

汽车曲轴振纹数字化测量方法的实践与探索

神龙汽车有限公司 (湖北襄阳 441004) 叶宗茂

曲轴作为发动机的心脏,为了适配涡轮增压、缸内直喷等发动机新技术,从材质到外形都发生了较大的变化,除了传统的几何尺寸精度保持不变外,又增添了许多新的技术要求,以轴颈的尺寸精度和形状位置要求为例,同自然吸气的发动机曲轴相比,曲轴产品功能图新增了轴颈锥度及轴颈桶面度等技术要求,尤其是对曲轴振纹提出了较高的要求,振纹高度必须遵守曲线函数,且主轴颈与连杆颈振纹公差函数不同,这样传统的定性测量振纹的方法就无法满足新产品的技术需要,如何在现有的检测资源条件下,实现涡轮增压缸内直喷曲轴轴颈的振纹高度的数字化测量,来验证工艺方法的执行效果呢?

1. 曲轴振纹技术要求简介

图1为某款涡轮增压缸内直喷发动机曲轴功能图,功能图上明确标注了振纹要求,具体为连杆颈振纹最大幅值不得超过曲线函数(1),主轴颈振纹最大幅值不得超过曲线函数(2),由函数公式(1)计算出的公差限如图2所示,由函数公式(2)计算出的公差限如图3所示。

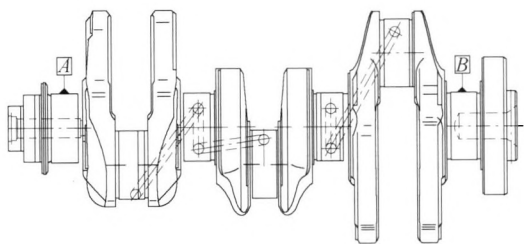


图1 涡轮增压缸内直喷曲轴功能图

连杆颈振纹公差

$$x_i = \frac{18}{(i+1.6)^{1.7}} + 0.18 \quad (1)$$

主轴颈振纹公差

$$x_i = \frac{20.75}{(i+1.8)^{1.8}} + 0.35 \quad (2)$$

式中,单位为 μm , x_i 为振纹幅值, i 为每周波纹数。

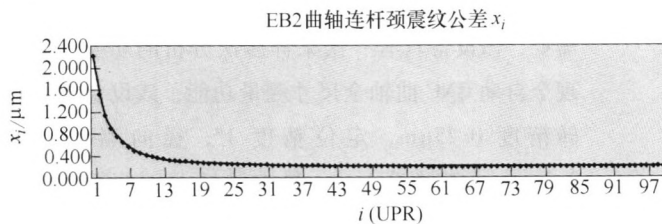


图2 连杆颈振纹公差限图

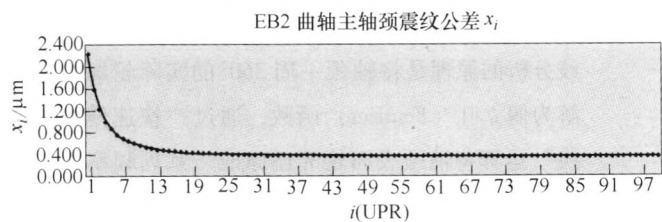


图3 主轴颈振纹公差限图

对曲轴振纹提出明确的技术要求,主要是为了提高曲轴的工艺性能,保证发动机的运行质量,如果轴颈的磨削振纹过大,曲轴在发动机运行过程中就会产生机械噪声,影响驾驶的舒适性。

2. 曲轴振纹的数字化测量实践与探索

为了解决涡轮增压缸内直喷曲轴轴颈振纹测量难题,我们做了大量的测试试验与分析对比,最终

找到了一种准确高效、方便快捷的测量方法，并实现了在一台设备上、一次装夹、一个测量程序一次采样测量，多次分析的全自动 CNC 的数字化测量，测量一个零件仅需要 5min，实现了对涡轮增压缸内直喷曲轴产品制造工艺方法的验证及工艺方法执行效果的验证，可有效监控曲轴轴颈的加工过程质量，进而保证产品质量。

(1) 测量设备的选择 针对涡轮增压缸内直喷曲轴振纹技术要求的特点，我们选择高精度，高效率的曲轴综合测量仪 ADCOLE1100 来实现振纹的数字化测量需求。美国艾帝科测量设备有限公司的 ADCOLE1100 产品性能特点为：顶尖定位，立式装夹曲轴，专用测量分析软件，评价功能强大，分析功能完善。可测量的曲轴参数有：曲轴主轴颈和连杆径的直径、圆度、圆柱度、锥度、平行度、直线度、桶面度、中截面偏差、主轴颈径向跳动、偏心、连杆径的角向位置、曲拐半径、对称度、位置度、曲轴止推面、法兰端面、链轮端面跳动和垂直度等等，具有振纹分析功能，并配以快速的数据处理及图形显示、打印等功能来满足用户不同曲轴测量分析的需要，该设备具有一次采样多次分析的功能，可实现全自动 CNC 曲轴全尺寸测量功能；该设备主轴回转精度 0.25μm、定位精度 1"，径向测量精度 0.5μm，分辨率 0.1μm，轴向测量 Z 轴的直线精度 0.5μm/50mm，分辨率 0.1μm，可完全满足涡轮增压缸内直喷曲轴振纹的测量需求。

(2) 主轴颈/连杆颈振纹测量分析 ADCOLE 振纹分析的原理是将轴颈一周 360°的实际轮廓信息分解为傅立叶 (Fourier) 函数，通过“快速傅立叶变换”运算将轴颈表面轮廓还原成一系列频率的波形并计算每个频率波形的振幅值，最后输出由一系列不同频率谐波的最大振幅组成的光谱图，将分析出的振幅光谱图与产品图上定义的振纹曲线公差比较，如果测量分析的振幅光谱图在曲线公差内，判定该零件振纹符合产品要求，如果分析的振幅光谱图任何一条线超出了曲线公差，就判定该零件振纹不符合产品要求，零件在运转过程有产生噪声的风险。这一系列的分析过程均可在 ADCOLE 检测设备上自动完成，并可输出振纹分析图形报告。

涡轮增压缸内直喷曲轴产品功能图上给出了不同频率 (UPR) 振纹振幅公差的计算公式，因此我

们首先应该根据振幅公差计算公式计算出每个 UPR 的公差，建立一个主轴颈/连杆颈振纹公差文件；然后创建一个主轴颈/连杆颈振纹分析程序，将实际测量分析得到的每个 UPR 的最大振幅值与公差文件中的公差相比较，最后输出主轴颈/连杆颈振纹分析图形报告，从图形报告上观察实际振纹振幅是否低于公差限，若低于，则符合，否则为不符合。

主轴颈/连杆颈振纹公差文件的建立：由于涡轮增压缸内直喷曲轴主轴颈/连杆颈振纹振幅公差计算公式不同，因此要分别建立主轴颈和连杆颈振纹公差文件，定义建立的连杆颈振纹公差文件为 lobing.m1，主轴颈振纹公差文件为 lobing.m3。

依据连杆颈振纹公差公式 (1) $x_i = \frac{18}{(i+1.6)^{1.7}} + 0.18$ ，在 EXCEL 表中计算不同的 i 对应的不同 x_i 值，计算结果见图 2。依据主轴颈振纹公差公式 (2) $x_i = \frac{20.75}{(i+1.8)^{1.8}} + 0.35$ ，在 EXCEL 表中计算不同的 i 对应的不同 x_i 值，计算结果见图 3。lobing.m1 和 lobing.m3 两个文件实际是将上面 2 个 EXCEL 表另存为记事本格式保存在 ADCOLE1100 文件根目录 c:\gagedata 下。

lobing.m1 文件如下：	lobing.m3 文件如下：
2 2.000000 0.002220	2 2.000000 0.002227
3 3.000000 0.001525	3 3.000000 0.001582
4 4.000000 0.001142	4 4.000000 0.001227
5 5.000000 0.000908	5 5.000000 0.001008
6 6.000000 0.000753	6 6.000000 0.000864
.....	

主轴颈/连杆颈振纹分析程序的建立：主轴颈/连杆颈振纹分析程序用 ADCOLE 的 Seqbuild 公用程序编制，保存到 ADCOLE1100 文件根目录 c:\gagedata 下。

主轴颈振纹分析程序名称为 Chatter 4 Journals Square Regions.S01，程序清单（节选）如下：

```
0 1 Sequence: Chatter 4 JournalsSquare Regions.seq
0 1 *** Set chatter analysis method (1 = standard) **
1 197 1.0000
1 1 *** Journal chatter regions & tolerances *****
.....
9 1 *** Analyze journal chatter *****
10 252 0.0000 2.0000 0.0000
10 1 *** Select journals to report *****
```

```

11 202 1.0000 4.0000 10.0000 10.0000 2.0000
11 1 * * * Plot journals ( linear) chatter report * * * * *
12 251 3.0000 1.0000 1.0000
12 1 * * * Print chatter programmable report * * * * *
12 1 154 0.000000 669.0000 1.000000 0.000000
12 1          END CHATTER

```

连杆颈振纹分析程序名称为 Chatter 3 Rods Square Regions. S01, 程序清单如下:

```

0 1 Sequence; Chatter 3 Rods Square Regions. seq
0 1 *** Set chatter analysis method (1 = standard) **
1 197 3.0000
1 1 *** Journal chatter regions & tolerances *****
.....
9 1 *** Analyze journal chatter *****
10 252 1.0000 2.0000 0.0000
10 1 *** Select journals to report *****
11 202 1.0000 3.0000 0.0000 0.0000 0.0000
11 1 *** Plot journals (linear) chatter report *****
12 201 3.0000 1.0000 1.0000
12 1 *** Print chatter programmable report *****
12 1 154 0.000000 669.0000 1.000000 0.000000
12 1 END CHATTER

```

主轴颈/连杆颈振纹分析结果的输出
主轴颈/连杆颈振纹分析步骤为：先执行涡轮增压缸内直喷曲轴零件全尺寸测量程序，得到全尺寸测量报告，再执行主轴颈振纹分析程序 Chatter 4 Journals Square Regions. S01 后，可得出如图 4 所示的主轴颈振纹分析报告，再执行连杆颈振纹分析程序 Chatter 3 Rods Square Regions. S01 后，可得出如图 5 所示的连杆颈振纹分析报告，从这些振纹报告上就很容易判断出该零件振纹的符合性。

3. 结语

随着全球燃油资源的趋于短缺，人们对发动机动力性、经济性和可靠性的要求越来越高。发动机制造企业正在全力以赴的提高发动机的性能，从可变气门到涡轮增压等最新技术被各个汽车企业不断采用，与此同时发动机零部件的制造技术与工艺也得到了长足的发展，尤其是作为发动机心脏的曲轴，其制造工艺得到了不断的优化和提高，增加了很多新的技术参数来提高产品的可靠性，新的技术参数的出现对检测技术提出了更高的要求，促进了检测技术的发展和进步，检测技术的发展和进步又促进了

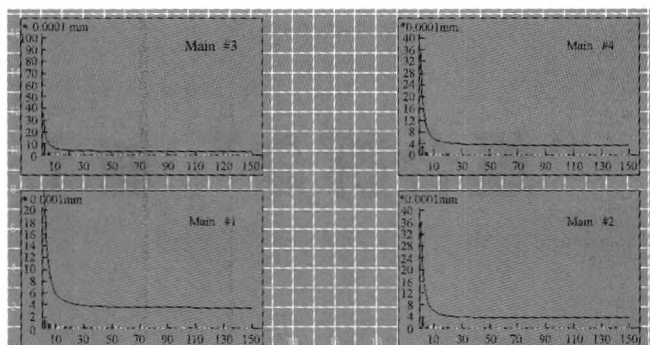


图4 主轴颈振纹分析报告

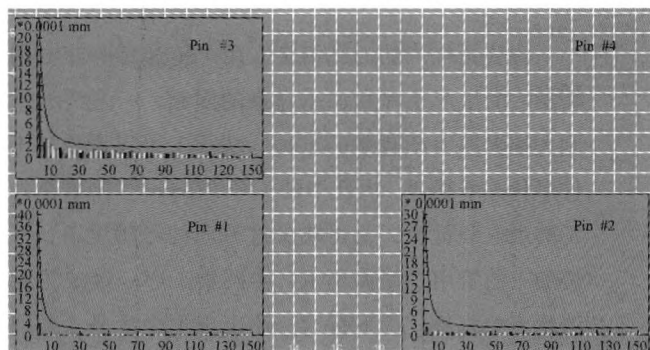


图5 连杆颈振纹分析报告

制造技术的提升，两者相辅相成，共同支撑了中国汽车工业的高速发展。**MW**（收稿日期：20131217）

首届工业机器人用户使用调查 盛大开启

“机器人代替人”这个在以前觉得不可思议的事情，如今越来越多的实现，目前机器人市场相当火爆，已经出现井喷式增长。

《金属加工》杂志作为行业内知名媒体，特此发起了在金属加工领域内首届“工业机器人用户使用调查”，本着公平、公正、实事求是的原则，邀请广大读者在百忙中抽出一点时间认真填写问卷，希望此问卷能真实的反映目前金属加工领域工业机器人使用的情况，为广大需要使用机器人的用户提供参考。

问卷的具体内容详见 www.mw1950.com 首页的右栏活动预告，认真填写问卷者，均可获得《金属加工》杂志社送出的精美礼品！欢迎广大读者积极参与！

本刊编辑部