



■ 视光师培养系列教程

眼镜加工基础与应用

第二版

主 编 王 玲



南京大学出版社

视光师培养系列教程

第二版

井 云 (金陵科技学院)

图书在版编目(CIP)数据

眼镜加工基础与应用 / 王玲主编. — 2 版. — 南京:
南京大学出版社, 2015. 8

视光师培养系列教程

ISBN 978 - 7 - 305 - 15718 - 9

I. ①眼… II. ①王… III. ①眼镜—加工工艺—教材
IV. ①TS959. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 188785 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号

邮编 210093

出版人 金鑫荣

丛 书 名 视光师培养系列教程

书 名 眼镜加工基础与应用

主 编 王 玲

责任编辑 李 磊 吴 汀

编辑热线 025 - 83686531

照 排 南京理工大学资产经营有限公司

印 刷 盐城市华光印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 16.25 字数 406 千

版 次 2015 年 8 月第 2 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 305 - 15718 - 9

定 价 32.00 元

网 址: <http://www.njupco.com>

官方微博: <http://weibo.com/njupco>

官方微信号: njupress

销售咨询热线: (025)83594756

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

第二版前言

《眼镜加工基础与应用》为国内第一本以 2011 版配装眼镜国家标准进行配装眼镜加工与检测的专业书籍,共分 11 章,内容分上篇与下篇。上篇以眼镜材料加工基础为主题,系统介绍了眼镜材料加工光学基础、镜架材料基础、镜片材料基础、眼镜加工仪器基础、眼镜验配处方分析与应用基础、渐进多焦镜加工基础六部分。下篇以眼镜材料加工应用为主题,介绍眼镜材料加工制作、眼镜整形与校配、配装眼镜质量检测、渐进多焦镜加工与应用、眼镜销售应用、眼镜材料加工应用以及专业英语六部分。

本书主要由具有多年眼镜材料加工基础与应用教学经验的一线教师,根据视光学专业对眼镜材料的专业基础知识和应用知识需求而编写,拓宽视光专业就业口径。本书适合于眼视光本、专科,材料科学与工程专业(视光材料方向),市场营销专业(视光材料与应用方向)的本科教学中对眼镜材料及眼镜材料的应用学习。同时本书也可作为眼镜验光员、眼镜定配工、眼镜质检员等专业工种的培训教材。

本书根据现代眼镜材料加工技术的发展和 2011 版配装眼镜标准,更加详细地介绍了渐进多焦镜、棱镜眼镜、偏光眼镜、PC 镜片加工、镜片美容加工工艺等专业知识。同时相对于其他眼镜材料加工专业的书籍,开创性地设置了眼镜材料加工与营销相关的应用内容,并结合最新的行业眼镜整体应用现状,符合视光专业结合实际工作需求培养应用型本科人才的培养宗旨。同时,本书也根据眼镜材料专业工作介绍了眼镜材料加工应用专业英语,为今后毕业生从事眼镜材料行业相关外贸企业工作和眼镜材料应用对外交流工作打下良好的基础。

本书的编写受到金陵科技学院视光工程系的大力支持,李新华、杨晓莉老师参与了大量编写工作,顾凤斌、王娅、吴小雨同学参与了本书的插图绘制,在此一并表示感谢。

2013 年本书版权输出中国台湾,在中国台湾正式公开发行。本书同时也参与了金陵科技学院、江苏省教育厅资助精品教材立项项目评选工作。本书的写作过程中,参阅与应用了许多学者的专著和文章,在此对原作者表示感谢!并对本书写作过程中一直给予支持的南京大学出版社表示感谢!

由于编者水平和时间所限,本书难免存在许多不足之处,敬请广大读者指正。

编者

2015 年 7 月

目 录

上篇 眼镜材料加工基础

第一章 眼镜材料加工光学基础	1
第一节 光学基础	1
第二节 眼镜光学	9
第二章 镜架材料基础	26
第一节 镜架材料	26
第二节 镜架结构与分类	32
第三章 镜片材料基础	34
第一节 镜片材料	34
第二节 镜片加工工艺	43
第三节 镜片表面处理工艺	45
第四节 光致变色镜片	48
第四章 眼镜加工仪器基础	50
第一节 顶焦度计	50
第二节 镜片测度表	58
第三节 瞳距尺与瞳距仪	60
第四节 眼镜镜片透射比测量仪	64
第五节 镜片厚度测量仪	72
第五章 眼镜验配处方分析与应用基础	73
第一节 眼镜验配处方分析	73
第二节 配镜处方填写	76
第六章 渐进多焦镜加工基础	80
第一节 渐进多焦镜市场现状	80
第二节 渐进多焦镜的设计与识别	81
第三节 中老年渐进多焦镜的验配基础	86

下篇 眼镜材料加工应用

第七章 眼镜材料加工制作	95
第一节 镜架测量和镜架几何中心水平距计算	95
第二节 手工磨边工艺	97

第三节	半自动磨边和全自动磨边工艺	102
第四节	全框眼镜的装配与应力仪的使用	108
第五节	半框眼镜的装配与开槽机的使用	112
第六节	无框眼镜的装配与打孔机的使用	116
第七节	双光眼镜的装配	120
第八节	棱镜眼镜的装配	125
第九节	偏光眼镜的装配	129
第十节	染色眼镜的装配	134
第十一节	常见眼镜特殊加工工艺	137
第八章	眼镜整形与校配	145
第一节	眼镜的整形	145
第二节	眼镜的校配	149
第九章	眼镜质量检测	156
第一节	配装眼镜质量检测与控制	156
第二节	配装眼镜质量标准应用	161
第三节	太阳眼镜质量检测	172
第十章	渐进多焦镜加工与质量检测	180
第一节	渐进多焦镜的加工	180
第二节	渐进多焦镜的质量检测	182
第十一章	眼镜销售应用	188
第一节	眼镜销售市场现状分析	188
第二节	镜架的选择与销售	193
第三节	镜片的选择与销售	199
第四节	眼镜营销原理与应用	204
第五节	眼镜销售中的眼镜加工技术原理运用	217
第六节	眼镜营销新商业模式的运用	221
附录		231
附录一	眼镜材料加工与配装专业英语	231
附录二	眼镜加工机械专业英语	233
附录三	眼镜产品与销售专业英语	236
附录四	材料专业英语应用	241
附录五	配装眼镜(中华人民共和国国家标准 GB13511.1—2011)	244
参考文献		254

上篇 眼镜材料加工基础

第一章 眼镜材料加工光学基础

第一节 光学基础

通常情况下,光学可以分为物理光学和几何光学。传统的物理光学包括光的干涉、衍射和偏振、光在各向同性和异性介质中的传播规律等。几何光学是将光看作一条条光线的集合,这些光线遵从直线传播定律、反射定律和折射定律等。几何光学对光学设计的发展具有重要意义。严格来说几何光学是物理光学的极限情况,即在光的传播过程中忽略其波动效应。

一、光波

光的本质是一种电磁波。波长在 380~760 nm 的电磁波可以被人眼所感知,因此称为可见光。可见光随波长变化而引起人眼不同的颜色感觉,其中 555 nm 的光波人眼最为敏感。波长大于 760 nm 的为红外光或红外线,小于 380 nm 的为紫外光或紫外线。光波在真空中的传播速度为 $c=3\times10^8$ m/s,在介质中的传播速度小于 c ,与介质的折射率有关。可见光随波长不同显现各种色彩,可以分为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种颜色,具有单一波长的光称为单色光。具体波长范围如表 1-1 所示。

表 1-1 波长范围与颜色对照表

波长范围(nm)	颜 色	波长范围(nm)	颜 色
723~647	红	492~455	青
647~585	橙	455~424	蓝
585~575	黄	424~397	紫
575~492	绿		

光源是能够辐射光能量的物体。光自光源发出,向周围发散。每一个光源可以看作是由许多发光点或者点光源组成。发光点发散的光波向周围传播时,某一时刻其振动位相相同的点所构成的面称为波阵面。光传播的本质即为波阵面的传播。波阵面的法线即为光

线。波面可以分为平面波、球面波和任意曲面波,与平面波对应的光束为平行光束,与球面波对应的为同心光束。同心光束又分为发散光束和会聚光束。

在自然界中,所有光源发出的光均向周围散开,即全部为发散光束。须采用光学手段改变光的传播状态以得到会聚光束。当光源距离很远时,发散光束的各光线之间接近于平行状态,可以近似认为平行光束。

二、理想光学的基本定律

理想光学把研究光经过介质的传播问题归结为四个基本定律,分别是光的直线传播定律、光的独立传播定律、光的反射定律和光的折射定律。

(一) 光的直线传播定律

光的直线传播定律就是光在各向同性的均匀介质中沿着直线方向传播。光的直线传播定律是光学测量以及相应光学仪器诞生的基础。但是直线传播定律具有局限性,当光的传播过程中遇到小孔或者狭缝时,光将偏离原来的传播方向,即形成了衍射现象。

(二) 光的独立传播定律

光的独立传播定律是指不同光源发出的光在空间某点相遇时,彼此互不影响,各自沿着原来的方向独立传播。在光的交汇点上,光的强度简单叠加。离开交汇点后,各光束按照原来的方向继续传播。这一定律成立的前提是这两束光不具有相干性,即交汇后不会产生干涉现象。

(三) 光的反射定律与折射定律

光的反射定律与折射定律描述的是光传播到两种均匀介质分界面后所产生的一种现象和规律。光的反射定律描述的是当一束光投射到两种均匀介质的光滑分界面上时,一部分光被光滑表面反射回原介质中,其反射角 i_2 与入射角 i_1 绝对值相等,符号相反。在光学中,利用反射现象来增加成像距离或者改变光路方向。

光的折射定律描述的是在两种均匀透明介质的光滑分界面上,光透过光滑表面,进入第二种介质,其折射角的正弦与入射角的正弦比值为一常数,即入射光所在介质的折射率与折射光所在介质的折射率之比值,其公式可表示为:

$$n \sin i_1 = n' \sin i'_1 \quad (1-1)$$

式中: n 代表入射光线所在介质折射率; i_1 代表入射角; n' 代表折射光线所在介质折射率; i'_1 代表折射角。

在视觉光学中,折射定律被广泛应用。实际上视觉光学研究的内容之一就是眼球光学系统对光线的折射作用。在光学成像系统中,折射是主要的,而形成折射的重要条件是要产生介质分界面,即存在折射率差。如果需要产生比较大的光线偏折,则需要产生大折射率差,同时介质分界面形成弯曲。

在两种均匀介质的光滑分界面上,往往是同时产生反射、折射和吸收等多种光学作用。但是有些时候是反射作用明显,有些时候是折射作用占主要成分,有些时候是吸收为

主体。在某种特殊情况下,当光线入射到两种介质分界面时,入射到介质上的光线会全部反射回原来的介质中,而没有折射光产生,这种现象即为光的全反射现象。当光线从光密介质射向光疏介质,入射角增大,当入射角正弦值大于两种介质折射率之比时即会产生全反射现象。

三、光学系统成像

光学系统最重要的作用就是对物体成像。每个物点发出的同心光束,经光学系统后仍然为同心光束,该同心光束的中心就是物点经光学系统的完善像点。对于共轴球面光学系统而言,能够完善成像的条件是当入射光为同心光束时,出射光也为同心光束。完善成像是光学设计的最重要目标。

每一个物点所组成的物体通过光学系统之后依然形成一个由对应物点所成的像,则称这种成像状态为完善成像。光学上称这种物像的一一对应关系为共轭关系。根据同心光束的会聚或者发散情况,物、像有虚实之分。由实际光线相交所形成的点为实物点或者实像点,由光线的延长线或者反向延长线相交所形成的点为虚物点或者虚像点,其实像能用屏幕或者胶片记录;其虚像只能被人眼观察,不能用屏来接收。

(一) 单折射球面成像

光学系统通常由许多个光学元件组成。每个光学元件都是由具有一定折射率的折射介质被球面、平面或者非平面的表面所包围。如果组成光学系统的各个光学元件的表面曲率中心在同一条直线上,则该光学系统称为共轴光学系统,该直线称为光轴。在光学系统中,可以认为平面是曲率半径无穷大的球面,反射是 $n' = -n$ 的折射。因此在光学成像系统中,折射球面具有重要意义。

1. 单折射球面成像

(1) 符号规则

在理想光学系统中,规定光线自左向右传播。则有下列符号规则:

① 线段

(a) 坐标方向:横坐标自左向右为正,反之为负。纵坐标由下向上为正,反之为负。

(b) 沿轴线段:以折射球面顶点为起点,与光线传播方向相同为正,反之为负。

(c) 垂轴线段:以光轴为界,向上为正,向下为负。

② 角度

以锐角来度量,规定顺时针为正,反之为负。在光轴、光线、法线组成的角度中,光轴具有最高优先级,法线优先级最低。即从光轴转向光线、光轴转向法线、光线转向法线来判断所夹的锐角度符号。

③ 折射面间隔

折射球面间隔自左向右为正。折射系统中,折射面间隔恒为正。

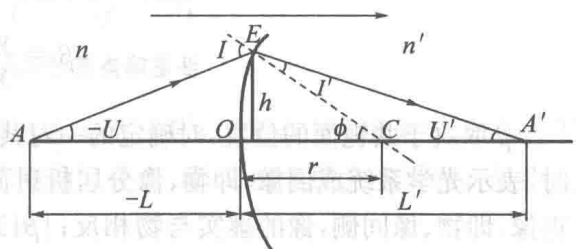


图 1-1 单折射球面符号规则

(2) 近轴区单折射面物像关系及放大倍率

① 近轴区单折射面成像

当光线在光轴附近很小的区域内以细光束成像时,其成像是完善的。此时单折射球面的物像位置关系满足如下关系式:

$$\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r} \quad (1-2)$$

该公式右侧的项 $(n' - n)/r$,表征了单折射球面的光学特性,称为单折射球面的光焦度(或称屈光力),用字母 Φ 表示,其单位为屈光度(D)。

当光线平行于光轴入射时($l = -\infty$),即无穷远轴上物点时,被折射球面所成的像点即为像方焦点(或称后焦点),以 F' 表示。此时的像方焦点位置即为像方焦距(或后焦距),以 f' 表示,其表示式为:

$$f' = \frac{n'r}{n' - n} \quad (1-3)$$

当出射光线在像方无穷远,即像在像方光轴无穷远上时($l' = \infty$),此时对应的物点称为物方焦点(或前焦点),以 F 表示。而此时的物距为物方焦距(或前焦距),以 f 表示为:

$$f = \frac{nr}{n' - n} \quad (1-4)$$

由以上三个公式可知单折射球面的光焦度和焦距之间的关系为:

$$\Phi = \frac{n'}{f'} = -\frac{n}{f} \quad (1-5)$$

焦距或光焦度的正负决定了折射球面对光束的会聚或发散特性。即当 $\Phi > 0$ 时,对光束起会聚作用;当 $\Phi < 0$ 时,对光束起发散作用。

② 单折射球面的放大倍率

在光学系统中,用放大倍率来描述像和物之间的某种关系。通常选择的放大倍率参数有垂轴放大率、轴向放大率和角放大率。

(a) 垂轴放大率:又称为横向放大倍率,描述的是垂直于光轴平面上的像高与物高之比,其数学关系为:

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{nl'}{n'l} \quad (1-6)$$

β 取决于共轭面的位置,对确定的一对共轭面, β 为一常数,这表明像与物相似。当 $\beta < 0$ 时,表示光学系统成倒像,即物、像分居折射面两侧,像的虚实与物一致;当 $\beta > 0$ 时,表示成正像,即物、像同侧,像的虚实与物相反; $|\beta| > 1$ 时,表示成放大像; $|\beta| < 1$ 时,表示成缩小像; $|\beta| = 1$ 时,表示物像大小相同。

(b) 轴向放大率 α :轴向放大率是指对于一定体积的物体,光轴上一对共轭点沿轴移动量之间的关系。如果物点沿轴移动一个微小量 dl ,相应的像移动 dl' ,则比值 dl'/dl 即为这一对共轭点的轴向放大率,即有:

$$\alpha = \frac{dl'}{dl} = \frac{nl'^2}{n'l^2} = \frac{n'}{n}\beta^2 \quad (1-7)$$

当 α 恒为正值时,表示物点沿轴移动时,其像点总是以相同的方向移动。当轴向放大率 α 与垂轴放大率 β 不一致,立方体物体成像后不再是立方体,物体会产生变形。

(c) 角放大率 γ : 指一对共轭光线与光轴的夹角 u 与 u' 之比值,即:

$$\gamma = \frac{l'}{l} = \frac{n'}{n} \cdot \frac{1}{\beta} \quad (1-8)$$

角放大率 γ 表示折射球面将光束变宽或变细的能力, γ 只与共轭点的位置有关,而与光线的孔径角无关。

2. 理想光学系统的基点和基面

对于任意大范围的物体以任意宽的光束成像都是完善的光学系统称为高斯光学系统,也称为理想光学系统。在理想光学系统中,物空间的光线与像空间的光线都具有——对应的共轭关系。大多数光学系统都不可能绝对完善成像,在理想光学系统中采用数学近似方法来分析完善成像的条件。研究高斯光学系统最重要的意义在于评价实际光学系统的成像质量。

采用特殊的共轭点和共轭面来分析理想光学系统的成像性质,使成像问题简化,这些特殊的共轭点和面就称为光学系统的基点和基面。光学系统的基点分为像方基点和物方基点,分别包括主点、焦点和节点,对应的基平面为主平面、焦平面和节平面。

(1) 像方基点和基面

如图 1-2 所示,平行于光轴的人射光线 AB ,通过光学系统出射光线 $B'F'$,与光轴的交点 F' 就称为该光学系统的像方焦点(也称后焦点)。像方焦点是物方无限远轴上物点的共轭像。过像方焦点 F' 且垂直于光轴的平面称为像方焦平面。物方从远处无限发出的与光轴斜交的平行光束,通过光学系统后一定会聚于像方焦平面上的同一点,且不在光轴上。

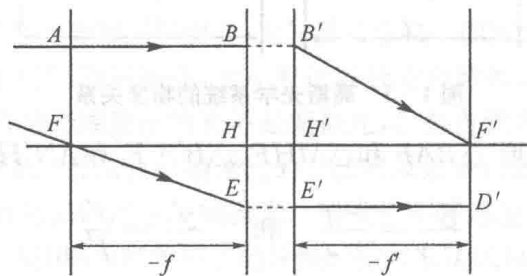


图 1-2 理想光学系统的基点和基面

延长入射平行光线 AB , 反向延长其共轭的出射光线 $B'F'$, 得交点 B' , 过点 B' 作垂直于光轴的平面 $B'H'$, 与光轴相交于点 H' , 则 H' 称为像方主点, $B'H'$ 称为像方主平面。从主点 H' 到焦点 F' 之间的距离称为像方焦距, 用 f' 表示。

(2) 物方基点和基面

像方一条平行于光轴的光线其所对应的物方共轭光线与光轴的交点 F , 称为光学系统的物方焦点(也称前焦点), 物方焦点的共轭像点在像方无限远的光轴上。过物方焦点 F 且垂直于光轴的平面称为物方焦平面。物方焦平面上光轴外的任一点发出的光束, 通过光学

系统后,将以倾斜于光轴的平行光束出射。

延长过 F 点的入射光线 FE , 反向延长其共轭的出射光线 $E'D'$, 得交点 E , 过点 E 作垂直于光轴的平面 EH , 与光轴相交于点 H , 则 H 称为物方主点, EH 称为物方主平面。从主点 H 到焦点 F 之间的距离称为物方焦距, 用 f 表示。

当光学系统的物方和像方介质折射率相同时, 显然 EH 和 $E'H'$ 共轭, 线段 EH 和 $E'H'$ 的高度相同, 其垂轴放大率(也称为横向放大率)为 $+1$ 。

除了主点和焦点之外, 在实际应用中还会用到另外一对共轭点, 即节点。节点满足角放大率为 1 , 即经过物方节点的光线其共轭光线经过像方节点且传播方向不变。在物像两侧介质折射率相同的情况下, 节点与主点重合。

3. 理想光学系统的物像关系

几何光学中的基本内容之一就是分析其物像关系。即对于确定的光学系统, 给定某些参数后, 求解其物体或像的位置、大小、方向等。对于高斯光学系统, 不管其结构如何, 只要知道其基点位置, 其成像特性也就完全确定, 利用三对基点或基面的位置, 可以求解光学系统的物像关系。

(1) 牛顿公式

在牛顿公式中, 物和像的位置是相对于光学系统的焦点确定, 即物距 x 是物方焦点 F 到物点的距离, 像距 x' 是像方焦点 F' 到像点的距离。符号规则是对应焦点为原点, 自左向右为正, 反之为负, 如图 1-3 所示。

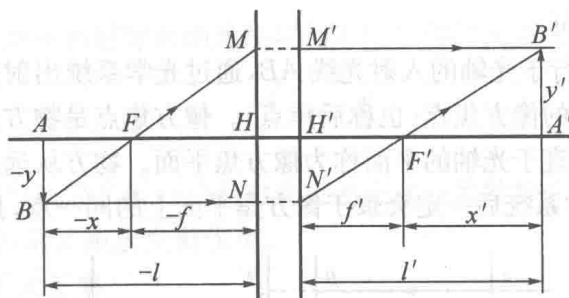


图 1-3 高斯光学系统的物像关系

由图中两对相似三角形 $\triangle BAF$ 和 $\triangle MHF$ 、 $\triangle B'A'F'$ 和 $\triangle N'H'F'$ 可得:

$$\frac{y'}{-y} = \frac{-f}{-x} \quad \text{和} \quad \frac{y'}{-y} = \frac{x'}{f'}$$

由此导出牛顿公式为:

$$xx' = ff' \quad (1-9)$$

(2) 高斯公式

高斯公式与牛顿公式的不同在于物距和像距的起始点不同。高斯公式中的物距 l 是物方主点 H 到物点的距离, 像距 l' 是像方主点 H' 到像点的距离, 自左向右为正, 反之为负。

由图 1-3 所示的关系代入牛顿公式, 可导出高斯公式如下:

当物、像空间两边介质不相同, 即 $n \neq n'$ 时, 即:

$$\frac{f'}{l'} + \frac{f}{l} = 1 \quad (1-10)$$

当物像空间介质折射率相同,如透镜或者光学系统位于空气中时, $f=-f'$ 。

四、光的物理性能

光是一种电磁波,其物理性能主要包括干涉、衍射和偏振。

(一) 光的干涉

光的干涉现象是光的波动性的重要特征。当两个或多个频率相同、振动方向相同、相位差恒定的光波叠加时,某些点的振动始终加强,另一些点的振动始终减弱,形成在该区域内稳定的光强强弱分布的现象,称为光的干涉现象。利用光的干涉原理,可以精确地检测光学零件的表面曲率半径和测量微小厚度。此外,干涉理论被广泛地应用在光学镀膜中。利用光波在薄膜中反射、折射及干涉叠加等达到减反、增反、分光、滤光等作用。

(二) 光的衍射

光的衍射是光的波动性的主要标志之一。按照几何光学直线传播理论,当光通过一个细小圆孔或狭缝时,在接收屏幕上应该形成边界清晰的圆形光斑。但是事实上是有光线进入到几何阴影区,并且形成明暗相间的条纹。这种光线偏离直线传播的现象即为光的衍射。

光学系统对点物所成的像是夫琅和费衍射像。对于两个非常靠近的点物,它们的像即夫琅和费衍射斑重叠而可能导致无法分辨。因此,靠近的两个点物经过光学系统成像时,一个点物衍射图样的中央极大与附近另一个点物衍射图样的第一极小重合为光学系统的分辨极限。要求是两点物之间的角半径大于点物衍射斑的角半径。

(三) 光的偏振

光是一种横波。如果在光分布的平面上,光矢量只沿某一固定的方向振动,这种现象称为偏振。按照光矢量的振动状态,即偏振态,光一般可以分为自然光、线偏振光、部分偏振光、椭圆偏振光、圆偏振光。从普通光源发出的光不是偏振光,而是自然光,必须通过一定的途径才能从非偏振光中获得偏振光。常用获取偏振光的方法有反射及折射产生线偏振光、晶体的二向色性产生线偏振光、双折射晶体产生线偏振光。视光学中普遍应用的偏振片就是利用将各向同性的介质在受到外界作用时所产生的各向异性的特点来制成的人造偏振片。

五、几何像差概述

在理想光学系统中,要求近轴小物体以细光束成像。在实际光学系统中,为了实现一定的成像特性,要求系统有一定的相对孔径和视场。因此,实际光路远远超过近轴区域所限制的范围。这种光学系统中实际像和理想像的差别称为像差。

在实际光学系统中,由一个物点发出的一定大小的光束通过光学系统后不能会聚成为一点,形成一定大小的弥散斑。实际光学系统所成的像都不可能与理想像完全一样,也就是说实际光学系统都存在像差。在几何光学的基础上,用几何的方式来描述像差,因此称为几何像差。几何像差可以分为球差、彗差、像散、场曲、畸变以及色差。

（一）球差

轴上物点以宽光束成像时产生的成像缺陷,称为球差。球差分为轴向球差和垂轴球差。沿光轴方向度量的球差称为轴向球差。在高斯像面上不能成一点像,而是一个弥散圆斑,其半径称为垂轴球差。

轴上点细光束成像是理想的,所以轴上点球差完全是由于光束的孔径角增大而引起,因此球差随光束孔径角的增大而增大。球差是入射高或孔径角的函数,与视场无关。轴上点单色光成像时只有球差。单个正透镜产生的均为负球差,而单个负透镜总是产生正球差,因此正负透镜组合可能校正球差。

（二）彗差

彗差是轴外物点以宽光束成像时所产生的的一种轴外宽光束单色像差。按照位置的差异,彗差可以分为子午彗差和弧矢彗差。子午面上、下光线的交点到主光线在垂直光轴方向的偏离,称为子午彗差。子午彗差表示了这种轴外宽光束在子午面上的不对称程度。弧矢光线经球面折射后出射光线相交点到主光线在垂直于光轴方向的偏离,称为弧矢彗差。

彗差是轴外像差之一,它破坏了轴外视场成像的清晰度。彗差随视场的增大而增大。对于轴上点而言,子午面和弧矢面光线分布一样;对于轴外点而言,弧矢光线对称于子午面,而子午面内的光束的对称性被破坏。

（三）像散和场曲

像散和场曲是轴外靠近主光线的细光束的像差,与入瞳大小无关。

子午光束经球面折射会聚于主光线上的子午焦线和弧矢光束经球面折射会聚于主光线上的弧矢焦线之间的位置差异,称为像散。

子午像面和弧矢像面相对于高斯像面的轴向偏离,分别称为子午场曲和弧矢场曲。像散存在,必然引起像面弯曲。像散为零,子午像面和弧矢像面重合在一起,但依然不在高斯像面上,而是相切于高斯像面中心的二次抛物面。因此为了成像清晰,需要接收像面是一个能对平面物体成清晰像的弯曲面。人眼视网膜的弯曲有效地减小了人眼的像差。

（四）畸变

当视场较大时,像的垂轴放大率会随视场变化而异,使得像相对于原物失去相似性。这种使像变形的成像缺陷就称为畸变。

畸变是主光线的像差。不同视场的主光线通过光学系统后与高斯像面交点高度不等于理想像高。畸变是视场的函数,不同视场的实际垂轴放大率不同,畸变也不同。畸变是垂轴像差,只改变轴外物点在理想像面上的成像位置,使像的形状产生失真,但不影响像的清晰度。

（五）色差

各种色光之间成像位置和成像大小的差别,称之为色像差(简称色差)。色差包括位置色差和倍率色差。位置色差描述两种色光对轴上物点成像位置差异。

倍率色差描述不同色光成像的高度(也即倍率)不同而造成的像大小差异,也称为垂轴

色差。

单透镜不能校正色差,单正透镜具有负色差,单负透镜具有正色差。色差的大小与光焦度成正比,与阿贝数成反比,与结构形状无关。

第二节 眼镜光学

视光学中最常用的光学器件是透镜。透镜是由两个折射面包围一种透明介质(如玻璃、树脂等)所形成的一种光学元件。折射面可以是球面、平面、非球面。透镜按照其折射表面形状不同可以分为球面透镜、柱面透镜、环曲面透镜、非球面透镜。

球面透镜是眼用透镜的主要形式,主要用来矫正眼屈光不正中的近视和远视。球面透镜按照其表面曲率半径和折射率的不同表现为不同的镜度状态,即不同的折光能力。

柱面透镜的成像不同于球面透镜,对平行光束不是形成单一的焦点,而是形成一条与轴平行的焦线。柱面透镜在视光学中主要用来检测散光。如综合验光仪中用于视功能检查的马氏杆就是利用柱镜的成像特点。马氏杆是由细细的圆柱排列起来所制成的透明板,每个圆柱均是凸柱镜,当将其横向置于眼前观看点光源时,由该点光源发出的分散光束经每一凸柱镜折射后,在柱镜的另一侧形成与轴平行的焦线,而眼是通过连续横向排列的柱镜看点光源,故该眼会将光点视为一垂直线。

环曲面透镜的光学作用相当于一个球面透镜与一个柱面透镜的结合,主要用来矫正散光。由于环曲面透镜具有球柱面透镜的光学效果,但是其成像质量、舒适度和镜片美观上都有很大提高,因此视光学中用来矫正散光的镜片都做成了环曲面形式。

非球面透镜的表面形状采用了二次或者高次非球面,根据其表面形态可以分一面为非球面,另外一面是球面的单非球面或者双面均为非球面的双非球面镜片。由于良好的成像质量和较薄的边缘厚度,非球面透镜在近几年的视光学中得到广泛应用。

一、球面透镜面型与光焦度

(一) 球面透镜面型

球面透镜的表面可以是凸球面、凹球面、平面。在不同的组合形式下,形成不同结构形式的透镜,如图 1-4 所示。

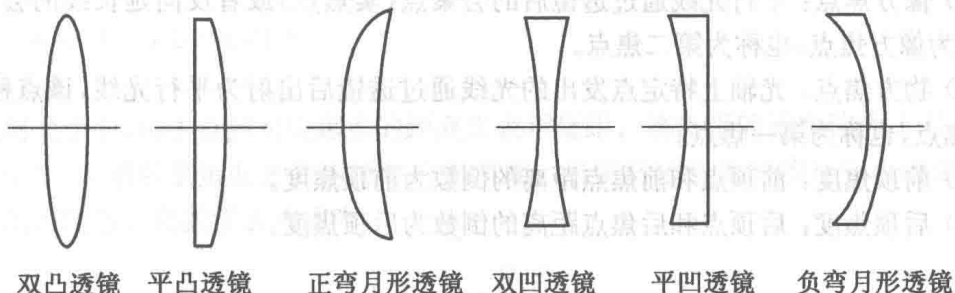


图 1-4 各种类型球面透镜

1. 双凸透镜

双凸透镜两面均为凸球面。双凸透镜在视力矫正眼镜中基本没有应用。

2. 平凸透镜

平凸透镜一面是凸球面,一面是平面。平凸透镜在视力矫正眼镜中主要用来矫正极高度远视。

3. 正弯月形透镜

正弯月形透镜一面是凸球面,一面为凹球面,凸球面的曲率半径小于凹球面的曲率半径。正弯月形透镜在视力矫正眼镜中比较多用于矫正远视及老视。

4. 双凹透镜

双凹透镜的两面均为凹球面。双凹透镜在视力矫正眼镜中少有应用,偶用来矫正极高度近视。

5. 平凹透镜

平凹透镜一面是凹球面,一面是平面。平凹透镜在视力矫正眼镜中主要用来矫正极高度近视。

6. 负弯月形透镜

负弯月形透镜一面是凹球面,一面是凸球面,凸球面的曲率半径大于凹球面的曲率半径。负弯月形透镜在视力矫正眼镜中比较多用于矫正近视。

(二) 眼用球面透镜常用光学名词

(1) 曲率半径(r): 球面弧的曲率半径。

(2) 曲率(R): 球面的弯曲程度, $R=1/r$ 。

(3) 曲率中心: 球面弧的圆心。

(4) 前表面: 眼镜片远离眼球的一面。

(5) 后表面: 眼镜片靠近眼球的一面。

(6) 前顶点: 眼镜片前表面与光轴的交点。

(7) 后顶点: 眼镜片后表面与光轴的交点。

(8) 主光轴: 球镜前后两表面曲率中心的连线。

(9) 光学中心: 光轴与镜片前表面的交点,光线通过该点后光线不发生偏折。

(10) 子午面: 包含有光轴的平面称为子午面。

(11) 子午线: 子午面与镜片表面相交的曲线称为子午线。

(12) 像方焦点: 平行光线通过透镜后的会聚点(实焦点)或者反向延长线的会聚点(虚焦点)称为像方焦点,也称为第二焦点。

(13) 物方焦点: 光轴上特定点发出的光线通过透镜后出射为平行光线,该点称为透镜的物方焦点,也称为第一焦点。

(14) 前顶焦度: 前顶点和前焦点距离的倒数为前顶焦度。

(15) 后顶焦度: 后顶点和后焦点距离的倒数为后顶焦度。

(三) 透镜光焦度

1. 光焦度

透镜对光线聚散度改变的程度称为透镜的光焦度,也称为镜度或者屈光力,其单位为屈光度,用符号 D 表示。屈光度是镜片焦距的倒数,即 $F=1/f'$, 1 屈光度(D)是指焦距为 1 m 的透镜的折光能力。

2. 透镜面镜度

球面透镜有两个表面,每个表面对入射光线具有屈折能力,每个表面对光线屈折的能力用光焦度来表示就称之为面镜度,其数学表达式为:

$$F = \frac{n' - n}{r} = (n' - n)R \quad (1-11)$$

式中: n 和 n' 为该表面左右两侧介质折射率; r 为该表面的曲率半径。

3. 透镜光焦度

透镜的光焦度由组成透镜的各表面的光焦度及中心厚度(表面之间的距离)所决定。

假设组成透镜的两表面光焦度为 F_1 和 F_2 , 由几何光学理论有:

$$F_1 = \frac{n_2 - n_1}{r_1} = (n_2 - n_1)R \quad F_2 = \frac{n_3 - n_2}{r_2} = (n_3 - n_2)R$$

式中: n_1 和 n_2 为第一个表面左右两侧介质折射率; n_2 和 n_3 为第二个表面左右两侧介质折射率。

则透镜光焦度为:

$$F = F_1 + F_2 - dF_1F_2 \quad (1-12)$$

其中 d 为两表面曲率中心距离,即透镜的中央厚度。

当透镜厚度很小,即 d 接近于 0 时,透镜称为薄透镜。薄透镜光焦度即为两表面光焦度之和。在眼镜光学中,多数情况下可以认为眼用透镜为薄透镜。

【例 1-1】 已知角膜前表面曲率半径为 7.7 mm,后表面曲率半径为 6.8 mm,角膜厚度忽略,角膜介质折射率为 1.376,房水折射率为 1.333。求角膜的屈光力。

解: $F = F_1 + F_2$

$$\begin{aligned} &= \frac{n_2 - n_1}{r_1} + \frac{n_3 - n_2}{r_2} = \frac{1.376 - 1}{7.7 \times 10^{-3}} + \frac{1.333 - 1.376}{6.8 \times 10^{-3}} \\ &= 48.8 - 5.8 = 43(D) \end{aligned}$$

4. 顶焦度

在几何光学中,用主点到对应焦点的距离来表示焦距。该焦距的倒数称为主点光焦度。在眼镜光学中,常用后顶焦度来描述镜片的光焦度。所谓后顶焦度即镜片后表面顶点到像方焦点距离的倒数。其数学表达式为:

$$F_v = \frac{F}{1 - \frac{d}{n}F_2} \quad (1-13)$$