数控磨削加工大型球面

漯河职业技术学院 （河南 462002） 余英良 付 璐

1. 球体的运动条件和加工条件

受机床结构限制，普通磨床不能磨削如图 1 所示的球体零件，更难以磨削高精度的球面。但在实现球体零件绕 X 轴即球体自身轴线旋转的同时亦绕 Z 轴旋转时，只要控制高速旋转的砂轮，沿 Y 轴方向上进行球体径向的直线进给，即可满足球体零件的加工所需。

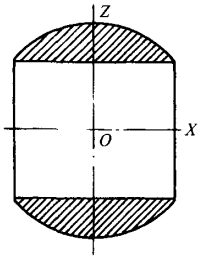


图 1

2. 机床数控改造与数控加工原理

数控改造采用 SINUMERIK 802S 数控系统，在 MQ3150E 普通磨床上进行，如图 2 所示。把装夹固定球体零件的心轴，通过双顶尖联接在前支座和后尾座上，用一台步进电动机联接控制前支座中的主轴顶尖，用来实现球体零件沿自身轴线的旋转；并将前支座和后尾座固定在圆盘工作台的中心线上，用另一台步进电动机联接控制圆盘工作台的输入蜗杆，用来实现球体零件在水平面上的旋转（两个相互垂直的旋转运动，可满足球体零件的运动成形要求）；再将此装置固定在 MQ3150E 磨床的工作台面上；在实现两相互垂直方向上转动的前提下，用第三台步进电动机联接控制磨床砂轮头运行的进给丝杠，用来控制实现磨床砂轮头的进给运行，由此实现了普通磨床磨削球体的专用数控改造。

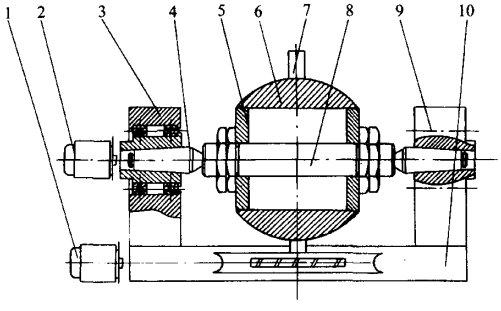


图 2

1. Z 向步进电动机 2. X 向步进电动机 3. 前支座 4. 顶尖 5. 锥堵 6. 球体 7. 泵轮 8. 心轴 9. 后支座 10. 圆盘工作台

在装夹固定球体零件的心轴上，用两锥堵装于球体零件的两端，每端分别用两螺母紧固，当心轴装于前支座和后尾座后，通过转动圆盘工作台，调整心轴两端的螺母，进行球心的找正，待找正球心后，拧紧心轴两端的外螺母，即可保证球心与圆盘工作台的同心。

数控改造后，应用斜线指令，可以实现两坐标方向上的运动联动，控制（前支座和后尾座中）装夹球体的心轴及其球体零件以较快的速度旋转，同时控制圆盘工作台以较慢的低速转动；即：使得球体零件在低速水平转动的同时，又进行着较快速度的自身旋转，因此实现了球面的数控磨削加工。

3. 数控编程的参数转换

在应用斜线指令进行球体磨削加工中，由于用步进电动机控制球体零件的旋转（设定此坐标方向为 X 向），所以，当 X 向步进电动机转动一转，直接带动球体零件转动一转；由步进电动机的控制原理可知：给定步进电动机的配套丝杠螺距值 P，必定可使得步进电动机带动球体零件转动一转，当给定球体零件单位时间的转速 n，以及一次磨削球面的所需时间 t，即可计算求得 X 向所需的旋转位移长度 $L_1 = Pnt$。

同理：另一台步进电动机联接控制圆盘工作台的输入蜗杆（设定此坐标方向为 Z 向），所以，给定 Z 向步进电动机的配套丝杠螺距值 P，也必定使得步进电动机带动蜗杆转动一转；当给定圆盘工作台的旋转角度 α（参见图 3，因为球体零件与圆盘工作台同心，

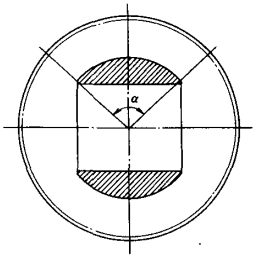


图 3 Z 向转动图

且随圆盘工作台的转动而转动，所以此角为球体零件的球面夹角），因为改造中使用的圆盘工作台，其蜗杆副的传动比 $K=90:1$，因此，计算求得 Z 向的所需位移长度 $L_2=P\alpha K/360=P\alpha/4$。

由数控系统插补原理可知：当数控加工各种形状的零件轮廓时（两坐标或两坐标以上的联动运行时），数控系统控制各坐标轴，以给定的速度按一定方法的基本线型（直线、斜线），来运行完成所需要轮廓轨迹的拟和工作。由此分析可以确定：在数控加工运行的瞬间，只有单坐标方向在运行，而且此运行以低于给定的速度进行；另一坐标方向的运行也是如此；两坐标方向的运动和，才是数控指令中给定的运行速度 f。

因此，在确定了磨削时间 t（球面弧长 L 与球面单位时间磨削长度 L_{min} 的比值），根据上两公式求得 L_1、L_2；指令中运行速度 f 按下式计算：$f=(L_1+L_2)/t$。

4. 应用实例

油田天然气流通管道中大型球阀中的球体如图 4 所示。计算如下：球面夹角即圆盘工作台的旋转角度为

$\sin(\alpha/2)=150/200=0.75$

$\alpha=97.180\,755\,78°$

圆盘工作台的旋转即 Z 向所需的旋转位移长度。

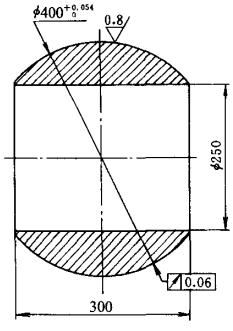


图 4

$L_2=P\alpha K/360=P\alpha/4=(6\times97.180\,755\,78)/4\text{mm}=145.771\,133\,7\text{mm}$

根据切削用量选择：球面单位时间的磨削长度 $L=18\text{mm/min}$，球体零件的单位时间转速 $n=17\text{r/min}$；由此可得球面磨削所需的时间为：

$t=(\pi R\alpha/180)/L_{min}=339.224\,831\,6/18\text{min}=18.845\,823\,98\text{min}$

球体自转即 X 向所需的位移长度

$L_1=Pnt=6\times17\times18.845\,823\,98\text{mm}=1922.274\,05\text{mm}$

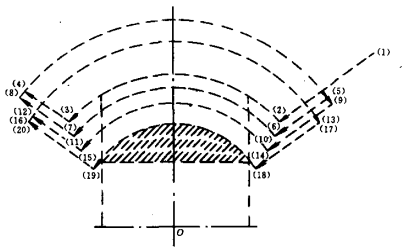
程序指令中的运行速度为：

$f=(L_1+L_2)/t=(1922.274\,05+145.771\,13)/18.845\,823\,98\text{mm}=109.734\,93\text{mm}$

由此得运行程序：

N××　G01　X1922.275　Y0.00　Z145.771　F109.735

球体数控磨削的加工轨迹运行路线参见图 5。


图 5

5. 砂轮磨损的瞬时自动补偿

在进行球体磨削的过程中，必然存在着砂轮磨损。当精磨进给量 f 很小时，砂轮的磨损量近似呈线性关系均匀发生，并随着磨削时间的延长而呈正比例加剧，从而使得球体的尺寸一头大，一头小。因为球体的磨削量较小，设定砂轮在加工过程中的磨损为均匀磨损。由于砂轮的磨损，使得球体零件自一端起，直径尺寸依次逐渐增大，且球体的最大直径尺寸并不在球心上，而是偏向球体零件的另一端，由此使得球体的型面精度遭到破坏。数控加工以其优越的控制方式，可以在加工中对砂轮的磨损进行瞬时自动补偿。具体做法如下：通过定值进给量 f 的试磨，根据磨削中的磨削次数和磨削时间、砂轮的材料、进给量的大小；实际测定砂轮的磨损量或者球体一端尺寸的增大值设定其为 Δr。

在磨床的数控改造中，Y 向步进电动机用来控制砂轮磨头的进给运行，即球体零件的径向进给，此向脉冲当量改造中设计为 0.0002mm。减小脉冲当量的目的，就在于进行砂轮磨损的瞬时自动补偿。设定砂轮的磨损 $\Delta r=0.10\text{mm}$，当进行球体磨削时，在 Z 向、X 向步进电动机控制圆盘工作台旋转球体零件的球面夹角和实现球体自转的等同运行时间内，Y 向步进电动机也控制砂轮磨头进给运行 $\Delta r=0.10\text{mm}$，等于在磨削球体的同时，砂轮自动沿球体零件径向进给砂轮的磨损量，由于此进给是在磨削加工中瞬时自动实现的，所以实现了球体磨削中砂轮磨损的瞬时自动补偿。

此砂轮磨损瞬时自动补偿是应用极坐标方式的控制来实现的。因此，前述程序应改写为：

N××　G01　X1922.275　Y0.10　Z145.771　F109.735

球体的数控磨削中，在进行了砂轮磨损瞬时自动补偿后，仍需要再进行数次无进给的球面磨削，更可使球面磨削的精度得以可靠的保证和提高。

（收稿日期：20040907）