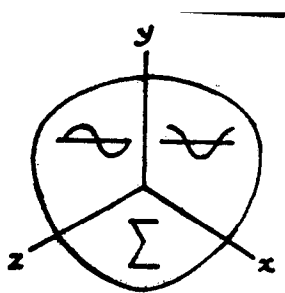


平板凸轮廓线 计算机辅助设计绘制

浙 江 大 学 徐 振 华
浙江省计标技术研究所 章 少 华 合 著



浙江计标技术通讯编辑部印

平板凸轮廓线计算机辅助设计绘制

浙江大学机械系 徐振华
浙江省计算技术研究所 章少华 合著

浙江计算技术通讯编辑部印

1979年12月

目 录

一、前言	(1)
二、平板凸轮廓线的参数方程的建立	(2)
三、绘图原理	(9)
四、结束语	(14)
附录一：凸轮廓线的参数方程	(15)
表 1：各类平板凸轮廓线的参数方程	(15)
表 2：滚子或尖顶移动从动件的凸轮机构	(22)
表 3：平底移动从动件的凸轮机构	(23)
表 4：滚子或尖顶摆动从动件的凸轮机构	(24)
表 5：平底摆动从动件的凸轮机构	(25)
附录二：设计、绘制凸轮廓线的有关程序及程序说明	(26)
1. 计算凸轮廓线各点座标的程序及程序说明	(26)
(1) 源程序	(26)
A) 滚子或尖顶移动从动件的凸轮机构	(26)
B) 平底移动从动件的凸轮机构	(27)
C) 滚子或尖顶摆动从动件的凸轮机构	(29)
D) 平底摆动从动件的凸轮机构	(31)
(2) 程序中的名字注释	(33)
(3) 程序使用说明	(33)
2. 绘制凸轮廓线的程序及程序说明	(34)
(1) 源程序	(34)
(一) 凸轮绘图 (隐参数) 通用程序	(34)
(二) 绘制各种凸轮廓线 (显参数) 通用程序	(38)
(2) 程序说明	(45)
(一) 凸轮绘图 (隐参数型式) 的通用程序说明	(45)
(二) 绘制各种凸轮廓线 (以显参形式) 的程序说明	(46)
附录三：实例——加工液压马达定子曲线所用的靠模凸轮廓线	(47)
参考文献	(52)

内 容 摘 要

为了又快又精确地设计绘制及加工平板凸轮，本文设计一种新的方法，即用计算机来辅助设计绘制平板凸轮廓线，并可直接用数控机床加工。

在文中详细阐明了：

- 一、用直接几何法在直角坐标系下，建立平板凸轮的各种参数方程式。
- 二、在各种情况下，精确绘制凸轮廓线的原理和过程。
- 三、附有框图和有关程序。
- 四、为了便于查用，在附表中列出了所有类型的凸轮廓线方程式。

一、前言

凸轮是实现工业自动化的重要机械零件之一,随着工业自动化的日益发展,目前对凸轮的设计精度要求越来越高。如何根据实际生产的需要又快又好地设计和正确绘制凸轮廓线,并且按要求正确加工出来,这并非是一件简单的事。一般往往要求出每点的座标 (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$, 然后根据这些已知座标逐点绘制。这样设计和绘制一只凸轮要花很多时间,同时也不精确。现我们利用计算机来搞设计和绘制平板凸轮廓线,不仅根据生产需要可立刻设计画出凸轮廓线,其精度可达到所给的要求,而且对于所绘制的凸轮廓线,认为不合理就可以通过计算机进行修改,达到符合设计要求的凸轮廓线,同时利用该方法还可以直接用于数控机床加工凸轮廓线或靠模。鉴于上述目的,本文主要介绍凸轮参数方程式的建立和凸轮廓线绘制原理和过程,并附有框图、程序说明和程序,供读者参考。

二、平板凸轮廓线参数方程的建立

平板凸轮机构的类型很多,就从动件与凸轮的接触元素来讲,有尖顶、滚子及平底等类型。就从动件的运动来讲,有移动及摆动等形式。就从动件与凸轮安装的相对位置来讲,有对心及偏置等情况。其凸轮机构的类型有数十种之多,但这数十种凸轮机构类型归纳起来是属于以下四种基本型式的凸轮机构:

- (一) 滚子移动从动件的凸轮机构;
- (二) 平底移动从动件的凸轮机构;
- (三) 滚子摆动从动件的凸轮机构;
- (四) 平底摆动从动件的凸轮机构;

为此从机构上讲我们不必要对每一种凸轮机构都一一进行研究建立方程。我们只要研究这四种基本类型的凸轮机构就可以了。

对各种凸轮机构的参数方程的建立,可以通过微分几何的包络线法和直接几何计算法建立。现从滚子移动从动件的平板凸轮机构及滚子摆动从动件的平板凸轮机构为例,直接在直角坐标系中建立平板凸轮的参数方程。对于其它类型的凸轮参数方程式的建立,方法相似,推导从略。各类方程式附后表。

图1 所示为滚子移动从动件的平板凸轮机构。该滚子移动从动件偏置于凸轮轴的左方,偏距为 e 。凸轮2为顺时针方向迴转,理论廓线的基圆半径为 r_0 ,滚子半径为 R ,从动件3的位移 S_3 是以凸轮2转角 φ_2 的函数给出的,即

$$S_3 = S_3(\varphi_2) \quad (1)$$

由图知:

$$\overline{EB} = S_0 + S_3 \quad (7)$$

所以

$$\overline{PB} = \sqrt{\overline{PE}^2 + \overline{EB}^2} = \sqrt{\left(\frac{ds_3}{d\varphi_2} - e\right)^2 + (S_0 + S_3)^2} \quad (8)$$

由 $\triangle PFK$ 与 $\triangle PEB$ 相似知:

$$\frac{\overline{PF}}{\overline{PE}} = \frac{\overline{FK}}{\overline{EB}} = \frac{\overline{PK}}{\overline{PB}} = \frac{\overline{PB} - \overline{KB}}{\overline{PB}} = 1 - \frac{R}{\overline{PB}} \quad (9)$$

将(6)、(7)及(8)式代入上式即可求得:

$$\overline{PF} = \left(\frac{ds_3}{d\varphi_2} - e\right) \left(1 - \frac{R}{\sqrt{\left(\frac{ds_3}{d\varphi_2} - e\right)^2 + (s_0 + s_3)^2}}\right) \quad (10)$$

$$\overline{FK} = (s_0 + s_3) \left[1 - \frac{R}{\sqrt{\left(\frac{ds_3}{d\varphi_2} - e\right)^2 + (s_0 + s_3)^2}}\right] \quad (11)$$

又由图知:

$$\overline{AF} = \overline{AP} - \overline{PF} = e + \frac{\left(\frac{ds_3}{d\varphi_2} - e\right) R}{\sqrt{\left(\frac{ds_3}{d\varphi_2} - e\right)^2 + (s_0 + s_3)^2}} \quad (12)$$

将(11)及(12)式代入(5)式,并整理后得凸轮廓线的参数方程为:

$$\begin{cases} X_K = e \cos(\beta_0 + \varphi_2) + (s_0 + s_3) \sin(\beta_0 + \varphi_2) \\ \quad + R \frac{\left(\frac{ds_3}{d\varphi_2} - e\right) \cos(\beta_0 + \varphi_2) - (s_0 + s_3) \sin(\beta_0 + \varphi_2)}{\sqrt{\left(\frac{ds_3}{d\varphi_2} - e\right)^2 + (s_0 + s_3)^2}} \\ Y_K = e \sin(\beta_0 + \varphi_2) - (s_0 + s_3) \cos(\beta_0 + \varphi_2) \\ \quad + R \frac{\left(\frac{ds_3}{d\varphi_2} - e\right) \sin(\beta_0 + \varphi_2) + (s_0 + s_3) \cos(\beta_0 + \varphi_2)}{\sqrt{\left(\frac{ds_3}{d\varphi_2} - e\right)^2 + (s_0 + s_3)^2}} \end{cases} \quad (13)$$

$$\text{式中 } \beta_0 = \arccos \frac{e}{r_0} \quad (0 < \beta_0 < \pi)$$

$$s_0 = \sqrt{r_0^2 - e^2}$$

图2为滚子摆动从动件的平板凸轮机构。设滚子摆动从动件的转轴 D 置于凸轮轴 A 的右方,并在中心线的上方摆动。中心距为 A ,凸轮2为顺时针方向迴转,理论廓线的基圆半径为 r_0 ,滚子半径为 R ,摆杆长为 L 。从动件3的角位移 φ_3 是以凸轮2的转角 φ_2 的函数给出的,即

$$\varphi_3 = \varphi_3(\varphi_2) \quad (14)$$

由图知:

$$\cos \beta_0 = \frac{A^2 + r_0^2 - L^2}{2Ar_0} \quad (15)$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{A^2 + L^2 - r_0^2}{2AL} \quad (16)$$

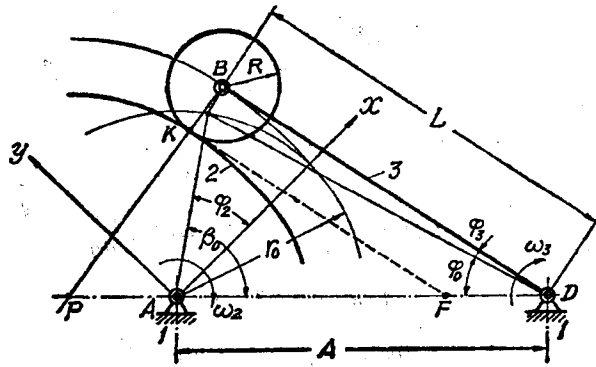


图 2

由凸轮机构的运动分析知道, 从动件 3 与凸轮 2 的相对瞬心 P 为接触点 K 点的公法线 \overline{BK} 与 \overline{DA} 延长线的交点, 那末,

$$\frac{\overline{AP}}{\overline{DP}} = \frac{\omega_3}{\omega_2} = \frac{\frac{d\varphi_3}{dt}}{\frac{d\varphi_2}{dt}} = \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}$$

$$\text{又 } \overline{DP} = \overline{AP} + A$$

所以得:

$$\overline{AP} = A \frac{\frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}}{1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}} \quad (17)$$

$$\overline{DP} = \frac{A}{1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}} \quad (18)$$

过 K 点作 \overline{DB} 之平行线, 取动坐标系 XAY 固联于凸轮 2 上, 那末, 由图知, 凸轮廓线上与滚子接触点 K 点的坐标为:

$$\begin{cases} X_K = \overline{AF} \cos(\beta_0 - \varphi_2) - \overline{FK} \cos(\beta_0 - \varphi_2 + \varphi_0 + \varphi_3) \\ Y_K = -\overline{AF} \sin(\beta_0 - \varphi_2) + \overline{FK} \sin(\beta_0 - \varphi_2 + \varphi_0 + \varphi_3) \end{cases} \quad (19)$$

式中 \overline{AF} 及 \overline{FK} 可如下求得,

由 $\triangle PDB$ 知:

$$\overline{PB} = \sqrt{\overline{DP}^2 + \overline{DB}^2 - 2\overline{DP} \cdot \overline{DB} \cos(\varphi_0 + \varphi_3)}$$

将(18)式及 $\overline{DB} = L$ 代入上式, 并整理之得:

$$\overline{PB} = \frac{1}{1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}} \sqrt{A^2 + L^2 \left(1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}\right)^2 - 2AL \left(1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}\right) \cos(\varphi_0 + \varphi_3)} \quad (20)$$

由 $\triangle PFK$ 与 $\triangle PDB$ 相似得:

$$\frac{\overline{PF}}{\overline{DP}} = \frac{\overline{FK}}{\overline{DB}} = \frac{\overline{PK}}{\overline{PB}} = \frac{\overline{PB} - \overline{KB}}{\overline{PB}} = 1 - \frac{R}{\overline{PB}} \quad (21)$$

将(18)、(20)式与 $\overline{DB} = L$ 代入上式, 并整理之得:

$$\overline{PF} = \frac{A}{1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}} \frac{AR}{\sqrt{A^2 + L^2 \left(1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}\right)^2 - 2AL \left(1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}\right) \cos(\varphi_0 + \varphi_3)}} \quad (22)$$

$$\overline{FK} = L - \frac{LR \left(1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}\right)}{\sqrt{A^2 + L^2 \left(1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}\right)^2 - 2AL \left(1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}\right) \cos(\varphi_0 + \varphi_3)}} \quad (23)$$

又由图知:

$$\overline{AF} = \overline{PF} - \overline{AP}$$

将(17)及(22)式代入上式, 并整理之得:

$$\overline{AF} = A - \frac{AR}{\sqrt{A^2 + L^2 \left(1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}\right)^2 - 2AL \left(1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}\right) \cos(\varphi_0 + \varphi_3)}} \quad (24)$$

将(23)与(24)式代入(19)式, 并整理后得凸轮廓线的参数方程为:

$$\begin{cases} X_k = A \cos(\beta_0 - \varphi_2) - L \cos(\beta_0 - \varphi_2 + \varphi_0 + \varphi_3) \\ \quad - R \frac{\cos(\beta_0 - \varphi_2) - \frac{L}{A} \left(1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}\right) \cos(\beta_0 - \varphi_2 + \varphi_0 + \varphi_3)}{\sqrt{1 + \left(\frac{L}{A} \left(1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}\right)\right)^2 - 2 \frac{L}{A} \left(1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}\right) \cos(\varphi_0 + \varphi_3)}} \\ Y_k = -A \sin(\beta_0 - \varphi_2) + L \sin(\beta_0 - \varphi_2 + \varphi_0 + \varphi_3) \\ \quad + R \frac{\sin(\beta_0 - \varphi_2) - \frac{L}{A} \left(1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}\right) \sin(\beta_0 - \varphi_2 + \varphi_0 + \varphi_3)}{\sqrt{1 + \left(\frac{L}{A} \left(1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}\right)\right)^2 - 2 \frac{L}{A} \left(1 - \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2}\right) \cos(\varphi_0 + \varphi_3)}} \end{cases} \quad (25)$$

式中

$$\beta_0 = \arccos \frac{A^2 + r_0^2 - L^2}{2Ar_0} \quad (0 < \beta_0 < \pi)$$

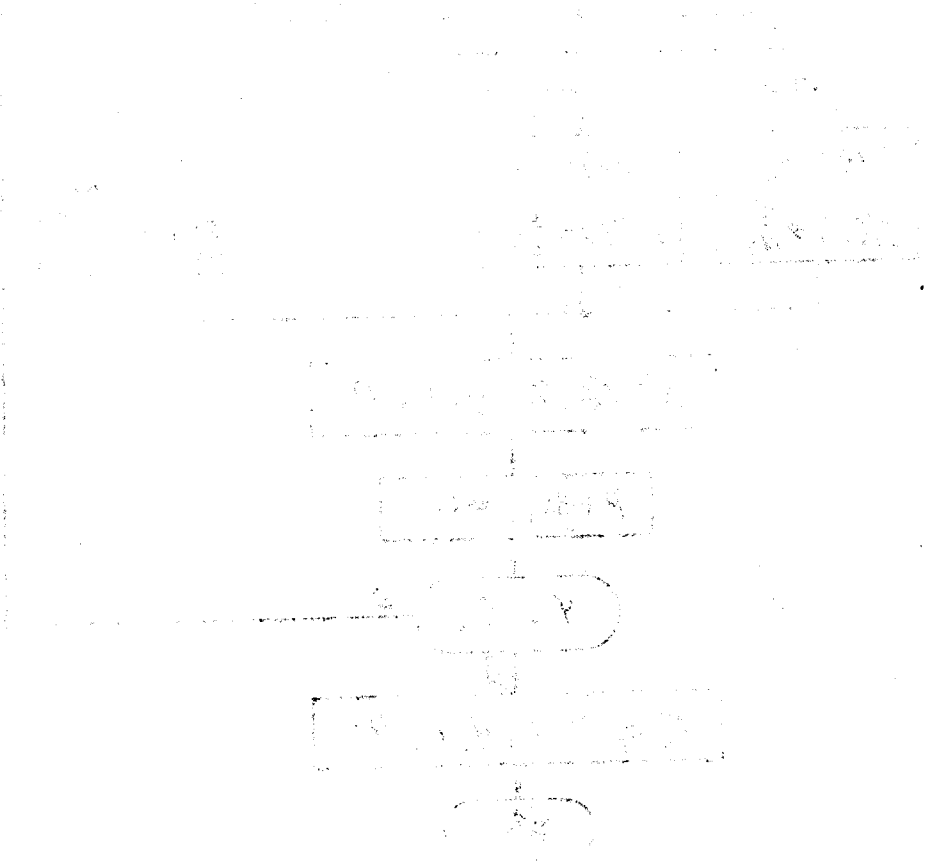
$$\varphi_0 = \arccos \frac{A^2 + L^2 - r_0^2}{2AL} \quad (0 < \varphi_0 < \pi)$$

为查用方便, 现将各类平板凸轮廓线的参数方程列于后表1, 同时也列入了极坐标的参数方程, 以备查用。

当利用数控线切割机或数控坐标铣床来加工凸轮廓线时，往往需要计算出凸轮廓线上的几百个或上千个坐标点，而这些座标点的计算式是相同的，只是作了几百次或上千次的重复计算而已。这样繁琐的重复计算，不借助于电子计算机来完成是不可想象的。作者曾为加工液压马达定子曲线所用的靠模凸轮廓线进行过720点座标计算，在浙江省计算技术研究所TQ-16计算机上用BCY语言程序进行计算，并以页式格式打印输出全部数据，仅需要三分钟。

为了达到上述目的便于编制通用程序，作者已将各种类型的平板凸轮廓线参数方程归纳为四种类型的通用方程式附于本文的最后，表2~表5，并用BCY算法语言编制好通用程序附于书末，只要将以凸轮转角为函数的从动件运动方程式 $f(\varphi)$ 及其一阶导数式 $f'(\varphi)$ ，用程序头的形式，修改程序中的某些语句即可。或者将各点的位移值及其导数值，以数组的形式输入亦可。若进行数控绘图，可不用算出各坐标点，而直接利用上述方程式就可绘出凸轮廓线，并可根据需要随时都可打印出凸轮在某转角下的X与Y的坐标值，供修改检查用。

图3是编制计算凸轮廓线 (X_i, Y_i) 及 (θ_i, P_i) 程序框图。图中 θ_r 表示从动件某段凸轮曲线运动规律终端时凸轮的转角，T表示凸轮曲线段数的编号。 φ_s 表示凸轮的起始角。



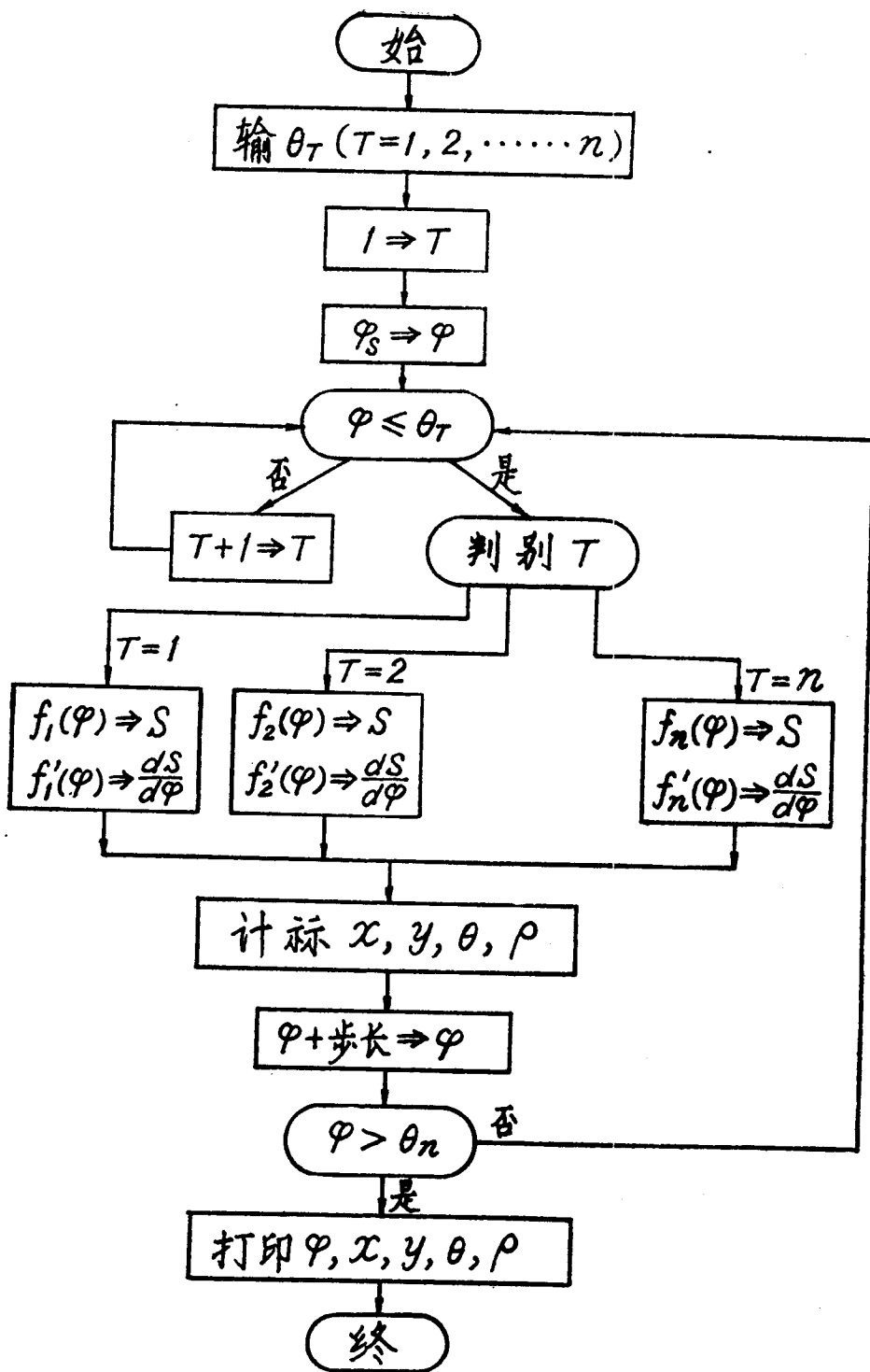


图 3

三、绘图原理

所有的平板凸轮都属于上述四种基本类型之一，根据生产的具体条件和要求，所设计的凸轮廓线是有许多段曲线组成。而每一段曲线又都有自己的特殊要求和运动方程。即在移动从动件中有 φ 和 S 及 $\frac{ds}{d\varphi}$ 的运动方程来决定。在摆动从动件中有 φ 和 β 及 $\frac{d\beta}{d\varphi}$ 的运动方程式来决定等等。对于这样一串十分复杂的公式，而在公式中又含有表达式的一阶导数的参数方程所组成的曲线段，采用一般的绘图方法是很难画出的。现我们采用多层函数式的隐参数，显参数绘图办法来直接绘图。如滚子或尖顶移动从动件的凸轮机构其参数方程为：

$$\left\{ \begin{array}{l} X = \eta e \cos(\varphi_0 + \varphi) + (s_0 + s) \sin(\varphi_0 + \varphi) \\ \quad + \lambda R \frac{(\frac{ds}{d\varphi} - \eta e) \cos(\varphi_0 + \varphi) - (s_0 + s) \sin(\varphi_0 + \varphi)}{\sqrt{(\frac{ds}{d\varphi} - \eta e)^2 + (s_0 + s)^2}} \\ Y = \eta e \sin(\varphi_0 + \varphi) - (s_0 + s) \cos(\varphi_0 + \varphi) \\ \quad + \lambda R \frac{(\frac{ds}{d\varphi} - \eta e) \sin(\varphi_0 + \varphi) + (s_0 + s) \cos(\varphi_0 + \varphi)}{\sqrt{(\frac{ds}{d\varphi} - \eta e)^2 + (s_0 + s)^2}} \end{array} \right.$$

而对于每一段曲线又都是 φ ， S 和 $\frac{ds}{d\varphi}$ 的函数。为了不失一般性，我们将上述型式改为：

$$\left\{ \begin{array}{l} f(x, \varphi, S, \frac{ds}{d\varphi}) = 0 \\ g(y, \varphi, S, \frac{ds}{d\varphi}) = 0 \end{array} \right. \quad (26)$$

对于(26)式我们可用 $f(x, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})$ 来控制输出 Δx ，而用 $g(y, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})$ 来控制输出 Δy ，绘制该曲线的要点如下：

〈一〉计算绘图判别式：

$$F = \sigma_1 f(x, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) ; \quad (27)$$

$$G = \sigma_2 g(y, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) ; \quad (28)$$

其中：

$$\sigma_1 = -f(x_0, \varphi_0 + \Delta\varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) ;$$

$$\sigma_2 = -g(y_0, \varphi_0 + \Delta\varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) ;$$

σ_1 和 σ_2 为判别曲线走向的符号。

《二》(1)当 $F \leq 0$ 输 Δx , 反之输 $\Delta \varphi$, 每增加一个 $\Delta \varphi$, s 和 $\frac{ds}{d\varphi}$ 也随之改变。

(2)当 $G \leq 0$ 输 Δy , 反之输 $\Delta \varphi$, 每增加一个 $\Delta \varphi$, s 和 $\frac{ds}{d\varphi}$ 也随之改变。

《三》对过 x, y, φ 的极值线时, 我们采用以下变号法则来控制曲线走向:

(1)当 $f(x, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) [f(x, \varphi + \Delta \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) - f(x, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})] > 0$ 时, $\Delta x, \sigma_1$ 改变符号。

(2)当 $f(x, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) [f(x + \Delta x, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) - f(x, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})] > 0$ 时, $\Delta \varphi, \Delta y, \sigma_1, \sigma_2$ 改变符号。

(3)当 $g(y, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) [g(y, \varphi + \Delta \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) - g(y, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})] > 0$ 时, $\Delta y, \sigma_2$ 改变符号。

(4)当 $g(y, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) [g(y + \Delta y, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) - g(y, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})] > 0$ 时, $\Delta \varphi, \Delta x, \sigma_1, \sigma_2$ 改变符号。

《四》对缩小因子, 我们采用:

$$M = \max \left\{ \frac{f_{\varphi}(x, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})}{f_x(x, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})}, \frac{g_{\varphi}(y, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})}{g_y(y, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})} \right\}$$

$$\Delta \varphi = \frac{K}{M}; \quad (K: \text{为绘图机实际步长})$$

《五》绘图的过程:

(1)每增加一个 $\Delta \varphi$, 就必须计算 s 和 $\frac{ds}{d\varphi}$, 同时来判别, $f(x, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) \cdot [f(x, \varphi + \Delta \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) - f(x, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})]$ 是否大于零? 若大于零。则根据判别法则, σ_1 和 Δx 改变符号, 反之, σ_1 和 Δx 不改变符号, 进而判别: $F = \sigma_1 f(x, \varphi + \Delta \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) < 0$? 若成立就输出一步 Δx , 同时再判别 $g(y, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) [g(y, \varphi + \Delta \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) - g(y, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})]$ 否是大于零? 若成立, 根据判别法则, $\sigma_2, \Delta y$ 改变符号, 反之, $\sigma_2, \Delta y$ 就不改变符号, 进而判别 $G = \sigma_2 g(y, \varphi + \Delta \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) < 0$ 是否成立? 若成立, 就输出一步 Δy 。若二者都大于零, 则再

增加一个 $\Delta\varphi$ 。每增加一个 $\Delta\varphi$ ，对 s 和 $\frac{ds}{d\varphi}$ 都要计算，同时对 F 和 G 也都要按上述方法交替判别。

(2) 每按上述方法输出一个 Δx (或 Δy) 都要把 Δx (或 Δy) 加到相应的 x 和 y 单元中。即： $x + \Delta x \Rightarrow x$ ； $y + \Delta y \Rightarrow y$ ；再按下述方法计算和判别直到 $F = \sigma_1 f(x, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})$ 和 $G = \sigma_2 g(y, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})$ ；都大于零，再输出一个 $\Delta\varphi$ 。每输出一个 $\Delta\varphi$ 时，将其加入相应的 φ 单元中去，即 $\varphi + \Delta\varphi \Rightarrow \varphi$ 。

(3) 对每一步输出 Δx (或 Δy) 又要判别一下：

A: $f(x, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) \{ f(x + \Delta x, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) - f(x, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) \} > 0$
是否成立？

B: $g(y, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) \{ g(y + \Delta y, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) - g(y, \varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) \} > 0$ 是否成立？

若 A 成立，则使 $\Delta\varphi$ ， Δy ， σ_1 和 σ_2 都改变符号。由于 σ_1 和 σ_2 的变号，就使 F 和 G 也改变符号，由于 F (或 G) 的变号，就决定走 Δx (或 Δy) 还是走 $\Delta\varphi$ ？因此，对每增加一个 $\Delta\varphi$ 就要输出一个 Δx (或 Δy)，而每走一步 Δx (或 Δy) 就必须判别 A 和 B，是否成立？若成立？就要改变 σ_1 (或 σ_2) 符号，反之，就不改变 σ_1 (或 σ_2) 符号，再执行 (2)，(3) 直到 $F > 0$ ， $G > 0$ ，同时成立。再增加 $\Delta\varphi$ 再重复上述过程，直到画完曲线为止。

(4) 对于初值的选择： $\Delta\varphi = K \times \sin(\varphi_0)$ ；这个选择用不着再考虑初值的象限数，而由 φ 的方向选择。

(5) 为了保证精度对于终点的控制，采用凸轮转角终点值和凸轮终点座标 (x_s, y_s) 的双重控制：
即在满足 $|x_s - x| + |y_s - y| < \epsilon$ 其中 ϵ ，为所给精度要求。 (x, y) 是绘图笔所在位置， (x_s, y_s) 为终点座标。在此条件，我们还使它必须满足 $|\varphi_s - \varphi| < \epsilon/4$ 的条件，才停机，因此使所画凸轮不仅保证了它的实际座标误差精度而且也保证了角度误差精度。

(6) 在绘图过程中，可根据需要，随时都可以打印出 φ ， x ， y 的数据。

对于上述绘图方法不仅考虑到直角座标情况下，就是在极座标的参数型式的方程也可以顺利画出。

《六》用显参数方法来绘图：

对于上面的四种基本类型的凸轮廓线，在直角座标情况下，我们采用了较方便的绘图方法即交替输出绘图方法；

$$\begin{cases} x = F(\varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}); \\ y = G(\varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}); \end{cases}$$

对每增加一个 $\Delta\varphi$, 计算出 $s, \frac{ds}{d\varphi}$ 和 x 与 y 值, 然后将计算出来的当前绘图笔所在位置的记录点相减。即:

$$\begin{cases} F(\varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) - x \Rightarrow \Delta x; \\ G(\varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) - y \Rightarrow \Delta y; \end{cases}$$

再把 Δx (或 Δy) 的绝对值与绘图步长 K 比较, 若大于 K , 再输出 Δx (或 Δy) 加到 x (或 y) 相应单元中, $x + \Delta x \Rightarrow x$; (或 $y + \Delta y \Rightarrow y$;) 再把新的笔位 (x, y) 与 $f(\varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}), G(\varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})$ 比较, 求差值即: $F(\varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) - x \Rightarrow \Delta x$; $G(\varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) - y \Rightarrow \Delta y$, 再按上述方法交替输出, 若 $|\Delta x| < K$ (或 $|\Delta y| < K$) 成立就不输出 Δx (或 Δy), 直到 $|\Delta x| < K, |\Delta y| < K$ 同时成立。再增加 $\Delta\varphi$ 按上述方法进行下去。

对于初值的选择:

因为 $F'(\varphi)d\varphi = dF, d\varphi = \frac{dF}{F'(\varphi)}$, 而 $dF = dx = K$, 同理 $G'(\varphi)d\varphi = dG, d\varphi = \frac{dG}{G'(\varphi)}$ 而 $dG = dy = K$, 取 $M = \max\{F'(\varphi), G'(\varphi)\}$ 。所以 $\Delta\varphi = \frac{K}{M}$; 对于 $F'(\varphi)$ 和

$G'(\varphi)$ 我们近似地用差商来代替, 即: $M_1 = \frac{F(\varphi + \Delta\varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) - F(\varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})}{\Delta\varphi}$

$M_2 = \frac{G(\varphi + \Delta\varphi, s, \frac{ds}{d\varphi}) - G(\varphi, s, \frac{ds}{d\varphi})}{\Delta\varphi}$; 来代替 $F'(\varphi)$ 和 $G'(\varphi)$; 则 $M =$

$\max(M_1, M_2)$ 。

图 4 是编制显参数型式绘图的程序框图。具体说明见附录二: 2、(2)

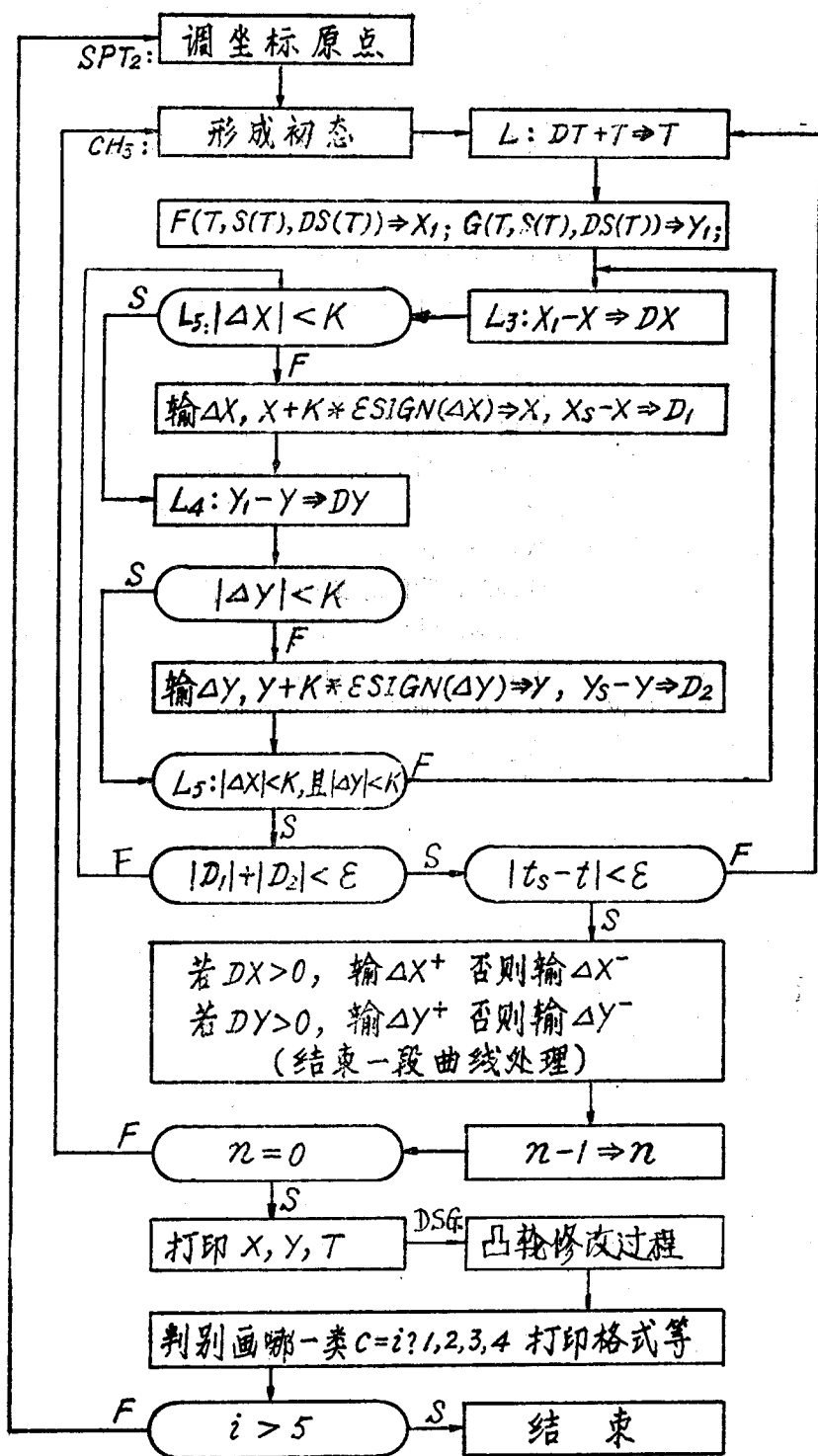


图 4 绘制凸轮廓线粗框图

四、结束语

计算机辅助设计(C.A.D)及加工(C.A.M)内容很广,随着电子计算机的广泛应用,对于各种复杂零件的空间曲面曲线的研究并进行设计、绘图加工等问题是一项新兴技术,即为计算机辅助几何设计及加工((C.A.G.D)&(C.A.M))。

在机械工业中,每一种机械设备都有许多零件组成,如飞机的机体,泵体、叶片以及凸轮等,它们的形状是十分复杂的,计算也较困难,过去往往要靠人,用手工描制和制模,这样不但花费很多时间而且精度也很差,同时在许多地方也不合理。随着计算机和数控机床的广泛被应用,人们都想用计算机来辅助设计、绘图、修改和制造各种零件,以代替人工制作。

本课题是用平板凸轮廓线的设计、绘制为题材,用计算机来辅助设计和绘制各种凸轮廓线。我们对油马达定子曲线靠模凸轮进行了设计并绘制了凸轮廓线图,进行了加工,其尺寸和精度完全符合生产要求,证明了这种设计和绘制完全正确。对这一工作过去靠人工设计、计算、绘制等要花许多天时间,现在仅仅用三分钟就可以把设计图画出来,并把所需要的数控机床加工数据一并输出。

在研究上述凸轮设计与绘制的同时,我们对滚子或尖顶移动从动件、平底移动从动件、滚子或尖顶摆动从动件与平底摆动从动件的各种凸轮都进行了模拟实践,通过大量的例题,进行计算、设计、绘制的各种凸轮的廓线图都完全正确。虽然在本课题中,取得了一定的成果,但这仅仅是用计算机辅助设计的一个初步尝试,还存在着许多可改进和研究的问题,待以后进一步研究。