

视觉及测色应用

林仲贤 孙秀如 编著

• 科学出版社 •

视觉及测色应用

林仲贤 孙秀如 编著

科学出版社

1987

内 容 简 介

本书简要而通俗地介绍了有关视觉及颜色测量和颜色实际应用方面的基础知识。书中附有大量图表和实际运算例证，并附有视觉和颜色名词解释。

本书可供从事光色测量、彩色电影、电视、颜色信号、商业广告、颜料涂料、彩色印刷、建筑照明等部门的工作者及有关大专院校的师生阅读参考。

视觉及颜色应用

林仲贤 孙秀如 编著

责任编辑 谢 斌

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987 年 6 月 第 一 版 开本：787×1092 1/32

1987 年 6 月 第一次印刷 印张：11 1/8

印数：0001—2,800 字数：253,000

统一书号：13031·3521

本社书号：5110·13—18

定价：2.65 元

前 言

我们对周围世界的大量信息主要是通过视觉通道获得的。人凭借视觉器官感知外界物体的形状、大小、距离、方位、明暗以及颜色等特性。我们能较好地适应周围环境，主要是通过光的媒介作用。光刺激作用于我们的视觉器官，使我们获得了外界丰富多采的变化信息，这些信息传导到脑，并进行了加工处理，作出解释与反应。

由于我们生活在一个彩色的世界中，我们的生活离不开彩色，而人们感知颜色又与视觉系统的结构有着密切的关系，因此，在本书中我们将视觉和颜色的有关问题一起讨论。

本书大体上分三部分：第1—7章主要介绍有关视觉的基础知识；第8—13章主要介绍颜色的基础知识和测色原理及方法；第14—15章主要介绍颜色标准化及实际应用。

颜色科学是在本世纪才发展起来的一门综合性科学，它与物理光学、生理学及心理学都有着密切关系。颜色科学在我国的基础比较薄弱，只是随着社会主义建设的发展的日益需要，才引起重视。近年来，我们在颜色视觉和颜色标准化方面进行了一些工作，因此，在编写此书时，我们尽可能地反映国内在这方面的科研成果。

本书在编写过程中，曾得到各方面的同志大力支持和帮助。中国心理学会理事长、中国科学院心理研究所副所长荆其诚教授亲自细致地审阅了全稿，并帮助最后定稿。在此我们表示衷心的感谢。由于我们业务水平有限，书中难免尚有不少缺点和错误，请读者批评指正。

编 著 者

1985年2月于北京

• v •

目 录

前言

第一章 视觉器官的构造及视觉刺激.....	1
一、眼睛的构造及功能	1
二、视觉器官的传导和中枢部位	4
三、视觉的物理刺激	8
四、视觉阈限的测定	10
五、光的强度的测定	13
第二章 锥体视觉和杆体视觉.....	15
一、视网膜的两种基本感光细胞——锥体细胞和杆体细胞.....	15
二、视觉的两重机能	16
三、国际照明委员会明视觉、暗视觉光谱光效率函数	18
四、中间视觉	22
五、光度值的测量法	23
第三章 暗适应与明适应.....	26
一、暗适应及其主要机制	26
二、影响光感受性及暗适应过程的因素	29
三、明适应.....	32
四、适应过程的测定方法	34
第四章 视敏度和细节视觉.....	36
一、视角大小和视网膜映象大小	36
二、视敏度和细节视觉	38
三、视敏度与照明的关系	42
四、视觉适应与闪光盲	48
第五章 视觉后象及闪光融合频率.....	50
一、视觉后象	50

二、视觉图形后效	51
三、闪光临界融合频率 (CFF)	52
四、影响闪光融合频率的因素	53
五、闪光融合频率的测定方法及实际应用	56
六、刺激的时间因素	58
七、空间的积累	59
八、视觉阈限的量子理论	61
第六章 双眼视觉	63
一、视网膜相应点	63
二、双眼视差	64
三、双眼辐合角	67
四、深度视敏度	69
五、双眼竞争	71
六、双眼融合	73
第七章 侧抑制和感受野	75
一、侧抑制现象	75
二、感受野	78
三、视觉环境对视觉系统发育的影响	81
四、视错觉现象	84
第八章 可见光与颜色	88
一、颜色与可见光波	88
二、物体表面色与光源色	89
三、物体颜色的光谱特性	92
四、不同色光照明对物体表色的影响	94
五、颜色恒常性	95
第九章 颜色的基本特性及颜色混合	99
一、颜色的三个基本特性	99
二、色三维空间纺锤体	100
三、彩色视野	102
四、加法混色	103
五、减法混色	108

六、颜色混合三定律	110
七、混合颜色刺激的方法	113
八、颜色混合三角形	114
第十章 颜色辨别及颜色对比	117
一、比色	117
二、格拉斯曼定律	120
三、颜色的辨别	121
四、影响表色辨别的一些因素	125
五、色适应	126
六、色对比和色融合	127
七、色的心理效应	129
第十一章 色觉异常及色觉理论	132
一、色盲的分类	132
二、色盲的原因及机制	135
三、色盲的检查	137
四、色觉理论	138
第十二章 颜色的标定	143
一、1931 CIE-RGB 系统	143
二、1931 CIE-XYZ 系统	150
三、1931 CIE xy 色度图	158
四、CIE 1964 补充色度学系统	165
五、CIE 1960 均匀色度标尺图	170
六、CIE 均匀颜色空间	179
第十三章 颜色的测量及色差评定	183
一、CIE 标准照明体和标准光源	183
二、同色异谱颜色	187
三、颜色的测量	189
四、色标测色法(孟塞尔色系)	211
五、测色仪器	222
六、色差公式及色差评定	228
第十四章 人类肤色的测定及应用	252

一、不同肤色的光谱反射特性	252
二、我国人自然肤色色度的测定	255
三、人类肤色试样标准	264
四、记忆肤色、喜爱肤色和化妆肤色	270
五、影响肤色再现的一些因素	276
第十五章 颜色标准化及应用	279
一、彩色电视基色的规范	279
二、彩色再现的评价方法	285
三、评价色再现的试验色样的选择	293
四、信号颜色标准	317
附录 I 照度、亮度单位换算表	323
附录 II CIE 1931 色度图标准光源 A, B, C, E (等能光源) 恒定主波长线的斜率	325
附录 III CIE 1931 Y 值向 CIE 1964 W^* 值换算表($W^* = 25Y^{1/3} - 17$)	338
附录 IV 视觉和颜色主要术语	342

第一章 视觉器官的构造及视觉刺激

一、眼睛的构造及功能

人眼的外形接近球形，是一个直径为 24 毫米的球状体，又称为眼球。眼球壁由巩膜、脉络膜和视网膜组成(图1-1)。

巩膜在眼球壁最外一层，呈白色，厚约 0.4—1.1 毫米，它主要起着巩固、保护眼球的作用。巩膜前面六分之一是透明部分，叫角膜。角膜的厚度大约是 1 毫米，直径约 11 毫米，它好像眼睛的玻璃窗户，光线从角膜射入眼内。

脉络膜紧贴巩膜，其厚度达到 0.35 毫米，它含有丰富的血管和色素，起着输送养料、滋养眼睛的作用。脉络膜的最前面的环状部分为虹膜，眼的“颜色”由虹膜中的色素决定。虹膜中央有一个小圆孔，叫做瞳孔。瞳孔能控制进入眼内的光量，它可以随着光线的强弱而扩大或缩小，起着象照相机的光圈一样的作用。

虹膜后面为水晶体，是透明的胶状体，富有弹性的柔软组织，前后直径为 3.6—4.6 毫米，纵径约 9 毫米，它将光线聚焦到视网膜上。角膜与虹膜之间的空间为前房，位于虹膜和水晶体之间的空间为后房，这两个房都充满水样液。水晶体后面的空间充满着叫玻璃液的液体。角膜、水晶体、水样液和玻璃液组成了整个眼睛的折光系统(又称光路系统)，它们使得由物体射来的光线发生折射而成象。

眼球的第三层为视网膜，约占眼球内表面的三分之二，它含有感光细胞(杆体细胞和锥体细胞)、双极细胞和神经节细

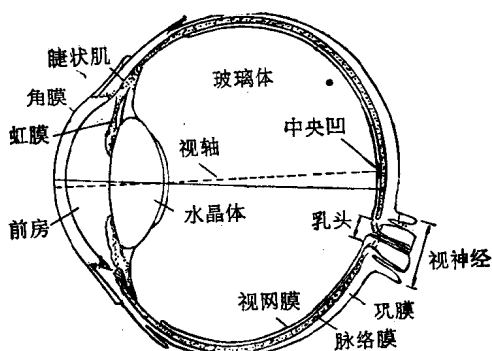


图 1-1 人眼模式图

胞。人的视网膜厚度约 0.1—0.5 毫米，从组织学上可分成十层，但通常可以粗略地分为明显的三个层次：

1. 一层感光细胞，即杆体细胞和锥体细胞；
2. 一层双极细胞。锥体细胞和杆体细胞与双极细胞连接，一般情况是，每一个锥体细胞与一个双极细胞连接，这是为了在光亮条件下便于精细地感受外界的光刺激。而杆体细胞往往是几十个只连接一个双极细胞，这是为了在黑暗条件下能够总合外界微弱的光刺激；

3. 一层神经节细胞，其细胞的视觉纤维通向大脑，总数约有八十万个。

人眼的锥体细胞的长度为 0.028—0.058 毫米，直径为 0.0025—0.0075 毫米。杆体细胞比锥体细胞要长些，其长度为 0.040—0.060 毫米，平均直径 0.02 毫米左右。图 1-2 是视网膜的剖面图。在人的视网膜上，正对着瞳孔的中央有一个直径约 2.0 毫米的区域，因为呈黄色，叫黄斑。黄斑的最大直径为 2.9—0.6 毫米。在视网膜黄斑中央有一个小凹，叫中央凹，直径为 0.4 毫米，这是视觉最敏锐的地方。

人的每只视网膜中，共计有一亿二千万个杆体细胞和七

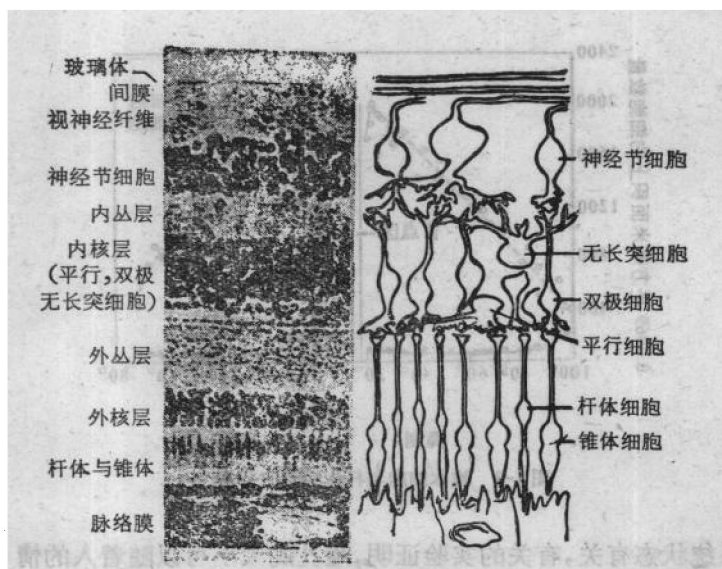


图 1-2 视网膜的剖面图

百万个锥体细胞, 它们的分布是不均匀的(图 1-3). 在视网膜中央的黄斑部位和中央凹大约 3° 视角范围内只有锥体细胞, 几乎不存在杆体细胞. 中央凹部位的光感受细胞的密度很高, 平均每平方毫米差不多有十五万个锥体细胞. 在黄斑以外, 杆体细胞数量增多, 而锥体细胞数量减少. 在距中央凹约 4 毫米的鼻侧处是视神经进入眼球内的地方, 此处既没有杆体细胞也没有锥体细胞, 因此, 视网膜上的这一点是没有光感觉的, 叫做盲点.

从眼睛的构造来看, 它的光路系统是由这几部分组成的: 角膜、水样液、虹膜和瞳孔、水晶体、玻璃体等. 光线通过角膜进入眼球, 经过水样液, 再经过虹膜, 虹膜上的瞳孔随着光线的强度变化它的口径大小(从 2 毫米到 8 毫米), 强光时缩小, 弱光时扩大. 瞳孔除了对光线强度的变化反应外, 还与神经

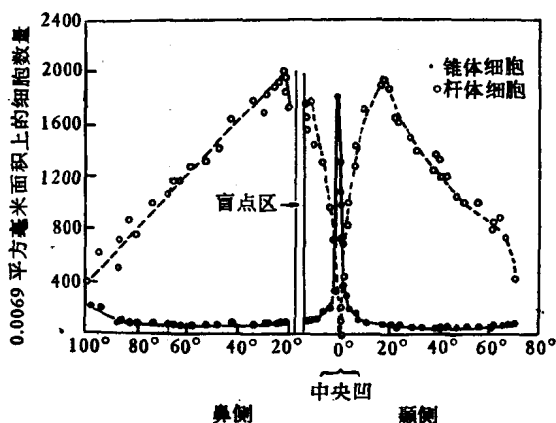


图 1-3 锥体细胞与杆体细胞的分布

系统状态有关,有关的实验证明,瞳孔的大小可以随着人的情绪因素而变化。光线通过角膜,经过水晶体和玻璃体,最后到达视网膜。水晶体和玻璃体都有不同的折射率,使视网膜得到清晰的象。眼睛的感光系统就是视网膜,它犹如照相机中的底片。视网膜的功能是由光路系统传入的光线进行能量转换,将光能变成化学能,再将这部分化学能由视神经转化成生物静电能送入大脑。

二、视觉器官的传导和中枢部位

外界的光线,通过眼睛的屈光系统,到达视网膜。进行信息处理并且和其它细胞相互联系的神经细胞,称为神经元。视觉器官的传导部分起自视网膜的第八层(神经节细胞层)的一级神经元,一级神经元的轴突形成视神经(视束)。视束的神经纤维分成三个主要束,一束来自外侧(颞侧)的半个视网膜;另一束来自内侧(鼻侧)的半个视网膜;第三束来自视网膜

的中央部分。人的视束纤维在其往后的过程中，有一部分发生交叉——即来自每一视网膜鼻半侧的纤维在视交叉处交叉，而来自视网膜颞侧半部分的视神经纤维不交叉(图 1-4)。交叉的纤维与另一眼颞侧半侧不交叉的纤维合并后，继续通向外侧膝状体，另外也有一部分通向上丘(即上丘)。由外侧膝状体发出的纤维称为视放射，最后到达大脑皮层的枕叶，即所谓距状裂区(纹状区)，这里是视觉高级中枢部位(图 1-5)。这个部位受到损伤时，会引起视觉信息的分析和综合过程的破坏。

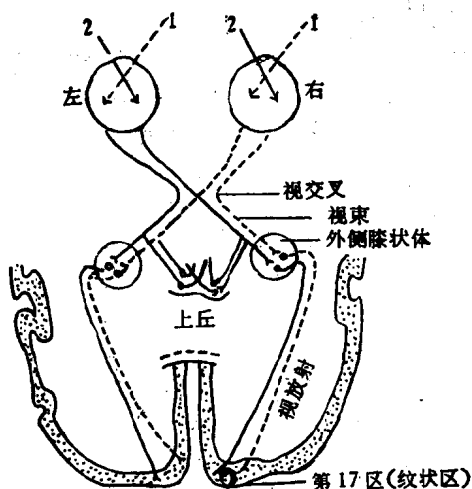


图 1-4 视觉通路

数字 1 的箭头代表右侧视野中的物体光刺激，数字 2 的箭头代表左侧视野的光刺激

人眼的视网膜数以亿计的感光细胞，通过约 160 万根神经纤维，将所得的信息传送到大脑枕叶部位。来自每只视网膜左半边的神经纤维通向脑的左半球，而来自每只视网膜右

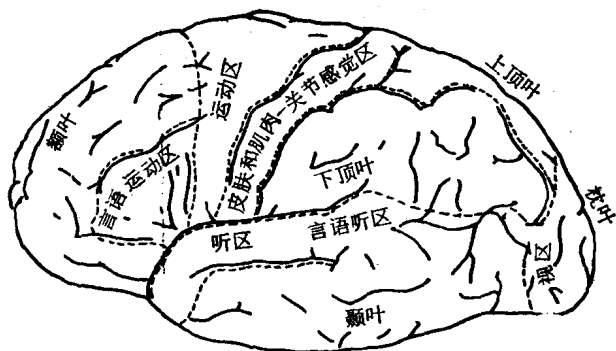


图 1-5 人的大脑皮层分叶分区图(半球外部表面)

半边的神经纤维会聚通向脑的右半球。我们看东西时，由于晶状体是使视象颠倒了，因此视野左边的物体聚焦在视网膜的右半边，而右边视野的物体聚焦在视网膜的左边。这样，来自左边视野的图象的信息被送到大脑的右半球，而右边视野的图象信息送到大脑的左半球。

实验和临床的结果证明，视神经交叉后的视束或视觉皮层的投射区受伤时，就会产生各种眼盲。视神经损伤会引起一眼失明，视交叉的内侧损伤会引起两眼颞侧偏盲（视野丧失），而视束、视放射损伤时，则会引起对边视野的丧失，这在神经学上称为对侧同源性偏盲。视放射的下部或投射视觉皮质的下部损伤时，会引起视野上部的丧失，而视放射的上部损伤则会引起视野下部丧失（图 1-6）。

枕叶皮层的初级投射区（一级区）是从眼的视网膜中来的神经纤维终止的地方，也就是横纹区（17 区）。枕叶皮层的高级区（二级区）是第 18 和 19 区的联系区，对于人类来说，高级区的面积与整个枕叶皮层的面积的比例发生了明显的变化（表 1-1），高级区（二级区）的比例增大。视觉皮层二级区的结构形态和生理特性，在视觉过程中具有更复杂的作用，视

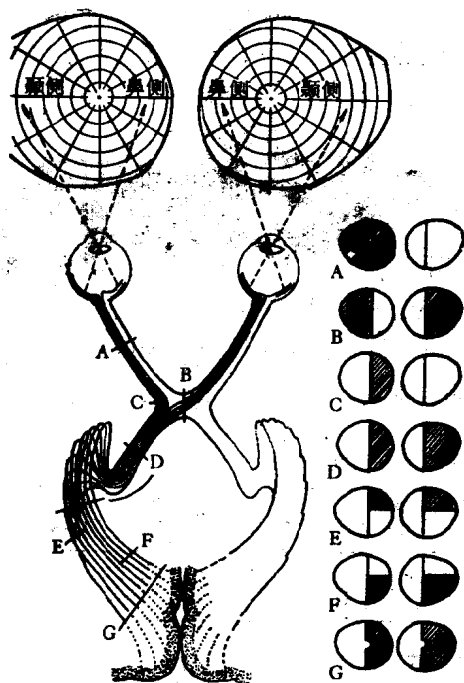


图 1-6 通向左半球视觉通路图解各字母表示传导路被切断的部位。图的右侧的斜线区表示视野的缺损。A, 左眼全盲; B, 两眼颞侧偏盲; C, 左眼鼻侧偏盲; D, 右同侧偏盲; E 和 F, 右上和右下象限偏盲; G, 由于枕叶大损伤右同侧偏盲

表 1-1 高等哺乳动物演化的一级和二级视觉皮层与整个枕叶面积的比例变化(%)

物 种	皮 层 区	
	17 区	18 区
婴 猴	66	25.4
长 尾 猴	41.1	32.2
猩 猩	39.6	30.5
人	25.1	37.7

觉高级部位受损伤时,会引起视觉综合的破坏,在这种情况下患者不能把有关的空间特征联合成完整的形象,因此他不能用视觉识别物体,出现“视觉不识症”。

三、视觉的物理刺激

光波作用于我们的眼睛而引起视觉。光是电磁辐射,即电磁波。引起视觉的电磁辐射称为可见光。对人类来说,可见光的波长是从 380 纳米(紫色)到 780 纳米(红色)。光波在极其宽广的电磁波范围中只占很少部分(图 1-7)。

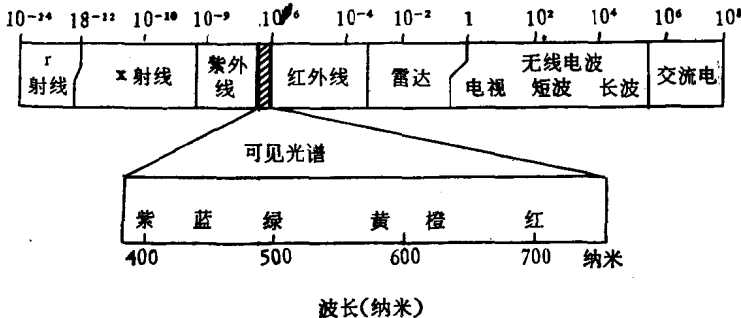


图 1-7 电磁波与可见光谱

超出可见光谱的两端(红端和紫端)的电磁辐射,分别称为紫外和红外辐射,这是人眼感觉不到的。可见光谱范围只占整个电磁波范围的 $\frac{1}{70}$ 。在实验室内,用高能量光波照射眼睛,视觉范围可以扩大到 312 纳米的紫外端及 1150 纳米的红外线一端。

在可见光谱范围,不同波长的光线引起不同的颜色感觉: 700 纳米为红色,580 纳米为黄色,510 纳米为绿色,470 纳米为蓝色。

我们平时在白天，眼睛所见到的光线是经过空气中的微粒的反射的光。“阿波罗”号上的宇航员所到达的月球表面，通过电视我们看到月球的表面是黑暗的，这是因为月球周围是真空的，没有反射光的细小微粒的存在的缘故。

物体对光的反射，可以分为镜面反射和漫反射。对镜面反射，入射光线是平行的，反射光线也是平行的。对漫反射，入射光线是平行的，反射光线是向各个方向的。物体的表面是一个镜面，反射光线是平行的，反射角等于入射角，此为镜面反射。

如果物体表面是凹凸不平的（如纸张表面、涂料表面层等），则它的反射光的方向就不一定是同一方向，而是向各个方向反射。这时射到物体表面的光有一部分在物体表面被反射，一部分则透过表面层后，再被反射出来。

我们之所以能看到各种颜色，是由于光线射到着色的物体表面时，有选择地吸收了一部分波长而反射出另一部分波长。反射出来的光线进入人的眼睛，这时人们所看到的颜色就是物体反射出来的那些波长的颜色。

光线照射到物体上被反射的同时，还有一部分透射到物体的内部，这样，光从一个媒质进入另一个不同密度的媒质，叫折射。

光的入射方向垂直于媒质的界面时，不发生折射，只有入射光与媒质界面成某一角度时才发生折射。利用棱镜可以进行光谱分析。我们将一束白光射向棱镜时，可以分出光谱中的各种颜色，各个波长（颜色）的光的折射率是不同的，红光最小，紫光最大，折射率与光的波长有关，这一现象叫做色散（图1-8）。

分光光度计等光学仪器，就是利用玻璃棱镜的入射光的折射原理，把各种波长的复合色光经折射后，分解成单色光。我们见到的天空中的虹，也是由于空气中的水蒸气经太阳光

.. 9 ..