

等距线法在平面凸轮磨削中的应用

张新宁, 聂坤, 关振浩

陕西汉江机床有限公司 陕西汉中 723003

摘要: 主要介绍了凸轮升程数据处理为凸轮外缘曲线点的方法及凸轮磨削的原理, 分析了等距线的基本原理和计算过程, 以及数据的处理方法。特别介绍了凸轮大余量磨削时的多次分刀磨削工艺。总结出了推等距线对凸轮外缘曲线的影响, 强调利用等距线法时凸轮升程曲线数据点的重要性。

关键词: 数据校验; 多边形; 等距线; 凸轮; 磨削

1 序言

在加工凸轮时, 往往是用户提供凸轮的升程、回程数据, 以及每两个相邻点相对于凸轮中心的旋转角度、凸轮的基圆半径和滚子半径等数据, 根据这些数据来计算实际凸轮上的对应点坐标。一般情况下, 大多采用曲线拟合的方法来计算, 而且在曲线拟合的过程中, 可能会出现一些奇异点, 这就需要反复调整拟合参数, 进行大量重复计算, 并多次对拟合数据进行校核, 耗时多、工作效率低。为了解决这些问题, 采用了多边形等距线的计算方法, 大大提高了数据的计算效率。

2 凸轮模型构建

2.1 凸轮升程、回程数据和其他参数

凸轮的升程和回程数据基本上都是以文本数据文件的格式提供, 一般分为两个文本文件, 一个是升程, 另一个是回程。通过整合两个文件中的数据, 可形成一个完整的升程、回程数据曲线 (见图1)。

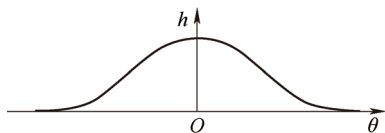


图1 凸轮的升程、回程数据曲线

其他参数包括: 基圆半径 $R=16\text{mm}$, 滚子半径 $r=9.525\text{mm}$, 相邻数据点角度 $\Delta C=1^\circ$ 。由于凸轮

升程数据中不包含凸轮的休止期, 所以要根据升程数据和凸轮参数情况, 补充凸轮休止期数据。

2.2 滚子中心及凸轮上点的坐标计算

本文主要分析研究对心直动滚子从动件盘形凸轮。图2为凸轮和滚子之间的运动结构, 滚子只作垂直往复运动, 凸轮绕基圆圆心作回转运动。为了研究方便, 将其看作凸轮和滚子之间的相对运动, 即凸轮静止不动, 而滚子绕凸轮的基圆圆心作旋转运动, 同时还沿凸轮法线方向作升程、回程运动。

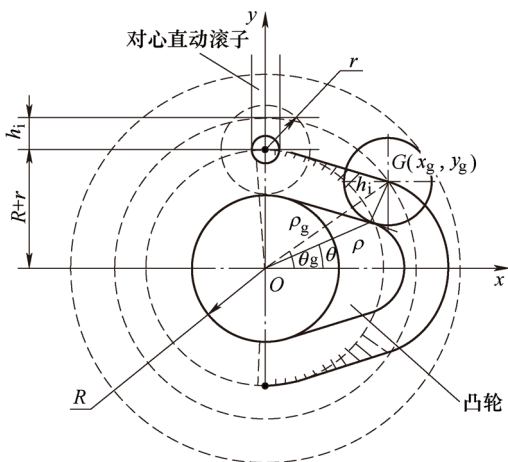


图2 凸轮和滚子之间的运动结构示意图

设凸轮某一点上的升程高度为 h_1 , 凸轮中心到滚子中心的距离为 ρ_g , 此时凸轮旋转过的角度为 θ_g (凸轮在最大升程点处 $\theta_g=0^\circ$), 滚子中心坐标为 $G(x_g, y_g)$, 则有

$$\begin{aligned}\rho_g &= R + r + h_i \\ x_g &= \rho_g \cos \theta_g \\ y_g &= \rho_g \sin \theta_g\end{aligned}$$

由凸轮的升程数据，通过计算可以得到与之相对应的滚子中心点坐标值。把相邻的滚子中心点连线，得到滚子移动的封闭曲线。再用滚子移动封闭曲线作对应的内推等距线，等距距离为 d ，得到凸轮的近似曲线，这就是凸轮参数计算、磨削的基本思想。

在图2中，设由推等距线计算得到的凸轮上点的坐标为 (x_1, y_1) ，那么凸轮上点的极径 ρ 和极角 θ 为

$$\begin{aligned}\rho &= (x_1^2 + y_1^2)^{1/2} \\ \theta &= \arctan (y_1/x_1)\end{aligned}$$

2.3 磨削时砂轮中心的计算

计算砂轮中心坐标和计算凸轮上实际点的坐标方法相同，区别在于需要作滚轮中心轨迹曲线的外推等距线，外推等距线的距离为 $D/2 - r$ ，其中 D 为砂轮的直径。

但在实际计算中采用作凸轮实际曲线的外推等距线的方法，而不采用滚子中心轨迹曲线的外推等距线。这是因为如果砂轮直径 D 小于滚子直径 $(D < 2r)$ ，外推等距线就变成了内推等距线，容易产生思维上的混乱。

2.4 凸轮磨削模型和磨削方法

凸轮磨削时并不是按照上述位置坐标来移动砂轮的，实际工况如图3所示。

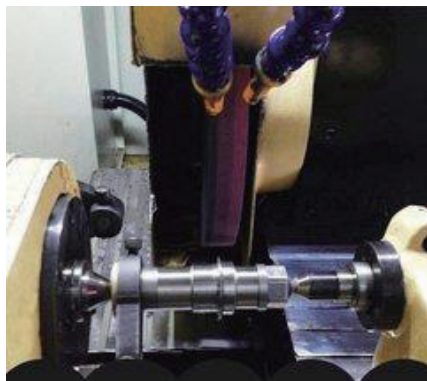


图3 凸轮磨削实际工况

凸轮磨削的工作原理如图4所示，凸轮轴在机床上进行旋转运动（数控机床上定义为 C 轴），砂轮架在机床上作前后往复运动（数控机床上定义为 X 轴）。因此，砂轮中心的坐标要换算到机床上的 X

轴的位置坐标。如果把凸轮中心处设为 $X=0$ ，砂轮接触凸轮最大点处的 C 轴角度为 0° 的话，编程就可以大大简化。

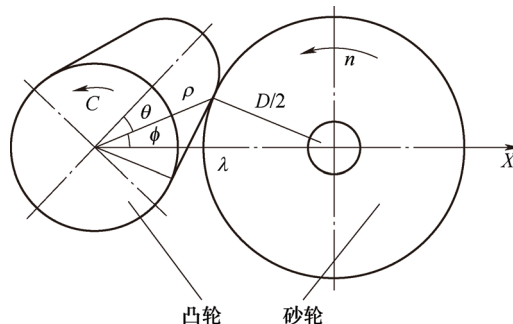


图4 凸轮磨削原理示意

设砂轮中心坐标为 (x_s, y_s) ，则砂轮中心到凸轮中心的距离 $\lambda = (x_s^2 + y_s^2)^{1/2}$ ，此时凸轮旋转过的角度为 $\theta + \phi$ 。由余弦定理可得

$$\phi = \arccos[\rho^2 + \lambda^2 - (D/2)^2 / (2\rho\lambda)]$$

数控系统中编程语句为：

G90 G01 X= λ C= $\theta + \phi$

一般情况下，凸轮磨削不是一次进刀完成的，需要多次进刀磨削，这取决于实际加工余量。假如需要两刀或者三刀来完成，就需要在计算砂轮中心坐标点的等距线时，对算法进行修正。如果改用每次磨削的进刀量来计算，则需要把当前进刀后剩余的磨削余量计算出来。设 δ 是本次磨削余量大小，则当前砂轮中心移动轨迹曲线就是凸轮曲线的外等距线，且等距距离为 $\delta + D/2$ 。

图5是凸轮多次进刀磨削的模拟效果示意，模拟机器为西门子828D s1数控系统。为使图片效果表现得更清晰，本例中每次进刀量设置较大，不代表实际磨削效果。

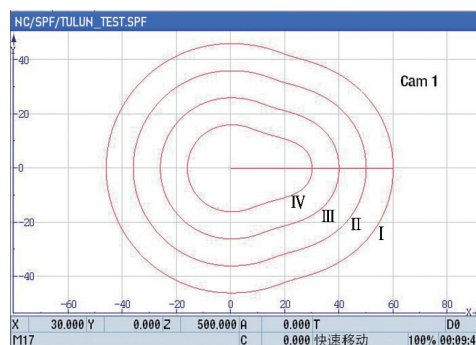


图5 凸轮多次进刀磨削模拟

在图5中，最外侧的等距线 I 是凸轮磨削之前的形状；II 是第一刀磨削后的凸轮形状；III 是第二刀

磨削后的凸轮形状；最内侧曲线IV是磨削完成（第三刀磨削）后的凸轮形状。

3 等距线的原理及计算

3.1 外推等距线

外推等距线一般分为两种情况：曲线上凹和曲线上凸，如图6所示。设有不在同一条直线上的三个点A、B、C，坐标分别为A (x_a, y_a)、B (x_b, y_b)、C (x_c, y_c)，且 $x_a > x_b > x_c$ 。连接BA和BC，作 $\angle ABC$ 的内角平分线BP，BP向量角为 α 。分别作AB、BC的平行线，平行线的方向取决于等距线的方向，并且使得平行线之间距离为 d 。AB、BC的平行线相交于点 B_1 ，需要计算的就是点 B_1 坐标值 (x, y)。

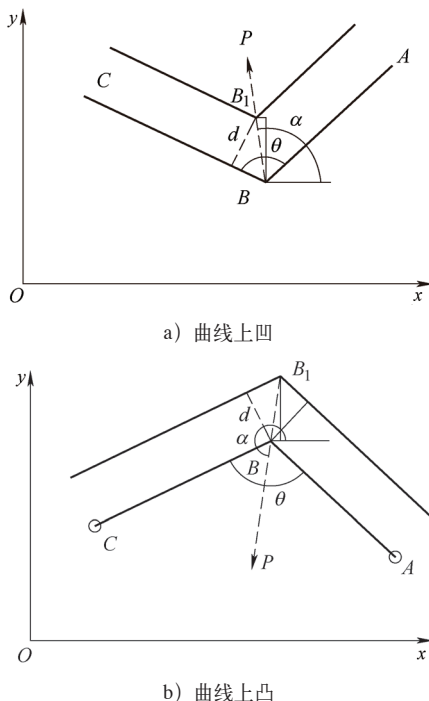


图6 外推等距线示意

对于上凹的情况

$$\begin{aligned} |BB_1| &= d/\sin(\theta/2) \\ x &= x_b - |BB_1| \sin(\alpha - \pi/2) = x_b + |BB_1| \cos\alpha \\ &= x_b + d/\sin(\theta/2) \cos\alpha \\ y &= y_b + |BB_1| \cos(\alpha - \pi/2) = y_b + |BB_1| \sin\alpha \\ &= y_b + d/\sin(\theta/2) \sin\alpha \end{aligned}$$

对于上凸的情况

$$\begin{aligned} x &= x_b + |BB_1| \cos(\alpha - \pi) = x_b - |BB_1| \cos\alpha \\ &= x_b - d/\sin(\theta/2) \cos\alpha \\ y &= y_b + |BB_1| \sin(\alpha - \pi) = y_b - |BB_1| \sin\alpha \\ &= y_b - d/\sin(\theta/2) \sin\alpha \end{aligned}$$

3.2 内推等距线

和外推等距线算法相似，计算可得内推等距线对应点的坐标。

对于上凹的情况

$$\begin{aligned} x &= x_b - d/\sin(\theta/2) \cos\alpha \\ y &= y_b - d/\sin(\theta/2) \sin\alpha \end{aligned}$$

对于上凸的情况

$$\begin{aligned} x &= x_b + d/\sin(\theta/2) \cos\alpha \\ y &= y_b + d/\sin(\theta/2) \sin\alpha \end{aligned}$$

3.3 封闭曲线的等距线

在计算封闭曲线的等距线时，第一个点对应的等距线位置需要第二个点和最后一个点坐标来计算，最后一点处的等距线位置需要倒数第二个点和第一个点坐标来计算。

由于凸轮的第一个点选取的是凸轮升程的最大点，所以第一个点的等距线位置计算就变得比较简单。设 $h_{\max}$ 为凸轮升程的最大值，则凸轮第一个点对应的 B_1 点坐标 $x = (R + r + h_{\max}) + d, y = 0$ 。

4 推等距线对实际凸轮坐标的影响

由于推等距线的前提条件是连续的坐标点连接起来的线段，不可避免的问题是磨削后的凸轮外缘是否光滑。如果凸轮升程曲线上采集的点数较少，就会明显造成凸轮外缘不平滑，使得磨削的凸轮报废或不合格；但当采集的点数足够多时，凸轮外缘平滑情况就会得到明显好转。

实际生产中，由于凸轮升程曲线上的点是由用户提供的，数量可能不够多，因此计算时需要添补一些点，使得应用点足够多。大多情况下，可以采用三次样条插值或者其他插值方法获得。

5 结束语

结合本文中的分析计算结果，可以用VB、VC或者其他编程软件进行编程计算，得到砂轮位置坐标和头架旋转角度，并直接输出为数控系统可接受的加工程序文件。通过现场试验和磨削工艺调整、控制，达到了满意的磨削效果。

参考文献：

- [1] 刘昌祺，刘庆立，蔡昌蔚．自动机械凸轮机构实用设计手册[M]．北京：科学出版社，2013．
- [2] 何光渝．VB常用算法大全[M]．西安：西安电子科技大学出版社，2001．