

根据连杆的工艺设计要求，结合目前通用的线边检测方式，提出了一种通过扫描方式测量连杆参数的技术，设计测量算法模型，建立空间坐标系，实现对连杆的大头和小头内孔的扫描式测量。

□ 光力科技有限公司 吕鹏
□ 天润工业技术股份有限公司 宋华涛

一种扫描方式测量连杆参数的技术研究

连杆作为发动机中一项重要的组成零部件，其加工的尺寸精度较高，控制加工过程的质量尤为重要。连杆是一种批量生产的标准工件，主要精度集中在大头孔、小头孔及上下两端面，主要控制尺寸参数为：大小头内孔直径、圆度、圆柱度、垂直度、大小头内孔中心距、弯曲扭曲、大头厚度及小头厚度等。目前使用比较普遍的测量方式是在大小头内孔布置两层测点，每层是正交的 4 个测点，即通过 4 点式测量方式进行计算，此种方式可以满足现场使用，但是存在一定的风险，即测点数量较少，只能测量截面内固定四个角度的值，而其余位置存在风险。本文提出一种动态扫描式的测量方式，即通过两套高精度旋转系统，对大小头内孔的 2 个截面进行 360° 的全方位测量，采点数量增多，可对工件内孔进行更精密的测量。

扫描方式测量的模型

1. 连杆模型

连杆模型如图 1 所示，工件的主要加工部位为大小头内孔和上下两端面，主要检测尺寸如图 2 ~ 图 4 所示。

2. 测量装置模型

大小头内孔各配置一个传感器，分别进行 360°

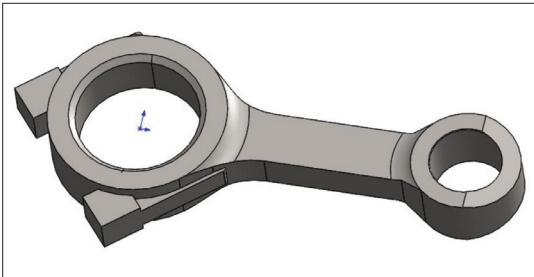


图 1 连杆模型

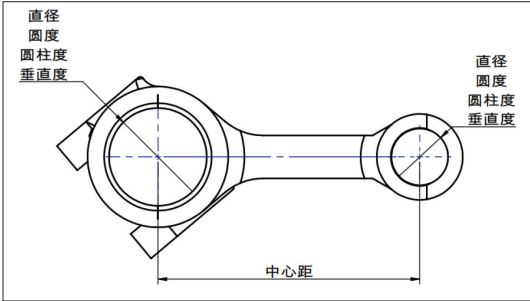


图 2 大小头内孔

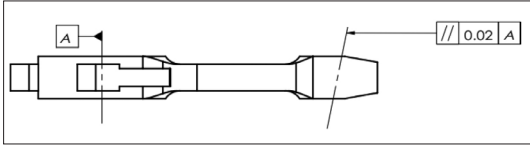


图 3 检测尺寸（弯曲）

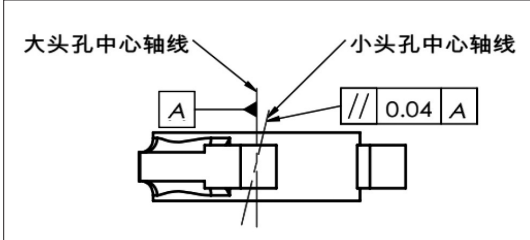


图 4 检测尺寸（扭曲）

的旋转（图 5），对内孔进行扫描式测量，即大小头内孔的动态扫描截面上，分别建立两个极坐标系 X、Y。工件采用一面两销的方式定位，由设计的高精度升降机构带动工件在 Z 向上下运动，实现对内孔的两个或者多个截面的测量，升降的 Z 向坐标系与 X—Y 截面有垂直度要求。

如图 6 所示，工件放入定位工装后，压紧气缸快速压紧，同样采用一面两销的方式定位，定位面根据连杆工艺为大头基准面，定位完成后，升降伺服电动机启动，带动工件在 Z 向向下运动，停至设

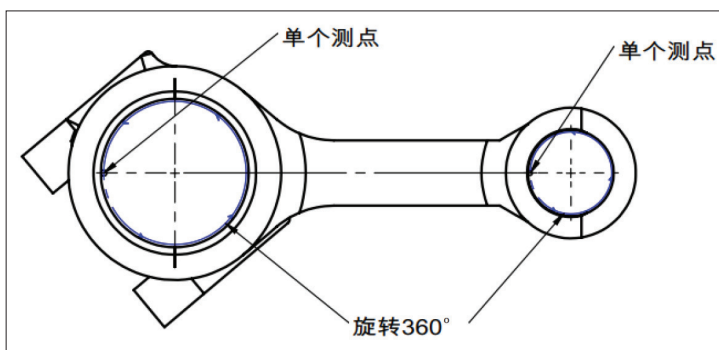


图5 测点布置图

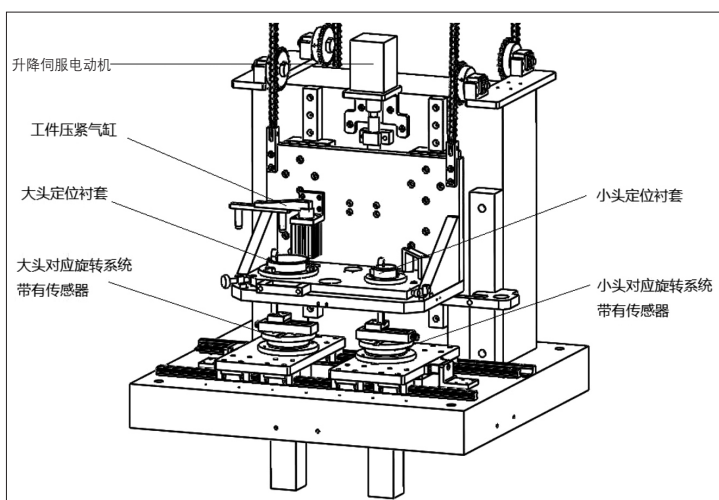


图6 测量装置模型

置好的第一截面位置，此时，传感器测头已接触到工件内壁，大小头内孔对应的旋转系统同时进行 360° 旋转采样，然后升降伺服电动机继续带动工件在 Z 向继续下降，停至第二截面位置，旋转系统同样进行采样动作，采样完成后，两个旋转系统回到零位， Z 向伺服电动机带动工件也回到零位，软件将采样值代入算法，得出综合的测量结果。

3. 测量原理概述

该测量方式采用传统的对比测量方式，设计和工件尺寸相同的校准件来标定传感器。测量之前，先将校准件放置在工位，进行校准操作，自编的测量软件通过设计的校准程序记录下校准的传感器采样值见表1，之后的

工件检测统一和本次的校准采样值进行比较，通过算法计算出相应的测量项目结果，以直径测量为例：

假设校准件的直径标定值为 58.000 （检测中心鉴定），则工件的直径计算如下：

$$\phi d = \phi D + [(B_1 + B_2 + B_3 + \dots + B_{360}) - (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_{360})] \times K / 180 \quad (1)$$

式中， ϕD 为校准件直径， ϕd 为工件直径； B 为校准件采样值； A 为工件采样值； K 为传感器的出厂放大系数。

表1 工件与校准件采样值（截面取360个采样点）

序号	1	2	3		357	358	359	360
校准件	4 000	4 001	4 002		4 002	4 005	4 007	4 000
工件	3 580	3 588	3 587		3 588	3 590	3 582	3 580

算法模型的介绍

1. 形状尺寸的计算方式

如测量原理中所述，形状尺寸的测量，全部依据对比测量的方式进行计算，此时需要一个基准值，即校准件的鉴定值，所以校准件是此测量装置中不可缺少的一个重要工具。

在形状尺寸中直径可直接应用原始的采样值进行计算，就可得出工件的实际尺寸，而中心距的计算，涉及大小头内孔的圆心坐标的计算。圆心坐标的计算在此模型中是至关重要的一项，因为此项计算在位置尺寸的算法中也会频繁用到。

根据以上的模型介绍，可以看出大小头内孔的测量都是在极坐标系内完成的，需要进行坐标的转换，即将大小头内孔的极坐标系中的坐标转换成直角坐标系的坐标。通过编码器和传感器，采集旋转过程中的角度值和传感器采样值，分别为 θ 和 A ，采集到的360个点的极坐标为 (A_n, θ_n) ，则转换成直角坐标系 $(A_n \times \cos \theta_n, A_n \times \sin \theta_n)$ 。坐标转换以后，再将直角坐标代入最小二乘公式计算拟合圆心坐标 (AX, AY) ，两个测量截面的圆心坐标都按照此方式计算，因为计算工件的中心距尺寸，采用对比测量。

同理，校准件的圆心坐标也按照此方式求解，得出 $(AX_{校}, AY_{校})$ 。通过计算工件大头内孔圆心的 X 坐标与校准件的 X 坐标的差值 ΔX_1 ，小头内孔圆心与校准件的 X 坐标之差 ΔX_2 ，则得到工件中心距 L ：

$$L = L_{校} + \Delta X_1 + \Delta X_2 + L_{补} \quad (2)$$

式中, $L_{补}$ 为中心距的补偿值 (经验值)。

2. 位置尺寸的计算方式

除中心距外, 需要用到圆心坐标的测量项目还包括弯曲、扭曲及垂直度, 下面以弯曲的计算举例介绍。弯曲是指工件大头中心轴线与小头中心轴线在中心连线方向的平行度 (本文将中心连线方向定义为 X 方向)。所以, 要想计算弯曲度, 首先需要计算出大小头内孔中心轴线在 X 方向的倾斜度 (厚度方向的距离暂定为两个测量界面之间的距离)。大头中心轴线在 X 方向倾斜度 $AX_{大}$: 第一层截面的圆心坐标 (AX_1, AY_2); 第二层截面的圆心坐标 (AX_2, AY_2)。

$$AX_{大}=AX_1-AX_2 \quad (3)$$

同理, 小头中心轴线 X 方向的倾斜度 $BX_{小}$: 第一层截面的圆心坐标 (BX_1, BY_1); 第二层截面的圆心坐标 (BX_2, BY_2)。

$$BX_{小}=BX_1-BX_2 \quad (4)$$

本文中的弯曲在高度方向定义为两个测量截面之间的间距 h , 实际中根据连杆工艺要求, 弯曲扭曲度一般是指在厚度距离 H 内或者在 100 mm 的高度内的平行度, 一般会再乘以一个放大系数 K , $K=H/h$, 或者 $K=100/h$, 则得到工件的弯曲度:

$$Mf=|AX_{大} \times BX_{小}| \times K \quad (5)$$

同理, 工件的扭曲度根据同样的方法计算大头和小头中心轴线在 Y 方向 (垂直大小头内孔中心连线方向) 的平行度即可, 而垂直度则是计算出内孔的 X 、 Y 两个方向的倾斜度后, 根据勾股定理, 可以计算得出两个内孔各自相对基准面的垂直度。

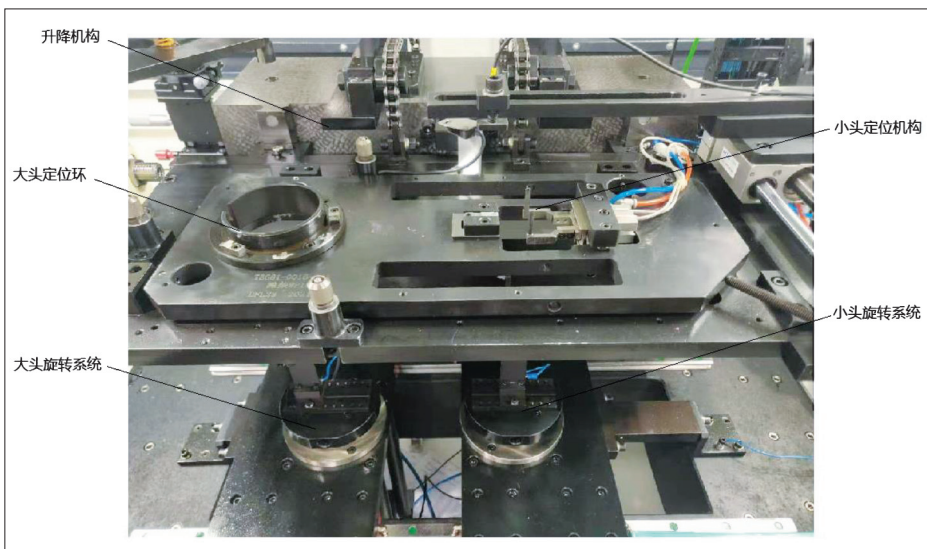


图 7 搭建样机进行测试

实验测试

根据以上原理, 搭建样机进行测试 (图 7), 连杆测量仪的验收标准分为两项: 一是设备的稳定性, 即重复性 GRR 指标小于 10%; 另一项是准确性, 即设备的测量结果与三坐标 (更高级精度的仪器) 的测量结果进行对比, 两者之差要小于公差 的 10%。

为了满足采样精度, 实验中采用的圆光栅采用绝对值多线圈的型号, 传感器采用 Solartron 品牌的 DM/0.5/S 型号的微型传感器, 传感器精度 0.1 μm , 量程 0.5 mm, 根据测量行业的十分之一的原则, 工件公差最小的是 5 ~ 8 μm , 此精度的传感器, 可以满足测量要求, 另外, 对于旋转系统, 同样需要高精度轴承, 采用气浮式回转轴承, 回转精度在 0.1 μm 以内。

按照 GRR 测试要求, 3 个操作者, 准备 10 根工件, 总共测试 90 个数据, 得出测试结果, 所有测量项目中, 只有圆柱度超出 10%, 结果为 11%, 其余测量项目, GRR 结果均在 10% 以

内, 证明此种方式的稳定性很高, 同时, 将实验台的测试数据与三坐标的数据进行对比, 结果也可以达到要求。

通过以上可知, 此种旋转扫描方式的检测方式, 相对传统 4 点测量方式, 稳定性和准确性提升了很多。同时, 此种方式经过优化设计后, 柔性化更高, 换产方便快捷, 兼容的产品更广泛, 具有显而易见的优势。

结束语

本文提出的扫描方式测量连杆的方法, 在测量精度和测量柔性化方向, 具有很强的优势, 其稳定性和可靠性可以帮助企业很好地控制零件的生产质量, 同时, 其潜在的柔性化机构, 也可以帮助企业降低部分成本, 另外, 此种方式还可拓展应用在其他零部件的检测上, 比如变速器壳体, 发动机箱体等工件, 具有很广阔的发展前景。AI