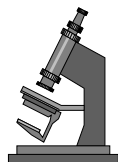


第七章 经典光学系统



§ 7-1 眼睛及其光学特性

一、眼睛的构造

感光：视网膜上的锥状细胞和杆状细胞。

对光感应最灵敏处称为黄斑（ 1×0.8 ），中央有中心凹（ 0.3×0.2 ），仅有锥状细胞。

节点与中心凹的连线称视轴

在视神经入口处两种感光细胞皆无，若物恰好成像于此，则看不到。该处称盲斑。

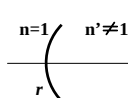
怎样验证盲斑的存在？



二、标准眼和简约眼

1. 标准眼——根据大量测试结果，定出了眼睛的各项光学常数，包括各透光部分的折射率、各光学表面的曲率半径以及有关距离。称满足这些光学数值的眼睛为标准眼。

2. 简约眼——为近似计算方便，将眼睛简化为一个折射球面。



$r = 5.56$
 $n' = 4/3$
 $f = -16.7$
 $f' = 22.26$
 $\phi = 59.88$ 屈光度
网膜 $r = -9.7$

三、眼睛的调节——相当于折射球面 r 的改变

远点——肌肉完全放松时，眼睛所能看清的最远点

近点——肌肉最紧张时，眼睛所能看清的最近点

远点距 r ——远点到眼睛物方主点的距离

近点距 p ——近点到眼睛物方主点的距离

1. 调节范围： $A = R - P$

明视距离 250mm

$$R = \frac{1}{r}$$

$$P = \frac{1}{p}$$

屈光度



2. 正常眼和非正常眼

正常眼—— $r = \infty$, $R = 0$, F' 在网膜上（见表）。年纪大时失去正常。

非正常眼——正常年龄内 $R \neq 0$, F' 不在网膜上。

① 近视眼—— F' 在网膜前，眼球偏长，远点在眼前有限远处。

矫正：加负透镜，使无限远物点成像于眼前有限远。

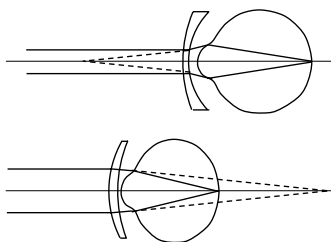
② 远视眼—— F' 在网膜后，眼球偏短，远点在眼后有限远处。

矫正：加正透镜，使无限远物点成像于眼后有限远。

③ 散光——一个方向能会聚，另一方向不能会聚。

矫正：加柱面透镜。

④ 斜视：加光楔



四、眼睛的适应——对各种光亮环境的适应能力，亮度比可达 $10^{12}:1$

亮适应：暗处到明处，过程较快，几分钟

暗适应：明处到暗处，过程较慢，极限60分钟

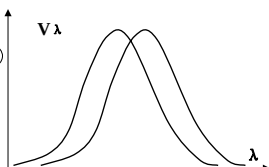
瞳孔直径改变
2~8mm

锥状细胞：感受强光，对555nm最灵敏

杆状细胞：感受微光敏锐，对510nm最灵敏，但分辨细节的能力差

因此，在黄昏视觉下，光谱灵敏度曲线向短波方向偏移，称波涅金效应

为什么暗环境下能做饭、洗衣，但不能描龙绣凤？



五、分辨本领——能区分二个最靠近点的能力

极限分辨角——最靠近二点对人眼（物方节点）的张角 ϕ

对于理想光学系统 $\phi = \frac{1.22\lambda}{D}$ 其中 D 为入瞳直径

对于 555 nm 而言，用秒表示得 $\phi = \frac{140''}{D}$ D 为瞳孔直径，取 mm

一般取眼睛的极限分辨角为 $1'$ 。

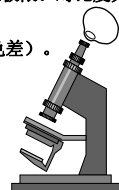
眼睛的分辨本领与哪些因素有关：

① 与物体亮度与对比度有关：当照度 ≥ 50 lx 时， ϕ 达极限。对比度大时分辨率高。

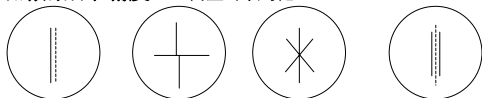
② 与照明光谱成分有关：单色光分辨率高（眼睛有色差）。

③ 与网膜上成像位置有关，黄斑处分辨率最高。

对眼睛张角小的要借助望远镜或显微镜等仪器，仪器应有适当的放大率，使能被仪器分辨的也能被眼睛分辨。



六、眼睛的瞄准精度——测量时须考虑



七、双眼视觉，立体——估计物体距离，辨别相对远近

1. 单眼视觉产生立体

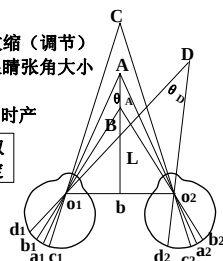
熟悉物：较近物体（5 m以内）——眼球肌肉收缩（调节）
较远物体（5 m以外）——根据物对眼睛张角大小

不熟悉物：通过与熟悉物的比较

2. 双眼视觉——成像于双眼中心凹的同侧对应点时产生单像，否则产生双像。

注视A { a_1 在中心凹
 a_2 在中心凹的外侧 }
此时B { b_1 在中心凹的外侧
 b_2 在中心凹的内侧 }
C { c_1 在中心凹的内侧
 c_2 在中心凹的外侧 }
D { d_1 在中心凹的同侧，单像
 d_2 在中心凹的同侧，单像 }

∠O₁AO₂内成双像，其外不一定



3. 立体

估计距离——眼睛的调节，视线转向被观察物时肌肉用力。眼球转动最小能觉察7°。

辨别相对远近——利用两眼视线的夹角即视差角θ。

$$\theta = \frac{b}{L}$$

基线长，成人b=65mm
观察点到基线的距离

立体视差角

$$\theta_A = \frac{b}{L_A} \quad \theta_D = \frac{b}{L_D}$$

立体视差

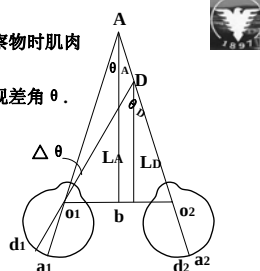
$$\Delta\theta = \theta_D - \theta_A$$

立体视度——人眼能觉察的最小立体视差，一般

$$\Delta\theta_0 = 30'' \sim 60'' \quad \text{经训练可小到} 10''$$

立体圈半径——存在立体视觉的范围

$$L_m = \frac{b}{\Delta\theta_0} = \frac{0.065}{10''} \times 206265 \approx 1350 \text{ m}$$



立体阈值——能分辨不同远近二点间的最小距离

$$\text{由} \quad \Delta\theta = \frac{b}{L^2} \cdot \Delta L$$

$$\text{得} \quad \Delta L_0 = \frac{L^2}{b} \Delta\theta_0 = \frac{10''}{0.065 \times 206265} L^2 \approx 7.46 \times 10^{-4} L^2 (\text{m})$$

讨论：

- 增大立体圈半径，要求基线b长，立体视度值小
- 减小立体阈值，要求基线b长，立体视度值小，立体圈半径大

应用

双筒望远镜：放大率Γ，二物镜中心距bt=Kb，则 $\Delta\theta_t = \frac{\Delta\theta_0}{\Gamma}$



$$L_{mt} = \frac{b_t}{\Delta\theta_t} = \frac{Kb \Gamma}{\Delta\theta_0} = K \Gamma \cdot L_m \quad \text{扩大到} K \Gamma \text{倍}$$

$$\Delta L_t = \frac{L^2}{b_t} \Delta\theta_t = \frac{L^2}{Kb} \cdot \frac{\Delta\theta_0}{\Gamma} = \frac{1}{K \Gamma} \Delta L_0 \quad \text{缩小到} 1/(K \Gamma) \text{倍}$$



§ 7-2 放大镜



一、放大镜的放大率M（视觉放大率）——物经放大镜所成像对人眼张角的正切和人眼直接看物体时物对人眼张角的正切之比

$$M = \frac{\tan W'}{\tan W}$$

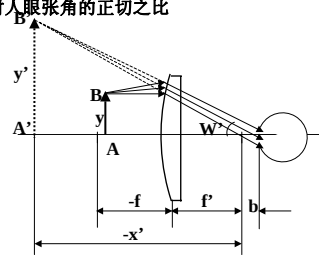
物AB在F后很近处，人眼瞳孔在F'或其附近，直接观察时物在明视距离处

$$\tan W = \frac{y}{250} \quad \tan W' = \frac{y'}{-x' + b}$$

$$M = \frac{y' \cdot 250}{y(-x' + b)} = \frac{x' \cdot 250}{(x' - b)f'} \approx \frac{250}{f'}$$

正常眼，物在物方焦面上，成像于无穷远，则M仅被f'所决定。

$$M = \frac{250}{f'}$$



二、放大镜的光束限制

一般，瞳孔——孔阑，出瞳；放大镜——渐晕光阑；无视场光阑

设放大镜直径2h，瞳孔直径2a'，则

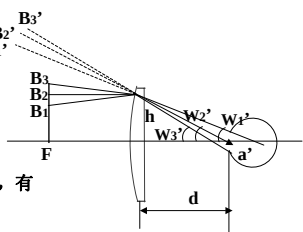
$$B_1 \xrightarrow{0\%} B_1', \quad \tan W_1' = \frac{h - a'}{d}$$

$$B_2 \xrightarrow{50\%} B_2', \quad \tan W_2' = \frac{h}{d}$$

$$B_3 \xrightarrow{100\%} B_3', \quad \tan W_3' = \frac{h + a'}{d}$$

若以50%时的线视场为2y，即AB₂=y，有

$$2y = 2f' \tan W_2' = 2f' \cdot \frac{h}{d} = \frac{500h}{Md}$$



讨论

$$2y \propto h \quad \text{放大镜直径大，则视场大}$$

$$2y \propto \frac{1}{d} \quad \text{人眼离放大镜近，则视场大}$$

$$2y \propto \frac{1}{M} \quad \text{放大倍率小，则视场大}$$

