

某非球面透镜曲面方程特性研究及自动建模软件开发

撰文 / 四川城市职业学院 周梅

成都恒睿信息技术有限公司 王新

非球面透镜在国防、航空、光学仪器及汽车等领域有广泛的应用，其加工和检测都离不开精确的三维模型。本文针对某特殊的非球面透镜，研究了其压型坐标方程，提出了一种新的建模思路，并基于 SolidWorks 平台开发了非球面透镜曲面自动建模软件。经过验证，新的方法建模精度高，得到的曲面质量很好，而且可以容易地推广到其他类型的非球面透镜建模中。

一、引言

非球面光学元件，是指面形由多项高次方程决定、面形上各点的半径均不相同的光学元件。一般应用在光学系统中的透镜及反射镜，曲面型式多数为平面和球面，原因是这些简单型式的曲面加工、检验容易，但是用在某些高度精密成像系统有一定的限度。虽然非球面的复杂曲面制造困难，但在某些光学系统中依然是需要的。采用非球面技术设计的光学系统，可消除球差、慧差、像散和场曲，减少光能损失，从而获得高质量的图像效果和高品质的光学特性。

然而，非球面透镜的精密加工无论是单点金刚石切削、五轴数控加工还是模压成型，都需要通过已知透镜曲面方程，建立精确的非球面透镜三维模型（至少需要型面上的空间曲线），这也是很多企业面临的难题。

目前常规的建立非球面透镜曲面三维模型的思路如下。

- (1) 通过曲面方程，计算出大量的散点。
- (2) 通过散点构建特征曲线。
- (3) 通过曲线构建曲面。

也有直接通过散点拟合曲面的方法。但是我们发现，无论是先生成特征曲线，再生成曲面模型，还是直接通过散点拟合曲面模型，存在的问题都非常明显。

(1) 虽然计算过程比较简单，只要代入一系列数据，即可计算出散点。但是通过散点构建曲面是一个比较复杂的过程，一般需要用到一些逆向工程软件，或者进行手工处理。因此，生成的曲面质量较难保证。

(2) 建模过程需要大量的人工干预，效率低下，并且很难自动化。

针对一些更为特殊的非球面透镜方程，上述方法的局限性就更加明显。如何能够提高效率，如何实现自动建模，是摆在整个行业面前的问题。本文以某车大灯用非球面透镜为例，首先分析了该非球面曲面方程的特点，提出了新的建模思路，并基于 SolidWorks 进行了二次开发，实现了非球面透镜曲面的自动建模。实践证明，该方法行之有效，建模精度高，完全满足实际加工的需要。

二、某车用大灯非球面透镜曲面方程

此车用大灯非球面透镜图样如图 1 所示。

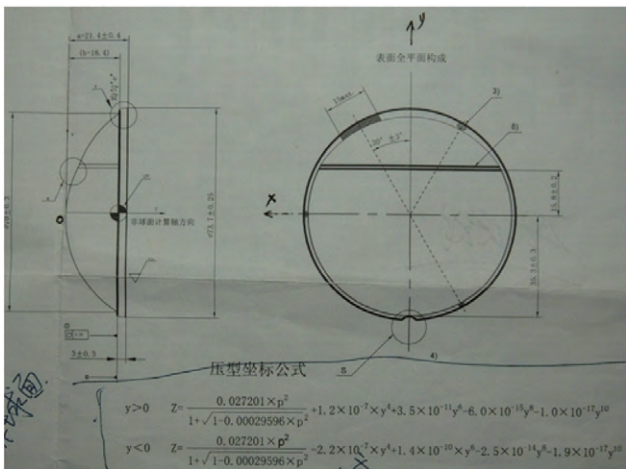


图 1

该非球面透镜压型坐标方程不是常见的非球面方程，具体如下（因页面所限，方程省略了后续高次项）。

$$\begin{cases} y > 0 & Z = \frac{0.027201 \times p^2}{1 + \sqrt{1 - 0.00029596 \times p^2}} + 1.2 \times 10^{-7} \times y^4 + 3.5 \times 10^{-11} \times y^6 + \dots \\ y < 0 & Z = \frac{0.027201 \times p^2}{1 + \sqrt{1 - 0.00029596 \times p^2}} - 2.2 \times 10^{-7} \times y^4 + 1.4 \times 10^{-11} \times y^6 + \dots \end{cases}$$

式中, $P = \sqrt{x^2 + y^2}$; 方程中的坐标方向如图 1 所示。

从方程可以看出,该透镜以 $y=0$ 分界,上下两部分方程系数不同,也就是说透镜上下两部分并不对称,按照常规的非球面标准方程进行建模的方法无法完成这个案例。因此我们必须寻求新的方法建立此透镜的精确模型,以便于后续进行压型模具的设计。

三、建模思路的讨论

采取代入大量数值,形成点云,并通过点云构建曲面的方法并不可取,首先这个型面坐标以 $y=0$ 分成了上下两部分,如果采取点云构建曲面,必然带来上下两个曲面的平滑过渡和拼接问题,这会严重影响模型的质量。其次,通过点云生成曲面本身的误差也很大,我们很难控制点云生成曲面的精度。

反复思考,我们认为根据方程首先生成一系列曲线,然后根据曲线放样得到曲面,应该是很好的思路。放样操作获得的曲面精度很高,连续性也能够满足要求,如果精度不够,还可以通过增加曲线数量的方法来提高曲面的精度。这里的关键问题是如何获得合适的曲线,手工拼接曲线是不可取的,这些曲线必须光滑连续,还要能够满足压

型坐标方程。

该透镜的曲面方程，实际上是对标准非球面透镜方程的一种变形。变量 p ，实际上就是透镜的孔径 r ，并且有：
$$p = \sqrt{x^2 + y^2}.$$
因此，我们可以将笛卡尔坐标系下的压型坐标方程变换到柱坐标系下。

$$\begin{cases} x = r \cos \varnothing \\ y = r \sin \varnothing \\ z_i = \frac{0.027201 \times r^2}{1 + \sqrt{1 - 0.00029596 \times r^2}} + 1.2 \times 10^{-7} \times r^4 \sin^4 \varnothing + 3.5 \times 10^{-11} \times r^6 \sin^6 \varnothing + \dots, \quad 0 < \varnothing < \pi \\ z_i = \frac{0.027201 \times r^2}{1 + \sqrt{1 - 0.00029596 \times r^2}} - 2.2 \times 10^{-7} \times r^4 \sin^4 \varnothing + 1.4 \times 10^{-11} \times r^6 \sin^6 \varnothing + \dots, \quad \pi < \varnothing < 2\pi \end{cases}$$

对于给定的 r , 可以根据上面的方程得到唯一的一条曲线。该曲线, 实际上就是垂直于 XOY 平面, 半径为 r 的圆柱面与非球面透镜表面的交线。该交线在 XOY 平面上投影为一个圆, 但 Z 向高度却是周期性波动的, 波动幅度由压型坐标方程系数所决定。因此整个非球面透镜不是一个回转体, 用旋转方法无法得到其精确模型。

根据上述讨论, 我们确定了建模的思路: 只要根据透镜的直径尺寸, 从小到大, 给出若干个 r , 就可以获得若干条曲线, 然后进一步使用这些曲线进行放样, 即可获得透镜曲面了。

四、自动建模程序开发

本文基于 SolidWorks 开发了这类非球面透镜的自动建模程序, 可以方便的输入曲面方程的各个参数, 自动插入所需的曲线。插入曲线的数量和每条曲线的插值点数都可以用户输入, 以控制结果的精度。程序运行界面如图 2 所示。



图 2

根据用户输入的分段数量, 程序将自动确定将要插入的曲线数量以及每条曲线对应的半径 r , 然后, 软件根据用户输入的方程系数, 计算每条曲线的散点坐标, 并调用 SolidWorks API 中的 InsertCurve 方法, 自动在

SolidWorks 创建相对应的曲线。

最终，使用自动插入的曲线进行放样，获得曲面。程序实现的效果如图 3 所示。

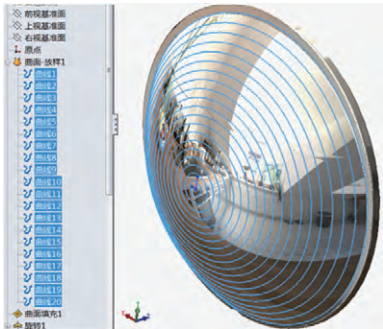
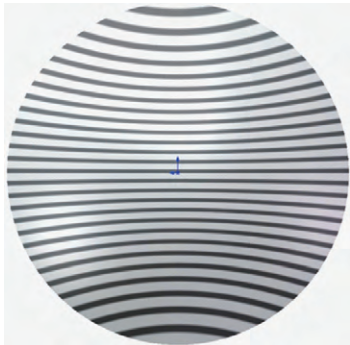


图 3

从图 3 可以看出，该方法建立的曲面光顺性非常好，曲面质量也能够满足要求。而插入的曲线，还可以直接作为将来进行数控加工的刀路，加工精度也比较容易保证。程序自动生成的曲面曲率连续性也能够满足要求。其检查图解如图 4 所示。

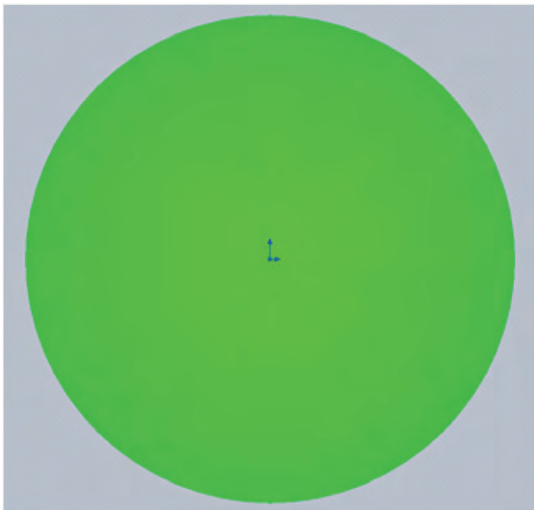


图 4

从曲率检查图中可以看到，整个曲面的曲率连续性是非常不错的。

对于图样上给出的非球面透镜上的特殊突棱，则可以首先生成完整的曲面，然后将需要调整的区域切开，依据图样建立突棱结构，以获得完整的模型。如图 5 所示。

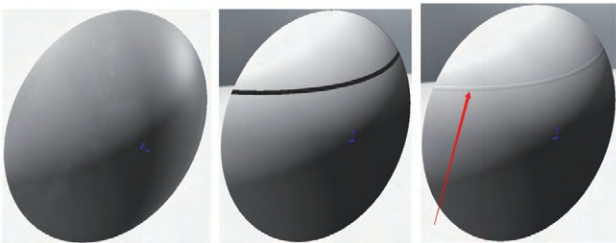


图 5

后续的加工和实物测试表明：本文所述的方法，完全能够满足该非球面透镜的生产要求，透镜成品在重量、光学特性等方面，均达到要求。

事实上，本文提出的思路还能够进一步扩展到其他类型的非球面透镜建模中，因为本文所述的这个透镜，实际上是一种特殊形式的非球面透镜。对于一般的非球面形式，稍微变化一下输入的系数，就可以满足不同类型的非球面曲面建模需要了。

五、结语

本文通过对某汽车大灯非球面透镜压型坐标公式的研究，提出了新的建模思路，并基于 SolidWorks 开发了配套的自动建模程序。经过实际检验，证明该建模思路及方法完全能够满足这类特殊非球面透镜的加工要求。通过这一方法，大大缩短了非球面透镜的建模时间，并且提高了模型的精度，为后续开展透镜的温度场及热变形分析，透镜数控加工等提供了精确的模型基础。

未来，该方法还可用于其他类型的非球面透镜建模中，在现有程序的基础上，添加几个页面，能够输入不同类型的非球面方程系数，即可成为适应性更广的非球面透镜自动建模插件，从而大大提高建模效率和模型精度。