：

根据最小二乘法拟合出 T1 -T4 所在圆，得到所在圆的圆心 O_1 的坐标 (x_{O_1}, y_{O_1}) ，根据最小二乘法拟合出 T5 -T8 所在圆，得到所在圆的圆心 O_2 的坐标 (x_{O_2}, y_{O_2}) ，计算目标连杆的大头端的轴心在 x ， y 方向上的偏移量分别为：

$$\begin{cases} \Delta x_1' = x_{O_1} - x_{O_2} \\ \Delta y_1' = y_{O_1} - y_{O_2} \end{cases} \quad (5)$$

将其延伸到连杆厚度的范围，结合目标连杆的厚度 C 以及 O_1 、 O_2 在 Z 向上的间距 B ，可以得到目标连杆大头端轴心的总偏移为：

$$\begin{cases} \Delta x_1 = \Delta x_1' \times C / B \\ \Delta y_1 = \Delta y_1' \times C / B \end{cases} \quad (6)$$

同理，可得出 O_3 、 O_4 的坐标，从而得到目标连杆的小头端的轴心 x ， y 方向上的偏移量 Δx_2 、 Δy_2 ；

最后，根据连杆弯曲度和扭曲度的定义可以求得连杆的弯曲度和扭曲度分别为：

$$\begin{cases} \text{弯曲度} = |\Delta x_1 - \Delta x_2| \times 100 \div S \\ \text{扭曲度} = |\Delta y_1 - \Delta y_2| \times 100 \div S \end{cases} \quad (7)$$

式中 S 为目标连杆大头端与小头端的中心距。

步骤 S6.2 具体为：设连杆的定位面为 ac ，其中 ab 、 fd 等于大头端圆柱孔的半径 r ， af 、 cd 为连杆厚度 h ，设该方向测头测得的连杆厚度偏差为 Δh ，则根据三角形相似原理，可以知道 Δabc 和 Δcde 相似，可以得到：

$$\frac{ab}{dc} = \frac{bc}{de}, \quad \frac{r}{h - \Delta h} = \frac{\Delta h}{de}$$

$$de = (h \cdot \Delta h - \Delta h^2) / r \quad (8)$$

$$\frac{ec}{ca} = \frac{dc}{ba}, \quad \frac{ec}{\sqrt{r^2 + \Delta h^2}} = \frac{h - \Delta h}{r}$$

$$ec = (h - \Delta h) \sqrt{r^2 + \Delta h^2} / r \quad (9)$$

同理，由 Δcde 、 $\Delta ckT5$ 、 $\Delta cgT1$ 相似，可以得到

$$\frac{T_1g}{de} = \frac{T_1c}{ec}, \quad \frac{T_5k}{de} = \frac{T_5c}{ec}$$

其中， T_1c 、 T_5c 为连杆大头端测头离定位面确定的距离，设其长度为 $T_1c=h_1$ ， $T_5c=h_2$ 。由式 (8)、(9)，代入得到由于连杆厚度误差造成测头 $T1$ 和 $T5$ 方向上的测量偏差 Δd_1 、 Δd_5

$$\Delta d_1 = T_1g = \frac{h_1 \Delta h}{\sqrt{r^2 + \Delta h^2}} \quad (10)$$

$$\Delta d_5 = T_5k = \frac{h_2 \Delta h}{\sqrt{r^2 + \Delta h^2}} \quad (11)$$

同理可以计算得到其他各个测头方向上的测量偏差，将该结果与采集到的测头数据进行补偿，最终，得到补偿后的弯曲度和扭曲度，可以很好的减小连杆的厚度偏差所带来的预期之外的数据采集偏差。

本发明的有益效果为：解决了传统连杆弯曲度和扭曲度测量精度低，一致性差的问

题；借助 LVDT 高精度位移传感器显著提升了本发明的测量精度，使得连杆弯曲度和扭曲度更为精准、也更为高效，尤其是针对连杆出现肉眼不可见的弯曲与扭曲时，可精准的剔除出加工不合格的残次品。本发明可以集成到连杆的在线测量装备之中，实现全自动化的测量，可以极大地提高连杆的测量效率，达到能够匹配如今连杆的生产效率。

同时，本发明中还提供了一种测量补偿方法，可以减小被测连杆的厚度的偏差带来的预期之外的测量误差，进一步提高测量的精度。

附图说明

图 1 是连杆的结构示意图，

图 2 是连杆的剖面示意图，

图 3 是获取测头坐标时的示意图，

图 4 是测量目标连杆时的示意图，

图 5 是测量目标连杆的厚度时的示意图，

图 6 是进行步骤 S6.2 时的示意图。

具体实施方式

为能清楚说明本专利的技术特点，下面通过具体实施方式，并结合其附图，对本专利进行详细阐述。

如图 1-6 所示，所述连杆具有大端头和小端头，所述大头端以及小头端中均开设有圆柱孔，包括如下步骤：

S1、布置测头：取连杆标准件，将其放入连杆在线测量机中，在连杆标准件的大头端以及小头端布置 LVDT (Linear Variable Differential Transformer 线性可变差动变压器) 高精度位移传感器；所述高精度位移传感器的一端具有测头，测头与被测物体的接触点为测点；

S1.1、在大头端的圆柱孔中布置八个水平设置的高精度位移传感器，使得大头端的圆柱孔中具有八个测点，分别为 T1 -T8；

T1 -T4 同处于一个水平面上，T5 -T8 同处于另一个水平面上，这两个水平面沿大头端圆柱孔的中心上下对称；

S1.2、在小头端的圆柱孔中也布置八个水平设置的高精度位移传感器，使得小头端的圆柱孔中具有八个测点，分别为 T9 -T16；

T9 -T12 同处于一个水平面上，T13 -T16 同处于另一个水平面上，这两个水平面沿

小头端圆柱孔的中心上下对称；

S2、获取测头坐标：借助固定支架使得大头端中的八个高精度位移传感器以及小头端中的八个高精度位移传感器保持位置固定，对连杆标准件进行标定，获得测头的位移零点，进行标定时，测头将会产生一段位移，根据位移量可以得到连杆标准件中大头端圆柱孔的半径以及小头端圆柱孔的半径；

S3、建立坐标系：以连杆标准件中大头端圆柱孔的中心 O 为坐标原点，连杆标准件的长度方向为 X 轴，连杆标准件中大头端圆柱孔的轴向为 Z 轴，垂直于 XOZ 平面的为 Y 轴，建立坐标系；

S4、测量目标连杆：使得所有高精度位移传感器的位置保持不变，移除连杆标准件，放上目标连杆，使得目标连杆的大头端以及小头端之内分别具有八个测点，进行测量，同样，测头将会产生一端位移，此时，可计算获得各个测点所处的坐标位置；

S5、计算目标连杆的弯曲度和扭曲度：

S5.1、得到 T1 -T4 的坐标之后，基于最小二乘法可拟合出 T1 -T4 所在圆的圆心 O_1 的坐标，同理，可得出 T5 -T8 所在圆的圆心 O_2 的坐标、T9 -T12 所在圆的圆心 O_3 的坐标、T13 -T16 所在圆的圆心 O_4 的坐标；

S5.2、根据 O_1 、 O_2 、 O_3 、 O_4 在 X 方向以及 Y 方向上的总偏移量求得连杆的弯曲度和扭曲度；

S6、厚度偏差补偿：

S6.1、在目标连杆的大头端之外布置四个竖直设置的高精度位移传感器，并取压板压住目标连杆大头端的顶面，使得压板的底面上具有四个测点，分别为 T17-T20；

S6.2、根据 T17-T20 的位移量以及初始高度得出目标连杆的厚度，从而得到厚度偏差数据，将厚度偏差数据代入步骤 S4 进行补偿，最终，重新经过步骤 S5 之后得到补偿后的弯曲度和扭曲度；从而可以减小目标连杆的厚度的偏差带来的预期之外的测量误差，进一步提高测量的精度；

S7、若目标连杆补偿后的弯曲度或扭曲度超过预定值，则标记为残次品，并进行回收处理。

如图 1-2 所示，步骤 S1 中大头端的圆柱孔中布置的八个高精度位移传感器都与 X 轴或 Y 轴呈 45° 夹角；而小头端的圆柱孔中布置的八个高精度位移传感器则平行于 X 轴或 Y 轴。

以标定连杆的大头端为例，如图 3 所示，步骤 S2 中连杆标准件中大头端圆柱孔的半径为 R_0 ，

$$R_0 = d_0 + D \quad (1)$$

式中 D 为未检测状态下大头端之内的测头与大头端的中心之间的原始距离，标定时测头将会产生一段位移，该位移量为 d_0 ；对连杆标准件进行标定时，未检测状态下各个测头与大头端的中心之间的原始距离都应为 D ，各个测头的位移量也都应为 d_0 。

同理，可得出连杆标准件中小头端圆柱孔的半径。

实际使用时，由于同一批加工的连杆偏差通常不会过大，因此，可直接取用 D 接近 R_0 的高精度位移传感器。

如图 4 所示，步骤 S4 对目标连杆的大头端进行测量时，设大头端中测头实际测得的位移量为 d ，则可得该测头与原来连杆标准件大头端轴心所在位置的间距 R 为：

$$R = d + D \quad (2)$$

由 (1) 和 (2) 式，可得：

$$R = d - d_0 + R_0 = \Delta d + R_0 \quad (3)$$

则该测点的坐标为：

$$\begin{cases} x = R \times \cos 45^\circ \\ y = R \times \sin 45^\circ \end{cases} \quad (4)$$

从而可逐一得到 T1-T8 的坐标位置；

同理，可在对目标连杆的小头端进行测量时，根据小头端中各个测头的位移量，可以得出 T9-T16 的坐标位置。

步骤 S5 具体为：

根据最小二乘法拟合出 T1 -T4 所在圆，得到所在圆的圆心 O_1 的坐标 (x_{O_1}, y_{O_1}) ，根据最小二乘法拟合出 T5 -T8 所在圆，得到所在圆的圆心 O_2 的坐标 (x_{O_2}, y_{O_2}) ，计算目标连杆的大头端的轴心在 x ， y 方向上的偏移量分别为：

$$\begin{cases} \Delta x_1' = x_{O_1} - x_{O_2} \\ \Delta y_1' = y_{O_1} - y_{O_2} \end{cases} \quad (5)$$

将其延伸到连杆厚度的范围，结合目标连杆的厚度 C 以及 O_1 、 O_2 在 Z 向上的间距 B ，可以得到目标连杆大头端轴心的总偏移为：

$$\begin{cases} \Delta x_1 = \Delta x_1' \times C / B \\ \Delta y_1 = \Delta y_1' \times C / B \end{cases} \quad (6)$$

同理,可得出 O_3 、 O_4 的坐标,从而得到目标连杆的小头端的轴心 x , y 方向上的偏移量 Δx_2 、 Δy_2 ;

最后,根据连杆弯曲度和扭曲度的定义可以求得连杆的弯曲度和扭曲度分别为:

$$\begin{cases} \text{弯曲度} = |\Delta x_1 - \Delta x_2| \times 100 \div S \\ \text{扭曲度} = |\Delta y_1 - \Delta y_2| \times 100 \div S \end{cases} \quad (7)$$

式中 S 为目标连杆大头端与小头端的中心距。

如图 6 所示,步骤 S6.2 具体为:设连杆的定位面为 ac ,其中 ab 、 fd 等于大头端圆柱孔的半径 r , af 、 cd 为连杆厚度 h ,设该方向测头测得的连杆厚度偏差为 Δh ,则根据三角形相似原理,可以知道三角形 abc 和三角形 cde ,即 Δabc 和 Δcde 相似,可以得到:

$$\frac{ab}{dc} = \frac{bc}{de}, \quad \frac{r}{h - \Delta h} = \frac{\Delta h}{de}$$

$$de = (h \cdot \Delta h - \Delta h^2) / r \quad (8)$$

$$\frac{ec}{ca} = \frac{dc}{ba}, \quad \frac{ec}{\sqrt{r^2 + \Delta h^2}} = \frac{h - \Delta h}{r}$$

$$ec = (h - \Delta h) \sqrt{r^2 + \Delta h^2} / r \quad (9)$$

同理,由三角形 cde 、三角形 $ckT5$ 、三角形 $cgT1$,即 Δcde 、 $\Delta ckT5$ 、 $\Delta cgT1$ 相似,可以得到

$$\frac{T_1g}{de} = \frac{T_1c}{ec}, \quad \frac{T_5k}{de} = \frac{T_5c}{ec}$$

其中, T_1c 、 T_5c 为连杆大头端测头离定位面确定的距离,设其长度为 $T_1c=h_1$, $T_5c=h_2$ 。由式(8)、(9),代入得到由于连杆厚度误差造成测头 $T1$ 和 $T5$ 方向上的测量偏差 Δd_1 、 Δd_5

$$\Delta d_1 = T_1g = \frac{h_1 \Delta h}{\sqrt{r^2 + \Delta h^2}} \quad (10)$$

$$\Delta d_5 = T_5k = \frac{h_2 \Delta h}{\sqrt{r^2 + \Delta h^2}} \quad (11)$$

同理可以计算得到其他各个测头方向上的测量偏差,将该结果与采集到的测头数据

进行补偿，最终，得到补偿后的弯曲度和扭曲度，可以很好的减小连杆的厚度偏差所带来的预期之外的数据采集偏差。

本发明具体实施途径很多，以上所述仅是本发明的优选实施方式，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以作出若干改进，这些改进也应视为本发明的保护范围。

权利要求书

1、一种连杆弯曲度和扭曲度的高精度测量方法，其特征在于，所述连杆具有大端头和小端头，所述大头端以及小头端中均开设有圆柱孔，包括如下步骤：

S1、布置测头：取连杆标准件，在连杆标准件的大头端以及小头端布置高精度位移传感器；

S2、获取测头坐标：对连杆标准件进行标定，获得测头的位移零点，进行标定时，测头将会产生一段位移，根据位移量可以得到连杆标准件中大头端圆柱孔的半径以及小头端圆柱孔的半径；

S3、建立坐标系：以连杆标准件中大头端圆柱孔的中心 O 为坐标原点，连杆标准件的长度方向为 X 轴，连杆标准件中大头端圆柱孔的轴向为 Z 轴，垂直于 XOZ 平面的为 Y 轴，建立坐标系；

S4、测量目标连杆：使得所有高精度位移传感器的位置保持不变，移除连杆标准件，放上目标连杆，使得目标连杆的大头端以及小头端之内分别具有八个测点，进行测量，同样，测头将会产生一端位移，此时，可计算获得各个测点所处的坐标位置；

S5、计算目标连杆的弯曲度和扭曲度：

S5.1、得到 T1 -T4 的坐标之后，基于最小二乘法可拟合出 T1 -T4 所在圆的圆心 O_1 的坐标，同理，可得出 T5 -T8 所在圆的圆心 O_2 的坐标、T9 -T12 所在圆的圆心 O_3 的坐标、T13 -T16 所在圆的圆心 O_4 的坐标；

S5.2、根据 O_1 、 O_2 、 O_3 、 O_4 在 X 方向以及 Y 方向上的总偏移量求得连杆的弯曲度和扭曲度；

S6、厚度偏差补偿：

S6.1、在目标连杆的大头端之外布置四个竖直设置的高精度位移传感器，并取压板压住目标连杆大头端的顶面，使得压板的底面上具有四个测点，分别为 T17-T20；

S6.2、根据 T17-T20 的位移量以及初始高度得出目标连杆的厚度，从而得到厚度偏差数据，将厚度偏差数据代入步骤 S4 进行补偿，最终，得到补偿后的弯曲度和扭曲度。

2、根据权利要求 1 所述的一种连杆弯曲度和扭曲度的高精度测量方法，其特征在于，步骤 S1 具体为：

S1.1、在大头端的圆柱孔中布置八个水平设置的高精度位移传感器，使得大头端的圆柱孔中具有八个测点，分别为 T1 -T8；

T1 -T4 同处于一个水平面上，T5 -T8 同处于另一个水平面上，这两个水平面沿大头

端圆柱孔的中心上下对称；

S1.2、在小头端的圆柱孔中也布置八个水平设置的高精度位移传感器，使得小头端的圆柱孔中具有八个测点，分别为 T9 –T16；

T9 –T12 同处于一个水平面上，T13 –T16 同处于另一个水平面上，这两个水平面沿小头端圆柱孔的中心上下对称；

步骤 S1 中大头端的圆柱孔中布置的八个高精度位移传感器都与 X 轴或 Y 轴呈 45° 夹角；而小头端的圆柱孔中布置的八个高精度位移传感器则平行于 X 轴或 Y 轴。

3、根据权利要求 1 所述的一种连杆弯曲度和扭曲度的高精度测量方法，其特征在于，以标定连杆的大头端为例，步骤 S2 中连杆标准件中大头端圆柱孔的半径为 R_0 ，

$$R_0 = d_0 + D \quad (1)$$

式中 D 为未检测状态下大头端之内的测头与大头端的中心之间的原始距离，标定时测头将会产生一段位移，该位移量为 d_0 ；

同理，可得出连杆标准件中小头端圆柱孔的半径。

4、根据权利要求 3 所述的一种连杆弯曲度和扭曲度的高精度测量方法，其特征在于，步骤 S4 对目标连杆的大头端进行测量时，设大头端中测头实际测得的位移量为 d ，则可得该测头与原来连杆标准件大头端轴心所在位置的间距 R 为：

$$R = d + D \quad (2)$$

由 (1) 和 (2) 式，可得：

$$R = d - d_0 + R_0 = \Delta d + R_0 \quad (3)$$

则该测点的坐标为：

$$\begin{cases} x = R \times \cos 45^\circ \\ y = R \times \sin 45^\circ \end{cases} \quad (4)$$

从而可逐一得到 T1-T8 的坐标位置；

同理，可在对目标连杆的小头端进行测量时，根据小头端中各个测头的位移量，可以得出 T9-T16 的坐标位置。

5、根据权利要求 3 所述的一种连杆弯曲度和扭曲度的高精度测量方法，其特征在于，步骤 S5 具体为：

根据最小二乘法拟合出 T1 -T4 所在圆，得到所在圆的圆心 O_1 的坐标 (x_{o_1}, y_{o_1}) ，根据最小二乘法拟合出 T5 –T8 所在圆，得到所在圆的圆心 O_2 的坐标 (x_{o_2}, y_{o_2}) ，计算

目标连杆的大头端的轴心在 x , y 方向上的偏移量分别为:

$$\begin{cases} \Delta x_1' = x_{O_1} - x_{O_2} \\ \Delta y_1' = y_{O_1} - y_{O_2} \end{cases} \quad (5)$$

将其延伸到连杆厚度的范围, 结合目标连杆的厚度 C 以及 O_1 、 O_2 在 Z 向上的间距 B , 可以得到目标连杆大头端轴心的总偏移为:

$$\begin{cases} \Delta x_1 = \Delta x_1' \times C / B \\ \Delta y_1 = \Delta y_1' \times C / B \end{cases} \quad (6)$$

同理, 可得出 O_3 、 O_4 的坐标, 从而得到目标连杆的小头端的轴心 x , y 方向上的偏移量 Δx_2 、 Δy_2 ;

最后, 根据连杆弯曲度和扭曲度的定义可以求得连杆的弯曲度和扭曲度分别为:

$$\begin{cases} \text{弯曲度} = |\Delta x_1 - \Delta x_2| \times 100 \div S \\ \text{扭曲度} = |\Delta y_1 - \Delta y_2| \times 100 \div S \end{cases} \quad (7)$$

式中 S 为目标连杆大头端与小头端的中心距。

6、根据权利要求 1 所述的一种连杆弯曲度和扭曲度的高精度测量方法, 其特征在于, 步骤 S6.2 具体为: 设连杆的定位面为 ac , 其中 ab 、 fd 等于大头端圆柱孔的半径 r , af 、 cd 为连杆厚度 h , 设该方向测头测得的连杆厚度偏差为 Δh , 则根据三角形相似原理, 可以知道 $\triangle abc$ 和 $\triangle cde$ 相似, 可以得到:

$$\frac{ab}{dc} = \frac{bc}{de}, \quad \frac{r}{h - \Delta h} = \frac{\Delta h}{de}$$

$$de = (h \cdot \Delta h - \Delta h^2) / r \quad (8)$$

$$\frac{ec}{ca} = \frac{dc}{ba}, \quad \frac{ec}{\sqrt{r^2 + \Delta h^2}} = \frac{h - \Delta h}{r}$$

$$ec = (h - \Delta h) \sqrt{r^2 + \Delta h^2} / r \quad (9)$$

同理, 由 $\triangle cde$ 、 $\triangle ckt_5$ 、 $\triangle cgt_1$ 相似, 可以得到

$$\frac{T_1g}{de} = \frac{T_1c}{ec}, \quad \frac{T_5k}{de} = \frac{T_5c}{ec}$$

其中, T_1c 、 T_5c 为连杆大头端测头离定位面确定的距离, 设其长度为 $T_1c=h_1$, $T_5c=h_2$ 。

由式 (8)、(9), 代入得到由于连杆厚度误差造成测头 T_1 和 T_5 方向上的测量偏差 Δd_1 、

Δd_5

$$\Delta d_1 = T_1 g = \frac{h_1 \Delta h}{\sqrt{r^2 + \Delta h^2}} \quad (10)$$

$$\Delta d_5 = T_5 k = \frac{h_2 \Delta h}{\sqrt{r^2 + \Delta h^2}} \quad (11)$$

同理可以计算得到其他各个测头方向上的测量偏差，将该结果与采集到的测头数据进行补偿，最终，得到补偿后的弯曲度和扭曲度，可以很好的减小连杆的厚度偏差所带来的预期之外的数据采集偏差。

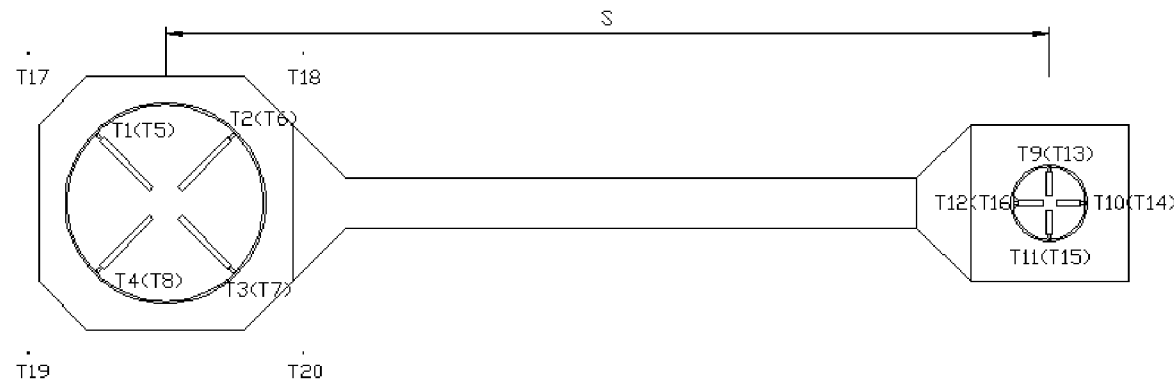


图 1

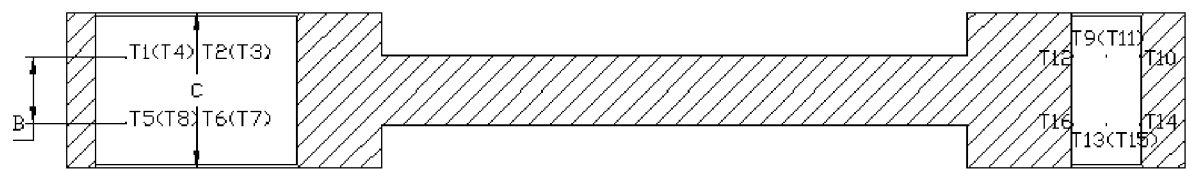


图 2

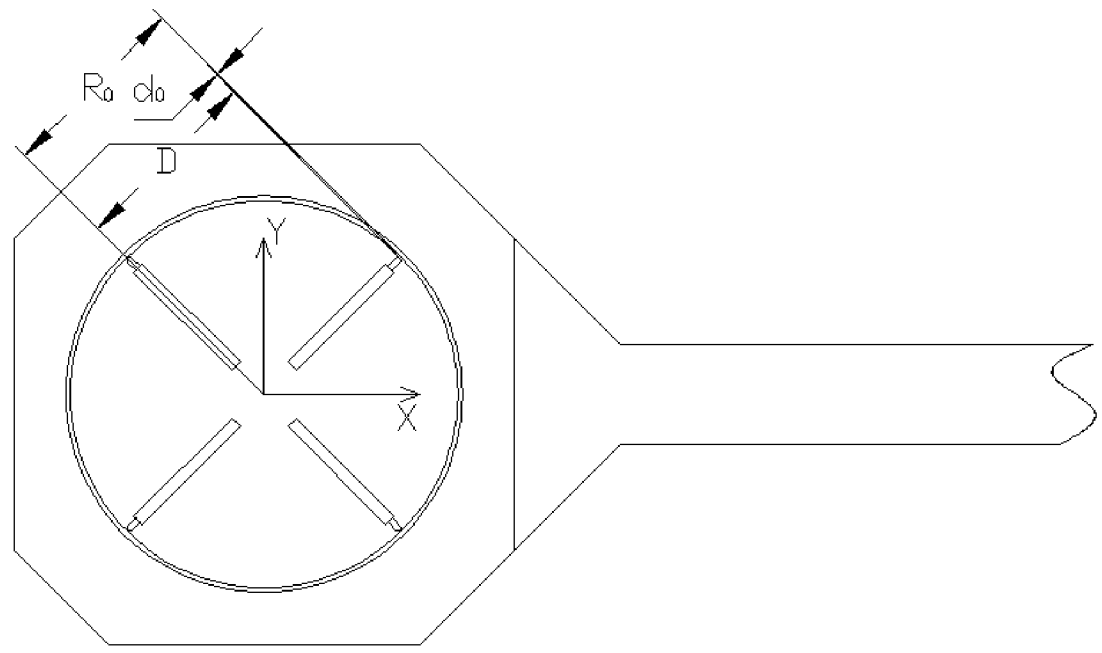


图 3

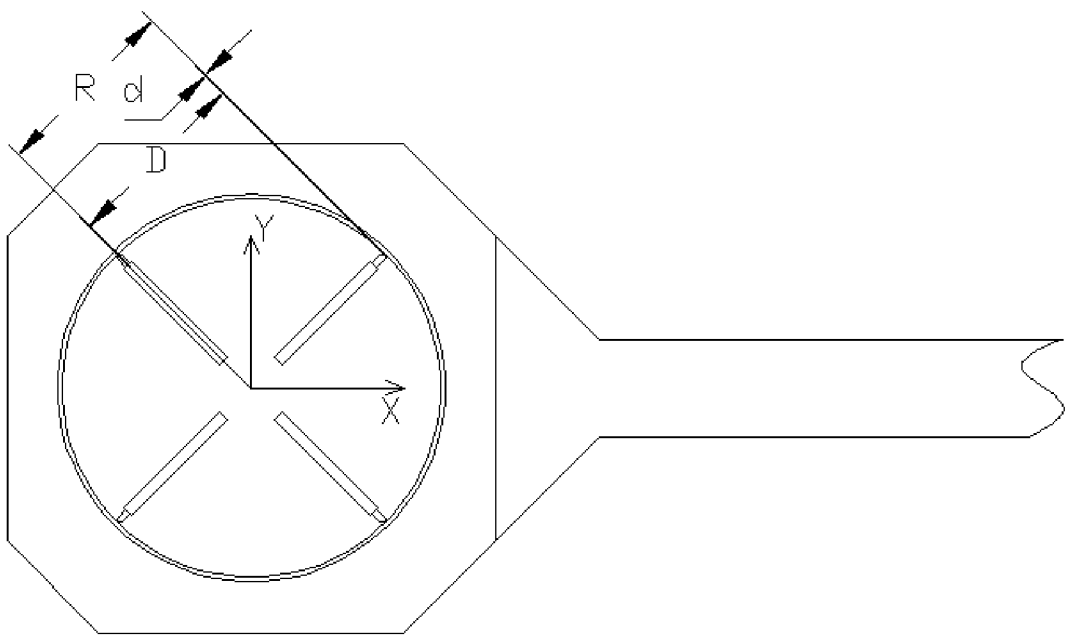


图 4

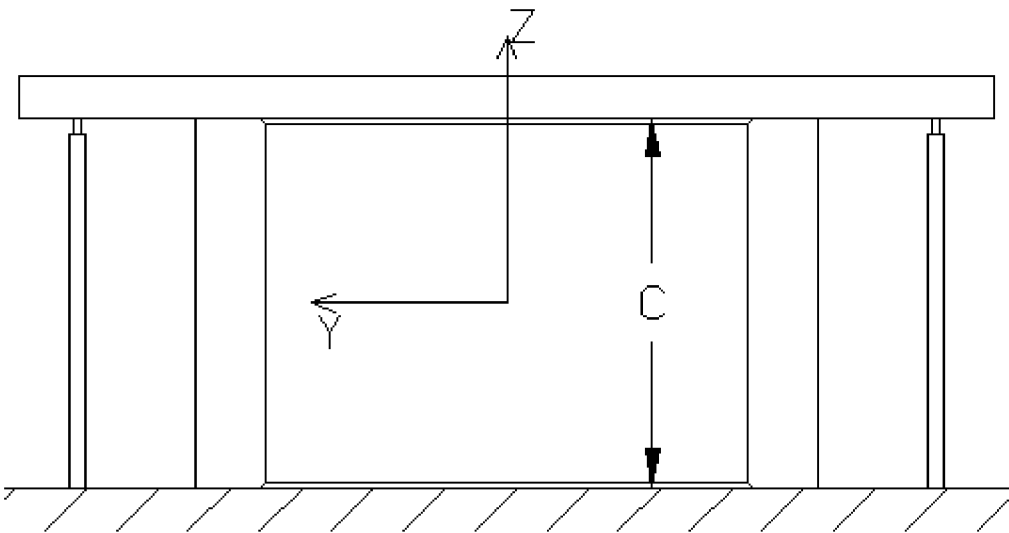


图 5

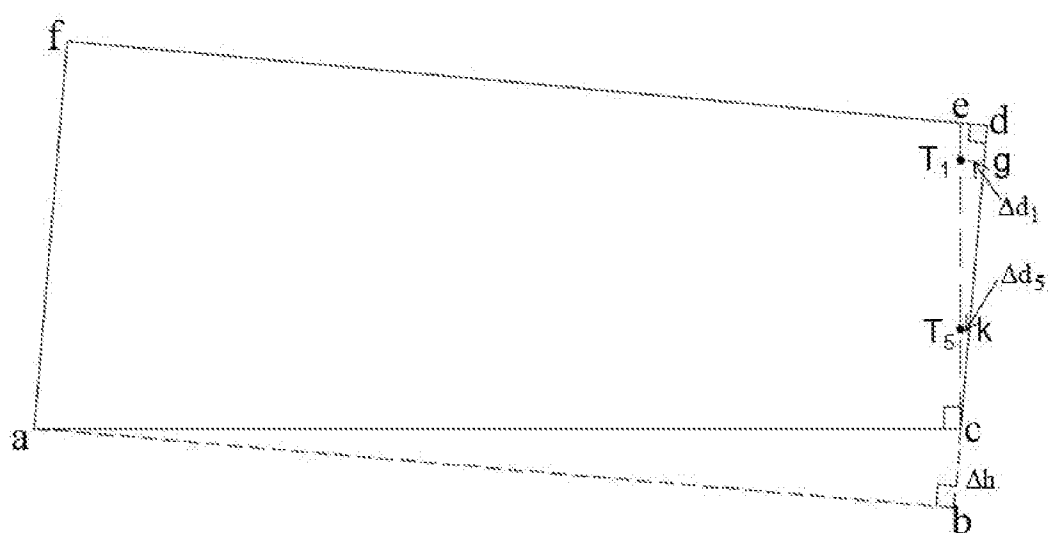


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/089779

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B 7/24(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, VEN, CNKI, DWPI: 连杆, 弯曲度, 扭曲度, 坐标, 偏移, 发动机, 测, 传感器, connect+, rod, sensor, engine, twist, bend, tortuosity, curvature, lvd

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 112344849 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 09 February 2021 (2021-02-09) Claims 1-6	1-6
Y	范草坤 (FAN, Gekun). "发动机连杆综合测量系统 (Integrated Measurement System of Engine Connecting Rod)" 中国优秀硕士学位论文全文数据库信息科技辑 (Information & Technology, China Master's Theses Full-Text Database), No. 10, 15 October 2008 (2008-10-15), ISSN: 1674-0246, PP. 11-16, 23 and 44	1-6
Y	CN 110954044 A (GUANGDONG SIHUI SHILI CONNECTING-ROD CO., LTD.) 03 April 2020 (2020-04-03) description, paragraphs 44-71, figures 1-14	1-6
A	CN 107990805 A (CHANGZHOU CRRC DIESEL ENGINE COMPONENT CO., LTD. et al.) 04 May 2018 (2018-05-04) entire document	1-6
A	CN 110207568 A (QINGLING MOTORS (GROUP) CO., LTD. et al.) 06 September 2019 (2019-09-06) entire document	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 July 2021

Date of mailing of the international search report

28 July 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/089779

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102175208 A (CIVIL AVIATION FLIGHT UNIVERSITY OF CHINA) 07 September 2011 (2011-09-07) entire document	1-6
A	CN 210036535 U (NANYANG HONGYANG VEHICULAR PARTS CO., LTD.) 07 February 2020 (2020-02-07) entire document	1-6
A	CN 108627134 A (DALIAN UNIVERSITY) 09 October 2018 (2018-10-09) entire document	1-6
A	CN 108663009 A (DALIAN UNIVERSITY) 16 October 2018 (2018-10-16) entire document	1-6
A	CN 107246839 A (XI'AN AISHENG TECHNOLOGY GROUP CO., LTD.) 13 October 2017 (2017-10-13) entire document	1-6
A	JP 09159577 A (HONDA MOTOR CO., LTD.) 20 June 1997 (1997-06-20) entire document	1-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/089779

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	112344849	A	09 February 2021	None			
CN	110954044	A	03 April 2020	None			
CN	107990805	A	04 May 2018	CN	107990805	B	29 October 2019
CN	110207568	A	06 September 2019	None			
CN	102175208	A	07 September 2011	CN	102175208	B	25 July 2012
CN	210036535	U	07 February 2020	None			
CN	108627134	A	09 October 2018	None			
CN	108663009	A	16 October 2018	None			
CN	107246839	A	13 October 2017	None			
JP	09159577	A	20 June 1997	JP	H09159577	A	20 June 1997

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/089779

A. 主题的分类 G01B 7/24(2006.01) i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																							
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G01B 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNABS, CNTXT, VEN, CNKI, DWPI: 连杆, 弯曲度, 扭曲度, 坐标, 偏移, 发动机, 测, 传感器, connect+, rod, sensor, engine, twist, bend, tortuosity, curvature, lvd																							
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 112344849 A (南京航空航天大学) 2021年 2月 9日 (2021 - 02 - 09) 权利要求1-6</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>范革坤. "发动机连杆综合测量系统" 中国优秀硕士学位论文全文数据库信息科技辑, 第10期, 2008年 10月 15日 (2008 - 10 - 15), ISSN: 1674-0246, 第11-16, 23, 44页</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 110954044 A (广东四会实力连杆有限公司) 2020年 4月 3日 (2020 - 04 - 03) 说明书第44-71段, 附图1-14</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107990805 A (常州中车柴油机零部件有限公司等) 2018年 5月 4日 (2018 - 05 - 04) 全文</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 110207568 A (庆铃汽车集团有限公司等) 2019年 9月 6日 (2019 - 09 - 06) 全文</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102175208 A (中国民用航空飞行学院) 2011年 9月 7日 (2011 - 09 - 07) 全文</td> <td>1-6</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 112344849 A (南京航空航天大学) 2021年 2月 9日 (2021 - 02 - 09) 权利要求1-6	1-6	Y	范革坤. "发动机连杆综合测量系统" 中国优秀硕士学位论文全文数据库信息科技辑, 第10期, 2008年 10月 15日 (2008 - 10 - 15), ISSN: 1674-0246, 第11-16, 23, 44页	1-6	Y	CN 110954044 A (广东四会实力连杆有限公司) 2020年 4月 3日 (2020 - 04 - 03) 说明书第44-71段, 附图1-14	1-6	A	CN 107990805 A (常州中车柴油机零部件有限公司等) 2018年 5月 4日 (2018 - 05 - 04) 全文	1-6	A	CN 110207568 A (庆铃汽车集团有限公司等) 2019年 9月 6日 (2019 - 09 - 06) 全文	1-6	A	CN 102175208 A (中国民用航空飞行学院) 2011年 9月 7日 (2011 - 09 - 07) 全文	1-6
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
PX	CN 112344849 A (南京航空航天大学) 2021年 2月 9日 (2021 - 02 - 09) 权利要求1-6	1-6																					
Y	范革坤. "发动机连杆综合测量系统" 中国优秀硕士学位论文全文数据库信息科技辑, 第10期, 2008年 10月 15日 (2008 - 10 - 15), ISSN: 1674-0246, 第11-16, 23, 44页	1-6																					
Y	CN 110954044 A (广东四会实力连杆有限公司) 2020年 4月 3日 (2020 - 04 - 03) 说明书第44-71段, 附图1-14	1-6																					
A	CN 107990805 A (常州中车柴油机零部件有限公司等) 2018年 5月 4日 (2018 - 05 - 04) 全文	1-6																					
A	CN 110207568 A (庆铃汽车集团有限公司等) 2019年 9月 6日 (2019 - 09 - 06) 全文	1-6																					
A	CN 102175208 A (中国民用航空飞行学院) 2011年 9月 7日 (2011 - 09 - 07) 全文	1-6																					
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																							
<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> * 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 </td> <td style="vertical-align: top;"> "T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件 </td> </tr> </table>			* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	"T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件																			
* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	"T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件																						
国际检索实际完成的日期 2021年 7月 22日		国际检索报告邮寄日期 2021年 7月 28日																					
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 王蕾 电话号码 (86-10) 62085734																					

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 210036535 U (南阳市红阳车用配件有限公司) 2020年 2月 7日 (2020 - 02 - 07) 全文	1-6
A	CN 108627134 A (大连大学) 2018年 10月 9日 (2018 - 10 - 09) 全文	1-6
A	CN 108663009 A (大连大学) 2018年 10月 16日 (2018 - 10 - 16) 全文	1-6
A	CN 107246839 A (西安爱生技术集团公司等) 2017年 10月 13日 (2017 - 10 - 13) 全文	1-6
A	JP 09159577 A (HONDA MOTOR CO LTD) 1997年 6月 20日 (1997 - 06 - 20) 全文	1-6

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/089779

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	112344849	A	2021年 2月 9日	无	
CN	110954044	A	2020年 4月 3日	无	
CN	107990805	A	2018年 5月 4日	CN 107990805	B 2019年 10月 29日
CN	110207568	A	2019年 9月 6日	无	
CN	102175208	A	2011年 9月 7日	CN 102175208	B 2012年 7月 25日
CN	210036535	U	2020年 2月 7日	无	
CN	108627134	A	2018年 10月 9日	无	
CN	108663009	A	2018年 10月 16日	无	
CN	107246839	A	2017年 10月 13日	无	
JP	09159577	A	1997年 6月 20日	JP H09159577	A 1997年 6月 20日