

复曲面镜片铣磨后的面形误差理论分析

王立杰

(南京林业大学机械电子工程学院, 江苏 南京 210037)

摘要:复曲面镜片铣磨后, 一个剖面的曲线为真圆, 而另一个与之垂直的剖面内曲线为一复杂曲线, 通过分析成形运动, 导出了复杂曲线的方程, 将理想圆与该曲线进行比较, 得到了复曲面镜片面形误差的计算公式, 并利用计算机计算出了面形误差, 从而得出了当镜片回转半径等于 176.66mm, 砂轮直径越大, 砂轮所扳角度避免在 30 左右取值, 能减小复曲面镜片面形误差, 提高面形精度的结论。为合理选择机床参数提供了理论依据。

关键词:复曲面; 镜片; 机床; 成形运动; 误差; 精度

中图分类号: TQ171.68 文献标识码: A

1 引言

复曲面镜片就是双曲率镜片, 主要用于眼镜行业, 可矫正散光, 复曲面镜片可采用铣磨和研磨两种方法加工。复曲面镜片铣磨后, 镜片精度完全由机床的运动和精度来保证, 因此, 对于铣磨成形来讲, 机床调整的好坏, 直接影响到镜片的面形精度。为了加工出合格的镜片, 必须合理地调整机床, 就应分析成形运动, 也就是分析镜片铣磨后的面形误差, 分析机床参数对面形误差的影响, 这就是本文的目的。

2 复曲面成形原理

图 1 为复曲面镜片成形原理图。砂轮高速旋转, 镜片以 O 点为圆心, 以 R 为半径相对砂轮转动, 一方面形成如图 1 所示的 R 曲线, 这条曲线为一真圆, 所以在这里不讨论。另一方面, 砂轮的轴线与 Y 轴线成 θ 角(设 Y 轴通过 R 圆曲线圆心 O 和砂轮端面的圆心), 砂轮的高速旋转和镜片绕 O 点的转动所产生的铣磨作用使得镜片在 $A-A$ (或 $B-B$) 剖面内为另一种曲线。毫无疑问, $A-A$ (或 $B-B$) 剖面内的曲线不是圆曲线, 复曲面的面形精度, 主要就反映在这条曲线上。因此, 讨论面形精度的问题, 就成为由镜片回转半径 R 、砂轮直径 D 、砂轮所扳角度 θ 、镜片半径 E 对曲线的

影响, 即由这些参数所确定的这条曲线与理论圆的比较。

以下是以加工凹面为例进行的误差分析。

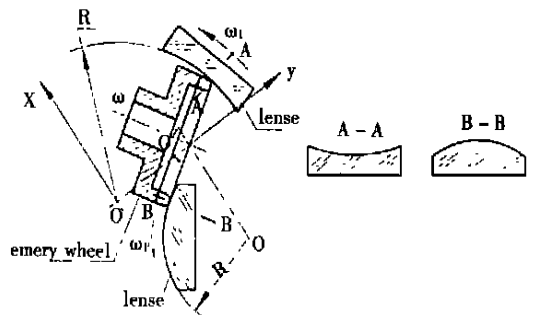


Fig. 1 Forming principle of wo-curved lenses

3 建立数学模型

建立 X 、 Y 、 Z 坐标系, 参见图 2。原点为 O , 图 1 所示为 X 、 Y 平面, Z 轴垂直于纸面朝内。

设砂轮边缘曲线为 $f(x_1, y_1, z_1)$, 若不考虑砂轮圆角 r , 圆 $f(x_1, y_1, z_1)$ 的直径为砂轮直径 D 。取砂轮边缘上的三点 a 、 b 、 c , a 、 b 两点在 $x = 0$ 平面内, 即在 ZOY 平面内, c 在 XOY 平面上。因此镜片在 $x = 0$ 平面内的曲线 $f(x, y, z)$ 是由曲线 $f(x_1, y_1, z_1)$ 上各点以 Z 轴为旋转轴, 旋到 $x = 0$ 平面所形成的。圆 $f(x_1, y_1, z_1)$ 在 XOY 坐标平面的投影为一条直线, 在 YOZ 坐标平面的投影为一椭圆。参见图 3。

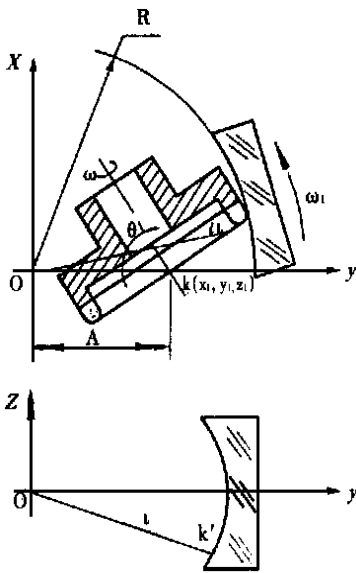


Fig. 2 X、Y、Z right angle coordinate axis

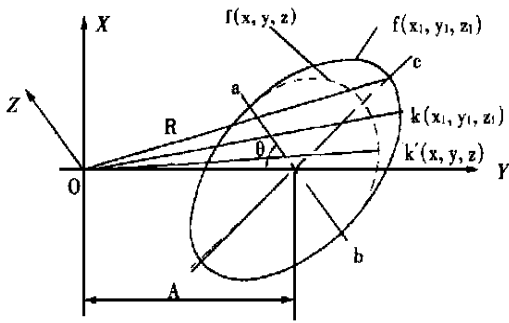


Fig. 3 Projection of circle $f(x_1, y_1, z_1)$ in the YOZ coordinate plane

$f(x_1, y_1, z_1)$ 在 XYZ 坐标系中的方程为:

$$\begin{cases} y_1 = A + x \operatorname{an}\theta & (1) \\ \left[\frac{D}{2}\right]^2 + \frac{(y_1 - A)^2}{\sin^2\theta} = 1 & (2) \end{cases}$$

式中

$$A = \sqrt{R^2 - \left[\frac{D}{2}\cos\theta\right]^2} - \frac{D}{2}\sin\theta \quad (3)$$

现推导 $f(x, y, z)$ 的方程, 参见图 2、图 3。曲线 $f(x, y, z)$ 上任意一点 k 是曲线 $f(x_1, y_1, z_1)$ 上的点 k 绕 O 点旋到 YOZ 平面上的, k 点到原点 O 的距离为 l 。

$f(x, y, z)$ 的方程为:

$$\begin{cases} x = 0 \\ y^2 = x_1^2 + y_1^2 \\ z = z_1 \end{cases} \quad (4)$$

由式(1)得 $y_1 - A = x \operatorname{an}\theta$ 代入(2)中得

$$x_1^2 = \frac{\left[\left[\frac{D}{2}\right]^2 - z_1^2\right]}{\operatorname{an}^2\theta} \sin^2\theta = \left[\left[\frac{D}{2}\right]^2 - z_1^2\right] \cos^2\theta \quad (5)$$

将(5)代入(1)中得:

$$y_1 = A + \sqrt{\left[\left[\frac{D}{2}\right]^2 - z_1^2\right] \cos^2\theta} \cdot \operatorname{an}\theta = A + \frac{D^2}{4} - z_1^2 \cdot \sin\theta \quad (6)$$

将(5)(6)代入(4)中得:

$$y^2 = A^2 + 2A \sqrt{\frac{D^2}{4} - z^2} \cdot \sin\theta + \frac{D^2}{4} - z^2 \quad (7)$$

此方程即为镜片在 YOZ 平面内的曲线方程。

4 求理想圆的方程

由机床运动及有关参数决定的曲线已经由式(7)给出, 我们可以假设一个理想圆与曲线(7)最为接近, 将这个理想圆与曲线(7)相比较, 作出误差分析, 并把这个理想圆作为所要求加工的圆, 这样加工出的复曲面与理论值误差最小。

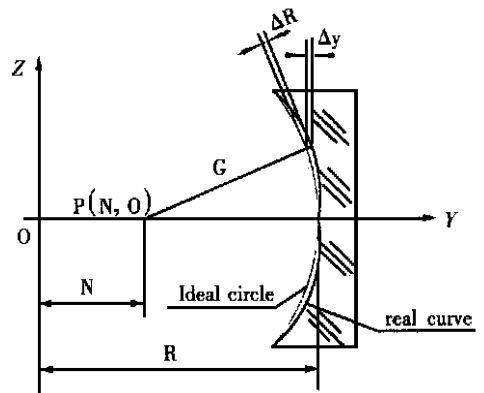


Fig. 4 Ideal circle and real curve on the $X = 0$ plane

一般情况下, 应使镜片中心点的误差最小。因此, 设有这样一个圆, 该圆与镜片的中心和边缘两点相接触, 设镜片的直径为 $2E$, 圆曲线过三点:

$$\begin{cases} z_2 = E \\ y_4 = R \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} z_3 = -E \\ y_3 = y_2 \end{array} \right.$$

理想圆在 $x = 0$ 平面内, 圆心为 $P(N, 0)$, 半径为 G , 参见图 4, 该理想圆的方程为:

$$(y - N)^2 + z^2 = G^2 \quad (10)$$

将 $z_4 = 0, y_4 = R$ 代入式(10), 得:

$$G = R - N \quad (11)$$

将式(11)代入式(10)并整理得:

$$N = \frac{R^2 - y^2 - z^2}{2(R - y)} \quad (12)$$

将 z_2, y_2 代入式(12), 得:

$$N = \frac{R^2 - A^2 - 2A \sqrt{\frac{D^2}{4} - E^2 \cdot \sin\theta} - \frac{D^2}{4}}{2 \left[R - \sqrt{A^2 + 2A \sqrt{\frac{D^2}{4} - E^2 \cdot \sin\theta} + \frac{D^2}{4} - E^2} \right]} \quad (13)$$

$$\Delta R = \left[\sqrt{A^2 + 2A \sqrt{\frac{D^2}{4} - Z^2 \cdot \sin\theta} + \frac{D^2}{4} - Z^2 - N} \right]^2 + z^2 - G \quad (16)$$

$$\text{式中 } A = R^2 - \frac{D^2}{4} \cos^2\theta - \frac{D}{2} \sin\theta$$

$$= \frac{R^2 - A^2 - 2A \sqrt{\frac{D^2}{4} - E^2 \cdot \sin\theta} - \frac{D^2}{4}}{2 \left[R - \sqrt{A^2 + 2A \sqrt{\frac{D^2}{4} - E^2 \cdot \sin\theta} + \frac{D^2}{4} - E^2} \right]}$$

$$G = R - N$$

其中 R —— 镜片回转半径(也称为基圆半径);

E —— 镜片半径;

D —— 砂轮直径;

θ —— 砂轮轴与 Y 轴的夹角。

式(16)即是反映 R, E, D, θ 与面形误差 ΔR 关系的解析式。

式(16)十分复杂, 不便于数学分析的方法来分析 ΔR 值, 但我们可以给出与实际加工相符的 R, E, D 的值, 求助于计算机, 令 θ 逐渐变化, 而在每个 θ 值上对于 Z 值的变化得出 ΔR 值, 即对应于每个确定的 R, E, D, θ 值, Z 从零变为 E , 而得出 ΔR 。

参考文献:

- [1] 陈伟喜. 眼镜配制技术[M]. 台北: 台湾徐氏基金会出版, 1968.
[2] 杨建人. 眼镜光学[M]. 台北: 台湾徐氏基金会出版, 1968.

根据式(10)、(11)得:

$$y = \sqrt{(R - N)^2 - z^2} + N \quad (14)$$

式(14)即为理想圆的方程。

5 误差分析

所谓误差分析, 就是把实际曲线与理想曲线相比较, 如图 4, Δy 为曲线(7)与理想圆(14)的差值, 但实际上真实的误差并不是 Δy 而是 ΔR , 设 i 点为曲线(7)上的任意一点:

$$\Delta R = \sqrt{(y - N)^2 + z^2} - G \quad (15)$$

将式(7)代入(15)得:

经计算机计算(因计算结果太长略去), 我们可以看到, θ, D, R 不变时, 镜片直径 E 越小误差值 ΔR 越小。在 θ, R 不变时, 砂轮直径 D 越大, 误差值 ΔR 越小。无论 D, R, E 为多大, 最大误差值均发生在 $\theta = 30^\circ$ 左右时。此结果与实际情况相符。

6 结 论

复曲面成形铣磨, 一个剖面的曲线为真圆, 而另一个与之垂直的剖面内曲线为一复杂曲线, 这条曲线与机床的参数如砂轮直径 D 、基圆半径 R 、砂轮轴的倾角 θ 有关, 当 $R = 176.66, D$ 取得越大, θ 避免在 30° 左右取值, 能使该曲线最大限度地接近所要求加工的圆曲线。从而减小面形误差, 提高面形精度。

需要指出的是, 本文的误差分析, 不是由于各参数的误差所造成的工件表面误差的分析, 而是排除一切机床、工具的误差, 仅就成形运动产生的表面曲线进行的理论误差分析。

Surface shape error theoretical analysis of two-curvature lenses milled and ground

WANG Li-jie

(*The Mechanical Electronic Engineering College, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China*)

Abstract: After two-curvature lenses have been milled and ground, the curve on vertical section is a real circle, and on the horizontal section is a complicated curve, the paper presents the complicated curve equation by analyzing the shaping movement. Comparing ideal circle with the complicated curve, it gives the surface shape error calculation of two-curvature lenses, then it calculates the surface shape error by computer. The result shows that the surface shape error is diminished when the lenses turn radius equals 176.66mm, the bigger the emery wheel diameter is, the farther the turn angle of emery wheel would leave the range of around 30°. It can offer theoretical basis for selecting rational parameter of the machine tool.

Key words: two-curvature; lenses; machine tool; shaping movement; errors; precision

作者简介: 王立杰(1964-), 女, 吉林九台市人。南京林业大学机械电子工程学院讲师, 1986年毕业于东北重型机械学院, 并分配至南京仪表机械厂, 从事光学机床的设计与光学镜片的加工, 1993年调入南京林业大学从事教学、科研工作。