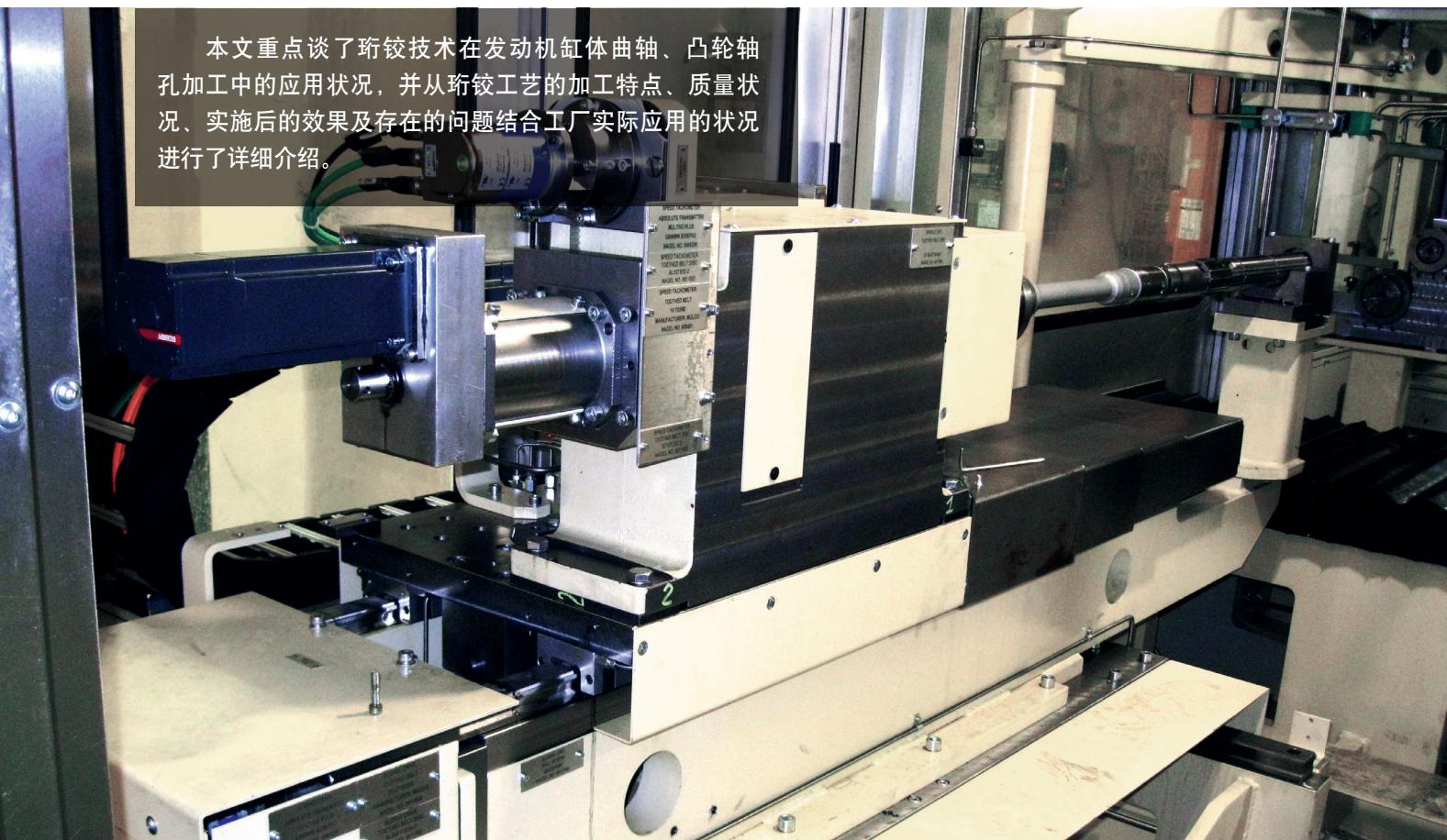


发动机缸体曲轴、凸轮轴孔的珩铰工艺

□ 东风汽康明斯发动机有限公司/林勇

本文重点谈了珩铰技术在发动机缸体曲轴、凸轮轴孔加工中的应用状况，并从珩铰工艺的加工特点、质量状况、实施后的效果及存在的问题结合工厂实际应用状况进行了详细介绍。



随着发动机技术的发展，传统镗孔工艺加工精度已无法满足发动机曲轴孔、凸轮轴孔（简称“曲、凸孔”）的加工精度要求。传统的缸体曲、凸孔镗孔加工靠镗模架保证加工精度，使用硬质合金刀片，每个刀片加工一个孔，刀具寿命约1 000件，镗模架需要定期维护，容易出现振刀纹和尺寸超差等质量问

题。镗孔工艺存在的主要问题是加工表面粗糙度值大，刀具寿命短，维护成本较高。

珩铰工艺介绍

（1）珩铰技术特点。珩铰工艺是在传统珩磨基础上发展起来的，由美国Barnes公司首创，经过德国GERHING和NAGEL等公司的

发展，目前在较为先进的孔加工工艺中大量采用。

发动机曲、凸孔加工应用的珩铰工艺最大难度在于发动机曲、凸孔长度较长，要发挥珩铰工艺的高精度加工特点，需要采取额外的措施。原来镗孔使用的镗模架方式不适用于珩铰加工的需要，因此引入了浮动导向技术。

浮动导向采用伺服电动机推动心轴，将导向条适当力度涨紧在内孔中，导向条分段设计以增强对超长间断分布的孔的适应性，靠弹簧力回位。

(2) 曲、凸孔珩铰工艺应用的前提条件。珩铰工艺具有加工精度高、刀具寿命长、质量稳定和加工成本低等诸多优点，但应用珩铰工艺必须具备一定前提条件。精镗作为珩铰前道工序仍有必要，但珩铰工艺的引入大大降低了精镗的要求。珩铰加工余量一般设计为单边 $0.03\sim 0.05\text{mm}$ ，否则容易出现加工不动、甚至珩铰杆卡死在孔内的状况。

根据各工厂的具体情况，珩铰设备可以使用水基或油基切削液。珩铰过程对冷却的压力要求不高，需要一定的流量，冲走磨粒即可。

(3) 曲、凸孔珩铰设备选择。根据加工时零件状态，珩铰设备分为立式和卧式。根据工厂生产线的具体状况选择适合的方式。珩铰设备主要供应商有德国NAGEL和GERHING，美国善能，国内有宁夏大河等。笔者推荐使用NAGEL公司的珩铰设备。

曲、凸孔珩铰工艺布局

合理的工艺设计是后期稳定运行的保证。结合实际积累的加工经验，珩铰工艺需要包含以下工位：

(1) 加工前预测量工位。这个工位的测量不需要太高的精度，只需对精镗序是否加工做出判断即可。由于多数缸体、缸盖生产线大多为封闭式自动线，在实际加工过程中，很难避免前序异常，如漏序、尺寸超差，会造成撞刀、卡死

故障，带来较大损失。因此，加工前的预测量工位是很有必要的。除非有数据证明前序有充分的过程能力，可以不考虑预测量工位，否则会造成不菲的经济损失。

(2) 珩铰加工工位。由于珩铰杆采用浮动定位结构，加工过程中需贯穿整个零件，所以布局设计时需要考虑加工所需要空间（见图1）。

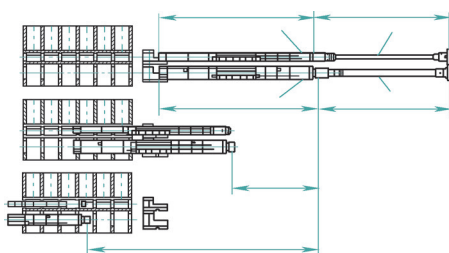


图1 珩铰工位工艺布局示意

(3) 珩铰后测量工位。目的在于对珩铰质量状态进行100%监控，为刀具调整提供支持，避免过程异常件流出。

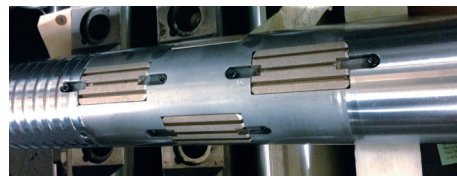
珩铰加工工艺参数如下：珩铰加工节拍50s，主轴转速 200r/min ，进给速度 5m/min ，珩铰金刚石粒度D100~D180。

珩铰刀具特点

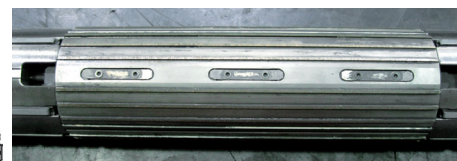
曲、凸珩铰刀具具有两种典型结构，一种是以美国BATES为代表的块状金刚石刀片，另一种是以德国NAGEL为代表的条状金刚石刀片（见图2）。珩铰刀具与珩磨刀具最大的区别在于，珩磨刀具可以自动补偿，导向条固定尺寸，而珩铰刀具尺寸手动调整，导向条自动补偿涨紧内孔。

高的刀具寿命意味着稳定的加工质量和充分的过程能力。由于珩铰使用了高硬度、超耐磨材料，其刀具寿命一般可以高达加工6万

件，切削条件好的情况下甚至可以达到10万件以上。



(a) 块状金刚石结构



(b) 条状金刚石结构

图2

珩铰质量评价

1. 测量评价

(1) 在线测量。凸轮孔孔径、圆度可以使用在线电子塞规100%进行定向评价。在线测量的局限性在于只能测量固定方向，与线下检具可能存在一定的差异。

(2) 线下检查。使用电子塞规对孔径进行不定向检查，使用三坐标测量锥度、同轴度及采取扫描的方式检测孔的圆度。

(3) 表面粗糙度的测量。由于凸轮轴孔所在位置所限，传统的表面粗糙度量仪测量长度无法满足所有凸轮轴孔的测量要求。这时，需要设计专有辅具延展测量长度。首先，需要一台分体式表面粗糙度量仪，如Marh 300C，测量驱动部分与主体内分开，借助辅具进行测量。

2. 珩铰与镗孔加工质量对比

从加工孔径、粗糙度、圆度、锥度和同轴度方面，对珩铰工艺和镗孔工艺进行对比，用过程能力指

数 C_{pk} 进行评价（见附表）。结果表明，珩铰工艺在表面粗糙度、圆度和锥度上提升显著，在孔径和同轴度上略微提升。

镗孔与珩铰的 C_{pk} 对比

类型 项目	过程能力指数 C_{pk}	
	精镗	珩铰
孔径 ($\pm 0.025\text{mm}$)	0.58	1.02
表面粗糙度 ($R_a < 2.3 \mu\text{m}$)	-0.61	5.88
圆度 ($< 0.013\text{mm}$)	0.48	1.44
锥度 ($< 0.01\text{mm}$)	0.36	1.02
同轴度 ($< 0.04\text{mm}$)	0.93	1.6

3. 珩铰存在主要质量问题

珩铰过程中，出现的典型质量问题及解决方法如下：

(1) 退刀纹。珩铰杆采用浮动导向条定位，加工完成后，退刀速度不能太快，珩磨条容易接触到加工过的孔表面（见图3a），推荐退刀速度不超过 10m/min 。

(2) 珩铰出口方向翻边毛刺。由于珩铰过程存在挤压的过程，在出口方向不可避免存在翻边的情况（见图3b）。珩铰单边余量只有 $0.03 \sim 0.05\text{mm}$ ，翻边高度较低，且由挤压形成不易脱落，不会对装配和清洁度产生影响，但目前也没有好的方法彻底清除。

(3) 锥度超差。珩铰过程中出现的锥度超差，大多出现在最后一个孔，主要是由于珩铰杆上切削部分最高点没有穿过孔造成的，只需调整工进终点便可解决问题。

4. 珩铰工艺对发动机性能贡献

除了珩铰带来质量指标的提升外，对发动机性能贡献也是明显



(a) 退刀纹



(b) 出口方向的翻边毛刺

图 3

的。以康明斯某发动机为例，此发动机凸轮轴孔不压衬套，运转过程中孔与凸轮轴颈直接配合。20h可靠性试验评审发动机拆解后，发现精镗过的凸轮轴孔、轴颈有黑色痕迹，严重时会有手感。使用D126规格金刚石，珩铰过的凸轮轴孔、轴颈表面的痕迹消失，个别轴颈有痕迹，但宽度明显变窄，颜色变淡为灰色，无手感。使用粒度更细的

D151规格加工的凸轮轴孔，孔表面试验后完全没有痕迹（见图4）。这种现象说明，加工质量的提升，带来的是滑动摩擦力降低，功率损失减少。

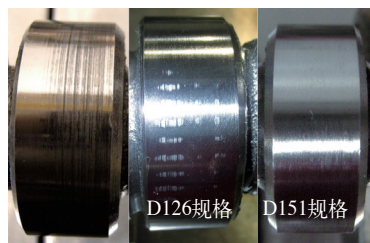


图4 左镗孔对应凸轮轴表面状态

结语

珩铰工艺在发动机缸体曲、凸孔中的使用，显著提升孔的表面粗糙度、圆度和锥度，这些质量指标的提升有助于减少滑动配合的摩擦阻力，增加衬套压装的贴合度，进而提升发动机的可靠性。同时，珩铰使用金刚石刀具，刀具寿命达到6万件以上，加工质量有很好的 consistency。在珩铰过程使用两次在线测量，可以对前序和本序的加工质量进行100%监控。总之，珩铰工艺的引入对发动机关键零件质量的提升有重要意义。 **AME**

林勇

工艺主管中级工程师
东风汽康明斯发动机有限公司

