

高等学校适用教材

雷玉堂 主编 叶声华 主审

光电检测技术

Guangdian Jiance Jishu

(第2版)



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

高等学校适用教材

光电检测技术

(第2版)

雷玉堂 主编

叶声华 主审

中国计量出版社

京00.21 : 价定 000 32-100 02 发印

图书在版编目 (CIP) 数据

光电检测技术/雷玉堂主编.—2版.—北京:中国计量出版社,2009.5

高等学校适用教材

ISBN 978-7-5026-2970-0

I. 光… II. 雷… III. 光电检测—高等学校—教材 IV. TN206

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 024618 号

内 容 提 要

本书共分 11 章,主要描述了光电检测技术的基本概念,基础知识,各种检测器件的结构、原理、特性参数、应用,光电检测电路的设计,光电信号的数据采集与计算机接口,光电信号的变换和检测技术,光电信号变换形式和检测方法以及光电检测技术的典型应用等内容。本书除基本知识外,既有最新的光电检测技术的内容,又有新技术的实际应用技巧,深入浅出,理论联系实际。

本书可作为高等学校光电信息工程、光学工程、光信息科学与技术、测控技术与仪器、计量技术、电子技术、质量工程、通信工程、应用物理、应用电视、安防监控等专业的光电检测技术或光电技术课教材,以及供从事光电检测技术工作的科研和工程技术人员使用。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京市密东印刷有限公司印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm×1092 mm 16 开本 印张 30.5 字数 739 千字

2009 年 6 月第 2 版 2009 年 6 月第 11 次印刷

*

印数 29 001—32 000 定价: 48.00 元

第二版前言

在当前的信息化社会中，光电技术已成为获取光信息或借助光提取其他信息的重要手段。它使人类能更有效地扩展自身的视觉能力，使视觉的长波限延伸到亚毫米波，短波限延伸至 X 射线、 γ 射线，乃至高能粒子。并且，可以在飞秒级记录超快速现象，如核反应、航空器发射等的变化过程。而光电检测技术，是一种非接触测量的高新技术，是光电技术的核心和重要组成部分。它以激光、红外、光纤等现代光电器件为基础，通过光电检测器件对载荷有被检测物体信息的光辐射进行检测，并转换为电信号，经检测电路、A/D 变换接口输入微型计算机进行运算、处理，最后得出所需检测物体信息的几何量或物理量等参数。因此，光电检测技术是现代检测技术重要的手段和方法，是计量技术的一个重要的发展方向。

为满足有关高等学校光电检测技术教学的需要，1997 年我们编著出版了《光电检测技术》。第一版出版以来，受到很多高校师生的欢迎，至今重印了 10 次。

为适应当前光电技术与光电检测技术的发展，满足当前信息化社会对高等学校人才培养的需要，根据作者几十年的光电科研及教学的实践，并吸取了国内外光电及光电检测技术等有关书刊资料的精华，我们对原书重新进行了统一编著。这次改版修订后的教材，特请中国工程院院士、全国著名的光电检测技术专家叶声华教授主审。叶院士百忙之中抽时间审阅了全书，并提出了很宝贵的改进意见与建议。对此，特表示最诚挚最衷心的感谢！

新版的《光电检测技术》，既有必要的理论基础，又有科研实践，且尤其重视实际应用知识介绍。本书除必要的基本知识外，不但有最新的光电检测技术的内容及方向，也有新技术的实际应用技巧，并尽量做到深入浅出，理论联系实际。

本书共分 11 章：第 1 章为概论，从人的视觉功能入手，到扩大人的视觉功能的光电传感器、光电检测系统的组成、特点及应用，以及光电技术及其检测技术的最新进展，从而使学生认识到学习本教材的重要性；第 2 章为基础知识，介绍了光的本质及其度量，半导体物理基础及各种光电效应等必要的基础知识；第 3 章为光电检测器件，详细介绍了光电发射、光电导与光伏型检测器件，以及特殊的检测器件的结构、原理、特性、使用要点，各器件的比较及使用选择等；第 4 章为热电检测器件，介绍了热电偶与热电堆、热敏电阻与热释电器件的结构、原理、特性及使用要点等；第 5 章为光电成像检测器件，介绍了成像原理、扫描制式、逐行与隔行扫描方式，以及真空摄像管、像增强管、CCD、



SSPA、CMOS、CIS、LBCAST、特殊成像器件等的结构、原理、特性参数、使用要点、性能比较等；第6章为发光光源与耦合器件，介绍了常用电源、LED、白光LED、OLED灯、激光器、半导体激光器、光纤激光器、光电耦合器件等的结构、原理、特性、使用要点等；第7章为光电检测电路的设计，介绍了缓变光型、交变光型检测电路的静态、动态、低噪声与频率特性设计，放大器的低噪声设计原则与方法，以及大小面积光电二极管与运算放大器的连接技巧等；第8章为光电信号的数据采集与计算机接口，介绍了单元光电信号与视频信号的二值化、量化，A/D数据采集与计算机接口，以及嵌入式系统图像的数据采集等；第9章为光电信号的变换和检测技术，介绍了光电信号的各种直接检测、调制检测、形位检测、扫描检测等技术；第10章为光电信号的变换形式和检测方法，介绍了光电信号的各种变换类型，几何与物理变换的光电检测方法，各种相干检测、光电编码与条形编码器等；第11章为光电检测技术的典型应用，介绍了光电检测在测绘、OTF、弱光信号、视频图像、光纤等方面进行检测的应用技术与方法。本书可作为高等学校光电信息工程、光学工程、光信息科学与技术、测控技术与仪器、计量技术、电子技术、质量工程、通信工程、应用物理、应用电视、安防监控等专业的光电检测技术或光电技术课的教材。由于内容新而广，本书可供各专业不同教学要求和学时选择。同时，本书也可作为上述各专业的科研开发人员、工程技术人员，以及技术管理等人员的工作参考。

近几年，出现了不少光电技术、光电检测或光电测试技术及系统方面的优秀教材和著作，它们为推动我国光电专业的教学和科研，以及光电产业的发展作出了重要的贡献。在本书修订过程中，参考了这些教材和著作，并根据光电专业教材体系的需要，在有的章节内采用了其中的部分内容，这些都在书末以参考文献形式给出，谨在此向有关作者表示衷心的感谢！

本书的重新编写与出版，要感谢武汉乐通光电有限公司罗辉总经理的支持；感谢乐通高新技术研究所的杨三东硕士、李瑜（在读硕士）、杨中东（在读博士），以及张鼎、曹诗洁等打字绘图付出的辛勤劳动；感谢中国计量出版社责任编辑王红及有关同志为本书的编辑出版付出的辛勤劳动。

由于编者学识水平有限，加上编写时间紧迫，难免出现错误与不足，敬请读者批评指正。

编著者

2009年5月

第一版前言

随着现代科学技术以及复杂的自动控制系统和信息处理理论和技术的提高，光电信号变换与检测技术的不断涌现，综合性的自动化、智能化的光电系统得到进一步发展，形成了包括光学、精密机械、电子学和计算机科学的高度知识集中的新学科——光学精密机械电子学（Optomechatronics）。这种跨学科的边缘技术就是光电技术。现在，光电技术已广泛地应用于工业、农业、文教、卫生、国防、科研和家庭生活等各领域。在这些应用领域中，几乎都涉及到将光辐射信息转换为电信息的问题，即光辐射的检测问题。因此，光电检测技术是光电技术的核心和重要组成部分。光电检测技术是一种非接触测量的高新技术，它以激光、红外、光纤等现代光电器件为基础，通过对载荷有被检测物体信息的光辐射进行检测，即通过光电检测器件接收光辐射并转换为电信号，由输入电路、放大滤波等检测电路提取有用信息，再经 A/D 变换接口输入微型计算机运算、处理，最后显示或打印输出所需检测物体的几何量或物理量等参数。因此，光电检测技术是现代检测技术最重要的手段和方法之一，是计量检测技术的一个重要的发展方向。

本书是根据 1994 年 12 月在湖北工学院召开的“首届全国质量工程学科学术讨论会”通过的指导性教学计划组织编写的。本书的编写大纲参照了湖北工学院的产品质量检验工程专业《光电检测技术》教学大纲与武汉测绘科技大学和天津大学光学技术与光电仪器专业《光电技术》教学大纲，经湖北工学院沈邦兴、武汉测绘科技大学雷玉堂、天津大学王庆有等多次讨论定稿而成。

本书共分十章，有理论，有实践。主要内容有：光电检测技术基础；光电检测器件；热电检测器件；发光与耦合器件；光电成像器件；光电信号检测电路的设计；光电信号的数据采集与微型计算机接口；光电信号的变换与检测技术；光电信号的变换类型与检测方法；光电检测技术的典型应用。概括地说，本书内容包含了 5 部分：（1）理论基础；（2）各类光电与电光器件；（3）检测电路与微机接口；（4）光电变换检测技术与方法；（5）典型应用。

本书实用性强、适用面广，可作为高等院校质量工程或产品质量检测、光学技术与光电仪器、检测技术与自动化仪表、光电子技术、计量技术、精密仪



器、应用物理、应用光学、应用电子、信息工程与自动控制等专业的教材；也是从事光电工程、产品质量检测与控制、自动化仪器仪表、计量工程、信息工程等有关专业工程技术人员与科技人员的参考书。

本书第一章、第四章、第八章、第九章、第十章及第二章第4节由武汉测绘科技大学雷玉堂编写；第五章、第七章由天津大学王庆有编写；第二章第1、2、3节、第三章由中国计量学院何加铭编写；第六章由河南大学张伟风编写。由雷玉堂担任主编，对该书进行了修改、补充、统稿。

本书由湖北工学院沈邦兴教授担任主审。此外，沈教授对本书编写工作的开展起了组织作用，原本要参与第二章编写的，后因工作太忙，加上交稿时间急而未能如愿，但他仍关心本书的编写与出版；全国质量工程学科技术委员会的委员们，尤其是中国计量学院的陈丽薇与河南大学的卜宏建对本书的编写给予了关心与支持；中国计量出版社副总编刘瑞清对本书的编写给予了极大的关心、支持与指导，责任编辑陈小林、王红同志对本书的编审出版付出了辛勤的劳动。在此一并表示真挚的谢意。

由于编者学识水平有限，书中难免存在不少缺点错误，敬请读者批评指正。

作者

1996年12月

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 人的视觉功能及其扩展	(1)
一、人的视觉功能	(1)
二、光学仪器是人类视觉的扩展	(3)
第二节 光电技术与光电检测技术及光电传感器	(4)
一、光电技术与光电检测技术的含义	(4)
二、光电传感器	(5)
第三节 光电检测系统的组成和特点	(6)
一、光电检测系统的组成	(6)
二、光电检测系统的特点	(7)
第四节 光电技术与光电检测技术的发展及应用	(8)
一、光电技术与光电检测技术的发展及趋势	(8)
二、光电技术与光电检测技术的应用	(13)
第二章 光电检测技术基础	(18)
第一节 辐射度量与光度量	(18)
一、光的基本性质	(18)
二、光辐射度量	(19)
三、光谱辐射度量 (辐射量的光谱密度)	(21)
四、光度量	(22)
五、辐射度量与光度量的关系	(24)
第二节 半导体物理基础	(26)
一、半导体的特性	(26)
二、能带理论	(27)
三、热平衡载流子	(30)
四、非平衡载流子	(32)
五、载流子的运动	(34)
六、半导体对光的吸收	(36)
七、半导体的 PN 结及金属与半导体的接触	(38)
第三节 光电效应	(43)
一、光电导效应	(43)
二、光伏特效应	(47)
三、光电发射效应	(50)



第三章 光电检测器件	(53)
第一节 光电检测器件的基本特性参数	(53)
一、有关响应方面的特性参数	(53)
二、有关噪声方面的参数	(55)
第二节 真空光电探测器件	(58)
一、光电发射材料	(58)
二、光电倍增管 (PMT)	(61)
三、微通道板 (MCP) 光电倍增管	(68)
第三节 半导体光电导型检测器件	(71)
一、光敏电阻的结构与工作原理	(71)
二、光敏电阻的特性参数	(73)
三、光敏电阻的优缺点及使用要点	(75)
四、光敏电阻的应用	(76)
第四节 半导体光伏型检测器件	(77)
一、光电池	(77)
二、光敏二极管	(82)
三、PIN 光敏二极管	(89)
四、雪崩光敏二极管 (APD)	(91)
五、光敏三极管	(94)
六、光伏器件与光导型器件的区别及使用要点	(98)
第五节 几种特殊的半导体光电检测器件	(99)
一、象限检测器件	(100)
二、楔环检测器件	(102)
三、光电位置传感器件 (PSD)	(103)
四、色敏检测器件	(106)
五、光桥与光电位器	(109)
第六节 各种光电检测器件的性能比较和应用选择	(110)
一、接收光信号的方式	(110)
二、各种光电检测器件的性能比较	(110)
三、光电检测器件的应用选择	(111)
第四章 热电检测器件	(113)
第一节 热电检测器件的基本原理	(113)
一、热电检测器件的共性	(113)
二、热电检测器件的最小可探测功率	(114)
第二节 热电偶与热电堆	(115)
一、热电偶的结构及工作原理	(116)
二、热电偶的参数	(117)
三、热电堆	(117)
四、使用注意事项	(120)



第三节 热敏电阻	(120)
一、热敏电阻的结构及原理	(120)
二、热敏电阻的特性参数	(122)
三、热敏电阻的特点及参数选择	(124)
四、超导、碳与锗等测辐射热计	(125)
第四节 热释电检测器件	(126)
一、热释电检测器件的发展及优点	(126)
二、热释电检测器件的工作原理	(127)
三、热释电检测器件的类型	(130)
四、热释电器件的特性参数	(133)
五、典型热释电检测器件及对前置放大器的要求	(136)
第五章 光电成像检测器件	(138)
第一节 光电成像检测器件的类型与成像原理	(138)
一、光电成像检测器件的类型	(138)
二、电视扫描技术	(139)
第二节 光电成像原理与电视制式	(140)
一、光电成像原理	(140)
二、我国电视制式及其参数	(141)
第三节 真空摄像管	(143)
一、氧化铅视像管	(143)
二、硅靶结构	(144)
三、摄像管的性能参数	(144)
第四节 电荷耦合器件 CCD	(145)
一、CCD 的基本结构及工作原理	(145)
二、CCD 的输入、输出及外围驱动电路	(149)
三、CCD 的类型	(153)
四、CCD 的特性参数	(160)
五、CCD 摄像机	(166)
第五节 MOS 图像传感器 SSPA	(170)
一、SSPA 的结构与工作原理	(170)
二、SSPA 类型、信号读出及放大电路	(172)
三、SSPA 的主要特性参数	(174)
四、SSPA 与 CCD 的性能比较	(174)
第六节 CMOS 图像传感器	(175)
一、CMOS 图像传感器的基本结构及工作原理	(175)
二、CMOS 图像传感器的特性参数	(179)
三、CMOS 图像传感器与 CCD 的比较	(184)
四、单芯片 CMOS-APS 摄像机	(188)
五、CMOS-DPS 摄像机	(191)



第七节 接触式图像传感器 CIS	(193)
一、接触式图像传感器 CIS 的结构及工作原理	(193)
二、CIS 与 CCD 的比较	(194)
三、CIS 的应用	(195)
第八节 新型的 LBCAST 图像传感器	(196)
一、LBCAST 与 CCD、CMOS 读数方式的比较	(197)
二、LBCAST 的功能	(198)
三、LBCAST 的内部结构特点	(198)
第九节 变像管和像增强管	(200)
一、典型结构与工作原理	(200)
二、性能参数	(200)
三、像增强管的级联	(202)
第十节 特种成像器件及系统	(204)
一、红外夜视摄像器件及系统	(204)
二、热成像器件及系统	(205)
三、紫外摄像器件及系统	(208)
四、X 光成像器件及系统	(210)
第六章 发光与耦合器件	(213)
第一节 光电检测系统中常用的普通光源	(213)
一、光源的基本参数	(213)
二、常用的普通光源	(215)
第二节 发光二极管 LED	(217)
一、发光二极管的结构与工作原理	(217)
二、LED 的特性参数	(218)
三、发光二极管的分类	(220)
四、发光二极管的特点及检测	(221)
五、发光二极管的应用	(222)
第三节 固体环保照明光源——白光 LED	(223)
一、白光 LED 的技术原理	(224)
二、白光 LED 的特点及与现行照明设备的比较	(224)
第四节 高效节能的平面分布式固态光源——OLED 灯	(225)
一、OLED 灯的结构组成	(226)
二、OLED 的照明原理	(226)
三、OLED 灯的特点及与现有光源的比较	(227)
第五节 激光器	(228)
一、激光的概述	(228)
二、激光的产生	(229)
三、激光器的类型	(231)
四、氦氖激光器	(231)



第六节 半导体激光器	(232)
一、半导体激光器的特点与分类	(232)
二、半导体激光器的主要特性	(233)
三、PN 结型二极管注入式激光器	(237)
四、异质结半导体激光器	(240)
五、量子阱半导体激光器	(241)
六、垂直腔面发射半导体激光器 (VCSEL)	(243)
第七节 光纤激光器	(245)
一、光纤激光器的结构、原理、特性及类型	(245)
二、双包层光纤激光器	(248)
三、连续波光纤光栅激光器	(249)
四、多波长光纤激光器	(250)
五、高功率光纤激光器	(250)
六、超短脉冲光纤激光器	(251)
第八节 光电耦合器件	(254)
一、光电耦合器件的含义和特点	(254)
二、光电耦合器件的特性参数	(254)
三、光电耦合器件的应用	(259)
第七章 光电信号检测电路设计	(260)
第一节 缓变光信号检测电路的设计	(260)
一、恒流源型光电检测电路的静态计算	(260)
二、光伏型光电检测电路的静态计算	(264)
三、可变电阻型光电检测电路的静态计算	(267)
第二节 交变光信号检测电路的设计	(270)
一、光电信号输入电路动态工作状态的计算	(270)
二、光电检测电路带宽的选择	(272)
三、光电检测电路的频率特性	(273)
第三节 光电信号检测电路的噪声估算	(278)
一、光电检测电路的噪声等效处理	(278)
二、典型光电检测电路的噪声估算	(281)
第四节 光电信号放大电路的设计	(283)
一、放大器噪声	(283)
二、低噪声前置放大器的选用	(285)
三、低噪声前置放大器的设计原则与方法	(287)
四、光电检测器件和运算放大器的连接方法	(297)
第八章 光电信号的数据采集与计算机接口	(301)
第一节 光电信号的二值化处理	(301)
一、单元光电信号的二值化处理	(301)
二、视频信号的二值化处理	(302)



第二节 光电信号的量化处理	(304)
一、单元光电信号的量化处理	(304)
二、视频信号的量化处理	(309)
第三节 单元光电信号的数据采集与计算机接口	(312)
一、计算机接口	(312)
二、单元光电信号的 A/D 数据采集	(313)
三、光电信号的二值化数据采集与计算机接口	(314)
第四节 视频信号的数据采集与计算机接口	(315)
一、线阵成像器件图像数据采集与计算机接口	(315)
二、图像数据实时采集处理系统	(318)
三、面阵成像器件图像数据的采集与计算机接口	(321)
第五节 嵌入式系统视频图像的数据采集	(323)
一、嵌入式技术产品的特点	(324)
二、线阵 CCD 图像数据的采集	(324)
三、面阵 CCD 图像数据的采集	(325)
第九章 光电信号的变换和检测技术	(326)
第一节 时变光信号的直接检测	(326)
一、光通量的幅度测量	(326)
二、光通量的频率测量	(330)
三、光通量的相位和时间测量	(332)
第二节 时变光信号的调制检测	(334)
一、调制的基本原理和类型	(334)
二、光调制器	(338)
三、调制信号的解调	(347)
第三节 简单光学目标的形位检测	(351)
一、概述	(351)
二、几何中心检测法	(352)
三、亮度中心检测法	(355)
第四节 复杂光学图像的扫描检测	(358)
一、扫描的基本原理和分类	(358)
二、图像扫描	(361)
三、实体扫描	(364)
第十章 光电信号的变换形式与检测方法	(368)
第一节 光电变换的基本形式与类型	(368)
一、光电变换的基本形式	(368)
二、光电变换的类型	(371)
第二节 几何变换的光电检测方法	(372)
一、光电测长技术	(372)
二、轴向测距	(374)



第三节	物理变换的光电检测方法	(376)
一、	光电干涉测量技术	(376)
二、	单频光相干的条纹检测	(378)
三、	双频光相干的差频检测	(381)
第四节	光电编码器与条形码	(390)
一、	最简单的编码器——光电开关	(391)
二、	增量式光电编码器	(395)
三、	绝对式光电编码器	(398)
四、	条形码 (bor code) 光电编码器	(401)
第十一章	光电检测技术的典型应用	(405)
第一节	光电测绘技术	(405)
一、	光电准直	(405)
二、	光电测距	(409)
三、	光电测角	(414)
第二节	微弱光信号检测技术	(419)
一、	锁相放大器	(419)
二、	取样积分器	(422)
三、	光子计数系统	(425)
第三节	光学传递函数检测技术	(428)
一、	OTF 的基本概念	(428)
二、	测定 OTF 的系统组成及方法	(430)
三、	光电傅里叶分析 OTF 测试仪	(432)
第四节	视频图像检测技术	(433)
一、	视频图像检测系统的分类及组成	(434)
二、	视频图像检测的基本方法	(435)
三、	物体基本参数的视频图像检测	(440)
四、	典型的视频图像检测系统	(451)
第五节	光纤检测技术	(455)
一、	光纤的结构、连接耦合与检测原理	(455)
二、	光纤位移检测技术	(463)
三、	光纤温度检测技术	(468)
四、	光纤压力检测技术	(470)
五、	表面粗糙度光纤检测技术	(471)
参考文献	(474)

第一章 概 论

第一节 人的视觉功能及其扩展

一、人的视觉功能

人眼是一个直径为 23mm 的近似球体，眼球前方横径为 11mm 的透明角膜具有屈光作用，角膜后的虹膜中央有称为瞳孔的圆孔，它可以扩大或缩小以调节进入眼球的光亮。虹膜后的水晶体相当于光学系统中的透镜，其直径为 9mm。在眼球的后方有视网膜，这是光学成像的地方。调焦是通过睫状肌的收缩来改变水晶体的屈光力而实现的。在视网膜上有锥状细胞和杆状细胞，它们和网膜上的其他细胞形成微小的感光单元。这些感光单元接收光刺激后转化为神经冲动，经视神经传导到大脑的高级视觉中枢，从而产生亮度和彩色的感觉，同时也形成有关物体状和大小的判断。因此，人眼是一个高灵敏度、高分辨率和极为复杂而精巧的光传感器。

据统计，在向大脑传送信息的三百万条神经纤维中，视神经纤维占了二百万条，人体内视神经细胞的接收器的数目为 2×10^8 ，而较为重要的听觉接受细胞的接收器却仅为 3×10^4 ，两者相差近四个数量级。所以，视觉是人类感受外界事物、获取信息的最重要的感官，一般有 80% 的信息是通过眼睛得到的。

下面我们从感知信号的角度来简单地回顾一下人的视觉功能：

1. 人的视觉有辨别光亮和颜色的双重功能

人眼在明视场下能同时判断亮度和颜色。在暗视场下能判断亮度。这是由在视网膜上的锥状细胞和杆状细胞相互配合而实现的，锥状细胞总数大约 650 万个，它集中分布于视网中心处视觉最敏锐的中央窝，其分布密度大约为 14 万~16 万个/mm²。锥状细胞在光亮情况下起作用，主管明视觉 (photopic vision)，可以分辨物体的细节和颜色。视网膜不同部位的分辨能力不同，中央窝的分辨力最高。偏离中心 5° 会使分辨能力下降一半。杆状细胞总数约 1 亿个，主要分布于视网膜的边缘。杆状细胞在暗视场条件下起作用，主管暗视觉 (scotopic vision)，不能分辨景物的细节和颜色。

2. 人的视觉具有对明暗光的适应能力

人眼对明暗视场的适应能力是由两种生理过程实现的。首先能利用瞳孔的扩大或缩小来调节进入眼球的光亮。在白昼时瞳孔直径为 2mm，而在弱光下可以扩大到 8mm 或更大。这种瞳孔对光亮的调节可以改变 10~20 倍。对强光的防护还有一种黑色素可以挡住一部分光。此外还能利用眼睑。对暗光的适应主要靠杆状细胞中感光化学物质的变化，这种变化提高了只在黑暗中起作用的特殊的感光性。人眼具有很高的灵敏度，它能接收 2×10^{-17} W 的极其微弱的光，也能接收强达 2×10^{-5} W 的光，能感光的辐射通量的范围跨越了十二个数量级，这是目前任何其他的光接收器很难做到的。



3. 人的视觉具有很高的分辨能力

人眼区别对象细节的能力称作分辨率。用视力 V 表示

$$V = 1/\alpha_v \tag{1-1}$$

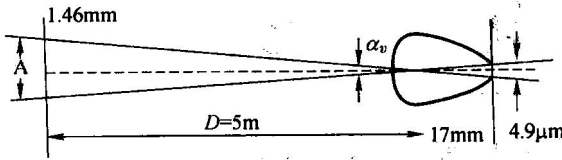


图 1-1 视角的定义和视力

式中， α_v 是视角，规定用角度分表示。视角 α_v 的定义如图 1-1 所示。

一般，视力为 1.0 的人可以分辨 $1'$ (角度分) 的视角。此时若设视网膜平均距离为 17mm，则像的大小是 $4.9\mu\text{m}$ ，大约是锥体细胞的直径 (锥状细胞直径为

$2.5\sim 7.5\mu\text{m}$)。

4. 人的视觉具有很高的辨色能力

人眼能辨别波长为 $380\sim 780\text{nm}$ 这段范围内的光，因此这段频谱叫做可见光谱。它包括了红 (700nm)、橙 (620nm)、黄 (580nm)、绿 (530nm)、青 (480nm)、蓝 (440nm)、紫 (400nm) 等七种颜色。光度量是人眼对相应辐射度量的视觉强度值。由于人眼对不同波长的光的感光灵敏度不一样，能量相同而波长不同的光，在人眼中引起的视觉强度不相同。人眼一般对绿光的灵敏度最高，对红光灵敏度要低得多。另外，由于不同的人的视觉生理和心理作用不一样，不同的人对各种波长的光的感光灵敏度也有差别。国际照明委员会 (CIE) 根据对许多人的大量观察结果，用平均值的方法，确定了人眼对各种波长的光的平均相对灵敏度，称为“标准光度观察者”的光谱光视效率 $V(\lambda)$ ，或称视见函数。图 1-2 为明视觉和暗视觉两种情况下的人眼视见函数曲线。明视觉视见函数 $V(\lambda)$ 的最大值在 555nm 处，此时 $V(\lambda) = 1$ ，其他波长的 $V(\lambda)$ 都小于 1；暗视觉视见函数 $V'(\lambda)$ 的最大值在 507nm 处，波长略偏短。各种波长下的 $V(\lambda)$ 值可由 GB3102.6—1993《光及有关电磁辐射的量和单位》中的附录 A 查出。

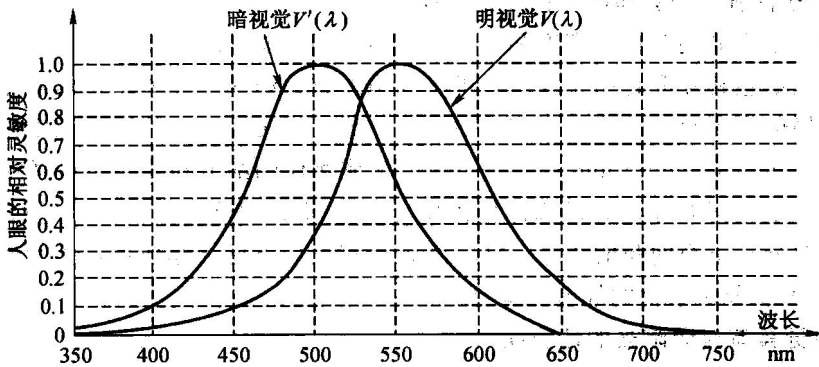


图 1-2 视觉典型的响应曲线

在整个可见光谱范围内，人眼可以分辨出一百多种不同颜色，并且颜色的分辨率和光谱的位置有关。如在 480nm 和 600nm 处，即使波长相差不到 1nm ，人眼仍能发现颜色的差别。

5. 人眼的视觉暂留时间和动态响应时间

人眼的视觉暂留时间为 0.1s ，动态响应时间约为 50ms 。人眼对交替地明暗变化频率有一定的上限。如对弱光，高于 10Hz 的明暗变化将不感受，在强光条件下则上限感受频率随



亮度的对数成比例地增加。通常取 $1/10s$ 为人的视觉暂留时间。而所谓人眼的动态响应时间,即从观察到物体到大脑形成感觉和判断所需要的时间,大约为 $50ms$ 。

6. 人眼能在粗略地感知大视场内景物的同时把主要分辨力集中于视力集中的小范围内

众所周知,人眼能在粗略地感知大视场内景物的同时,把主要分辨力集中于视力集中的小范围内。并能根据大脑的综合判断使眼球活动,以便跟踪扫视更宽广的视场或者瞄准相对运动的主要目标。

总之,人眼的视觉活动是复杂的生理和心理活动。人们通过这种活动感知环境景物的明暗和彩色的空间变化以获取必要的光学信息。大脑利用这些信息对景物和图形加以识别、判断和决策。这种识别可包括尺寸和形状的判别、文字符号的读取以及相对于正常形状对畸变、伤痕和污迹进行检查等。到目前为止,人眼的种种高级神经活动是任何人工传感器所望尘莫及的。

二、光学仪器是人类视觉的扩展

人类是生活在光的世界中,没有光,我们就生活在黑暗中,眼睛什么东西都看不见。正因为日常生活中离不开光,所以人类很早就对光学现象进行了研究。可以说,以视觉为基础的光学技术是一门古老而年轻的学科。伴随着人类历史的演变,它经历了漫长的发展道路(光学仪器历经 300 多年的发展)。随着生产、实践、军事和科学事业的不断发展,已促使光学仪器的生产逐步形成了一个独立的工业部门。

光学仪器是利用光辐射的各种现象和特性,摄取信息实现控制的有力工具,它是在人类视觉参与下才能工作的。光学仪器作为人类视觉在时间和空间的延伸和扩展已普遍地被人们视为现代工业、现代农业、现代科学和现代国防的眼睛,是人类揭示微观和宏观世界的重要手段。

光学仪器在哪些方面扩展了人类视觉呢?

1. 时间上扩展

如通过照相机拍摄的像片,摄像机拍摄下的各种纪实的记录片等,让我们可以看到小时候的自己的模样;看到已过去的各种历史时期,如旧社会时农民的生活、文革时期等。当然也可通过一些科幻片,去了解人类的未来。

2. 空间上扩展

如通过望远镜可以看到人眼看不清或看不到的远处的地方;通过立体测图仪可以看到整个城市的三维形态与山川形貌等。

3. 识别能力上扩展

如通过光学经纬仪等,我们的分辨能力可以从分精确到秒;通过放大镜或显微镜可以分辨到人眼看不清或看不到的东西,如通过医学显微镜可以看到一个个的细胞等。

目前,光学仪器已普遍渗透到各个领域:如资源勘探、地形测绘、地震预测、气象观察、宇航工程、交通运输、医疗卫生、工程建设、机械、文化教育、环境保护、公安、国防、各类产品质量控制和科学研究等。几乎所有部门都像人离不开眼睛一样地需要光学仪器。所以世界上许多工业发达的国家都十分重视光学工作的发展,并把它看作为科学技术高度密集的一个工业部门。目前美国、德国、日本和英国在世界光学仪器产值中占绝对优势,这四个国家的光学仪器出口额占世界光学仪器总出口额的 76%。而美国除大量出口外,还从别的国家进口他们所需要的光学仪器,其进口额大于出口额。随着光电技术、电子技术、计算机技术、光学信息处理等技术的发展,不断研制出许多新型的光学仪器供应市场。图像