

# 平面轮廓加工刀轨生成算法研究\*

毛志江<sup>1</sup>, 葛友华<sup>2</sup>

(1. 江苏常熟电大 江苏 常熟 215500 2. 盐城工学院 机械工程系 江苏 盐城 224003)

**摘 要** 对生成轮廓加工的刀具轨迹算法进行研究。通过计算环的最大坐标值点处相邻两条边的切矢的叉积来判断环的方向。研究待加工轮廓的检取,落刀点位置的确定,进退刀方式的实现,最终生成平面轮廓加工的刀轨。

**关键词** 轮廓加工;环;环方向;等距环;刀轨

中图分类号:TH161.6

文献标识码:A

文章编号:1671-532X(2002)01-0041-03

平面型腔数控加工按其不同的走刀方式,可分为环切加工、行切加工和轮廓加工。其中轮廓加工包括外轮廓和内轮廓,封闭轮廓和不封闭轮廓的粗加工和精加工。本文对生成轮廓加工的刀具轨迹算法进行研究。

## 1 待加工轮廓的检取及环的生成

以线框形式所定义的加工零件的几何模型,各个线段之间不构成拓扑关系。而在数控加工编程时,则需要将这些首尾相接的线段组成一个整体的环,然后对这些环进行操作,生成最终所需的加工刀具轨迹。

当点取待加工轮廓的任一边时,利用过滤器将与所选择边相连的所有边加入链表中。在检取轮廓后生成的链表中,要将其中的自由曲线按所要求的精度进行离散,根据需要采用直线或圆弧拟合,使得链表中的边只存在直线和圆弧两种形式。

在链表中,任取一条边作为首边,对链表各边进行操作,组成环。如图 1 所示,设首边为  $E_1$ ,其起点为  $SP$ ,终点为  $EP$ ,将该边加入新链表  $LIST_1$  中。遍历链表中所有边,寻找其端点与  $EP$  相同的边  $E_j$ ,其起点  $SP_j$ ,终点为  $EP_j$ 。若  $EP$  与  $E_j$  起点  $SP_j$  相等,则将  $E_j$  加入链表  $LIST_1$  中,如图 1 (b) 所示,否则如图 1 (a) 所示,以  $EP_j$  为起点, $SP_j$  为终点生成一新边  $E_i$ ,加入链表  $LIST_1$  中。将  $E_i$

的终点  $SP_j$  值赋给  $EP$ 。这个过程直到链表中的其中一条边的端点与  $SP$  相等为止。则在  $LIST_1$  中生成一组首尾相连的封闭环。

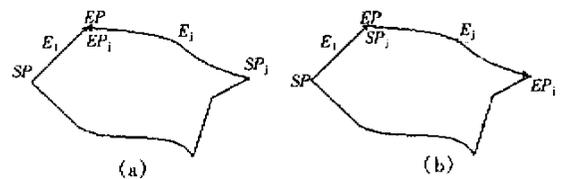


图 1 环的生成

Fig.1 Loop generation

## 2 环的方向确定

首先整理环中的各边方向,使得每一边的终点与另一条边的起点相连,然后遍历各边,比较各边端点  $X$  坐标值的大小,以此确定环中  $X$  坐标值最大的端点  $P_{max}$ 。同时得到与  $P_{max}$  点相连接的两条边,设以  $P_{max}$  为起点的一条边为  $E_1$ ,以  $P_{max}$  为终点的另一边为  $E_2$ ,在  $P_{max}$ 、 $E_1$ 、 $E_2$  的选择上,会出现存在多个  $P_{max}$  点的情况(即  $X$  坐标相同而  $Y$  坐标不同的点),进而产生多个边。此时,按如下原则来确定  $P_{max}$  点及与其相连的两条边:即要求与该点相连的两条边不共线。

如图 2 所示,设在  $P_{max}$  点处  $E_1$  的起点切矢和  $E_2$  的终点切矢分别为  $V_1$ 、 $V_2$ ,通过计算  $V_1$ 、 $V_2$  的叉积来判定整个环的方向:

(1)  $V$  的  $Z$  向分量大于零,则确定环的方向

\* 收稿日期 2001-11-04

作者简介:毛志江(1963-),男,江苏常熟市人,江苏常熟广播电视大学机电系讲师。

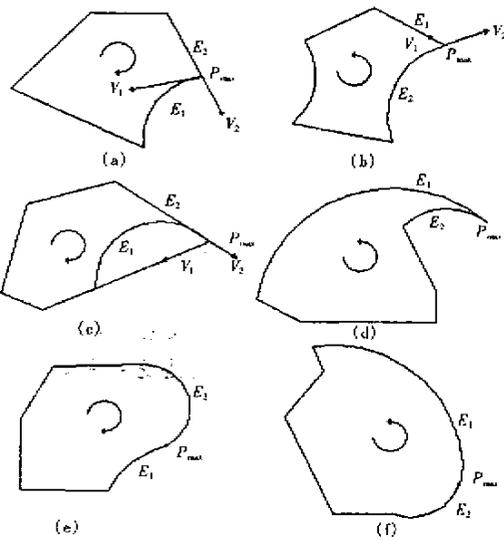


图 2 环的方向判定

Fig.2 Determination of loop direction

为顺时针方向,如图 2(a)所示。

(2)  $V$  的  $Z$  向分量小于零,则确定环的方向为逆时针方向,如图 2(b)所示。

(3) 对于  $V$  的  $Z$  向分量等于零,则需进一步判定:

① 当  $E_1, E_2$  中一条为直线,另一条为圆弧时,连接圆弧段的起点  $S$  和终点  $E$ ,则由  $V_1, V_2$  的叉积确定,方法同上,如图 2(c)所示。

② 当  $E_1, E_2$  互为反向圆弧时,以曲率较小的圆弧方向为环的方向。如图 2(d)所示。

③ 若环的包围盒的左上角点  $X$  值大于  $P_{max}$  点  $X$  值,则最右段圆弧的方向为环的方向。如图 2(e)所示。

④ 当  $E_1, E_2$  互为同向圆弧时,则圆弧的方向为环的方向。如图 2(f)所示。

### 3 等距环的生成

环等距算法是二轴数控加工中的基础算法。环等距中的关键之一是等距以后如果产生自交时,对无效环的处理。在进行环的等距过程中,本文参考文献 4 所用的等距算法。

### 4 确定等距环上对应的落刀点位置

在对落刀点位置精度要求比较高时,通常采用键盘输入坐标值方式。当对落刀点位置精度不是很高时,常通过交互方式在待加工的轮廓上点取落刀点。但点取的点  $PS$  一般不在轮廓线上,往往会在轮廓线附近的一个位置,这时需要对

该点进行处理,在轮廓线上确定一个该点位置最近的点,设定为落刀点  $P_d$  的位置。

在生成的等距环上要确定相应的落刀点位置,可通过如下方式确定,如图 3 所示:

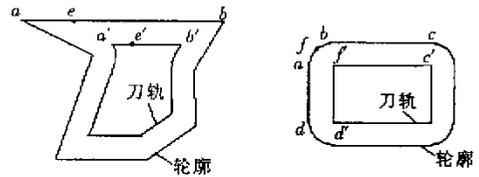


图 3 落刀点在等距环上的位置确定

Fig.3 Determination of plunge points on offset loop

(1) 对原始边  $ab$  进行参数化处理,并将参数归一到  $0 \sim 1$  区间,确定落刀点  $e$  的参数值  $PV$ 。同样对等距边  $a'b'$  在  $0 \sim 1$  区间进行参数化处理,在  $a'b'$  上确定落刀点  $e'$  具有相同参数特征的点  $e'$ ,则  $e'$  为等距环上对应的落刀点位置。如图 3(a)所示。

(2) 当一条边经等距后退化为为一点时,如图 3(b)所示,在等距环中已经找不到  $ab$  对应的等距边。找到  $ab$  边所相邻的两条边  $ad$  和  $bc$  以及它们对应的等距边  $d'f'$  和  $f'c'$ ,如果确认两条边交于一点  $f'$ ,则认为落刀点  $f'$  在等距环上所对应的位置是  $f'$ 。

### 5 刀具切入(退出)方式

根据轮廓外形的不同以及落刀点位置和要求,刀具切入(退出)分:1/2 圆弧方式、1/4 圆弧方式、直线方式等。下面介绍圆弧切入方式的实现。

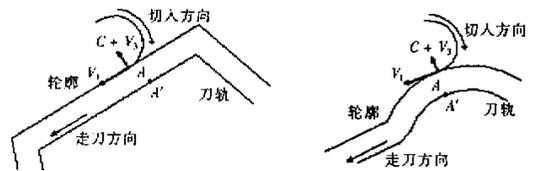


图 4 圆弧切入方式

Fig.4 Arc entrance manner

如图 4 所示设所选择的落刀点为  $A$ ,对应于等距后的位置为  $A'$ ,所在直线边的方向为  $V_1$ ( $V_1$  单位矢量), $V_3$  为由点  $A$  指向圆心  $C$  的单位矢量。切入圆的半径为  $R$ ,切入圆的方向为: $V_{ARC} = V_1 \times V_3$ 。根据切入圆的方向,可以确定切入圆圆心位置为: $C_X = R |V_{3X} / V_3| + A'X, C_Y = R |V_{3Y} / V_3| + A'Y$ 。

切入圆的起点位置：

(1) 对于 1/2 圆弧切入： $S_X = 2R |V_{3X}/V_3| + A'X$  ,  $S_Y = 2R |V_{3Y}/V_3| + A'Y$ 。

(2) 对于 1/4 圆弧切入： $S_X = C_X - RV_{1X}$  ,  $S_Y = C_Y - RV_{1Y}$ 。

(3) 对于切线切入：设  $L$  为切线线段长度， $S_X = A'X - LV_{1X}$  ,  $S_Y = A'Y - LV_{1Y}$ 。

对于刀具的退出方式，实现方法基本和切入方式相同。

### 6 平面轮廓加工刀轨的生成

建立一个刀具轨迹的链表 LIST，对于加工封闭轮廓，将等距环在落刀点  $P$  处打断生成两条边  $AE$ 、 $AS$ ，如图 5(a) 所示。将  $AS$  加入刀轨链表。对于加工不封闭轮廓，将起点  $P_1$  和终点  $P_2$  打断，分别生成两边  $E_1, AS$  和  $AE, E_2$ 。如图 5(b) 所示。遍历等距环的所有边，将其中起点与  $AS$  的终点  $AS_E$  相同的边加到 LIST 中，同时将该边的终点值赋予  $AS_E$ 。重复上述过程，直到在等距环中找到终点与  $AE$  的起点值  $AE_S$  相等的边为止。将  $AE$  边加到链表 LIST 中，在链表 LIST 中分别加入切入和退出的刀具轨迹，则生成最终所需要的刀具轨迹。

图 6 所示为按照上述算法得到的平面型腔轮廓

廓加工刀位轨迹实例。

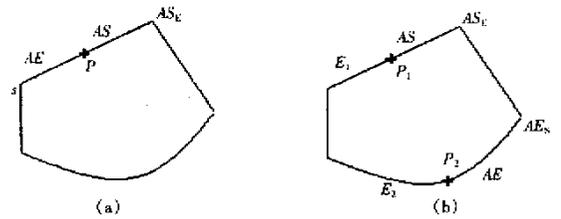


图 5 刀轨的连接

Fig.5 Linking of tool path

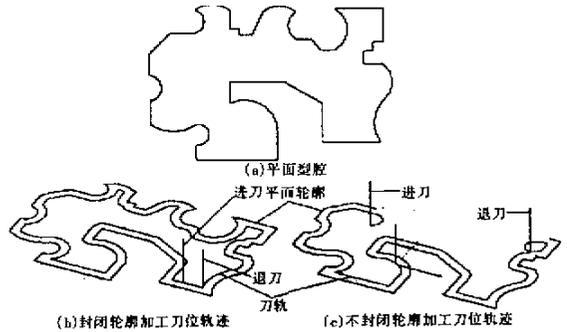


图 6 平面型腔轮廓加工实例

Fig.6 Manufacturing case of planar pocket profile

### 7 结论

本文研究了轮廓加工刀具轨迹生成算法。首先生成加工轮廓环及其等距环，解决了原始环与等距环落刀点对应、刀具的切入退出等问题。本文提出的算法适于封闭环和不封闭轮廓的加工刀轨生成。

### 参考文献：

[1] 唐荣锡. CAD/CAM 技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1994.  
[2] 葛玉琛, 李建中. 计算机辅助设计原理及应用[M]. 天津: 天津科技翻译出版公司, 1997.  
[3] 王涛, 孔永明, 马泽恩. 二维复杂轮廓的无干涉刀位计算[J]. 航空工艺技术, 1998(6): 9-16.  
[4] 谢叻, 周儒荣. 轮廓环方向的判定[J]. 计算机应用与研究, 1998, 14(4): 15-16.  
[5] 谢叻, 周儒荣, 周来水. 二维轮廓加工刀具轨迹生成的一种新方法[J]. 机械设计与研究, 1998(4): 23.

## Research on the Algorithm of the Planar Contour Milling Tool Path Generation

MAO Zhi-jiang<sup>1</sup>, GE You-hua<sup>2</sup>

(1. Changshu Radio & TV University, Jiangsu Changshu 215500, China; 2. Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, China)

**Abstract:** In this paper an algorithm is studied for the generation of the planar contour milling tool path. The loop direction is judged through the vector product of the adjacent two edges on the vertex with maximum coordinate value. The pick-up of the contour to be machined, the determination of the plunge position, and the implementation of tool entry and retract are researched. Finally, the tool path of planar contour milling is generated.  
**Keywords:** contour milling; loop; loop direction; tool path