

视光学——眼镜光学

孟建国 主编

 东华大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

视光学——眼镜光学/孟建国主编. - 上海: 东华大学出版社, 2004

ISBN 7-81038-643-3

I. 视... II. 孟... III. 眼镜片 - 光学 - 基本知识
IV. TS959.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 083003 号

责任编辑 竺海娟

封面设计 旭 日

视光学——眼镜光学

孟建国 主编

东华大学出版社出版

上海市延安西路 1882 号

邮政编码: 200051 电话: (021) 62193056

新华书店上海发行所发行 苏州望电印刷有限公司印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 5.5 字数: 137 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷

印数: 0 001—2 000

ISBN 7-81038-643-3/R·13

定价: 14.00 元

前 言

眼镜光学是应用光学的一个分支,本书作为视光学教育的丛书之一,以应用光学中几何光学的理论为基础,着重阐明了眼镜镜片作为单一的光学元件及与人眼共轴组合的等效系统的光学特性。

本书主要介绍了球、柱、棱等三种最基本的眼镜镜片光学原理及其计算方法,并对镜-眼组合的矫正原理和不同的镜-眼组合对物体成像的影响,作了一定的探讨。

本书还对视远矫正镜片在视近时的作用,及近用镜或双光镜的配置要点作了定量地阐述,并定性地介绍由眼镜镜片引起的各种像差的初级量。

本书作为视光学系列教育丛书之一,原则上应是在几何光学之后,但对眼镜行业来说是入门的第一课,是最底层的。由于系列将由各特殊的单元组成,因此本书尚不涉及到一些特殊镜片的使用,如正交柱镜、复回交叉柱镜及旋转棱镜等在配镜时的使用,但其基本原理应归属本书的三种基本镜片之内,可作为业内人员的参考书之一。

“眼镜光学”是一门新型的学科,由于本人的学识及教学经验有限,书中疏漏之处在所难免,有待于业内同行批评指正。

在本书的编写过程中,得到了钟荣世教授的审阅指导,其中第一、第二章由顾伟强起草编写,本书的编写参考了吴燮灿老先生的《实用眼镜光学》,并引用了李晓彤老师的《几何光学和光学设计》中的一些公式,在此一并表示感谢。

孟建国

2004-07-16

目 录

第一章 屈光不正及其矫正

1-1 眼	1
1-2 屈光系统的屈光作用	3
1-3 简约眼	5
1-4 屈光不正及其矫正原理	5

第二章 球面镜片

2-1 名词与符号	9
2-2 球面镜片的焦度	10
2-3 焦度的修正	13

第三章 散光镜片

3-1 概 述	16
3-2 柱面镜片的焦度和轴向	16
3-3 与柱轴斜交子午面内的焦度	20
3-4 复曲面镜片	22
3-5 散光镜片的联合与转换	27

第四章 棱镜镜片及棱镜效应

4-1 概 述	44
4-2 棱镜效应的表示方法	46
4-3 棱镜效应的分解与合成	49
4-4 球面镜片及柱面镜片的棱镜效应	55
4-5 棱镜效应所产生的像位移及视觉像移	60
4-6 球柱镜片的棱镜效应	63

4-7	预置棱镜 - 棱镜的厚度差及减薄棱镜	73
第五章 校正眼镜与配戴位置		
5-1	矫正眼镜视远时的等效焦距	76
5-2	配镜位置与镜眼共轴系统的主点位移	80
5-3	矫正眼镜的放大率	86
5-4	矫正眼镜的相对放大率	96
第六章 矫正眼镜在视近时的作用及近用镜与双光镜		
6-1	矫正眼镜视近时的作用	101
6-2	近用镜	105
6-3	双光镜	117
附 1	视近时瞳距的变化	137
附 2	三光镜片及渐变焦镜片简介	139
第七章 眼镜镜片的初级像差		
7-1	球 差	144
7-2	轴外点的单色像差	151
7-3	色 差	163



第一章 屈光不正及其矫正

1-1 眼

人眼是一个复杂的光学系统,呈球状,其右眼的内部构造如图1-1所示,虹膜的中央部分有一圆孔,称之为瞳孔,可随着外界光强的变化,而伸缩直径在 $2\text{mm} \sim 8\text{mm}$ 范围内自主变化,控制进入眼睛的光能。

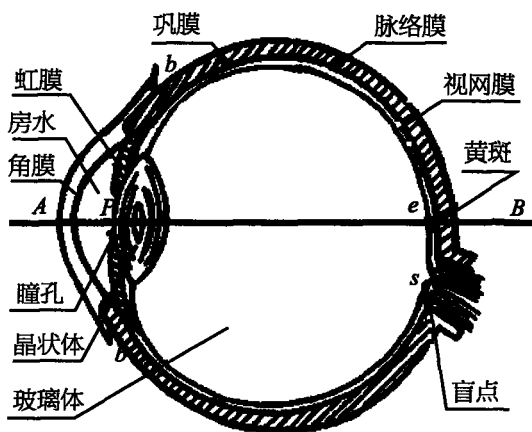


图 1-1 眼球的生理构造

具有屈光作用的依次有角膜、房水、晶状体及玻璃体等,而其中具有独立屈光特征的有角膜和晶状体,角膜具有固定的曲率半径和折射率(但铅垂方向的曲率半径比水平方向略小),晶状体的折射率从外到里逐渐增大,且前后面的曲率半径随睫状肌的调节而有所改变,从而达到对不同视距的调节,在角膜的后表面与晶状体的前表面之间充填

的是房水,晶状体和视网膜之间充填的则是玻璃体。在视网膜上的视觉较敏感部位是 $1\text{mm} \times 0.8\text{mm}$ 的椭圆形黄斑,黄斑密布着具有分辨色彩能力的视锥细胞及能分辨光强的视杆细胞,而在黄斑之外,不仅没有视锥细胞,视杆细胞的密度也急剧下降。在黄斑中心有一块 $0.3\text{mm} \times 0.2\text{mm}$ 的凹部,称为中心凹,是感光细胞最密集,也是视网膜上最灵敏的区域,当眼睛观察外界物体时,眼球会本能地移动,使像成在中心凹上。

眼睛节点(J')与中心凹的连线为眼睛的视轴。

由角膜和晶状体的曲率中心的连线叫光轴,光轴与视网膜的焦点在中心凹与黄斑之间。

眼睛的节点(J 、 J')和主点(H 、 H')均在光轴上。

由此可见,光轴与视轴相交于节点(J'),该夹角约为 $3^\circ \sim 5^\circ$ 。

眼睛的各项光学参数,包括角膜、房水、晶状体、玻璃体的折射率,表面曲率半径及相关距离都可用专门的仪器测出,但各项参数因人而异,不尽相同。根据大量数据统计而得出比较有代表性的标准数值,能满足这些标准数值的眼睛称为标准眼,目前较为通用的是 Gullstrand 标准眼,见表 1-1。

表 1-1 Gullstrand 标准眼的光学参数

眼睛参数	光学参数	静止时	调节时	注
角膜前面	曲率半径 (mm)	7.7	不变	
角膜后面		6.8	不变	
晶状体前面		10	5.33	
晶状体后面		-6.0	-5.33	
角膜	折射率	1.376	不变	* 表层 1.368
房水		1.336	不变	核 1.406
晶状体		*	变化	等效值 1.4085
玻璃体		1.336	不变	

眼睛参数	光学参数	静止时	调节时	注
角膜前点	到角膜顶点的距离 (mm)	0	不变	调节时前房变短 晶状体变厚 位于前房内
角膜后点		0.5	不变	
晶状体前面		3.6	3.2	
晶状体后面		7.2	不变	
物方主点		1.348	1.772	
像方主点		1.602	2.086	
物方焦点		-15.707	-12.397	
像方焦点		24.387	21.016	
物方节点		7.078	6.533	位于晶状体 后表面附近
像方节点		7.332	6.847	
入瞳位置		3.047	2.688	
出瞳位置		3.667	3.212	
物方焦距	焦距(mm)	-17.055	-14.169	
像方焦距	(到主点的距离)	22.785	16.930	
角膜	光焦度 (D)	43.05	不变	
晶状体		19.11	33.06	
全眼		58.64	70.57	

1-2 屈光系统的屈光作用

1. 角 膜

$$r_1 = 7.7\text{mm} \quad r_2 = 6.8\text{mm} \quad n_1 = 1$$

$$n_1' = 1.376 = n_2 \quad n_2' = 1.336 \quad d = 0.5\text{mm}$$

$$F_1 = \frac{n_1' - n_1}{r_1} = \frac{376}{7.7} = 48.83\text{D}$$

$$f_1 = -20.48\text{mm} \quad f_1' = -28.18\text{mm}$$

$$F_2 = \frac{n_2' - n_2}{r_2} = \frac{-40}{6.8} = -5.88\text{D}$$

$$f_2 = -234\text{mm} \quad f_2' = -227\text{mm}$$

$$F = F_1 + F_2 - \frac{d}{n_2} F_1 F_2 = 43.05\text{D}$$

$$f = 23.23\text{mm} \quad f' = 31.03\text{mm}$$

$$l_H' = -f' \cdot \frac{d}{f_1'} = -\frac{n_2'}{F} \cdot \frac{F_1}{n_1'} \cdot d = -0.55\text{mm}$$

如果把角膜简化成单折射面, $n = 1.336$, 则

$$r = \frac{n-1}{n} \cdot f' = \frac{1.336-1}{1.336} \times 31.03 = 7.80\text{mm}$$

2. 晶状体(放松时)

$$r_1 = 10\text{mm} \quad r_2 = -6\text{mm} \quad n_1 = n_2' = 1.336$$

$$n_1' = n_2 = 1.4085 \quad d = 3.6\text{mm}$$

$$F_1 = \frac{n_1' - n_1}{r_1} = \frac{72.5}{10} = 7.25\text{D}$$

$$f_1 = -184.3\text{mm} \quad f_1' = 194.3\text{mm}$$

$$F_2 = \frac{n_2' - n_2}{r_2} = \frac{-72.5}{-6} = 12.08\text{D}$$

$$f_2 = -116.57\text{mm} \quad f_2' = 110.57\text{mm}$$

$$F = F_1 + F_2 - \frac{d}{n_2} F_1 F_2 = 19.11\text{D}$$

$$f' = -f = 69.9\text{mm}$$

$$l_H = f \cdot \frac{d}{f_2} = \frac{n_1}{F} \cdot \frac{F_2}{n_2} \cdot d = 2.16\text{mm}$$

3. 等效组合

$$F_1 = F_{\text{角膜}} = 43.05\text{D} \quad F_2 = F_{\text{晶状体}} = 19.11\text{D}$$

$$n = 1.336$$

$$d = 3.6 - 0.5 + 2.16 + 0.55 = 5.81\text{mm}$$



$$F = F_1 + F_2 - \frac{d}{n} F_1 F_2 = 58.58\text{D}$$

4. 晶状体(调节时)

$$r_1 = 5.33\text{mm} \quad r_2 = -5.33\text{mm} \quad n_1 = n_2' = 1.336$$

$$n_1' = n_2 = 1.4085 \quad d = 4\text{mm}$$

$$F_1 = \frac{n_1' - n_1}{r_1} = \frac{72.5}{5.33} = 13.6\text{D}$$

$$F_2 = \frac{n_2' - n_2}{r_2} = \frac{-72.5}{-5.33} = 13.6\text{D}$$

$$F = F_1 + F_2 - \frac{d}{n_2} F_1 F_2 = 26.67\text{D}$$

1-3 简约眼

为了近似计算方便,可把标准眼简化为一个折射球面,称为简约眼,Gullstrand 简约眼的具体参数如下:

折射面曲率半径 r 5.7mm

像方介质的折射率 n $\frac{4}{3} \approx 1.333$

视网膜的曲率半径 9.7mm

可算得该简约眼的物方焦距为 -17.1mm ,像方焦距为 22.8mm ,
焦度为 58.48D 。

1-4 屈光不正及其矫正原理

眼睛对光线的折射作用叫做**屈光**,一般以光焦度表征其屈光的能力。

为了看清近处的物体,人眼必须增加光焦度,使近处的物体仍能成像于视网膜上,这种随视物的远近而自行变焦的能力称为眼的调

节。眼睛不使用调节时的屈光状态称为静态屈光,眼在使用调节时的屈光状态称为动态屈光。

远点 眼在完全无调节状态下(睫状肌完全松弛),所能看清楚的最远距离的点(常以 R 表示),即远点与视轴和视网膜的交点共轭。通过远点垂直于视轴的平面称为远点平面,或者通过远点、曲率中心在眼球转动中心的球面称为远点球面。

近点 眼在使用最大调节时,所能看得清楚的最近距离的点(常以 P 表示),眼物方主点到近点间的距离(b)称为近点距离,其倒数(B)称为动态屈光度或近点屈光度。

远点到近点之间的距离称为调节距离(d):

$$d = a - b$$

眼从注视远点到注视近点所用的调节量为 Ac :

$$Ac = A - B$$

对于正视眼,远点在无限远,即远处(5m 之外)的平行光能正确会聚于视网膜上(图 1-2-a),或者说视网膜的物方共轭点在无限远。各人的屈光参数可能与标准眼有所差异,但是能满足远点在无限远的眼即为正视眼。反之,则为屈光不正眼,主要分为近视眼和远视眼。

近视眼的远点在眼前有限远(图 1-2-b),远处的平行光或比远点更远的物点成像于视网膜前,在视网膜上仅能形成一个弥散斑,造成视物不清。

远视眼的远点位于角膜后方(图 1-2-c),当眼放松不使用调节时,眼前的物点经眼屈光后,成像于视网膜后,在视网膜上也是个弥散斑,但远视眼可使用调节,使像成于视网膜上。

我们可以这样来理解眼镜对屈光不正的矫正作用:

(1) 由于屈光不正眼在调节完全松弛状态下,只能使具有一定聚散度的物方光束会聚于视网膜上(对于远视眼为聚散度大于零的会聚光线,对于近视眼为聚散度小于零的发散光线),则可利用凸(凹)透镜



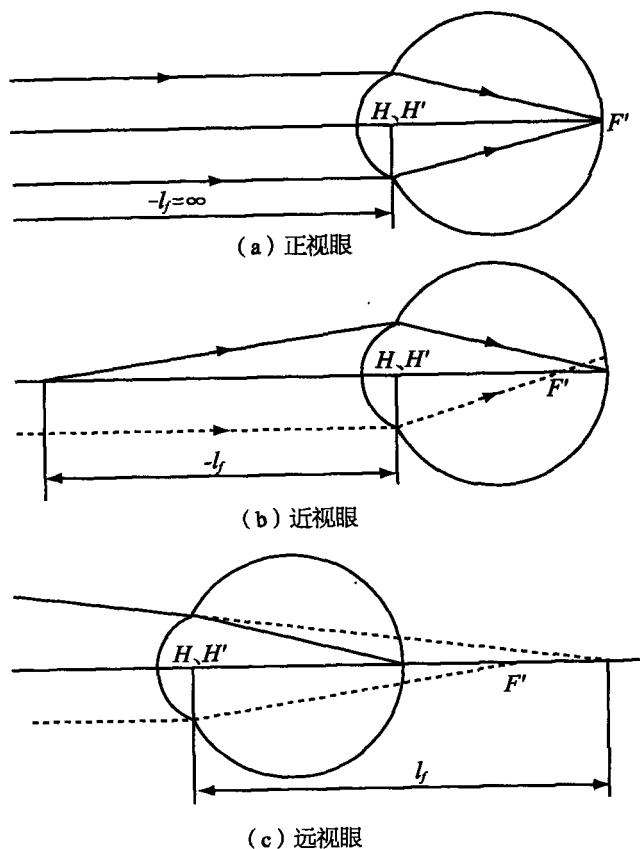


图 1-2

的会聚(发散)作用使远方物点发出的平行光线(会聚度等于零),透过眼镜后,在眼前转换成具有符合眼睛所需的聚散度,使其成像于视网膜上达到矫正作用。

(2) 可将屈光不正眼分成两部分:一为正视部分,另一为屈光不正部分,将屈光不正部分与矫正镜片联合,组成一个等效光组,这一新的光组(类似于望远镜)能使平行光束经其后仍平行地入射于假想的正

视眼上,达到正确成像的目的,也就是以具有一定焦度的镜片抵消眼睛的屈光不正性。

(3)矫正眼镜将无穷远处物体成像于眼睛的远点平面(或远点球面上),屈光不正眼再将这一位于远点(平面)上的像作为物而成像于自己的视网膜上。

上述三种论点只不过是对同一现象的三种解释,在镜片设计或验光过程中,可根据不同的需要任意选择其中的一个论点进行研究。三个论点的一个共同点就是使镜片的后焦点与屈光不正眼的远点相一致,即可达到对远用视力的矫正。





第二章 球面镜片

除熔融型双光镜片外,眼镜镜片一般都具有两个折射面。当两个面均为球面,或其中有一个面为平面(可视为半径无穷大的球面)时,则称之为球面镜片,其作用是使近轴平行光线通过镜片后会聚(或延长会聚于一点),以矫正近视或远视性屈光不正。

当两个折射面其中之一为柱面或球柱复曲面时,则称之为散光镜片,其作用是使近轴平行光线通过镜片后,能会聚(或延长会聚)于两条相互垂直的不同距离的直线,以矫正伴有散光性的屈光不正。

镜片可制成双凸、平凸、双凹、平凹或正、负新月形的透镜。但在实用中,为达到美观及方便的目的,常采用新月形镜片,即镜片两个折射面半径的符号相同,一个面为凸面,朝向物方,称为前面;另一个面为凹面,朝向眼睛,称为后面(也有以远眼面或近眼面加以区分)。有时为磨制成绝对值较大的焦度,也采用平凸或平凹形,甚至略带有双凸或双凹的性质,但原则上是曲率大的凹面朝向眼睛或曲率小的凸面朝向物方。

2-1 名词与符号

镜片两曲率中心的连线称之为**光轴**。

光轴与镜片前表面的交点被定义为**光学中心**,由于一般的镜片中心厚度(与常用透镜相比)都比较小,故可看做通过光学中心的光线都不产生偏折。

包含有光轴的平面称为子午面,而子午面与镜片表面所交的曲线称为子午线。

镜片前表面及后表面与光轴的交点分别称之为前顶点和后顶点,其各自与相应的前焦点或后焦点的距离的倒数为顶焦度(F_V)和后顶焦度(F_V')。当距离是以 m (米) 为计量单位时,焦度(或顶焦度)的单位为屈光度,符号为“D”或“ m^{-1} ”。

在国际眼镜光学中较通行的是以 F 表示焦度,也有以 S 表示球镜(焦)度,以 C 表示柱镜(焦)度。

2-2 球面镜片的焦度

在“几何光学”中,已知单向折射球面的焦度为:

$$F = \frac{n' - n}{r}$$

一般,镜片折射面的一方为空气(折射率 $n_0 = 1.0$),另一方则处于镜片内,折射率为 n ;以 F_1 表示镜片前折射面的光焦度,以 F_2 表示镜片后折射面的光焦度,则:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= \frac{n-1}{r_1} \\ F_2 &= \frac{1-n}{r_2} \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

F_1 、 F_2 也称“弯度”。

简化计算时,可将镜片按薄透镜公式计算:

$$F = F_1 + F_2 = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2-2)$$

当镜片具有一定的中心厚度则应按厚透镜公式进行计算:

$$\begin{aligned} F &= F_1 + F_2 - \frac{d}{n} F_1 F_2 \\ &= (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{(n-1)^2}{n} \cdot \left(\frac{d}{r_1 \cdot r_2} \right) \end{aligned} \quad (2-3)$$

【例如】一新月形镜片的折射率 $n = 1.523$, 前面的曲率半径 r_1



$= 52.3\text{mm}$, 后面的曲率半径 $r_2 = 87.2\text{mm}$, 镜片的中心厚度 $d = 4\text{mm}$, 求此镜片的焦距 F ?

将 r_1 、 r_2 、 n 、 d 分别代入 2-3 式, 可得: $F = 4.158\text{D}$

若不计厚度, 按 2-2 式计算, 则: $F = 4.00\text{D}$, 两者还是有一定差异的。

上述的焦度是焦距(主点到焦点的间距)的倒数, 所以也有称之为主点焦度, 但是在眼镜光学中, 特别是在矫正视力中, 关心的是镜片(后)焦点的位置, 即镜片后焦点与屈光不正眼的远点之间的关系。

镜片的主点位置与镜片的形状厚度及折射率密切相关, 实用中不易确定, 所以常以镜片顶点到焦点的距离作为参考量, 称为顶焦距。它的倒数则称为顶焦度(Vertex Power)。但是, (即便处于空气中,) 对同一镜片顶焦度有两个, 一个为前顶焦度, 即镜片的前顶点到前(物方)焦点的间距(l_F)的倒数; 另一个为后顶焦度, 即镜片的后顶点到后焦距的间距(l_F')的倒数。前、后顶焦度在数值上也不尽相等, 这与焦度在定义与量值上有根本差异。

顶焦度与焦度的关系如下:

$$F_{V'} = \frac{1}{l_F'} = \frac{F}{1 - \frac{d}{n}F_1} \quad (2-4)$$

$$F_V = \frac{-1}{l_F} = \frac{F}{1 - \frac{d}{n}F_2} \quad (2-5)$$

如上例, $F_1 = 10.00\text{D}$, $F_2 = -6.00\text{D}$, $n = 1.523$, $d = 4\text{mm}$,

已得 $F = 4.158\text{D}$

则 $F_{V'} = 4.27\text{D}$

此球面镜片的焦度为 4.16D , 后顶焦度为 4.27D , 按薄透镜($d = 0$)简约计算所得的焦度 F 为 4.00D 。

由此可知, 具有一定厚度的镜片, 后顶焦度($F_{V'}$)与焦度之间是有

一定差别的。

联合 2-3 式及 2-4 式, 可得后顶焦度与面焦度间的关系为:

$$F_V' = \frac{F_1}{1 - \frac{d}{n} F_1} + F_2 \quad (2-6)$$

在磨制镜片时, 均以相对某一固定折射率 ($n_T = 1.523$ 或 $n_T = 1.530$) 的球面焦度作为模具的标称值, 称为模具焦度 F_T ($F_T = \frac{n_T - 1}{r}$ $= \frac{0.523}{r}$), 对于符合该折射率的镜片, 则可根据 2-6 式对已知的注意两个焦度及厚度值求得另一个焦度值。

【例如】已知 $F_{T1} = +6.00D$, $F_{T2} = -10.00D$, $n \neq 1.523$, $d = 1.2mm$

由于 $F_1 = F_{T1}$, $F_2 = F_{T2}$

则可求得

$$F_V' = \frac{F_1}{1 - \frac{d}{n} F_1} + F_2 = \frac{6}{1 - \frac{0.0012}{1.523} \times 6} + (-10) = -3.97D$$

若镜片的折射率与模具对应的折射率不同则应通过下式计算:

$$F_R = \frac{n-1}{0.523} \cdot F_T \quad (2-7)$$

若仍用上例模具, $F_{T1} = +6.00D$, $F_{T2} = -10.00D$, $d = 1.2mm$, 但材料折射率 $n = 1.700$, 则:

$$F_1 = F_{R1} = 8.031D, \quad F_2 = F_{R2} = -13.384D$$

$$F_V' = \frac{F_1}{1 - \frac{d}{n} F_1} + F_2 = \frac{8.031}{1 - \frac{0.0012}{1.700} \times 8.031} + (-13.384)$$

$$= -5.307D$$

用同样曲率半径 ($r_1 = 87.17mm$, $r_2 = 52.30mm$) 的模具, 磨制出的镜片, 其后顶焦度绝对值随材料折射率的增大而增大。且当中心厚度