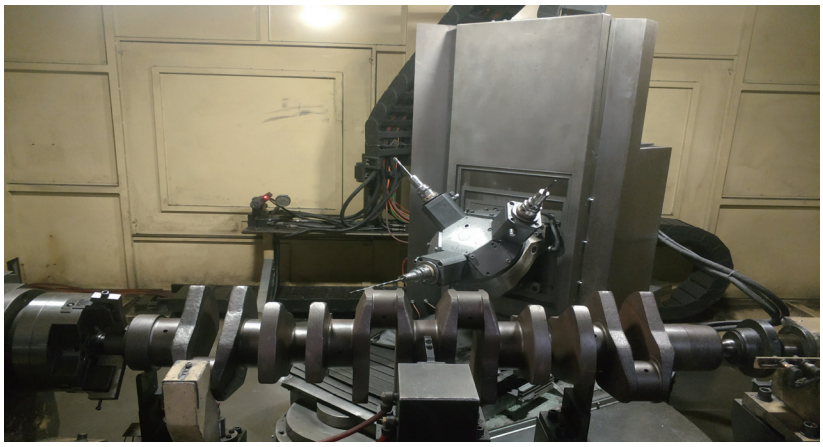
曲轴润滑油道孔的加工

■ 第一拖拉机股份有限公司大拖装配厂　（河南洛阳　471003）　张彬彬　魏江波　常向阳　陈　朋

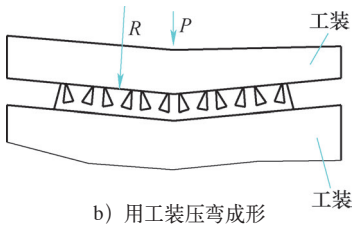
摘要：论述发动机曲轴润滑油道孔的结构特征和深孔加工难点，结合实际生产过程中存在的问题，在工件装夹和刀具冷却方面进行工艺改进，提高了深孔加工的质量及效率。

关键词：曲轴；深孔加工；装夹；刀具；冷却



发动机是汽车的心脏，而曲轴是发动机内主要的旋转部件，它负责将活塞的上下往复运动转变为自身的圆周运动，然后通过飞轮将发动机转矩输送给传动系统，同时还驱动发动机的配气机构以及其他辅助装置。曲轴一般由主轴颈、连杆轴颈、曲柄、平衡块、前端和后端等组成（见图1）。主轴颈被安装在缸体上，

a）半圆管形工件压平



b）用工装压弯成形

图5　压弯成形工艺示意

120.7mm，内圆加工至$\phi_{内}$=108.7mm，长度加工至L=120mm。②铣床加工。沿其外圆周分度铣削$2n$=58条直槽，槽宽$m=\delta+2(h+0.5)\tan(\beta/2)=1$（mm），槽深度为（$h$+0.5）mm=4.5mm。

（3）切割加工　将加工成的圆管形工件沿轴向切成两个对称的半圆管工件。

（4）压弯成形　①将半圆形工件压平，呈平板状。②用工装压弯成形，在压力P的作用下，使筛片反向变形，筛缝面形成凹圆弧面，保证筛缝δ=0.13mm；凸圆弧面形成筛片的安装面，筛片的安装圆弧面的曲率半径R=460mm。

至此完成了双级活塞推料离心机筛片的制作过程，加工出了筛缝宽度0.13mm、“喇叭口”角度11°的双级活塞推料离心机筛片。

参考文献：

[1] 成大先. 机械设计手册[M]. 6版. 北京：化学工业出版社，2016.

MW（收稿日期：20200415）

专家点评

作者在离心机筛片制作中别出心裁，构思巧妙地通过半圆管开槽、反向变形的办法，加工出了“喇叭口”形状的筛缝结构，具有一定的创新性。

连杆颈与连杆大头孔连接，连杆小头孔与汽缸活塞连接，是一个典型的曲柄滑块机构。因为曲轴在正常工作时受到旋转质量的离心力、周期变化的惯性力和往复惯性力的共同作用，承受弯曲扭转载荷，因此曲轴需要有足够抗弯曲、抗扭转的疲劳强度和刚度。轴颈表面需要具有较好的耐磨性能，整体平衡性要求较高。另外，为减少连杆与曲轴轴颈相对运动过程中的摩擦，提高曲轴以及连杆的寿命，在每个主轴颈上加工润滑油孔，以便将机油引入、引出，用以润滑曲轴轴颈。

图1　曲轴

曲轴对自身材质以及后续的热处理也有很高的要求，曲轴材质大多为45钢、40Cr钢和35CrMo合金结构钢等，后续针对不同的性能需要对曲轴进行调质、回火、淬火和氮化等处理。

1. 加工工艺分析

曲轴的加工工艺路线一般为：锻坯→调质→校直→清理→检验→粗加工→去应力退火→精加工→高频淬火+低温回火→校直→磨削→抛光→检验。目前国内主要曲轴加工生产线由普通机床和专用机床组成，生产效率和自动化程度相对较低。粗加工设备多采用多刀车床、铣床对主轴颈及连杆颈进行加工，加工质量稳定性差，容易产生较大的内应力，难以达到合理的加工余量。一般精加工采用MQ8260等曲轴磨床粗磨→半精磨→精磨→抛光，通常靠手工操作，加工质量不稳定。这些设备和技术基本依赖进口。随着贸易全球化的到来，各厂家已意识到了形势的严峻性，纷纷进行技术改造，全力提升企业的竞争力，进展速度很快。

图2所示斯太尔曲轴斜油道孔内径为8.7mm，孔深153mm，长径比为17.59：1，属于深孔加工范畴，加工难度非常大。在实际加工过程中，曲轴以左端面为定位基准，机床头尾架顶尖顶紧曲轴两端中心孔，机床左端浮动卡盘夹紧曲轴第一主轴颈驱动工件旋转。

2. 润滑油孔加工难点分析

润滑油孔加工难点如下。

1）润滑油孔深度153mm，所需加工刀具长度210mm，而直径只有8.7mm，钻头刚性差，实际加工过程中极易产生振动、折断。

2）润滑油孔深度过深，钻头散热条件差，钻头寿命低。

3）排屑困难。

我厂加工曲轴润滑油道孔采用的设备是SUC8149系列数控机床，是沈阳成套设备有限公司最新研发的曲轴润滑油孔加工专用设备。采用的刀具是高速内冷切削钻头，冷却系统为独立的油雾润滑系统，同时该设备采用6工位动力刀架，主轴最高转速可达8 000r/min，满足高速内冷钻头的加工需求，同时可完成曲轴润滑油孔的钻削及油孔倒角等加工工序。机床的*X*、*Y*、*Z*、*B*及*A*轴采用西门子伺服电动机驱动，定位精准可靠。动力刀架的刀具转位及刀具旋转采用交流电动机驱动，具有较高的柔性，适用于大部分四缸及六缸曲轴的润滑油孔加工。

3. 解决方案

针对加工难点，提出如下解决方案。

1）保证左端定位面的精度。在每天开始生产之前，用百分表校正设备工装左端面轴向圆跳动，保证轴向圆跳动公差在0.05mm之内。

2）保证顶尖的径向圆跳动。

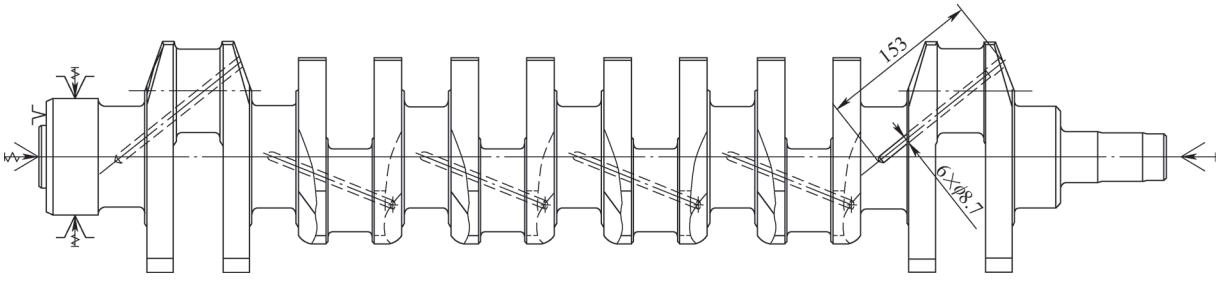


图2　斯太尔曲轴斜油道孔工艺尺寸

用百分表校正机床顶尖的径向圆跳动，保证径向圆跳动在0.05mm之内。

3）在工件第4、5主轴颈处增加中心架作为辅助支撑，避免在正常钻削过程中工件发生过大振动或者轻微弯曲造成钻头折断，调整中心架的抬起量在0.03～0.05mm之间。

4）保证产品中心孔的质量及一致性，避免因为工件中心孔的一致性或者圆度超差导致正常钻削过程中钻头断裂。

5）提高设备本身冷却系统的空气压力，提高刀具的冷却、润滑及排屑效果，提高刀具寿命。

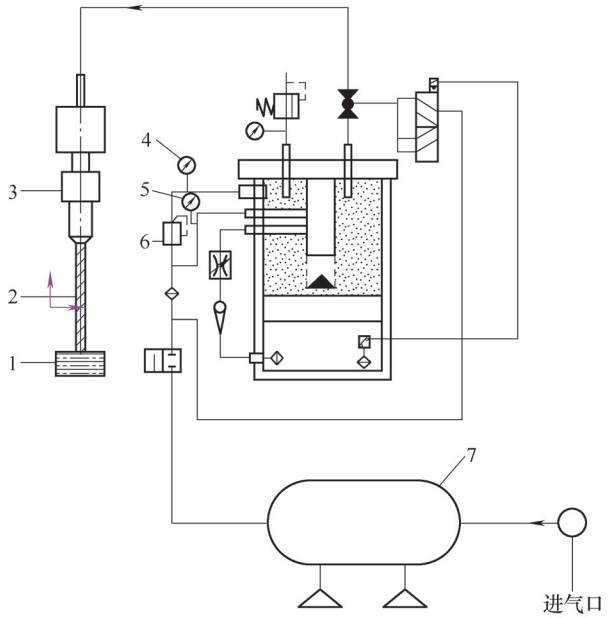


图3　冷却系统

1—工件　2—内冷钻头　3—刀柄　4—压力表1　5—压力表2　6—减压阀　7—增压缸

4. 冷却系统的改善

设备采用高速内冷切削钻头，由专门的油雾润滑系统对钻头进行润滑冷却。冷却系统如图3所示。车间厂房压缩空气气压为5×10^5Pa，从进气口处进入，经过增压缸把空气增压至10×10^5Pa，然后进入油雾系统。进入油雾系统的气体经过滤器后被分为两路，一部分直接进入润滑油箱内部的悬浮油微粒发生器，使油箱内的油液形成0.5μm的油雾颗粒；一部分气体经减压阀减压后进入油箱。在设备正常加工过程中，调节减压阀，使压力表1的压强较压力表2低1.5×10^5Pa，使油箱内形成一定的压差，进而使0.5μm的油雾颗粒从油箱内喷出，经气管管路进入钻头内部，从而起到冷却、润滑和排屑的效果。

设备在实际工作中，在满足油雾润滑系统正常运行的情况下，压力表1最高只能调到3×10^5Pa，压力表2为5×10^5Pa。在这种工作状态下，一根新钻头加工70根曲轴后磨损十分严重，需要返送刀具厂家修磨。并且在实际加工过程中经常出现卡刀现象，导致钻头直接折断、报废。分析实际工作情况后认为，适当提高钻头出气口的气压（压力表1的压强）会提高润滑冷却效果，提高刀具寿命；另外还可以提高刀具排屑效果，避免刀具卡死折断现象发生。

加工斯太尔曲轴钻头内冷孔径为1.66mm，要想给钻头出口处连续稳定输送压强＞3×10^5Pa的气源，必须提高增压缸的增压能力，保证增压缸单位时间增压的气体体积大于内冷钻头消耗的气体体积。设备原装增压器参数为增压比1∶2，储蓄罐容积10L、耐压15×10^5Pa，额定流量（5×10^5Pa工况下）500L/min。而钻头在实际钻削过程中对气源的稳定性要求特别高，查阅气动有关资料，最终选定SMCVBA20A型增压器，可靠性高。新增压器技术参数为增压比1∶2，储蓄罐容积20L、耐压15×10^5Pa，额定流量（5×10^5Pa工况下）1 000L/min。

新增压器在5×10^5Pa工况下的额定流量是1 000L/min，保证增压缸单位时间增压的气体体积大于内冷钻头消耗的气体体积，满足设备使用ϕ8mm钻头正常加工时所需的压力和流量要求。

5. 工艺和设备改进后的效果

工艺和设备改进后的效果如下。

1）保证左端定位面的精度、顶尖的径向圆跳动以及在工件第4、5主轴颈处增加辅助中心架，提高了曲轴在正常加工过程中的稳定性，避免工件发生轴向位置窜动以及径向弯曲，大幅减少了钻头钻削过程中折断的现象。

2）提高设备冷却系统增压缸

的增压能力，大幅改善了钻头钻削过程中的冷却及排屑效果，提高了刀具寿命。另外，钻头排屑效果的改善避免了钻头卡死直接扭断现象的发生。

工艺和设备改进前后单根钻头所加工零件数量的统计数据如图4所示。新钻头之前在加工70根工件时，刀具磨损严重，无法继续加工，在改进措施实施后，能加工180根工件；从刀具厂家修磨回来的钻头，之前在加工40根工件时，刀具磨损严重，无法继续加工，在改进措施实施后，能加工150根工件。

3）提高了加工效率。刀具排屑润滑效果改善后，在不影响刀具加工寿命的前提下，适当提高刀具进给量，提高加工节拍。刀具进给量由之前的0.11mm/r提高至0.15mm/r（见图5），工序节拍由之前的9.1min提高至6.8min，每天产量提高35件。

6. 结语

机床数控化以来，越来越多的高速高效加工技术及装备在制造业中大量涌现，生产效率得到了很大的提高。曲轴润滑油道孔的加工也经历了普通钻床、组合机床和枪钻，直到今天的数控柔性专用钻床的转变，加工效率提高了几十倍。但是在实际加工中，钻头刚性差、强度低，极易产生振动、折断，钻头对加工环境十分敏感。只有设备工装定位夹紧的可靠性、刀具微量润滑系统的稳定性得到充分的保证，才能保证深孔加工质量及效率，才能真正体现数控柔性专用钻床的优势。

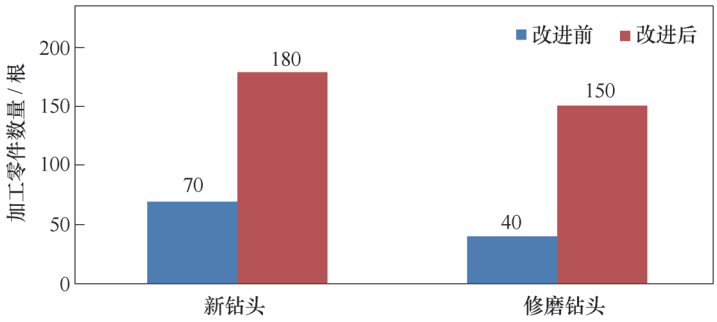


图4　工艺和设备改进前后单根钻头可加工零件数量

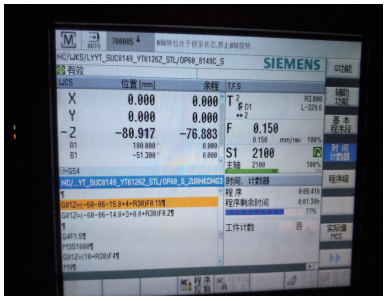


图5　工艺参数

参考文献：

[1] 王先逵. 机械制造工艺学[M]. 北京：机械工业出版社，2006.

[2] 田荣鑫，史耀耀，杨振朝，等. TC17钛合金铣削刀具磨损对残余应力影响研究［J］. 航空制造技术，2011（1）：134-138.

[3] 余光国，马俊. 机床夹具设计[M]. 重庆：重庆大学出版社，1995.

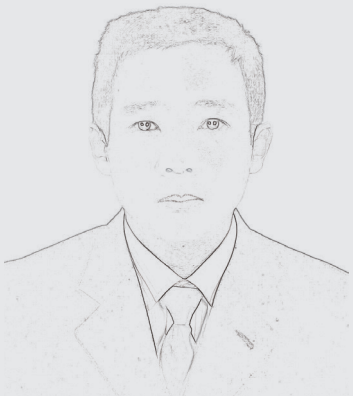
[4] 郝建忠. 机械测量技术［M］. 北京：电子工业出版社，2011.

[5] 孟少农. 机械加工工艺手册[M]. 北京：机械工业出版社，1996：8-129.

[6] 曾正明，等. 机械工程材料手册[M]. 北京：机械工业出版社，2003.

MW（收稿日期：20200306）

专家点评



本例中曲轴油道的钻孔刚性较差，在加工过程中极易产生振动，钻头折断率高。作者从工装定位夹紧和刀具润滑系统入手进行改善，提高工艺稳定性，保证了深孔加工质量及效率，真正体现了数控柔性专用钻床的优势。

作者在解决方案中有两处亮点：①提高设备冷却系统的增压能力，改善钻削过程中的冷却及排屑效果。②在刚性较弱的主轴颈处增加辅助中心架，提高了工艺系统的稳定性。