

一、导言

人眼是人身体中最重要的感觉器官，非常完善、精巧和不可思议，是生命长期进化到高级形式的必然产物。在人感觉的外界信息中，有 90% 以上是通过眼睛获得的。我们天天在用自己的眼睛，很多与视觉有关的事情习以为常，往往对其特性反而不了解，或者自认为很简单的知识或问题，但实际上存在误解。

人眼的特性主要取决于人眼的构造，包括光线如何会聚、如何检测和视觉信号如何传导。另外，神经系统的特性尤其是人脑对视觉信息的处理过程也起着一定的作用。

文中提到的亮度是光度学概念，是描述物体表面明暗程度的。亮度概念与照度、发光强度、光通量是分别不同的光度学概念，单位也不同。亮度的单位是尼特。这个概念就像能量、功率和重力都是不同的概念一样。一个 40W 的日光灯，照射在距离其下面 2 米远的白纸上，白纸的亮度大约为 25 尼特。猎户座大星云 M42 的中心部分，大约是 0.02 尼特。满月表面是 3000 尼特，木星表面是 800 尼特。满月照射下的白纸为 0.05 尼特。

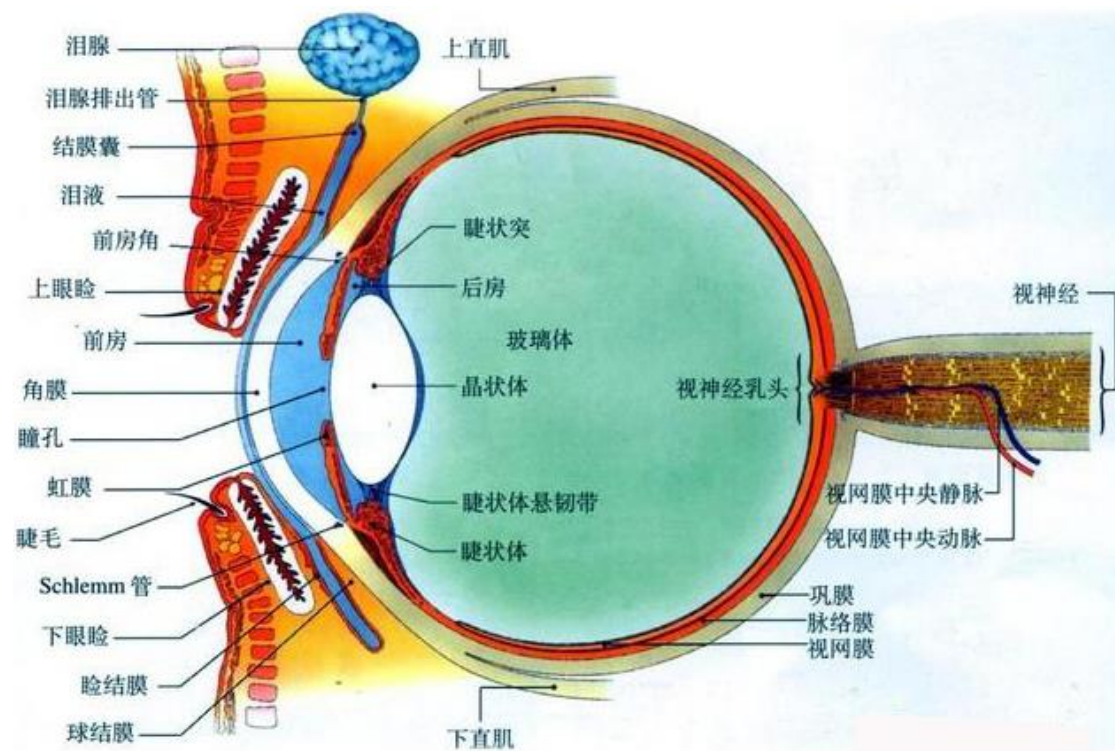
二、人眼的构造

人的眼睛近似球形，位于眼眶内。正常成年人眼球前后径平均为 24mm，垂直径平均 23mm。最前端突出于眶外 12~14mm，受眼睑保护。眼球包括眼球壁、眼内腔和内容物（包括房水、晶体和玻璃体）、神经、血管等组织。从正面看，眼睛包括巩膜（眼白）、瞳孔、虹膜及角膜等几个主要部分。除此之外，眼眶内还有运动眼球的小肌肉以及泪腺等结构。

人眼的构造相当于一架摄像机或照相机。前面，是由角膜、晶状体、前房后房、玻璃体所共同组成的具备镜头功能的组合，把物体发出的光线聚焦到后面的相当于胶卷的用于检测光线的视网膜上。

角膜，为一直径 11mm 的透明膜，镶嵌于巩膜前面圆孔内，其中央部的曲率半径为 8mm，周边部比较平坦。角膜的屈光指数为 1.376，为眼球的主要曲光媒质。

晶状体，为一形似双凸透镜的透明组织，由小带纤维悬挂于瞳孔后面，睫状肌收缩时小带松弛，晶状体依靠其本身的弹性而变厚，前后表面的曲度增加，整体屈光度增加，利于看清近处物体，称为调节。在角膜和水晶体之间为虹膜，中间开有一个可以自动控制大小的孔，让适当的光线进来，称为瞳孔。



前房、后房。前房为角膜后面、虹膜和晶状体前面的空隙，充满着房水。后房为位于虹膜后面、睫状体、晶状体周边部之间的空隙，也充满着房水。房水的主要功能是维持眼内压，并维持晶状体的代谢。

玻璃体，为一透明胶样组织，充填于视网膜内的空间，占眼球 4/5 的容积。具有保护视网膜、缓冲震动的功能。

视网膜是接近黑的深红色，反光很弱，其上面布满感光细胞。正对眼球中心有一个直径约 2mm 的黄色区域（折合 6 度视角），称为黄斑。黄斑中心有一小凹，称为中央凹，面

积约 1 平方毫米。

视网膜上有两种感光细胞，一种叫做视锥细胞，另一种叫做视杆细胞，均以它们外表的形状命名。一只眼睛里面大约分别有 7 百万视锥细胞和 1 亿两千万视杆细胞。视锥细胞是像一个玉米的锥形，尖向外，只对较强的光敏感，至少有分别感觉红、绿、蓝三种颜色的视锥细胞存在，因此能够感知颜色；视杆细胞只有一种，因此没有颜色感觉，但灵敏度非常高，可以看到非常暗的物体。视锥细胞在黄斑里面非常集中，尤其是在中央凹里面最为密集，是产生最清晰视觉的地方。视杆细胞恰好在黄斑里面最少，除此之外分布的比较均匀，距离中心 10 ~ 20 度的范围内相对集中些。

标准眼：根据大量的测量结果，定出了眼睛的各项光学常数，包括角膜、水状液、玻璃液和水晶体的折射率、各光学表面的曲率半径、以及各有关距离。称满足这些光学常数值的眼为标准眼。

简约眼：把标准眼简化为一个折射球面的模型，称为简约眼。

人眼简化模型的光学参数

曲率半径 $r=5.7\text{mm}$

介质折射率 $n = 1.3333$

视网膜曲率半径 $r' = 9.7\text{mm}$

强光光圈 $f/8.3$ (对应瞳孔直径 2mm)

低光光圈 $f/2.1$ (对应瞳孔直径 8mm)

可以计算出以下参数

物方焦距 $f = -5.7 / 0.3333 = -17.10\text{mm}$

像方焦距 $f' = 1.3333 \times 17.10 = 22.80\text{mm}$

像方光焦度 $\varphi = 0.3333 / (5.7 \times 10^{-3}) = 58.48$

三、人眼的特性

1、衡量人眼分辨力的参数：视力

与望远镜的分辨力类似，视力表明人眼能够分辨两个距离很近物体的能力。通常采用兰道尔环，如图所示，在 5m 远处观察直径为 7.5mm、环粗和开口均为 1.5mm 的环，此时该开口形成 1 角分的角度，如果刚好能够分辨，则视力为 1.0。若刚好能够识别比这大一倍的环，则视力为 0.5。

2、分辨本领

眼镜的分辨本领

眼睛能分辨开两个很靠近的点的能力称为眼睛的分辨率。刚能分辨开的二个点对眼睛物方节点的张角称为眼睛的极限分辨角。

根据物理光学理论，入瞳为 D 的理想光学系统的极限分辨角为 $\varphi = \frac{1.22\lambda}{D}$ （单位弧度）

$$C'' = (1.22 * 555 * 10^{-6} * 3600 * 180 / 3.14) / D = 140'' / D$$

一般取眼睛的极限分辨角为 1 分。

| | | |
|-------------|---|---|
| 眼睛的分辨本领相关因素 | { | <p>物体的高度^①和对比度而异。当对比度一定时，高度越大则分辨率越高；当对比度不同时，对比度越大则分辨率越高。</p> <p>照明光的光谱成分：单色光的分辨率要比白光为高，并以555纳米的黄光为最高。</p> <p>网膜上的成像位置：成像于黄斑^②处时分辨率最高。</p> |
|-------------|---|---|

眼睛的瞄准精度

测量时需要用某种标志对目标进行对准，这一过程称为瞄准。

瞄准精度随所取的标志而异。

| | | | |
|---|---|---|---|
|  |  |  |  |
| 30"至60" | 10"至20" | 10" | 5" |

通常我们所说的人眼的视力，是指在明亮环境下，注视点的视力，也叫中心视力。注视点对应人眼的黄斑，是人眼视觉细胞最密集的地方，因此也是视力最好的地方。偏离中心 2 度的角度，则视力下降为 1/2，偏离中心 10 度，则下降为 1/10。这是因为，对于明亮物体，主要是视锥细胞在起作用，而视锥细胞主要集中在大约半径为 3 度的黄斑里面，外边分布比较稀少，因此分辨本领不佳，在偏离中心 20 度的角度时，视力不还不到 0.1。尽管周边视力不佳，但对于运动物体和闪动非常敏感。例如，直接观察日光灯管的一端，不会看到 50Hz 的闪动，而用余光观察，一般可以看到闪动。

在比较黑暗的地点，例如在亮度为 0.01 尼特的情况下，视锥细胞就不再起作用，只能是分布广而相对稀疏的视杆细胞起作用，因此人眼的分辨能力大为下降，中心黄斑部分视力下降到 0.05，反而不如黄斑以外（因为中心黄斑几乎没有视杆细胞），非黄斑区域视力基本不变，最好视力在黄斑边缘附近，大约偏离中心 15 度左右，为 0.1。这时的视力，称为暗视觉。但由于视杆细胞只有一种，因此是分辨不出物体颜色的，因此我们观察星云时（其表面亮度大多在 0.01 尼特以下），看不出颜色。有关视力与亮度之间的关系，是逐渐变化的。

人眼的这个视觉曲线，是与感觉细胞的密度直接相关的，换句话说，视力曲线上的某一点与视网膜上相应的感觉细胞的密度有换算关系。从另外一个角度来看，由于在 5 尼特的亮度情况下人的瞳孔直径约为 2.5mm，因此，根据瑞利判据，其理论分辨力为 $140/2.5=56$ 角秒，这与人眼中心的最佳视力是非常匹配的。但是，若光线变暗，瞳孔直径会变大，尽管理论分辨能力也会提高，但人眼光学系统不是理想系统，像差会随光圈的增大而加大，不过恰巧人眼的后部感觉细胞在这个时候分辨能力也随之下降，因此感觉不到这样的像差。这一巧妙的配合，是眼睛在长期进化的过程中适应的。

真实物理世界没有颜色这回事，只有频谱分布。

我们平时看到的各种色彩都是由一些连续或不连续频率的，强度不一的电磁波（包括可见和不可见波段）组成的。单一频率的光在自然界几乎没有。同一种色彩可能具有不同的频谱分布，同一种频谱分布一定是同一种色彩。

光亮感觉特点：

- 1、人眼的主观亮度感觉与周围环境亮度有关
- 2、主观亮度感觉 S 与亮度值 L 的对数成比例关系： $S = K \lg L + K_0$ ，其中 K_0 和 K 为常数
- 3、主观亮度感觉是心理量而不是物理量，故其单位是以实验得出的变化级数（ S ）来表征的。实验表明，在不同的亮度值 L 值下，人眼能察觉的最小亮度变化 ΔL_{\min} 并非定值。 L 越大， ΔL_{\min} 也大； L 越小， ΔL_{\min} 也小，但 $\Delta L/L$ 大致相同。

将可察觉的最小相对亮度变化 $\Delta L_{\min}/L$ 称为对比度灵敏度阈，其值通常在 0.005-0.05 之间。

人眼的亮度感觉并非决定于绝对亮度变化，而是决定于相对亮度变化。故重现景物的亮度无须等于实际景物的亮度，而只需保持最大亮度与最小亮度比值相同，就能给人以真实感。

亮度感觉

亮度视觉范围：人眼能够感觉到的亮度范围。这个范围很大，可达 109 : 1。人眼总的视觉范围很宽，但不能在同一时间感受这么大的亮度范围。当平均亮度适中时，亮度范围为 1000 : 1；平均亮度较高或较低时亮度范围只有 10 : 1；通常情况下为 100 : 1；电影银幕亮度范围大致为 100 : 1；显像管亮度范围约为 30 : 1。

人眼对景物亮度的主观感觉不仅取决于景物实际亮度值，而且还与周围环境的平均亮度有关。人眼的明暗感觉是相对的，在不同环境亮度下，对同一亮度的主观感觉会不同。

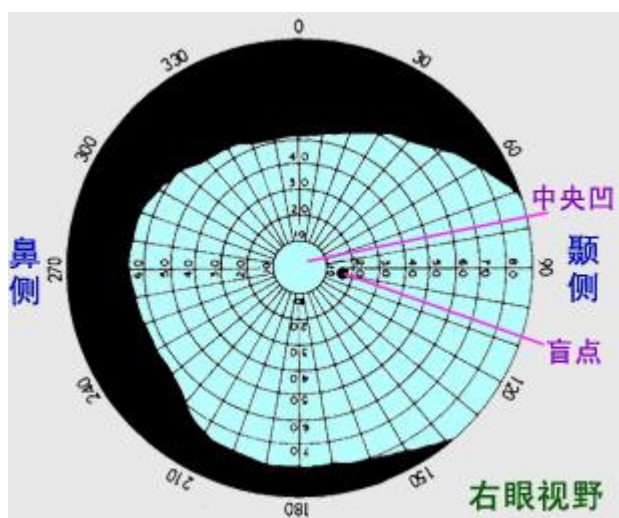
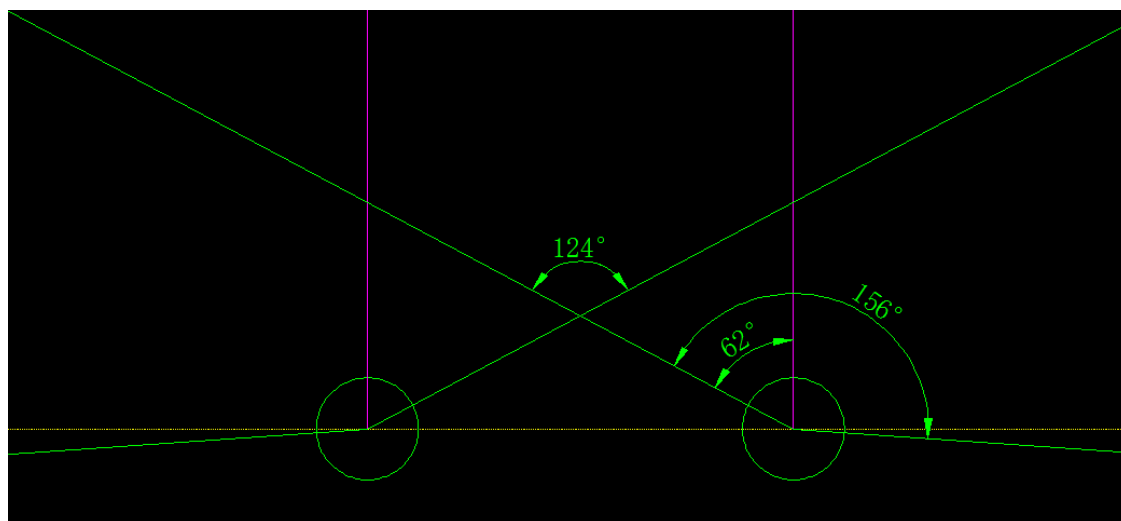
3、视觉角度

人单眼的水平视角最大可达 156 度，双眼的水平视角最大可达 188 度。人两眼重合视域为 124 度，单眼舒适视域为 60 度。

头不动，眼球可以转动，双眼最大视角 230°。

实际上，人视觉在 10 度是敏感区，10-20 度可以正确识别信息，20-30 度对动态东西比较敏感。

人眼垂直视场大约为 135°。



4、视觉曲线

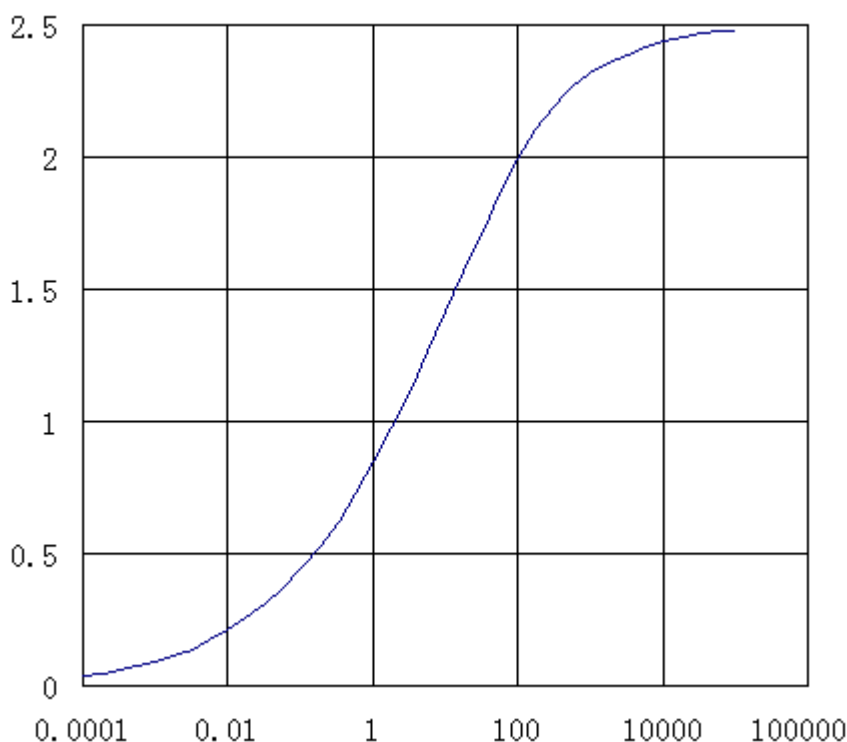
人眼的视觉曲线是指对于不同波长(不同颜色)的光，主观亮度的相对值曲线。如右图，

右边的曲线称为明视觉曲线，是在明亮的环境下（5 尼特）的光谱响应。可以看出，人眼最灵敏的点是在 555 毫微米的黄绿色光。对于 475 毫微米的蓝色光和 650 毫微米的橙红色光，需要 10 倍的强度才能引起与这黄绿色光相同的亮度感觉，而对于 685 毫微米的红色光，灵敏度就更下降到 1%了。左边的曲线，被称为暗视觉曲线，是在 0.001 尼特以下的亮度下测定的。可以看出，峰值已经转移到 510 毫微米的绿色光，相应 10%灵敏度的点分别为 420 毫微米和 585 毫微米。这是杆状细胞在起作用。

人眼明视觉亮度范围为 1nit 到 10^6 量级 nit，暗视觉范围为千分之几到几个 nit。

四、人眼视觉特性与各种外界条件的关系

1、 视力与亮度的关系



视力随着被观测物体的亮度变化是非常显著的。在一般情况下，视力随亮度的增加而提高。右图为亮度与视力关系曲线，横轴为亮度（尼特），纵轴为白地黑圈兰道尔环视力。

可以看出，直到 3000 尼特，视力都在随亮度而上升。而且，从 0.1 至 300 尼特的亮度范围内，视力与亮度的对数成正比（直线关系），这符合韦伯-费希纳定律。我们往往在看细小物体时要走到窗前就是这个道理。这也说明，晚间看书写字时，保持一定的照明是非常必要的，避免由于亮度降低而引起的视力下降，进而必须把书本移近眼睛才能看清楚，这样时间长了就会导致近视。从图上也可以看到，在 0.01 尼特以下的亮度，人眼的视力将变得很差。不幸的是，大多数星云的表面亮度都小于 0.01 尼特，在这种情况下人的视力只有大约 0.14，即只能分辨出 7 角分（而不是平常所说的 1 角分）的物体。因此，我们在直接观察星云时，需要大的口径，以便在保持亮度的基础上有一定的放大倍数，才能观测到细节。

2、反差对比识别与亮度的关系

把两个不同亮度的物体相临的放在一起，为了区分它们的不同，其亮度应该有一定的差异，小于这个差异，就区分不出来。当亮度大于 1 尼特时，只要有 1.5% 或更小的亮度差异，人眼就可以分辨出来。在 0.1 尼特时，需要 5% 的差异才能分辨，在 0.01 尼特时，需要 10% 的差异，在 1 毫尼特时，需要 25% 的差异，而 0.1 毫尼特就需要 60% 的差异了。到了最极限的情况，就是一个全黑的物体和一个 30 微尼特的物体，人眼刚刚能够分辨，因此，这 30 微尼特也就成为人眼绝对灵敏度的一种表示方法。

3、视力与观察时间的关系

视觉并非是一瞬间的事情，为了清楚的看见物体，需要有一定的时间。与相机一样，如果曝光时间不够，则视力下降。一般来讲，越亮的物体，就可以曝光时间越短。5 尼特亮度的物体，至少需要 1/10 秒才能达到 1.0 的视力，曝光 1/25 秒只能达到一半的视力，而 1/50 的曝光视力只有 0.1。对于暗物体，一般需要成反比的加大曝光时间才能够分辨。

4、视力与明暗适应的关系

我们都有过从亮处突然进入暗处而看不到任何东西的经历（例如，电影已经开演后才进入电影院）。这说明，人眼需要一定的时间的暗适应后才能看清暗物体，称为暗适应。人眼的暗适应分三种，一个是瞳孔放大，是个相对比较的反映。从 2mm 放大到 5mm 很快，但进一步散大需要长一点的时间。第二是视锥细胞的适应，中等速度，需要在 5 分钟的时间才能达到大约 0.1 尼特的感觉下限。最后是视杆细胞的适应，速度最慢，需要长达 25 分钟才能达到或接近 30 微尼特的感觉下限。

另一方面，是从暗处到达亮处的明适应。尽管人眼感觉不舒服，但会在很快的时间（1 分钟之内）恢复原来的不灵敏状态。但是，经过长期（几天）不见光的环境后，人眼高度灵敏，直接突然暴露在强光下会造成永久性伤害。因此，从无光的山洞里走出来的人，需要逐步见光才可以，否则将造成眼睛永久性伤害。

5、色彩感觉与亮度的关系

由于人眼对色彩的感觉要依赖与三钟分别感知蓝、绿、红色光的视锥细胞，而视锥细胞的灵敏度比较低，因此造成人眼在低亮度物体下失去颜色感觉的先天缺陷。在 1 尼特以上，人眼可以容易的辨认颜色，而亮度下降到 0.1 尼特时，已经接近视锥细胞的最低灵敏度，开始对亮度失去感觉，下降到 0.01 尼特时，主要是对颜色没有感觉的单色杆状细胞在起感觉作用，就基本上没有颜色感觉了。因此，我们看到的天空中的星云，都是没有颜色的。

6、人眼对亮度的适应

人的眼睛能够适应的最高亮度，大约为 3000 尼特。这个数值，是与白天天空的亮度以及阳光下比较深色物体的亮度（如土地、植物）是相符合的，也是人类在地球上生存所必

须的。超过这个亮度，人眼就无所适从，长时间暴露在高亮度的环境下会对眼睛造成伤害。例如，登山运动员在有雪的高山上一定要带上深色眼镜，否则高海拔太阳本来就非常强烈，再加上白雪的反射，会使人很快患上雪盲。本来地球地面的反光是比较弱的，无论是原始的黑土地，还是绿色植物，但现在在城市里的很多人造物体往往违反这个规律，例如大面积的浅色的地砖、明亮的建筑物玻璃幕墙。因此，夏天长时间户外活动也应准备一副墨镜，以便保护自己的眼睛，不受强光的刺激，以便在夜晚观测时保持高度的灵敏。

五、误区

1、人眼是个理想的光学系统

人眼的光学系统其实很简单，并非理想系统，主要表现在以下几个方面：

A、色差。人眼是有色差的。之所以很难辨别出色差，是因为

- a) 人眼焦距小，因此色差相对小；
- b) 人眼相对光圈小，尤其是高亮度的情况下，因此色差难于观察出来；
- c) 人眼最主要的感觉区域—黄斑直径相对很小，只利用像的中心一小部分。而边缘即便有色差，人眼的分辨能力也不够，因此感觉不出来；
- d) 大脑对色差有补偿作用。

其实，从人眼的简单结构就可以看出，色差是不可避免的。人眼在进行手术后，仍然可以保证没有色差，并非是自调节作用很强，而是主要是因为人眼的结构造成原本对色差就不敏感。

B、调焦范围不够。主要指近视、远视。

C、光学质量有问题（主要指散光）。

人眼特征

- 1、 在一般情况下，如有两种光谱成分不同的光，只要三种光敏细胞对它们的感覺相同，则主观彩色感觉（包括亮度和色度）就相同
- 2、 格拉斯曼定律：复合光的亮度等于各光分量的亮度之和。
- 3、 人眼的视觉范围有一定的限度，明暗感觉是相对的
- 4、 韦伯-费赫涅尔定律：亮度感觉与亮度 L 的对数成线性关系
- 5、 一方面，重现景物的亮度无需等于实际景物的亮度，而只需保持两者的最大亮度与最小亮度的比值不变；另一方面，人眼不能察觉的亮度差异，在重现景物时也无需精确复制出来。
- 6、 人眼分辨景物细节有一极限值，对彩色细节的分辨能力远比亮度细节分辨力低
- 7、 视觉的空间频率响应具有低通滤波器性质
- 8、 人眼存在视觉惰性：电影、电视放映的生理基础。临界闪烁频率取决于亮度、亮度变化幅度、观看距离等。

视觉惰性

当有光脉冲刺激人眼时，视觉的建立和消失都需要一定的过程，即具有一定的惰性。光源消失以后，景物影响会在视觉中保留一段时间，称为视觉暂留或视觉惰性现象。视觉暂留时间在 $0.05 \sim 0.2$ 秒。

临界闪烁频率（简称 CFF）

如果周期性重复的脉冲光源作用到视网膜上，当脉冲光的重复频率不够高时，人眼会对之产生一明一暗交替变化的闪烁感觉。这是因为光源在有光和无光间变化时，人眼在亮度感觉上能辨识出它们的差异所致。

把不再引起闪烁感觉的光源的最低重复频率称为临界闪烁频率，许多研究表明，人眼的 CFF 受很多因素的影响，其中闪烁光的亮度是最重要的因素：在中等亮度范围内，CFF 随亮度的提高可以从 5 赫增加到 55 赫。CFF 和亮度的对数成线性关系，这就是费里 - 波特定律。当闪烁光的频率高于 CFF 时，人眼产生融合的感觉，这种感觉与整个周期都是均匀一致的稳定光所产生的感觉一样。这时只要闪烁光的平均亮度和稳定光的亮度相同，人眼就不能区分它们。这就是塔尔伯特 - 普拉托定律。一个人能看到的闪烁频率越高，他的视觉分辨能力就越强。闪烁临界频率可以反映一个人的生理和心理功能状态。

影响因素

- 1 光刺激的强度
- 2 刺激的面积
- 3 视网膜的不同部位
- 4 不同背景光及不同的刺激色光
- 5 其次，CFF 还与年龄、疲劳、缺氧和年龄有关

视觉疲劳

在观察距离较远时，主观视觉疲劳一般比较轻微，观看距离越近，主观视觉疲劳越严重。一旦产生视觉疲劳，这种疲劳就会随着时间的推移而积累，绝不是通过眨眼或者搓揉眼眶等简单手段可以减轻的。（PVD 观看距离与图像高度之比）

关于 VR 机器的虚像距离？1-3 米虚像

而导致产生数码视觉疲劳（DEF）的最主要原因之一，正是短波蓝光。

短波蓝光是波长处于 400nm-480nm 之间具有相对较高能量的光线，会使眼睛内的黄斑区毒素量增高，导致视网膜色素上皮细胞衰亡，从而引起视力损伤。受到蓝光形成的眩光刺激，也会引起视觉模糊等视疲劳症状，严重威胁我们的眼底健康。

短波蓝光对视网膜的慢性损伤，导致视网膜退化，是引发和加剧视网膜色素变性、黄斑病变等疾病的主要原因之一。

在 2010 年国际光协会年会中，世界顶尖光学专家一致指出：短波蓝光具有极高能量，能够穿透晶状体直达视网膜。蓝光照射视网膜会产生自由基，而这些自由基会导致视网膜色素上皮细胞衰亡，上皮细胞的衰亡会导致光敏感细胞缺少养分而引起视力损伤，而且这些损伤是不可逆的。

人眼的远点距离和近点距离

远点距离：人眼可以看清物体的最远距离

近点距离：人眼可以看清物体的最近距离

明视距离：在合适的照明条件下，眼睛最方便、最习惯的工作距离。最适合正常人眼观察近处较小物体的距离，约 25 厘米。（我认为应该是起好奇心后认真观察的距离，不是最舒适观看距离）

远点距离 = $100 / \text{近视度数}$ （单位米）

近点距离 = $100 / (\text{近视度数} + x)$ （单位米）

X 为正常眼随年龄变化的相关参数，此数字随年龄的变化而变化，具体最大调节参数如下：

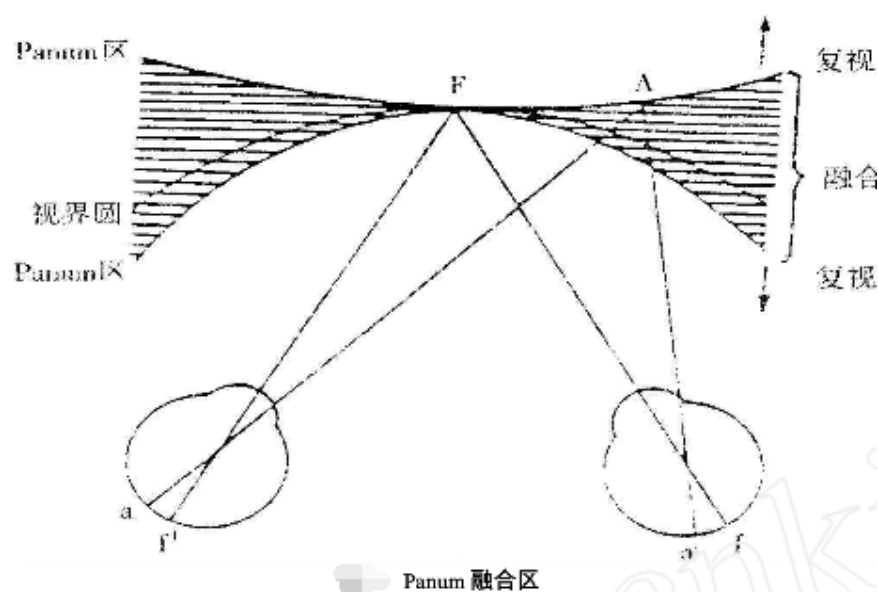
| 年龄 | 最大调节度 (X) |
|----|-----------|
| 10 | 1400 |
| 15 | 1200 |
| 20 | 1000 |
| 25 | 780 |
| 30 | 700 |
| 35 | 550 |
| 40 | 450 |
| 45 | 350 |

眼睛的立体视觉

眼睛观察物体时，能辨别物体距离，区分相对远近。

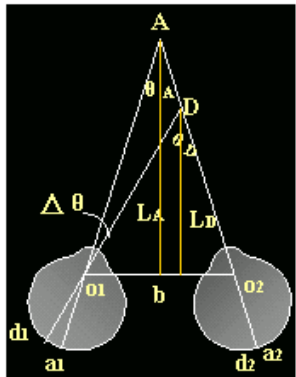
单眼体视：对于较近的物体，利用眼睛的调节发生变化而产生的感觉来估计距离，范围不大于 5 米。对于较远的熟悉物体，是利用它对眼睛的张角大小来估计远近的；对于不熟悉的物体，以与邻近的熟悉物比较来确定其相对远近。

双眼体视：物体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（Panum 融合区）



眼睛估计距离是利用眼睛的调节，当视线转向被观察物时肌肉用力，最小能觉察 7 分。

而辨别相对远近是利用两眼视线的夹角，即立体视差角。

| | | | |
|---|----------------------------------|---|--|
| 立体视差角 $\theta = \frac{b}{L}$ | b 为基线长，成人 65mm。L 为观察点到眼睛的距离 |  | |
| $\theta_A = \frac{b}{L_A}$, $\theta_D = \frac{b}{L_D}$ | | | |
| 立体视差 $\Delta\theta = \theta_D - \theta_A$ | 是人眼能觉察的最小立体视差，约束 30"，经训练可以小到 10" | | |
| 体视锐度 $\Delta\theta_0$ | | | |
| 体视圈半径 $L_m = \frac{b}{\Delta\theta_0} = 1350\text{m}$ | 人眼存在立体视觉的范围 | | |
| 体视阈值 $\Delta L_0 = \frac{L^2}{b} \Delta\theta_0$ | 能分辨不同远近两点间的最小距离 | | |

眼睛的调节 - 眼睛具有很大的自动调节范围

肌肉完全放松时，眼睛所能看到的最远点称为眼睛的**远点**。

肌肉最紧张时，眼睛所能看到的最近点称为眼睛的**近点**。

分别以 p 和 r 表示近点和远点到眼睛物方主点的距离(米)，则其倒数 $P=1/p$ 和 $R=1/r$ 就是近点和远点会聚度的屈光度数。眼睛的调节范围为 $A=R-P$

下表是正常眼在不同年龄时的调节能力

| 年 龄 (岁) | 近点距p (米) | $P = 1/p$ (屈光度) | 远点距r (米) | $R = 1/r$ (屈光度) | $A = R - P$ (屈光度) |
|------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|----------------------|
| 10 | -0.071 | -14 | ∞ | 0 | 14 |
| 20 | -0.100 | -10 | ∞ | 0 | 10 |
| 30 | -0.143 | -7 | ∞ | 0 | 7 |
| 40 | -0.222 | -4.5 | ∞ | 0 | 4.5 |
| 50 | -0.40 | -2.5 | ∞ | 0 | 2.5 |
| 60 | -2.00 | -0.5 | 2.0 | 0.5 | 1.00 |
| 70 | 1.00 | 1.00 | 0.80 | 1.25 | 0.25 |
| 80 | 0.40 | 2.50 | 0.40 | 2.5 | 0.00 |

正常眼和非正常眼

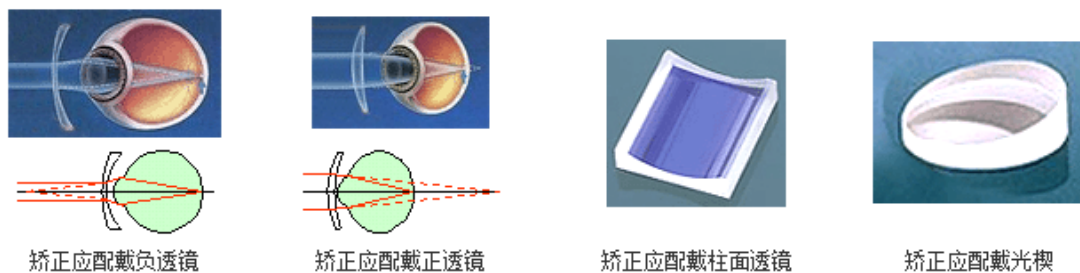
正常眼：远点在无穷远，像方焦点在视网膜上。年龄大时将会失去正常。

近视眼：焦点在视网膜前，眼球偏长，远点在眼前有限远。

远视眼：焦点在视网膜后，眼球偏短，远点在眼后有限远

散光：折射面曲率异常，两个互相垂直的方向有不同的焦距

斜视：晶状体位置不正或者折射面曲率异常



眼睛的适应

眼镜的适应指对各种光亮环境的适应能力。眼睛所能感受的光亮度变化范围很大，约为 $10^{12}:1$ 。人眼能感受到的最低照度值称为绝对暗阈值，约为 10^{-9}Lx 。它相当于蜡烛在 30 公里远处所产生的照度。

适应有暗适应和亮适应两种，前者发生在自亮处到暗处，过程较慢，极限在 60 分钟；后者发生在自暗处到亮处时，过程较快，只需要几分钟。

50 个有趣的冷知识

1. 人类的眼角膜和鲨鱼的极其相似，因此后者常在外科手术中用做人类眼角膜的替代。
2. 人和狗是唯一会在对方眼神中做出判断的物种。而狗只在和人类交流时这样做。
3. 除非经过特殊训练，要不然人不可能睁着眼睛打喷嚏。
4. 海盗带金耳环是因为他们相信这样能增加视力。
5. 在一次电视采访中，一名在越南的美国战俘曾不断眨眼拼出摩尔斯电码 torture，以向美

国军方暗示他在越南的遭遇。

6.看着自己喜欢的人的时候，人的瞳孔会扩大 45%。

7.所有刚出生的婴儿都是色盲。在孩子刚刚出生并睁开眼睛的时候，他们的世界，主要由三种颜色组成:黑色、白色以及灰色。

8.哥本哈根大学的科学家发现蓝眼睛的人拥有一个共同祖先，这位祖先出现蓝色变异，生活在 6 到 1 万年前。在此之前，所有人都是褐色眼睛。

9.人的眼睛能分辨出 500 种不同色度的灰色。

10.每只眼球内部约有 1.07 亿个对光线敏感的细胞

11.每 12 个男性中就有一个患色盲。

12.棕色眼睛的人实际上是棕色色素遮盖了蓝色，有一种激光手术可以将棕色眼睛永久性地变为蓝色眼睛。

13.有些真实存在的颜色人类是看不见的，它们被称为“看不见的颜色”。

14.大约 2%的女性会产生一种罕见的基因突变，这使得她们的眼中出现一个额外的视锥细胞，可以分辨 1 亿种颜色。

15.一些人天生就有两只不同颜色的眼睛，这叫做“虹膜异色症”。

16.世界上最多的眼睛颜色是“棕色”。

17.人眼中分辨颜色的视细胞色只对“红绿蓝”3 种波长范围的电磁波敏感，人类看到的颜色是这 3 种波长的混合。

18.身体的大部分地方都需要一定的时间才能活跃起来，激发它们的潜能，而眼睛却整天 24 小时都处在活跃状态。

19.正常成年人眼球的前后径平均为 24 毫米，垂直径平均 23 毫米，重约 8 克。

20.全身所有肌肉中，控制眼睛的肌肉是最活跃的。

- 21.每只眼睛的视网膜后方都有一小块盲区，这里连接着视神经。你之所以感觉不到，是因为另一只眼的代偿作用。
- 22.人的眼睛从出生后大小基本保持不变，从 19 变长 24mm 而，而耳朵和鼻子是不断生长的，以倍数来论。
- 23.大多数人认为眼泪只由水构成，其实眼泪主要由脂肪、粘液和水 3 种成分构成。
- 24.人的眼球只有 1/6 露在外面，是唯一暴露在空气中的器官。
- 25.人在一生中，眼睛平均要看 2400 万幅不同的画面。
- 26.当人的眼睛在追踪一个移动的物体时，它只能做平滑运动，无法跳跃。
- 27.平均每个指纹有 40 个独有的特征，而眼睛的虹膜则有 256 个。因此视网膜扫描日渐广泛地运用于安检等很多领域。
- 28.人眼包含有 200 万个“零部件”，用于维持正常视觉功能。
- 29.人们常说“眨眼间”，因为眼部肌肉是身体中运动最快的肌肉，眨一次眼只要 100 到 150 毫秒。一秒钟内甚至可以眨 5 次眼。
- 30.人们在电脑屏幕上阅读时，通常比在报纸上阅读慢 25%。
- 31.眼睛每小时大约能处理 36000 比特的信息量。
- 32.眼睛每秒钟大约可聚焦 50 次。
- 33.只要妥善护理，眼睛能够迅速愈合。如果眼角膜擦伤只需 2 天左右就能愈合。
- 34.眼睛平均每分钟眨 17 次，每天眨 14280 次，每年 520 万次。讲话时眨眼的频率大于阅读时。
- 35.眼睛的聚焦速度比任何一台照相机都要快。
- 36.眼是胚胎最早生长的器官之一。胚胎 8 周时，婴儿的眼睛就开始发育了。
- 37.人与人眼神交流最舒适的时间约 4 秒。

38.箱型水母的眼睛与人类相似，都有复杂的晶状体、视网膜、虹膜和角膜，但是它们的眼睛却从来没有焦距，因为它们没有一个中枢神经系统，科学家们并不确定它们如何处理所看到的图像。

39.我们看东西是用脑而不是眼，这听起来匪夷所思。很多时候视力模糊或者视力下降并不是由眼睛造成的，而是脑部的视觉皮质出现问题引起的。

40.盲人也能做出三维的梦境。盲人实验者虽然不常做有场景的梦，但是当他们梦到时，不仅能够对场景进行空间性的描述，还能描绘其中的画面。

41.视觉信息占用了大脑 65%的工作量。

42.传入大脑的视觉信息其实是倒着的，像看镜中的字一样。

43.古罗马血腥的格斗比赛唯一的规则就是不许挖对方的眼睛。

44.螳螂虾能看见的色觉范围可以覆盖人类所看见的所有光谱，并且它们还能看见我们看不见的紫外线。螳螂虾可以看见 12 种原色，是人类能识别原色能力的 4 倍。

45.研究表明，患重度抑郁症的人看到的颜色对比度降低，这使他们眼中的颜色比实际暗淡。

46.每根睫毛的寿命约为 5 个月。

47.巨型乌贼拥有世界上最大的眼睛，其直径大约 27 厘米。

48.很多海盗双眼正常，戴眼罩是为了一只眼睛能适应甲板上的明亮环境，另一眼适应甲板下的昏暗光线。

49.5 亿年前，眼睛就开始起源了，最简单的眼睛是单细胞生物中的感光蛋白点。

50.玛雅人努力将自己的孩子培养成斗鸡眼，因为他们认为斗鸡眼很好看。