

张静芳 刘立民 叶中东 林永昌 王晓利◎ 著

光学防伪技术 及其应用

GUANGXUE FANGWEI JISHU
JIQI YINGYONG



国防工业出版社

National Defense Industry Press

内容简介

本书主要介绍光学防伪技术及其在商品包装、货币、证件、档案、图书、音像制品、防伪材料等方面的应用。全书共分八章，第一章介绍光学防伪技术的基本概念、分类及发展概况；第二章介绍光学防伪技术的原理；第三章介绍光学防伪技术的材料；第四章介绍光学防伪技术的工艺；第五章介绍光学防伪技术的应用；第六章介绍光学防伪技术的检测；第七章介绍光学防伪技术的防伪材料；第八章介绍光学防伪技术的防伪工艺。本书可作为从事光学防伪技术工作的工程技术人员、管理人员、科研人员、大专院校师生及从事防伪材料、防伪工艺、防伪检测、防伪应用等方面的工程技术人员、管理人员、科研人员、大专院校师生的参考书。

光学防伪技术 及其应用

张静芳 刘立民 叶中东 著
林永昌 王晓利



YZLI0890122358

国防工业出版社

北京·(010)88411332
·(010)88411332
·(010)88411332

内 容 简 介

本书全面系统地论述了光学防伪技术及其应用,主要包括透射、反射光变图像,各类实用全息图,全息图的模压复制,衍射光变图像(DOVID),多束光干涉光变图像,零级衍射光变图像(z -DOVID),光学防伪产品的各类涂层,光学防伪技术进展和光学防伪产品及其应用等内容,充分反映了近几年研发的 Kinegram zero、zero、MotionTM、SPARK、与纸张的新型结合等当今最新的光学防伪技术,介绍了光学防伪产品的制作、各类涂层包括最新应用的 UV 涂层和 UV 复制。

本书可作为高等院校光电和应用物理等专业的专科生、本科生、研究生的教材或参考书,以及光学防伪领域专业技术人员和防伪技术协会、防伪产品管理部门、相关科技管理部门、名优产品制造商等的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

光学防伪技术及其应用/张静芳等著. —北京:国防工业出版社,2011. 10

ISBN 978-7-118-07577-9

I. ①光... II. ①张... III. ①光电检测 IV. ①TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 189772 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 880 × 1230 1/32 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 372 千字

2011 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 36.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前言

我们生活的这个世界充满了光。我国光学界的学术奠基人、开拓者和组织者、著名科学家王大珩先生对光学做了精准的定位——“光学老又新，前程端似锦”。光学是一门古老的科学，1704 年牛顿发表了他的经典著作《光学》，确立了反射和衍射的基本原理，迄今已有 300 多年的历史。同时，光学也是一个彻底的现代领域，一个充满生命力的领域。例如，1960 年激光器的诞生，给人类带来了一种从未见过的光——具有“相干性”的光。相干光可通过新的方式被导向、聚焦和传输，激光束因此而使光通信、小型光盘、视网膜激光手术和焊接等成为可能。投入几亿美元的光纤技术，促成了全球万亿美元通信革命的发生。如今，我们在工作、生活中无处不清楚地看到光学发展的影响，享受着光学发展的种种成果。

“光学防伪技术”是一个我们从 10 多年不断实践中深切体会和升华出来的术语，在学科上属于现代光学的分支——全息光学，应用于流通领域中的防伪。全息术是光学防伪技术中的先驱，在 20 世纪 80 年代初期进入流通领域和高安全产品的防伪，典型的例子是 1983 年发行的 Visa 卡和随后发行的 Master Card 卡上烫印的全息标识。一直到 90 年代中期，全息术是新型防伪技术的主力军，为光学防伪技术的开创和发展作出了杰出的贡献。80 年代研发的干涉光变图像和衍射光变图像分别以油墨和塑料薄膜为载体进入市场，并在 90 年代中期和 21 世纪的前 10 年迅速占领和扩展了高端安全产品和包装市场。同时，全息作为综合防伪手段之一继续得到发展。近 10 多年发展的零级光变图像、微纳米光栅、微透镜阵列等随着材料、工艺的进一步完善逐渐进入市场。可见，术语“光学防伪技术”的内容包含了“全息防伪技术”，但前者比后者范围更广、更准确、更现代、更具有活力。国外，越来越多的

人用“OVD(光变图像)”代替过去习惯的“Hologram(全息)”。20多年前,人们可能完全想不到光学能在今天的防伪领域里起到如此举足轻重的作用,光学防伪产品在我们的日常生活中无处不在。例如我们经常用的人民币5元券、10元券、20元券、50元券、100元券、银联卡上,超市的食用盐、牙膏等日常用品的包装上,乘飞机出示的身份证、开车携带的驾驶证上都可以看到形式、内容不同的光学防伪图像,并已习以为常了。光学防伪技术的发展除了光学技术本身的发展,如激光器的开发给全息术以及后来各种光变技术的发展插上了翅膀,同时也离不开其它学科的发展和向光学的渗透,特别是计算机技术、微电子技术的发展和应用,以及和材料、纸张、工艺、仪器、设备等的紧密结合。无疑,市场的需求给了光学防伪技术强大的动力和用武之地。因此,我们这本《光学防伪技术及其应用》应运而生了。

本书涉及的光学防伪技术主要是公众防伪技术,形成的产品可以直接通过人眼分辨真伪。全书共10章,分三部分内容:一是光学防伪技术本身,包括第一、二章光的透射、反射和颜色在防伪中的应用,第三章全息术,第五、六、七章分别详细介绍的衍射光变、干涉光变和零级光变图像;二是相关的材料、设备,包括第四章和第八章;三是光学防伪技术进展及其产品的应用,包括第九、十章。其中,邵国伟撰写第二章;叶中东撰写第四章、第九章中9.7 UV复制、9.8和纸张的新型结合;刘立民撰写第八章、第九章中9.5光致聚合物在防伪中的应用、9.6 UV涂层;林永昌撰写第六章;王晓利撰写第五章中5.10莫尔图像、第九章中9.3微透镜阵列成像技术、9.4液晶防伪技术,并校对全书;薛强撰写第十章中10.4在包装的应用;张静芳组织全书内容结构并撰写第一章、第三章、第五章、第七章、第九章中9.1、9.2、第十章(除10.4)。本书收集了许多精美的图片,例如人民币和国外钞票的多种水印、对印、隐形图像;人民币和国外钞票的烫印全息标识、宽条、安全线;2008年评出的世界最先进、最难伪造的7张钞票;中国和国外的银行卡全息防伪标识、各类全息图、最新防伪技术的钞票、样票等。本书具有广泛的读者层面,研发技术人员、企业行政管理人员、营销人员、大中学教师、大中学学生研究生、全息爱好者、钱币爱好收藏者,甚至钞票的使用者等,

均可在书中找到自己感兴趣的部分。

感谢中国印钞造币总公司的领导赵鹏华、赵敬盈、刘世安、敖惠成、贺林、古道明、梁友杰、邵国伟对光学防伪技术在信用卡、人民币中应用的决策和支持,感谢中钞特种防伪科技有限公司领导丁世杰、王薇薇对本书出版的支持,感谢朱军、田德卿、刘守、吴祖元、孙方义、王蔚如提供的资料、图片。

由于作者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者提出批评、建议和补充修改意见。

著者

2001年6月

目 录

第一章 颜色与光学防伪.....	1
1.1 颜色与公众防伪.....	1
1.2 人眼的构造和视觉.....	6
1.3 人眼辨别颜色的优势	10
1.4 1931 CIE 色度图	14
1.5 补色和颜色的同色异谱	16
1.6 颜色与自然界中的微结构	17
1.7 颜色在公众防伪中的应用和地位	21
第二章 透射、反射光变图像.....	34
2.1 水印	34
2.2 激光微孔	43
2.3 镂空	46
2.4 对印图文	53
2.5 凹印隐形	58
第三章 各类实用全息图	61
3.1 全息术的基本概念	61
3.2 全息图的基本类型	63
3.3 反射全息图	70
3.4 彩虹全息图	75
3.5 合成全息图	82
3.6 数字像素全息图	86
3.7 全息光学元件	91

第四章 全息产业——全息图的模压复制	99
4.1 概述	99
4.2 全息模压版的制作	102
4.3 全息图的热压复制	108
4.4 涂布工艺	112
4.5 真空镀铝	131
4.6 其它相关工艺	136
第五章 衍射光变图像	138
5.1 光学防伪技术	138
5.2 各类平面透射全息图	139
5.3 动态衍射图	143
5.4 Kinegram®	144
5.5 点阵全息图	146
5.6 激光直刻衍射图	148
5.7 光刻的现状和未来	151
5.8 像素 (Pixelgram、Excelgram、e-beam) 全息图	153
5.9 制版技术的选择	160
5.10 莫尔图像	162
第六章 多束光干涉光变图像	175
6.1 干涉膜防伪技术概述	175
6.2 防伪干涉膜的设计	178
6.3 碎膜防伪技术制造工艺	211
6.4 几何图形设计与防伪	216
第七章 零级衍射光变图像	221
7.1 零级衍射光变图像和亚波长光栅	221
7.2 亚波长光栅的可见光共振特性	228
7.3 零级衍射光变图像在防伪领域的应用	246

7.4 纳米光学和亚波长光学元件	249
第八章 光学防伪产品的各类涂层	257
8.1 涂层概述	257
8.2 胶粘机理	258
8.3 涂层与涂附物表面	262
8.4 模压层	274
8.5 剥离层	282
8.6 黏结层	288
8.7 烫印层	303
第九章 光学防伪技术进展	309
9.1 微纳米光学防伪技术概述	309
9.2 零点零技术(Kinegram zero. zero)	309
9.3 微透镜阵列成像技术	312
9.4 液晶防伪技术	322
9.5 光致聚合物在防伪中的应用	330
9.6 UV 涂层	339
9.7 UV 复制	351
9.8 和纸张的新型结合	354
第十章 光学防伪产品及其应用	360
10.1 概述	360
10.2 在银行卡的应用	363
10.3 在钞票的应用	366
10.4 在包装的应用	382
10.5 其它应用	392
10.6 21 世纪前 10 年全息市场	396

第一章 颜色与光学防伪

1.1 颜色与公众防伪

1.1.1 公众防伪的首要性

光学防伪指利用光波的基本原理如光的反射、透射、折射、干涉、衍射、偏振、双折射以及现代光学如全息术、信息处理、莫尔技术、散斑、光变图像、亚波长、纳米技术等发展起来的各类防伪技术,从防伪的角度一般分为公众防伪、专业人员防伪和专家防伪三个层次。公众防伪是指无需借助任何仪器,使用者仅用眼睛看、耳朵听、手触摸即可辨别产品真假的防伪手段。例如辨别 100 元人民币的真假,我们可以通过透视看其肖像水印和数字 100 的高光水印、将钞票放在耳朵边抖动听其声音、或者用手触摸肖像的凸凹感等。对于和大众紧密联系、用量大、使用频率高的诸多产品,公众防伪是首要的。因为它们不可能通过给大众或购物中心、超市配备各种仪器来检测商品的真伪。特别对于钞票,它的防伪集中了当前国际先进的综合防伪技术,其公众防伪和机读是首要考虑的。

公众防伪有两个基本要素:易于识别和难于伪造。前者主要指识别的时间要短,仅仅几秒钟;视觉冲击力要强、给人以深刻印象、容易记忆。后者最好是技术有唯一性,而且用其它的技术很难仿制出同样的效果。

本书所讨论的光学防伪技术在应用于产品的公众防伪迫切需求中有着特别的优势。众所周知,人们通过眼睛获取的信息量约占获取总信息量的 $\frac{2}{3}$,远远大于通过耳朵、触摸等所得到的。这是由人眼的结构、立体视觉及其对颜色的高辨别能力等决定的。光学防伪技术发展到今天,各种技术产生的特定颜色及其变化占有重要的一席之地,取得

了显著的社会效益和经济效益,例如钞票中广泛应用的光变油墨(OVI)等,这些技术将在后续章节中逐一介绍。

1.1.2 颜色与可见光

1. 可见光

电磁波中仅有一小波段能够引起眼睛的兴奋而被感觉,这就是通常所说的可见光的范围,其波长为 $380\text{nm} \sim 780\text{nm}$ 。不同波长的光引起不同的颜色感觉,例如, 700nm 波长的光产生红色感觉、 510nm 的产生绿色感觉、 470nm 的产生蓝色感觉。此外,在各波长之间还产生各种中间色,如橙黄色、黄绿色等。表 1-1 为光谱颜色与其对应的波长范围,实际上从一种颜色到另一种颜色是渐变的,而且颜色随波长的变化也是不均匀的。

表 1-1 光谱颜色与其波长范围

颜色	波长范围/nm	颜色	波长范围/nm
红	780 ~ 620	绿	530 ~ 500
橙	620 ~ 590	青	500 ~ 470
黄	590 ~ 560	蓝	470 ~ 430
黄绿	560 ~ 530	紫	430 ~ 380

众所周知,牛顿(1642—1727)是颜色科学的开创者,在 1672 年自然科学会刊(Philosophical Transactions)的一篇报告中描述了他那著名的三棱镜实验(图 1-1;图中左边是牛顿,右边是他的室友兼助手威金斯):“……在 1666 年初,……我物色到一块三角形玻璃棱镜,……把我的屋子遮黑,并在窗户遮挡物上开一个小孔,以引入适量的太阳光,在这个进口处放置我的棱镜,它就可以把阳光折射到对面的墙壁上。首先,所出现的现象是一种令人悦目的娱乐,看到墙上出现了鲜艳而强烈的颜色。但是,过了一会儿,我对它们作了更为慎重的考虑,看到它们是长方形的形状,使我惊奇了,根据折射定律,预计它应是环形的。……”“我把这种有色光谱的长度同其宽度作了比较,发现这个比例大约为 5 倍多,如此过分的大,激起我异乎寻常的好奇心,审查它可

能来自何处。”牛顿创造了“光谱”这一极其重要的词,并将这样产生的光谱表示在图 1-2 中。牛顿借助于类比音乐音阶的 7 个音调,从 A 到 G,选用了 7 种颜色来标志,其顺序为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫。当他利用第二块棱镜把这些颜色组合在一起时,又一次得到了白光如图 1-3 所示,由此证明了太阳光的白光是由各种颜色的光混合成的。图 1-4 所示是牛顿著名的光学实验手稿。

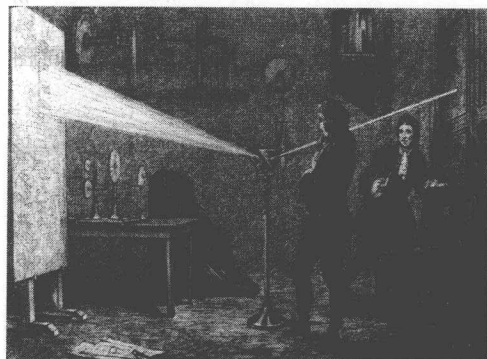


图 1-1 牛顿在进行三棱镜实验

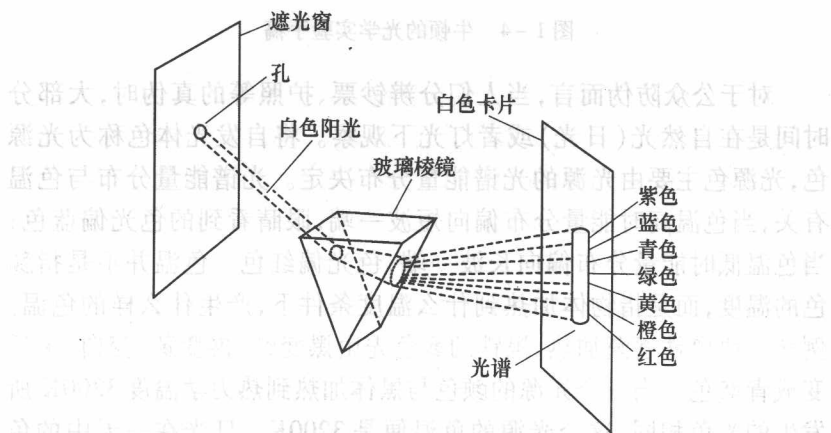


图 1-2 1666 年由牛顿得到的光谱

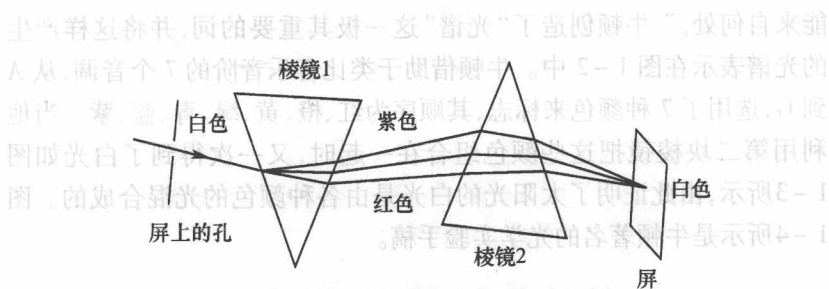


图 1-3 第二块棱镜使牛顿光谱组合成白光图

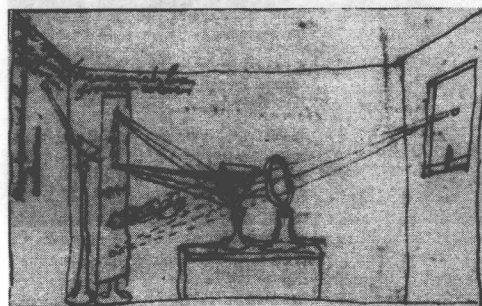


图 1-4 牛顿的光学实验手稿

对于公众防伪而言,当人们分辨钞票、护照等的真伪时,大部分时间是在自然光(日光)或者灯光下观察。将自发光体色称为光源色,光源色主要由光源的光谱能量分布决定。光谱能量分布与色温有关,当色温高时能量分布偏向短波一端,眼睛看到的色光偏蓝色;当色温低时能量分布偏向长波一端,色光偏红色。色温并不是指颜色的温度,而是指物体加热到什么温度条件下,产生什么样的色温。例如一块黑铁逐渐加热,黑铁的颜色先由黑变红,再变黄、变白,最后变成青蓝色。当一个光源的颜色与黑体加热到热力学温度 3200K 所发生的光色相同,这个光源的色温便是 3200K。日光在一天中的色温不同,各种人造光源的色温也各不相同。表 1-2 为常见人造光源与日光大约的色温。

表 1-2 常见人造光源与日光的色温

人造光源	色温/K	日光	色温/K
充气钨丝灯泡 40W	2760	日出 30min	2380
充气钨丝灯泡 100W	2860	日出 45min	3000
淡白色荧光灯	3500	日出 1h	3500
白色荧光灯	4500	下午 2:30	4500
日光色荧光灯	6500	下午 4:30	5000

光源的色温不同,即光源中红光和蓝光的成分不同,对人眼正确地辨别颜色有很大的影响。在灯光下和日光下看同一种物体的颜色往往会有出入,就是由于人造光源的光谱成分与日光的光谱成分不同造成的。因此,我们在设计不同的两种颜色用于防伪时,要考虑到在日光和常用灯光下该颜色对人眼没有太大的区别。

2. 非彩色和彩色

颜色分为两大类:非彩色和彩色。非彩色是指黑色、白色和在它们之间深浅不同的灰色,由白色渐渐到浅灰、中灰、深灰直到黑色,称作白黑系列或无色系列,可用一条垂直线代表,一端是纯白,另一端是纯黑,中间有着各种不同等级的灰色过渡,如图 1-5 所示。所谓灰色是相对的,比周围明亮的称为浅灰,比周围暗的称为深灰。灰色是最不饱和色之一,所谓纯白和纯黑也是相对而言,并无绝对的标准。一般说白雪接近纯白,黑绒接近纯黑。由白和黑按不同比例混合可以得出各种灰色,灰色只有明度一个属性,明度通常由白光的非彩色总反射率代表。反射率越高时,物体越接近白色;反射率越低时,越接近黑色。一般而言,白色表面的反射率达到 80% 左右或更高,而黑色表面的反射率小于 10%,黑色天鹅绒的反射率可低至 0.05%。

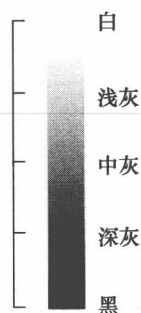


图 1-5 白黑系列

非彩色的白黑系列用于防伪的范例当属钞票中的水印,它是由钞票纸制作过程中该区域有不同的密度形成,不同的纸密度有不同的反

射(透射)率。人眼在自然光下观察水印时,不仅看到不同的灰色,还能感觉到不同的厚度。

彩色是指白黑系列以外的各种颜色,将在 1.3 中较详细地介绍。

1.2 人眼的构造和视觉

1.2.1 人眼的构造

人眼的构造简图如图 1-6 所示。人眼的外形接近球形,直径约 24mm,又称为眼球。眼球壁由巩膜、脉络膜和视网膜组成。巩膜前面1/6是透明的,叫角膜。脉络膜最前面的环状部分为虹膜,眼睛的“颜色”由虹膜中的色素决定。虹膜中央有一小圆孔,叫做瞳孔。虹膜后面是透明的胶状体,称为水晶体。角膜和虹膜之间为前房,虹膜和水晶体之间为后房,均充满了水样液。水晶体后面的空间充满了液体叫玻璃体。

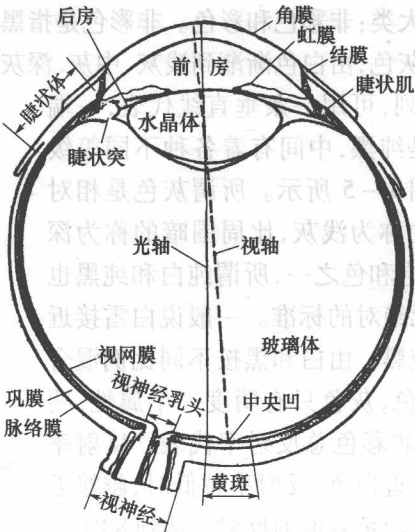


图 1-6 人眼结构简图

光线经过角膜、前房、水晶体、玻璃体最后达到视网膜,水晶体、玻璃体有不同的折射率,在视网膜上得到清晰的像。人眼的感光系统是

照壁村刊。

四史中書



图 1-7 眼底照片

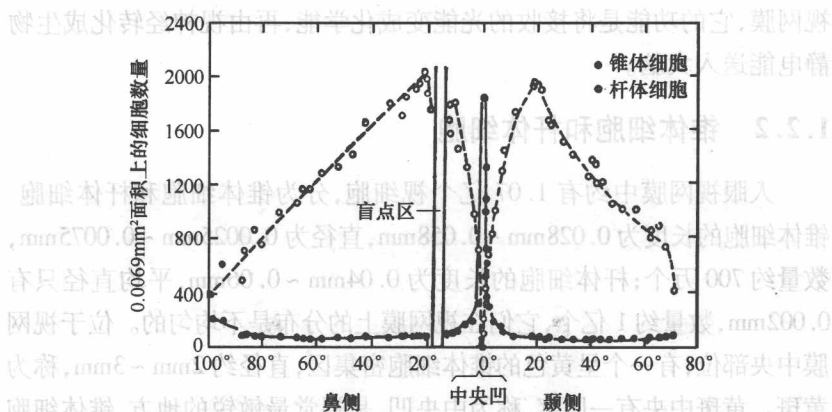


图 1-8 锥体细胞和杆状细胞的分布

1.2.3 明视觉和暗视觉

锥体细胞是明视觉器官,它在光亮条件下发生作用,让人眼能分辨颜色及其具有较高的视觉敏感性,能分辨细节。当刺激物作用于视网膜中央凹时,视锐度最高,偏离中央凹 5° 时,视锐度几乎降低一半。在偏离中央凹 $40^\circ \sim 50^\circ$ 的地方,视锐度只有中央凹的 $1/20$,如图 1-9 所示。每当人眼注视某项物体时,眼球常会不自觉地转动,让光线尽量聚焦在中央凹。视网膜不同部位视锐度的差别与锥体细胞的上述分布是一致的,视网膜一定区域的锥体细胞数量决定着视觉的敏锐程度。杆体细胞是暗视觉器官,对弱光反应灵敏,在低照明条件下发生作用,但它不能分辨颜色和细节。在照明很暗的情况下,人眼看不到颜色,因为此时只有杆体细胞起作用,但在照明增加时,锥体细胞发生作用,便出现色觉。大多数鸟类如鸽子是昼视动物,它们的视网膜中只有锥体细胞,而无杆体细胞。因而它们白昼能分辨颜色,但是夜盲的。猫头鹰和一些爬虫类动物的视网膜中只有杆体细胞,无锥体细胞,属于夜视动物。

人眼对不同波长光的感受程度是不同的,辐射能量相同但波长不同的单色光,人眼感到的亮度不同。眼睛的灵敏度与波长的依赖关系,称为光谱光效率。因人眼有明视觉和暗视觉二重功能,光谱光效率也