

条状屏彩色显像管校正透镜设计*

蒋式弘 陈明仪 程维明

孔庆明

(上海科技大学精密机械工程系, 上海 201800) (上海电子管厂, 上海 200081)

摘 要 用优化法根据模拟的电子束轨迹设计了用于制造条状彩色荧光屏的校正透镜. 通过计算机模拟曝光, 证明了所设计的校正透镜使着屏偏差得到了充分的校正.

关键词 彩色显像管, 校正透镜, 光学设计.

1 引 言

在用光学曝光法涂复荫罩式彩色显像管荧光屏内表面三色荧光粉条的过程中, 需在光源和荫罩之间放置一块各处厚度不等的称之为校正透镜的光学玻璃, 以校正光线轨迹. 这块校正透镜^[1]的玻璃是非旋转对称的, 其设计方法不同于一般光学设计, 加工难度也较大. 目前我国还不能完全用国产校正透镜生产彩色显像管, 除了制造上的原因外, 在设计方面, 已做了大量工作^[2], 但在设计方法和编制实用的校正透镜 CAD 程序方面还值得作进一步探讨.

马吕斯定律指出, 一个正交系的光线束经过连续的曲面折射后仍保持其为正交系, 因此从理论上说, 不可能用连续透镜使光线到荧光屏上的位置和电子束打到屏上的位置完全一致. 但对于条状荧光屏来说, 只需校正着屏偏差的水平分量, 垂直分量无需校正. 所以, 用于制造条状荧光屏的连续透镜是存在的, 且不是唯一的^[3], 其设计难点在于如何用垂直分量来平衡水平分量. 本文采用优化的方法成功地解决了这个问题, 对不同的边界条件, 可以得到不同的曲面面形. 最后, 通过计算机模拟曝光, 计算了 CAD 程序的误差.

2 设计方法

如图 1 所示, 设校正透镜的折射率为 n_0 , 中心厚度为 d_0 . 以中束为例, 曝光光源在点 o , R_1 为入射到校正透镜前表面(平面)上 N 点的光线矢量, R_2 为 N 点到校正透镜曲面上 M 点的光线矢量, R_3 为从 M 点出射的光线矢量, 其反向延长线与 xoy 平面交于虚光源 o' . u 和 v 分别为 o' 的横坐标和纵坐标. N_1 和 N_2 分别为 N 和 M 点处的法线单位矢量, 其方向沿 z 轴正向. 在直角坐标系中,

$$R_1 = p_1 i + q_1 j + r_1 k, \quad R_2 = p_2 i + q_2 j + r_2 k,$$

* 本工作得到上海真空电子股份有限公司及上海市高教局科技发展基金的资助.

收稿日期: 1993年10月14日; 收到修改稿日期: 1993年12月17日

$$\mathbf{R}_3 = p_3\mathbf{i} + q_3\mathbf{j} + r_3\mathbf{k} \quad (1)$$

由折射定律, 有

$$\mathbf{R}_2 = \mathbf{R}_1 + P_1\mathbf{N}_1 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{N}_2 = & [(\mathbf{R}_3 - \mathbf{R}_2)/P_2] = [(p_3 - p_2)/P_2]\mathbf{i} \\ & + [(q_3 - q_2)/P_2]\mathbf{j} + [(r_3 - r_2)/P_2]\mathbf{k} \quad (3) \end{aligned}$$

P_1, P_2 为偏向常数. M 点处沿 x 方向和沿 y 方向的斜率分别为

$$\begin{aligned} dx' &= [(p_2 - p_3)/(r_3 - r_2)], \\ dy' &= [(q_2 - q_3)/(r_3 - r_2)] \quad (4) \end{aligned}$$

如果已知虚光源 o' 的位置与屏上采样点 P 的

位置之间的函数关系, 那么就可以在校正透镜上取一系列网格点, 利用图中的几何关系和以上公式计算出各网格点上的 dx' 和 dy' . 虚光源的横坐标 u 可以通过采样点 P 上测得的着屏偏差的水平分量计算出来, 而虚光源的纵坐标 v 与 P 点之间的位置关系事先无法确定, 因为着屏偏差的垂直分量是测不出来的. 因此假设

$$v = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t \varphi_{ij} x^{i-1} y^{j-1} \quad (5)$$

其中, 系数 φ_{ij} ($j = 2, 3, \dots, t$) 可以任意设定, 即可以任意给出边界条件

$$v(0, y) = \sum_{j=2}^t \varphi_{1j} y^{j-1} \quad (6)$$

因为 $v(x, 0) = 0$, 故 $\varphi_{i1} = 0$, ($i = 1, 2, \dots, s$). 其余的 φ_{ij} ($i \neq 1, j \neq 1$) 作为优化变量, 其初值可设置为零. 校正透镜面形方程可用其上各点的厚度 d 表示:

$$d = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t a_{ij} x^{i-1} y^{j-1} \quad (7)$$

当 $x = y = 0$ 时, $d = a_{11} = d_0$, d_0 为事先给定的中心厚度. 将 (7) 式分别对 x 和 y 求偏导, 得

$$dx' = \sum_{i=1}^{s-1} \sum_{j=1}^t b_{ij} x^{i-1} y^{j-1}, \quad dy' = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t-1} c_{ij} x^{i-1} y^{j-1} \quad (8)$$

其中

$$b_{ij} = ia_{i+1,j}, \quad c_{ij} = ja_{i,j+1} \quad (9)$$

若在保证曲面连续, 优化过程中必须使

$$\sum \left(\frac{b_{i-1,j}}{i-1} - \frac{c_{i,j-1}}{j-1} \right)^2 < \varepsilon \quad (10)$$

算出曲面各网络点上的斜率后, 再按 (7) 式进行曲面拟合, 得出系数 b_{ij} 和 c_{ij} , s 和 t 的值根据拟合精度确定. 然后由 (8) 式求得 a_{ij} .

3 设计实例

为简单起见, 且不失一般性, 根据计算机模拟的电子束轨迹得到屏上采样点 P 与虚光源 o' 的横坐标 u 之间的位置函数关系, 在上半个屏上取 $9 \times 5 = 45$ 个采样点, 即表 1 所示的二元函数表, 作为设计透镜的初始数据.

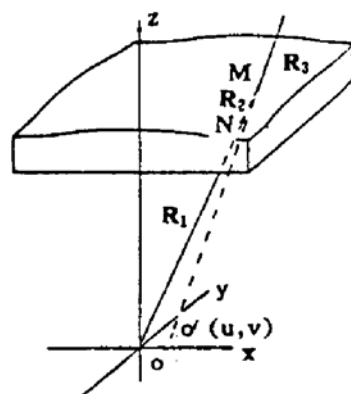


Fig. 1 Schematic diagram for designing a correcting lens

Table 1 (unit: mm)

$\begin{matrix} u \\ x \\ y \end{matrix}$	-150	-112.5	-75	-37.5	0	37.5	75	112.5	150
0	3.798	0.190	-0.969	-0.785	0	0.785	0.969	-0.190	-3.798
30	3.880	0.215	-0.967	-0.787	0	0.787	0.967	-0.215	-3.880
60	4.136	0.292	-0.958	-0.794	0	0.794	0.958	-0.292	-4.136
90	4.600	0.433	-0.941	-0.806	0	0.806	0.941	-0.433	-4.600
120	5.343	0.660	-0.912	-0.823	0	0.823	0.912	-0.660	-5.343

根据表 1, 取 $d_0 = 12$, 在上半个透镜上取 $17 \times 9 = 153$ 个网格点, 算出的 14" 彩色显像管的中束校正透镜面形方程系数 a_{ij} 和曲面等高线分别示于表 2 和图 2. 优化变量 φ_i , 共有 18 个, 其终值见表 3, 其中 φ_j ($j = 2, 3, 4$) 为边界条件. 如果给定不同的边界条件, 所得到的曲面面形也不同.

Table 2

$\begin{matrix} a_{ij} \\ i \\ j \end{matrix}$	1	2	3	4	5	6	7
1	12.000	-0.000	-0.099	0.000	0.097	0.000	-0.037
2	0.000	-0.000	0.005	0.000	-0.016	-0.000	0.013
3	-0.071	0.000	0.089	-0.000	-0.074	0.000	0.024
4	0.027	-0.000	-0.044	0.000	0.037	-0.000	-0.011

Table 3

$\begin{matrix} a_{ij} \\ i \\ j \end{matrix}$	1	2	3	4	5	6	7
1	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
2	0.1	0.002	-1.139	-0.019	0.821	0.007	-2.235
3	-0.2	-0.010	2.686	0.048	-2.346	-0.017	0.522
4	0.3	0.007	-1.369	-0.026	1.199	0.009	-0.297

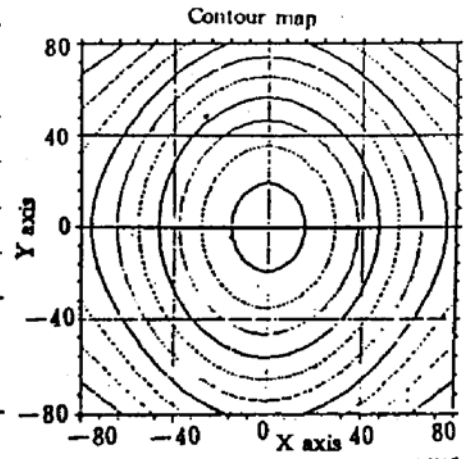
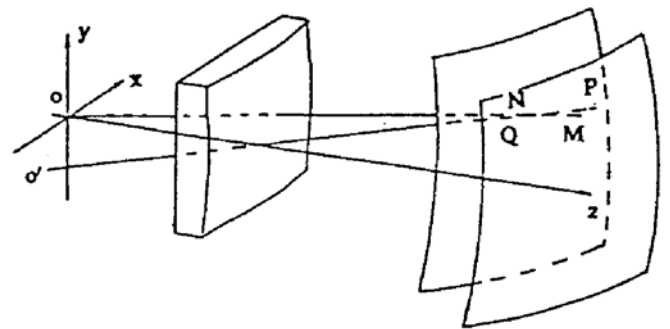


Fig. 2 Map of the lens surface with calibrated height lines, the difference in thickness between adjacent lines is 5 μm

4 精度检验及结论

类似对一维校正透镜 CAD 程序的精度检验^[4], 同样可以通过计算机模拟曝光-光线追迹, 来检验上述校正透镜的精度, 这比用实验验证要简便得多. 图 3 为某条电子束经过荫罩上的 Q 点到达屏上 P 点, 从光源 o 发出的某条光线经校正透镜折射再荫罩一的 N 点到达屏上 M 点. 如果电子束 PQ 和光线 MN 都通过荫罩上的同一条槽孔, 即*



$$X_Q = X_N$$

(11) Fig. 3 Schematic diagram for computing landing errors based on the emulated electron-beam paths

* 虽然荫罩上的槽孔并不是直线, 但由于电子束 PQ 和光线 MN 靠得很近, 因此可以认为 Q 点和 N 点的横坐标相等.

并且电子束 PQ 和光线 MN 在屏上的落点都在同一水平上, 即

$$y_P = y_M \quad (12)$$

那么, 根据定义, X_P 和 X_M 之差就是着屏偏差. 因此, 只要将校正透镜的面形方程系数及其它有关结构参数输入计算机, 对给定入射方向的光线进行正向光路追迹, 再算出满足条件(11)式和(12)式的电子束轨迹, 就可得到屏上某点处的着屏偏差值. 并用面形系数如表 2 所示的校正透镜进行模拟曝光的结果列于表 4(其它结构参数从略).

Table 4

ray				E-beam				landing error
X_N	y_N	X_M	y_M	X_Q	y_Q	X_P	y_P	$X_P - X_M$
49.077	0.042	51.981	0.044	49.077	0.039	51.978	0.044	-0.003
91.228	0.048	96.693	0.050	91.228	0.044	96.690	0.051	-0.003
141.198	0.020	149.860	0.021	141.20	0.018	149.851	0.021	-0.009
50.326	51.063	53.242	54.023	50.326	51.015	53.239	54.023	-0.002
81.318	81.833	85.917	86.462	81.318	81.800	85.912	86.462	-0.004
141.241	90.689	149.389	95.747	141.241	90.630	149.381	95.747	-0.007
0.0000	114.269	0.0000	120.480	0.0000	114.321	0.0000	120.480	0.000
69.928	112.618	73.669	118.765	69.928	112.670	73.670	118.765	0.002
103.231	114.665	108.816	120.912	103.231	114.723	108.824	120.912	0.008
142.391	113.941	150.308	120.139	142.391	113.956	150.314	120.139	0.006

限于篇幅, 表中仅列出了 10 条光线和电子束的计算结果. 大量的计算表明, 着屏偏差在 0.01 mm 以内, 所编制的 CAD 软件能够在普通 PC 机上运行, 对边束校正透镜也适用.

参 考 文 献

- [1] A. M. Morrell *et al.*, Color Television Picture Tubes, New York, Academic Press, 1974
- [2] 叶伦炎等, 彩色显像管校正透镜的设计. 真空电子技术, 1990, (1): 6~9
- [3] 藤村健男, なめらかなレンズで正可能なミスランディングのパタノンレンについて, テレビツヨリ学会志, 1988, 42(12): 1364~1371
- [4] 蒋式弘, 陈明仪, 彩色显像管的一维校正透镜. 光学仪器, 1993, 15(3): 28~32

Design of Correcting Lens for Phosphor Stripe Color-Kinescopes

Jiang Shihong Chen Mingyi Cheng Weiming

(Department of Fine Mechanical Engineering, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 201800)

Kong Qingming

(Shanghai Electron Tube Factory 200081)

(Received 14 October 1993; revised 17 December 1993)

Abstract Based on emulated electron beam paths and optimization, we have designed the correcting lens for manufacturing the stripe type color phosphor screen. It is confirmed through computer-modelling exposure that the landing errors are considerably reduced.

Key words tri-color kinescopes, correcting lens, optical design.