

二轴花键对直性在三坐标上测量的分析与研究

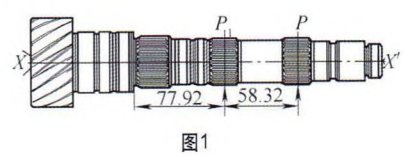
□ 神龙汽车有限公司/夏军

文章以BE变速器二轴花键对直性的测量为例，内容涉及零件定位、坐标系建立、花键扫描参数配置、测量及其结果的分析处理，并针对顶尖孔定位基准确立的这一测量难题进行了详细分析，确定了装夹定位和测量方案，大幅度减小了测量误差，提高了测量效率。



二轴花键在汽车动力总成变速器中起着安装同步器底座、连接主从动齿轮的作用。如果二轴花键错位，会导致同步器底座无法安装到位，直接影响变速器的换挡。所以二轴花键对直性在生产加工中是个非常重要的检测项目。

零件工艺要求（见图1）：3/4挡花键的对直性 $\pm 0.045\text{mm}$ （P、P₁两截面处）。现对其对直性进行检测。



问题分析

首先是在GLEASON PRCISION SYSTEMS SIGMA3高精度齿轮测量仪上测量二轴花键对直性的问题。

（1）测头系统选配造成的问

题。因为花键模数 $M=1\text{mm}$ ，所以选用直径 0.5mm 的小红宝石头测针。该测针只有直径 0.3mm 的硬质合金测杆，强度很差；零件为滚轧加工，不可避免地存在毛刺飞边。在测量的过程中，测针被毛刺飞边挂住，就会崩断。所以测量成本非常的高。

（2）测量方法与检查工艺的符合性问题。从检查工艺上可以看出，要检测的是单个整齿的对直性，而在齿轮测量仪上，测量的是一个齿的单边对直性，与工艺要求不符合。

综上所述，在GLEASON PRCISION SYSTEMS SIGMA3高精度齿轮测量仪上测量二轴花键对直性不合适。所以，考虑转换至MAHR轮廓仪、光学投影仪、TESA测高仪和HEXAGON GLOBAL三坐标测量机等其他测量设备上检测该项目。考虑该

零件测量项目的空间特性，最终确定用HEXAGON GLOBAL ADVANTAGE三坐标测量机测量设备检测该项目。

可行性分析

对HEXAGON GLOBAL ADVANTAGE三坐标测量机测量二轴花键对直性的可行性进行分析。

（1）硬件特性（Machine technical highlight）：海克斯康GLOBAL三坐标测量机是三轴联动型空间形位尺寸测量仪，X向横梁采用超高刚性精密三角梁技术，Y轴采用整体燕尾型导轨，Z轴采用可调气动平衡控制，三轴均采用德国海德汉镀金光栅尺，满足该零件项目的空间特性需求。

（2）测头特性（Probe system）：该三坐标测量机采用Lsp-X5三维扫描测头，此测头的每个轴均由高精度LVDT（线性可变

微分传感器)组成,其探测功能包括单点触发测量、自定中心和高速扫描,满足该零件项目的采测特性需求。

(3) 软件特性 (Software system): 该三坐标测量机采用PC-DMIS PRO (DCC) 测量软件, DCC SCANNING SOFTWARE数控扫描软件模块,具备自定心功能,满足该零件项目的数学模型软件测量特性需求。

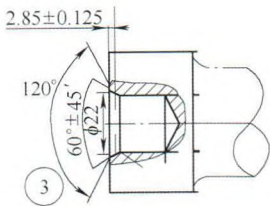
(4) 精度特性 (GLOBAL ADVANTAGE SPECIFICATIONS): 该三坐标测量机的精度指标依据ISO10360-2座标测量机的性能评价标准而制定。最大允许示值误差MPPE (μm) = $1.4+3.0L/1000$, 最大允许探测误差MPEP = $1.4\mu\text{m}$; 常规要求按照检具精度 (可用检查工艺的最小公差带代替) 的1/10, 高精度可按照检具精度的1/2来选择对应计量仪器, 该零件检测尺寸公差为 $\pm 0.045\text{mm}$, 可以初步判断其单边不确定度为 $45/10=4.5\mu\text{m}$, 因此满足该零件项目的精度测量需求。

综上所述, 在HEXAGON GLOBAL ADVANTAGE三坐标测量机测量二轴花键对直性是可行且合理的。

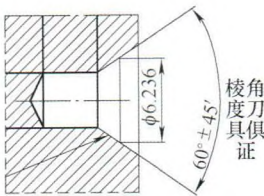
测量方案分析

(1) 分析检查工艺卡。该零件的测量基准为二轴两端顶尖孔和3挡花键圆柱端面, 二轴两端顶尖孔基准建立方式保证了测量的准确性, 顶尖孔在OP10序加工, 圆度要求 0.012mm (见图2)。

(2) 二轴为圆柱形零件, 3/4挡花键齿为 360° 等分, 测量齿和测量齿槽效果是等同的。



(a) 大头顶尖孔要求



(b) 小头顶尖孔要求
图 2

(3) 为了保证测量的完整性, 应该在二轴上 360° 等分, 每 120° 测量一次, 测量3次, 取平均结果。

装夹定位方案分析及确定

装夹基本要求有: 零件装夹后结构稳定, 位置不变动, 承受测量力、装夹力、支撑力等均不能有所变动; 零件装夹后不变形, 并尽可能不受自重影响; 零件装夹结构不干扰测量过程且测量简单易行。

1. 非等高V形块支撑定位

如图3所示, 非等高V形块支撑定位装夹方式下, 同一个工件装夹5次, 按标记定点测量结果见表1。

从测量结果分析, 这种装夹方式测得的重复性和准确性很差, 原因分析如下:



图 3

(1) 基准建立误差: 顶尖孔在OP10序加工后圆度 0.012mm , 滚轧花键在OP60序, 中间有其他工序的加工过程, 而顶尖孔是其他工序的加工定位基准, 中间工序造成了基准孔的重复装夹破坏, 所以, 以此基准建立坐标系测量误差很大。

(2) 工件无法夹紧, 在转动测量的过程中容易产生径向跳动和轴向窜动, 在采点过程中产生圆周方向转动和轴向移动。

(3) 转完角度后要重新对顶尖孔采点, 建立坐标系, 重复性劳动, 效率低下。

结论: 这种装夹方式不合适。

2. 平口虎钳夹紧定位

如图4所示, 平口虎钳夹紧定位方式下, 同一个工件装夹5次, 按标记定点测量结果见表2。

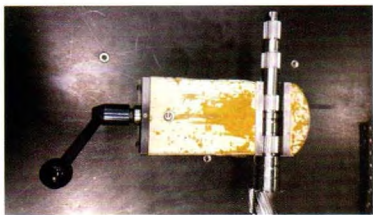


图 4

从测量结果分析, 这种装夹方

表 1 (单位: mm)

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	极差
0°	0.021 4	0.086 4	0.046 5	0.093 4	0.043 8	0.072 0
120°	0.056 3	0.043 8	0.076 1	0.024 8	0.019 5	0.056 6
240°	0.014 9	0.056 7	0.032 5	0.082 1	0.052 7	0.067 2
平均值	0.030 9	0.062 3	0.051 7	0.066 8	0.038 7	0.035 9

表 2 (单位: mm)

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	极差
0°	0.013 7	0.018 7	0.012 0	0.026 9	0.017 8	0.014 9
120°	0.028 7	0.002 3	0.010 3	0.017 2	0.000 4	0.028 3
240°	0.015 6	0.023 1	0.004 8	0.017 1	0.025 0	0.020 2
平均值	0.019 3	0.014 7	0.009 0	0.020 4	0.014 4	0.011 4

式测得的重复性和准确性很差, 原因分析:

(1) 基准建立误差: 顶尖孔在OP10序加工后圆度0.012mm, 滚轧花键在OP60序, 中间有其他工序的加工过程, 而顶尖孔是其他工序的加工定位基准, 中间工序造成基准孔的重复装夹破坏, 所以, 以此基准建立坐标系测量误差很大。

(2) 转完角度后要重新对顶尖孔采点, 建立坐标系, 重复性劳动, 效率低下。

结论: 这种装夹方式不合适。

3.双顶尖偏摆仪夹紧定位

如图5所示, 双顶尖偏摆仪夹紧定位方式下, 同一个工件装夹5次按标记定点测量结果见表3。

从测量结果分析, 这种装夹方式测得的重复性和准确性很好, 原因分析:

(1) 在偏摆仪双顶尖上采点确定工件顶尖孔基准, 模拟加工机床定位, 替代了顶尖孔采点, 此基准可靠且精度高。

(2) 通过微调双顶尖偏摆仪的夹紧力可以保证工件不会轴向窜动和径向跳动。

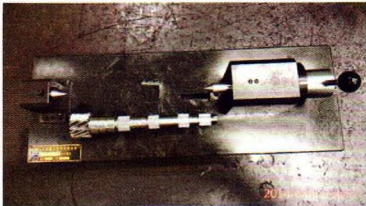


图 5

(3) 可以随时转动零件, 不存在基准变动问题。

结论: 满足此工件的一切检测需求, 这种装夹方式合适。

测头系统的选配分析及确定

依据上面装夹定位方式的确定, 可以判定只需要一个吸盘, 一个测杆方向 ($A=0, B=0$) 就可以满足工艺要求项目的测量。

依据PSA B18-1157外渐开线花键标准及产品工艺要求选择 $\phi 2.5\text{mm}$ 的红宝石测针测量二轴花键槽。

测量程序的分析

1.测量基准的建立分析

问题: 二轴大头端顶尖孔的定直径为 $\phi 22\text{mm}$, 偏摆仪固定顶尖

$\phi 22\text{mm}$, 直径靠近底端, 所以, 当二轴装夹上去后, 偏摆仪固定端顶尖被二轴完全遮住, 无法采点。

分析: 偏摆仪固定端顶尖是不动的, 所以, 可以直接在装夹二轴上去前就完成顶尖的采点, 装上二轴活动顶尖受力后再对活动顶尖采点; 在装上或拆下零件的过程中可加上对操作者的提示语句, 提醒操作者安装或拆下零件, 防止碰撞测头。

(1) 粗基准建立。根据确定的基准进行采点, 此过程只是为下一过程提供参考基准, 并且无结果输出。过程的重点在于确立被测要素在坐标机中的位置, 故可以根据情况简化操作, 但建立的坐标系一定要完整。针对此坐标系首先建立 XX' 基准, 在固定顶尖上采集圆锥, 装上工件在小顶尖上采集圆锥, 建立公共轴线绕 XX' 轴线旋转找正, 在二轴3挡端面处采一点置零确立为基准中心, 粗基准建立完毕。

(2) 精基准建立。在粗基准下严格按照测头分布点自动重新采集相应基准元素, 建立测量基准步骤与粗基准相同, 这一测量过程可能要进行多次反复覆盖, 直到测量系统稳定。

2.测量过程的分析

问题: 二轴是圆柱花键, 圆周 360° 方向均匀分布, 无法周向定位。

分析: 可以加移动点, 让测头自动以偏摆仪两顶尖中心连线为固定轴, 停留在待测花键大径外 3mm 处, 增加对操作者的提示语句, 提醒操作者转动零件, 使二轴花键槽与测头下方对正。

(下转第69页)

表 3 (单位: mm)

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	极差
0°	0.000 7	0.000 6	0.001 0	0.000 5	0.000 9	0.000 5
120°	0.004 7	0.004 4	0.003 9	0.004 7	0.004 5	0.000 8
240°	0.004 2	0.003 8	0.004 1	0.003 6	0.004 0	0.000 6
平均值	0.003 2	0.002 9	0.003 0	0.002 9	0.003 1	0.000 3

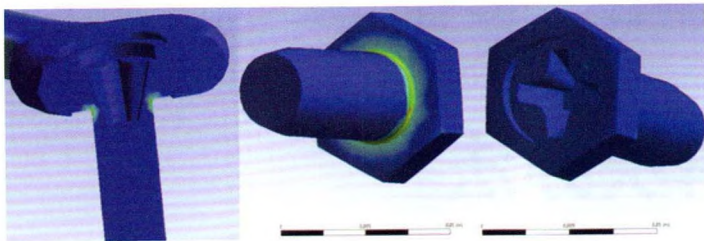


图5 开口扳手与螺钉等效应力云

4.58 × 10⁸Pa之间，等效应力值相对于使用十字批头对螺钉进行紧固的情况明显小了很多。这也说明了使用套筒对螺钉进行紧固对螺钉的损伤较小，可以减少螺钉的损耗。

从开口扳手与螺钉等效应力云中（见图5）可以看到，应力的最大值仍然出现在螺钉头与螺杆相连接的部位，最大值在1.90 × 10⁹~2.14 × 10⁹Pa之间，其他部位应力较小，在0.05 × 10⁸Pa~2.38 × 10⁸Pa之间，应力值在三种情况中最小。

结语

- (1) 对十字槽凹穴六角头自攻螺钉进行紧固时，使用电动定扭工具既节省了时间，又能够保证拧紧的质量。
- (2) 使用定扭工具对螺钉轴向空间要求较大，使用开口扳手对螺栓径向空间要求较大。
- (3) 螺钉紧固时等效应力最大的位置都出现在螺钉头与螺杆相连接的部位，使用开口扳手时应力最大。

- (4) 装配附件使用十字批头或套筒时，十字批头对螺钉的头部作用应力最大，易造成螺钉头部损伤。
- (5) 装配附件使用套筒时对十字槽凹穴六角头自攻螺钉的拧紧效果较好，能够减小螺钉的受力，减少螺钉的损耗。 **AUTO1950**



房领生
宁海知豆电动汽车有限公司总装工艺工程师，硕士学位，研究方向：机械制造及自动化。

（上接第61页）

3.花键扫描参数配置

依据工艺要求设置第一个扫描点Y值为-77.92mm，设置第二个扫描点Y值为-136.24mm。

测量数据分析

五件工件的测量数据见表4。由图6可知，五组数据线性很好，且差值小于IT/8，在图中表现很有

规律，可以确定单纯的系统误差或随机误差很小，所以，测量方式是合理且可靠的。

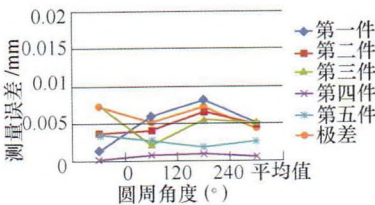


图6

表 4 (单位: mm)

	第一件	第二件	第三件	第四件	第五件	极差
0°	0.001 2	0.003 6	0.007 3	0.000 1	0.003 3	0.007 2
120°	0.005 8	0.004 0	0.002 1	0.000 7	0.002 6	0.005 1
240°	0.008 1	0.006 5	0.005 5	0.000 9	0.001 9	0.007 2
平均值	0.005 0	0.004 7	0.005 0	0.000 6	0.002 6	0.004 4

结语

通过对HEXAGON GLOBAL ADVANTAGE三坐标测量机的合理分析及应用，选择合适的测量设备和测量方法，可以大大提高工作效率，确保测量的准确性，起到事半功倍的作用。 **AUTO1950**



夏军
中级工程师
神龙汽车有限公司襄阳工厂质量分部担任质量检测技术