

■ 神龙汽车有限公司/叶宗茂

缸盖气门阀座跳动 三坐标测量

发动机缸盖气门阀座的加工是整个缸盖切削加工的关键工序，其加工精度的高低直接影响发动机的输出功率、油耗等重要指标，因此，缸盖作为汽车发动机核心的零部件之一，几乎是所有的发动机厂家必选的自制零件。产品对缸盖阀座加工过程中的阀座的角度、圆度、跳动及位置等几何量参数规定了严格的公差范围，生产工艺必须满足产品的要求，才能规避质量风险，避免发动机退返，提高企业的核心竞争力。

问题的提出

由于缸盖气门阀座和导管加工部位的特殊性以及生产节拍的需要，一些发动机厂对缸盖气门阀座和气门导管的加工质量目前达不到100%在线检查，多数发动机制造企业主要依靠先进制造工艺来保证。如采用特殊材料的专用复合刀具一次定位加工阀座和导管，在冷却方式、切削参数等影响因素上进行优化控制来满足阀座和导管的加工质量。阀座加工质量的过程控制采用线下抽检的方式来验证，抽检频次最高的质量项目之一为气门阀座锥面对导管孔的跳动，因为跳动可以综合控制阀座密封带的圆度误差和相对导管孔的位置误差。由于跳动检测方法直观，成本低廉，很容易通过专用夹具实现，普及率很高，几乎每一个生产缸盖的发动机制造企业都配置了阀座跳动检具，因此该项检测技术发展很快，其主要形式有机械式、气动式、电感式等。从检测技术的角度分析，这些检具的

测量原理基本相同，无大的区别，但是由于检具本身的制造精度、分辨率、数据处理方式存在差别，作为发动机主机厂用户，如何来验证这些不同形式的跳动检具的测量不确定度？当这些检具出现故障后，检测部门如何设计迂回测量方案来保证车间生产？

针对以上两个问题，大多数发动机制造企业采用的是三坐标测量方案，但如何正确选择三坐标类型，如何正确设计测量方案，如何科学地开发测量程序、合理地选用测量参数、正确处理测量结果，只有这些问题都处理好了才能保证三坐标测量缸盖阀座跳动的不确定度小于这些专用检具，才能满足产品的测量要求，才能用来验收阀座跳动专用测量检具，才能作为阀座跳动测量检具的备份用于过程质量监控，才能作为产品全尺寸检测的工具。

三坐标测量设备的选择及测量阀座跳动方案的选择

最初我们选用精度为 $(1.9+4L/1\ 000)$ mm、步距为 7.5° 的海克斯康Global advantage 09.15.08型桥式三坐标，配置PH10M触发式测头，在测量阀座跳动和圆度时，由于设备采样点数有限，加上阀座与基准轴线成一定的角度，该角度不是三坐标分度数的整数倍，很难采在正截面上，又由于阀座是锥角为 90° 的内锥面，再加上密封带比较窄，因此测量误差比较大，不能满足产品的测量需求及专用检具验收的需要。

为了满足我公司新型发动机EP6缸盖进排气阀座圆度与跳动的测量需求,我们选择了分辨率为0.1mm,测量最大允许示值误差MPEE为 $(1.4+3.0L/1000)$ mm,最大允许探测误差MPEP为1.4mm的海克斯康Global silver advantage 09.15.08型桥式三坐标,该设备配置了LSP-X5三维扫描测头、功能强大的2010版PC-DMIS软件处理功能及如图1所示的专用测量支架。通过合理的探针组合,科学的导管阀座孔扫描测量处理原则,正确地选择扫描参数,滤波器特征构造的灵活应用及测量数据的正确赋值等方法,保证三坐标测量缸盖阀座跳动的不确定度小于专用检具的测量不确定度,满足了产品的测量要求,满足了验收跳动专用检具的需要。下面以EP6缸盖进气阀座跳动的测量为例说明三坐标PC-DMIS软件是如何实现阀座跳动准确测量的。

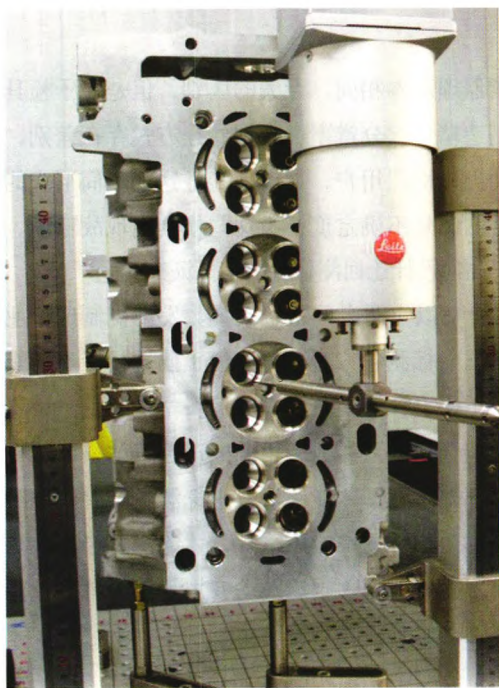


图1 三坐标测量阀座跳动装夹图

三坐标测量阀座跳动的基本原理

三坐标测量阀座跳动原理是首先在导管孔上使用基本扫描,扫描三层圆,然后使用过滤方法构造3个圆,利用构造的3个圆再构造一个圆柱,以此圆柱轴线将作为阀座径向跳动的基准。然后再测量阀座锥面,使用基本扫描圆,测量三层圆,把这三层圆构造成一个圆锥,中间一层扫描尽量扫在阀座中间位置,使用构造的圆锥作为过滤的理论值,阀座上中间量规圆处扫描的那层圆作为过滤对象,输入理论值进行过

滤调整,将所有点沿圆锥母线方向投影,使所有扫描点处于测量的同一高度,消除机器空间定位带来的点的位置波动,把过滤调整后的特征构造成一个圆特征,这就是量规圆。按照过滤参数要求使用高斯过滤,每层截面圆点数大于360点,评价阀座的圆度及阀座量规圆相对导管孔轴线的径向圆跳动值,对阀座量规圆相对导管孔轴线的径向圆跳动值按照阀座锥角 α 的半角 $\alpha/2$ 进行余弦赋值,得出阀座锥面相对导管孔轴线的锥面法向跳动结果。

虽然三坐标测头可以按照阀座锥面法向与工件接触点扫描,但三坐标传感器测量感应的变化量仍为阀座径向方向的变化量,而不是图1所要求的锥面法线方向的跳动变化量,依据几何量测量相关标准,锥面跳动值 $f=L \times \cos \alpha/2$, L 为阀座径向跳动测量结果, α 为阀座锥角。

由于LSP-X5三维扫描测头的探针可完全按导管孔阀座轴线对缸盖基准坐标系的角度进行配置,扫描技术的应用和2010版PC-DMIS测量软件的扩展大幅度提高了阀座跳动测量的精度,降低了测量误差。

三坐标测量缸盖阀座跳动实现过程

1.测量导管、阀座所需测针的组合

针对缸盖阀座导管孔直径小、位置深的特点,合理组合测量探针,EP6发动机缸盖导管直径为5mm,长度45mm,压装在缸盖导管底孔后与缸盖加工基准体系成 16.5° ,如图2所示。

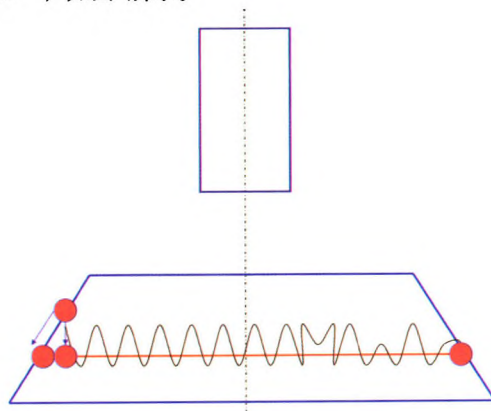


图2 阀座测量示意图

根据缸盖导管孔加工工艺,需要将探针调整成与Y轴正方向成 16.5° ,这样探针在探测导管和阀座孔截面时可沿其轴线方向进入、沿垂直于轴线方向探测,可有效减少探测误差,结合图1三坐标测量缸盖的装夹

放置方式，我们配置了测量导管、阀座所需测针的组合。

2. 导管孔测量处理原则

对于跳动评定的基准——导管孔的测量方式，采用扫描测量或者触发测量两种方式选择都可以，为了保证基准孔测量的准确性，在这里我们使用的测量方式为扫描，filter选择15UPR，测量三层，每层测点数超过360点，这些参数控制圆度，圆柱度将由以上全部点进行计算，并且计算出的圆柱轴线将作为阀座径向跳动的基准。

具体测量步骤：测量范围轴向深度和周向 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ ，测量截面数和每一截面的点数设置，两端各预留5mm长度，即有10mm为非测量长度。

3. 导管孔测量在PC-DMIS中的实现过程

导管孔测量在PC-DMIS中的实现过程如下：

首先在导管孔上使用基本扫描圆扫描三层圆，点密度90点/mm，扫描速度5mm/s。

把扫描的3个圆特征先构造成3个Feature Set。

然后使用过滤方法构造成3个圆。

把构造的3个圆再构造成一个圆柱。

4. 阀座测量处理原则

阀座测量，采用扫描的方式，测量示意如图2所示。具体测量步骤如下：

首先在阀座上使用基本扫描圆测量三层圆，把这三层圆构造成一个圆锥，中间一层扫描尽量扫在阀座中间位置。

其次，使用构造的圆锥作为过滤的理论值，阀座上量规圆处扫描的那层圆作为过滤对象，输入理论值进行过滤调整，将所有点沿圆锥母线方向投影，使所有扫描点处于测量的同一高度，消除机器空间定位带来的点的位置波动。

最后，把过滤调整后的特征构造成一个圆特征，也就是量规圆，按照过滤参数要求使用高斯过滤。

5. 阀座测量在PC-DMIS中实现过程

阀座测量在PC-DMIS中的实现过程如下：

首先关闭测头补偿。

使用基本扫描圆测量三层圆，每层截面圆点数大于360点，并按50频率要求进行过滤。

把这三层圆构造成一个圆锥。由于关闭了测头

补偿，因此在构造圆锥时需注意构造方法和使用理论值。

阀座过滤调整：使用PC-DMIS的Adjust Filter功能，使用构造的圆锥作为Adjust Filter的理论值，阀座上分度圆处扫描的那层圆作为过滤对象，输入理论值进行过滤调整，消除机器空间定位带来的点的位置波动。

把过滤调整后的特征构造成一个圆特征，也就是量规圆，使用高斯过滤。

评价阀座的圆度与径向跳动：阀座的圆度主要是评价阀座量规圆的形状误差，跳动是评价量规圆的形状误差和位置误差的累积。

对阀座量规圆相对导管孔轴线的径向跳动值按照阀座锥角 90° 的半角 45° 进行余弦赋值，采用赋值语句如：赋值/V1808=D162_8.MEAS $\times$ 0.707（注 $\cos 45^{\circ}=0.707$ ）得出的结果即为阀座锥面相对导管孔轴线的锥面法向跳动结果，也是产品所要求的阀座锥面跳动结果。

输出阀座锥面跳动结果。

三坐标测量缸盖阀座跳动结果的验证

1. 三坐标测量缸盖阀座跳动结果与大型圆度仪测量结果的比较

为了验证三坐标测量缸盖阀座跳动结果的准确性，随机抽查了一个EP6缸盖零件，先在三坐标上用我们编制的测量程序将其进气阀座8个孔的跳动测一次，然后再用泰勒圆度仪T450将这个零件进气阀座8个孔的跳动测一次，测量结果对比见附表。

从附表的测量结果对比可以看出：三坐标测量阀座跳动结果与圆度仪测量结果最大差值为 -0.003mm ，与产品公差0.06相比，仅为公差的5%，远小于公差的1/10。按照测量差异公差的1/10法则，两种测量方法的测量结果无显著差异，测量结果都没有离群，但从测量效率上讲，三坐标测量缸盖阀座跳动比圆度仪测量效率高得多，从成本上讲设备价格低得多。

圆度仪测量阀座跳动原理为：首先通过导管孔对工件进行调平调心，然后测量导管孔圆柱，建立基准，再在阀座圆锥面上进行扫描，最后分析计算阀座跳动和圆度，其圆度测量精度可达 0.1mm ，跳动测量精度可达 3mm 。

三坐标测量缸盖阀座跳动结果与大型圆度仪测量结果的比较表 (单位: mm)

EP6缸盖进气阀座跳动名义值								
孔号	1801	1802	1803	1804	1805	1806	807	1808
三坐标结果	0.027 7	0.030 2	0.023 6	0.019 6	0.016 6	0.012 0	0.012 5	0.017 7
圆度仪结果	0.025 2	0.027 6	0.021 2	0.022 4	0.019 2	0.014 6	0.015 5	0.020 5
两者差异Δ	0.002 5	0.002 6	0.002 4	-0.002 8	-0.002 6	-0.002 6	-0.003	-0.002 8

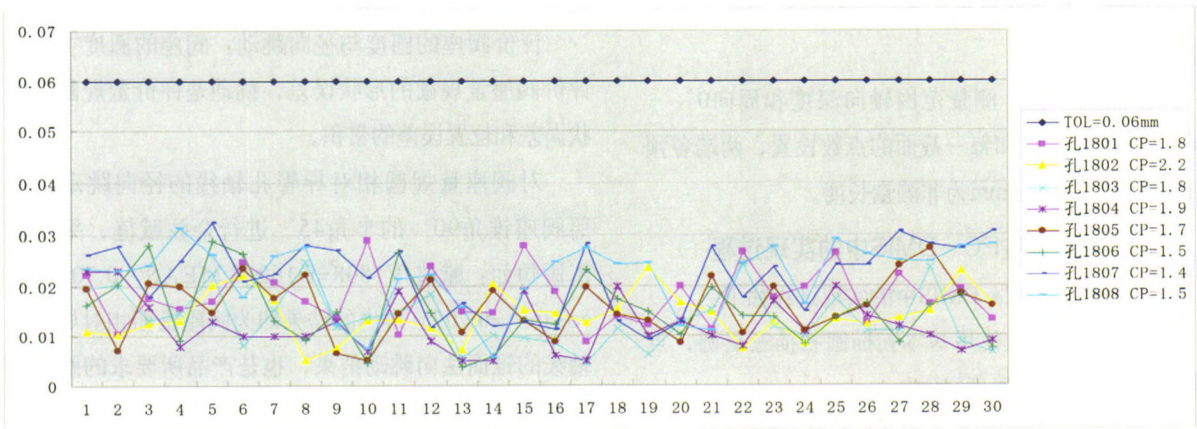


图3 30件EP6缸盖进气阀座跳动三坐标测量结果统计 (单位: mm)

2.三坐标测量连续加工的30件缸盖阀座跳动的一致性比较

用三坐标测量OP260工序连续加工的30件缸盖进气阀座跳动, 测量结果见图3, 计算加工设备工序能力指数 C_p , 8个孔跳动的 C_p 值全部 >1.33 , 说明该工序能力充分, 加工一致性好, 误差分散小, 同时也说明测量系统引起的过程变差小, 进一步验证了这种测量方法和测量程序测量缸盖阀座跳动的不确定度较小, 完全满足该工序测量能力的需要。

3.结论

经过附表和图3的比较验证, 可以得出这样的结论: 无论从测量精度、测量效率、测量可靠性及测量的柔性等方面讲, 三坐标测量缸盖阀座跳动都具有很大的优势, 尤其是最大允许示值误差 $MPEE=(1.4+3.0L/1\ 000)\text{ mm}$, 最大允许探测误差 $MPEP=1.4\text{ mm}$ 的海克斯康Global silver advantage 09.15.08型桥式三坐标, 配以LSP-X5三维扫描测头加上功能强大的2010版PC-DMIS软件处理功能, 通过合理的探针组合、测量路径的科学设计、扫描参数的正确选择、滤波器特征构造的应用及测量数据的正确处

理等方法, 完全可以保证三坐标测量缸盖阀座跳动的不确定度低于专用夹具, 测量速度高于大型圆度仪, 完全可以应用于缸盖阀座跳动检具的验收与质量评估及缸盖阀座加工过程的质量监控和能力值的检测。

结语

随着三坐标测量机扫描技术的发展, 三坐标测量缸盖阀座跳动的精度有了很大的提高, 越来越多的发动机生产企业开始采用带扫描测头的三坐标来测量缸盖阀座跳动, 用于产品全尺寸的测量, 用于验收专用检具, 用于作为阀座跳动测量方案的一个备份。由于其测量结果可靠、稳定性好、性价比高、柔性好等优点, 越来越受到发动机主机厂的广泛青睐, 是将来发动机缸盖阀座跳动检测发展的趋势, 该方法已在发动机行业得到了广泛的应用。

关键词: 阀座跳动 三坐标 测量

(收稿日期20140611)