

几何光学

人类通过眼睛获取大量外界信息.从生物学的角度看,眼睛是用于感知光,并对之编码通过视神经传递至大脑的视觉和其他的区域.在一些低等生物中,最简单的“眼睛”仅能感受环境中光的存在,而人类和大多数的动物种类的眼睛拥有复杂的光学系统能够解析图像.眼球的构造类似一架精密的照相机,忠实地记录着物体的轮廓、纹理、色彩等光学特性,同时记录的影像也会出现模糊、失真等现象.

光学元件(如平面反射镜、透镜等)的性质都可以用光的波动特性完全导出,然而这种计算通常十分复杂,需要追踪波面每一点在光学器件上的传播规律.当光学元件的尺寸远远大于光的波长时,这类问题的研究可以大大简化.在物理学中都可以通过光在透明介质中的传播规律加以解释,并用几何学方法来研究和计算,称为几何光学(geometrical optics).

因此,本章以光的直线传播为基础,研究光在透明介质中的传播规律,不涉及光的波动本质.主要讨论球面折射、透镜成像的规律,并介绍眼睛、放大镜等光学系统的基本原理.

6.1 球面折射

6.1.1 单球面折射

当两种媒质的分界面是球面的一部分时,光在其上所产生的折射现象为单球面折射.单球面折射的规律是研究各种透镜、眼睛等光学系统的基础.

1. 单球面成像公式

如图 6-1 所示, MN 为球形折射面, 两侧为两种均匀的透明介质, 折射率分别为 n_1 、 n_2 . 假设 $n_1 > n_2$, r 为球面的曲率半径, C 为曲率中心, 通过曲率中心 C 与球面顶点 P 的直线 OPI 为折射面的主光轴(principal optical axis). P 点为球面 MN 与主光轴的交点, 称为球面的顶点. 设点光源 O 位于主光轴上, 从 O 点发出的两束光线 OA 、 OP , 经折射面 MN 折射后交于 I 点, I 即为点光源 O 的像. 定义 O 到折射面顶点的距离 OP 为物距(object distance) u , I 到折射面顶点的距离 PI 为像距(image distance) v .

根据折射定律

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

当入射光线 OA 和主光轴所成的角度 α 很小时, 称这样的入射光线为近轴光线(paraxial rays).



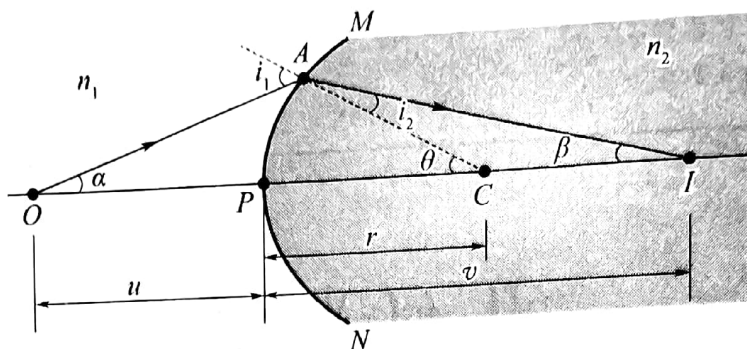


图 6-1 单球面成像

如果 OA 为近轴光线, 其入射角 i_1 和折射角 i_2 也很小, 则有近似关系

$$i_1 \approx \sin i_1, \quad i_2 \approx \sin i_2$$

所以折射定律可写为

$$n_1 i_1 = n_2 i_2 \quad (6-1)$$

图 6-1 中, $\triangle OAC$ 和 $\triangle AIC$ 的各个夹角分别有如下关系

$$i_1 = \alpha + \theta, \quad i_2 = \theta - \beta$$

代入式(6-1)可得

$$n_1(\alpha + \theta) = n_2(\theta - \beta) \quad (6-2)$$

由于 α, β, θ 均很小故其正切值可以用角度的弧度来代替, 所以分别有近似关系

$$\alpha \approx \sin \alpha \approx \tan \alpha = \frac{AP}{u}, \quad \beta \approx \frac{AP}{v}, \quad \theta \approx \frac{AP}{r}$$

代入式(6-2), 经整理可得

$$\frac{n_1}{u} + \frac{n_2}{v} = \frac{n_2 - n_1}{r} \quad (6-3)$$

式(6-3)为近轴光线条件下的单球面成像公式, 即角度 α 不能太大. 这是在凸球面条件下得到的. 如果适用于一切凸的或凹的球面折射, 需要注意的符号规则:

- ① 当物点到折射面的方向和入射光线的方向相同, 即为实物时, 物距为正, 反之为负;
- ② 当折射面到像点的方向和折射光线的方向相同, 即为实像时, 像距为正, 反之为负;
- ③ 当折射面到曲率中心的方向和折射光线的方向相同时, 曲率半径为正, 反之为负.

从式(6-3)可以看出, 在近轴光线成像条件下, 物距 u 和像距 v 对于给定的球面有一一对应的关系, 即如果将物放在 O 点, 其像必然在 I ; 反之将物放在 I 点, 其像必在 O 点, 物和像的这种关系称为物像共轭, 这正是光路可逆的必然结果.

6.1.2 焦点、焦距和焦度

如图 6-2(a) 所示, 如果从位于主光轴上的点光源 F_1 发出的光经球面折射后平行于主光轴射出, 即成像于无穷远处 $v \rightarrow \infty$, 则点 F_1 称为该折射面的第一焦点(focus), 从第一焦点到折射面顶点的距离为第一焦距(focal distance), 记为 f_1 , 由式(6-3)可知

$$f_1 = \frac{n_1}{n_2 - n_1} r \quad (6-4)$$



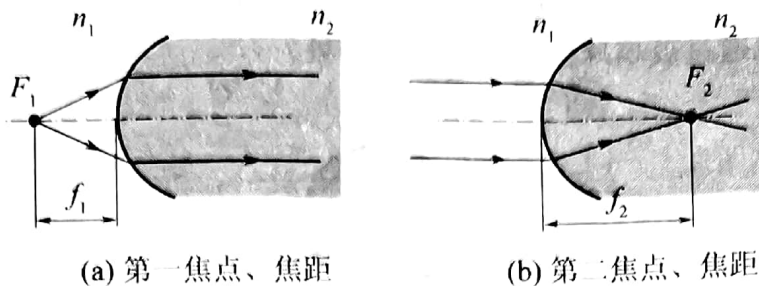


图 6-2 焦点和焦距

如图 6-2(b) 所示, 平行于主光轴的入射光线, 即物在无穷远处 $u \rightarrow \infty$, 经球面折射后会聚于主光轴上的点 F_2 , 则点 F_2 称为该折射面的第二焦点, 从折射面顶点到第二焦点的距离为第二焦距, 记为 f_2 , 由式 (6-3) 可知

$$f_2 = \frac{n_2}{n_2 - n_1} r \quad (6-5)$$

由于折射率 n_1 和 n_2 不同, 故 f_1 和 f_2 并不相等, 且可正可负, 二者的比值为

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (6-6)$$

当 f_1 和 f_2 为正时, F_1 和 F_2 为实焦点, 系统具有对光线的会聚作用; 当 f_1 和 f_2 为负时, F_1 和 F_2 为虚焦点, 系统具有对光线的发散作用. 焦距 f_1 和 f_2 的大小表示了屈光系统对光线的折射本领, f_1 、 f_2 的值越小, 折射本领越大.

用焦距来反映单球面屈光系统的折射本领不方便, 因此引入了一个新的物理量, 它仅与介质的折射率及球面的曲率半径有关, 因而对于一定的介质及一定形状的表面来讲是一个不变量, 称之为光焦度 (dioptric strength), 以 Φ 表示

$$\Phi = \frac{n_2 - n_1}{r} = \frac{n_1}{f_1} = \frac{n_2}{f_2} \quad (6-7)$$

它反映了折射面的折光本领, $(n_2 - n_1)$ 越大, r 越小, 光焦度 Φ 越大, 折射面的折光本领越强. 光焦度的单位是 D (diopter, 屈光度), 式中 r 的单位应为 m (米). 也有使用“度”作为焦度的单位, $1 \text{ D} = 100 \text{ 度}$. 临床眼科中常把焦度称为屈光度 (diopter) 或屈光力.

6.1.3 共轴多球面系统

在实际问题中, 上述的单球面光学系统几乎不存在. 最简单的光学元件也至少由两个折射面组成, 如眼镜、放大镜这类的单个透镜. 一般的光学仪器会使用多个透镜, 包含着更多数目的折射球面. 如果这些折射球面的曲率中心都在一条直线上, 它们组成的光学系统就称为共轴球面系统 (coaxial spherical system).

在共轴球面系统中解决成像问题时, 可采用逐次球面成像法, 即先求出物体经第一个单球面折射后所成的像, 然后以此像作为第二个折射面的物 (实物或虚物, 如果第一个折射面所成的实像位于第二个折射面的后面, 则对于第二个折射面来说, 这个像就称为“虚物”), 再求出它通过第二个折射面所成的像, 以此类推, 直到求出最后一个折射面所成的像为止, 该像即为整个球面系统所成的像.



例 6.1 如图 6-3 所示, 一个玻璃球($n_2 = 1.5$) 的半径为 0.1 m, 一个点光源 O 放在球前 0.4 m 处, 求近轴光线通过玻璃球后所成的像在何处?

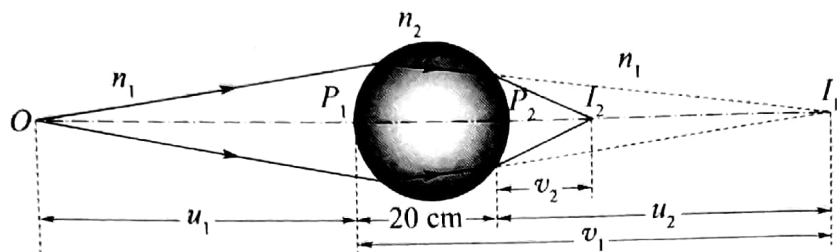


图 6-3 玻璃球成像图

解 对第一折射球面来说, $n_1 = 1$, $n_2 = 1.5$, $u_1 = 40$ cm, $r = 10$ cm, 代入公式(6-3)有

$$\frac{1}{40} + \frac{1.5}{v_1} = \frac{1.5 - 1}{10}$$

得 $v_1 = 60$ cm

即物体通过第一折射球面所成的像 I_1 在点 P_1 后 60 cm 处. 由于此像成在第二折射面的后面, 光线在没有成像之前就遇到了第二折射面, 因而对第二折射面来说可把 I_1 看成是一虚物, 于是有

$$n_1 = 1.5, n_2 = 1, u_2 = -(v_1 - 20) = -40$$
 cm, $r = -10$ cm

代入式(6-3)有

$$-\frac{1.5}{40} + \frac{1}{v_2} = \frac{1 - 1.5}{-10}$$

解得 $v_2 = 11.4$ cm

即最后成像于玻璃球后 11.4 cm 处.

6.2 薄 透 镜

透镜(lens) 是共轴球面系统最简单的一种, 它由两个有规则表面的透明介质所组成, 而其中至少有一个表面是曲面. 常见的曲面有球面、柱面、椭球面等. 透镜是放大镜、幻灯机、显微镜等光学仪器的重要组成部分. 如图 6-4 所示, 根据透镜的几何形状可将其分为两类: 一类是中央厚边缘薄的凸透镜; 另一类是中央薄边缘厚的凹透镜. 根据透镜对光线的作用, 又可将透镜分为会聚透镜和发散透镜. 会聚透镜使平行的人射光线会聚, 发散透镜使平行的人射光线发散.

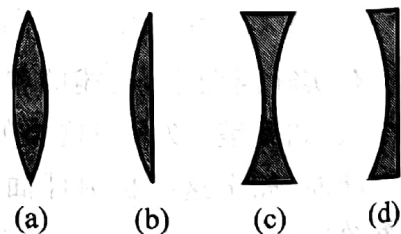


图 6-4 几种透镜

组成透镜的两个球面顶点之间的距离为**透镜的厚度**. 厚度远小于折射球面曲率半径的透镜为**薄透镜(thin lens)**, 一般可将其厚度忽略, 物距和像距皆从光心算起. 若厚度不能忽略则为**厚透镜(thick lens)**. 本节主要讨论薄透镜的成像规律.



6.3 透镜成像

6.3.1 薄透镜成像

1. 薄透镜成像公式

如图 6-5 所示, 折射率为 n_0 的介质中有一折射率为 n 的薄透镜, 薄透镜两球面的曲率半径分别为 r_1 和 r_2 . 在主光轴上有一点光源 O , u_1 、 v_1 、 u_2 、 v_2 分别为透镜的第一、第二折射面的物距和像距, u 、 v 分别为透镜的物距和像距, I_1 为 O 经过第一折射面所成的像, I 为 O 经过透镜所成的像。

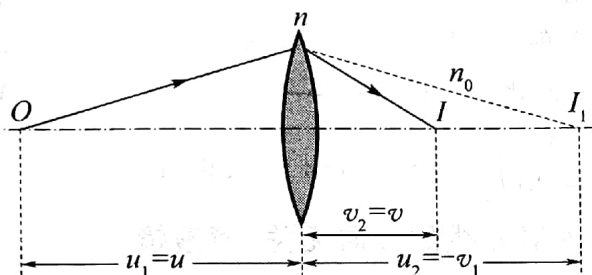


图 6-5 薄透镜成像

利用单球面折射公式可以推导出薄透镜的物像公式. 由图 6-5 可知

$$u_1 = u, \quad u_2 = -v_1, \quad v_2 = v$$

由单球面成像公式(6-3), 对第一折射面有

$$\frac{n_0}{u} + \frac{n}{v_1} = \frac{n - n_0}{r_1}$$

对第二折射面有

$$\frac{n}{-v_1} + \frac{n_0}{v} = \frac{n_0 - n}{r_2}$$

两式相加并整理得

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{n - n_0}{n_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (6-8)$$

式(6-8)即为薄透镜成像公式. 若服从单球面折射的符号规则, 此式适用于各种形状的凸、凹透镜. 如果薄透镜前后介质的折射率不一样, 则薄透镜成像公式不成立, 只能用共轴球面系统成像的一般分析方法求解.

2. 焦点和焦距

薄透镜也有焦点和焦距. 如果从位于主光轴上的点光源 F_1 发出的光经薄透镜折射后变成平行于主光轴光线, 则点 F_1 称为该薄透镜的第一焦点, 从第一焦点到薄透镜中心的距离为第一焦距 f_1 ; 如果平行于主光轴的入射光线经薄透镜折射后交于主光轴 F_2 , 则点 F_2 称为该薄透镜的第二焦点, 从第二焦点到薄透镜中心的距离为第二焦距 f_2 . 由式(6-8)可知



$$f = f_1 = f_2 = \left[\frac{n - n_0}{n_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \right]^{-1} \quad (6-9)$$

由于薄透镜的两焦距相等,用 f 表示,则式(6-8)可改成

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \quad (6-10)$$

式(6-10)为常用的薄透镜成像公式的高斯形式。

薄透镜的焦距越长,其会聚或发散光线的本领越弱。所以定义焦距的倒数为薄透镜的光焦度

$$\frac{1}{f} = \Phi \quad (6-11)$$

会聚透镜的光焦度为正, $\Phi > 0$; 发散透镜的光焦度为负, $\Phi < 0$ 。

例 6.2 如图 6-6 所示,空气中有一薄透镜,薄透镜的一面是球面,其曲率半径为 $r = 30 \text{ cm}$,另一面为平面。求其焦距和光焦度。透镜的折射率为 $n = 1.5$ 。

解 如果光线从右边入射,由题可知, $r_1 = \infty, r_2 = -30 \text{ cm}, n = 1.5, n_0 = 1$ 代入式(6-9)得

$$f = \left[(1.5 - 1) \times \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{-30} \right) \right]^{-1} = 60 \text{ cm} = 0.6 \text{ m}$$

由上可知,薄透镜的焦距和入射光线的方向无关。薄透镜的光焦度为

$$\Phi = \frac{1}{f} = \frac{1}{0.6 \text{ m}} \approx 1.6 \text{ D} = 160 \text{ 度}$$

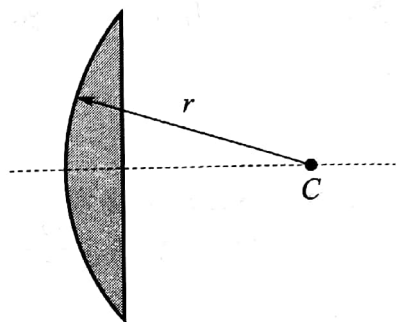


图 6-6 平凸透镜

6.3.2 薄透镜的组合

对于由两个或两个以上的薄透镜组成的共轴系统叫薄透镜组。薄透镜组的成像可依次应用薄透镜成像公式来解决,即先求物经第一个薄透镜所成的像 I_1 ,将 I_1 作为第二个薄透镜的物,依此类推,可求出薄透镜组最后所成的像 I 。

例 6.3 如图 6-7 所示,在同一介质中,焦距分别为 f_1, f_2 的两个薄透镜密接为一共轴系统,点 O 在该共轴系统的主光轴上,其物距为 u ,像距为 v ,求 u 和 v 之间的关系。

解 设点 O 经第一个薄透镜所成的像为 I_1 , I_1 经第二个薄透镜所成的像为 I 。第一个薄透镜的物距和像距分别为 u_1, v_1 ; 第二个薄透镜的物距和像距分别为 u_2, v_2 。由图 6-7 可知

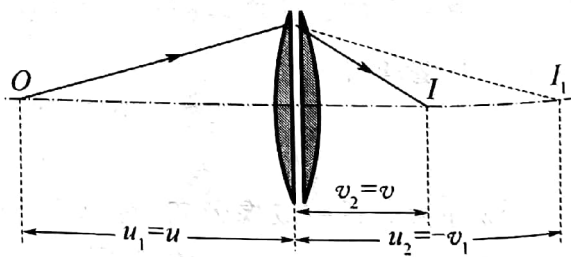


图 6-7 薄透镜的组合

$$u_1 = u, \quad v_1 = -u_2, \quad v_2 = v$$

由薄透镜成像公式,对于第一个薄透镜有

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_1}$$



对于第二个薄透镜有

$$\frac{1}{-v_1} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f_2}$$

两式相加并整理得

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{f} \quad (6-12)$$

式中, f 为该共轴系统的等效焦距. 设两薄透镜及其组成的共轴系统的光焦度分别为 Φ_1 、 Φ_2 、 Φ , 则有

$$\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi \quad (6-13)$$

式(6-13)可用来测量透镜的光焦度. 例如, 要测定一个近视眼镜片(凹透镜)的光焦度, 可用一个已知光焦度的凸透镜和它密接, 使组合后的等效光焦度为零(光线通过两密接透镜后既不会聚也不发散), 即

$$\Phi_1 + \Phi_2 = 0 \Rightarrow \Phi_1 = -\Phi_2$$

待测透镜的光焦度等于已知透镜光焦度的数值, 但符号相反.

6.3.3 圆柱透镜

圆柱透镜(cylindrical lens), 简称柱镜, 它的表面是圆柱面的一部分. 圆柱透镜的两个表面可以都是圆柱面, 或一面是圆柱面, 一面是平面, 如图 6-8 所示.

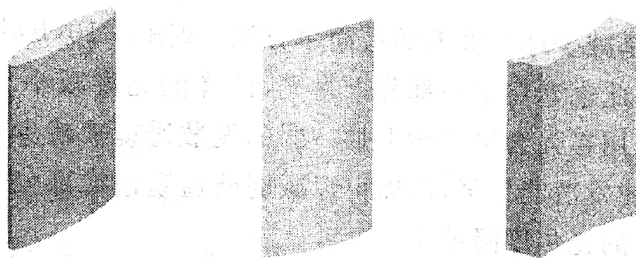


图 6-8 圆柱透镜

圆柱透镜的横截面和前面所讲的透镜相似, 对于同一水平面上的人射光束有会聚或发散作用, 如图 6-9(a) 所示; 圆柱透镜的纵截面却是一平面, 像一平板玻璃, 所以在垂直平面内的光束经圆柱透镜后不改变方向, 如图 6-9(b) 所示. 因此, 一个点光源 O 发出的光线经圆柱透镜所成的像就成为一条平行于透镜纵轴的直线, 如图 6-9(c) 所示.

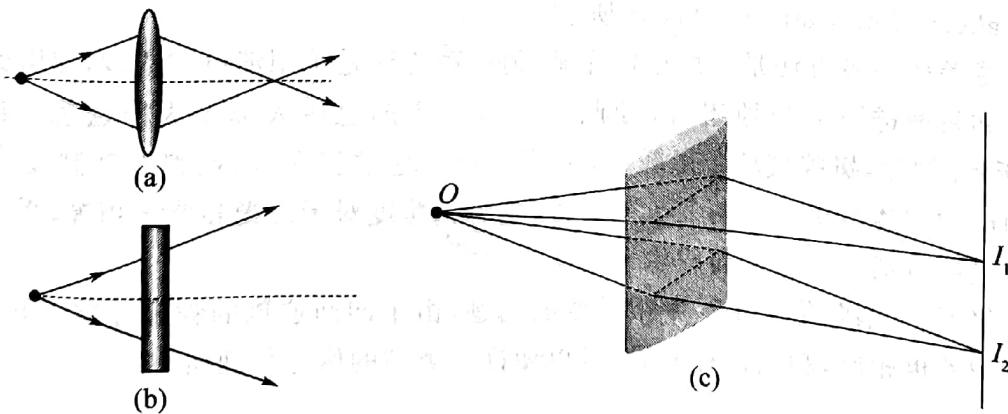


图 6-9 圆柱透镜成像



6.3.4 薄透镜的像差

像差(aberration)是指在透镜成像过程中物点发出的光偏离理想光路造成成像不完善的现象.下面讨论产生像差的两个主要原因:球面像差(spherical aberration)和色像差(chromatic aberration).

1. 球面像差

如图6-10(a)所示,按照薄透镜成像公式,位于透镜主光轴上的点光源 O 发出的近轴光线经透镜后相交于 I 点.由于还有许多远轴光线也进入了透镜,如经过透镜边缘的光线经透镜后相交于 I' 点.其他光线经透镜后相交于 I' 和 I 之间的点.所以点 O 经透镜后的像是一个小圆斑,不是一个点,这种像差为球面像差.

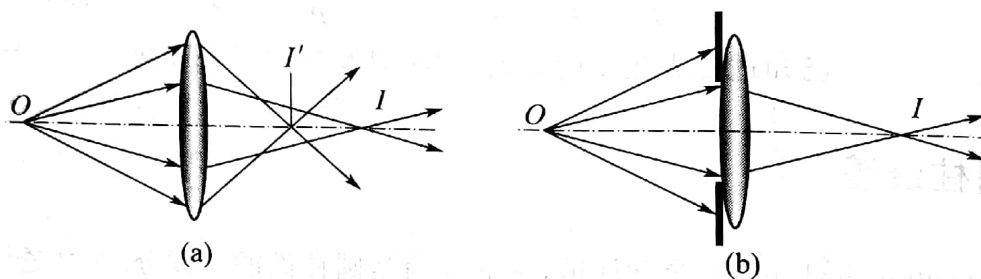


图6-10 球面像差及其纠正

在透镜前加一光阑是减少球面像差的最简单方法,如图6-10(b)所示.光阑的作用是限制远轴光线进入透镜,但因此也遮住了一部分入射光,使像的亮度减小.所以一般精密的光学仪器不用这种方法,而是采用在强会聚透镜上加一弱的发散透镜来减少球面像差.由于发散透镜的边缘部分比中央部分的发散能力强,所以可以减弱凸透镜边缘部分的强会聚能力,从而减少球面像差.但组合透镜总的光焦度降低了.

1. 色像差

一般介质对光的折射率被认为是常量.实际上,介质对不同颜色光的折射率是不同的,介质的折射率随波长的减小而增大.而由式(6-9)可知, n 越大,透镜的焦距 f 越小,即折光本领越大,所以透镜对蓝光的折光本领大于红光.如果在透镜主光轴上放一点光源,该点光源发出的白光经透镜折射后得到的不是一点像,而是一彩色的小圆斑,这种偏差称为色像差(chromatic aberration),如图6-11(a)所示.

纠正色像差的一种方法是采用单色光源.另一种方法是采用消色差透镜,即用折射率不同的会聚透镜和发散透镜适当地组合,使凸透镜所产生的色散大部分为凹透镜所抵消,如图6-11(b)所示.例如,冕牌玻璃色散较小,火石玻璃的色散较大,由冕牌玻璃制成的凸透镜和火石玻璃制成的凹透镜所组成的消色差透镜,其总光焦度对于红光和紫光相等,所以白光通过此消色差透镜后可消除色像差而成像于一点.

在光学仪器中,消除像差是一个很重要的问题,由于凹凸透镜的物理性质正好相反,因而产生的各种像差也相反,利用这种差异,可以使许多类型的像差得到纠正.



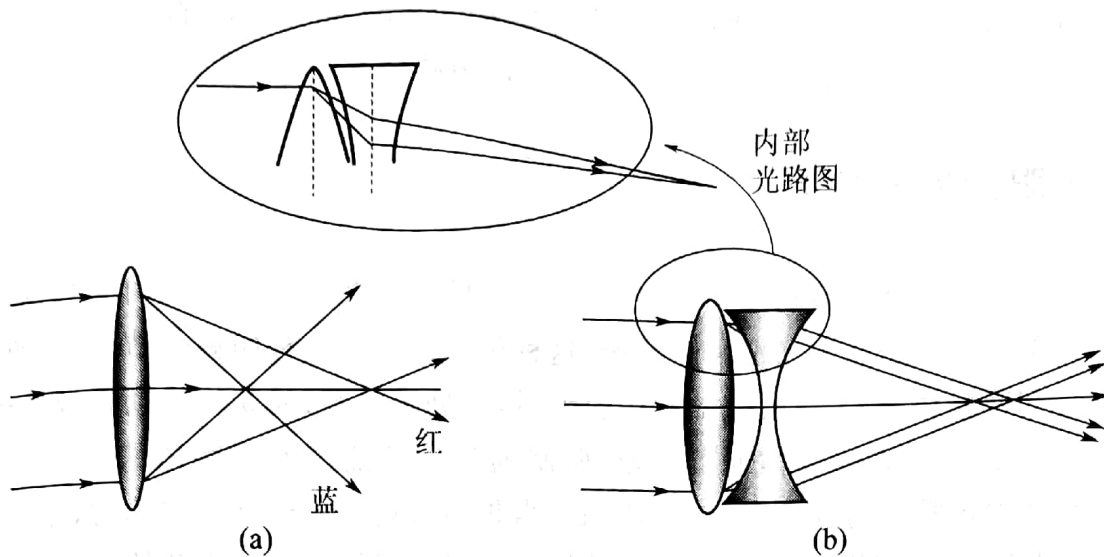


图 6-11 色像差及纠正

6.4 眼的光学系统

人眼是一个非常理想的光学系统,眼的光焦度可以在一定范围内改变,使远近不同的物体均能在视网膜上成清晰的像.以下从眼的结构分析其光学性质.

6.4.1 人眼的结构

如图 6-12 所示为人眼的剖面图.在人眼的最前部为一层透明的膜,称为**角膜**(cornea),光线经此进入人眼.角膜的后面是虹膜(iris),虹膜中央有一圆孔为瞳孔(pupil),瞳孔的大小可以改变,从而改变进入眼内的光量,它也起光阑的作用,遮住远轴光线,减小像差.

虹膜的后面是**晶状体**(crystalline lens),它是一个透明且有弹性的组织,形状像一凸透镜.晶状体的表面曲率可以由睫状肌的收缩而改变,人眼的光焦度就是因此而得到调节的.

角膜、虹膜、晶状体和视网膜之间充满的是不同的透明液体,如图 6-12 所示.

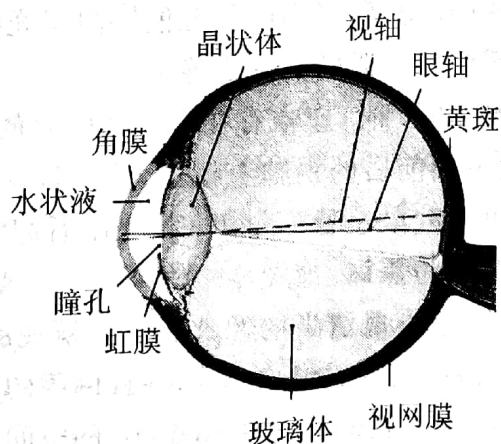


图 6-12 人眼的剖面图

眼球的内层是**视网膜**(retina),上面布满了视神经,外界物体经眼的折光系统后成像于视



网膜上,视网膜正对瞳孔处有一小块黄色区域叫黄斑(yellow spot).黄斑的中央凹陷为中央小凹(fovea centralis),直径约为 0.25 mm,是对光线最敏感的部分.

6.4.2 人眼的调节功能

眼睛是一个具有自动调节功能的变焦系统,其焦度可以在一定的范围内调节,从而可以使远近不同物体都能在视网膜上形成清晰的像.这种焦度改变的过程叫做调节.眼睛的调节功能需要靠晶状体与睫状体共同完成.当睫状体收缩时,悬韧带松弛,晶状体借助自身弹性变凸,焦距变短,屈光度改变,看近的物体就很清晰.眼睛通过调节能够看清物体的最近位置为近点(near point),视力正常人的近点为 10 ~ 12 cm.当我们看远处 5 m 之外物体时,光线平行进入眼睛,两眼视轴平行,调节松弛,这时睫状体放松,使悬韧带保持紧张,晶状体变得较为扁平,使其曲率半径增大,焦距变长,远处物体就看得清楚.眼睛在未调节时所能看清物体的最远位置为远点(far point),视力正常的人的远点在无穷远处.在日常工作中,不致引起眼睛过度疲劳的最适宜的距离约为 25 cm,这个距离叫做明视距离(visual distance).

随着年龄的增大,晶状体逐渐硬化,弹性下降,睫状体的功能也逐渐下降,调节作用减弱.10 岁儿童的近点在 7 cm 左右,40 岁的人近点大约为 22 cm,40 岁以后调节功能快速衰退,到 60 岁时近点接近 100 cm.这种随着年龄的增长调节功能减弱的情况在临床上成为“老花眼”.

6.4.3 孔径和焦深

眼睛中的虹膜呈圆盘状,中间有一个小圆孔,这就是我们所说的瞳孔,也叫“瞳仁”.它就像照相机里的光圈一样,可以随光线的强弱而变大或缩小.我们在照相的时候都知道,光线强烈的时候,把光圈开小一点,光线暗时则把光圈开大一点,始终让足够的光线通过光圈进入照相机,并使底片曝光,但又不让过强的光线损坏底片.瞳孔也具有这样的功能,只不过它对光线强弱的适应是自动完成的.

瞳孔不仅可以对明暗作出反应,调节进入眼睛的光线,也影响眼球光学系统的球面像差和焦深(depth of field).在保证有足够的光线的条件下瞳孔的孔径越小所形成的图像越清晰.由于晶状体的边缘的成像并不十分理想,所以小的孔径能够限定光线从晶状体的中心射入,阻止光线从晶状体的边缘射入,从而减小了眼睛的球面像差.

当眼睛的调节一定(即焦点一定)时,应唯有在同一平面内的物点能在视网膜上形成清晰的像点.若眼睛调节不变,在此平面前后的视轴上物点,其在视网膜上是形成一个扩大的弥散斑,当此斑对眼睛的张角小于眼睛的最小分辨角 $1'$ 时,人眼看起来仍为一点.对于一个给定的焦点,能形成清晰图像的物距范围为焦深.如图 6-13 所示, B_1, A, B_2 分别在不同的平面上, A 点经过晶状体调节正好在视网膜上形成清晰的像 A' , B_1 点所成的像 B'_1 落在视网膜的前方,而在视网膜上形成一个弥散斑 Z_1 . B_2 点所成的像 B'_2 落在视网膜的后方,在视网膜上形成弥散斑 Z_2 . 当 Z_1 和 Z_2 小到可以看成一点时,我们认为从 B_1 到 B_2 的空间深度范围内的物,都能在像平面上得到清晰像.这个空间深度 Δ 就叫做焦深.

因此,当瞳孔的孔径减小时,所形成的弥散斑也会减小,从而在更大的物距范围内形成相对清楚的图像.即小的孔径可以增加焦深,焦深是与孔径直径成反比的.



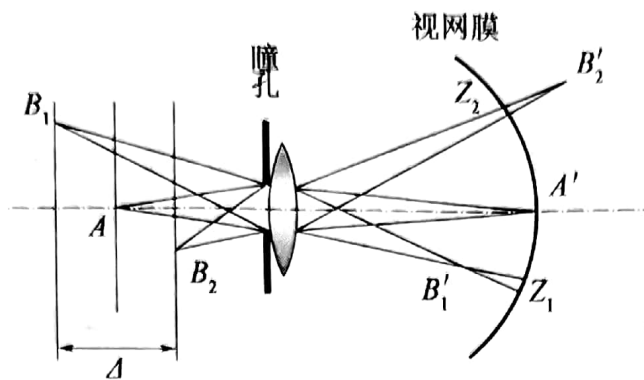


图 6-13 焦深示意图

6.4.4 眼睛的屈光系统

光线进入眼,通过眼内媒质折射,到在视网膜上成像的过程称为眼屈光. 正常的眼球能使从外界远近物体发出的或反射出来的光线,经过眼屈光系统(角膜、房水、晶状体和玻璃体)的折光和调节后,在视网膜上形成清晰的物像,如图 6-14 所示.

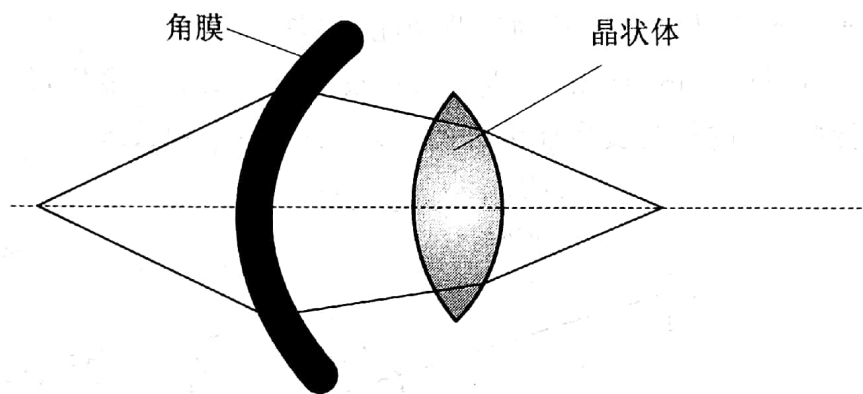


图 6-14 眼睛屈光系统简化图

角膜透明,表面光滑,内无血管,形似照相机的镜头,有屈光作用,在屈光系统中屈光能力最强(大约为整个系统的 $2/3$). 当发生近视眼,人们就会想到改变角膜的曲率,来改善近视程度,所以近年来近视眼手术,主要是用激光等方法来改变角膜的曲率,以达到消除近视的目的. 角膜的后面就是房水,房水的主要作用是保持眼球的内压,另外起到一个光学介质的作用,对整个屈光系统的总屈光力产生影响. 晶状体是眼球中重要的屈光介质之一. 它呈双凸透镜状,前面的曲率半径约为 10 mm ,后面的约为 6 mm ,富有弹性. 晶状体对光线有屈光作用,同时也能滤去一部分紫外线,保护视网膜,但它最重要的作用是通过睫状肌的收缩或松弛改变屈光度,使看远或看近时眼球聚光的焦点都能准确地落在视网膜上. 在水中角膜的屈光度将会大大减少,而晶状体通过调节后仍不能弥补角膜屈光的减少,所以物体不能在视网膜上形成一个清晰的像,因此人在水中看到的物体是很模糊的. 玻璃体是重要的眼内容物,起到保持眼球形状的作用,对光学系统的屈光力产生一定的影响.



6.4.5 简约眼

由上可知,人眼是由几种不同媒质组成的共轴球面系统,所以它的成像可以用共轴球面系统的分析方法求解.生理学上常把眼睛简化为一个单球面折射系统,称为简约眼,如图6-15所示.其折射面是一凸球面,曲率半径 $r = 5\text{ mm}$,媒质的折射率 $n = 1.33$,由式(6-9)可知,其两个焦距分别为: $f_1 = 15\text{ mm}$, $f_2 = 20\text{ mm}$.这个模型非常精确地体现了眼睛处于放松时的状态.

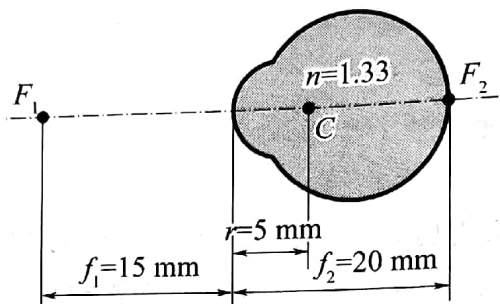


图 6-15 简约眼

尽管简化眼的模型没有体现出眼睛的调节功能,但是可以用它来计算视网膜上所成的像的大小.由图6-16可见,物体AB的A点光线通过节点 n 在 a 处聚焦,B点光线通过节点 n 在 b 处聚焦,因此视网膜上的像是真实而倒置的,其大小可由下列公式:

$$\frac{AB_{\text{物体的大小}}}{ab_{\text{像的大小}}} = \frac{Bn}{bn}$$

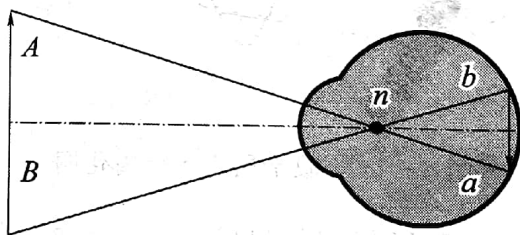


图 6-16 眼睛的成像

根据上式,设物体高 120 mm ,离节点 $5\ 280\text{ mm}$,则其视网膜像的高度为

$$AB \cdot nb / Bn = 120 \times 15 / 5\ 280 = 0.34\text{ mm}$$

此数值与视网膜中央凹的直径近似.

1. 人眼的分辨本领

物体在视网膜上所成像的大小由视角决定.从物体两个端点到眼节点的光线之间的夹角为视角(viewing angle).如图6-17所示,物体AB、CD在视网膜上的像分别为 $A'B'$ 、 $C'D'$,视角分别为 α 、 β ,由图6-17可知,视角大的物体所成的像也大.

视网膜能辨认某一物体(或更具体地说区分两个点)时,该物体必须在眼内形成一定的视角.正常眼能辨别最小物体(或区分最近的两个点)的视角叫最小视角,大多数正常眼的最小视角为 $1'$.眼能分辨的最小视角的倒数为视力(vision),即

$$\text{视力} = \frac{1}{\text{眼能分辨的最小视角}}$$



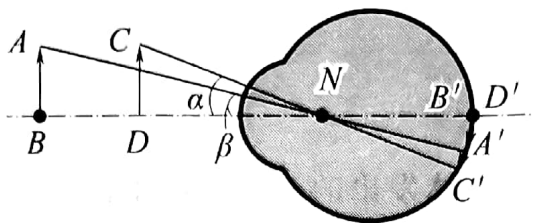


图 6-17 眼的视角

上式中最小视角以分为单位. 视力表就是按这个原理制成的.

2. 视野

当我们向正前方注视一个物体时,在不转动眼球的情况下,除了物体外,物体周围的景象也能看见;当我们的旁边有物体时,并不需要转过头去,只需用眼角的余光一扫,虽然看得不是很清楚,却也能知道,这种用眼睛能看到的空间范围,在医学中称为**视野**(visual field). 与中央视力相对而言,它是周围视力. 当物体的影像通过瞳孔和晶状体落在视网膜上时,由于视网膜中间部分感光细胞比较密集,因此物体的影像比较清晰,而视网膜周围的感光细胞比较稀疏,因此就反映出物体的大致影像. 在注视点 30° 以内的范围称为**中心视野**, 30° 以外称为**周边视野**. 正常人的视野范围比较大,好像一个横放的梨子一样,向外侧最大,内侧靠近鼻部逐渐缩小. 从周边视野中看东西虽然不是很清楚,但对人来说却十分重要. 如果没有周边视野,旁边的东西就什么也看不见. 视野对人的劳动和生活有着非常重要的意义. 有的人因为某些眼病,导致视野狭小,如同从一根竹管中看东西,这叫**管状视野**. 世界卫生组织规定,若视野小于 10° ,即使中央视力正常也属于盲. 视野的改变,往往提示着大脑等神经系统以及眼底的病变,如原发性视网膜色素变性、青光眼、脑血栓、脑肿瘤、脑外伤、脑出血等都可引起视野不同程度的缺损或缩小. 因此在眼科中常用视野计来检查病人的视野,帮助诊断、判断疾病轻重及预后.

6.4.6 光觉的产生

当可见光线穿过角膜、晶状体、玻璃体在视网膜上被感光细胞所吸收,感光细胞即产生一系列复杂的化学变化,将其转换为神经兴奋,并通过视神经传至大脑,在大脑中产生光的感觉,从而形成**光觉**(light perception). 因此光觉是指视网膜对光的感受能力,它是视觉的基础. 进入眼睛的光线引起视细胞的兴奋,并且有足够的作用时间时,就会产生视觉. 产生光觉的物质基础是视色素. 在光线作用下,视网膜感受器中视色素可产生光化学变化及生物电变化,从而表现出明暗视觉. 在人眼睛的视网膜中,有锥体细胞和杆状细胞两种不同的感光细胞. 锥体细胞和杆状细胞在处理可见光时是有分工的,锥体感光细胞集中于黄斑区的中心凹处,专门处理较强的光,而较暗的光则由黄斑区以外的视网膜中杆状细胞处理,中间强度的光则由锥体细胞和杆状细胞共同处理. 若有的人杆状感光细胞有功能障碍时,在暗的光线下,感光细胞不能正常工作,大脑就不能接收到光的信号,这就是夜盲. 大部分鸟的眼睛中缺少杆状细胞,所以在夜晚就不能看见东西,因而夜盲症在中医中也叫雀目. 有的夜盲是维生素 A 缺乏等因素引起的,有的是原发性视网膜色素变性等疾病引起. 杆状感光细胞不具有辨认物体颜色的能力,所以在暗处看东西,都是一种颜色.



6.4.7 视力异常

正常的眼球能使从外界远近物体发出的或反射出来的光线,经过眼屈光系统的折光和调节后,在视网膜上形成清晰的、缩小倒立的物像,再经视网膜上的视锥、视杆细胞的感光作用,经视神经传到大脑的视中枢,产生视觉.若眼的折射或调节能力异常,就不能在视网膜上形成清晰的物像,这样就产生视力的异常.视力异常包括屈光不正(近视、远视、散光)和眼调节能力异常(老花眼).

1. 近视眼

眼睛处在休息状态时,从 5 m 以外来的平行光,经过眼屈光系统折射之后,在视网膜之前聚焦成像方焦点,而在视网膜上则形成不清楚的像,这种眼睛为近视眼(mypopia),如图 6-18(a) 所示.

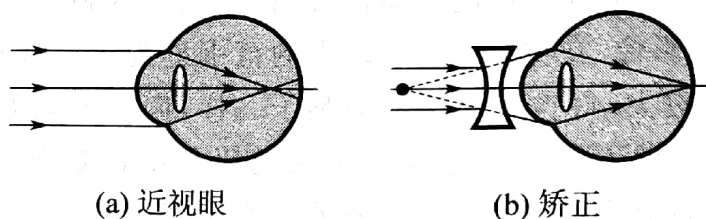


图 6-18 近视眼及其矫正

近视可分成两种:一是眼的前后轴间距过长,或视网膜离光学系统过远,成为轴性近视眼;二是屈光系统的角度过大,成为屈光性近视眼.

产生近视的原因有多方面:长时间近距离用眼观察物体,导致角膜或晶体表面曲率半径过小,屈光能力加强;由于某种眼病或遗传因素影响是眼睛的轴长过大、眼内某介质的折射率过大,或晶状体向前移位,等等.

矫正近视眼的物理方法是看远物时配戴凹透镜,以降低屈光度,如图 6-18(b) 所示.凹透镜的作用是将近视眼看不清楚的无穷远处的物点成像在它能看到清楚的远点处.应用公式

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-L_{\text{远点}}}, \quad \Phi = \frac{1}{f}$$

得近视镜的焦度为

$$\Phi = -\frac{1}{L_{\text{远点}}}$$

2. 远视眼

眼睛处在休息状态时,从 5 m 以外来的平行光,经过眼屈光系统折射之后,在视网膜之后聚焦成像方焦点,而在视网膜上则形成不清楚的像,这种眼睛为远视眼(hypermetropia).如图 6-19(a) 所示.远视眼的远点在眼后,对眼睛而言为一虚物点,远视眼只有在调节时才能看清远物;近物发出的光是发散光线,进入眼睛之后会聚在视网膜的更后面,因而看近物时眼睛需要高度调节,近点较正视眼的近点要远.故无论看近物或远物,都需要调节,眼睛容易疲劳,易引起视力模糊、眉弓部发胀、头痛、思睡、失眠、记忆力减退等调节性疲劳体征.

远视眼中最常见的是轴性远视,即眼的前后轴化较正视眼短些.在出生时人的眼轴平均约为 17.3 mm,从眼轴的长短来看几乎都是远视,可以说婴儿的远视眼是生理性的.之后,随着婴



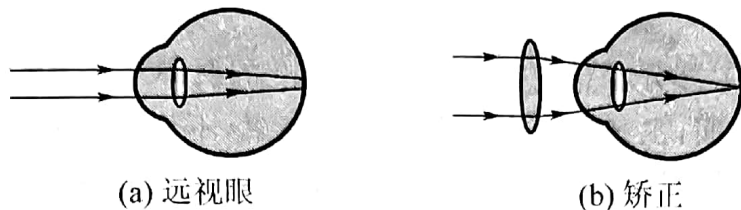


图 6-19 远视眼及其矫正

儿身体的发育,眼的前后轴也慢慢增长,待到成年,人眼应当是正视或者接近于正视.有些人在眼的发育过程中,由于内在(遗传)和外界环境的影响使眼球停止发育,眼轴不能达到正常眼的长度,因而到成年时仍保持婴儿或幼儿的眼球轴长,称为轴性远视眼.眼的前后轴变短,也可见于病理情况.眼肿瘤或眼眶的炎性肿块可使眼球后极部内陷并使之变平;再者,球后新生物或球壁组织水肿均可使视网膜的黄斑区向前移;一种更为严重的情况,可以由视网膜剥离所引起,这种剥离所引起的移位,甚至可使之触及晶体的后面,其屈光度的改变更为明显.

远视眼的另一原因为曲率性远视,它是由于眼球屈光系统中任何屈光体的表面弯曲度较小所形成.角膜是易于发生这种变化的部位,如先天性平角膜,或由外伤或由角膜疾病所致.在这种曲率性远视眼中,只有很少的角膜能保持完全球形,几乎都合并有散光.

第三种远视称屈光率性远视.这是由于晶体的屈光效力减弱所致.是因老年时所发生的生理性变化以及糖尿病者在治疗中引起的病理变化所造成;晶体向后脱位时也可产生远视,它可能是先天性的不正常或眼外伤和眼病所引起;另外,在晶体缺乏时可致高度远视.

一般说来,轻度的远视,如不引起视力障碍、视疲劳或斜视现象,同时一般的健康情况尚属良好,则无矫正的必要;反之,任何上述条件不符合时,则应戴适度的凸透镜予以矫正.原则上应在睫状肌麻痹的条件下验光配以凸镜片矫正屈光不正的度数.对幼儿及青少年,尤为必要.7岁以下的儿童,有轻度远视是生理现象,不需要配镜;但如果度数过高、视力减低或伴有斜视时,就应当配镜矫正.7~16岁的学生,低度也可考虑配镜,如有视力疲劳,视力减退或斜视时,则必须矫正.成年人远视,初次配镜时,应不作全部矫正,因其睫状肌由于长期的过度运用,产生肌肉肥大,如果希望于短期内全部松弛,常不容易,因此应逐步予以矫正.老年人,当全部远视转为固定性时,不论看远看近都需借助眼镜,但无需作睫状肌麻痹下的检影配镜.如图6-19(b)所示,通过公式

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{0.25} + \frac{1}{-L_{\text{近点}}}, \quad \Phi = \frac{1}{f}$$

得到远视镜的焦度

$$\Phi = \frac{1}{0.25} - \frac{1}{L_{\text{近点}}}$$

3. 老花眼

若年龄增大,晶状体失去弹性,看近物时,睫状肌收缩,但晶状体不会变凸,折光能力就不会增加,就看不清近物了,就形成了“老花眼(senopin)”.老花眼是眼调节能力减弱(严格来讲老花眼不属屈光不正).我们用凸透镜来纠正,也就是说“老花眼”看远物是正常的,不必戴眼镜的,看近物时,要戴老花镜(凸透镜).老花和近视的病因不同,但都发生在晶状体上,年轻时晶状体变凸(近视),年老时晶状体调节能力下降(老花),比较深度的近视眼,年老变老花眼后,看近物时要戴老花眼镜,看远物时要戴近视眼镜,或戴老花眼镜与近视眼镜合二为一的眼镜.



4. 散光眼

由于角膜是球面的一部分,它的任意一条子午线^①的曲率半径都相同,称这种折射面为**对称折射面**.对于对称折射面,主光轴上点光源发出的光束,不论射到哪个方向的子午面上,折射情况都完全一样,所以经折射后的光束将在光轴的另一点上形成清晰的像.

如果角膜在各个子午面上的曲率半径不同,这就是**散光眼(astigmatism)**.散光眼属于非对称折射.由点光源发出的光线经眼的折射后不能会聚成一点.如图 6-20 所示,假设角膜在 XX' 子午面上的曲率半径最小,即光焦度最大;角膜在 YY' 子午面上的曲率半径最大,即光焦度最小.由点光源发出的光束通过角膜时,在 XX' 子午面上的光线会聚于 I_x ,在 YY' 子午面上的光线会聚于 I_y ,其他方向的光线会聚在两点之间.所以点光源在散光眼内不能形成清晰的点像.

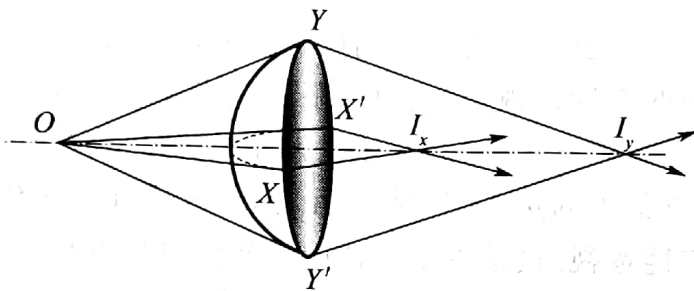


图 6-20 散光眼成像

如果眼睛具有最大光焦度的子午面与具有最小光焦度的子午面互相垂直,称这种散光眼为**正规散光眼**,反之,为**不规则散光眼**.由于圆柱形透镜在两个相互垂直的方向上会聚能力不一样,可以用来矫正正规散光眼.一般散光眼常伴有近视或远视,称为**近视散光**或**远视散光**.矫正这种散光眼一般要用由凹透镜或凸透镜和圆柱透镜相结合的透镜.

6.5 放大镜 纤镜 显微镜

光学仪器种类繁多,在此简单介绍放大镜、纤镜以及显微镜的原理.

6.5.1 放大镜

生活中常用的放大镜(magnifier)是通过增大视角使眼睛看清细小的物体.最简单的放大镜是一块凸薄透镜.在使用放大镜时,应把物体放在它的焦点附近,使光线通过它后变成近似平行光线,这样就可以不需眼的调节,便在视网膜上得到清晰的像.

如图 6-21 所示,物体 AB 放在明视距离时对眼睛所张的视角为 β .把 AB 放在放大镜的焦点附近时(焦点以内)对眼睛所张的视角为 γ .该放大镜的角放大率(angular magnification) α 为

$$\alpha = \frac{\gamma}{\beta} \quad (6-14)$$

^① 包含主光轴的各个方向的平面称为子午面,子午面与角膜相交的线为子午线.



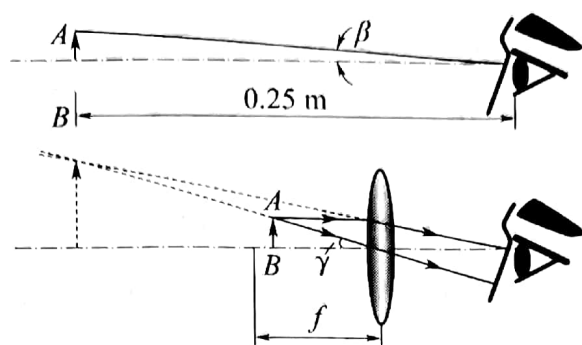


图 6-21 放大镜

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

放大镜一般用于观察小的物体,视角较小,所以有

$$\alpha = \frac{\tan \gamma}{\tan \beta} = \frac{AB/f}{AB/25} = \frac{25}{f} \quad (6-15)$$

式中, f 是放大镜的焦距. 由上可知,放大镜的角放大率和其焦距成反比,即焦距越短,角放大率越大. 但由于焦距太短的透镜很难磨制,加之相差的限制,单一凸透镜的放大倍数约为几倍,由透镜组合构成的放大镜,其放大率约 20 倍.

用于观察眼底(视网膜)病变的检眼镜是眼科的常用检查仪器. 其原理就是把受检者的眼睛当作放大镜,使检查者可以看到视网膜的放大像. 如图 6-22 所示,如果受检者视力正常,并且对远处的物体聚焦,使其眼睛的焦点正好落在视网膜上. 这时从光源发出的光线被平面镜反射到受检者的眼内,由受检者视网膜反射的光线经其眼睛的光学系统折射,通过角膜射出,进入检查者眼内,形成受检者视网膜的像. 如果受检者的眼睛屈光不正(近视或远视),那么可以在光路中加入适当的会聚或发散透镜,直至得到清晰的视网膜的像为止.

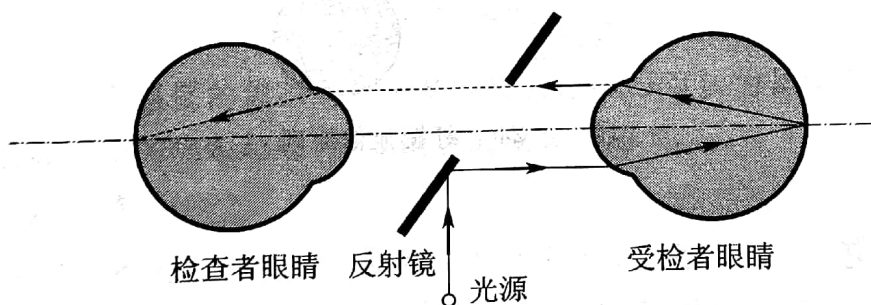


图 6-22 检眼镜原理

6.5.2 纤镜

光导纤维是由透明度很好的玻璃或其他透明材料拉成的很细的纤维,并在其外表面涂上一层折射率较低的物质而制成的. 让光从一端射入,如果进入到光导纤维中的光线入射到其侧壁的角度大于临界角,则光线将发生全反射,这时光线将沿光导纤维前进,不会向外泄露. 如图 6-23 所示,设玻璃等透明材料的折射率为 n_1 ,其外表面涂层的折射率为 n_2 ,光线从一端射入的入射角为 i ,则使光线在光导纤维内发生全反射的最大入射角 i 为

$$\sin i = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (6-16)$$

式中, $\sin i$ 为光导纤维的数值孔径 (numerical aperture, NA). 例如,中心为燧石玻璃 ($n_1 =$



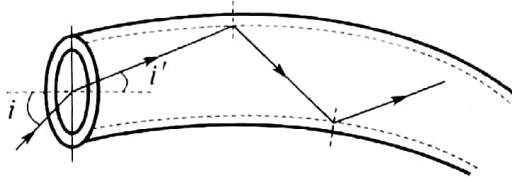


图 6-23 光导纤维

1.62), 外层为冕牌玻璃($n_2 = 1.52$)的光导纤维, 其数值孔径 $NA = 0.56$, 光线的最大入射角 $i = 34^\circ$.

由于光导纤维可以导光, 又非常柔软可以弯曲, 并具有一定的机械强度, 所以医学上广泛采用它制成各种纤维内镜, 简称纤镜(fibroscope), 用以观察体内某些器官的病变情况, 如食道镜、胃镜、直肠镜、支气管镜、膀胱镜等. 纤镜一般是由数万根光导纤维捆成束, 如图 6-24 所示. 一方面, 纤镜将光线送入体内相应器官, 另一方面将器官的像导出体外, 人们可以直接用肉眼观察其导出的像, 也可利用摄影等方法显示在电视屏幕上.

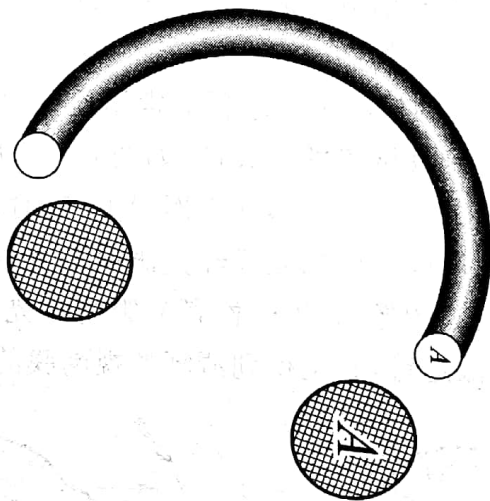


图 6-24 纤镜显像原理

6.5.3 显微镜

光学显微镜是最早发明的显微镜(microscope), 是生物学和医学的常用仪器, 它可以帮助我们观察肉眼看不见的生物细胞. 后来发明了电子显微镜, 能进一步看到细胞内部的结构. 这些都是在微米尺度上的观察. 到了 20 世纪 80 年代, 扫描隧道显微镜的发明, 使人们的观察视野更深入了一步, 进入到纳米层次. 能看到物质内部的分子和原子. 下面主要从光学原理和分辨率两个方面对光学显微镜加以介绍.

1. 显微镜的光学原理

如图 6-25 所示, 显微镜由物镜(objective) L_1 和目镜(eyepiece) L_2 两个透镜组成. 物镜的焦距很短, 物镜和目镜之间的距离一般远大于它们的焦距. 物镜相当于一个凸透镜, 当物体 AB 放在物镜的焦点以外接近焦点的地方时, 经物镜折射后成一放大倒立的实像 $A'B'$; 目镜起放大镜的作用, 所以 $A'B'$ 应落在目镜的焦点以内靠近焦点的位置.

由式(6-14)可知, 显微镜的放大率为



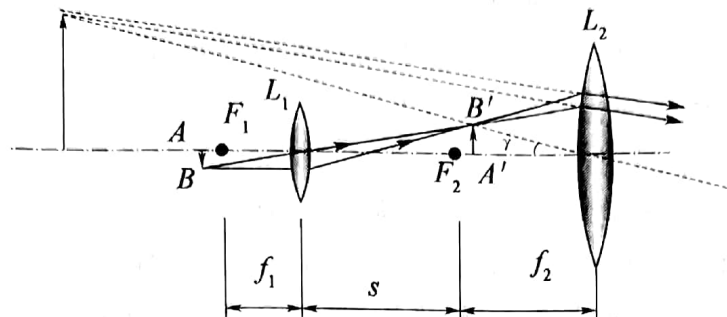


图 6-25 显微镜的光学原理

$$M = \frac{\gamma}{\beta}$$

式中, β 为物体 AB 放在明视距离处对眼睛所张的视角, 且 $\beta = AB/25$. 由图 6-18 可知, 上式可写为

$$M = \frac{\frac{A'B'}{f_2}}{\frac{AB}{25}} = \frac{A'B'}{AB} \cdot \frac{25}{f_2} = m \cdot \alpha \quad (6-17)$$

上式表明, 显微镜的放大率 M 等于物镜的线放大率 m 与目镜的角放大率 α 的乘积.

又因为

$$m = \frac{A'B'}{AB} \approx \frac{s}{f_1}$$

所以

$$M = \frac{s}{f_1} \cdot \frac{25}{f_2} = 25 \frac{s}{f_1 f_2} \quad (6-18)$$

由于显微镜的物镜和目镜的焦距远小于其镜筒长, 所以 s 可认为是镜筒长. 由式(6-18)可知, 镜筒越长, 物镜和目镜的焦距越短, 则显微镜的放大率越大.

2. 显微镜的分辨率

能够更好地观察标本的细节是我们使用显微镜的目的. 如果仅是提高显微镜的放大率而不能同时把物体的细节看得更加清楚的话是毫无意义的. 但是一般显微镜的物镜都是圆形的, 由光的衍射可知, 将会产生圆孔衍射, 这就使物体的像不再是由理想的几何光学像点组成, 而是由一系列衍射光斑组成. 当物体上两个点的间距很小时, 它们经物镜所成的两个光斑互相重合, 将无法分辨是两个点. 两个可分辨点之间的最小距离为显微镜的分辨率(resolving power).

在第 7.2.3 节, 介绍了利用瑞利判据确定光学仪器的分辨率, 由此可得显微镜所能分辨两点之间的最短距离 Z 是

$$Z = 0.61 \frac{\lambda}{n \sin u} \quad (6-19)$$

式(6-19)中, u 是从被观察物体射到物镜边缘的光线与主光轴的夹角, n 是物镜与被观察物体之间媒质的折射率, λ 是所用光波的波长. $n \sin u$ 为物镜的数值孔径. 由此可知, 物镜的数值孔径越大, 显微镜能分辨的两点之间的距离就越小, 显微镜的分辨率也越高.

由式(6-19)可知, 增加数值孔径或降低所用光波的波长都可以提高显微镜的分辨率. 例



如,用紫外光($\lambda = 275 \text{ nm}$)代替可见光($\lambda = 550 \text{ nm}$),可以把显微镜的分辨率提高一倍.

另外,在物镜和被观察物体之间加上折射率高的媒质如香柏油($n = 1.52$)等(称为油浸物镜),与物镜和被观察物体之间为空气时(称为干物镜)相比,可将数值孔径提高1.5倍.若同时使用上述两种方法,可使显微镜的分辨率达到约 186 nm ;是白光波长的 $1/3$.除此之外,对于干物镜,由于空气的折射率小于玻璃的折射率,被观察物体发出的光将有一部分被全反射而不能进入物镜.而对于油浸物镜,由于香柏油的折射率和玻璃的一样,不存在全反射现象,所以进入物镜的光亮增加了,提高了像的亮度.一般来说,像的亮度和数值孔径的平方成正比.

利用波长只有 10^{-3} nm 的电子束,可以制成最小分辨距离达到 10^{-1} nm 的电子显微镜,其放大率可达几万倍,乃至几百万倍,一般光学显微镜的放大率最高也有1 000倍左右.

显微镜的分辨率和放大率是两个不同的概念.放大率是物镜的线放大率和目镜的角放大率的乘积,而分辨本领只决定于物镜本身的特性.目镜只能放大物镜所分辨的细节,不能提高物镜的分辨率.所以在考虑提高显微镜的总放大率时,必须考虑提高分辨率.例如,一个显微镜由一个 $40\times$,NA 0.65的物镜配上 $20\times$ 的目镜;另一显微镜由一个 $100\times$,NA 1.30的物镜配上 $8\times$ 的目镜.两个显微镜的总放大率都为 $800\times$,但后者的分辨率却比前者提高一倍,可更清楚地看到被观察物体的细节.

1982年IBM公司苏黎世研究实验室的两位科学家比宁(Binning)和卢勒(Rohrer)利用原子之间的隧道电流效应发明了扫描隧道显微镜(STM),从而使人们第一次直观地看到了原子、分子,被人们称为可以看得见原子的显微镜.这种显微镜是基于量子力学的隧道效应,通过一个由压电陶瓷驱动的探针在物体表面作精确的二维扫描,其扫描精度达到几分之一纳米.该探针尖端可以制成只有一个原子大小的粗细,并且位于距被观察物体(样品)表面足够近的距离内,以使探针尖端与样品表面之处的电子只有细微的重叠.这时若在探针与样品表面之间加上一定的偏压,就会有一种被称作为隧道电流的电子流流过探针.这种隧道电流对探针与样品表面的间距十分灵敏,从而在探针扫描时通过感知这种隧道电流的变化就可以记录下样品表面的起伏情况.这些信息再经计算机重建后就可以在计算机屏幕上获得反映样品表面形貌的直观图像.这就是扫描隧道显微镜的工作原理.

习 题 6

6-1 圆柱形玻璃棒($n = 1.5$)的一端是半径为 $2.0 \times 10^{-2} \text{ m}$ 的凸球面.求位于棒的轴线上,离棒端 $8.0 \times 10^{-2} \text{ m}$ 处的物点经棒所成的像的位置,若将此棒放在水中,物点的位置不变,所成的像又在何处?

6-2 人眼的角膜可看做曲率半径为 7.8 mm 的单球面,其一侧即眼睛的外部是空气,另一侧是折射率为1.33的液体.眼睛瞳孔离角膜的距离为 3.54 mm ,求瞳孔的视深(即瞳孔的像距).

6-3 空气中有一玻璃棒(折射率为1.5),两端面均为半径为 10 cm 的凸球面,两球面顶点之间的距离为 40 cm ,一点光源放在左端前面 30 cm 处,求近轴光线通过玻璃棒最后成像的位置.

6-4 焦距为 100 mm 的薄透镜,其两个折射面是对称的凸球面,薄透镜一面与空气相接,一面与水(折射率为1.33)相接,求此系统的焦距.

6-5 什么是近点、远点、明视距离?进入眼睛的光线经过哪几部分折射后成像在视网膜上?

6-6 什么是视角?物体在视网膜上成的像与视角有什么关系?通常怎么表示眼睛的分辨本领?

6-7 一近视眼的远点在 30 cm 处,应配戴怎样的眼镜才能看清远方的物体?

6-8 黑板上有两条直线相距 2 mm ,在正常照明情况下,坐在多远的学生不能分辨这两条直线?



6-9 “人老了,老花会中和近视”这种说法对吗?给出解释.

6-10 某人既近视,又老花,他眼睛的调节范围缩小为 $0.40 \sim 2.0 \text{ cm}$,问应如何用配镜的物理方法将调节范围扩大到 $0.25 \text{ m} \sim \infty$?

6-11 一散光眼,其眼球横子午面的平行光线能聚焦在视网膜上,而纵子午面的平行光线聚集在视网膜后面,此眼应配戴何种圆柱透镜?镜轴方向如何?

6-12 用显微镜观察标本时,标本应放在何处?物镜所成的像应在何处?是实像还是虚像?操作者在显微镜中看到的样品像是虚像还是实像?

6-13 显微镜目镜的焦距为 2.5 cm ,物镜焦距为 1.6 cm ,物镜与目镜的间隔为 22.1 cm ,物经显微镜后成像于无穷远处,求:(1)被观察物体应放在物镜前什么位置?(2)物镜的线放大率;(3)显微镜的总放大倍数.

6-14 用孔径数为 0.75 的物镜去观察 $0.3 \times 10^{-4} \text{ cm}$ 的细节,能否看清?若改用孔径数为 1.2 的物镜观察,又将如何?设照射光源的波长为 600 nm .

光的干涉

光的干涉现象

