

偏转机构微调镗刀在缸孔精加工中的运用

□ 南京汽车集团有限公司/胡劲松



偏转机构微调镗刀是目前发动机制造行业比较先进的镗削刀具，广泛应用于缸体缸孔和连杆大小头孔的精加工，由于具备尺寸补偿和调头精镗的功能，所以它具有加工精度高、生产节拍快、无退刀痕的优点。本文以缸孔镗削为例，着重介绍了该种刀具的加工原理、工艺特点、调整要点及相关的问题解决，希望为广大业内同行提供参考。

加工设备介绍

NSE发动机缸体生产线于2010年正式投产，其中的OP80工序使用的是德国GROB公司的一条专用自动线（见图1），共有18个加工工位，各工位之间依靠步进式输送装置完成工件的周转。主要完成曲轴

孔、变速器安装孔、上平面及缸孔的精加工（见图2）。理论生产节拍为60JPH（件/小时）。

缸孔加工在12工位和14工位完成（13工位为空工位），12工位用于半精镗及精镗1、3缸孔；14工位用于半精镗及精镗2、4缸孔。这

两个工位的缸孔镗头呈双轴立式布置，3把半精镗刀片和1把精镗刀片均装夹在同一刀杆上。该刀杆带有特制的偏转器，借助该机构能够实现刀片的径向移动（俗称“涨刀”）。16工位为测量工位，通过自动测量可把半径误差反馈给12工

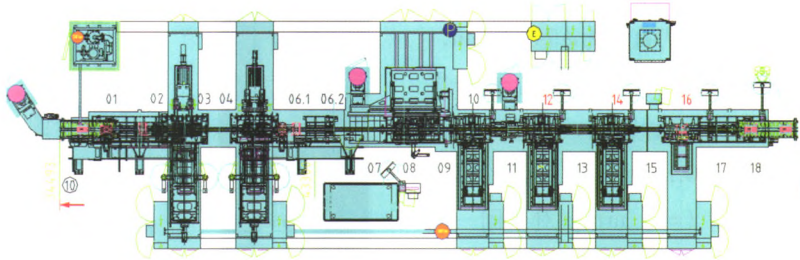


图1 GROB数控专机平面布置



图2 NSE缸体

位和13工位，用于缸孔尺寸的自动补偿。

偏转机构微调镗刀工作原理

OP80缸孔精加工采用的是德国SANTecg公司的偏转机构微调镗刀，它的偏转器由主轴、调整叉、垫块和偏转轴（刀座）等组成（见图3）。伺服电动机通过拉杆驱动主轴内的调整叉做U轴移动，调整叉内部的两表面与中心线有一个夹角α。起传递作用的刀座通过回转枢轴固定在主轴上，并借助两个垫块与调整叉两内表面相配合。当调整叉沿U轴移动时，刀座随之偏转并产生径向位移，此时主轴不沿Z轴移动。长度为L的镗杆通过联接装置（如HSK刀柄）固定在刀座下端，半精镗刀片和精镗刀片装夹在

镗杆上，加工时主轴带动镗杆旋转并沿Z轴进行切削：半精镗时主轴向下进给（刀座不偏转）；精镗时主轴向上进给（刀座已偏转）。镗刀移动半径R与U轴移动量U之间关系是：

R= (Atan α /B) × U (1)

缸孔加工工艺简介

工艺要求：半精镗尺寸为φ（74.8±0.05）mm；精镗尺寸为φ（74.925±0.015）mm；倒角为（0.905±0.25）×15°；圆度为0.01mm；圆柱度为0.015mm；表面粗糙度值Ra=1.6~2.5 μm；位置度为φ0.2mm；垂直度φ0.06mm（见图4）。

定位方式：采用“一面两销”的定位方式，限制6个自由度。

工件材料：灰口铸铁（牌号：HT250），硬度为180~225HB。

加工步骤如下：

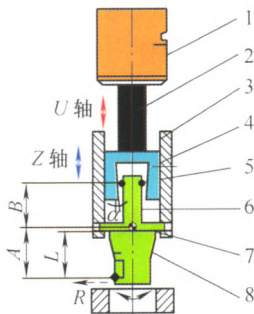


图3 刀具结构示意图

1.伺服电动机 2.拉杆 3.主轴 4.调叉 5.垫块
6.偏转轴 7.回转中心 8.镗杆

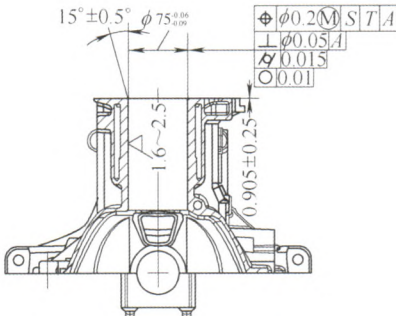


图4 工艺简图

- (1) 工件到位，夹具夹紧。
- (2) U轴回0位，主轴旋转（3 400r/min），镗杆向下进给（0.18mm/z），完成半精镗（精镗刀直径为74.625mm，半精镗刀直径为74.8mm，前者小于后者）。
- (3) U轴往上移动，镗刀径向移动（精镗刀直径变为74.925mm，半精镗刀直径变为74.5mm，前者大于后者）。
- (4) 主轴变速（600r/min），镗杆调头向上进给（0.25mm/z），完成精镗。

U和R的运算关系

如图5所示，由公式1推导出：

U=Rcot α × (B/A)
=Rcot1.5° × (78/90)
=33.097R (2)

33.097称为偏转机构微调镗刀的半径补偿因子，用“R60”表示，它直接反映了U轴移动距离和镗刀移动半径的线性关系。结合生产现场，对两者关系进行了进一步的诠释。

(1) 当需要用小直径镗刀加工出大直径内孔时：

镗刀理论移动半径=（镗孔尺寸-镗刀直径）÷2 (3)

U轴理论移动距离=刀具理论移动半径×R60 (4)

(2) 当镗孔尺寸有误差时：
半径误差补偿量=直径误差÷2

(5)

U轴补偿量=(-1)×半径误差
补偿量×R60

(6)

U轴实际移动距离=U轴理论
移动距离+U轴补偿量

(7)

U轴实际移动距离=镗刀理论
移动半径×R60+(-1)×半径误差
补偿量×R60

(8)

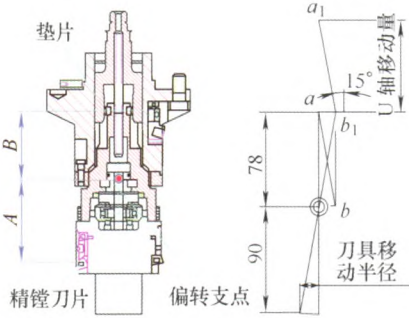


图5 U和R的运算关系示意图

U轴最大工作行程的组成和分析

最大U轴工作行程包括U轴实际移动距离和U轴0位调整量，而U轴实际移动距离是由U轴理论移动距离和U轴补偿量组成的（见公式7）。鉴于设计结构的限制（见图6），NSE缸孔精镗刀的最大U轴工作行程为10.5mm。

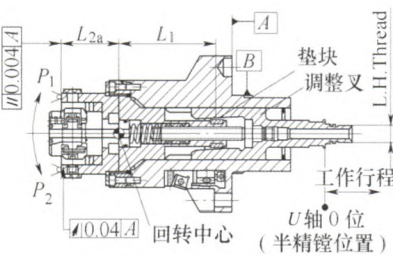


图6 偏转器装配

具体分析如下：

(1) U轴理论移动距离是由镗刀理论移动半径所决定的，而镗刀理论移动半径取决于镗刀直径和镗

孔尺寸的差异。以NSE缸孔精镗刀为例：精镗刀直径为φ74.625mm，精镗尺寸为φ74.925mm。由公式3和公式4可计算出，精镗刀理论移动半径0.150mm，U轴理论移动量4.965（≈5）mm。对于同一把NSE缸孔精镗刀来说，工艺尺寸不变化，U轴理论移动半径也是不变的。

(2) U轴补偿量是由半径误差补偿量决定的（见公式6），而半径误差补偿量的大小取决于缸孔的加工误差（见公式5），影响加工精度的主要因素有：刀片磨损程度、调刀尺寸、偏转器装配精度（刀座端面平行度和刀座锥孔跳动量）、偏转器磨损程度（调整叉、垫块、壳体、刀座等构件）、机床精度、工件材料、切削液、夹具刚性和在线量仪的测量精度等。

(3) 在安装和维护偏转器时都必须要进行U轴的0位调整，U轴0位调整量的大小直接影响到偏转器的使用寿命，所以我们为偏转器的安装和调整制定了严格的技术要求和操作流程。

1) 安装偏转器。以50%的扭矩用6个轴向螺钉将偏转器安装到主轴上（见图7）；通过伺服电动机驱动拉杆沿U轴移动调整叉，将刀座端面（P₁/P₂面）的平行度调整在0.004mm以内；调节4个径向螺钉，将刀座锥孔的跳动量调整在0.04mm以内；以100%的扭矩将6个轴向螺钉拧紧；将这时的U轴位置作为0位（半精镗位置）输入到机床的NC程序中。

2) 维护偏转器。随着偏转器的调整叉、垫块、壳体、刀座等构件的磨损加剧，处于原来的U轴0位

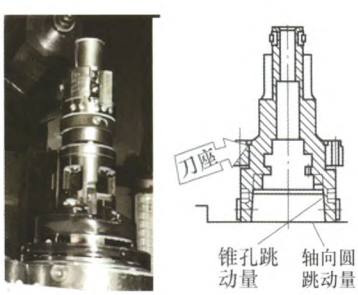


图7 偏转器安装示意

（半精镗位置）的刀座端面的平行度有可能变大，导致半精镗尺寸变大、精镗尺寸不稳定。为了避开偏转器构件的磨损位置，通过伺服电动机驱动拉杆沿U轴向上移动调整叉，在重新确认刀座端面的平行度小于0.004后，就将此处的U轴位置作为新的0位，输入到机床的NC程序中。

NSE缸孔精镗刀的最大U轴工作行程为10.5mm，U轴理论移动距离为5mm。那么，U轴补偿量和U轴0位调整量之和应为5.5mm，计算过程：U轴补偿量+U轴0位调整量=最大U轴工作行程-U轴理论移动距离=10.5-5=5.5mm。

由于U轴补偿量和U轴0位调整量之和是一定的，所以，当U轴0位调整量比较小的时候（偏转器的使用后期），U轴补偿量（半径误差补偿量）的允许范围就比较大；当U轴0位调整量比较大的时候（偏转器的使用后期），U轴补偿量（半径误差补偿量）的允许范围就比较小。

镗刀相关问题的解决案例

1.解决“缸孔螺旋纹”的质量问题

缸孔表面在精镗后曾出现螺

旋纹的外观缺陷（见图8），严重时会导致表面粗糙度和加工尺寸超差。经过分析得出，是由于半精镗尺寸过大造成的。长期使用会造成偏转器的调整叉、垫块、主轴内孔及刀座之间发生磨损，导致U轴0位时刀座发生了偏转，造成的后果是：刀座锥孔的跳动量变大，半精镗尺寸也就变大。



图8 缸孔表面螺旋纹

采取的应对措施是：

（1）对U轴0位进行重新调整。将调整叉沿U轴向上移动1mm（经验值），在确认刀座安装精度满足要求后，将此U轴位置设置为0位。

（2）在满足工艺要求情况下，减小半精镗调刀尺寸，加大精镗加工尺寸。

2. 延长偏转器使用寿命的若干措施

在日常生产中发现，刀片磨损对偏转器的使用寿命影响很大，主要表现为：

造成偏转器的负载增大，加剧了调整叉、垫块、主轴内孔及刀座的磨损。

造成加工误差变大，如果半径误差补偿量超出了允许范围，会导致

致机床的拒绝加工。

为了减少刀具磨损速度，选用耐磨性能比较好的PCD金刚石刀片，使用寿命为1 500台/片。

鉴于偏转器比较昂贵（约8万元/套），我们对已失效的偏转器进行了“再利用”，采取了一些补救措施（如对磨损部位进行刷镀处理、旋转调整叉避开磨损部位等），取得良好的效果。

3. 手动补偿和自动补偿的有效运用

精镗尺寸的补偿（见公式8）有手动补偿和自动补偿两种方式，补偿方式的合理选择是很有必要的。

自动补偿：缸体精镗后移动到16工位，进行自动测量，根据16工位的测量结果自动得出半径误差补偿值，实时对缸孔尺寸进行补偿，自动补偿一般是在加工过程中由机床自动实施的。

手动补偿：操作工在精镗工位用内径千分尺测量缸孔直径，再根据测量结果与工艺尺寸的差异，手动输入半径误差补偿值，手动补偿一般是在换刀后首件检查时实施的。

换刀后，首件加工中把“手动补偿”和“自动补偿”进行了有效结合，具体步骤如下：

（1）记录下换刀后首件合格件的半径误差补偿量，针对4个镗头分别统计出10个数据。

（2）将上述数据的平均值和最新值进行比例分配，计算出半径误差补偿量的经验值。

（3）换刀后，先手工输入半径误差补偿量的经验值，再进行正常加工。

（4）由机床对缸孔的加工尺寸进行自动测量和自动补偿。

实践证明，这种方法在使用后取得了良好效果，既降低换刀工废率，也提高了换刀效率。

结语

如何高效地发挥偏转机构微调镗刀的工艺特点？如何科学地掌握这种刀具的调整方法？如何有效地延长相关偏转器的使用寿命？针对这些问题，必须通过深刻的理论学习和长期的实践摸索来找出相应的答案。笔者在文中浅谈了在这些方面的体会和认识，希望为广大业内同行提供一些有益的参考。 **AME**



胡劲松

南京汽车集团有限公司
动力总成机加工生产部技术主管