

# IBM-PC编制线切割加工程序

李彦尊

(精密机械工程系)

**摘要** 本文以钟表摆线齿轮为典型零件,用IBM-PC编制数控线切割加工的“三B”格式程序,并着重分析编程的方法和规律。

**关键词** 摆线齿轮,线切割,微机编程

## 0 前言

随着科学技术的发展,模压加工越来越发挥其重大作用,特别是精密冲压及精密注塑,成型零件的精度高,批量大,广泛应用于钟表、照相机、仪表、打印机及其它装置。高精度的模具大都采用线切割加工,其加工精度,取决于线切割机的精度和精确的加工程序。对于简单形状的零件,可用手工编程,但对于齿轮或发电机定子冲片一类形状复杂的零件,手工编程非常烦琐,编程过程易出错,且精度低,其程序只能用于特定的零件。而用微机编程,其程序则可存入磁盘备用。

本程序可用于加工不同齿数、模数、齿形系数的内外摆线齿轮及其型腔模。只要将此程序调入内存,输入已知基本参数,从几何尺寸的计算、齿廓位置的确定、单齿及整个齿轮齿廓的生成及“三B”指令格式输出,均可自动完成。现以我国统一机型的钟表摆线齿轮为典型零件,用BASIC语言,在IBM-PC微机上,编辑线切割加工程序为例,说明用微机编程的构思和方法。

## 1 编程构思

### 1.1 齿形基本参数

钟表齿轮的齿形是在摆线齿轮的基础上经修正而形成的,称修正摆线齿轮。齿廓形状见图1。其标准基本参数为 $m$ —模数; $z$ —齿数; $k_p$ —齿顶圆弧半径系数; $k_r$ —中心圆半径系数; $k_s$ —分度圆齿厚系数,取 $k_s=1.57$ ; $k_{nf}$ —齿根高系数,取 $k_{nf}=1.57$ 。

### 1.2 基准齿形确定

根据齿轮形状特点,整个齿轮轮廓是单齿以齿轮中心为中心旋转而生成的。在编程时,

本文1990-05-05收到。

首先对单个齿齿形线进行计算，然后按  $2\pi/Z$  的角度进行坐标旋转，计算出整个齿轮的齿廓。一个完整的单齿是以  $Y$  轴为齿形对称中心线生成，所以基准齿形的起点和终点也应以  $Y$  轴为对称，为此选定  $BAD$  为基准齿形做为计算的依据，见图 1。这就简化了编程，同时起点  $B$  亦是线切割加工的起点，距齿轮中心最近，当切割开始时，不致因钼丝的引入而破坏齿形。

### 1.3 基准齿形线交点坐标计算模式

由“3B”指令程序的特征决定，在整个计算中有一个明确的直角坐标系，据钟表齿轮齿形线的特点和基本参数的计算式，故所有求交点坐标的运算都采用三角运算，而这些三角运算是建立在一个包含特定法线的三角形中，如图 2，其表达式为

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= R \cdot \cos\theta \\ y_0 &= R \cdot \sin\theta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

从而建立起由已知点到求未知点的有向平移公式 (2)，以及坐标旋转公式 (3)。即

$$x = x' + R\cos\theta, \quad y = y' + R\sin\theta; \quad (2)$$

$$x = x'\cos\theta - y'\sin\theta, \quad y = x'\sin\theta + y'\cos\theta. \quad (3)$$

图 3 中所示，钟表齿轮的齿形线由二条直线和五段圆弧组成，为编程方便，分别定义各

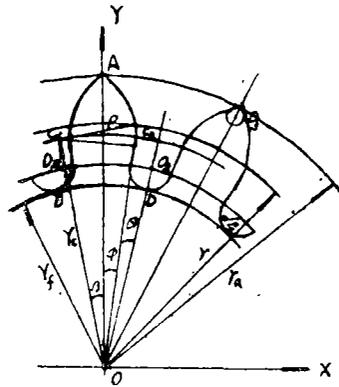


图 1 钟表齿形几何关系图

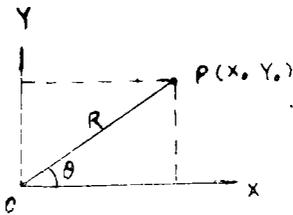


图 2 三角函数关系

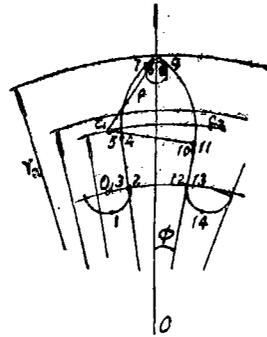


图 3 基准齿形图

线段的起点下标为奇数 (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13)，终点下标为偶数 (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14)，由此组成的线段  $\overline{3, 4}$ ,  $\overline{11, 12}$  为直线， $\widehat{1, 2}$ ,  $\widehat{5, 6}$ ,  $\widehat{7, 8}$ ,  $\widehat{9, 10}$ ,  $\widehat{13, 14}$  为圆弧。从图中分析，齿形线上的交点，为圆线相切和圆圆相切的切点，其坐标计算都可转化为式(1)求解，引入齿轮参数，计算式见图1, 4, 5(如下列1)~9)。即

1) 齿根圆弧圆心  $O_1$  为

$$xx_1 = (\rho_f + r_f)\cos(\pi/2 + \theta + \phi), \quad yy_1 = (\rho_f + r_f)\sin(\pi/2 + \theta + \phi).$$

2) 齿顶圆弧圆心  $C_2$  (左弧) 为

$$x_2 = r_c \cos(\pi/2 - \beta), \quad y_2 = r_c \sin(\pi/2 - \beta).$$

3) 齿顶修圆圆心  $O_3$  为

$$x_3 = 0, \quad y_3 = r_1.$$

4) 点 1 为

$$x'_1 = \rho_f \sin(\phi + \theta), \quad y'_1 = -\rho_f \cos(\phi + \theta).$$

5) 点 2 为

$$\begin{aligned} x'_2 &= \rho_f \cos\phi, & y'_2 &= \rho_f \sin\phi, \\ x_0 x_2 &= x x_1 + x'_2, & y_0 y_2 &= y y_1 + y'_2. \end{aligned}$$

6) 点 5 为

$$\begin{aligned} x'_5 &= \rho \cos(\pi + \phi), & y'_5 &= \rho \sin(\pi + \phi), \\ x_0 x_5 &= x x_2 + x'_5, & y_0 y_5 &= y y_2 + y'_5. \end{aligned}$$

7) 点 6 为

$$x'_6 = -\rho \cos\alpha, \quad y'_6 = \rho \sin\alpha.$$

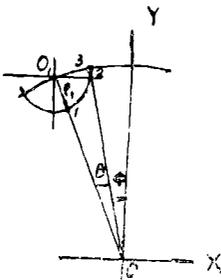


图 4 交点坐标简图

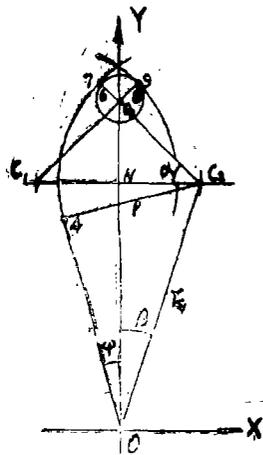


图 5 齿形线交点坐标简图

8) 点 7 为

$$x'_7 = -R' \cos\alpha, \quad y'_7 = R' \sin\alpha.$$

9) 点 4 为

$$x'_4 = x_0 x_5 - x_0 x_2, \quad y'_4 = y_0 y_5 - y_0 y_2.$$

以上各式中:  $x'_i y'_i$ ——各点的相对坐标;  $x_0 x_i, y_0 y_i$ ——各点的绝对坐标 (以齿轮中心为原点);  $\beta, \theta, \phi$ ——图 1 中所示夹角, 其计算式为已知;  $\alpha$ ——图 5 中所示,  $\alpha = \arccos N_{C_2} / (\rho - R')$ ,  $N_{C_2} = r_c \cdot \sin\beta$ ;  $R'$ ——修圆  $O_3$  的半径。

右齿廓与左齿廓对称于 Y 轴, 各交点可由相对应的点求出。再用坐标旋转公式 (3), 将基准齿形上交点逐一循环, 可求解组成整个齿轮各齿的齿廓交点坐标值。

### 1.4 命令约定

(1) 线切割加工方向：以点B为加工起点，定为顺时针方向加工，其旋转角度为“-”。

(2) 加工指令：当  $H=1$   $H=13$  时为“NR”， $H=5, H=7, H=9$  为“SR”， $H=3, H=11$  为“L”，将这些命令分别送入其子程序，以判别所在象限和计数方向。

(3) 补偿量EE的符号：钼丝在加工图形的外面如凸模，EE取“+”；钼丝在加工图形的里面如型腔和内齿轮，EE取“-”

## 2 框图及主要程序说明

据上述分析，编制程序框图6。框图中：

KP——系数  $K_p$ , KR——系数  $K_r$ , RI——修圆半径  $R^1 = 0.03-0.05mm$ 。

所编微机语言程序的主要部分：求基准齿形的齿形线交点坐标和整个齿轮齿廓的交点坐标程序，采用双重循环语句，圆弧指令与直线指令的程序编程方法相同，均采用条件语句(IF-THEN)。(程序略)。

## 3 应用实例

已知摆线齿轮模数  $M = 0.5mm$ ，齿数  $Z = 36$ ，齿形系数  $K_p = 2.0, K_r = 0.15$ ， $\alpha_n = K_{n,r} = 1.57$ ，齿顶修圆半径  $R^1 =$

$0.03-0.04mm$ 取  $R^1 = 0.04mm$ ，钼丝直径  $\phi = 0.12mm$ ，放电间隙  $\delta = 0.01mm$ ，补偿量  $EE = 0.07mm$ ；取“+”号。将计算机程序调入内存，键入 RUN。计算机执行，同时显示器显示

FILE NAME? (键入文件名例：U30-27)

通过打印机打印出

FILE NAME—U30-27

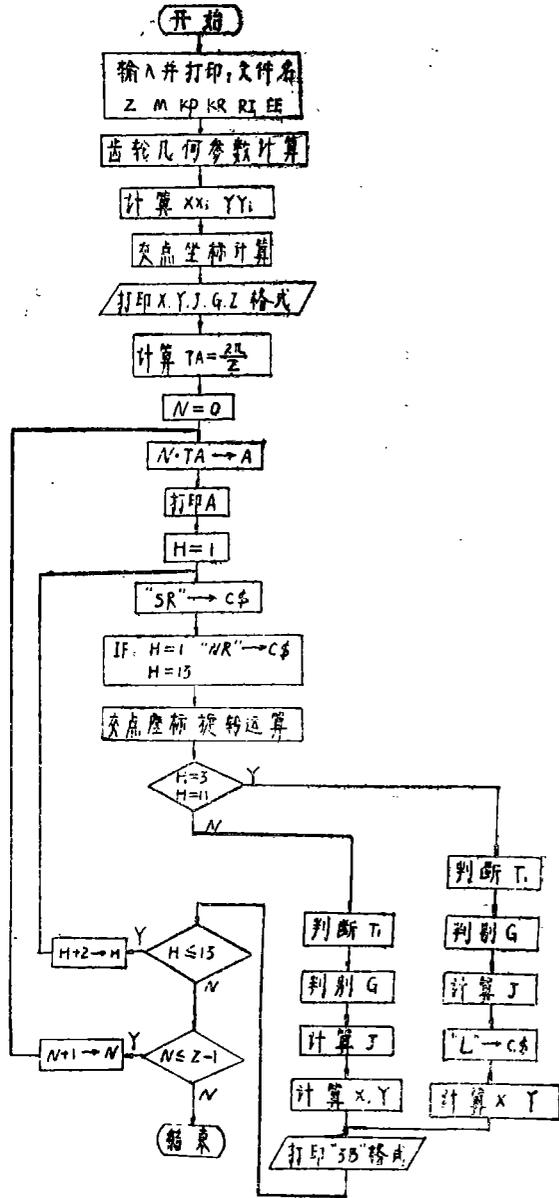


图6 程序框图

Z = 36

M = 0.4

KR = 0.15

KP = 2.0

RI = 0.04

EE = +0.07

X	Y	J	G	Z
B579	B6617	B006617	Y	L <sub>2</sub>
A = 0 DEG				
B19	B222	B000232	Y	NR <sub>4</sub>
B11	B236	B000236	Y	L <sub>2</sub>
B869	B39	B000318	X	SR <sub>3</sub>
B70	B85	B000140	X	SR <sub>2</sub>
B553	B672	B000710	Y	SR <sub>1</sub>
B11	B236	B000236	Y	L <sub>3</sub>
B223	B10	B000204	X	NR <sub>2</sub>

A = -10 DEG

B19	B222	B000195	Y	NR <sub>3</sub>
B31	B234	B000234	Y	L <sub>1</sub>
B863	B113	B000435	X	SR <sub>2</sub>
B54	B96	B000053	Y	SR <sub>2</sub>
B661	B565	B000755	Y	SR <sub>1</sub>
B51	B231	B000231	Y	L <sub>3</sub>
B218	B48	B000171	X	NR <sub>2</sub>

A = -20 DEG

B58	B215	B000164	Y	NR <sub>3</sub>
B71	B225	B000225	Y	L <sub>1</sub>
B830	B261	B000540	X	SR <sub>2</sub>
B37	B104	B000060	Y	SR <sub>2</sub>
B749	B442	B000770	Y	SR <sub>1</sub>
B91	B218	B000218	Y	L <sub>3</sub>
B206	B86	B000146	X	NR <sub>2</sub>

A = -30 DEG

⋮

A = -350 DEG

B58	B215	B000264	Y	NR <sub>4</sub>
-----	------	---------	---	-----------------

B51	B231	B000231	Y	L <sub>2</sub>
B849	B189	B000755	Y	SR <sub>3</sub>
B84	B71	B000138	X	SR <sub>2</sub>
B428	B757	B000645	Y	SR <sub>1</sub>
B31	B234	B000234	Y	L <sub>1</sub>
B221	B29	B000241	X	NR <sub>3</sub>

#### 4 结 论

1) 文中所编摆线齿轮的线切割程序, 已经输入线切割机加工试用, 並加工出了钟表齿轮的型腔模。不同参数的齿轮, 可通过计算机的编辑, 迅速获得加工程序, 深受线切割加工用户的欢迎。

2) 微机编程速度快, 精度高, 计算模式与实际齿形相附, 没有理论误差。其计算精度在微米级以下, 完全满足数控线切割加工的要求。

3) 用微机编程, 是当今发展的方向, 是线切割加工领域的重要课题, 通过对齿轮程序的开发, 获得了一些用微机编程的方法, 也曾编制出WJP系列无刷发电机外定子冲片及其它形状零件的加工程序。探索新的编程方法, 是充分发挥数控线切割机能力, 进一步发展线切割工艺的重要方面。

#### 参 考 文 献

- [1] 王文义等编, 仪表齿轮, 机械工业出版社, (1982)。  
 [2] 齐从谦, 袖珍计算机应用——数控线切割编程讲座(二), 电加工, 5(1986)。

## Application of IBM-PC Microcomputer to the Design of a Machining Program for the NC WEDM Machine Tool

Li Yanzun

(Department of Precision Mechanical Engineering)

**Abstract** With the clock cycloid gears as exemplary element, this paper applies an IBM-PC microcomputer to design a "3B" pattern wire cutting program for the NC WEDM machine tool. The dees description centres on the method and regular pattern of microcomputer programming.

**Key words** cycloid gears, wire cutting, microcomputer programming