

单缸发动机曲轴快速试制精度控制方法

■ 中国第一汽车股份有限公司技术中心 (吉林 130022) 董 乐 郭华卫

摘要: 介绍一种利用机加工, 低成本、短周期试制单缸发动机曲轴的工艺, 阐述数控磨床加工技术在单缸发动机曲轴加工精度控制中典型问题的解决方法, 通过对数控磨床附件精度、工艺进给等调整, 提高了单缸发动机曲轴的尺寸及形位精度。



专业工程师 董乐

单缸发动机试验是汽车发动机前期开发过程中很重要的环节, 可以在低成本条件下, 代替多缸机试验燃烧、润滑及振动等主要特征。单缸发动机仅用于性能试验, 对其曲轴疲劳寿命要求并不严格, 且需求数量较少。针对此特点, 采用了一种快速试制单缸发动机曲轴的工艺, 即采用合金钢棒机加成形, 并配合适当热处理工艺, 使所生产的曲轴达

到图样技术要求, 以此降低开模制造的高成本, 并缩短周期。

1. 快速试制工艺简介

此种单缸发动机曲轴快速试制工艺的原始毛坯为42CrMoA棒料, 经车铣复合加工中心粗、精加工成形后, 轴颈和端面留0.2~0.4mm磨削余量, 再由曲轴磨床磨削所有轴颈及端面至尺寸, 经过动平衡和离子氮化, 再抛光处理, 最终形成成品, 工艺流程如

测头、曲轴孔测头、测头伺服移动机构和校准件等组成, 如图4所示。测量工位包括1个缸孔测量主轴和1个曲轴测量主轴。

缸孔测头为单截面测头, 每个截面有4个传感器。测量时, 缸孔测头垂直伺服滑台, 在缸孔内移动, 3个截面一次测量完成, 每个缸孔将得到6个直径值。测量完成一个缸孔后, 测量主轴被垂直伺服导轨移出, 同时水平伺服导轨将测量主轴移向下一个缸孔, 直到4个缸孔都被测量完成。

在缸孔被测量的同时, 曲轴孔测头穿入曲轴孔中测量主轴颈。曲轴孔测头为整体式测头, 共5个测量截面(以四缸发动机为

例), 每个截面有4个传感器。曲轴孔测量分两步完成, 每个主轴颈测量两个截面, 5个主轴颈共10个截面。

(3) 打标工位: 工件进入打标工位后, 如果工件合格, 打标机根据测量结果将分组信息打刻到缸体指定区域, 合格工件由辊道输送到生产线下道工序。如果工件不合格, 将不打标, 此时, 气动转台动作, 将工件旋转90°, 并将输送工件到剔料辊道。

该工位通常配备读码器, 可以在打标完成后对打标内容进行读取, 确认打标内容的正确性。

(4) 剔料辊道: 剔料辊道用于存放不合格工件, 一般可容

纳3个缸体, 剔料辊道装满后将有报警信号。辊道末端采用软质材料, 防止工件冲击。

4. 结语

从手持式量仪到数控机床在线测量设备, 再到缸体综合测量机, 缸体曲轴孔测量技术逐步向多样化、柔性化和集成化方面发展。而缸体综合测量机具有测量准确、柔性好、功能多样且自动化程度高等诸多优点, 对提高发动机行业的生产效率、经济效益具有重要意义, 具有广阔的市场前景和发展空间。MW

(收稿日期: 20170707)

表1所示。

2. 精度控制方法介绍

车铣复合加工后的曲轴半成品仍留有磨削余量，最终抛光工序也基本不改变加工部位的尺寸，所以曲轴磨削工艺水平决定了整个曲轴的尺寸及几何精度。下面以某开发试验用单缸发动机曲轴为例（见图1），说明磨削加工过程中曲轴精度的控制方法。

单缸发动机曲轴的主要尺寸精度为主轴颈及连杆颈直径尺寸；主要形状公差为主轴颈、连杆颈的圆度；主要位置公差为两主轴颈相对公共轴线的同轴度。其中，M1、M2为主轴颈，P1为连杆颈。所有轴径尺寸公差为0.01mm，主轴颈和连杆颈的圆柱度公差为0.006mm，两主轴颈相对于公共轴线的同轴度公差为0.006mm。

曲轴由数控磨床（JUCRANK 5000）加工（见图2），该机床具

表1 单缸发动机曲轴工艺流程

	工艺流程	设备
1	粗、精车棒料成形	车铣复合
2	磨外圆及端面至尺寸	曲轴磨床
3	总成状态动平衡	动平衡机
4	表面离子氮化处理	离子氮化炉
5	抛光轴径及止推面	曲轴抛光机
6	检测打标	Hommel

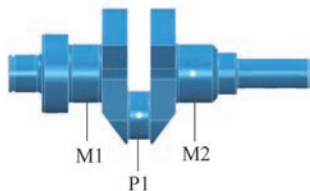


图1 某试验用单缸发动机曲轴



图2 JUCRANK 5000数控磨床

有四爪等力卡盘、中心架、尾架顶尖以及Marposs在线测量功能，该曲轴主要尺寸及形位精度达到了微米级，针对此特点，采用了以下磨削方式：首先由四爪等力卡盘及双顶尖将车铣复合加工后的曲轴半成品定位夹紧，粗磨所有轴颈及端面。粗磨完成后，利用自定心中心架夹持主轴颈M2，在Marposs测头检测下精磨主轴颈M1、M2及连杆颈P1，完成加工。

（1）曲轴主轴颈同轴度误差控制：最初曲轴磨床调试时，磨削后的两主轴颈M1、M2的同轴度误差经测量为0.012mm，严重超差。

经过反复试验，最终确定影响同轴度误差的因素主要有机床附件精度、磨削工艺。磨削加工选用两顶尖定位、四爪等力卡盘夹紧和中心架辅助支撑的定位夹紧方式。附件调整精度对曲轴的加工精度影响很大，如双顶尖轴线和中心架轴线同轴度误差较大，将导致曲轴在磨削中发生微观形变，磨削后这种形变将体现为主轴颈的同轴度误差。因此在定位加工过程中，应当注意机床夹持附件的精度调整。

磨削过程中，主轴颈中心线为回转中心，通过程序控制砂轮横向进给和曲轴回转的联动来实现磨削加工（见图3）。但曲轴工件刚性差，且沿其轴线方向与各圆周方向上的刚性均不相等，所以磨削过程中曲轴受磨削力的作用就会产生比较大的弹性变形，这是曲轴的刚度误差（见图4）。

针对以上原因，制定以下两种措施：①通过标准心轴调整两顶尖及中心架的夹持精度，当

附件装夹完毕后，利用两块千分表同时检测被装夹的心轴（见图5），保证被测精度处在0.002mm以内，以此保证曲轴磨削时的夹持精度。②为防止曲轴产生过大的刚度误差，磨削中使用中心架作为辅助支撑，该中心架具有自动跟踪定心功能，磨削过程中可跟随被夹持轴颈尺寸变化自动调整夹紧范围。但该功能对磨削用量的要求极为严格，夹持轴颈不圆或进刀量过大，都会造成曲轴径向跳动波动大，且在后续

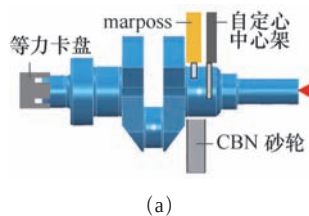
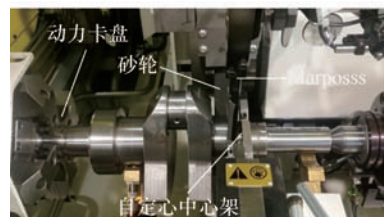


图3 磨削过程

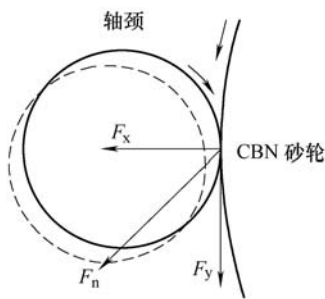


图4 曲轴弹性变形

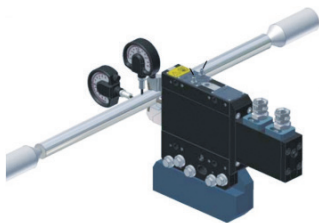


图5 检测附件夹持同轴度

磨削中很难消除。因此，磨削中心架夹持轴颈时，对加工程序做了如下处理，轴径半精磨至余量0.1mm时，光磨（砂轮停止进给）3圈减小曲轴弯曲变形，微量进给将曲轴颈磨圆，此时轴径余量0.08mm；砂轮退刀，中心架伸出夹持主轴颈，砂轮以0.01mm每转的速度进刀，每进刀0.03mm光磨一圈。

采用以上两种措施后，两轴径同轴度误差下降为0.003mm，符合图样要求。

(2) 曲轴圆度误差控制。

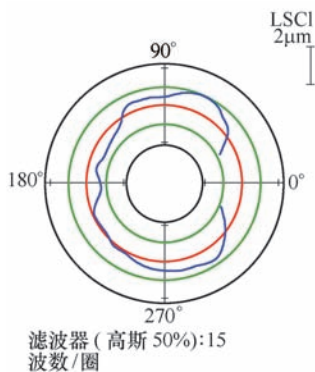
曲轴圆度误差主要出现在连杆颈上，使用砂轮跟踪磨削技术来磨削曲轴连杆颈。磨削时，曲轴以主轴颈为轴线旋转，砂轮往复摆动进给，跟踪偏心回转连杆轴颈进行磨削加工。但实际加工中，由于机床装配精度、砂轮测量精度及曲轴变形等影响，连杆颈圆度误差往往难以保证。本次前3件曲轴磨削完成后，经测量连杆颈圆度误差为0.02~0.025mm，超差接近250%，且3根曲轴连杆颈的相同角度位置圆度偏差基本一致，据此可判定是机床装配精度造成的系统误差。

针对该问题，采用圆度补偿的方法来控制连杆颈圆度，步骤如下：测量试磨曲轴，将连杆颈圆周各角度的圆度测量数据制成点位表，表的起始位置（对应连杆颈的位置）必须与磨削时设定的起始位置一致。再将点位表导入编程软件，经过滤波处理，建立补偿曲线对磨削进行补偿。经测量，补偿后连杆颈的圆度误差能够控制在0.002mm以内（见图6）。

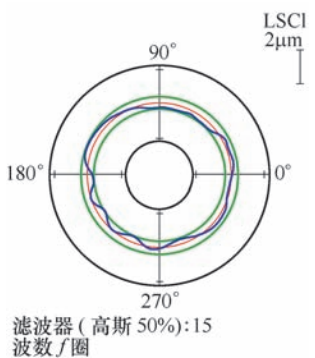
(3) 轴径尺寸公差控制。
为了更精确地保证轴颈尺寸，本次磨削使用了Marposs在线测量仪。测量仪采用比较式测量监控方法，即加工过程中，测量装置始终检测着工件尺寸的变化，并实时将数据传递给量仪，量仪根据已经设置好的参数发出信号给机床PLC控制系统，随即进行相应动作，如改变砂轮的转速和进给速度等，从而形成完整的闭环控制（见图7）。但在该闭环回路工作前，必须对工件进行零位校准，且要对磨削加工完的工件抽

样进行测量，得出实际值和理论值之差，并在量仪给予补偿。

提高轴颈尺寸精度最有效的措施就是保证校准块的制作精度，但受加工条件所限，自制校准块的精度并不理想，尺寸偏差始终大于0.002mm。针对此问题，在编写Marposs测量程序时，按照校准块的偏差对每个测量点进行零点偏置，经过2~3根曲轴的磨削修正后，轴颈尺寸可控在中差范围，并且该批次的曲轴，轴颈尺寸基本一致。经补偿后，本批次曲轴的轴径尺寸误差在0.01mm以内（见图8）。



(a)



(b)

图6 补偿前后圆度检测结果对比

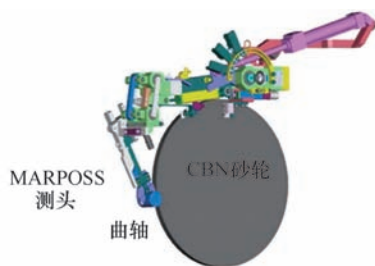


图7 在线检测



图8 曲轴成品

4. 结语

对数控磨削工艺的调整保证了试验用单缸发动机曲轴的精度，经Hommel综合检测仪检测，曲轴主轴颈圆度达到0.002mm、同轴度达到0.003mm；连杆颈圆度达到0.002mm、圆柱度达到0.003mm，其余所有尺寸精度及几何精度都在公差范围之内。这种数控磨床的调整方法也可运用在多缸发动机曲轴的磨削上，这也将提升快速试制曲轴的精度水平。

参考文献：

- [1] 任敬心，华定安. 磨削原理[M]. 北京：电子工业出版社，2011.
- [2] 俞红祥. 曲轴连杆颈圆度在线检测与补偿研究[J]. 仪器仪表学报，2012，33（10）：2249-2254.

MW（收稿日期：20170711）