

橡胶压辊轮凸度加工插补算法研究

杨光友, 苏旭武, 张道德, 周国柱

(湖北工业大学 机械工程学院, 湖北 武汉 430068)

摘要:提出在普通车床上采用连续纵向和数控横向轴协调运动的方法实现压辊轮凸度加工的插补算法。介绍凸度加工插补原理及公式推导, 并给出了算法的程序流程。此插补算法要求轴长与凸度之比大于 5, 算法的插补精度小于一个最小移动单位。

关键词:橡胶压辊轮; 凸度; 插补算法

中图分类号: TQ336.4+1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-890X(2004)11-0685-03

在各种使用橡胶压辊轮的机械设备, 如包装印刷机械中, 为了保证均匀的接触压力, 压辊轮轴通常设计为具有一定凸度的轴, 一般可用一个大直径的圆弧替代。压辊轮的特点是轴长而凸度较小, 即轴长与凸度之比较大, 因此其加工必须使用大型的数控加工机床, 设备投资较大。由于凸度是由大直径的圆弧得到, 采用普通车床数控改造是一个可行方案。在车床的数控改造中, 如果将纵横两个坐标轴都进行改造, 由于纵向较长, 改造投资和工作量都较大。另一种方案则是在原有普通车床的刀架上增加一个横向的单坐标数控进给装置。由于只是在原基础上增加装置, 且凸度行程较小, 因此改造工作量和设备投资都较小, 但必须实现普通机床连续纵向和数控横向轴协调运动。本工作探讨了这一方案的原理和方法。

1 凸度加工插补原理

在普通机床的纵向进给与数控的横向进给的压辊轮凸度加工过程中, 由于纵向进给是原有的电机齿轮丝杠机构, 因此进给的分辨率可以看作一个模拟量。为讨论方便, 假设数控横向轴采用步进电机驱动。根据纵向的进给速率可以适当地选择步进电机的速率和脉冲当量。由于纵向电机是连续不间断运行, 因此要在这样的条件下实现圆弧的插补运动, 不能直接采用现有的两轴联动

插补算法, 而必须根据实际情况建立新的插补算法。为分析简便, 假设纵向一个单位时间的进给量为 1, 横向步进电机的脉冲当量也为 1。由于纵向连续运动, 在每时刻都有输出, 因此刀尖的插补轨迹只有水平直线及与坐标轴成 45° (135°) 的斜线, 如图 1 所示。

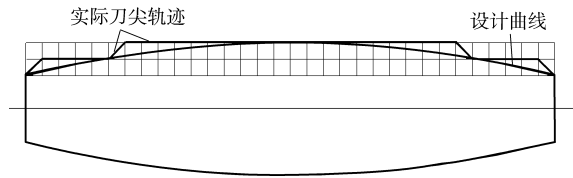


图 1 压辊轮轴设计曲线及插补轨迹示意

1.1 插补算法

压辊轮的凸度与轴的长度之比较大, 长轴中使用的圆弧段在圆弧的第 2、第 3 卦限。为不失一般性, 下面以第 2 卦限为例推导插补公式。

如图 2 所示, 设 $\widehat{AB}$ 为要加工的圆弧, 加工起始点在圆弧的端点 A, 刀具逆时针运动, 终点为圆弧的端点 B。由于纵向 Y 方向的运动为连续运动, 横向 X 方向的运动为步进电机数控, 因此刀具合成运动的方向只能是 Y 方向或与 Y 轴正向成 45° (135°) 的运动方向, 而此插补算法要控制的也就是横向进给的运动。

如果当前刀尖点在圆外 (图 2 中 P_0 点), 为减小加工误差, 刀具的进给方向应为 Y 轴的负方向, 即此时横向没有进给; 如果当前刀尖点在圆内或圆上 (图 2 中 P_1 点), 为减小加工误差, 刀具的进给方向为与 Y 轴正向成 135° 的运动方向, 即此

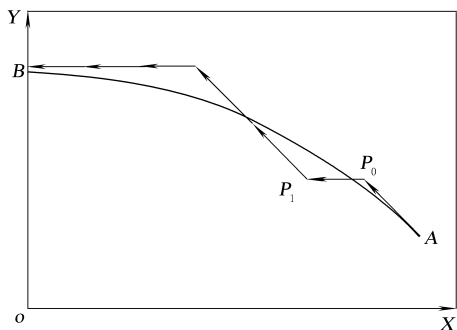


图2 插补原理推导示意

时横向也有进给,是两方向合成运动的轨迹。

设当前刀尖点的坐标为 $P(x, y)$, 定义偏差 F 为:

$$F = x^2 + y^2 - R^2 \quad (1)$$

式中, R 为圆弧半径。当点 P 在圆外时, $F > 0$, 此时的进给方向为 $-Y$ 方向, X 方向无进给; 当点 P 在圆内或圆上时, $F \leq 0$, 此时的进给方向与 Y 轴成 135° , 即除连续的 Y 方向的运动外, 还有 X 轴方向的横向进给。

因此, 可以将 F 值作为进给方向的判别依据, 通过式(1)确定是否有 X 轴横向的进给, 控制电机运动。

1.2 插补程序设计

式(1)即可用于编写横向数控轴电机的控制程序, 由于式(1)中有乘方运算, 使控制程序设计比较复杂, 需要进行以下简化。

当 $F > 0$ 时, 根据上述插补算法, 其新的坐标点坐标为:

$$x' = x - 1, y' = y \quad (2)$$

在新坐标点时的偏差如下:

$$\begin{aligned} F_{N+1} &= (x-1)^2 + y^2 - R^2 = \\ &= x^2 + y^2 - R^2 - 2x + 1 = \\ &= F_N - 2x + 1 \end{aligned} \quad (3)$$

式中, F_{N+1} 和 F_N 分别为刀尖在当前坐标点和上一坐标点时的偏差。

当 $F \leq 0$, 则新的坐标点坐标为:

$$x'' = x - 1, y'' = y + 1 \quad (4)$$

在新坐标点时的偏差如下:

$$\begin{aligned} F_{N+1} &= (x-1)^2 + (y+1)^2 - R^2 = \\ &= x^2 + y^2 - R^2 - 2(x-y-1) = \\ &= F_N - 2(x-y-1) \end{aligned} \quad (5)$$

从上述推导可知, 当前点的偏差可由上一点的偏差求出, 计算公式为递推公式, 其中 $F_0 = 0$, 即起始点为圆弧端点。式(3)和(5)的递推公式使插补运算得以简化, 计算机编程也更加容易。插补程序的流程如图3所示, 其中 x_s 和 y_s 为圆弧起点的坐标, x_E 为圆弧终点坐标。

上述公式的推导是通过第2卦限推导得到的, 在第3卦限的公式仿照推导即可得到。

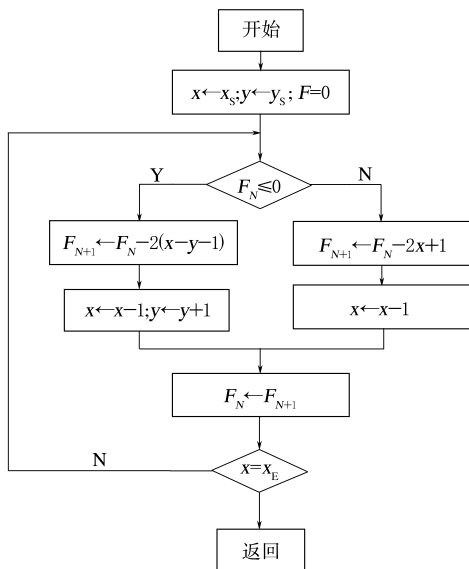


图3 插补程序流程

2 适用范围及误差分析

2.1 适用范围

上述插补算法是由第2卦限推导得到的, 下面需要确定满足条件的压辊轮的凸度与轴长之比。如图4所示, 假设圆弧的起点在第2卦限的分隔线上, 凸度 H 、轴长 L 与半径 R 之间满足下式:

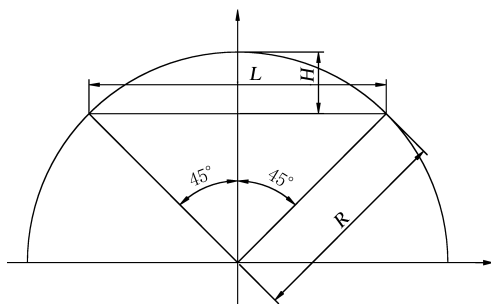


图4 中高与轴长之比关系示意

$$R - H = L/2 \quad (6)$$

$$R^2 + R^2 = L^2 \quad (7)$$

将两式联立求解得:

$$\frac{H}{L} = \frac{\sqrt{2}-1}{2} \approx 0.207 \quad (8)$$

由此可知,只要凸度与轴长度之比小于 0.2 (亦即轴长大于凸度的 5 倍),即可将上述插补算法用于具有凸度的压辊轮加工,在实际中这一条件是完全可以满足的,因此该算法对带有凸度长轴的加工具有广泛的适用性。

2.2 误差分析

由于圆弧位于第 2 卦限,其上任意一点切线与 Y 轴正向的夹角均大于 135° ,圆弧沿 Y 轴的负方向是严格单调递增的,而按照上述插补原理运动的刀尖轨迹也由单调递增的直线段组成,而且刀尖的轨迹只有两种直线,即与 Y 轴正向成 135° 的直线(以下简称斜线)和与 Y 轴成 180° 的平行直线(以下简称水平直线)。

第 2 卦限圆弧上点 $P(x,y)$ 的坐标满足:

$$y = \sqrt{R^2 - x^2} \quad (9)$$

对上式微分得:

$$dy = -\frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}} dx = -\tan \alpha dx$$

式中, α 为直线 OP 与 X 坐标轴的夹角,负号表示 y 变化方向与 x 相反,显然 $\alpha \leq 45^\circ$,因此有:

$$dy \leq dx \quad (10)$$

上式说明当 Y 轴方向变化 1 个单位时, X 方向的变化也不超过 1 个单位。

图 5 所示为插补误差的几种情形,为叙述方便将刀尖实际轨迹简称为轨迹,理论设计圆弧曲线简称为圆弧。

(1) 刀尖由圆弧上运动到圆弧外时,其轨迹为斜线,如图 5 中第①段。此时圆弧在斜线下,显然其误差不大于 1 个单位。

(2) 刀尖由圆弧内运动到圆弧外时,其轨迹为

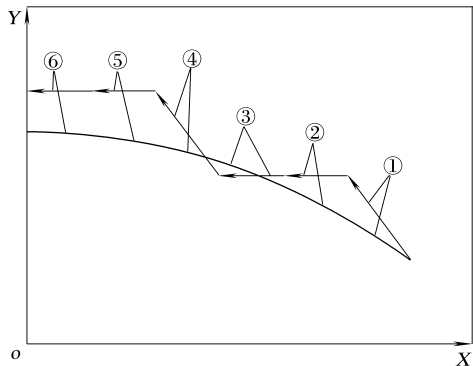


图 5 插补误差分析示意

斜线,如图 5 中第④段。由于圆弧在 Y 方向有一个增量时, X 方向的增量不大于 1 个单位,故此时斜线必穿过圆弧,其误差不大于 1 个单位。

(3) 当刀尖由圆弧外水平运动到圆弧内时,轨迹为水平直线,如图 5 中第③段。此时同情形(2),误差也不大于 1 个单位。

(4) 当刀尖水平运动接近圆弧但不相交时,如图 5 中第②、⑤和⑥段,此时圆弧完全位于轨迹下方,当半径趋于无穷时误差为 1 个单位。

3 结论

(1) 可以通过普通机床连续纵向和数控横向轴的协调运动实现具有凸度的压辊轮加工。

(2) 算法的插补精度小于一个最小移动单位。采用此插补算法时,要求轴长与凸度之比大于 5。

(3) 此算法可进一步推广到全象限的插补,在第 2,3,6 及 7 卦限 Y 轴连续运动, X 轴作数控。在第 1,4,5 及 8 卦限 X 轴连续运动, Y 轴作数控。对于在平面运动中有一维必须连续运动的情况本算法具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 张建钢,胡大泽. 数控技术[M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2002. 85-87.

收稿日期:2004-08-13

欢迎订阅 2005 年《橡胶工业》《轮胎工业》杂志