变速器深孔采用普通设备加工工艺

□ 河南林业职业学院/安存胜
□ 河南卫华重型机械股份有限公司/聂福全

深孔零件在镗削过程中，由于存在工艺系统刚性差、排屑及冷却困难等缺点，孔的加工精度和表面粗糙度精度难以保证，必须采取合适的工艺流程及加工工艺。本文介绍一种在普通镗床上深孔加工工艺方法及相应刀具、工艺参数选择，可有效保证深孔加工质量。

由于变速器上深孔较多且各孔之间尺寸、形位精度要求较高，因此深孔的加工具有一定难度，有条件的企业一般是在刚性、精度较好的数控加工中心或数控镗铣床上完成，而普通企业由于条件有限，只能在普通镗床上加工该类型工件，要想满足工件上深孔加工精度要求，就必须制订合理的工艺流程和加工方法，才能确保上述孔的加工质量。

合理制定加工工艺

在普通镗床上镗削一般孔可采用钻→粗镗→精镗的工艺流程。而对于类似于图1所示工件，长径比较大且精度要求较高的深孔加工多采用钻→粗镗→镗→铰（或精镗）等工艺措施，此工艺方法称为综合加工法。采用综合加工法可以在普通镗床上，通过在不同工序阶段选择合理的刀具、切削参数、切削液来提高工件加工精度和效率，满足工件加工的表面粗糙度要求。

因此，该类型工件孔的镗削流程可定为：预钻（中心钻）→钻孔→粗镗、半精镗→铰孔（或精镗）。由于预钻、钻孔工序比较简单，本文不再赘述。

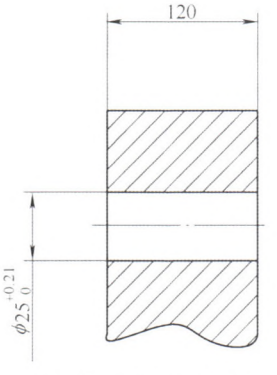

图1 变速器局部深孔示意

1.粗镗（半精镗）工艺

（1）镗削工艺的确定。在变速器实体上加工深孔，采用预钻孔工艺时，由于钻头刃磨或钻头摆动等因素，钻削后孔的轴线往往存在不同程度的偏移，必须采用单刃镗刀刀镗削的方法进行修正。深孔镗削时，由于刀杆细长且刚性差，校正起来也很困难，通常情况下，只能采取减小切削深度、多次进给的加工方法，因而对加工效率会产生一定影响。此外，由于排屑不畅，切削时将切屑挤在孔的下母线一侧而抬起刀杆，增加了刀杆的扰度，此时非但不能校正孔轴线位置，反而会增加偏移误差。为了避免这些弊病，可采用反向进给方式，如图2所示，即用拉镗法进行镗削。这样可使细长而刚性差的镗刀杆在拉力的作用下工作，减少了刀杆的弯曲和振动，待孔轴线校正好后，改用双刃镗刀半精镗削，然后用铰刀或浮动镗刀精加工。

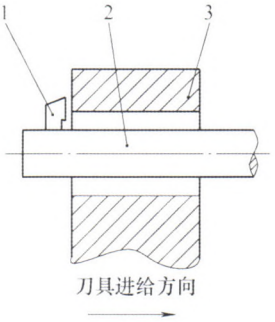

图2 拉镗法加工示意

1.镗刀 2.镗杆 3.工件

（2）粗镗孔前余量的确定。按照上述工艺流程，粗镗孔前，孔采用预钻的方式实现钻出，粗镗孔的主要目的是尽快切除多余余量并修正钻孔精度，因此，钻孔后余量不应太大，一般应以2～3mm为宜，这样可实现一次进给完成粗镗加工。粗镗后留有一定精镗余量供铰孔或精镗孔用。

（3）粗镗孔时的切削参数。在加工钢件时，为提高粗镗孔效率，在留有一定精加工余量的前提下，粗镗孔的每次镗削深度可取2～4mm；加工铸铁时，每次镗削深度可取2～6mm；进给量*f*选择主要考虑工艺系统的刚性，由于粗镗深孔时刚性较差，在选择进给量时，一定要避免因工艺系统刚性不足而引起的振动，从而影响工件的加工精度和机床使用寿命；在镗削深度和进给量选定后，在保证刀具寿命的前提下，切削速度*v*可以尽可能大一些，以降低表面粗糙度值并提高加工效率。

在实际应用中，如果发现在加工过程中机床有显著振动，可降低一级转速，这样可以改变加工振动频率，以消除振动。

（4）切削液的选择。粗镗时，切削余量大，切削温度较高，容易造成刀具磨损的加快，因此，切削液的主要作用是快速冷却。因此，在粗镗钢件时，可以采用3%～5%的乳化液，在加工铸铁时，一般不用切削液。

2.铰孔工艺

（1）铰孔余量确定。铰孔质量的高低与铰刀自身质量及镗削余量选择是否恰当密切相关。如前文所述，深孔铰孔前，已经先经过粗镗修正孔位并留有一定的铰孔余量。而余量的大小直接影响铰孔质量；余量太小，不能把前道工序所留下的加工痕迹铰去；余量太大，切屑挤满在铰刀的齿槽中，使切削液不能进入切削区，严重影响孔表面粗糙度，甚至造成切削刃因负荷过大而迅速磨损，甚至崩刃。因此，铰孔余量的确定对于深孔零件加工尤为重要，一般情况下高速钢铰刀铰孔余量为0.08～0.12mm；硬质合金铰刀铰孔余量为0.10～0.15mm。

（2）铰刀直径及工具的选择。铰刀直径尺寸最好选择在被加工工件孔直径公差带中间1/3左右的尺寸，在选择铰刀时还要注意刃口必须锋利，没有崩刃和毛刺。根据图1工件孔尺寸，该工件铰刀尺寸为ϕ25.007～ϕ25.01mm。

铰削深孔时，要采用如图3所示的接长杆工具。使用时，铰刀安装在内锥孔中。接长杆的长度和内锥孔大小根据加工需要而定，使用接杆铰刀装拆刀具非常方便，且能够保证刀具安装后与镗床主轴锥孔的同轴度精度，从而确保孔的加工精度。

（3）铰孔参数的确定。铰孔时还应注意切削参数对精度的影响，在铰孔余量确定后，铰孔时的切削参数主要包括进给量和切削速度。进给量*f*大小取决于铰刀直径。铰刀直径越大，齿数也相应增多，允许的进给量就大。一般钢件*f*取0.21～0.25mm/r，铸铁件*f*则取0.4～1.6mm/r。

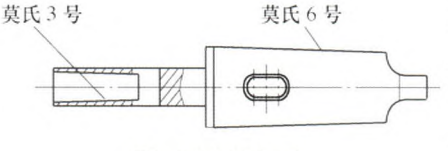

图3 接长杆结构示意

切削速度主要取决于孔所要达到的精度和表面粗糙度以及铰刀切削部分和工件材料等因素。为了获得较小的表面粗糙度值和减小工件弹性变形以获得较高的尺寸及形位精度，切削速度应取较低值，一般不大于5m/min。

（4）铰孔切削液的选用。铰孔时，切削液对孔的扩胀量与孔的表面粗糙度有一定影响。实践证明，在干切削和非水溶性切削液的铰削工况下，铰出的孔径会比铰刀的实际直径稍微大一些，干切时达到最大；而用水溶性切削液时（如乳化液），铰出的孔则会稍微小一些。因此当用新铰刀铰削弹性较好的钢件时，可选用10%～15%的乳化液作为切削液，这样孔不容易扩大。铰刀磨损到一定程度，可用油类（机油和煤油的混合油）切削液，使孔稍微扩大一些，以抵消刀具的磨损量。

铰削铸件时，可使用煤油作切削液。铰削铝合金或青铜材料时，可用2#锭子油或煤油。

通过多次试验证明，用水溶性切削液铰孔的表面粗糙度值最小，用油类切削液孔的表面粗糙度次之，干切削时最差。因此，铰孔时必须充分加注合适的切削液。

3.精镗孔工艺

在没有条件使用铰刀作深孔精加工时，可采用浮动镗刀进行精镗孔。浮动镗刀的切削过程与铰孔极为相似，在使用时，由于浮动镗刀能沿镗杆径向自由滑动，因此可自

动补偿因刀具安装误差或由于镗杆径向跳动误差而引起的加工误差。因其具有加工质量好，易于控制的特点，广泛应用于孔的精镗加工中。同铰孔一样，由于在镗削过程中，镗刀是浮动的，所以它不能纠正原有孔轴线歪斜和位置偏差，这就要求精加工前，孔应有足够的形状精度。如果没有浮动镗刀，也可采用单刀宽刃刀具精镗深孔，但采取此种工艺方法将容易导致加工过程中振动增大而造成孔的表面粗糙度增大，因此，必须采取以下措施加以预防。

（1）刀具选用及参数制定。采用单刀宽刃刀具精镗孔时，为减小深孔镗削的振动，可采用图4所示的圆弧支撑刀具，该刀具的切削刃约为刀宽的1/5，主偏角K_r=8°～10°；修光刃约为刀宽的2/5；前角γ_0=为25°～30°，后角α_0=2°～4°；剩下的2/5刀宽为支撑部分，这部分没有刃口，它连同后刀面一起磨成圆弧形，其半径R的尺寸比修光刃处小0.02～0.05mm。切削时既能抑制振动，又不会破坏孔已加工部分的表面粗糙度，该刀具具有较好的消振作用，在镗削深孔时可取得良好的使用效果。

（2）切削参数的合理选用。精镗孔时，主要考虑的因素是孔的加工精度和表面粗糙度。因此，在精镗钢件时，镗削深度a_p=0.2～0.3mm；加工铸铁时，a_p=0.2～0.5mm；进给量f选择可根据工件表面粗糙度值要求，选取较小的进给量；在精镗孔过程中，如果按照已经选定的镗削深度和进给量加工后，仍达不到所要求的表面粗糙度值，应适当降低进给量，提高切削速度。同时，为避免积屑瘤的产生，往往采用较低或较高的切削速度，以获得理想的表面粗糙度。

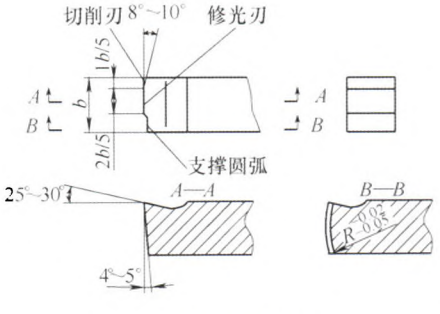

图4 圆弧支撑刀具及参数

在实际应用中，如果发现在加工过程中机床有显著振动，可降低一级转速，改变振动频率，以消除振动，提高加工精度。

（3）切削液的合理选用。精镗深孔时，切削液既要起到冷却作用，还要起到较好的润滑作用，这样才能确保加工精度和刀具使用寿命。对于钢件深孔镗削，可采用10%～20%的乳化液或10%～15%的极压乳化液；对于铸件深孔镗削，可采用煤油或煤油与矿物油的混合物作为深孔精镗时的切削液。

（4）精镗过程中振动的预防。深孔镗削过程中，由于刀杆悬伸过长，容易出现加工振动的情况，直接影响刀具的使用寿命和深孔镗削的质量。因此必须采取措施加以避免，具体方法如下：

第一，加大镗杆直径。镗杆的刚性与其直径四次方成正比，因此加大镗杆直径，可以有效提高镗杆刚性。当然，镗杆直径加大是以不影响加工为前提的。

第二，刀杆进行一定处理。如图5所示，在镗杆上适当削扁，由于刀杆承受载荷时应力发生变化，同样可以减小振动。

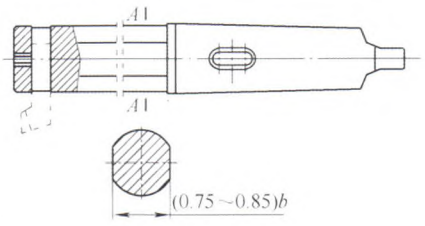

图5 镗杆进行削扁处理

第三，采用重金属材料做刀杆。采用弹性模量较大的重金属材料做刀杆，如碳化钨硬质合金等来作为小直径镗刀、刀杆材料，可显著提高其刚性。

第四，采用消振器。镗削过程中的振动非常复杂，有时采取了防振措施，但仍避免不了产生振动。这种情况下可以通过在刀杆上使用消振动器，以有效消耗工艺系统的振动能量，使刀杆的振动减弱或受到抑制。常用的消振器为冲击消振装置，按其原理可分为单物冲击消振动器、单物动力消振器、多物消振器等。其原理是依靠内部消振块的冲击来消耗能量，以达到消除或减小振动的目的。此种刀具具有较好的消振效果，其缺点是价格比较昂贵。图6所示的简易消振装置，为带海绵橡皮环消振装置的镗杆。这种海绵橡皮吸振装置，不需要做精密的频率调整就具有很强的消振功能，因此，可适用于广泛的频率振动范围内消振。

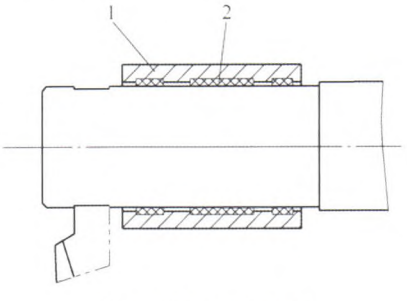

图6 带海绵橡皮环消振装置

1.套筒 2.海绵橡皮环