

活塞裙部等曲面和变曲面 成型机构的研究*

叶元烈 张明成

(郑州工学院)

摘 要: 本文提出了, 用对心曲柄滑块机构和其它机构串联组成八杆机构, 该机构能成型活塞裙部等截面曲线。当把该八杆机构变成九杆机构时, 该九杆机构可以成型活塞变截面曲线。本文还分析了机构切削工件误差。

关键词: 活塞; 曲线; 九杆机构; 误差

中图分类号: TH113

内燃机一直朝着大功率、高转速、高热效率、高可靠度方向发展。为了改善活塞裙面工作时和缸壁的配合及润滑, 保证活塞良好的工作状态, 目前国内外活塞裙部向着中凸变截面形状发展。横截面常用的型线是:

一次近似椭圆曲线

$$\Delta\rho = \frac{G}{4}(1 - \cos 2\alpha) \quad (1)$$

二次近似椭圆曲线

$$\Delta\rho = \frac{G}{4}[(1 - \cos 2\alpha) + \frac{\beta}{25}(1 - \cos 4\alpha)] \quad (2)$$

准均压曲线

$$\Delta\rho = \frac{G}{4}[(1 - \cos 2\alpha) - \frac{\beta}{25}(1 - \cos 4\alpha)] \quad (3)$$

上式中:

$\Delta\rho=0\sim\Delta\rho_{\max}$, 径向切削量变化规律。

$G=2a-2b$

a—活塞裙部横截面向径最大值

b—活塞裙部横截面向径最小值

α —相应中心角

* 收稿日期: 1994-09-19

β —大于零的常数

上述(1)、(2)、(3)所表达的曲线中任一条作为活塞裙部等截面曲线, 活塞的工作情况就大为改善。如果做成中凸变截面曲线, 那么工作状况就更为理想。但活塞裙部曲面加工并不容易。目前, 无论是数控机床加工或是仿形机床加工; 无论从经济角度, 还是从工艺角度看, 都不令人满意。本文主要讨论成型活塞裙部曲面更简单、更有效的机构及加工方法。

1 考察对心曲柄滑块机构滑块的运动规律

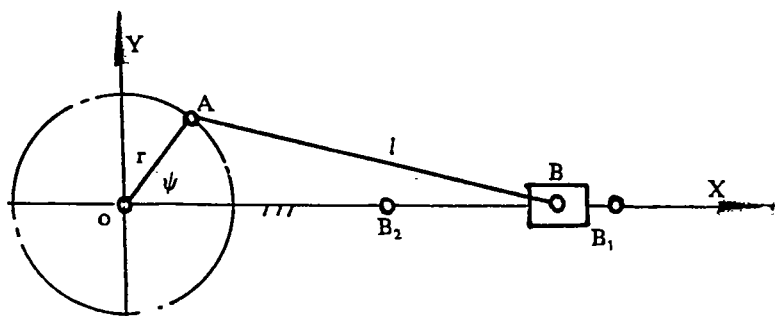


图 1

滑块从右极限位 B_1 向左极限位 B_2 的运动方程为

$$x_B = r \cdot \cos\varphi + l[1 - (\frac{r}{l})^2 \cdot \sin^2\varphi]^{\frac{1}{2}}$$

将上式右边根号展开为幂级数

$$[1 - (\frac{r}{l})^2 \cdot \sin^2\varphi]^{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{1}{2}(\frac{r}{l})^2 \cdot \sin^2\varphi - \dots$$

取前两项, 并将 $\frac{1 - \cos 2\varphi}{2}$ 取代 $\sin^2\varphi$ 得:

$$x_B = r \cdot \cos\varphi + l[1 - \frac{1}{2}(\frac{r}{l})^2 \cdot \frac{1 - \cos 2\varphi}{2}]$$

B点有绝对位移量为:

$$\Delta X_{B12} = (r + l) - X_B = r[(1 - \cos\varphi) + \frac{r}{4}(1 - \cos 2\varphi)] \quad (4)$$

式中: r —曲柄长度

$\lambda = r/l$

l —连杆长度

φ —曲柄转角

当滑块带动刀架切削活塞时, 曲柄转速应是工件转速的 2 倍。所以 $\varphi = 2\alpha$ 代入(4)式

$$\text{得: } \Delta X_{B12} = r[(1 - \cos 2\alpha) + \frac{\lambda}{4}(1 - \cos 4\alpha)] \quad (5)$$

对比(2)式和(5)式可以看出, 它们有相同的结构。

α —工件的相应转角

当曲柄转过 180° 时, $\varphi' = 180^\circ + \varphi$, 即 180° 为 φ' 的初始角, 这时从滑块的左极限向右的绝对位移量是:

$$\Delta X_{B21} = 2r - \Delta X_{B12} = r[(1 + \cos \varphi') - \frac{\lambda}{4}(1 - \cos 2\varphi')]$$

$$\because \varphi' = 180^\circ + \varphi$$

$$\therefore \Delta X_{B21} = r[(1 + \cos \varphi) - \frac{\lambda}{4}(1 - \cos 2\varphi)] \quad (6)$$

同上, 将 $\varphi = 2\alpha$ 代入(6)式

$$\Delta X_{B21} = r[(1 - \cos 2\alpha) - \frac{\lambda}{4}(1 - \cos 4\alpha)] \quad (7)$$

由此可以看出(3)式和(7)式具有相同的结构。

另外, 当 r 做得很小, l 较长时, $r/l \rightarrow 0$ 则式(5)变为如下形式:

$$\Delta X_{B12} = r(1 - \cos 2\alpha) \quad (8)$$

则(8)式和(1)式具有相同的结构。

通过对心曲柄滑块机构的运动分析, 虽然得到和表达式(1)、(2)、(3)结构上完全相同的表达(5)、(7)、(8)。但(1)、(2)、(3)式中系数 G 值很小, 而(5)、(7)、(8)式中可变化量只有曲柄长 r 。因此对心曲柄滑块单独作为活塞裙部曲面成型机构, 在设计上很不方便, 同时也可以看出对心曲柄, 滑块机构无论如何是不可能成型活塞变截面曲线的。对心曲柄滑块机构只有和其它机构组合才能克服自身的不足, 实现成型活塞等截面和变截面曲线的加工。

2 八杆机构成型等截面曲线的分析

图2所示为对心曲柄滑块机构和双滑块机构串联成一个八杆组合机构, 其活动度为1。滑块C的运动规律通过AC杆、滑块B传递给摇杆BD。DK和BD固结在一起, 绕D转动副转动, 因此, 在K点得到的运动规律和C点的运动规律相同。

当活塞按公式(1)、(2)成型等截面曲线时, 活塞安装在位置I, 对心曲柄滑块机构的滑块初始位置在C'; 当按公式(3)成型等截面曲线时, 活塞应安装在位置II上。这时对心曲柄滑块机构的滑块初始位置在C'。假设DK'为刀尖左、右进刀的中间位置, 则左右进刀规律可以用一个总式表示:

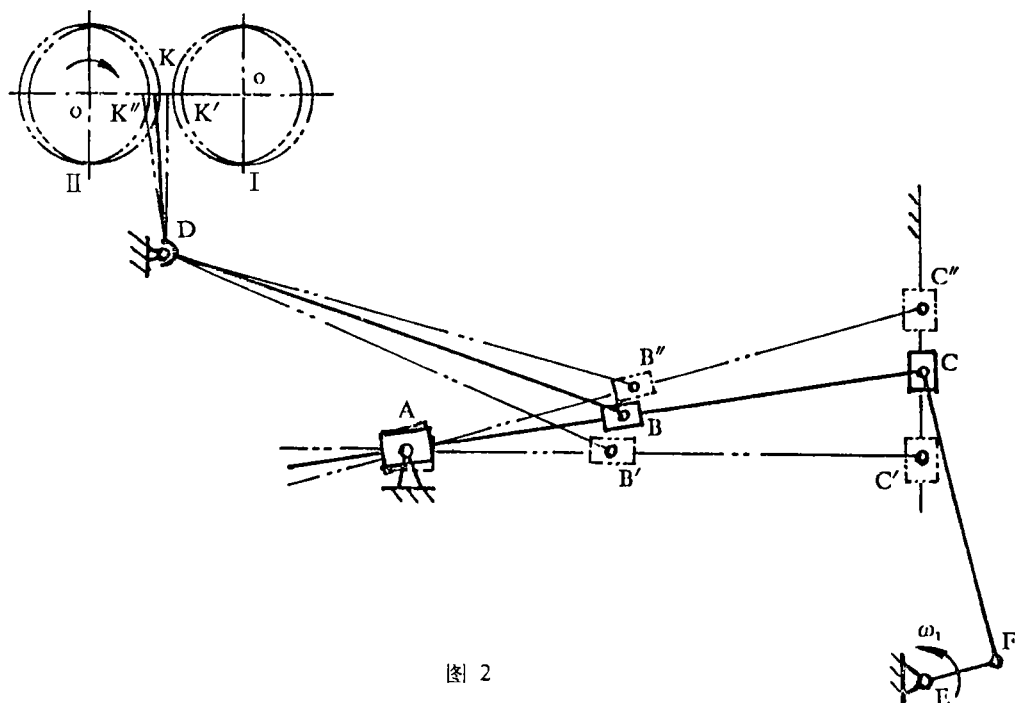


图 2

$$KK' = \frac{AB'}{AC'} \cdot DK' / DB \cdot CC' \quad (9)$$

式(9)中 CC' 即为表达式(5)、(7)、(8)故(9)式可写成:

$$KK' = \frac{AB'}{AC'} \cdot \frac{DK'}{DB} \cdot r[(1 - \cos 2\alpha) \pm \frac{\lambda}{4}(1 - \cos 4\alpha)] \quad (10)$$

$$\text{令 } \frac{AB'}{AC'} \cdot \frac{DK'}{DB} \cdot r = \frac{G}{4}; \quad \frac{\lambda}{4} = \frac{\beta}{25}$$

所以(10)式可写成:

$$KK' = \Delta\rho = \frac{G}{4}[(1 - \cos 2\alpha) \pm \frac{\beta}{25}(1 - \cos 4\alpha)] \quad (11)$$

式中 $\beta \geq 0$

从上面分析可以看出, 图 2 所示 8 杆机构是能够准确地成型公式(1)、(2)、(3)所表达的活塞裙部等截面曲线。

3 九杆机构成型变截面曲线的分析

当活塞裙部横截面采用表达式(1)、(2)、(3)之一时, 还要求每个横截面曲线的最大向径不变, 最小向径从某一值连续增大到某一值, 又连续减小到原始值。这就是要求的中凸变截面活塞裙部形状。

图 3 为九杆机构, 其活动度为 2, 需要输入两个独立运动参数, 该机构才能正确运动。该九杆机构是图 2 所示的八杆机构将其摇块的支架 7 变成了活动构件。该支架 7 只能

在槽中往复移动, 是平面低副。输入的两个独立运动参数一是对心曲柄滑块机构曲柄转速 ω_1 , 二是摇块的支架 7 往复运动速度。

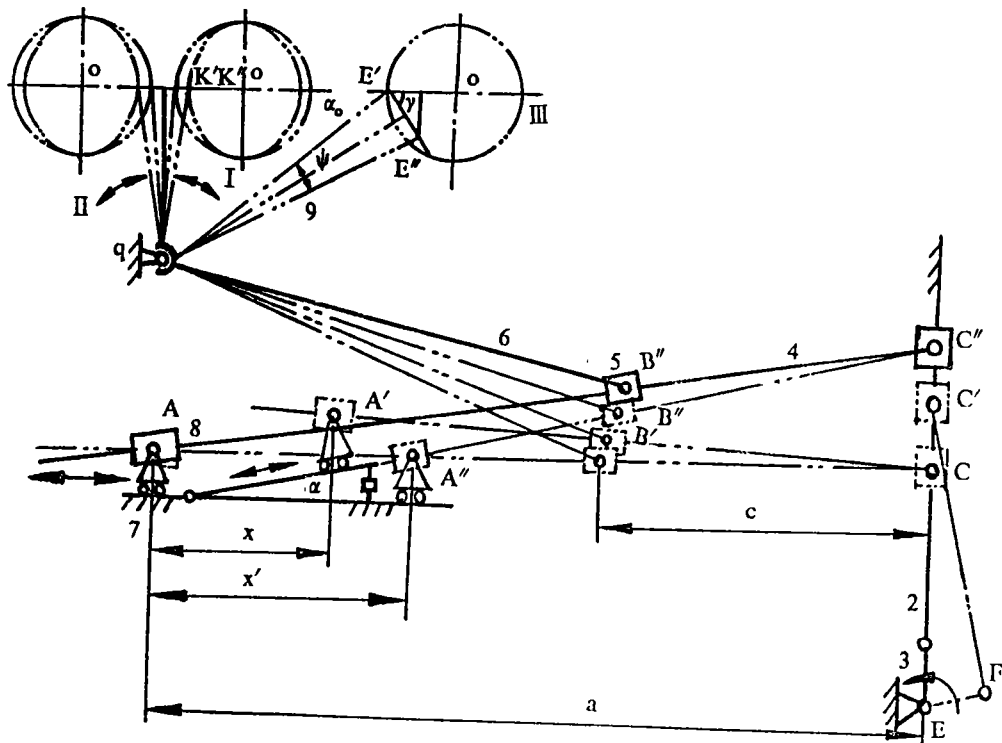


图 3

用九杆机构成型中凸变截面活塞, 当截面曲线采用表达式(1)、(2)时, 活塞应安装在图 3 上位置 I。初始对刀时, 刀尖在竖直位置 DK 上 K 点; 滑块 1 应在 C'' 位置; 摇块 8 和支架 7 在位置 A。开始切削时, 滑块 1 由 C'' 向 C 运动, 支架 7 和摇块 8 向斜面上运动, 抬高或降低滑块 5, 滑块 5 通过摇杆 6 控制进刀量。工件(活塞)转一周, 刀尖往复进给两次; 曲柄 3 转动两周, 支架 7 和摇块 8 往复运动两次。由于切削的工件是变截面曲线, 刀尖的进给规律是摇块 8 和支架 7 在斜面上移动的距离决定的。因此, 往复两次移动长度就要有一个增量。

支架 7 的位移表达式:

$$X = \frac{a \cdot \frac{DB}{DK} \cdot KK'}{c \cdot \tan \alpha + \frac{DB}{DK} \cdot KK'} \quad (12)$$

上式中: a 、 c 、 DB 、 DK 、角度 α 均为设计常量。 $KK' = \Delta \rho = \frac{G}{4} [(1 - \cos 2\alpha) + \frac{\beta}{25} (1 - \cos 4\alpha)]$ 为切削量的变化规律。在实际加工中, 我们需要知道最大切削量, 并给出一系列增量及减量。实质上位移 X 为已知控制变量。

当活塞采用表达式(3)作为裙部变截面曲线时活塞应装在机构的 II 位置上, 并且要

去掉斜面 H 。初始对刀位置, 刀尖仍在 DK 上 K 点, 滑块 1 应在位置 C , 支架 7 和摇块 8 应在位置 A 。开始切削支架 7 和滑块 8 应向右移动, 同前述一样, 工件(活塞)转一周, 刀尖 K 往复移动两次, 支架 7 和滑块 8 往复移动两次。其位移量为:

$$X' = \frac{a \cdot \frac{DB}{DK} \cdot KK' + 2C \cdot r - 2a \cdot r}{\frac{DB}{DK} \cdot KK' - 2r} \quad (13)$$

上式中符号意义同前所述。

4 机构加工工件的误差分析

由文献[2]的分析, 我们知道: 凡是摆动进给切削工件的刀架, 工件出现尺寸误差和形位误差是不可避免的, 其误差值的大小与工件相对刀架的位置有关。由图 3:

(1) 尺寸误差

$$\mu_l = OE'' - OP \quad (14)$$

$$\mu_l = [\rho^2 + 4l^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2} - 4\rho l \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \sin(\frac{\varphi}{2} - \alpha_o)]^{\frac{1}{2}} - \rho + 2l \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \sin(\frac{\varphi}{2} - \alpha_o) \quad (15)$$

当 $\alpha_o = 90^\circ$ 时

$$\mu_l = [\rho^2 + 4l^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2} + 2\rho l \sin \frac{\varphi}{2}]^{\frac{1}{2}} - \rho - l \sin \varphi \quad (16)$$

上式中:

ρ —活塞裙部横截面最大向径

l —刀尖到刀架回转中心的距离

α_o —刀尖到刀架回中心连线与水平线的夹角

φ —刀尖在切削过程中绕 D 点的摆角

(2) 形位误差

理论上, 活塞裙部横截面的曲线最大向径垂直于最小向径, 但实际上由于刀架的摆动切削使得长短向径之出现不垂直误差。形如:

$$90^\circ + \angle E'OE'' \quad \text{或} \quad 90^\circ - \angle E'OE''$$

由图 3 得:

$$\angle E'OE'' = \arccos \left\{ \frac{\rho + 2l \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \sin(\alpha_o - \frac{\varphi}{2})}{[\rho^2 + 4l^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2} - 4\rho l \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \sin(\frac{\varphi}{2} - \alpha_o)]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (17)$$

当 $\alpha_o = 0$ 时

$$\angle E'OE'' = \arccos \left\{ \frac{\rho - l \sin \varphi}{[\rho^2 + 4l^2 \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2} + 2\rho l \sin \varphi]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (18)$$

符号意义如前所述。

5 结论

- 5.1 图2所示8杆机构能够切削活塞裙部等截面三种曲线。
- 5.2 图3所示九杆机构能够切削活塞裙部中凸变截面三种曲线。
- 5.3 图2所示的八杆机构可以变为图3所示的九杆机构; 同样图3所示九杆机构也可变成图2所示的八杆机构。因此, 采用上述机构, 既能切削等截活塞, 又可切削变截面活塞。
- 5.4 无论是八杆机构或是九杆机构, 由于刀架是摆动切削, 对工件产生的尺寸误差及形位误差是不可避免的。只有对刀时, 刀尖和刀架回转中心之连线和水平垂直, 尺寸误差和形位误差才最小。
- 5.5 尽管切削工件有尺寸误差和形位误差, 计算过程有合理的近似, 文献[1]的数值分析及机构的工艺实验表明: 其尺寸误差和形位误差都在允许范围内。

参 考 文 献

- 1 郑州工学院机械系. 液压半自动活塞椭圆试验车床简介及对几种车椭圆机构方案的探讨经验交流: 1978 年第一期
- 2 叶元烈等. 活塞裙部曲面成型机构的研究. 郑州工学院学报. 1994 年第 15 卷第 1 期
- 3 肖秀华. 活塞外侧中凸变(等)椭圆型面及环槽精切专用半自动车床开发方案. 发动机配件技术. 1993 年第 3 期
- 4 《数学手册》编写组. 数学手册. 人民教育出版社. 1979

Research on the Curve-formed Mechanism of the Explosive Motor Piston-skirt

Ye Yuanlie Zhang Mingcheng
(Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: In this paper, crank-slip mechanism linked with other mechanism becomes a new mechanism—that is a 8-bar mechanism. The fixed-section curve of the piston-skirt can be formed by the 8-bar mechanism. When the 8-bar mechanism turn into 9-bar mechanism, the variable-section curve of the piston-skirt can be formed by the 9-bar mechanism. On the other hand, we give the error of the 9-bar mechanism when the workpiece is Cutting.

Keywords: piston, Curve, 9-bar mechanism, Error