

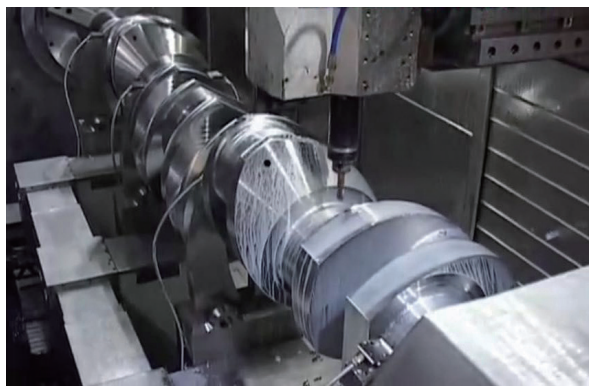
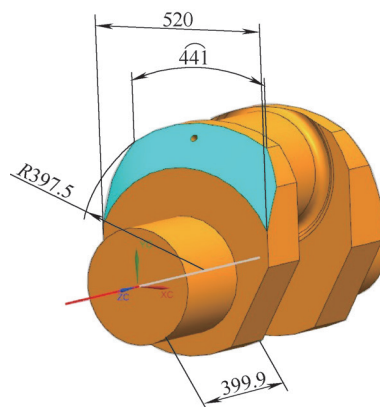
中速柴油机曲轴交叉斜油孔加工技术

王逢涛，童勇智，金许涛，杨天峰，杨希，裴敏怡

陕西柴油机重工有限公司 陕西兴平 713105

摘要：针对某系列柴油机曲轴主油道交叉斜油孔加工过程中出现的空间不易定位、刀具寿命低、易振动、难排屑及加工效率低等问题，对深孔加工机理进行研究，对切削参数进行优化。通过采用在大型车铣中心上钻出引导孔，用枪钻交叉钻通油孔的方法，顺利完成曲轴斜面交叉深孔的加工。

关键词：柴油机；曲轴；斜油孔；交叉；深孔；枪钻



a) 曲面所处的位置示意

1 序言

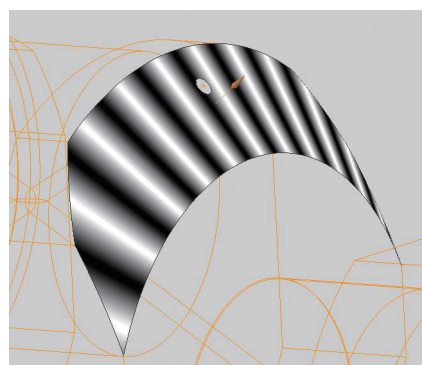
曲轴作为柴油机的关键部件，被誉为船用柴油机的心脏，其使用寿命要求与船舶相等，一般在二三十年以上。曲轴造价占发动机总造价的1/3。由于曲轴中深油孔和各个轴瓦相通，起润滑与冷却作用，所以对其加工精度和表面质量等要求较高。而且被加工材料的切削加工性较差，两孔交叉相贯，是加工中的一大难题。

2 某大型曲轴交叉斜油孔加工难点分析

在加工大型曲轴交叉斜油孔时，存在以下加工难点。

1) 深孔加工时，曲面难以定位。由于孔为空间斜孔且在圆弧曲面上（见图1），进行钻削时两边刃受力不同，容易使钻头偏上或偏下，造成偏斜弯曲，严重时会造成钻头扭断。

2) 深孔加工时，两孔倾斜相交贯穿（见图2），刀具易断、易钻偏。第1个深孔加工完成后，



b) 曲面示意

图1 空间斜孔示意

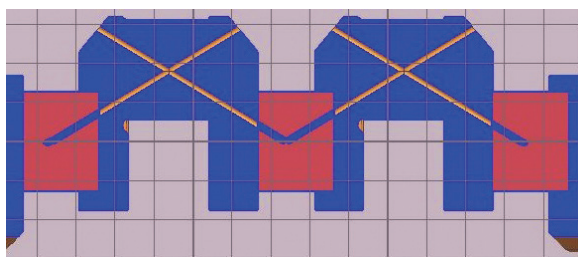


图2 两孔倾斜相交贯穿示意

加工第2个孔时，在交叉处深孔刀具细长、刚性差且强度低，会产生引偏和振动，使刀具易折断，孔钻偏。同时因两深孔交叉，内冷压力减少，易造成刀具断裂夹死，加工风险高，难度大。

3) 深孔加工时，排屑路径较长，切屑排除困难，刀具散热条件差，切削温度升高，使刀具寿命降低。由于深孔较难断屑及控制切屑的长短与形状，切屑排除困难，因此会损伤已加工表面，同时刀尖在孔的表面将留下刀痕和振纹，导致表面质量较差（见图3）。在切削力的作用下，刀杆会产生挠度变形，造成孔的轴线偏离理论中心线。同时切削温度随着刀具加工的逐步深入而逐渐升高，其间产

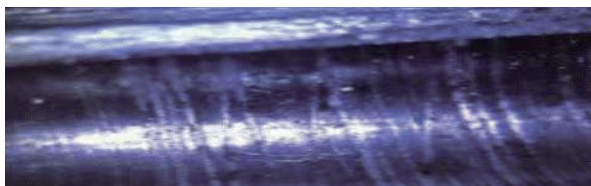


图3 曲轴孔内表面质量示意

生的切削热不能及时排除，致使刀具发热，刀具寿命降低，削弱了刀具的切削性能。

3 工艺流程与数控加工方案

曲轴是发动机的主要旋转机件，装上连杆后，可承接连杆的上下（往复）运动，变成循环（旋转）运动以输出动力，是发动机上的一个重要部件。曲轴斜油孔作为润滑油的通道，起润滑、冷却作用。曲轴箱里面的机油通过油道，进入连杆颈与主轴颈，润滑轴瓦与曲轴接触部分。由于斜油孔相对于公共平面呈斜交状态，因此给技术人员的设计与计算增添了一定的难度。

(1) 尺寸、位置精度 曲轴作为发动机的重要传动部件，既要保证装配联接规范，又要满足组装后柴油机的总体性能要求，因此对其尺寸、位置有着严格的技术文件要求。例如：图4所示的斜孔在与水平线夹角为 $31^{\circ} \pm 15'$ 处距离主轴颈的竖直高度为 $360.5^{+0.5}_0$ mm，距离主轴颈的水平距离为

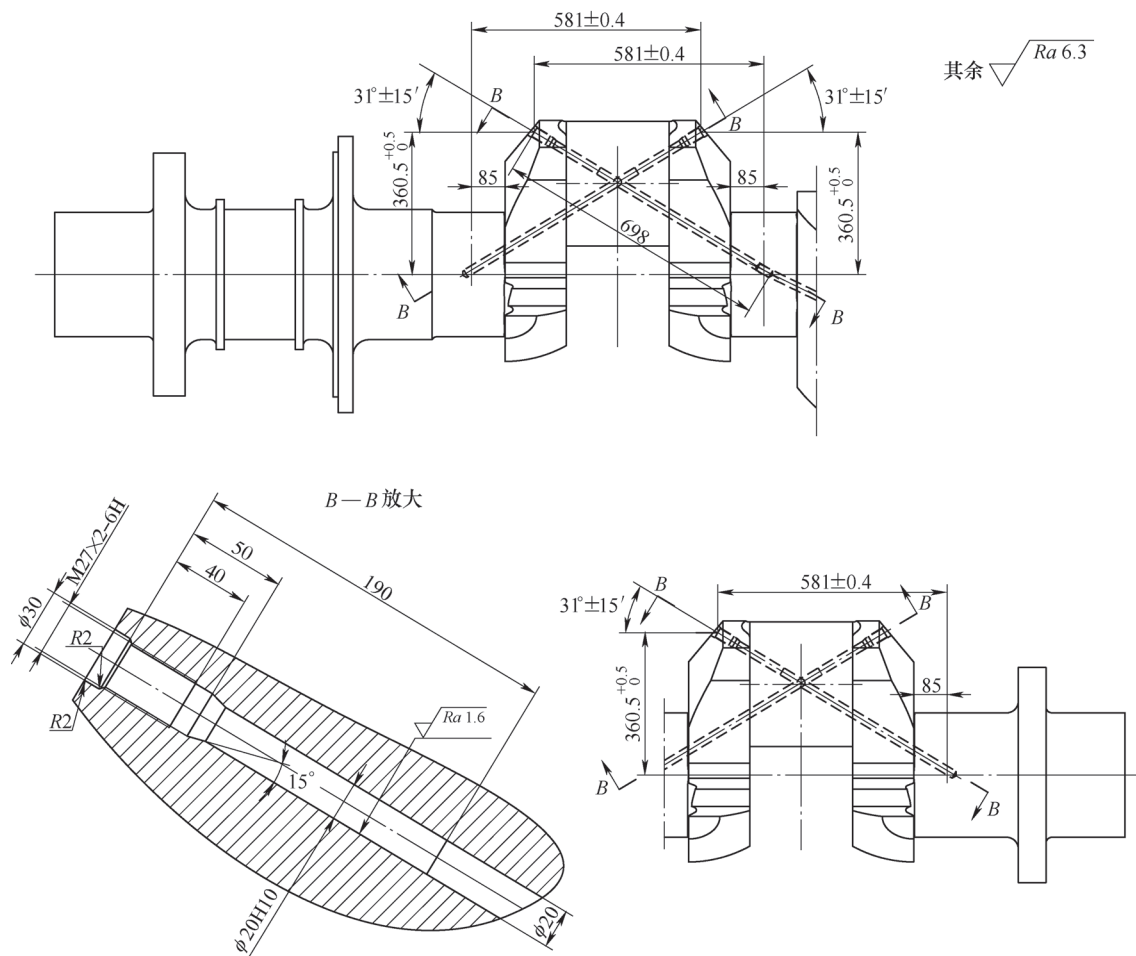


图4 某柴油机斜孔加工要求

(581 ± 0.4) mm, 孔径 $\phi 20H10$ ($^{+0.084}_0$) mm、孔深 698mm。

(2) 几何精度 中高速柴油机曲轴一般采用铸锻整体结构, 其特点为质量大、精度高, 性能要求苛刻。轴颈与拐颈偏心距大, 机体接触面大、密封性好。对于零件的几何加工精度要求较高, 例如: 某相邻孔轴线平行度 $\leq 0.15\text{mm}$, 直线度 $\leq 0.08\text{mm}$, 径向圆跳动 $\leq 0.1\text{mm}$ 。

(3) 表面粗糙度 曲轴斜油孔是润滑油的通道, 因此对其表面质量有较高的要求。例如: 某曲轴斜油孔要求表面粗糙度值 $Ra=6.3 \mu\text{m}$ 。

(4) 加工方法的选择 扁钻适用于长径比 (L/D) < 10 的深孔加工; BTA套料钻深孔加工成本高, 需购置专用设备, 维护使用费用高, 且不适用于大型轴类深孔加工。经测试, 由于采用枪钻具有更高的加工精度、直线度和表面质量, 其加工精度可达 IT7~IT10 级, 表面粗糙度值 $Ra=3.2 \sim 12.5 \mu\text{m}$, 圆度误差一般为 $5 \sim 10 \mu\text{m}$, 符合加工要求, 且其成本低, 加工效率高, 制造周期短, 所以选用枪钻系统加工最为合理。

(5) 定位的可靠性分析 运用6点定位原理, 分析定位的可靠性 (见图5)。HTM1251000是我公司于2010年购买的沈阳机床厂的车铣中心, 采用西门子840D数控系统, 配有左右两个旋转头, X、Y、Z3个直线轴和B、C2个旋转轴。采用前后顶尖定位, 其中前顶尖固定, 后顶尖可浮动。前顶尖限制工件不能进行X、Y及Z轴的移动, 后顶尖限制Y、Z轴的移动。由于两顶尖组合定位可转化成可限制Y、Z方向转动, 所以共限制5个自由度。工件只有X轴方向的转动未被限制, 故定位是可靠的。

(6) 编制数控加工程序 利用三维造型模块通过工艺图样建立三维模型 (见图6), 分析测量油孔中心相对曲轴中心和拐臂基准的空间距离, 同时

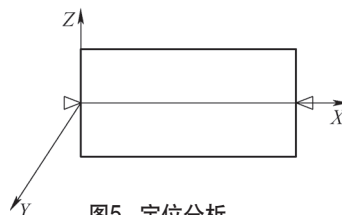


图5 定位分析

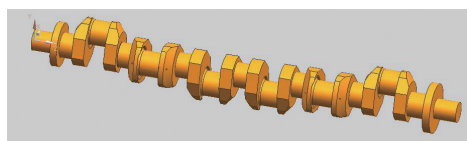


图6 曲轴三维示意

旋转铣头, 以确定空间位置, 进行钻孔加工程序编制。

1) 模拟加工过程, 完善刀具几何参数, 提前避免加工干涉及碰撞。运用数控加工仿真系统, 构建机床结构、夹具、刀具和控制系统, 由NC程序仿真数控车铣中心加工过程 (见图7), 优化NC程序, 缩短加工时间, 延长刀具寿命, 改进表面质量, 检查过切、欠切, 防止机床碰撞、超行程等错误, 并对整个加工工艺过程进行再认证。

2) 确定刀具、切削参数, 选择加工余量、切削角度。曲轴油孔均在主轴颈拐颈的外圆表面上, 极难加工, 因此只能采用先确定合理的切削角度, 铣出轴向法平面, 钻引导孔, 调试枪钻加工切削参数, 设计防泄压堵头, 再钻第2个斜孔的方法进行加工。某曲轴斜面交叉深孔加工时间及切削参数统计见表1。

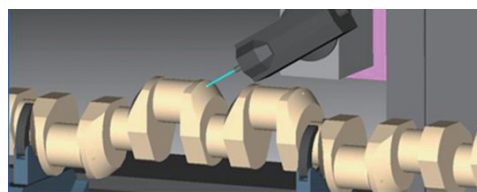


图7 曲轴仿真加工示意

表1 某曲轴斜面交叉深孔加工时间及切削参数统计

加工内容	加工用刀具	加工时间	切削时间	转速 $n/(\text{r/min})$	进给速度 $v_f/(\text{mm/min})$
铣 $\phi 30\text{mm}$ 孔	$\phi 20\text{mm}$ 立铣刀	3min5s	2min27s	635	80
$\phi 20\text{mm}$ 深孔划窝	$\phi 20\text{mm}$ 中心钻	1min30s	30s	720	112
$\phi 20\text{mm}$ 深孔钻引导孔	$\phi 20\text{mm}$ 浅孔钻	6min33s	2min1s	420	35
镗 $\phi 30\text{mm}$ 及 2 个 M27 底孔	$\phi 30\text{mm} \times \phi 25\text{mm}$ 组合镗刀	3min26s	1min54s	365	38
15° 倒角	$\phi 25\text{mm} \times 15^\circ$ 倒角	2min30s	2min30s	415	20
$\phi 20\text{mm}$ 深孔	$\phi 20\text{mm}$ 引导枪钻	3min26s	2min54s	365	38
$\phi 20\text{mm}$ 深孔	$\phi 20\text{mm}$ 枪钻	28min26s	21min26s	360	32
时间总计		48min56s	33min42s	—	—

4 具体加工步骤

深孔钻削加工过程大致分为以下几个步骤。

1) 铣出法向平面，钻出引导孔。首先通过建立三维模型，分析测量油孔中心相对曲臂端面与轴心的Z、X坐标值；然后利用程序指令平移并旋转铣头31°确定位置。使用过中心 $\phi 20\text{mm}$ 立铣刀，在圆弧面的法向上铣出 $\phi 30\text{mm}$ 凹腔，以便于引导钻定位钻出引导孔，为枪钻起引导和支撑作用；最后使用 $\phi 20\text{mm}$ 枪钻加工出第1个深斜孔（见图8）。

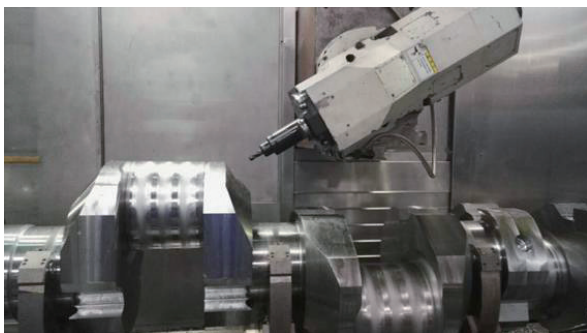


图8 第1个深斜孔加工示意

2) 增加引导钻和枪钻，设计防泄压堵头（见图9）。深斜孔和另一孔是贯通的，当刀具加工到贯穿位置时，刀具的刃部受力发生急剧变化，表现在切削刃两侧支撑力平衡状况被打破，刀具受另一侧切削力作用，钻头发生偏移。若偏移过大，则刀具会发生折断，工件位置度会发生变化。为有效减少断刀现象，在两孔相贯位置处钻出深15 mm孔后，使用防泄压堵头封住另一侧深孔，引导枪钻在加工时，主轴转速和进给速度降低到原数据的1/3，以减小刀具切削力的不平衡性。

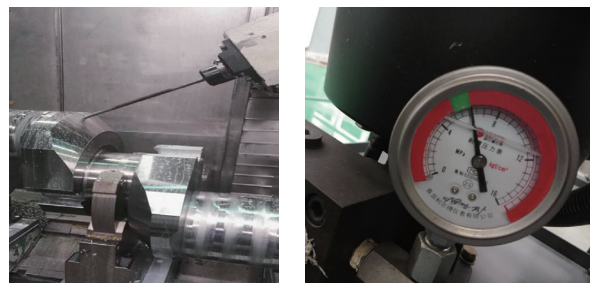


a) 引导枪钻加工 b) 防泄压堵头三维图

图9 引导孔加工示意

3) 优化加工程序与切削参数，加大内冷压力。通常，深孔钻在低进给速度和低转速下加工到2~

3倍径深时，在未采取任何措施时便对主轴转速和刀具进给速度进行提升，这种工艺存在弊端。在 $\phi 20\text{mm}$ 枪钻切削中发现，加工中的进给速度突变对切削刃的冲击力是很大的，足以超过刀具本身的承受力，会出现切削刃崩损现象，这种情况很危险，一旦不及时发现，就会出现断刀。为避免此现象发生，可在刀具变速前使刀具在进给方向退刀约1mm，增大内冷压力持续10s（见图10），待内冷压力完全释放后，提高主轴转速和进给速度，使刀具在高转速和高进给速度下切削工件，这样刀具在开始切削时就已是高转速和高进给速度加工，不会再出现切削力突然变大的情况，可有效解决断刀问题。经测试， $\phi 20\text{mm}$ 枪钻在加工时，切削参数采用 $n=410\text{r/min}$ 、 $v_f=56\text{mm/min}$ ，切削过程中排出的切屑正常且无粘结现象，切削液压力稳定，机床各轴负载平稳。



a) $\phi 20\text{mm}$ 枪钻加工 b) 内冷压力表

图10 第2个深斜孔加工示意

4) 合理退刀。由于深孔钻加工受平行度方面的限制，刀具在孔中存在挠曲变形现象，所以不能采用快速退刀方式。退刀进给速度可比进刀时快些，经测试，以 $v_f=180\text{mm/min}$ 退刀最为理想。

5 结束语

通过对曲轴深孔加工机理进行研究，针对切削参数的优化开展技术攻关，结合生产实践，充分挖掘现代加工设备的潜力，运用现代数字化加工技术，顺利完成曲轴斜面交叉深孔加工任务，找到了解决此类加工问题的工艺模式。

参考文献：

- [1] 杨叔子. 机械加工工艺师手册 [M]. 北京：机械工业出版社，2001.

MW 20201020