

①

一种锥度线切割机的控制新算法

95-98

A New Control Way of Taper WEDM

TG 484

段黎明
Duan Liming

刘飞^W
Liu Fei

林其富[✓]
Lin Qifu

(重庆大学机械工程一系, 重庆, 630044) (西南航天职工大学)

A 摘要 在简要分析锥度切割机的原理和常见的算法基础上, 提出了一种锥度线切割机控制算法。该算法用了两套插补公式和一个跟随判别式 F , 从而实现了锥度线切割控制。

关键词 电火花线切割; 锥度加工; 数控 控制系统, 算法, 切割机,
中国图书资料分类法分类号 TP271.273

ABSTRACT On the basis of analysing the principle and usual control way of taper WEDM, a new control way of taper with two interpolating systems and a following discriminant, is presented. The result of application shows that this control way is practical.

KEYWORDS electric spark wire-electrode cutting; taper WEDM; NC

1 锥度线切割机原理

电火花锥度线切割机床在模具制造业中得到了广泛的使用。锥度线切割机床从结构上来分, 有摆动式, 单臂移动式, 双臂移动式 and 单臂局部移动式。

这里以单臂移动式来简要分析其切割锥度的原理。我们知道, 切割工件的钼丝是固定在床身的线架上, 由两导轮来支承着。步进电机带动工作台上的工件作 X, Y 方向的移动, 形成了工件和钼丝的相对运动, 从而实现了工件的切割。在有锥度切割功能的线切割机床上, 有两块可水平方向作相互垂直运动的拖板, 由它来带动钼丝的上端, 先使钼丝倾斜一定角度, 然后使上端相对线 EF 走一个圆(简称为线架走圆)。图1为示意图。在空间形成了以钼丝轨迹为母线的圆锥。如果整个线架同时又相对于工件走圆(实际为拖板走圆), 并且这两个走圆运动是同步的, 则迭加出一个圆锥体。如图2示。

如图3, 当线架相对于工件走圆的方向与线架上端走圆的方向一致时, 且相位差为 0 , 则切割出倒锥体(上大下小)。当线架相对于工件走圆的方向与线架上端走圆的方向一致, 且相位差为 180° 时, 则切割出正锥体(上小下大)。图3表示了线架相对工件走圆从第二象限开始时的情况。

对于由光滑连接的线圆类带锥度的图形加工, 其斜度方向变化只发生在圆弧段, 而在线段部分线架不必移动。因此, 仅需研究圆弧段的锥度加工即可。对非光滑图形, 可通过加适

* 收文日期 1994-11-30

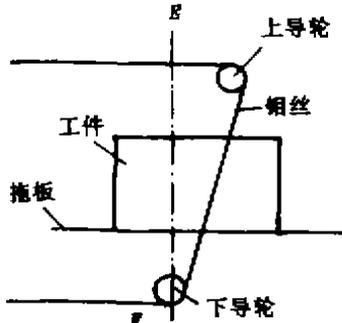


图 1 线架走圆示意图

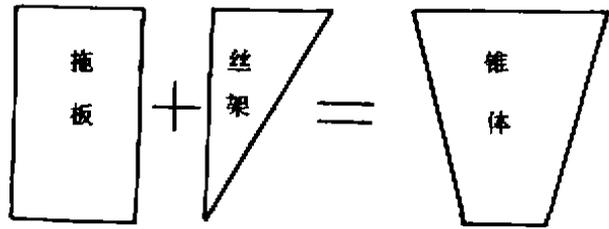


图 2 以钼丝轨迹为母线的圆锥

当半径的过渡圆修饰。

锥度线切割机控制算法中,从前曾采用比例法^[4],但这方法控制精度较差,现在基本上无人采用。[3]中提出了一种算法,此算法计算量较大,每走一步,都要计算乘法,降低了系统的实时性,而且只采用了一套逐点比较法来插补拖板或线架的进给。[1,2]中以拖动轴的安排来讨论了锥度加工的控制方法,但没给出具体的算法。[5]中提出了一种双CPU插补控制的三轴联动控制系统。锥度控制算法是锥度线切割机控制系统的关键技术之一,因此,有关这类的算法很少见于文章。

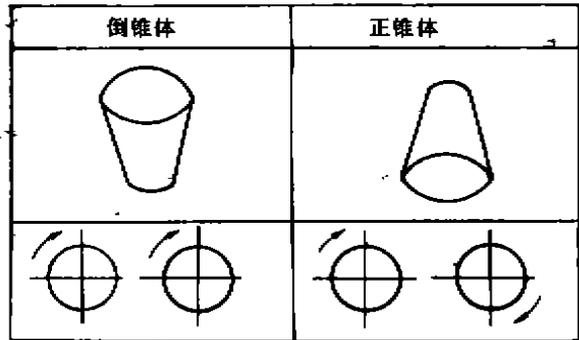


图 3 线架相对工件的运动情况

笔者根据角度跟随原理,提出了一种锥度控制算法。该算法用二套逐点比较法对线架和拖板分别进行插补,再用一个跟随判别式来判断当前是应插补线架还是拖板,从而实现四轴联动。

2 一种角度跟随控制算法

线架相对于工件走圆(实际为拖板走圆),可以想像为某一质点 m_1 沿半径 R_1 的圆作圆周运动,线架上端走圆,可以想像为某一质点 m_2 沿半径为 R_2 的圆作圆周运动,如图 4 所示。为了切割锥度, m_1 、 m_2 的走圆运动必须同步。若 m_1 和 m_2 的运动起点都在各自的纵坐标轴上,即认为角 α 和角 β 在 m_1 、 m_2 运动过程中须保持相等。

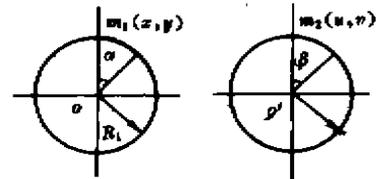


图 4 线架上端运动规律

要保持角 α 和角 β 相等,就要比较它们的大小,如果 $\alpha > \beta$,就要控制 m_2 沿圆周进一步,从而跟上较大的角。反之,就要控制 m_1 沿圆周进一步。这样,不断地比较两角的大小,根据比较的结果,控制 m_1 或 m_2 进一步,从而使 α 和 β 能相互跟随。

实际计算中,如果计算角度,那是很复杂的,因此,必须避免。笔者采取了与[3]中不同的方法。假设 m_1 和 m_2 均在第一象限内顺时针运动。

$$\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\alpha = \frac{u}{v} - \frac{x}{y} = \frac{uy - xv}{vy}$$

在 3B 或 4B 格式中, x, y, u, v 均取以圆心为坐标原点的绝对值。因此, vy 为正值。令:

$$F = uy - xv \tag{1}$$

称 F 为跟随判别式。

显然, 若 $F \geq 0$, 则 $\beta \geq \alpha$, 应控制 m_1 走一步。若 $F < 0$, 则 $\beta < \alpha$, 应控制 m_2 走一步。

在线切割机中, 如果最大的加工长度为 1 m, 而输入的数据均是以 μm 为单位, 那么 x, y, u, v 分别占用三个字节。如果每走一步都要计算三个字节的乘法, 很费机时, 降低了系统的实时性。因此, 有必要简化 F 的计算。

若 x 进一步, $x_{i+1} = x_i + 1$, 由(1)式得: $F_{i+1} = u_i y_i - (x_i + 1)v_i = F_i - v_i$

若 y 进一步, $y_{i+1} = y_i - 1$, 由(1)式得: $F_{i+1} = u_i (y_i - 1) - v_i x_i = F_i - u_i$

若 u 进一步, $u_{i+1} = u_i + 1$, 由(1)式得: $F_{i+1} = (u_i + 1)y_i - v_i x_i = F_i + y_i$

若 v 进一步, $v_{i+1} = v_i - 1$, 由(1)式得: $F_{i+1} = u_i y_i - (v_i - 1)x_i = F_i + x_i$

根据同样的方法可推导出在 $SR3, NR1, NRA, NR1, NR2, SR2, SR4$ 中的跟随判别式。这样, 跟随判别式 F 的递推式如下表。

跟随下的递推式

种 类	跟随判别式 F	进给	递推 F
$SR1, SR3$	$uy - xv$	U	$F_{i+1} = F_i + x_i$
$NR2, NRA$		V	$F_{i+1} = F_i + y_i$
$NR1, NR3$	$xv - uy$	x	$F_{i+1} = F_i - v_i$
$SR2, SR4$		y	$F_{i+1} = F_i - u_i$

可见, 用该方法求 F , 只需进行简单的加减运算, 使计算量降低到最小。

根据跟随判别式 F 的正、负号, 就可判断下一步是走拖板还是走线架。当走拖板时, 根据拖板自身的圆弧插补偏差值的符号可判断是进给 x 或 y 。当走线架时, 可根据线架自身的圆弧插补偏差值的符号来判是进给 u 或 v 。

笔者设计的锥度线切割控制算法正是利用了两套单坐标圆弧插补系统和角度跟随判别式 F , 从而实现了四轴联动, 切割出有锥度的工件。

3 控制精度的保证

设拖板走圆半径为 R_1 , 线架走圆半径为 R_2 , 如图 5。分两种情况讨论保证精度的措施。

1) 计数长计 $J = 0$ 时

如果 $R_1 \geq R_2$, 则在线架和拖板的进给中, 线架的走圆速度肯定快于拖板的走圆速度。当 $J = 0$, 拖板到达圆弧的终点时, 线架已先到达应该到达的终点。这种情况下, 线架的进给不会出现失步, 控制精度为 $1 \mu\text{m}$ 。

如果 $R_1 < R_2$, 拖板的走圆速度快于线架的走圆

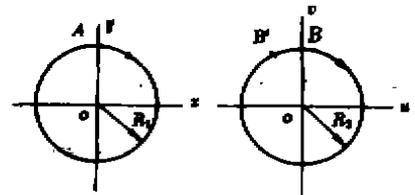


图 5 拖板和线架的走圆情况

速度, $J = 0$, 拖板到达终点, 此时 $F < 0$. 但线架并没有到达应该到达的终点. 如果同时结束拖板和线架的进给, 那么线架走圆肯定失步, 从而使控制精度变差.

以切割一圆台为例. 如图 5 所示. 拖板的起点为 A , 线架的起点为 B , 第一象限顺时针切割. 当拖板到达终点 A 时, 线架此时并没有到达终点 B , 而是 B' . 这种情况下, 尽管计数长度 $J = 0$, 但应继续进给线架, 使其到达终点 B , 继续进给线架的情况下, 计数长度 $J = 0$, 用什么标志来判断线架已到达终点 B 呢? 从角度跟随的原理和 F 的定义可知, 到达终点 B 时, 两圆已完全同步, 角度已完全跟随, 即图 4 中的 $\alpha = \beta$. 此时 $F \geq 0$. 因此, 当 $F \geq 0$ 时, 可以判断结束线架进给, 其判断框图如图 6 示.

2) 自动过象限时

在我们设计的控制系统中, 圆弧的自动过象限是通过软件判断来实现的. 过象限时, x 或 y 必有一个为零. 自动过象限给编排数据带来了方便. 对于一圆弧, 无需考虑象限问题, 只要给出起点坐标、加工长度和起始象限. 过象限时, 软件自动转换.

在锥度控制系统中, 使用了两套插补系统, 究竟是以线架进给到达坐标轴还是以拖板进给到达坐标轴作为转换象限的标志? 下面分析这个问题.

图 5 中, 如果 $R_1 \geq R_2$, 由前面的分析知, 拖板晚于线架到达坐标轴. 因此, 当拖板到达坐标轴上时, 就可以转换象限了.

如果 $R_1 < R_2$, 拖板早于线架到达坐标轴. 因此, 只有当线架到达坐标轴上时, 才可转换象限.

4 结 论

提出的锥度控制算法, 首先经过了计算机的大量仿真分析, 证明了该算法的正确性. 在 1991 年, 已将该算法成功地应用到我们研制的锥度线切割机控制系统中. 该控制系统在万山特种车辆厂, 西南航天职大校办厂经过了近 4 年的运行, 也证明了该算法的正确性.

参 考 文 献

- 1 Kruth J P, Snoeys R, Lauwers B. A Generalized Post-processor and Process-planner for Five Axes Wire EDM-Machines. *annals of the CIRP*, vol. 37/1/1988, 203~208
- 2 周坚. 线切割锥度切割的拖动轴分析. *电加工*, 1991, (3), 6~8
- 3 周大农. 斜度线切割结构、控制原理和方式的讨论. *电加工*, 1989, (1), 19~24
- 4 上海照相机厂. 数字程序控制锥度, 补偿线切割机. *电加工*, 1978, (3), 14~18
- 5 周正干. 高速走丝线切割三轴联动加工多锥复杂直纹面的研究. *电加工*, 1994, (4), 26~27
- 6 连克仁. CIMT'93 国内外参展电加工机床评述. *电加工*, 1994, (1), 5~16

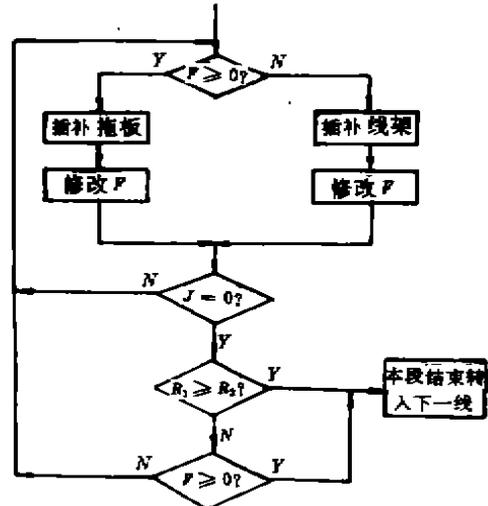


图 6 判断 F 的框图