

文章编号 1004-924X(2006)06-1048-04

等距面误差对抛物面廓形精度的影响

刘 群,杨建东,田春林,刘建河

(长春理工大学机电学院,吉林 长春 130036)

摘要:在抛物面加工中,对工件的已加工表面上引起的等距面误差进行了理论分析和计算。用三点法求出理论曲线的最小平移距离,再用两点距离法建立磨具加工面上各点误差的数学模型,该模型适合各类二次曲线磨具等距线误差的计算。实验结果表明磨具等距线误差变化范围为 $0\sim 0.7\ \mu\text{m}$,成形精度能满足大多数工件的面形精度要求,且磨具两端的最大误差为 $0.624\ 14\ \mu\text{m}$,同时,等距面误差随刀具或磨具的磨损量,以及抛物面的曲率的增大而增大,结果证明了该方法的有效性。

关键词:等距面误差;抛物面;廓形精度

中图分类号:TH161.12 **文献标识码:**A

Effect of equidistant surface errors on parabolic shape accuracy

LIU Qun, YANG Jian-dong, TIAN Chun-lin, LIU Jian-he

(Changchun University of Science and Technology School of Mechanical and Electrical Engineering, Jilin 130036, China)

Abstract: In machining a parabolic shape workpiece, equidistant surface errors will be produced on the machined workpiece surface. This paper analyses and calculates this error. The minimal distance of theoretical curve is gained by the three-point method, and the mathematical model of all points of the lapping tool's surface is established by the two-point method, which can be applied in calculating equidistance-curve error of all the conic of lapping tool. The simulation results indicate that equidistance-curve error of lapping tool changes from 0 to $0.7\ \mu\text{m}$, which can satisfy surface precision requirement of the most components. The maximal error of beginnings and ends of lapping tool is $0.624\ 14\ \mu\text{m}$, and the equidistant surface error increases with tool wearing and abrasives tool wearing and curvature of paraboloid increasing. The results show the validity of this method.

Key words: equidistant surface errors; paraboloid; shape accuracy

1 引言

在光学系统中应用非球面元件既可以减少光

学零件数量,简化系统结构,减小系统尺寸及重量,减少光能损失,又可以消除像差,提高光学系统的成像质量,因此非球面在光学系统中的应用日益广泛。抛物面是非球面零件中的一种常用的

收稿日期:2006-07-03;修订日期:2006-09-20.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 50375021)

廓形表面,而且还是非常重要的回转体表面。但是抛物面加工较为困难,而且在加工过程中还会产生一些加工误差,这将影响其光学性能,限制它的应用^[1-4]。

在抛物面加工中,不论是采用切削加工,还是采用磨削或者是研磨加工,由于存在着刀具磨损或者磨具磨损,使得真正加工出的工件廓形表面不是理想的抛物面,而是与理想的抛物面相距一刀具或磨具磨损量的等距面(这里为了分析方便,假设刀具或磨具的磨损量是均匀的),由此而产生的误差我们称之为等距面误差^[5-7]。这个误差将会影响到该抛物面的廓形精度,影响到其使用性能^[8]。因此本文针对这一情况,探讨了等距面误差对工件抛物面廓形精度的影响。

图1是工件的理想廓形母线与实际加工得到的工件廓形母线示意图。图中的实线是工件加工后得到的实际廓形曲线,虚线是工件的理想廓形曲线。

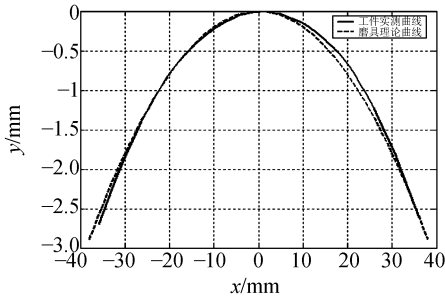


图1 工件理想廓形与实际廓形的示意图

Fig. 1 Sketch of the workpiece theory surface shape and real surface shape

在加工抛物面廓形工件中,所产生的抛物面廓形与理想的抛物面廓形不可能完全一致,存在着廓形误差,廓形误差就是工件实际廓形偏离工件理想廓形的最大距离。但是在测量中,实际的工件表面与理想的工件廓形表面间所处的相互位置不同,两表面间有关各点的相互距离也就不同,测量得到的廓形误差存在着差异,这使得廓形测量结果不能真实地反映出工件表面的实际情况,带来了测量误差。这就要求在测量工件表面廓形时要确定好工件的实际廓形与理想廓形间的相互位置。

2 等距面与原抛物面的关系

由于抛物面是回转表面,它是由一抛物线母线绕其对称轴旋转而生成。其廓形及廓形误差可由其回转母线来表征。因此本文在这里只分析抛物面的母线,即抛物线。为分析方便,又不失一般性,我们假设所要加工的抛物面母线抛物线方程为:

$$y = px^2, \quad (1)$$

该方程表示的是理想的抛物线,而实际上加工出来的是其等距线,设其等距线方程为:

$$y = f(x), \quad (2)$$

以后简称为等距线,如图2所示。设二曲线间的距离是 e 。点A是抛物线上的任意一点,其坐标为 (x_0, y_0) ,过点A,做抛物线的法线,交等距线上点B,这样点B的坐标为 (x, y) 。

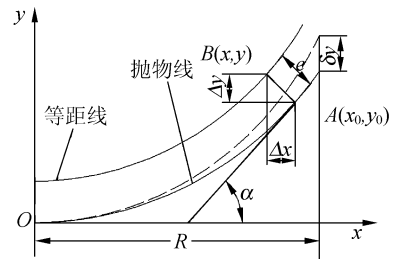


图2 抛物线及其等距线相互关系示意图

Fig. 2 Sketch of relationship between parabola and equidistant line

由图1可见:

$$\begin{aligned} x &= x_0 - \Delta x \\ y &= y_0 + \Delta y, \end{aligned} \quad (3)$$

对式(1)求导得:

$$y' = 2px$$

这样有:

$$\begin{aligned} y_0' &= 2px_0 = \tan \alpha \\ \tan \alpha &= \Delta x / \Delta y \\ \Delta x &= 2px_0 \Delta y \\ \Delta x^2 + \Delta y^2 &= e^2 \\ (4p^2 x_0^2 + 1) \Delta y^2 &= e^2 \\ \therefore \Delta y &= e / (4p^2 x_0^2 + 1)^{1/2} \\ \Delta x &= 2px_0 e / (4p^2 x_0^2 + 1)^{1/2}, \end{aligned} \quad (4)$$

将式(4)代入式(3)得:

$$x = x_0 - 2px_0 e / (4p^2 x_0^2 + 1)^{1/2}, \quad (5)$$

$$y = px_0^2 + e / (4p^2x_0^2 + 1)^{1/2}. \quad (6)$$

这就是等距线方程的参数表达式。

3 等距面误差

尽管在理想的情况下加工出来的工件真实廓形母线是抛物线的等距线,但它与理想廓形间的距离 e 并不是其加工的廓形误差。一般情况下测量抛物面廓形误差是将工件放于一与工件理想廓形一致的标准镜上,观看其与标准镜间的干涉条纹。这就相当于将等距线 $y = f(x)$ 线下移动,直至其顶点移动到坐标原点处,如图 2 中的虚线所示,这时该曲线与理想的抛物线间的最大距离 δ_y 就是等距面误差。由图 3 可以看出, δ_y 应在曲线的最外缘处。这样问题就归结为如何求出等距线平移后的曲线外缘处与理想的抛物线的外缘处的间距。假设工件的半径为 R ,这时的等距线的方程式(2)和式(5)中的 x 为 R 。将 $x = R$ 带入式(5)中求出 x_0 ,再将 x_0 带入式(6)中就可以求出 $f(R)$,则工件的等距面误差(在分析工件廓形母线时,也可称为等距线误差)为:

$$\delta_y = [f(R) - e] - pR^2, \quad (7)$$

这样我们一旦知道 p 、 e 和 R ,就可由式(7)求出等距面误差 δ_y 。为了进一步了解等距面误差随各参数的变化关系,我们固定 R ,取 $R = 10 \text{ mm}$,由式(5)、式(6)和式(7),得到等距面误差 δ_y 随 e 和 p 的变化关系,如图 3 所示。

由图 3 可以看出,当刀具或磨具磨损量 e 增大时,等距面误差 δ_y 增大;当 p 增大时,等距面误差 δ_y 也增大,而且 e 对 δ_y 影响加大。因此在加工过程中一旦出现刀具或者磨具磨损时要注意其磨损量,适时更换刀具或调整磨具,这样才能保证加工精度。 R 是影响曲线陡度的参数, R 值越小,曲线陡度越大,在相同弯曲条件下,磨具不同陡度曲

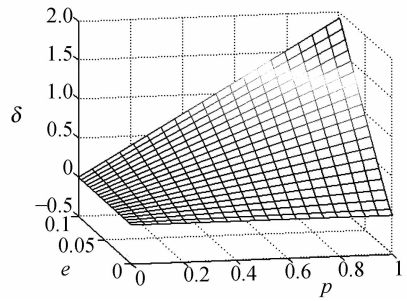


图 3 等距面误差 δ_y 随 e 和 p 的变化关系图

Fig. 3 Sketch of equidistant surface errors δ_y changing with e and p

线的等距线误差的关系。 $R = 450 \text{ mm}$ 时,等距线最大误差为 $0.76584 \mu\text{m}$; $R = 500 \text{ mm}$ 时等距线最大误差为 $0.62414 \mu\text{m}$ 。可见陡度越大,磨具等距线误差也越大。因此,对于小陡度的工件而言,采用磨具弯曲成形法进行研磨加工,其面形可达到更高精度。

4 结 论

根据前面的分析和计算可以得出如下结论:

- 1、加工抛物面时,当刀具或磨具出现磨损后,会在工件的被加工表面产生出等距面误差,该误差随刀具或磨具的磨损量的增大而增大;
- 2、等距面误差随着抛物面的曲率增大而增大,这就是说,在加工大曲率的抛物面时,刀具或磨具的磨损对工件的廓形误差影响较大;
- 3、刀具或磨具磨损给工件表面廓形带来的误差较大,因此当工件表面廓形精度要求较高时,对刀具和磨具的磨损量要进行严格的控制,特别是对大曲率的抛物面加工要更加注意,这样才能有效地保证工件表面的廓形精度。

参考文献:

- [1] LIU Q, YANG J D, TIAN CH L. High speed lapping paraboloid by means of a lapping tool bending method[C]. 20th Congress of the International Commission for Optics, Changchun, China, 2005.
- [2] 杨建东,田春林. 高速研磨技术[M]. 北京:国防工业出版社,2003.
YANG J D, TIAN CH L. High speed abrasive technology[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2003. (in Chinese)
- [3] YANG J D, LIU Q, SHANG C M, et al. Analysis of errors produced in machining paraboloid by means of a lapping tool bending method[C]. 6th International Symposium on Test and Measurement, China, 2005, 15: 4376-

4379.

- [4] AZQUEZ M, SERGIO, RODRIGUE H, *et al.* Two-wavelength interferometry in the manufacture process of high-aspheric surfaces[J]. *SPIE*, 2001, 4419: 265-268.
- [5] TUELL I T, BURGE J H, ANDERSON B. Aspheric optics: Smoothing the ripples with semiflexible tools[J]. *Opt. Eng.*, 2002, 41(7): 1473-1474.
- [6] ISHIKAWA K, ICHIKAWAK K, SUWABE H. A basic study on corrective techniques to recovering accuracy of deteriorated lapping plate[J]. *Bull Japan Soc. of Prec. Eng.*, 1998, 22(3): 759-764.
- [7] 杜建军, 高栋, 孔令豹, 等. 光学自由曲面误差评定中匹配方法的研究[J]. *光学精密工程*, 2006, 14(1): 133-138. DU J J, GAO D, KONG L B, *et al.* Study of matching methods of error evaluation of optical free form surface[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2006, 14(1): 133-138. (in Chinese)
- [8] 谢晋, 耿安兵, 熊长新, 等. 红外线聚光非球面透镜的单点金刚石镜面切削方法[J]. *光学精密工程*, 2004, 12(6): 566-569. XIE J, GENG A B, XIONG CH X, *et al.* Single point diamond mirror turning of infrared aspherical lens[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2004, 12(6): 566-569. (in Chinese)

作者简介: 刘群(1959—), 男, 长春理工大学机电学院博士研究生, 主要从事精密和超精密加工的研究。E-mail: liwj@jlu.edu.cn

(本栏目编辑 李树军)