

活塞裙部曲面成型机构的研究*

叶元烈 张明成 李春英 (郑州工学院)

陆鑫如 (常州技术师范学院)

摘 要: 本文讨论了内燃机活塞裙部截面廓线变化的规律, 提出了切削活塞裙部曲面的机构。分析了机构的运动规律, 解决了避免机构“急回”运动出现的方法。建立了机构产生误差的计算公式。

关键词: 曲线、急回、误差

中图分类号: TK413

内燃机是当今世界上主要的动力机械, 活塞是其主要的零件, 为适应复杂的热负荷和高强度机械负荷所引起的变形和膨胀, 内燃机设计者对活塞裙部提出了截面廓线形状要求。长时期来活塞裙部曲面的加工, 大都采用磨削方法。这种专用磨床结构复杂、价格高昂、加工效率低。因此, 研究简单、高效的加工活塞的机器, 具有重要的意义和价值。本文提出了用曲柄摇杆机构加工活塞, 并作了系统分析和论证。

1 活塞裙部截面廓线的变化规律

内燃机活塞截面向径变化量是按 $\Delta\rho = \frac{1}{2}(a-b)(1-\cos 2\alpha)$ 的规律变化的,

式中

$\Delta\rho$ — $O\sim\Delta$

ρ_{\max} , $\Delta\rho_{\max}$ 为已知量

a —活塞裙部向径最大值

b —活塞裙部向径最小值

α —相应中心角

首先我们考察一下活塞裙部截面向径 ρ 的变化和标准椭圆曲线的近似程度。由图 1 在 xoy 平面上作直线 OM 与椭圆曲线相交于 B 与圆曲线相交于 A 则: $\Delta\rho = \overline{OB} - \overline{OA}$

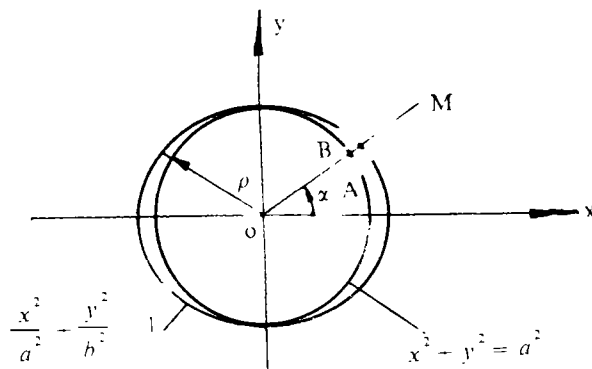


图 1

* 收稿日期: 1993-12-28

$$\overline{OM} \text{ 的直线方程为: } y = x \tan \alpha \quad (1)$$

$$\text{标准椭圆方程为: } \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (2)$$

$$\text{解方程组: (1)(2) 得: } x^2 = \frac{a^2 b^2}{b^2 + a^2 \tan^2 \alpha} \quad (3)$$

$$y^2 = \frac{a^2 b^2}{b^2 + a^2 \tan^2 \alpha} \tan^2 \alpha \quad (4)$$

$$\text{又 } \rho^2 = \overline{OA}^2 = x^2 + y^2 \quad (5)$$

$$\text{将(3)、(4)代入(5)得: } \rho^2 = \frac{a^2}{1 + \frac{a^2 - b^2}{b^2} \sin^2 \alpha}$$

$$\therefore \rho = a^2 (1 + \frac{a^2 - b^2}{b^2} \sin^2 \alpha)^{-\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$\text{由于 } |\frac{a^2 - b^2}{b^2} \sin^2 \alpha| < 1$$

将式(6)按幂级数展开:

$$\rho = a [1 - \frac{1}{2} \frac{a^2 - b^2}{b^2} \sin^2 \alpha + \frac{3}{8} (\frac{a^2 - b^2}{b^2} \sin^2 \alpha)^2 + \dots] \quad (7)$$

取前两项:

$$\rho = a (1 - \frac{1}{2} \frac{a^2 - b^2}{b^2} \sin^2 \alpha) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \therefore \Delta \rho &= \overline{OB} - \overline{OA} = a - \overline{OA} = a - \rho = a - a (1 - \frac{1}{2} \frac{a^2 - b^2}{b^2} \sin^2 \alpha) \\ &= a \cdot \frac{a^2 - b^2}{2b^2} \cdot \sin^2 \alpha = \frac{a}{b} \cdot \frac{a+b}{b} \cdot \frac{a-b}{2} \cdot \sin^2 \alpha \end{aligned} \quad (9)$$

$\because (a-b)$ 之值极小, 可以认为 $a \approx b$

$$\therefore \frac{a}{b} \approx 1, \quad \frac{a+b}{b} \approx 2$$

$$\therefore \Delta \rho = (a-b) \sin^2 \alpha = \frac{a-b}{2} (1 - \cos 2\alpha) \quad (10)$$

由此可知, 活塞裙部向径 ρ_{max} 和 ρ_{min} 差值较小时, 其截面廓线接近标准椭圆曲线。

2 曲柄摇杆机构摇杆上某点轨迹近似椭圆曲线

图2所示为曲柄摇杆机构, AB为曲柄, BC为连杆, \overline{CD} 为摇杆, 现在考察摇杆上E点的轨迹。

当曲柄AB尺寸很小时(实际结构尺寸AB小于1毫米)BC、CD尺寸很大时, C

点轨迹可看作一段直线。这样 C 点的运动方程可表为:

$$X_C = \overline{AD} + \overline{DC} = r \cos \varphi + (l^2 - r^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{1}{2}} = r \cos \varphi + l [1 - (\frac{r}{l})^2 \sin^2 \varphi]^{\frac{1}{2}}$$

将上式右边根号展开为幂级数

$$[1 - (r/l)^2 \sin^2 \varphi]^{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{1}{2} (\frac{r}{l})^2 \sin^2 \varphi - \frac{1}{8} (\frac{r}{l})^4 \sin^4 \varphi - \dots$$

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

$$X_C = r \cos \varphi + l [1 - \frac{1}{2} (\frac{r}{l})^2 \frac{1 - \cos 2\varphi}{2}] \quad (11)$$

C 点的绝对位移量为:

$$\Delta X_C = (r + l) - X_C \approx r(1 - \cos \varphi) \quad (12)$$

由于 $(\frac{r}{l})^2$ 为二阶微量, 故忽略不计

$$\frac{l}{2} \cdot (\frac{r}{l})^2 \cdot \frac{1 - \cos 2\varphi}{2} \text{ 项}$$

又由于 C 和 E 点同时绕 D 点转动, 所以 C 点和 E 点的位移和它们的回转半径之比值相等。

$$\text{即 } \frac{\Delta Y_E}{ED} = \frac{\Delta X_C}{CD}$$

$$\text{有 } \Delta Y_E = \frac{ED}{CD} \Delta X_C$$

将 (12) 式代入上式得:

$$\Delta Y_E = \frac{ED}{CD} \cdot r \cdot (1 - \cos \varphi) \quad (13)$$

ΔY_E —— 为 E 点绝对位移量。

图 2

当 E 点为刀尖切削活塞裙部时, 由于活塞裙部截面廓线近似于标准椭圆, 当活塞转一周时, 刀尖要两次进刀两次退刀, 也就是活塞转一转, 带动车刀的曲柄摇杆机构的曲柄要转两转。因此, (13) 式就变为:

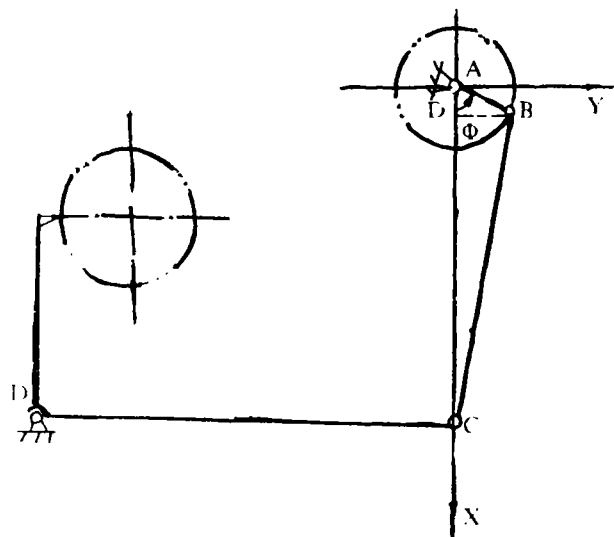
$$\Delta Y_E = \frac{ED}{CD} \cdot r \cdot (1 - \cos 2\alpha) \quad (14)$$

α —— 曲柄相对应的转角

若 ED , CD 按结构要求已定为常数, r 为可调量, 则令 $\frac{ED}{CD} r = \frac{1}{2}(a - b)$

$$\text{则 } \Delta Y_E = \frac{1}{2}(a - b)(1 - \cos 2\alpha) \quad (15)$$

与活塞廓线方程相符, 因此本机构能加工出符合要求的活塞裙部曲面。



3 关于避免曲柄摇杆机构出现急回运动的尺度综合

在平面四杆机构中有一个特殊问题, 即所谓“急回”现象。当曲柄等速转动一周时, 摇杆往复摆动两次, 两次摆角相等, 但去程摆动的平均速度小于回程的平均速度, 这就是急回现象。利用此机构加工知塞如不消除急回现象, 其后果是加工出的活塞曲面不对称。

避免“急回”的条件是: 当曲柄 AB 和连杆 BC 在两个共线位置时, 如图 3 所示,

$\overline{AB_1C_1}$ 与 $\overline{AB_2C_2}$ 两线重合, 故不会出现“急回”现象。

在图 3 中设 $AB = a$
 $B_1C_1 = b, C_1D = c$

$AD = d,$

在 $Rt\triangle DCC_2$ 中

$$DC = C \cos \frac{\varphi}{2}$$

$$CC_2 = a = C \sin \frac{\varphi}{2} \quad (16)$$

在 $Rt\triangle ACD$ 中

$$d^2 = b^2 + C^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2} \quad (17)$$

将(16)式两边平方和(17)式相加得

$$a^2 + d^2 = b^2 + c^2 \quad (18)$$

曲柄摇杆机构只要满足(18)式的尺寸关系就不会出现“急回”现象。此机构的动力特性是: 当曲柄两次与机架共线时, 机构具有相同的最小传动角。即 $\delta_{\min 1} = \delta_{\min 2}$

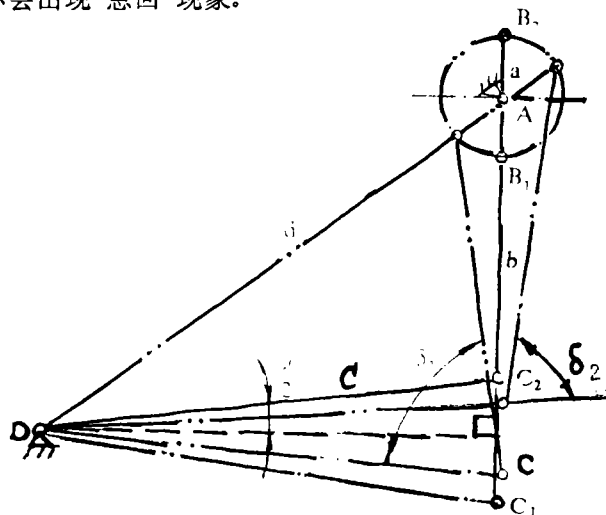


图 3

4 机构加工工件的误差分析

用曲柄摇杆机构车削活塞时, 活塞在固定轴线上旋转, 车刀是靠摇杆摆动进刀。如图 4 所示,

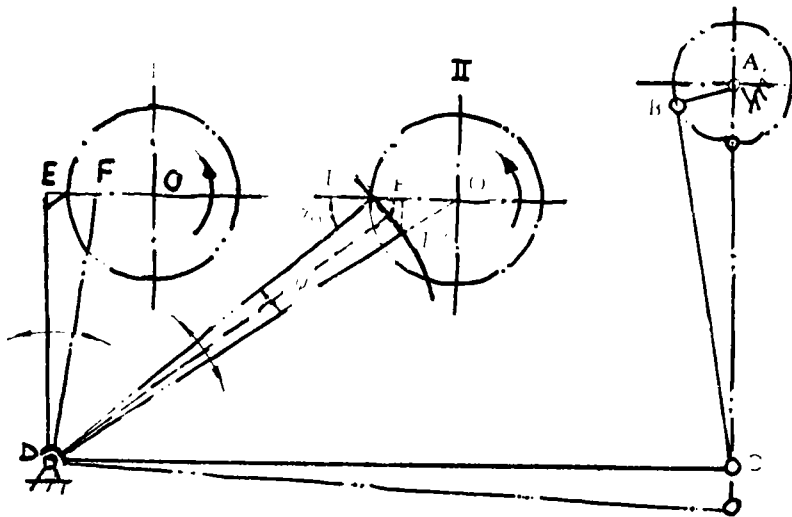


图 4

如果活塞和车刀在 I 位置, 初始对刀, 刀尖 E 和活塞回转中心 O 在同一水平直线上。这时刀尖和刀架回转中心的连线和活塞对称轴平行, 当进刀时, 刀尖随刀架绕 D 点摆动, 当刀尖进到 F 点时, 理论上 F 点应在水平线 \overline{EO} 的下方, 但由于摆角较小的情况下, 误差极小。

当车刀和活塞处在一般位置例如位置 II 时, 初始对刀尖 E' 和活塞回转中心也处于同一水平线上, 但当进刀过程中刀尖逐渐落在 $\overline{E'D}$ 的下方, 情况是比较明显的, 其结果是活塞的尺寸和几何形状, 产生了严重的问题。首先讨论尺寸误差: 假设最大进刀量为 $\Delta\rho_{\max}$, 如果是水平进刀, 则令 $\Delta\rho_{\max} = \overline{E'P}$ 。而进刀过程中是刀尖随刀架绕 D 点摆动, 当理论上进刀量水平方向等于 $\Delta\rho_{\max}$ 时, 实际上刀尖已沿着 $\overline{E'E''}$ 走到了 E'' 处。显然, $\overline{E''P} \perp \overline{E'O}$, P 为垂足。在 $\text{Rt}\triangle E''PO$ 中, $\overline{OE''} > \overline{OP}$ (直角三角形斜边大于直角边)。误差值为:

$$\mu_l = \overline{OE''} - \overline{OP} \quad (19)$$

令 $\overline{DE'} = l$, 摆角为 φ , $\angle OE'E'' = \gamma$, $\overline{E'E''} = 2l\sin\frac{\varphi}{2}$ 。令 $\overline{E'D}$ 的初始位置和水平线的夹角等于 α_o (为已知值)。

$$\text{则 } \angle OE'E'' = \gamma = 180^\circ - \alpha_o - 90^\circ + \frac{\varphi}{2} = 90^\circ + \frac{\varphi}{2} - \alpha_o$$

$$\overline{E'P} = \Delta\rho_{\max} = \overline{E'E''}\cos\gamma = \overline{E'E''}\cos(90^\circ + \frac{\varphi}{2} - \alpha_o) = 2l\sin\frac{\varphi}{2}\sin(\frac{\varphi}{2} - \alpha_o)$$

$$\overline{OE''}^2 = \overline{OE'}^2 + \overline{E'E''}^2 - 2 \cdot \overline{OE'} \cdot \overline{E'E''} \cdot \cos(90^\circ + \frac{\varphi}{2} - \alpha_o)$$

$$\overline{OE''} = [a^2 + 4l^2\sin^2\frac{\varphi}{2} - 4alsin\frac{\varphi}{2}\sin(\frac{\varphi}{2} - \alpha_o)]^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

$$\overline{OP} = a - \overline{E'P} = a - 2lsin\frac{\varphi}{2}\sin(\frac{\varphi}{2} - \alpha_o) \quad (21)$$

将(20)、(21)式代入(19)式得:

$$\mu_l = [a^2 + 4l^2\sin^2\frac{\varphi}{2} - 4alsin\frac{\varphi}{2}\sin(\frac{\varphi}{2} - \alpha_o)]^{\frac{1}{2}} - a + 2lsin\frac{\varphi}{2}\sin(\frac{\varphi}{2} - \alpha_o) \quad (22)$$

由(22)式可以看出, 当 a、l、 α_o 为定值时, μ_l 是 φ 的函数。当给出 φ 的步长可算出活塞裙部对应向径的一系列误差值。(22)式是计算曲柄摇杆机构加工活塞曲面向径误差的普遍公式。当车刀和活塞在位置 I 时, 摇杆初始位置角 $\alpha_o = 90^\circ$, 则(22)式变成如下形式:

$$\mu_l = [a^2 + 4l^2\sin^2\frac{\varphi}{2} + 2alsin\varphi]^{\frac{1}{2}} - a - lsin\varphi \quad (23)$$

(22)式和(23)式表明用曲柄摇杆机构加工活塞裙部曲面, 产生尺寸误差是不可避免的。

其次由于刀架摆动切削的结果, 活塞裙部截面椭圆形状也发生了变化, 实际短轴和理

论短轴不重合, 其相互位置分析如下:

当刀尖 E' 和活塞回转中心 O 在水平直线上接触时, 是椭圆长轴的一端, 假如活塞逆时针转动, 这时刀尖顺着活塞转动方向摆动了 φ 度。当水平进刀为最大深度 $\Delta\rho_{max}$ 时, 刀尖到达 P 点, 由于活塞转动一周, 刀尖进退两次, 所以 P 点位置是活塞短轴出现的位置, 这样长短轴相互垂直。但是, 实际刀尖位置在 E'' 点, 这意味着长轴和短轴之夹角为:

$$90^\circ + \angle E'OE''$$

当刀尖又从 E'' 逆活塞转动摆回到 E' 时, 长轴和短轴之夹角为:

$$90^\circ - \angle E'OE''$$

下面根据图 4 推出 $\angle E'OE''$ 的表达式:

在 $\triangle E'OE''$ 中

$$\cos \angle E'OE'' = \frac{\overline{OE'}^2 + \overline{OE''}^2 - \overline{E'E''}^2}{2 \cdot \overline{OE'} \cdot \overline{OE''}}$$

$$= \frac{a - 2l \sin \frac{\varphi}{2} \sin(\frac{\varphi}{2} - \alpha_o)}{[a^2 + 4l^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2} - 4alsin \frac{\varphi}{2} \sin(\frac{\varphi}{2} - \alpha_o)]^{\frac{1}{2}}}$$

$$\therefore \angle E'OE'' = \arccos \left\{ \frac{a + 2l \sin \frac{\varphi}{2} \sin(\alpha_o - \frac{\varphi}{2})}{[a^2 + 4l^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2} - 4alsin \frac{\varphi}{2} \sin(\frac{\varphi}{2} - \alpha_o)]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (24)$$

从 (24) 式可以看出, $\angle E'OE''$ 是参数 a 、 l 、 φ 、 α_o 的函数。当 $\alpha_o = 90^\circ$ 时, 即车刀和活塞在位置 I 时, (24) 式变为:

$$\therefore \angle E'OE'' = \arccos \left\{ \frac{a - l \sin \varphi}{[a^2 + 4l^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2} + 2alsin \varphi]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (25)$$

从 (25) 式可以看出, 当 a 、 l 为常数时, $\angle E'OE''$ 是摇杆 DE' 摆角 φ 的函数。当 $\varphi = 0$ 时

$$\angle E'OE'' = \arccos\{1\} = 0$$

从 (24) 式和 (25) 式看出, 当用曲柄摇杆机构车削活塞裙部曲面时, 其截面椭圆的长轴和短轴是不可能垂直的。只有在位置 I 椭圆的长轴和短轴垂直度误差最小。

5 结论

5.1 活塞裙部截面廓线最大向径和最小向径长度接近, 所以非常接近标准椭圆曲线。

5.2 用曲柄摇杆机构能加工出活塞裙部椭圆曲线, 由于摇动进刀, 椭圆的尺寸误差和几何形状误差是不可避免的, 但只要刀具位置安放合适, 这两种误差可以减小, 工业实验表明, 能满足工程要求的精度。

5.3 设计此曲柄连杆机构时, 各杆长度一定要满足(18)式的条件。

5.4 此机构只能加工出单椭圆曲面, 但把曲柄(或偏心)设计成可调结构, 能加工出不同形状的椭圆曲面。

参 考 文 献

- 1 张世民编. 平面连杆机构设计. 高等教育出版社. 1983.
- 2 傅则绍主编. 机构设计学. 成都科技大学出版社. 1988.
- 3 华大年. 唐之伟主编. 机构的分析与设计. 纺织工业出版社. 1985.
- 4 陶乾编. 金属切削原理. 中国工业出版社. 1963.
- 5 C. H. Suh, Kinematics and Mechanisms Design, Copyright 1978, by John Wiley and Son, Inc.
- 6 数学手册. 人民教育出版社. 1979.

Research on the Curve-formed Mechanism of the piston-Skirt

Ye Yuanlie Zhang Mingcheng Li Chunying Lu Xinru

(Zhengzhou Institute of Technology) (Changzhou Institute of Technological —Normal)

Abstract: The present paper dealt with the problem of the explosive motor piston-skirt Curve, and then, give the mechanism of cutting piston-shirt curve. Further more, explord the mechanism kinematics, the error formula, and the method which avoid mechanisn qick-return.

Keywords: Curve, Qick-Return, Error.