

文章编号 1004-924X(2006)01-0111-05

凸轮升程误差在三坐标测量机上的精确测量

黄富贵

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

摘要:根据凸轮升程误差的设计要求与测量要求,提出了在三坐标测量机上用搜索点法实现的凸轮升程误差的测量方法,介绍了方法的原理、实现步骤,并对测量方法进行了误差分析。理论分析与测量实践表明,本文提出的凸轮升程误差测量方法的测量极限误差为 $\pm 1.8 \mu\text{m}$,比传统的凸轮升程误差测量方法如桃尖点法、敏感点法的测量极限误差小40%左右。

关键词:凸轮;升程误差;搜索点法;坐标测量机;测量误差

中图分类号:TH132.47 **文献标识码:**A

Accurate measurement of the cam's lift error in the three-coordinates measuring machine

Huang Fu-gui

(College of Mechanical & Automation, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: A search point method was presented to measure cam's lift error on three-coordinates measuring machine according to the requirements of designing and measuring cam's lift error. The principle and steps of the new method were put forward, and the measurement error was analyzed. Academic analysis and practice in measuring show that the measurement error of this measuring method is $\pm 1.8 \mu\text{m}$, that is about sixty percent of the measurement error with the traditional measuring method such as the method of peach tip point, sensitivity point method.

Key words: cam; lift error; search point method; coordinate measuring machine; measurement error

1 引言

凸轮作为一种高副运动机构,在车辆发动机、纺织以及生产自动化等行业中得到了广泛的应用。由于凸轮升程误差的大小直接影响到与凸轮相连接的从动件的运动精度,因此,提高凸轮加工

精度的主要措施就是减小凸轮升程误差。减小凸轮升程误差的关键在于对凸轮实际升程误差实现精确测量,只有精确测量出实际凸轮的升程误差,才能正确分析凸轮升程误差的产生原因,为加工工艺的改进、机床相关参数的调整、砂轮的修磨等提供科学依据。因此,凸轮升程误差的精确测量一直以来都是凸轮检测技术人员的研究热点之一。

2 凸轮升程误差的定义与评定要求

与凸轮相啮合的从动件的运动规律靠凸轮的升程曲线保证,因此,设计过程中必须根据从动件的运动要求正确设计凸轮的升程曲线。理论上,凸轮的升程曲线应以连续函数的形式给出:如 $\rho = \rho(\theta, r)$, 式中 ρ 为对应极角 θ 和曲率半径 r 的极径, θ 为相对于起始角的极角, r 为对应点的曲率半径。理论凸轮要求在使用过程中不出现“刚性冲击”与“柔性冲击”,体现在凸轮升程曲线上,凸轮升程曲线必须保证二阶连续可导。但在实际应用中,凸轮升程曲线一般不用连续函数描述,而是以理论凸轮升程曲线表的要求给出(凸轮升程曲线表是一组离散数据,数据的多少由凸轮的工作要求决定,一般情况下角度间隔为 1 给出一个理论升程数据)。

凸轮升程误差是指实际凸轮对应角度上实际升程与理论升程的代数差,凸轮升程误差是凸轮轮廓形状误差的反映。必须指出:凸轮升程误差与凸轮轮廓度误差是两个不同的概念,两者的区别由图 1 可见。凸轮升程的最大点即桃尖点是凸轮的设计基准,与凸轮工作转向相同的起升点对应的角度称为传统测量的起始测量角。

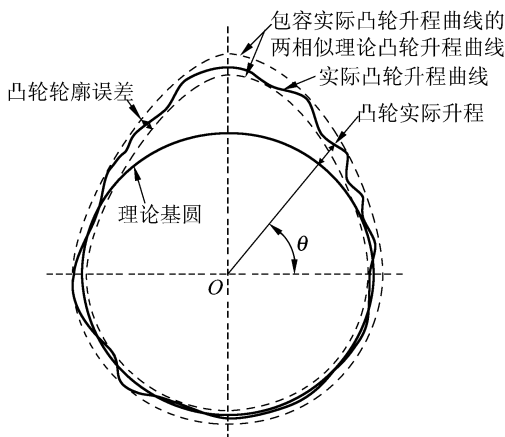


图 1 凸轮升程误差与凸轮轮廓误差比较

Fig. 1 Comparison of cam's lift error with cam's profile error

根据凸轮升程曲线的设计要求与凸轮升程误差的定义,目前,凸轮升程误差的测量有以下三种方法。其一是“桃尖点法”,“桃尖点法”的测量原理如下:首先测量实际凸轮的最大升程点即桃尖

点,再根据凸轮升程曲线的设计要求,从起升点开始逐个角度测量实际凸轮的升程值,与理论升程进行比较,得到凸轮升程误差的测量结果。这种方法原理简单,但在寻找桃尖点时存在较大误差。如在万能工具显微镜上用影像法和接触法测量凸轮升程误差时,桃尖点的调整角度误差一般在 $40'$ 左右,这一误差将直接影响到凸轮升程误差的评定精度。其二是“敏感点法”,“敏感点法”的测量原理如下:在凸轮升程曲线上桃尖点的两侧分别存在一个升程变化率最大的点,称此两点为凸轮升程曲线上的“敏感点”。当凸轮升程曲线设计要求给定时,“敏感点”离桃尖点或起升点的角度是一定的。测量过程中,首先找到“敏感点”的准确位置,再根据凸轮升程曲线的设计要求,从起升点开始逐个角度测量实际凸轮的升程值,与理论升程进行比较,得到凸轮升程误差的测量结果。这种方法和“桃尖点法”同样存在寻找敏感点的误差。其三是,基于三次样条函数拟合的凸轮轮廓曲线的拟合方法以及凸轮升程误差的评定方法。运用这种方法,能找到符合最小条件的实际凸轮轮廓相对于理想凸轮轮廓的位置,得到满足最小条件的凸轮升程误差的评定结果,但凸轮升程误差的评定过程较为复杂,故不易向实践推广。

3 凸轮升程误差在三坐标测量机上的精确测量

本文提出一种在三坐标测量机上采用搜索点法实现的凸轮升程误差的精确测量方法。测量原理和方法如下:首先,根据被测实际凸轮的设计要求测量凸轮的孔心线,以此孔心线为凸轮的中心;然后在垂直于孔心线的平面内,对凸轮轮廓曲线进行扫描(扫描点与点之间的间距根据曲线拟合精度要求确定),利用搜索点法对扫描数据点进行搜索,找到离凸轮中心最远的点,该点即凸轮的桃尖点;再以凸轮中心点和凸轮的桃尖点建立极坐标,根据凸轮升程表中给出的理论升程值进行比较测量。下面以某厂生产的发动机上用凸轮升程误差的测量为例(图 2),详细介绍该方法的实现步骤。该被测凸轮的升程公差要求为:当升程在 $0 \sim 0.1$ mm 时,公差取 ± 0.015 mm;当升程在 $0.1 \sim 0.5$ mm 时,公差取 ± 0.03 mm;当升程在

首先由插值条件 $S(x_i) = y_i, i = 0, 1, \dots, n$, 提供 $n+1$ 个条件;再给出每个插值内点的关系:

$$S(x_i+0) = S(x_i-0)$$

$$S'(x_i+0) = S'(x_i-0)$$

$$S''(x_i+0) = S''(x_i-0), i = 1, 2, \dots, n-1$$

又得到 $3n-3$ 个条件;最后附加两个边界条件。由于凸轮的实际基圆已经拟合完毕,故基圆上任意一点的坐标和对应的一阶导数为已知,边界条件确定,从而得到凸轮升程曲线的连续曲线。

(4)采用搜索点法获得凸轮的桃尖点:孔 1 的圆心与孔 2 的圆心连线的延长线与凸轮升程曲线的交点 B 即是实际凸轮的桃尖点。将理论凸轮升程曲线与实际凸轮升程曲线重叠放置在一起,利用 AutoCAD2004 的对齐尺寸标注功能即可直接得到被测凸轮的升程误差的大小(见图 5)。

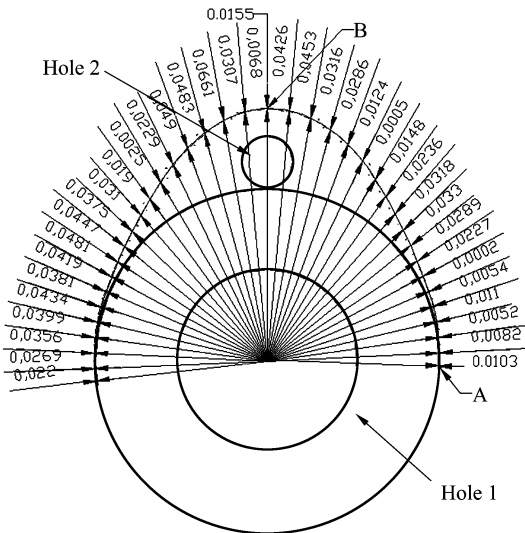


图 5 凸轮升程误差测量结果

Fig. 5 Measuring result of cam's lift error

4 测量精度分析

根据测量原理,本文所提出的凸轮升程误差测量方法本身的测量误差主要来源于以下几个方面:

(1)Global FX 777 型三坐标测量机的数据采集点误差,由三坐标测量机的检定书给出 $\Delta\text{lim}_1 = \pm(1.5+L/250)\mu\text{m}$ 。由于三坐标测量机只是对实际凸轮轮廓上的点进行数据采集,故 $\Delta\text{lim}_1 = \pm 1.5 \mu\text{m}$ 。

(2)实际凸轮升程曲线拟合误差,三次样条函数拟合误差主要取决于拟合点的分布、拟合点的多少以及拟合边界条件的建立。测量实践表明:只要按前面所述方法合理安排采集点,拟合边界条件计算准确,拟合误差可以控制在 $\pm 1 \mu\text{m}$ 以内,故 $\Delta\text{lim}_2 = \pm 1 \mu\text{m}$ 。

(3)根据误差理论可知,本凸轮升程误差测量方法的测量总误差为: $\Delta\text{lim} = \pm \sqrt{(\Delta\text{lim}_1)^2 + (\Delta\text{lim}_2)^2} = \pm 1.8 \mu\text{m}$ 。

5 结论

提出了在三坐标测量机上利用搜索点法实现的凸轮升程误差的测量方法,该方法能根据凸轮的设计要求准确地找到凸轮升程曲线的桃尖点,从而准确找到凸轮升程误差的起始测量点。理论分析与测量实践表明,本文提出的凸轮升程误差的测量方法与传统的测量方法(如桃尖点法,敏感点法)相比,其测量精度提高了 40% 左右,且测量简便。

参考文献:

- [1] BOOR D. On calculation with B-spline[J]. *Approx. Theory*, 1992, (6): 50-62.
- [2] LONCARIC S. A survey of shape analysis techniques[J]. *Pattern Recognition*, 1998.
- [3] WONG Y S, ONG C J. Optimization approach for biarc curve-fitting of B-spline curves[J]. *CAD Computer Aided Design*, 1996, 28(12): 951-959.
- [4] PATRIKALAKIS N M, KRIEZIS G A. Approximation of B-spline geometries with lower degree presentations. [J]. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 1990, 112(3): 192-198.
- [5] 刘兴富. 影响凸轮检测精度的问题与对策[J]. *广西机械*, 2001, (1): 24-27.
LIU X F. Problems in effecting cam measurement accuracy and its countermeasures [J]. *Guangxi Machine*, 2001, (1): 24-27. (in Chinese)
- [6] 黄富贵, 张认成. 基于样条函数拟合的凸轮升程误差评定方法研究[J]. *计量学报*, 2004, 25(4): 306-309.

HUANG F G,ZHANG R CH. The study on assessment method for the raising error of cam's curve based on spline function machining[J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2004,25(4):306-309. (in Chinese)

- [7] 江少恩,刘忠礼,唐道源,等. 基于三次样条函数算法的逆阿贝尔变换[J]. *光学精密工程*,2000,8(2):181-184.
JIANG SH E,LIU ZH L,TANG D Y,*et al.* Inverted Abel transform based on cubic spline functions[J]. *Optics and Precision Engineering*,2000,8(2):181-184. (in Chinese)
- [8] 陈锦昌,梁利车. 权因子对 B 样条曲线形状影响的研究[J]. *光学精密工程*,2001,9(3):220-222.
CHEN J CH,LIANG L D. Effect of weight factor on B-spline curves[J]. *Optics and Precision Engineering*. 2001, 9(3):220-222. (in Chinese)

作者简介:黄富贵(1966-),男,江西临川人,工学硕士,华侨大学副教授,主要从事误差理论及精密测量方向的教学与研究工作。E-mail:hmm@hqu.edu.cn.