

三偏心蝶阀车削方法研究*

程膺豪 贾 衡 李 鹏 马 欢 陆 佳 文 闻

(武汉华中数控股份有限公司, 湖北 武汉 430223)

摘 要:通过对三偏心蝶阀零件研究,提出了一种新的加工方法。基于车削加工与圆锥零件特征分析,通过对坐标系进行平移旋转,巧用圆锥曲线极坐标方程,联立数控车床车削关系,推导出阀板的截面方程以及密封面的曲面方程,以此建立新的工件加工模型,接着讨论了加工参数的设置,并基于 MATLAB 软件模拟了加工效果,经过实际加工对比测试,该方法简化工艺,使得普通数控车床也可以进行偏心圆锥工件的加工,降低了编程难度,有效地提高零件加工质量和生产效率,为实际生产提供经验和借鉴。

关键词:蝶阀;圆锥曲线;数控车床;加工工艺

中图分类号: TH123 **文献标识码:** A

DOI: 10.19287/j.mtmt.1005-2402.2023.05.009

Research on turning method of triple eccentric butterfly valve

CHENG Yinghao, JIA Heng, LI Peng, MA Huan, LU Jia, WEN Wen

(Wuhan Huazhong Numerical Control Co., Ltd., Wuhan 430223, CHN)

Abstract: A new machining method is put forward by studying the parts of triple eccentric butterfly valve. Based on the analysis of turning and the characteristics of conical parts, by translating and rotating the coordinate system, skillfully using the conic polar coordinate equation and the simultaneous CNC lathe turning relationship, the section equation of the valve plate and the surface equation of the sealing surface are derived, so as to establish a new workpiece processing model. Then, the setting of processing parameters is discussed, and the processing effect is simulated based on MATLAB software. After the actual processing comparison test, this method simplifies the process, The common CNC lathe can also process the eccentric cone workpiece, reducing the programming difficulty, effectively improving the part processing quality and production efficiency, and providing experience and reference for actual production.

Keywords: butterfly valve; conic curve; CNC lathe; processing technology

1 概述

阀门是工业生产过程中必备的控制零件^[1],其中三偏心蝶阀是阀门界最新科技的结晶,蝶阀采用三偏心结构,这种蝶阀的密封面在开启与关闭时零摩擦,低扭矩,双向密封,密封机构通过系统压力实现扭力密封^[2-3],由于其大口径、零泄漏的优势,正不断地取代传统的闸阀与球阀等,被广泛应用于医疗、交通、电力和冶金等各种领域^[4]。

三偏心蝶阀由于第3个偏心角度的设置,使得蝶阀在启闭过程中蝶板与阀体密封面没有任何接触,

避免了刮擦磨损,最大限度地减小了阀门的启闭扭矩^[5]。也是由于这个角度偏心的设置,蝶阀的密封副变为斜楔式的面密封,提高了蝶阀的耐压差性能^[6],在工业生产中需求量越来越高,但目前国内对于三偏心蝶阀还缺少合理的加工方法,而且传统的三偏心蝶阀的密封面,是用两平行面斜切圆锥面得到的不规则锥面,其横切截面为椭圆^[7],加工要求很高,如何高效率高质量地完成椭圆体的加工说整个零件加工的关键,制约着三偏心蝶阀的生产。

目前,国内外对三偏心蝶阀的加工方法较少,主要集中在小线段插补加工与特种工装加工方法。

* 湖北省科技重大专项“智能机床关键技术研究及应用”(2021AAA003)

陈军等提出一种利用特殊工装加工方法，该方法用两个正圆偏心拟合椭圆，通过定位板在固定板内滑动的两个极限确定两圆的位置，使得拟合的正圆轨迹交集与椭圆轮廓线理论偏移控制在 0.4 mm 内，提高了加工效率，实现用低成本设备完成高复杂质量零件加工的目的^[8-9]，但其在加工过程中存在拟合误差，加工过程依赖于特殊的工装，且加工过程中需进行多次测量。季青等提出基于 UG 的工艺与编程的方法，该方法利用数学建模的方式搭建数学模型，对加工程序进行编制，生成机床可识别的 NC 代码，简化了加工流程，使得加工过程可自动化进行，成型准确^[10-11]，但其生成的 NC 代码文件巨大，加工时间较长。

本文通过对三偏心蝶阀加工研究，提出一种新的加工方法，通过阀板的截面方程以及密封面的曲面方程与车削系统结合，加工时只需对加工参数进行设置，即可自动生成简短的加工程序，并基于 MATLAB 软件模拟了加工效果，经过实际加工对比测试简化了加工流程，提供了加工精度，为该零件的加工提供了一种思路。

2 加工工艺分析

2.1 三偏心蝶阀模型的建立

三偏心蝶阀的阀板是从一个正圆锥上斜截下来的，如图 1 所示。以圆锥顶点 O 为顶点，圆锥轴线为 Z 轴，用平行于 Y 轴的一平面 L_1 截取圆锥，即可得到椭圆截面，将平面 L_1 沿圆锥法线方向延长 E 所得 L_2 平面截取圆锥，可得另一椭圆截面，则 E 就是阀板的厚度，两个椭圆截面之间的区域，就是三偏心蝶阀的阀板^[12]。

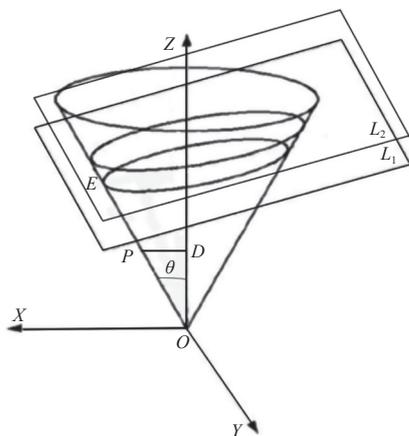


图 1 蝶阀板

设锥半角为 θ ，圆锥体上任意一点 P 坐标为 (x, y, z) ，过 P 做 PD 垂直于圆锥法线，垂足为 D ，

则 $PD = \sqrt{x^2 + y^2}$ ，在 $\triangle OPD$ 中， $\tan\theta = \frac{PD}{OD} = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}$ ，则空间中圆锥方程为 $x^2 + y^2 = z^2 \times (\tan\theta)^2$ 。

假设两个椭圆平面与 $X'OY'$ 平面平行， Z' 轴与圆锥法线 L_3 夹角为 α ，旋转轴 O' 与 Z 距离为 N ，则以圆锥顶点 O 为圆心，建立新空间坐标系 $X'Y'Z'$ ，如图 2 所示。

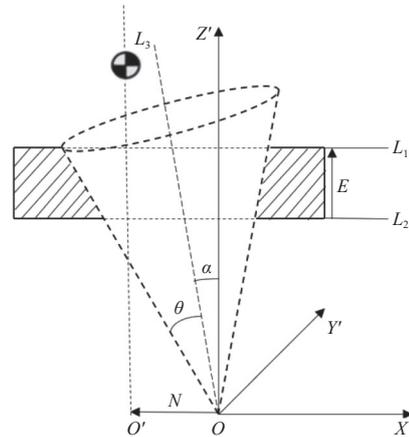


图 2 旋转坐标系下的圆锥曲线

则新空间坐标系 $X'Y'Z'$ 是由原空间坐标系 XYZ 沿 Y 轴方向顺时针旋转 α 所得，定义旋转变换公式为 $\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = M_w \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$ ，其中： M_w 为旋转矩阵^[13]，如图 3 所示。

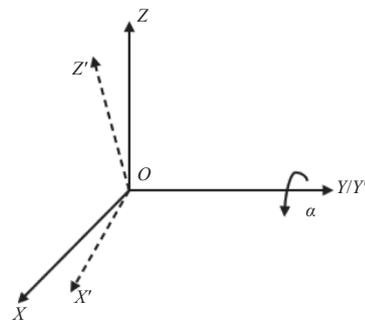


图 3 旋转坐标系

可得 $M_w = \begin{bmatrix} \cos\alpha & 0 & \sin\alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\alpha & 0 & \cos\alpha \end{bmatrix}$ ，则在新空间坐标系 $X'Y'Z'$ 下， $\begin{cases} X = \cos\alpha \times X' + \sin\alpha \times Z' \\ Y = Y' \\ Z = -\sin\alpha \times X' + \cos\alpha \times Z' \end{cases}$ 。

由此可得，在新空间坐标系下的圆锥方程为 $(\cos\alpha \times X' + \sin\alpha \times Z')^2 + Y'^2 = \frac{(-\sin\alpha \times X' + \cos\alpha \times Z')^2}{\tan^2\theta}$

以 $X'OY'$ 平面为基准观察圆锥，则得到一椭圆平面，接着采用极坐标来研究^[14]。

设椭圆上任意一点 P 与 X 轴夹角为 β , OP 长度为 r 如图 4 所示。

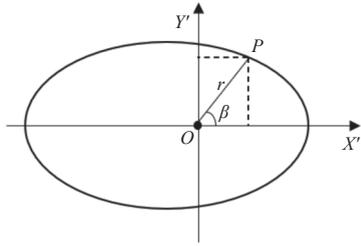


图 4 锥尖为圆心的椭圆平面

则在坐标系 $X'OY'$ 下, P 点坐标为 $(\cos\beta \times r, \sin\beta \times r)$, 椭圆的极坐标方程为 $\begin{cases} X' = \cos\beta \times r \\ Y' = \sin\beta \times r \end{cases}$

设旋转轴与 $X'OY'$ 平面交点为 O' , 将坐标系 $X'OY'$ 沿 X 轴平移到 $X'O'Y'$, OO' 之间距离为 N , 如图 5 所示, 则在坐标系 $X'O'Y'$ 下, P 点坐标为 $(\cos\beta \times r + N, \sin\beta \times r)$, 椭圆的极坐标方程为 $\begin{cases} X' = \cos\beta \times r + N \\ Y' = \sin\beta \times r \end{cases}$

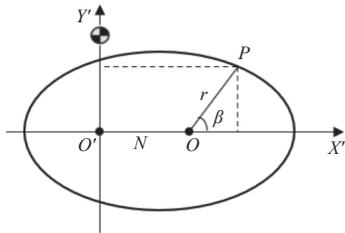


图 5 旋转轴为圆心的椭圆平面

由于这一阶段进行平移操作的话计算麻烦, 因此暂不做平移操作, 在坐标系 $X'OY'$ 下计算, 最后阶段再进行平移。

代入坐标系 $X'OY'$ 中的 X' 、 Y' , 则在新空间坐标系下的圆锥方程为

$$\frac{(\cos\alpha \times \cos\beta \times r + \sin\alpha \times Z')^2 + (\sin\beta \times r)^2}{\tan\theta} = (-\sin\alpha \times \cos\beta \times r + \cos\alpha \times Z')^2$$

2.2 数控机床与圆锥方程的联立

在车床数控系统中, 进给量 f 是反应刀具进给的位移, 进给速度 F 则是反映刀具进给快慢的量值, 即工件每转 360° , 刀具沿进给方向移动的距离, 则进给量与转速的关系为 $f = n \times F^{[15]}$ 。

接下来需要将数控机床与圆锥方程联立, 即主轴与进给轴通过角度联动, 主轴每转动一定角度, 进给轴进给一定距离, 以 Z 轴方向为进给方向, 则数控机床的进给量 $Z' = \frac{\beta \times F}{360}$, 其中 β 为主轴转动角度 (也是极坐标方程中点 P 与 X 轴的夹角), F 为

系统进给速度 (每转进给, $F/360$ 为每度进给)。代入 Z' , 则圆锥方程为

$$\frac{(\cos\alpha \times \cos\beta \times r + \sin\alpha \times Z')^2 + (\sin\beta \times r)^2}{\tan\theta} = (-\sin\alpha \times \cos\beta \times r + \cos\alpha \times \frac{\beta \times F}{360})^2$$

此时圆锥方程变为 r 的一元二次方程, 通过判断判别式 $= B^2 - 4 \times A \times C$ 来确定圆锥的点, 以此来绘制圆锥图像, 当 ≥ 0 时, 方程的解为

$$\begin{cases} r = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4 \times A \times C}}{2 \times A} \\ \beta = \beta \end{cases}$$

$$\text{圆锥图像的坐标为} \begin{cases} X' = \cos\beta \times r \\ Y' = \sin\beta \times r \\ Z' = \frac{\beta \times F}{360} \end{cases}$$

此时再将所得的 X' 坐标转换到 $X'O'Y'$ 坐标系下,

$$\text{可得最终的圆锥图像方程为} \begin{cases} X' = \cos\beta \times r + N \\ Y' = \sin\beta \times r \\ Z' = \frac{\beta \times F}{360} \end{cases}$$

2.3 加工参数的选定

由圆锥的分析过程可知, 需要的参数主要有锥半角, 旋转轴与圆锥法线夹角, 工件高度, 因此选取以下几组参数, 如图 6 所示。

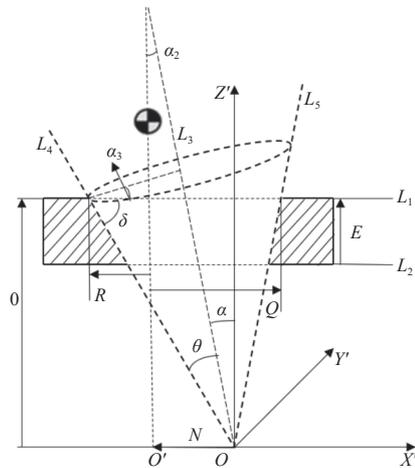


图 6 实际加工的圆锥图像

由给定参数, 可得 L_4 直线斜率 $K_4 = \frac{O}{N+R}$, 则 $\delta = \arctan\left(\frac{O}{N+R}\right)$, 可得 L_5 直线斜率 $K_5 = \frac{O}{Q-N}$ 。

由角平分线公式可得, L_4 直线与 L_5 直线夹角 $2 \times \theta = \arctan\left(\frac{K_5 - K_4}{1 + K_5 \times K_4}\right)$, 则轴半角 $\theta = \frac{1}{2} \times \arctan\left(\frac{K_5 - K_4}{1 + K_5 \times K_4}\right)$ 。

如图 6 所示, $\alpha = \alpha_2 = \alpha_3$, 且 $\alpha_3 + \delta + \theta = 90^\circ$, 则 $\alpha = 90^\circ - \delta - \theta$ 。

由于工件厚度为 E , 即 Z 的坐标范围为 $(O-E, O)$, 由于 $Z' = \frac{\beta \times F}{360}$, 进给速度 F 确定后, 就能确

定 β 范围为 $\left(\frac{360 \times (O-E)}{F}, \frac{360 \times O}{F}\right)$ 。

2.4 MATLAB 仿真

在 MATLAB 中给定参数值如表 1 所示。

表 1 MATLAB 模拟数据

符号	参数值/mm
N	10.72
O	56.6
R	-30.5
Q	25.5
E	23
F	0.5

仿真效果如图 7 所示

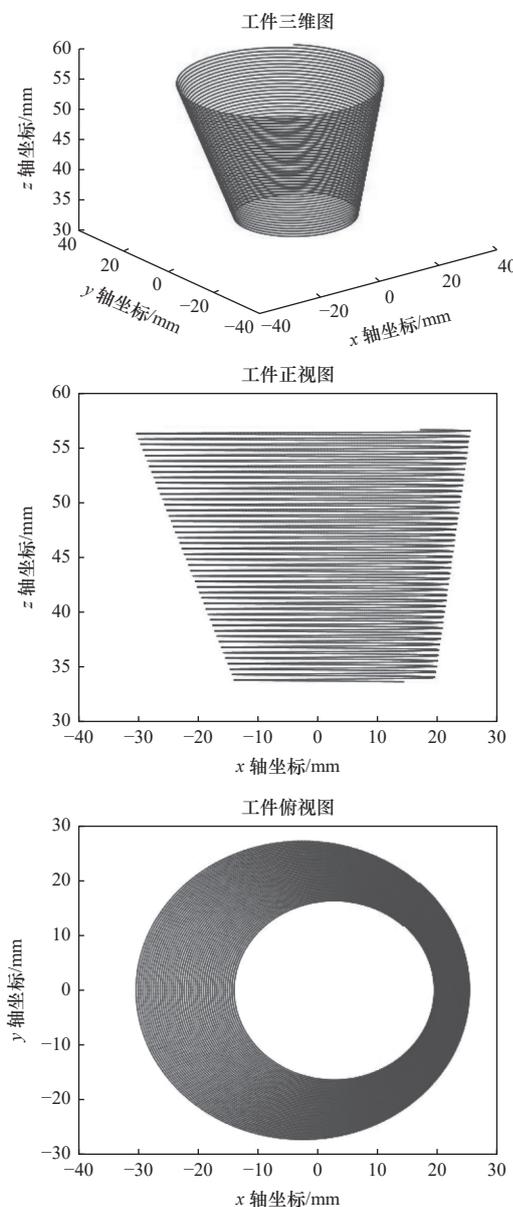


图 7 MATLAB 仿真图像

2.5 实际加工展示

根据上述方法编写 G158 圆锥车功能指令，如图 8 所示，各符号含义见表 2。

指令运行时，刀具运动轨迹如图 9。

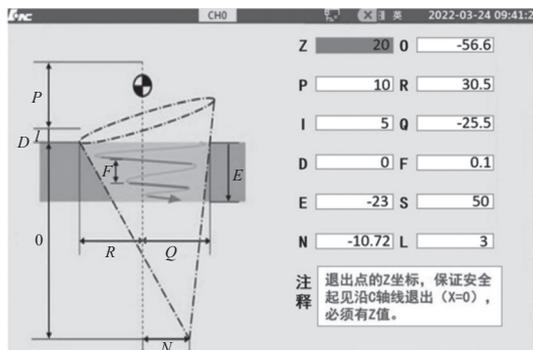


图 8 G158 圆锥车界面

表 2 G158 指令符号含义

符号	注释
Z	退出点的Z坐标
P	安全高度
I	接近高度
D	起始加工平面
E	结束加工平面
N	圆锥顶点X坐标
O	圆锥顶点所在平面
R	起始加工平面起始加工点X坐标
Q	起始加工平面末端加工点X坐标
F	进给速度(mm/r)
S	加工转速(r/min)
L	离散角

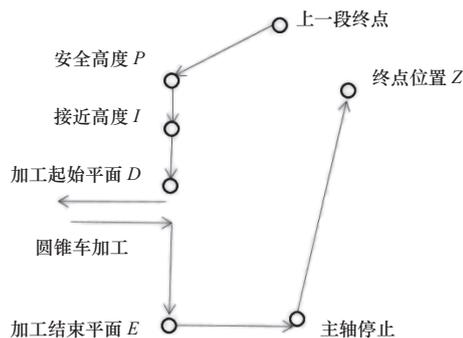


图 9 刀具运动轨迹图

实际加工程序如下：

```
%1234
G54
G01 X10 Z10
G108
G158 Z20 S50 P10 I5 D0 E-23 N-10.72 O-56.6 R30.5 Q-25.5 F0.1 L3
G109
M30
```

实际加工效果如下图 10 所示。

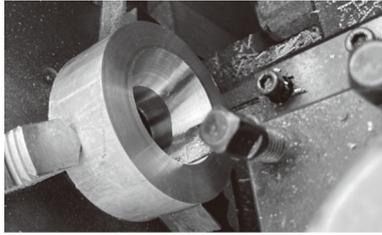


图 10 实际加工图片

3 加工对比

在数控车床 CKD6140i 上分别使用 G158 圆锥车指令、UG 编程、特殊工装进行加工，加工实物图如图 11 所示。

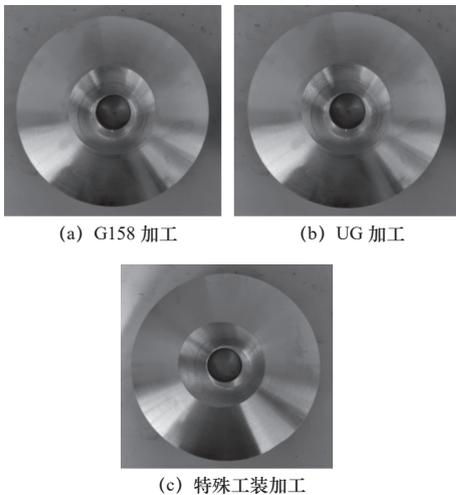


图 11 加工实物图

对比 3 种加工方法的加工工艺（表 3）与加工质量（表 4），G158 圆锥车指令的程序编辑方法通过输入参数直接生成，编程更为简洁；加工程序行数远远低于 UG 编程与特殊工装加工；加工时间方面，华中 G158 编程速度最快；加工质量方面，G158 圆锥车指令加工的工件圆面粗糙度与 UG、特殊工装加工持平，但圆度误差最小，提升了工件质量。

表 3 加工工艺对比

加工方法	编程方法	程序行数	加工时间
G158	参数生成	6	14 m56 s
UG	UG建模	1 286 324	37 m43 s
特殊工装	手动编辑	34	18 m9 s

表 4 加工质量对比

加工质量	椭圆长轴误差/mm	椭圆短轴误差/mm	圆面粗糙度/ μm
G158	0.012	0.011	1.6
UG	0.014	0.014	1.6
特殊工装	-0.021	-0.019	1.6

4 结语

通过对加工工艺的创新，使得三偏心蝶阀密封面连续车削加工得以实现，只需测量圆锥曲线的参数，直接输入即可生成加工的程序，操作简单，通用性强，这不仅能显著提高阀门的车削生产效率，而且能提升阀门精度，在保证圆面粗糙度的前提下，减小了圆度误差。通过实际加工对比与仿真，该方法相比 UG 编程与特殊工装加工更加高效快捷，在保证加工质量的前提下优化了加工时间，简化了操作，实现了用低成本设备生成高复杂高质量零件加工的目的，具有一定的生产价值，同时为偏心工件的车削工艺提供了一种方法。

参 考 文 献

- [1] 孙丽, 陈立龙. 我国阀门行业现状与发展趋势[J]. 机电工程, 2009, 26(10): 103-104.
- [2] 赵建明. 三偏心蝶阀的发展及应用[J]. 内蒙古石油化工, 2014, 40(7): 53-54.
- [3] 郭军峰. 三偏心蝶阀在煤化工行业的应用[J]. 氮肥技术, 2018, 39(6): 36-40.
- [4] 余晓庆. 三偏心蝶阀的发展及应用[J]. 中国仪器仪表, 2001(S1): 15-17.
- [5] 杨恒虎, 郝娇山, 王伟波, 等. 三偏心蝶阀密封压力影响因素分析[J]. 液压与气动, 2021, 45(6): 178-182.
- [6] 程路, 李龙. 三偏心蝶阀的设计过程及标准运用[J]. 现代制造技术与装备, 2020, 56(11): 35-39, 43.
- [7] 龚忠华. 三偏心蝶阀的结构特点及相关设计分析[J]. 科学之友, 2010(14): 29-30.
- [8] 陈军. 三偏心蝶阀板架的车削加工[J]. 阀门, 2011(4): 21-22.
- [9] 郝文明, 潘建达, 张其清, 等. 多偏心金属密封蝶阀密封面加工工艺改进[J]. 阀门, 2021(6): 311-314.
- [10] 季青, 蒋修定, 陈俊. 基于UG加工环境下透平叶片的工艺与编程方法研究[J]. 农业装备技术, 2021, 47(6): 47-49, 52.
- [11] 柳鹏. 基于UG复杂曲面模具型腔数控编程与加工工艺优化[J]. 河北农机, 2016(10): 60-61.
- [12] 段胜秋. 圆截面三偏心蝶阀的研究与设计[D]. 成都: 西华大学, 2017.
- [13] 蔡陈阳, 潘晓新. 坐标系变换在精密测量中的应用[J]. 装备制造技术, 2017(6): 233-236.
- [14] 宋庆环. 数控车床加工椭圆的方法[J]. 煤矿机械, 2012, 33(2): 137-139.
- [15] 董镔. 浅谈数控车床切削用量的教学方法[J]. 黑龙江科技信息, 2013(17): 115.

第一作者/通信作者: 程膺豪, 男, 1999 年生, 学士, 数控系统研发工程师, 研究领域为数控系统技术开发等, 已发表论文 2 篇。E-mail: 1193327646@qq.com

(编辑 李静)

(收修改稿日期: 2022-10-24)

文章编号: 20230514

如果您想发表对本文的看法, 请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。