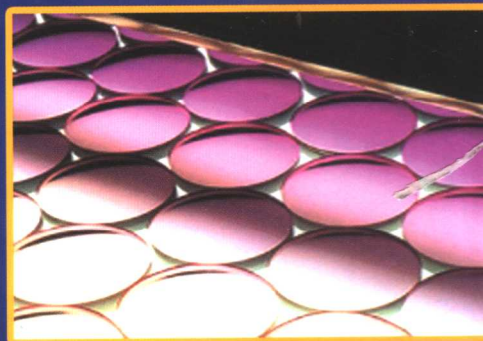



SHIYONG YANJING  
GUANGXUE



# 实用 眼镜光学

主 编 吴燮灿

副主编 王 竞 沈 晔

 北京科学技术出版社

# 实用眼镜光学

吴燮灿 主编

王竞 沈晔 副主编



北京科学技术出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

实用眼镜光学/吴燮灿主编. —北京:北京科学技术出版社,  
2007. 2

ISBN 978 - 7 - 5304 - 3357 - 7/R · 885

I. 实... II. 吴... III. 眼镜学 - 几何光学 IV. R778.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 049329 号

## 实用眼镜光学

---

主 编: 吴燮灿

责任编辑: 李金莉

责任校对: 黄立辉

封面设计: 耕者设计工作室

出 版 人: 张敬德

出版发行: 北京科学技术出版社

社 址: 北京西直门南大街 16 号

邮政编码: 100035

电话传真: 0086 - 10 - 66161951 (总编室)

0086 - 10 - 66113227 (发行部)

0086 - 10 - 66161952 (发行部传真)

电子信箱: bjkjpress@163.com

网 址: www.bkjpress.com

经 销: 新华书店

印 刷: 保定市中画美凯印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

字 数: 560 千

印 张: 24.25

版 次: 2007 年 2 月第 1 版

印 次: 2007 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5304 - 3357 - 7/R · 885

---

定 价: 75.00 元



京科版图书, 版权所有, 侵权必究。

京科版图书, 印装差错, 负责退换。

# 编者名单

主 编

吴燮灿

副主编

王 竞 沈 晔

编者(以姓氏笔画为序)

王 竞 沈 晔 杜持新 李元元

吴燮灿 吴星路 姚 克 顾扬顺

## 内 容 提 要

本书是眼科医师、视光学师、验光配镜工作者和制镜工程技术人员的一种重要工具书。全书共十七章约 62 万字,240 幅插图。第一章总论简要地介绍基础光学、眼的生理光学和眼屈光不正的一些概念。第二章至第五章重点叙述矫正眼镜的作用原理、球面透镜、圆柱镜和棱镜的一般性能及其和眼联合后的光学效应。第六章至第十章详述各类框架眼镜的光学性能、一些缺点及其消除方法,其中包括双焦眼镜、多焦眼镜、贴附薄片眼镜和等像眼镜等。第十一章重点讲述眼屈光的临床检查及其意义。第十二章重点介绍各种矫正眼镜的配镜原则,以供验光配镜工作者、卫生保健工作者和眼科医师作为配给眼镜的重要参考依据。第十三章为角膜接触镜,第十四章为人工晶状体的相关内容。第十五章讲述了各种屈光手术的光学原理。第十六、十七章分别介绍了着色防护眼镜和低视力助视器。全书以简洁的文字通过深入浅出的讲述,并运用案例联系实际,力求将光学原理具体应用于配镜工作。

# 前 言

眼镜(spectacle)主要是用于矫正眼屈光不正(矫正眼镜)和一些视觉功能异常(调节障碍和双眼视功能不全等)的透镜或透镜组合,是提高和改善视觉功能的医疗工具之一,也是现代社会应用最广泛的一种医疗措施和医疗保健用品,与人们的生活和工作有着密切的联系。早在公元前500年左右,我国已有用水晶治疗眼疾的记载,很可能就是现代眼镜的雏形。13世纪初期,我国已有用水晶制成凸球面透镜以帮助老年人阅读书籍的记载,但直至15世纪以后,才正式应用“眼镜”这个名称。以后,玻璃制造方法的发明,研磨技术的改进,眼镜制作逐渐普及。随着科学的进步,塑料工业的迅速发展,眼镜的制作工艺更趋精良,眼镜的应用也更为广泛。

由于眼镜是透镜和视觉器官密切联结的一种助视工具,而不是单纯的透镜,因此,眼镜光学并不等同于透镜光学,而是一门生理学和物理学紧密结合的新兴边缘学科。只有掌握了眼镜光学知识,辅以丰富的临床经验和优良的验配服务,才能配好一副既能提高视觉功能又美观大方的眼镜。“眼镜光学”是一门新兴学科,它的具体内容、包含范围、涉及的广度与深度都还在发展中,因而目前有关“眼镜光学”的专著较为稀少。由于眼镜市场是一个十分可观的商业领域,据不完全统计,当今我国眼镜市场年需要量在7500万~8000万副以上,大量形形色色的眼镜店遍及城乡,但据各地调查发现,一些商业验光配镜存在不少质量问题,因配镜不当给配戴者带来不良后果的事例时有发生。有鉴于此,作者等将数十年积累的资料和经验,结合国内外有关资料,编写成此书,以供业界参考。

参加本书编写的人员多在医疗、教学、科研第一线工作,任务繁重,加之我们的知识和经验也较局限,科技发展日新月异,限于我们的水平,本书在编写过程中难免存在不少疏漏和不足之处,尚望读者不吝指教,以便今后修改补充。

吴燮灿

于浙江大学医学院附属第一医院

2004年8月

# 目 录

## C O N T E N T S

<b>第一章 总论</b> .....	王 竞	1
第一节 基础光学.....		1
第二节 眼的生理光学.....		6
第三节 眼屈光和屈光不正.....		11
<b>第二章 矫正眼镜的作用原理</b> .....		17
<b>第三章 球面透镜</b> .....	吴燮灿	21
第一节 球面透镜的型别.....		21
第二节 球面透镜常用名词.....		21
第三节 眼镜折射力.....		23
第四节 球面透镜的联合与转换.....		26
第五节 眼镜片屈光度的临床测定法.....		31
<b>第四章 圆柱透镜</b> .....	吴燮灿	38
第一节 圆柱透镜的基本知识.....		38
第二节 圆柱透镜的联合.....		46
第三节 圆柱透镜的转换.....		61
第四节 球柱透镜的成像.....		64
第五节 镜与眼的联合.....		69
<b>第五章 眼科棱镜</b> .....	吴燮灿	80
第一节 棱镜概念.....		80
第二节 棱镜的组合与分解.....		88
第三节 球面透镜的棱镜效应.....		91
第四节 球柱透镜的棱镜效应.....		91
第五节 眼镜的棱镜效应所产生的几种常见现象.....		95
第六节 眼镜偏心和眼球回转角.....		102
<b>第六章 镜-眼距</b> .....	吴燮灿	109
第一节 镜-眼距和等效度.....		109
第二节 阅读眼镜.....		116
第三节 镜-眼距和主点移位.....		121
第四节 矫正眼镜的调节变量.....		124

<b>第七章 矫正眼镜的放大作用</b> .....	吴燮灿	127
第一节 球面透镜的物像关系 .....		127
第二节 视网膜上像的大小 .....		130
第三节 盖氏望远镜 .....		131
第四节 矫正眼镜的放大倍率 .....		132
第五节 矫正眼镜的相对放大倍率 .....		137
第六节 散光矫正眼镜的放大与视物变形 .....		141
<b>第八章 斜向散光和眼镜倾斜</b> .....	吴燮灿	146
第一节 斜向散光 .....		146
第二节 眼镜片的曲度调配 .....		148
第三节 球柱透镜的斜向散光 .....		154
第四节 眼镜倾斜的屈光改变 .....		156
<b>第九章 双焦及多焦眼镜</b> .....	吴燮灿	159
第一节 双焦眼镜 .....		159
第二节 三焦眼镜 .....		173
第三节 多焦眼镜 .....		177
第四节 变焦眼镜 .....		177
<b>第十章 几种特殊眼镜</b> .....	吴燮灿	178
第一节 等像眼镜 .....		178
第二节 Fresnel 眼镜 .....		187
第三节 非球面透镜 .....		193
<b>第十一章 眼屈光的临床检查</b> .....	顾扬顺 杜持新	197
第一节 病史及一般检查 .....		197
第二节 屈光的主观检查法 .....		206
第三节 屈光的客观检查法 .....		211
第四节 眼屈光参数的检查 .....		223
<b>第十二章 配镜原则</b> .....	吴燮灿	231
第一节 远视眼的配镜 .....		231
第二节 近视眼的配镜 .....		234
第三节 散光眼的配镜 .....		239
第四节 屈光参差眼的配镜 .....		245
第五节 白内障患者的配镜 .....		254
第六节 无晶状体眼的配镜 .....		256
<b>第十三章 角膜接触镜</b> .....	吴星路 李元元	269
第一节 角膜接触镜的光学原理 .....		269
第二节 硬性角膜接触镜 .....		278
第三节 软性角膜接触镜 .....		281
<b>第十四章 人工晶状体</b> .....	姚克	296
第一节 人工晶状体历史简介 .....		296



第二节	人工晶状体的光学性质 .....	299
第三节	人工晶状体屈光度计算 .....	301
第四节	人工晶状体放大率及等视像计算法 .....	313
第五节	影响人工晶状体计算准确性的因素 .....	316
第六节	特殊人工晶状体的光学设计 .....	317
<b>第十五章</b>	<b>屈光手术的光学原理</b> .....	<b>沈 晔 320</b>
第一节	角膜屈光手术 .....	320
第二节	有晶状体眼人工晶状体 .....	325
<b>第十六章</b>	<b>助视器</b> .....	<b>吴燮灿 338</b>
第一节	低视力 .....	338
第二节	助视器概述 .....	339
第三节	远用光学助视器 .....	339
第四节	近用光学助视器 .....	341
第五节	近用电子式助视器 .....	361
第六节	其他类型助视器 .....	362
<b>第十七章</b>	<b>着色防护眼镜</b> .....	<b>吴燮灿 364</b>
第一节	电磁谱 .....	364
第二节	眼镜片的反射与吸收 .....	364
第三节	着色眼镜 .....	366
第四节	反射眼镜 .....	369
第五节	太阳眼镜 .....	369
第六节	光变色眼镜 .....	370
第七节	偏振眼镜 .....	371
第八节	着色眼镜的适应证 .....	371
附录一	眼镜片的防碎 .....	373
附录二	我国眼镜片国家标准中一些允许误差值(1995) .....	374
附录三	希腊字母表 .....	375
<b>主要参考文献</b>	.....	<b>376</b>
<b>编后记</b>	.....	<b>377</b>

# 第一章 总 论

## 第一节 基础光学

### 一、光的性质

光是一种电磁波,按照波长和频率不同,可将所有电磁波排列成图,称为电磁谱(图 1-1-1)。人眼可见的光,只是谱中的一小部分。它的波长在 400 ~ 750nm 之间。由于人类可见光波的波长很短,因而一般用“ $\mu\text{m}$ ”和“nm”为长度单位。

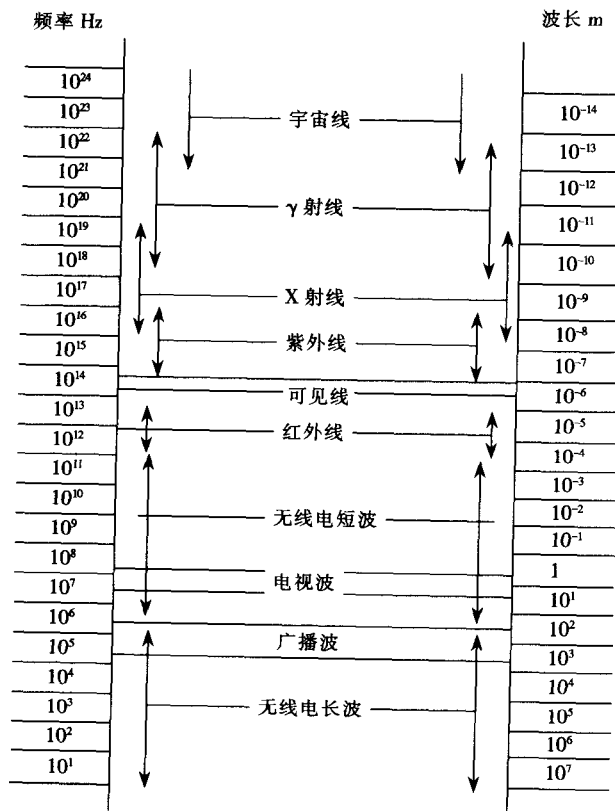


图 1-1-1 电磁波谱

$$1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m} = 10^{-4}\text{cm}$$

$$1\text{nm} = 10^{-9}\text{m} = 10^{-7}\text{cm}$$

可见光依波长不同,显现各种色彩,它们大体上可分为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫各色(表 1-1-1)。

表 1-1-1 波长与色

波长范围(nm)	大致波长(nm)	颜色
723 ~ 647	700	红
647 ~ 585	616	橙
585 ~ 575	580	黄
575 ~ 492	510	绿
492 ~ 455	470	青
455 ~ 424	440	蓝
424 ~ 397	420	紫

各色光互相混合,可形成新的颜色,日光中包含各种波长的光,应用三棱镜分光,可使各不同波长的光依次排列显现。

波长大于 723nm(723 ~ 1000nm)的光称为红外光或称红外线。波长短于 397nm(100 ~ 397nm)的光称为紫外光,或称紫外线。

## 二、光的传播

光自发光体发散出,发光体本身就是光源。自点状光源发出的光,可用以点状光源为中心的同轴球面表示它的波阵面。离光源近的波阵面曲度半径短,曲率高,离光源很远的波阵面,曲度半径长,曲率低,可以将其看成是一些平面。一般情况下,光的传播常用直线表示,这就是光线。光线实际上就是和波阵面垂直的直线,也就是波阵进行的方向。相邻许多光线的集合束,称为光束。任何自点状光源发出的光束中各光线走向散开,这种光束称为分散光束。光束中各光线互相平行的光束,称为平行光束。光束中各光线如向空间某一点集合,则此光束称为集合光束(图 1-1-2)。

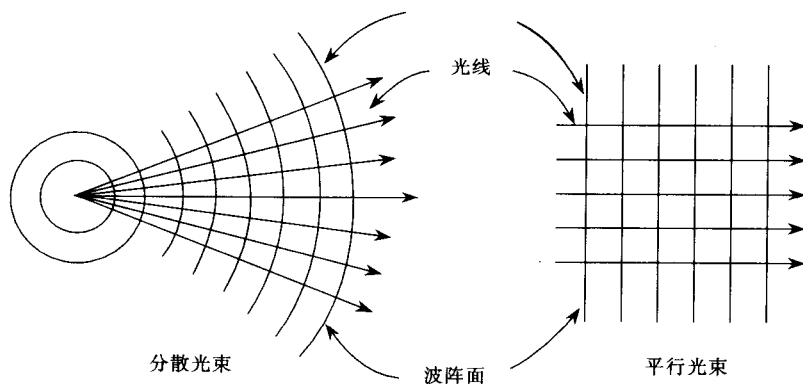


图 1-1-2 波阵面和光束

光的传播速度很快,在真空中光速每秒钟为  $3 \times 10^8$  m,光波每秒钟振动的次数称为频率。频率以赫(Hz)为单位。

$$\text{频率} = \frac{\text{光速}}{\text{波长}}$$

光在传播过程中如遇到物体,可发生透过、反射和吸收三种现象。凡能透过光的物质,统称为媒质。在结构均一的媒质中,光线一般仍作直线方向行进,但在两媒质界面处进入第二媒质时,按媒质折射率(即屈光指数)不同,光线作一定角度的折射后再通过第二媒质,因而媒质一般又称为“屈光媒质”。在媒质交界面上,有一部分光反折回第一媒质,这就是反射。此外还有一部分光被物质吸收,按能量守恒定律,吸收的光能就转化为其他能量。物质的性质,光的波长、光的投射情况不同,光透过、反射和吸收的分量亦各不相同。

### 三、光的干涉、衍射和偏振

既然光是电磁波的一种,是一种波动,因而它就具有干涉、衍射、偏振等特性。

#### (一)光的干涉

由普通光源发出的光,是各种不同波长光的综合,是混合光。单一频率单一波长的光,称为单色光波。单色光波和其他电磁波一样,也是一正弦波。绝对单一的单色光波很难求得。目前以激光光波最接近纯单色光波。两个以上的单色光波在空间相遇,则波与波每点互叠。波的正相相遇则加强,负相相遇而更负,正相和负相相遇则互相抵消,这种现象称为光波的叠加。如果两单色光波波长相等而相遇,两波列在空间任一点叠加时其位相差值保持一定而不随时间变化,两波列在空间任何一点产生的振动位移方向相同,则于接受屏幕上出现明暗相间的条纹,这种现象称为光的干涉。利用光的干涉现象,不但可以准确地检测光学仪器中玻璃表面的曲率半径是否符合要求,轴承钢珠质量优劣等,还可用以测定微小的厚度改变,具有实用价值。

#### (二)光的衍射

按几何光学理论,光是直线传播的,因而在光的投射过程中如遇一不透明物体阻挡,则在接受屏幕上形成边界清晰的影。影部完全无光,而明部则均匀照明。如光通过遮板上的一小圆孔,接收屏幕上应是一边界清晰的圆形小亮斑。但事实上当光通过不透明遮板上的一小圆孔后,接受屏幕上并不是一个边界清晰的小圆斑,而出现光向影内绕,在原应完全黑暗的部位,出现淡淡的明纹环,这些环越向外越变暗。在相应于小圆孔直径范围内的明亮部,亦呈亮的明环和暗环相间的环状层,而中心呈均匀的明圆斑。这种现象好像光线绕过了小圆孔边缘,因而,以往称之为光的“绕射”,现则通称为“衍射”(diffraction)。衍射是光通过细隙或小孔时,子波向各方面传播及各子波互相干涉的结果。

#### (三)光的偏振

光是一种横波。如垂直于纸面正对观察眼射来的一束光,则其波阵面可画成图 1-1-3 及图 1-1-4。中心黑点代表其中一条光线的端视面。如将大部分方向的波阵除去而只留下一定方向波动,就称为偏振。只有一方向振动的光,称为偏振光。振动方向非常局限而只限单一直线方向振动的光,称为线状偏振光。

消除普通光某些方向的振动,使光波的振动沿某一特定方向偏振的方法很多。最常用的致偏振方法有如下几种:

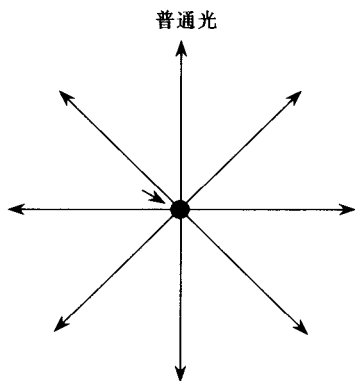


图 1-1-3 普通光

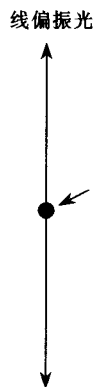


图 1-1-4 偏振光

1. 反射 自然光(普通光)以一定角度的投射角投向一平面时,一部分光透过,另一部分光自面反射。当投射角达一定大小时,反射光就全部成为偏振光,其波动振向和投射面(包含投射光和法线的面)垂直。由于反射光的总量只有 15%,所以偏振反射光很暗。透射光中包含 100% 的平行于投射平面的偏振光和 85% 的垂直于投射平面的偏振光,所以透射光很明亮。

2. 二向色性双折射晶状体 普通光通过一切透明体(如玻璃)时,不起偏振作用,但通过某些晶状体时,则可分解为振向互相垂直的两束偏振光。这种晶状体称为双折射晶状体。有的双折射晶状体对某一振向的偏振光吸收量较大,而对另一径向的偏振光吸收很少,这种双折射晶状体称为二向色性双折晶状体。增加二向色性双折射晶状体的厚度,使某一径向振动的偏振光被全部吸收,而只允许某一径向偏振的偏振光通过。普通光通过增厚的二向色性双折射晶状体后,透射出来的就成了偏振光(图 1-1-5)。

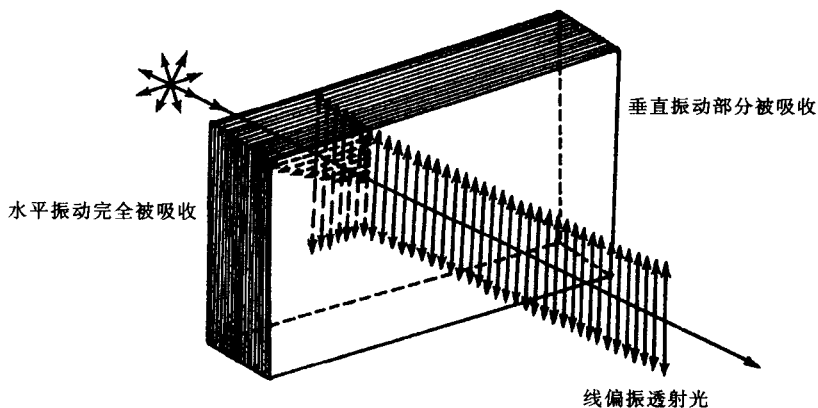


图 1-1-5 二向色性双折射晶状体致成线状偏振光

3. 聚乙烯醇(polyvinyl alcohol,PVA)偏振光 聚乙烯醇的分子具有二向色性双折射晶体的偏振特性。将 PVA 染色,层叠在醋酸纤维素丁酸( cellulose acetate tyryrate)所制成的支承片上,这种偏振片,能使普通光通过后变成线偏振光。

所有能使普通光透过后变成偏振光的透视镜片,统称为起偏振片(或称起偏振镜)。普通光通过良好的起振片 A 后,成为偏振光。如再通过另一偏振化方向与片 A 一致的偏振片 B,则出来的偏振光增强。如 A 片和 B 片偏振化方向互相垂直,则最后无偏振光透过。B 片即称为检偏振片,或称检偏振镜。

起偏振片和检振片常用于眼科各种诊疗仪器(如眼底镜、眼底照相仪、裂隙灯显微镜、同视机、体视镜等)。于日常生活中则用于观察立体电影等。单独检偏振片也常用做太阳眼镜。当日光斜照时,水面反射大量水平径向偏振的偏振光使人“耀眼”,戴上一副用垂直径向偏振的偏振片眼镜,可完全阻止水平向偏振的光线透过,以避免“耀眼”感。

#### 四、光的度量单位

##### (一) 光强度和光流量

点状光源的发光强度,一向以“烛光”(candle)为单位。所谓一“烛光”,是以一支用鲸蜡制成的蜡烛,每小时内燃烧鲸蜡 120grain (1grain = 0.065g) 时所发出的光能。这一标准,后经精确校定,称为国际烛光(international candle)。

一国际烛光的点光源发出的光,向四面八方辐射,每一立体角内通过的光流量,称为一“流明”(Lumen, Lm)。一圆球的总面积为  $4\pi r^2$ , 因而一烛光点光源发出的光流量为  $4\pi = 12.566$  个流明。

如以每一单位立体角内的光流量表示光源的发光强度,则发光强度的单位称为“坎德拉”(Candela),简称“坎”,符号为 Cd。一立体角内通过 1 流明时的光强度为 1 坎德拉。

##### (二) 照度

光投射到单位面积上的流量,称为照度。照度的单位是勒克斯(Lux, Lx)。每平方米面积上接受的光流量为 1 流明的照度,为 1Lux。

勒克斯亦称为米烛光。英制以呎为单位,每平方呎面积上接受 1Lm 光流量的照度,称为 1 呎烛。

光源为点状光源时,光呈放射状散开,因而单位面积上照度与距离平方的倒数成正比(图 1-1-6),距离增大,照度迅速下降。

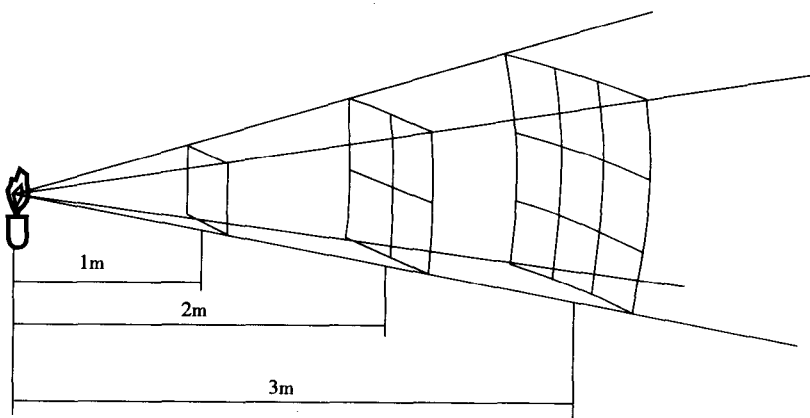


图 1-1-6 照度与距离平方的倒数成正比

### (三)亮度

被光照射物体的亮度(brightness),亦称明度。不但和照度有关,还和物体表面反射性能和光的投射方向有关。亮度是眼对物体表面明暗感觉的依据。亮度的单位较多,常用的有尼特、朗伯和呎朗伯等。

尼特(Nit) 每平方米面积光强的坎德拉值,称为尼特。 $1\text{m}^2$  面积 1 坎德拉光的亮度为 1 尼特。

朗伯(Lambert)  $1\text{cm}^2$  面积反射出 1 流明的光流量时,这一物体表面的亮度称为 1 朗伯,简称为 1L。朗伯的千分之一称为毫朗伯(milli-Lambert, m-L)。

呎朗伯(foot-Lambert) 1 平方呎面积反射出 1 流明的亮度,称为 1 呎朗伯,简称为 ft-L。

此外,还有 stilb、Apostilb 等亮度单位。

## 第二节 眼的生理光学

### 一、眼球的光学参数

眼球光学参数包括各折射面的曲率、折射面之间的距离和媒质折射率。

1. Purkinje 像 物体发出的光线到达眼球各折射面时,一部分光线反射回来,形成反射像,即 Purkinje 像。Purkinje 像广泛地应用于角膜和晶体曲率的测量,可以用照相机把 Purkinje 像拍摄下来,便于精确地测量。

2. 各屈光媒质的光学参数(表 1-2-1)

表 1-2-1 眼内屈光媒质的光学参数

	角 膜	前 房	晶 状 体	玻 璃 体
厚度	活体光学测定中央厚度 0.583 ~ 0.641mm		厚度 4~5mm	
	尸检测定 0.8mm	深度 2.75mm ± 0.03mm	前面曲率半径 9mm;	
	周边厚度 1.1mm	房水屈光指数 1.334	后面 5.50mm	屈光指数 1.337
曲率半径	前面 7.84mm;		屈光指数 1.333	
	后面 6.80mm		屈光力 19.11D	
屈光力	48.38D 屈光指数 1.376			

### 二、模型眼与简略眼

眼球可看成是由两个光学系统构成,即角膜和晶状体。角膜屈光力占眼球总屈光力的 70% 以上。为进行眼球光学系统的理论研究,曾有多种模型眼问世。

1. Gullstrand 模型眼 Gullstrand 模型眼较为精密,有 6 个折射面,包括角膜前、后面,晶状体皮质前、后面和晶状体核前、后面(图 1-2-1)。

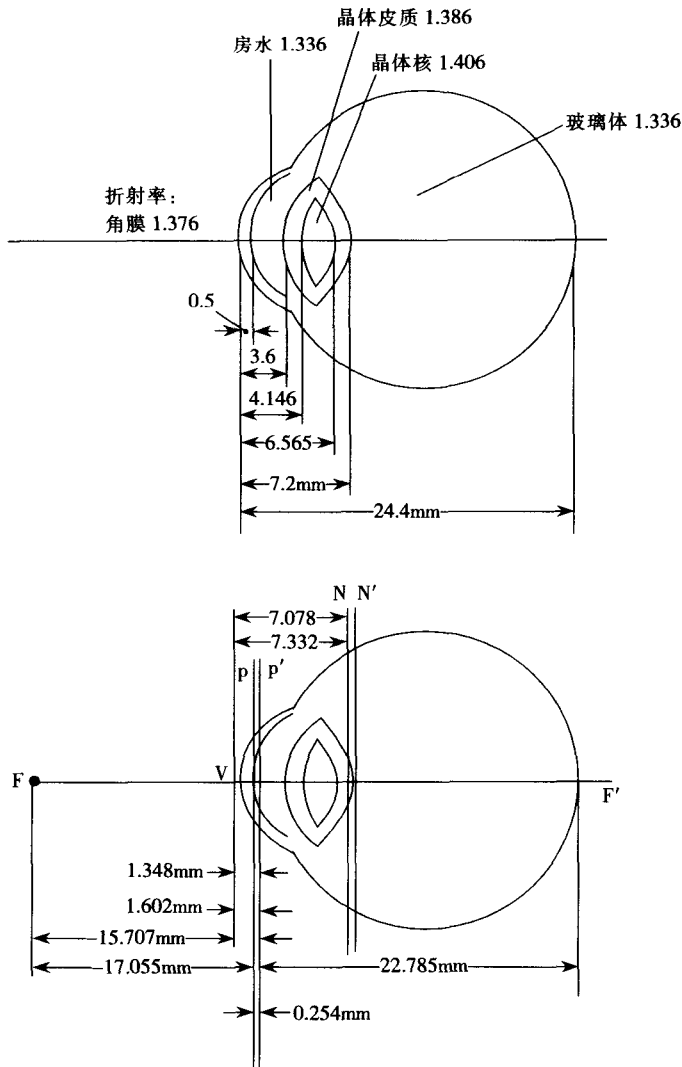


图 1-2-1 Gullstrand(1号)模型眼

模型眼的折射面曲率、位置和媒质折射率为测量值,其光学数据如屈光力、主点、焦点等为计算值。计算可应用公式或作图法(表 1-2-2)。

表 1-2-2 Gullstrand 模型眼数据

	调节放松时	极度调节时
折射率		
角膜	1.376	1.376
房水、玻璃体	1.336	1.336
晶状体皮质	1.386	1.386
晶状体核	1.406	1.406
折射面位置(至角膜前顶点)		



续表

	调节放松时	极度调节时
角膜前面	0	0
角膜后面	0.5	0.5
晶状体皮质前面	3.6	3.2
晶状体核前面	4.146	3.8725
晶状体核后面	6.565	6.5275
晶状体皮质后面	7.2	7.2
折射面曲率半径		
角膜前面	7.7	7.7
角膜后面	6.8	6.8
晶体皮质前面	10.0	5.33
晶体核前面	7.911	2.655
晶体核后面	-5.76	-2.655
晶体皮质后面	-6.0	-5.33
屈光力		
角膜前面	48.83	48.83
角膜后面	-5.88	-5.88
晶体皮质前面	5.0	9.375
晶体核	5.985	14.96
晶体皮质后面	8.33	9.375
角膜系统		
屈光力	43.05	43.05
第1主点位置	-0.0496	-0.0496
第2主点位置	-0.0506	-0.0506
第1焦距	-23.227	-23.227
第2焦距	31.031	31.031
晶体系统		
屈光力	19.11	33.06
第1主点位置	5.678	5.145
第2主点位置	5.808	5.255
焦距	69.908	40.416
整个眼球光系		
屈光力	58.64	70.57
第1主点位置	1.348	1.772
第2主点位置	1.602	2.086
第1焦点位置	-15.707	-12.397
第2主点位置	24.387	21.016
第1焦距	-17.055	-14.169
第2焦距	22.785	18.930
视网膜中心位置	24.0	24.0
轴屈光方位	+1.0	-9.6
近点位置		-102.3

2. 简略眼 眼球光学系统也可以简略为单一球面而又保持其光学性质,曾设计成多种简略眼,以 Emsley 简略眼为例作一介绍。

Emsley 简略眼的折射球面的曲率半径为  $50/9\text{mm}$ , 折射率为  $4/3$ , 眼轴长度为  $200/9\text{mm}$ , 其屈光力为  $+60\text{D}$ 。这些数据便于记忆。假设的瞳孔位于主面上。简略眼虽然极简化,但它能以计算视网膜成像的大小和研究屈光不正的成像过程(图 1-2-2)。