

发动机气缸体缸孔圆柱度三坐标测量方案

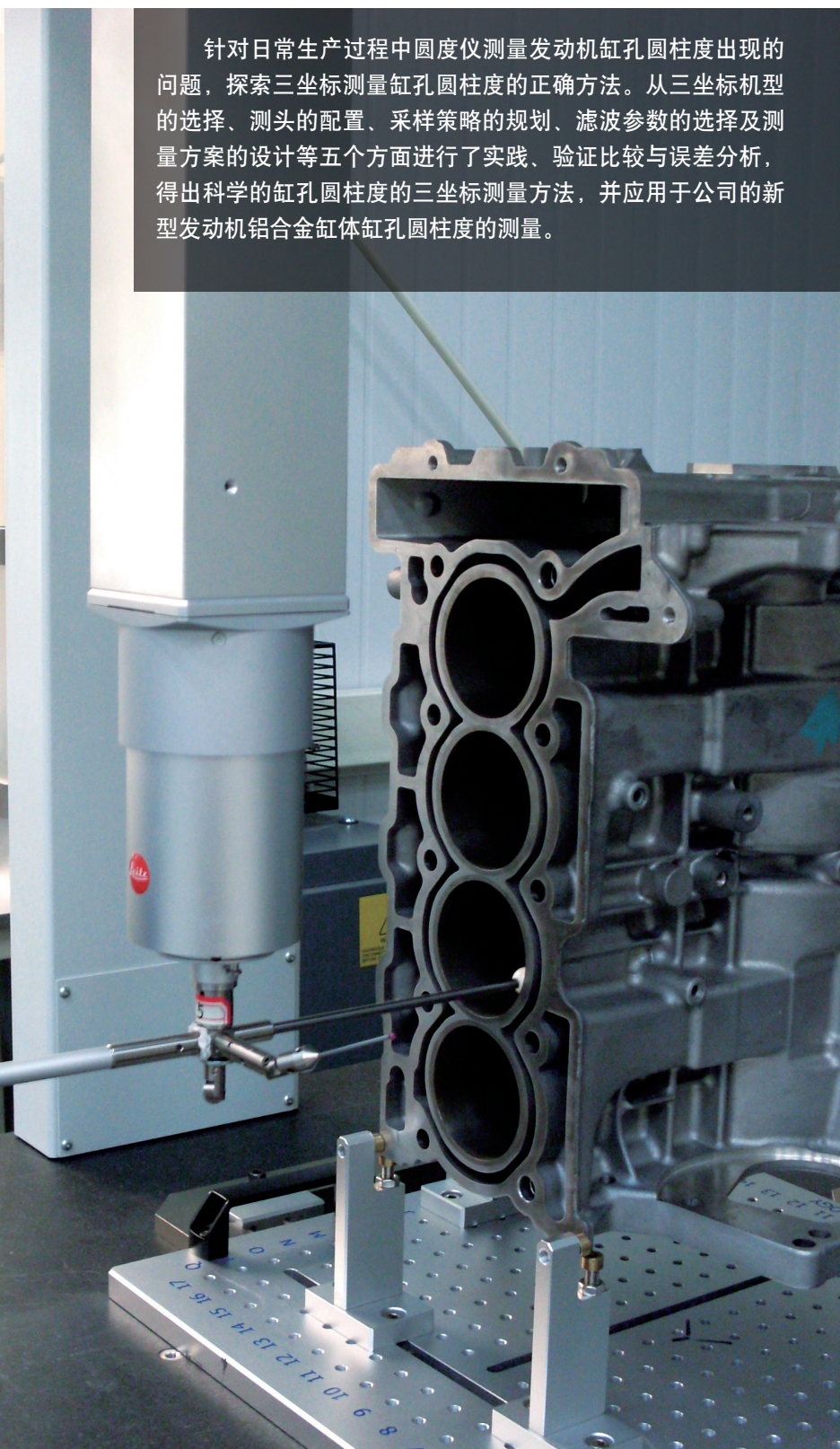
□ 神龙汽车有限公司/叶宗茂

针对日常生产过程中圆度仪测量发动机缸孔圆柱度出现的问题，探索三坐标测量缸孔圆柱度的正确方法。从三坐标机型的选择、测头的配置、采样策略的规划、滤波参数的选择及测量方案的设计等五个方面进行了实践、验证比较与误差分析，得出科学的缸孔圆柱度的三坐标测量方法，并应用于公司的新型发动机铝合金缸体缸孔圆柱度的测量。

气缸体是发动机各个机构和系统的装配基体，是发动机上的一个典型的箱体或壳体类零件，其前后、左右、上下、内外布满了空间孔系，尤其是上半部有若干个为活塞在其中运动导向的圆柱形缸孔。缸孔和活塞环的配合是发动机中最重要的一组摩擦副，由活塞、活塞环和缸孔构成的组件所承担的最大负荷可以达到整个发动机驱动功率的50%。为了提高发动机的工作效率，延长发动机的寿命，减少燃油的消耗，满足日益提高的排放要求，各大汽车制造企业都将缸孔的几何形状精度——缸孔圆柱度列为缸体最重要的一项精度指标来控制，准确检测评定缸孔圆柱度误差不仅为零件的验收提供依据，而且为缸体零件加工精度和装配精度的提高提供可靠的保证。

缸孔圆柱度圆度仪检测方法特点

为了满足缸孔圆柱度的设计精度要求，大多数发动机制造企业纷纷选择用先进的制造工艺来保证，除了对缸孔加工采用粗镗→精镗→粗珩→精珩→平台珩等先进加工工艺外，还在关键设备上配置了主动测量系统，在关键工序上配置了自动化的检测工位，实施100%的缸孔



多方向直径检测与反馈补偿,在精密测量间配置了大型圆度仪用于镗削工序和珩磨工序的缸孔圆柱度的检测与工序质量监控。

圆度仪测量缸孔圆柱度的具体测量步骤为:第一,利用圆度仪自动调心调平功能将缸孔轴线调整与圆度仪主轴轴线平行;第二,分层测量缸孔多个截面的圆度;最后利用测量软件将多个截面的圆度作为一个整体分析得到缸孔圆柱度。

圆度仪测量缸孔圆柱度的优点是测量精度高,理论上径向测量精度可达到 $0.2\mu\text{m}$,轴向测量精度可达到 $0.5\mu\text{m}/100\text{mm}$ 。

但在实际测量过程中,由于受圆度仪轴向导轨直线精度影响,主轴旋转精度的影响,传感器精度的影响,测针、传感器、加长杆与主轴连接的可靠性影响,横臂直线精度的影响,零件清洁度影响,测量环境的影响以及物理找正的影响等多种因素的综合作用,圆度仪测量缸孔圆柱度实际测量精度可能会超过 $2\mu\text{m}$,尤其是物理找正精度会严重影响测量结果的重复性,有时甚至会出现粗大误差,造成测量风险。

另外,圆度仪测量缸孔圆柱度成本高,测量效率低,可靠性差,设备故障率高,不利于缸体大批量生产的质量监控。

缸孔圆柱度三坐标测量探索实践

针对日常生产过程中圆度仪测量缸孔圆柱度出现的问题,除了采取预防性措施来降低圆度仪的测量误差外,还在积极探索三坐标测量缸孔圆柱度的方法,期望能替代圆

度仪用于缸孔圆柱度的检测和质量控制,或者作为缸孔圆柱度检测方案的备份用于过程质量监控,用于产品全尺寸的检测,提高测量效率,降低测量成本。

1.三坐标测量机的选择及零件坐标系的建立

为了满足公司新型发动机铝合金缸体缸孔圆柱度测量的需求,选择的三坐标机型为HEXAGON集团的Global advantage 09.15.08型桥式三坐标,配置了高精度连续扫描测头LEITZ LSP_X5,测量最大允许示值误差MPEE为 $(1.4+3.0L/1000)\mu\text{m}$,最大允许探测误差MPEP为 $1.4\mu\text{m}$,空间扫描误差THP $\leq 2.5\mu\text{m}$,最大承载力为500g,最大加长为500mm。从保证缸孔圆柱度误差的测量精度出发,在配置测针时,遵循大球短杆少连接的配置原则,选择 $\phi 15\text{mm} \times 200\text{mm}$ 的氧化锆测针用来测量缸孔圆柱度误差。

测量坐标系的建立遵循基准统一原则(即测量基准与加工基准一致),采集加工基准F100面和两个定位销孔等三个元素建立图1所示的零件坐标系。

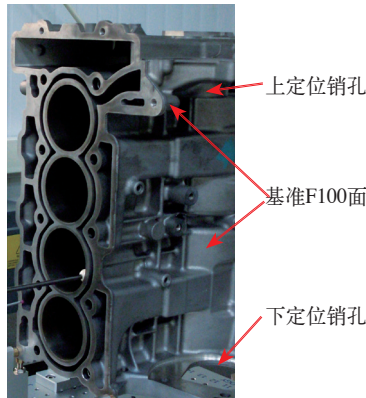


图 1

2.测量方案的设计

为了探索出一种测量误差小、与圆度仪测量结果一致,同时重复性和再现性又好的缸孔圆柱度三坐标测量方法,通过不同的采样策略与不同滤波器的组合,设计了下列6种缸孔圆柱度三坐标测量方案。

方案一:在每个缸孔的圆周截面上使用基本扫描,扫描三层圆,然后使用15UPR的滤波器过滤这3个圆,用过滤后的3个圆再分别构造3个圆,再利用构造的三个圆再构造一个圆柱,评价这个圆柱的圆柱度(见图2)。

方案二:方案二与方案一的差异在于过滤数据用的滤波器的大小不一样,方案二采用的滤波器为50UPR。

方案三:在每个缸孔的圆周截面上使用触测采点,测量三层圆,利用三个圆构造一个圆柱,评价圆柱的圆柱度(见图3)。

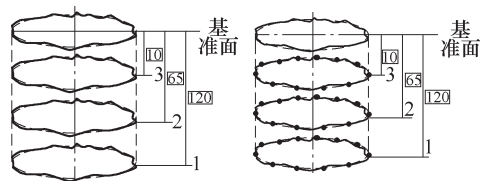


图 2

图 3

方案四:在每个缸孔的圆周上使用基本扫描,扫描一条螺旋线,然后使用50UPR的滤波器过滤这条螺旋线,用过滤后的螺旋线构造圆柱,评价圆柱的圆柱度(见图4)。

方案五:在每个缸孔的圆周上使用基本扫描,扫描四条螺旋线,四条螺旋线的起始点在同一个圆周上相距 90° ,然后使用50UPR的滤波器过滤4条螺旋线,再将经过过滤

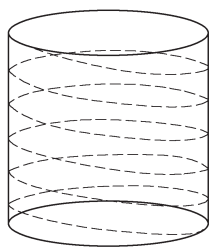


图4 单头螺旋线扫描测量示意

的四条螺旋线构造一个圆柱,评价圆柱的圆柱度(测量示意与图4所示类似)。

方案六:在每个缸孔轴线方向的素线上使用基本扫描,扫描四条直线,四条直线的起始点在同一个圆周上相距 90° ,然后使用15UPR的滤波器过滤四条直线,再将经过过滤的四条直线构造成一个圆柱,评价圆柱的圆柱度(见图5)。

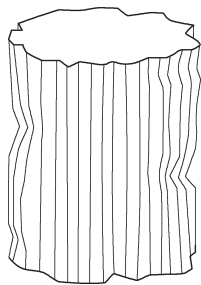


图5 素线扫描测量示意

3.三坐标测量方案与圆度仪测量结果的比较

运用6种检测方案的测量程序分别对同一缸体4个缸孔进行多次重复测量,每次测量对零件进行重新装夹及坐标系的建立,分析、比较每种测量方案的测量结果与圆度仪测量结果的差异,差异小说明该方案测量误差小。

两种测量方案测量结果差异性判定准则:如果两种测量方案测量结果的差异小于这两种测量方案测量结果的测量不确定度最大的那一个,即 $|m_1 - m_2| \leq \max(U_1, U_2)$,

则可判定两种测量方案测量结果差别不大;如果 $|m_1 - m_2| > \max(U_1, U_2)$,则可判定两种测量方案测量结果差别大。在实际运用中,为了直观方便,也可以直接将差异与两台设备的最大允许误差进行比较,如果差异小于较大的那一台测量设备的允许误差,即可判定两台设备测量结果差异不大,反之,则差异大。

已知泰勒圆度仪T450测量缸孔圆柱度的最大允许误差为 $2\mu\text{m}$,配置了高精度连续扫描测头LEITZ LSP_X5的Global advantage 9158型三坐标,空间扫描误差THP为 $2.5\mu\text{m}$,因此,判定这两台设备测量结果差异大小的标准设定为 $2.5\mu\text{m}$ 。即用测量缸孔圆柱度的六种三坐标测量方案分别测量同一个缸体零件(4个缸孔)4次,将4次测量结果的平均值与圆度仪测量结果进行比较,观察哪一种(或几种)测量方案的测量结果与圆度仪测量结果的差异小于 $2.5\mu\text{m}$,则说明这种测量方案的测量结果与圆度仪测量结果没有明显差异,与圆度仪测量结果的一致性较好。(注:三坐标测量的截面位置应尽量与圆度仪测量的截面位置相同)。六种三坐标测量方案的测量结果与圆度仪测量结果的差异性比较此处省略,可扫描二维码1~6查看比较结果。

从比较结果可以看出,只有方案一的圆柱度测量结果与圆度仪测量结果差异小于 $2.5\mu\text{m}$,说明方案一的圆柱度测量结果与圆度仪没有明显差异,即横截面扫描,15UPR的滤波器过滤数据的三坐标测量方案的测量结果与圆度仪测量结果的一致性较好。



4.三坐标测量方案误差分析

通过以上分析比较可以看出,对同一被测缸孔来说,采样策略不同,滤波方式不同,测量过程随着不同,测量获得的被测缸孔表面的信息也不尽相同,因而,评定出的缸孔圆柱度误差也就不同。

(1) 方案一。采用三个横向截面布置,使用扫描测量,采用15UPR的滤波器过滤数据,测量全过程是一个间歇过程,在一个横向截面内测量完毕后,测头移动到另一横向截面内测量,依次在每一个横向截面内测量。该方案只要布置足够多的测量截面和采样点数,就可获得被测缸孔表面足够多的信息,只要横向截面采样数不少于3个截面,不仅可获得横向截面内的圆度误差,而且可获得轴向截面内的素线直线度误差、轴线直线度误差及两素线平行度误差。由于采用了15UPR的滤波器过滤数据,减小了缸孔圆周表面波度对截面圆度的影响,消除了测量过程中的电噪声对截面圆度的影响,消除了测量机空间定位带来的点的位置波动对截面圆度的影响,所以其测量误差小。另外,由于测量的3个截面位置与圆度仪测量的位置相同,所以测量结果与圆度仪一致性较好。由于

三坐标测量软件能够对零件进行数学找正,数学找正不仅效率高而且更精确,所以该方案多次测量结果的分布宽度小,测量结果的重复性再现性好;而且该方案测量过程简捷,效率很高。

(2) 方案二。与方案一的差异在于过滤数据用的滤波器的大小不一样,方案二采用的滤波器为50UPR,由于采用的是50UPR的滤波器过滤数据,对于缸孔圆周表面波度减小作用会弱一些,消除测量过程中的电噪声的影响也会弱一些,同样消除测量机空间定位带来的点的位置波动影响也弱一些,所以其测量误差相对方案一要大一些。因此其测量结果与圆度仪的一致性要差一些,多次测量结果的分布宽度要大些,测量结果的重复性再现性也差一些。

(3) 方案三。与方案一的差异在于触测方式不同,方案三采用的是间歇触发采点,采点数为12点,采点数量不足,不能够获得被测缸孔表面足够的信息,因此其测量结果与圆度仪相比大多数情况下是偏小的,不能反映缸孔圆柱度的真实情况。但由于无滤波器过滤数据,不能对间断的测量数据进行平滑,不能消除测量机空间定位带来的点的位置波动影响,有时也有可能比圆度仪测量结果大,所以其测量误差相对方案一要大一些。因此其测量结果与圆度仪的一致性要差一些。但该方案多次测量结果的分布宽度小、测量结果的重复性再现性也很好,这些都是采点数量少,信息量不足造成的。

(4) 方案四。采用单头螺旋线扫描测量,采用50UPR滤波器过

滤数据,测量过程始终连续进行,测量效率较高,但由于缸孔表面要求具有储油能力,精镗后的缸孔表面粗糙度要求为 $R_z=4\sim 12\mu\text{m}$,螺旋线扫描路径切割加工纹路,测头会因为表面粗糙度的影响而产生较大的轴向和径向颤动。另外三坐标测量机测量过程中的电噪声也明显增大,测量机空间定位带来的点的位置波动也会较大,所以其测量误差大,同时由于测量位置无法与圆度仪测量的位置一致,所以测量结果与圆度仪一致性很差。多次测量结果的分布宽度大,测量结果的重复性再现性差,因此该方案不能用于缸孔圆柱度的测量。

(5) 方案五。采用四头螺旋线扫描测量,采用50UPR滤波器过滤数据,测量过程不能连续进行,测量效率也不高,此测量方案是在方案四的基础上,又增加了3条螺旋线,起始点分别相差 90° ,测量误差产生的原因同方案四。由于其圆柱度评价时收集了四条螺旋线的数据信息,其测量误差更大,因此该方案不能用于缸孔圆柱度的测量。

(6) 方案六。采用素线扫描测量,采用15UPR滤波器过滤数据,由于沿轴线方向扫描缸孔素线,测头扫描时垂直加工纹路,测头会因为表面粗糙度的影响而产生

较大的径向颤动和轴向波动,测量过程中的电噪声也明显增大,测量机空间定位带来的点的位置波动也会较大,所以其测量误差很大。同时由于测量位置无法与圆度仪测量的位置一致,所以测量结果与圆度仪一致性很差;多次测量结果的分布宽度大,测量结果的重复性再现性差,因此该方案不能用于缸孔圆柱度的测量。

通过测量误差分析可知,方案一测量误差小,测量过程简捷,效率较高;方案二测量误差稍大,测量过程简捷,效率较高;方案三测量误差大,测量效率低;方案四~六测量误差大,不能用于缸孔圆柱度的测量。

结语

通过以上测量数据比较和误差分析可以得出结论:方案一为三坐标测量缸孔圆柱度的最佳测量方案,该方案不仅测量误差小,而且测量效率也很高,完全可以替代圆度仪用于缸孔圆柱度的测量和加工过程中的质量监控及产品验收。

无论从测量的可靠性、稳定性、重复性再现性,还是柔性、成本及效率等多个方面,三坐标测量缸孔圆柱度的方法明显优于大型圆度仪,它代表了发动机缸孔圆柱度检测技术的发展方向。AME



叶宗茂

质量检测技术高级专家
研究员级高级工程师
神龙汽车有限公司