

文章编号 : 0253-2239(2002)06-0743-06

非球面眼镜片的像差分析和设计 *

沈为民 薛鸣球

(苏州大学现代光学技术研究所, 苏州 215006)

摘要: 根据非球面眼镜片的赛德尔(Seidel)初级像差理论, 分析讨论了在消像散条件下校正球差、彗差和畸变的可能性, 指出适当优化镜片的形状因子, 能够获得畸变低于球面镜片的点焦(即消像散)非球面镜片。以 $\pm 6.0 \text{ m}^{-1}$ 镜片为例, 给出了校正畸变、点焦、无拐点非球面镜片的设计方法与结果, 通过性能评价和比较, 指出非球面镜片的像差校正情况与初级像差理论的分析结果基本一致。

关键词: 眼镜片; 非球面; 像差

中图分类号: R778.3 文献标识码: A

1 引言

与球面眼镜片相比, 非球面镜片提供了更多的优化设计变量, 可望用来改善镜片的成像质量。对高光焦度非球面镜片的研究^[1]获得了同时校正畸变和像散的高光焦度镜片, 但其表面光焦度极高, 并存在着拐点, 因此加工困难, 美观性较差。最近报导^[2,3]的中等光焦度非球面镜片设计结果表明, 除重量、厚度等几何性能有所改善外, 像差校正情况并不好于相应的球面镜片, 尤其是畸变甚至比球面镜片的还大。本文将着重研究点焦(消像散)非球面镜片的畸变问题。

我们从非球面眼镜片的初级赛德尔(Seidel)像差系数出发, 考虑非球面参数的影响, 分析讨论消像散点焦非球面镜片进一步校正畸变的可能性, 然后, 以 $\pm 6 \text{ m}^{-1}$ 镜片为例, 给出中等光焦度表面无拐点非球面镜片的设计方法、结果及性能比较。

2 初级像差公式

基于简化眼模型的镜片人眼光学系统如图 1 所示, 镜片的后顶点离人眼转动中心的距离为 v , 理论上可认为孔径光阑位于该转动中心处。镜片将无穷远处的景物成像于非正视眼以转动中心为球心的远点球上, 再由眼屈光系统成像在视网膜上。正视眼的清晰视觉远点在离眼睛无穷远处, 近视眼的远点在眼球前面, 即眼和无穷远之间, 远视眼的清晰视觉

远点则在眼球后面(如图 1 所示)。

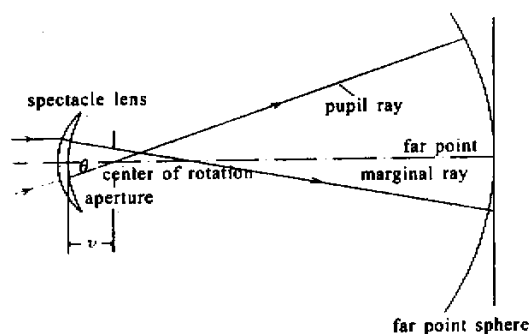


Fig. 1 Model for determining the Seidel aberrations of a thin spectacle lens

设镜片厚度等于零, 通过追迹无穷远轴上点近轴光线和轴外点通过转动中心的近轴主光线, 并应用文献[4]的公式(2.2)及相应的归一化条件: 镜片焦距(或光焦度)上述平行光轴的近轴光线入射高度、拉格朗日不变量归一化为 1, 近轴主光线在镜片前表面处的入射视场角归一化为 -1, 得到归一化的赛德尔初级球差 S_1 、彗差 S_2 、像散 S_3 、匹兹万场曲 S_4 和畸变 S_5 系数公式:

$$S_1 = P_1 + P_2 + K_1 + K_2, \quad (1a)$$

$$S_2 = h_{ml}(P_1 + P_2 + K_1 + K_2) - (W_1 + W_2), \quad (1b)$$

$$S_3 = h_{ml}(P_1 + P_2 + K_1 + K_2) - 2h_{ml}(W_1 + W_2) + 1, \quad (1c)$$

$$S_4 = 1/n \quad (1d)$$

$$S_5 = h_{ml}^3(P_1 + P_2 + K_1 + K_2) - 3h_{ml}^2(W_1 + W_2) + 3h_{ml} + h_{ml}/n, \quad (1e)$$

* 江苏省高校省级重点实验室基金资助课题。

E-mail: weiminshen@163.net

收稿日期: 2001-06-04; 收到修改稿日期: 2001-07-16

其中 n 为镜片折射率, 而近轴主光线在镜片前表面上的入射高度

$$h_{ml} = V(V-1), \quad (2)$$

式中 V 为镜片后顶点到转动中心相对于镜片焦度的归一化距离, 等于镜片后顶点到转动中心的实际距离 v 乘以镜片光焦度 D 。等式 (1a)~(1e) 右边的下标 1、2 分别用来标记镜片的前、后表面, P_1 、 W_1 和 P_2 、 W_2 分别是球面镜片前、后表面的像差特性参数, K_1 和 K_2 是前、后表面非球面系数对像差系数的贡献, 用表面光焦度表示时分别为

$$P_1 + P_2 =$$

$$\frac{1}{n(n-1)}[n^3 - n(2n+1)\phi_1 + (n+2)\phi_1^2], \quad (3a)$$

$$W_1 + W_2 = \frac{1}{n(n-1)}[n^2 - (n+1)\phi_1], \quad (3b)$$

$$K_1 + K_2 = k_1\phi_1^3 + k_2\phi_2^3, \quad (3c)$$

式中 ϕ_1 和 ϕ_2 为前、后表面对于镜片光焦度 D 的归一化光焦度, k_1 和 k_2 为前、后表面的二次曲面系数, 确定非球面的类型。 k_i ($i = 1, 2$) 等于 0 表示球面, 等于 -1 表示抛物面, 小于 -1 表示双曲面, 介于 -1 和 0 之间表示长椭球面, 大于 0 表示扁椭球面。

由 (1) 式和 (3) 式可见, 非球面系数不影响匹兹万场曲, 与球面镜片 ($k_1 = k_2 = 0$ 的情况) 相比, 存在着明显不同, 一是镜片折射率 n 、光焦度 D 和光阑位置 v 一定时, 除匹兹万场曲之外, 球面镜片的初级像差系数是镜片表面光焦度的二次表达式, 而非球面镜片的初级像差是镜片表面光焦度的三次表达式; 另一是球面镜片只能通过调整两表面的光焦度分配, 才能消除某一种初级像差, 非球面镜片可将二次曲面系数 k_1 、 k_2 作为设计变量, 但它们对各像差系数的贡献均以相同的形式 ($K_1 + K_2$) 出现, 并与 $P_1 + P_2$ 组合在一起, 即使两表面都采用非球面, 也只能比球面镜片多消除一种初级像差, 因此, 非球面镜片至多只能同时消除两种初级像差。

3 初级像差分析

眼镜片和人眼构成的光学系统属于小孔径大视场系统, 球差和彗差对像质的影响通常可不予考虑, 对人眼视觉影响最大的是像散, 直接影响视觉锐度, 经常会给戴镜者带来不适, 因此, 必须首先考虑校正像散。由 (1c) 式, 并利用 (2) 式和 (3) 式不难得到消像散条件的表达式 (4) 式, 即

$$k_1 \frac{(D - D_2)^3}{D} + k_2 \frac{D_2^3}{D} + \frac{n+2}{4n(n-1)^2} \left\{ \left[D - 2D_2 - \frac{\chi(n^2-1)}{v(n+2)} \right]^2 + \frac{3n-2}{n+2} \left[D + \frac{\chi(n-1)^2}{v(3n-2)} \right]^2 - \frac{4(n-1)^2 n^3}{v^2(n+2)(3n-2)} \right\} = 0, \quad (4)$$

式中 D_2 为镜片后表面的光焦度。对于球面镜片 $k_1 = k_2 = 0$, 上式表示一椭圆方程, 得到的 D_2 - D 曲线称为 Tscherning 椭圆^[5] (见图 2 中的 $k_2 = 0$ 曲线), 由其上、下半支设计得到的点焦镜片分别称作奥斯特沃耳特 (Ostwalt) 和渥拉斯顿 (Wallaston) 镜片^[11], 表明只能在一定的光焦度范围内才存在消像散解, 且对于某一光焦度 D 只有两个这样的解。对于非球面镜片, k_1 或 (和) $k_2 \neq 0$ 且光焦度 D 一定时, (4) 式是镜片后表面光焦度 D_2 的三次方程式, 至少存在一个实根解, 且通过改变 k_1 或 k_2 可得到不同的实根 D_2 , 因此, 非球面镜片可有无穷多个点焦镜片解。

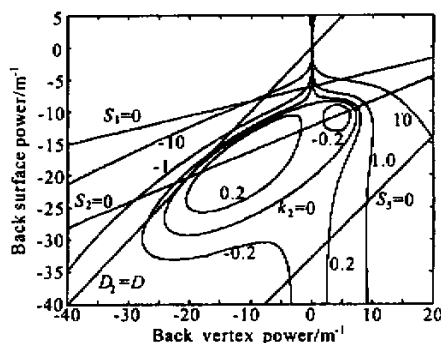


Fig. 2 Solutions for Seidel astigmatism of thin lenses for back-surface asphericity and simultaneous solutions for Seidel distortion, spherical aberration, and coma, respectively, in which the refractive index n of lenses is 1.550 and $v = 27.0$ mm

取镜片折射率 $n = 1.550$, $v = 27$ mm, 由 (4) 式得到如图 2 和图 3 所示的消像散 D_2 - D 关系曲线, 图 2 和图 3 分别是镜片后、前表面为非球面的情况, 其横轴是镜片后顶光焦度 D , 在薄透镜情况下等于镜片光焦度, 纵坐标是镜片后表面的光焦度 D_2 。图中 $k_1 = 0$ 或 $k_2 = 0$ 的曲线是球面镜片的 Tscherning 椭圆, 标有二次曲面系数 k_2 或 k_1 值为 -10、-1、1、10 等的曲线与文献 [5] 中给出的曲线相似。文献 [5] 对于利用非球面系数消像散情况作了详尽的分析,

这里不再赘述,而着重分析消像散情况下校正其它像差的可能性。尽管球差和彗差是次要的,但考虑到完整性,还是对它们进行了分析。

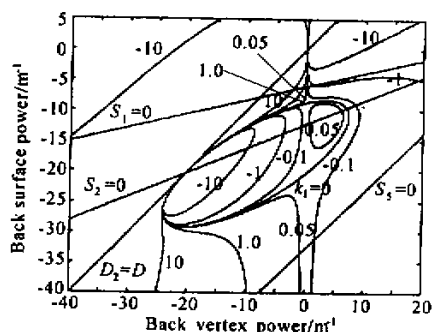


Fig. 3 Solutions for Seidel astigmatism of thin lenses for front-surface asphericity and simultaneous solutions for Seidel distortion, spherical aberration, and coma, respectively, others are same as Fig. 2

利用(2)式和(3)式,可由(1a)式、(1b)式和(1e)式得到消像散 $S_3 = 0$ 情况下,分别同时消除球差、彗差和畸变的条件分别为

$$D_2 = \left(1 - \frac{n}{2}\right)D - \frac{n(n-1)}{2v(n+1)}, \quad (5a)$$

$$D_2 = \frac{1}{n+1} \left[D - \frac{n(n-1)}{v} \right], \quad (5b)$$

$$D_2 = \frac{1}{n+1} \left[n^2 D - \frac{(2n+1)(n-1)}{v} \right]. \quad (5c)$$

值得注意的是,这三式均与二次曲面系数 k_1, k_2 无关,因此,可由它们考察球面、单面或双面非球面镜片的初级像差特性。将(5a)式~(5c)式表示的 D_2 - D 关系与消像散关系曲线绘在同一图中(如图2和图3所示),分别得到图中 $S_1 = 0$ 、 $S_2 = 0$ 、 $S_3 = 0$ 的直线,表示在消像散情况下,分别消球差($S_1 = 0$)、消彗差($S_2 = 0$)或消畸变($S_3 = 0$)的条件,这些直线是本文给出的主要理论分析结果,能十分方便地分析解释镜片的像差校正情况。另外图中还给出了 $D_2 = D$ 直线,表示平凹镜片,目前通常采用的弯月形镜片位于该直线的右侧。

由图2和图3可见,对于球面镜片,Tscherning椭圆与消球差和消畸变直线不相交,表明不能在消像散的同时消球差或消畸变,根据离这两条直线的距离,可预计奥斯特沃耳特镜片的畸变大于渥拉斯顿镜片,而後者的球差较大。消彗差直线与Tscherning椭圆相交于两点,即可有两种光焦度镜片能同时消彗差,该直线较接近椭圆曲线的上支,因此,奥斯特沃耳特镜片的彗差较小。对于非球面镜

片,能获得点焦镜片的光焦度范围明显扩大,适当选取二次曲面系数总能使消像散曲线与同时消球差或消彗差或消畸变曲线相交。

具体地说,为了消球差可利用非球面减小点焦镜片的后表面光焦度,负镜片应采用双曲面型后表面或扁椭球面型前表面,正镜片则恰好反之。对于同时消彗差情形,当镜片光焦度在Tscherning椭圆极限内时,同时消像散和彗差镜片位于奥斯特沃耳特和渥拉斯顿镜片之间,正镜片应采用长椭球后表面或扁椭球前表面,对于负镜片需使用扁椭球后表面或长椭球或双曲型前表面;而当镜片光焦度高于Tscherning极限时,正镜片应采用扁椭球后表面或双曲型前表面,负镜片则相反,而这时镜片已在平凹镜片线 $D_2 = D$ 的左侧,为双凹型,一般不采用文献[6]。值得注意的是,同时消像散和彗差的直线位于后表面光焦度较合理的区域。

镜片的畸变比球差和彗差更加重要,从图2和图3可见,对于中等光焦度镜片,同时消像散和畸变镜片的后表面光焦度比渥拉斯顿型球面镜片的还大,从加工难度、配戴美观及对视场的限制来看并不可取;但是,随着正镜片光焦度的增大,消畸变点焦镜片后表面光焦度减小,可利用扁椭球后表面或双曲型(或长椭球)前表面同时校正像散和畸变,文献[1]的结果证明了这一点。这主要用于校正无晶状体眼。从图2、图3还可见,非球面镜片的畸变有时会比球面镜片的大,例如,当采用双曲面非球面化奥斯特沃耳特镜片的后表面时,消像散曲线比Tscherning椭圆离同时消畸变直线更远,畸变将有所增加,这一初级像差分析结果与文献[3]及本文报道的设计结果一致。这更重要地表明,通过适当增大非球面镜片后表面的光焦度,可有效地校正畸变,这从直观上来看也是对的,因为此时的主光线更加接近通过后表面的曲率中心。

4 光学设计

最近,中等光焦度非球面镜片受到人们的普遍关注,Essilor、Hoya 和 Sola 等^[2]已有相应的产品出售,本文以 $+6.0 \text{ m}^{-1}$ 和 -6.0 m^{-1} 镜片为例给出其设计方法、结果及有关比较分析。设眼睛的旋转范围在 $\theta = 30^\circ$ 的实体角内,即像空间全视场 60° ,旋转中心在镜片后顶点之后 $v = 27 \text{ mm}$ 处,位于此处的孔径光阑(即出瞳)直径为 3 mm ,物体在无穷远处,理想成像于远点球面上。镜片材料选用折射率 $n =$

1.550、密度为 1.25 g/cm³ 的聚碳酸酯材料。

为了便于比较分析,表 1 列出了三种具有代表性的球面镜片,表中 R_1 、 R_2 分别为前、后表面的曲率半径, ϕ 、 T_c 、 T_e 和 H_a 分别为镜片的直径、中心厚度、边缘厚度和轴向高度。 Δ_{OAE} 称为倾斜细光束像散差,等于在倾斜细光束入射时,镜片子午和弧矢光焦度之差; Δ_{MOE} 为平均斜光光焦度差,等于上述子午和弧矢光焦度之平均值与镜片光焦度之差; δ 为畸变,它们的具体定义式可参见文献 [3],主要用

Table 1. Design results of spherical spectacle lenses with +6.0 m⁻¹ and -6.0 m⁻¹

power /m ⁻¹	+ 6.0			- 6.0		
type	convex-plano	Ostwalt	Walloon	plano-concave	Ostwalt	Wallaston
R_1 /mm	94.6628	43.4870	29.7575	∞	127.7962	30.8456
R_2 /mm	∞	71.3324	41.9409	91.6675	53.3170	22.8803
ϕ /mm	70.0	70.0	30.0	70.0	70.0	30.0
T_c /mm	8.441	9.501	2.768	1.000	1.000	1.000
T_e /mm	1.000	1.000	1.000	7.945	9.210	2.710
H_a /mm	8.441	18.678	5.542	7.945	14.096	6.603
Δ_{OAE} /m ⁻¹	1.172	0.000	0.000	-0.723	0.000	0.000
Δ_{MOE} /m ⁻¹	0.776	-0.327	-0.303	-0.491	0.220	0.201
δ /%	10.768	5.693	3.575	-10.168	-7.373	-3.385
weight /g	25.360	50.662	2.093	25.394	27.872	1.953

In this table R_1 and R_2 are respectively the radius of the front and back surfaces of spectacle lens. ϕ , T_c , T_e , and H_a are its diameter, center thickness, edge thickness, and axial height, respectively. Δ_{OAE} means its oblique astigmatic error, Δ_{MOE} its mean oblique power error, and δ its distortion.

从上节分析及图 2 和图 3 可知,分别非球面化正镜片的前表面、负镜片的后表面就能得到点焦镜片。我们在 CODE V 光学设计程序上进行优化设计,优化函数包括半视场内 5 个匀排视场的光线点像弥散斑、0.5、0.7、1.0 视场的像散、及边缘 1.0 视场的畸变。在优化过程中,二次曲面系数 k_1 或 k_2 及下式所示非球面矢高表达式中的形变系数 A'_i 、 B'_i 、 C'_i 、 D'_i 作为变量:

$$z = \frac{\rho/R_i}{1 + \sqrt{1 - (k_i + 1)(\rho/R_i)^2}} + A'_i \rho^4 + B'_i \rho^6 + C'_i \rho^8 + D'_i \rho^{10}, \quad (6)$$

$i = 1, 2$

式中 ρ 为镜片表面上的点离对称轴的距离, R_i ($i = 1, 2$) 为前、后表面的曲率半径。

为了避免非球面高次项引起的拐点,对正、负镜片的优化过程设置相应的约束条件,让多个 ρ 坐标值处的矢高微分大于零。另外,设置正镜片的边缘厚度和负镜片的中心厚度等于 1 mm。通过调整优化函数中各像差项的加权因子,可得到令人满意的结果,下面的表 2、表 3 分别列出了正、负非球面镜片的设

于评估镜片的光学成像质量 Δ_{OAE} 与像散有关,对于点焦镜片,等于零; Δ_{MOE} 与场曲有关,无场曲时, Δ_{MOE} 等于零。表 1 中列出的 +6.0 m⁻¹ 凸平和 -6.0 m⁻¹ 平凹镜片是非点焦的,并具有最大的畸变和场曲,但能证明它们是现代弯月形球面镜片中重量最小的。奥斯特沃耳特镜片的 Δ_{MOE} 和 δ 均大于渥拉斯顿镜片的,这是由于后者比前者的弯曲度大,离同时消畸变线 $S_5 = 0$ 较近,与上节分析结果一致。

计结果。

从表 2 和表 3 可见,与球面镜片不同,利用非球面参数能获得多种消斜光像散的非球面镜片,随着镜片后表面光焦度的增大,畸变减小,只有高光焦度非球面镜片(表 2 和表 3 中的 No. 5)才能明显地校正畸变,与上节的初级像差分析结果一致。但这种表面高光焦度镜片的重量大于相应的渥拉斯顿球面镜片,且镜片通光孔径较小,限制戴镜者的视角范围,制造成本较高,目前中等光焦度镜片极少采用这种形式。No. 3 和 No. 4 镜片畸变小于相对应的奥斯特沃耳特球面镜片(见表 1),在图 2 和图 3 中,它们位于奥斯特沃耳特镜片上、下附近,分别采用双曲型和扁椭球型非球面。特别是镜片 No. 3 的弯曲程度并不比球面奥斯特沃耳特镜片更甚,平均斜光光焦度差(Δ_{MOE})也只略有增加,而重量仍小于球面镜片 65.12% 和 11.03%,因此,从光学像质和制造难度角度来考虑,这种非球面镜片是可取的;另外,比较 No. 3 镜片和表 1 中的奥斯特沃耳特镜片, +6.0 m⁻¹ 和 -6.0 m⁻¹ 非球面镜片的轴向高度 H_a 分别减少 21.75% 和 17.96%,中心厚度 T_c 和边缘

厚度 T_e 分别改善 27.77% 和 36.34% , 从配戴美观性来看也是较好的。

Table 2. Design results of aspheric spectacle lenses with $+6.0\text{ m}^{-1}$ through aspherizing their front surfaces

No.	1	2	3	4	5
R_1/mm	93.8118	60.2476	45.9635	40.5517	18.6513
R_2/mm	∞	158.4500	82.8874	65.5988	21.7477
K_1	-1.5027	-0.5480	-0.0844	0.2072	-0.1631
A'_1	-0.6969×10^{-6}	-0.2955×10^{-6}	-0.1718×10^{-6}	-0.5986×10^{-6}	0.3017×10^{-5}
B'_1	0.3932×10^{-10}	0.8163×10^{-9}	0.5762×10^{-9}	0.6390×10^{-10}	-0.1440×10^{-7}
C'_1	0.3479×10^{-12}	-0.6486×10^{-12}	0.5986×10^{-13}	0.1290×10^{-11}	0.7417×10^{-10}
D'_1	-0.4298×10^{-15}	-0.4121×10^{-14}	-0.1138×10^{-14}	-0.3483×10^{-14}	-0.4746×10^{-13}
ϕ/mm	70.0	70.0	70.0	70.0	30.0
T_e/mm	6.043	6.133	6.863	6.532	3.026
T_c/mm	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
H_a/mm	6.043	10.047	14.615	16.649	10.370
$\Delta_{\text{OAE}}/\text{m}^{-1}$	0	0	0	0	0
$\Delta_{\text{MOE}}/\text{m}^{-1}$	-0.300	-0.327	-0.337	-0.340	-0.295
$\delta/\%$	7.147	6.275	5.579	5.101	0.734
weight/g	15.809	15.489	17.676	15.960	2.271

Where K_1 , A'_1 , B'_1 , C'_1 and D'_1 are the conic , forth- , sixth- , eighth- , and tenth-order coefficients of the front surface of aspheric lens. Others have the same meanings as those in Table 1

Table 3. Design results of aspheric spectacle lenses with -6.0 m^{-1} through aspherizing their back surfaces

No.	1	2	3	4	5
R_1/mm	∞	432.6736	132.6246	68.2659	17.6454
R_2/mm	91.6675	75.6310	54.1439	39.0105	14.5467
K_2	-2.7285	-1.0572	-0.2346	0.1506	-0.1133
A'_2	-0.5736×10^{-6}	-0.3208×10^{-6}	0.9961×10^{-7}	0.1290×10^{-6}	-0.2819×10^{-6}
B'_2	0.5621×10^{-9}	0.2675×10^{-10}	-0.1022×10^{-9}	-0.1084×10^{-8}	0.5545×10^{-7}
C'_2	-0.5793×10^{-12}	0.5430×10^{-12}	0.1219×10^{-11}	0.4875×10^{-11}	-0.5020×10^{-9}
D'_2	-0.1149×10^{-15}	-0.8101×10^{-15}	-0.1646×10^{-14}	-0.6912×10^{-14}	0.1867×10^{-11}
ϕ/mm	70.0	70.0	70.0	70.0	30.0
T_e/mm	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
T_c/mm	5.860	5.210	5.863	6.205	5.539
H_a/mm	5.860	7.630	11.565	15.860	13.891
$\Delta_{\text{OAE}}/\text{m}^{-1}$	0	0	0	0	0
$\Delta_{\text{MOE}}/\text{m}^{-1}$	0.227	0.223	0.227	0.222	0.094
$\delta/\%$	-8.808	-8.366	-7.372	-6.141	-0.231
weight/g	21.579	22.615	24.798	26.273	2.644

Where K_2 , A'_2 , B'_2 , C'_2 and D'_2 are the conic , forth- , sixth- , eighth- , and tenth-order coefficients of the back surface of aspheric lens. Others have the same meanings as those in Table 1.

结论 以上由薄眼镜片初级像差理论研究分析了非球面镜的像差校正情况 , 给出了点焦镜片分别消球差、彗差、畸变的条件 , 将它们表示在点焦镜片光焦度和后表面光焦度关系曲线中 , 能够直观地理解非球面镜片的像差变化并指导其优化设计 , 指出适当选取非球面系数能够得到消球差或消彗差的点焦非球面镜片。着重讨论了校正畸变的可能性 , 指出仅

当后表面光焦度远高于渥拉斯顿镜片时才能完全消畸变 , 但适当增大后表面的光焦度 , 能够将畸变校正至低于传统的奥斯特沃耳特球面镜片。
以 $\pm 6.0\text{ m}^{-1}$ 镜片为例 , 给出了校正畸变、点焦、无拐点非球面镜片的设计方法与结果 , 利用镜片表面矢高微差值约束条件消除拐点的方法简单、直接、有效 , 不必如文献 [3] 那样重复调整目标值。通过仔细设计和分析比较 , 得到了在人眼 60° 全视场内成像质量和美观性都较好的非球面镜片 , 与初级

像差分析结果基本相符,不仅其畸变可低于传统球面镜片和文献[3]报导的非球面镜片,且美观和重量方面的性能仍很好。另外,值得指出的是本文给出的方法同样适用于设计其他光焦度非球面镜片。

参 考 文 献

- [1] Katz M. Aspherical surfaces used to minimize oblique astigmatic error, power error, and distortion of some high positive and negative power ophthalmic lenses. *Appl. Opt.*, 1982, **21**(16) 2982~2991
- [2] Atchison D A. Spectacle lens design: A review. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(19) 3579~3585

- [3] Sun Wensheng, Tien Chuenlin, Sun Chingcherng *et al.*. Ophthalmic lens design with the optimization of the aspherical coefficients. *Opt. Engng.*, 2000, **39**(4):978~988
- [4] Pan Junhua. *Design, Manufacture, and Test of Optics Ansphere* (光学非球面的设计、加工与检测). Beijing: Science Press, 1994. 12 (in Chinese)
- [5] Smith G, Atchison D A. Effect of conicoid asphericity on the Tscherning ellipses of ophthalmic spectacle lenses. *J. Opt. Soc. Am.*, 1983, **73**(4):441~445
- [6] Xu Guangdi. *Ophthalmic Optics* (a revised edition) (眼科屈光学(修订版)). Beijing: Military Medicine Press, 2001. 214~249 (in Chinese)

Aberration Analysis and Optical Design of Aspheric Spectacle Lens

Shen Weimin Xue Mingqiu

(Modern Optical technology institute of Soochow University, Suzhou 215006)

(Received 4 June 2001; revised 16 July 2001)

Abstract: The conditions are discussed under which the spherical aberration, coma and distortion of point-focal, i. e. free of astigmatism, the spectacle lenses can be corrected on the basis of the Seidel aberrations of the optical system consisting of eye and aspheric spectacle lens. It is shown that distortions of point focal aspheric spectacles lens can be lower than spherical ones through optimizing their form factor and that only the lens with deep back-surface could be corrected both astigmatism and distortion at the same time. An approach for designing distortion-corrected point-focal aspheric spectacle lenses free of inflection points along their aspheric surface is presented. As an example, various of aspheric lenses with $\pm 6.0 \text{ m}^{-1}$ are obtained. The performance comparison indicated that the aberration correction of aspheric spectacle lens agrees with the predictions of its primary aberration theory.

Key words: spectacle lens; aspheric surface; aberration