

高等学校电子信息类教材

# 光电探测 技术与系统

Photoelectric Detection Technology and System

◎ 付小宁 牛建军 陈 靖 编著

◎ 赵 建 党瑞荣 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

内容简介

高等学校电子信息类教材

# 光电探测技术与系统

Photoelectric Detection Technology and System

付小宁 牛建军 陈 靖 编著

赵 建 党瑞荣 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书根据“光信息科学与技术”和“测控技术与仪器”专业的教学要求,本着“重基础、宽口径、诱导科研潜能”的指导思想,全面、系统地介绍了光电探测技术与系统的概念、原理、方法和典型应用,主要内容包括:光辐射和光源技术,光路中的光学规律和光学器件,光电探测器件与探测模式,光电探测系统的信噪比增强技术,光电成像传感技术(包括 CCD、热释电摄像管等),光谱分析技术,光纤传感器的原理和实现,光纤布拉格光栅传感器,以及光电探测系统的典型应用。

本书可作为大学“测控技术与仪器”和“光信息科学与技术”专业的教学用书,也可供自动控制、光机电一体化、应用物理等专业教学使用或相关专业人员参考。

本书配有教学课件,任课教师可从华信教育资源网([www.hxedu.com.cn](http://www.hxedu.com.cn))免费下载。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

光电探测技术与系统 / 付小宁等编著. —北京:电子工业出版社, 2010.1

高等学校电子信息类教材

ISBN 978-7-121-10141-0

I. 光… II. 付… III. 光电探测—高等学校—教材 IV. TN215

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 237666 号

责任编辑:张来盛(zhangls@phei.com.cn)

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:15.25 字数:390 千字

印 次:2010 年 1 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:28.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zlt@phei.com.cn](mailto:zlt@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线:(010) 88258888。

# 前 言

光电信息技术是由光学、光电子、微电子等技术结合而成的多学科综合技术,涉及光信息的辐射(产生)、传输、探测以及光电信息的转换、存储、处理和显示等内容,它是现代信息技术发展的一个主方向,广泛应用于国民经济和国防建设的各个领域。

光电探测技术是光电信息技术的源头。随着激光技术、光波导技术、光电子技术、光纤技术、计算机技术的发展,以及傅里叶光学、现代光学、二元光学和微光学的出现和发展,光电探测技术无论是探测方法、原理、精度和效率,还是其适用的领域或范围都获得了巨大的发展。

为适应“光信息科学与技术”和“测控技术与仪器”专业基础教学的需要,在“重基础、宽口径、诱导科研潜能”的指导思想下,编著者在讲义和教案的基础上,编写了《光电探测技术与系统》这本书,力求全面、系统地介绍光电探测技术与系统的有关知识、方法、原理和典型应用。

本书可作为大学“测控技术与仪器”和“光信息科学与技术”专业的教学用书,也可供自动控制、光机电一体化、应用物理等专业师生及相关专业技术人员参考。为便于教学,本书配有电子教学课件,任课教师可从华信教育资源网([www.hxedu.com.cn](http://www.hxedu.com.cn))免费下载。

全书分为9章,各章内容安排如下:

第1章为绪论,简要介绍信息技术、光电信息技术及光电探测技术的概念,光电传感器的原理和类型,光电探测系统的构成及分类,经典的光电探测系统,光电探测系统的特点,以及光电探测技术的发展趋势。

第2章主要探讨光辐射和光源技术,着重介绍黑体辐射、激光器和光调制器。

第3章讲述光路中的光学规律与光学器件,具体内容包括:光路中的各种光现象(如反射、折射、干涉、偏振等),光学系统(涉及滤光片、光栅、单色仪和干涉仪等),光束定向技术和扫描器,光在大气中的传播与衰减,等等。

第4章介绍十多种光电探测器件,包括光电管、光电倍增管、光敏电阻、光敏二极管、光电晶体管、光电池、位敏传感器、热释电、热电偶、光栅尺、光电编码器等,并分析光电探测器的特性及光电探测模式。

第5章主要讨论改善和提高光电探测系统信噪比的技术。

第6章介绍光电成像探测传感器,主要包括CCD、热释电器件及其他成像传感器,并讨论光电成像的特性参数。

第7章介绍光电探测系统中产生最早、精度最高、发展最快的一类探测技术——光谱分析。

第8章介绍光纤传感技术与系统,内容包括光纤测试技术基础,各类光纤传感器的原理和实现,光纤布拉格光栅传感器。

第9章简要介绍光电探测系统在生活、军事、工业、农业等方面的典型应用。

本书由付小宁、牛建军和陈靖编著,其中第1~4章和第7章由付小宁编写,第6章和第8章由牛建军编写,第5章和第9章由陈靖编写,最后由付小宁、牛建军统稿。本书的主审由测控技术与仪器专业教学指导委员会赵建教授和西安石油大学党瑞荣教授担任。

在即将出版之际,特别感谢西安电子科技大学刘上乾教授,他是本书作者进入光电探测技



术领域的直接领路人。特别感谢赵建教授、党瑞荣教授对书稿的认真校阅和建设性意见。在成书过程中，研究生王获承担了大量的图片绘制工作，谨在此表示感谢。最后，感谢本行业开拓者的贡献，感谢国内外先行者的工作，感谢几年来听过这门课的各位同学，感谢与编著者讨论过相关领域问题的各位同行、同学与老师，他们是编著者完成本书稿的精神支撑。

另外，在本书编写过程中，主要参考了安毓英教授的《光电子技术》、张寒琦教授的《光谱化学分析》(译著)和郭培源教授的《光电检测技术与应用》，引用了东南大学传感器课程网络资源中有关光电传感器的部分内容，融入了 Gerald C. Holst 先生的 Electro-Optical Imaging System Performance 的部分内容，参考了其他数十种国内外文献，还加入了本课程讨论班上一些研究生、本科生搜集的素材。在此一并表示感谢。

由于时间和水平有限，书中必定存在疏漏和不足，恳请读者不吝指正，以便今后逐步改进和完善。联系方式：xning\_fu@163.com。

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 信息与信息技术 .....	1
1.2 现代信息技术与光电探测 .....	2
1.3 光电探测（传感）器 .....	3
1.4 光电探测系统的构成及分类 .....	4
1.5 经典的光电探测系统及光电探测系统的特点 .....	5
1.5.1 经典的光电探测系统 .....	5
1.5.2 光电探测系统的特点 .....	10
1.6 光电探测系统的发展趋势 .....	11
复习与思考题 .....	11
参考文献 .....	12
<b>第 2 章 光辐射与光源</b> .....	13
2.1 电磁波与光辐射 .....	13
2.1.1 电磁波的性质与电磁波谱 .....	13
2.1.2 光辐射 .....	14
2.2 光辐射的度量 .....	14
2.2.1 辐射量 .....	15
2.2.2 光度量 .....	16
2.3 黑体辐射 .....	17
2.3.1 单色吸收比和单色反射比 .....	17
2.3.2 基尔霍夫辐射定律 .....	18
2.3.3 普朗克公式 .....	18
2.3.4 维恩位移定律 .....	19
2.3.5 斯忒藩-玻耳兹曼定律 .....	20
2.3.6 色温 .....	20
2.4 光源 .....	20
2.4.1 光源特征及描述 .....	21
2.4.2 几种典型的光源 .....	21
2.4.3 激光器 .....	23
2.5 光源调制与旋光效应调制器 .....	28
2.5.1 几种常见的调制技术 .....	30
2.5.2 旋光效应调制器 .....	31
复习与思考题 .....	37

参考文献	37
<b>第3章 光路分析与光学器件</b>	<b>39</b>
3.1 基本光学关系式	39
3.1.1 守恒定律	39
3.1.2 反射和折射定律	39
3.1.3 界面反射损失	40
3.1.4 吸收定律	40
3.2 光路中的光现象	41
3.2.1 波的叠加	42
3.2.2 光的偏振态与旋光	46
3.2.3 散射	51
3.3 光学元件	54
3.3.1 成像与导光元件	54
3.3.2 滤光与分光器件	55
3.3.3 单色仪、多色仪和干涉仪	56
3.4 光束扫描	60
3.4.1 机械扫描	60
3.4.2 电光扫描	61
3.4.3 声光扫描	61
3.5 大气调光——光在大气中的传播与衰减	62
3.5.1 大气衰减	63
3.5.2 大气湍流效应	65
3.5.3 自适应光学	67
3.5.4 路径辐射	68
3.6 光路设计软件简介	68
复习与思考题	69
参考文献	70
<b>第4章 光电探测器与光电探测模式</b>	<b>71</b>
4.1 常见光子探测器	71
4.1.1 外光电效应器件	71
4.1.2 内光电效应器件	74
4.2 常见热探测器	81
4.2.1 热阻效应	81
4.2.2 热伏效应	84
4.3 其他光电探测器	86
4.3.1 传感器结构的改进	86
4.3.2 新材料或新工艺的引入	89
4.3.3 新原理的采用	89

4.4	光电探测器的特性	90
4.4.1	灵敏度	90
4.4.2	信噪比特性	91
4.4.3	跟踪入射信号的能力	93
4.4.4	伏安特性	94
4.4.5	温度特性	94
4.5	光电直接检测系统和相干检测系统	95
4.5.1	光电直接检测系统	95
4.5.2	光电相干检测系统	97
4.6	小结	99
	复习与思考题	100
	参考文献	100
<b>第5章</b>	<b>光电探测系统的信噪比</b>	<b>101</b>
5.1	信噪比的概念	101
5.1.1	噪声对测量的影响	101
5.1.2	噪声的类型	101
5.2	噪声源	102
5.2.1	几种典型的内部噪声	103
5.2.2	典型传感器的噪声分析	104
5.3	信噪比与系统参数	107
5.3.1	探测系统放大器的噪声系数	107
5.3.2	噪声等效带宽	109
5.3.3	红外成像系统的温度分辨率	109
5.4	信噪比改善技术	112
5.4.1	频域处理	112
5.4.2	背景和信号的水平调整	113
5.4.3	光子计数	113
5.4.4	基于调制的改善技术	114
5.4.5	双光束、双通道技术	118
5.4.6	时域滤波技术	119
5.4.7	基于多阵列信号处理技术	120
5.4.8	其他技术	121
	复习与思考题	121
	参考文献	122
<b>第6章</b>	<b>光电成像探测传感器</b>	<b>123</b>
6.1	光电成像器件的发展与分类	123
6.2	光电成像系统的一般结构	124
6.2.1	光学系统	125



6.2.2	扫描器	126
6.2.3	探测器和制冷器	127
6.2.4	图像处理及分析	128
6.3	电荷耦合器件	128
6.3.1	CCD 的工作原理	128
6.3.2	电荷传输器件简介	131
6.3.3	CCD 的特性参数与驱动	134
6.4	热释电摄像管	136
6.4.1	热释电摄像的物理原理	136
6.4.2	热释电摄像管的结构及工作原理	138
6.4.3	热释电的常用技术	141
6.5	其他成像探测器	142
6.5.1	视像管	142
6.5.2	硅靶摄像管	146
6.5.3	光电发射式摄像管	147
6.5.4	微光像增强器	148
6.5.5	微光摄像 CCD 器件	150
6.6	光电成像的特性参数	151
6.6.1	光电转换特性	151
6.6.2	时间响应特性	152
6.6.3	噪声特性	153
6.6.4	光学特性	156
	复习与思考题	158
	参考文献	159
<b>第 7 章</b>	<b>光谱分析简介</b>	<b>160</b>
7.1	光谱学的产生和发展	160
7.2	光谱学的内容	161
7.2.1	原子光谱和分子光谱	161
7.2.2	发射光谱学及发光光谱学	161
7.2.3	吸收光谱学	164
7.2.4	散射光谱学	166
7.3	光谱分析仪家族及系统参数	168
7.3.1	看谱仪	168
7.3.2	摄谱仪	168
7.3.3	单色仪	169
7.3.4	光电直读光谱仪	169
7.3.5	分光光度计	172
7.4	光谱分析仪的技术和方法	173

7.4.1	外标校正	173
7.4.2	光谱分析的系统误差	173
7.4.3	光谱分析的偶然误差	174
7.4.4	光谱分析系统的几个常用性能参数	175
7.4.5	减小误差的一些方法	176
7.5	光谱分析新技术	178
7.5.1	傅里叶变换红外光谱仪 (FTIR)	178
7.5.2	激光喇曼分光光度计	180
7.6	X 射线衍射技术	182
	复习与思考题	184
	参考文献	184
<b>第 8 章</b>	<b>光纤传感技术与系统</b>	<b>186</b>
8.1	光纤测试技术基础	186
8.1.1	光纤结构	186
8.1.2	光纤类型	188
8.1.3	光纤传输特性	190
8.1.4	单模光纤的偏振与模式双折射	193
8.1.5	光纤的连接耦合技术	194
8.2	光纤传感器的原理与实现	199
8.2.1	强度调制光纤传感器	200
8.2.2	相位调制光纤传感器	203
8.2.3	频率调制光纤传感器	206
8.2.4	偏振调制光纤传感器	208
8.2.5	波长调制光纤传感器	211
8.3	光纤布拉格光栅传感器	212
8.3.1	传感原理	213
8.3.2	解调技术	215
8.3.3	封装增敏和复用技术	215
	复习与思考题	215
	参考文献	216
<b>第 9 章</b>	<b>光电探测系统的典型应用</b>	<b>217</b>
9.1	在生活中的应用	217
9.1.1	在服装方面的应用	217
9.1.2	在食品、保健品、药品方面的应用	219
9.1.3	在居住、环境、环保方面的应用	220
9.1.4	在交通方面的应用	222
9.2	在安全及军事方面的应用	223
9.2.1	在安全方面的应用	223



# 第1章 绪论

## 1.1 信息与信息技术

物质、能量和信息是人类对客观世界认识的三个层面。其中，能量是物质的属性，也是物质的存在方式，信息则是客观世界与主观世界相联系的产物。信息的变化和转移伴随着能量的变化，信息作用于认识的主体和客体之间，使人类能够更好地认识物质与能量之间的关系。

信息的特点有：（1）信息依附于载体而存在，通过对载体的作用可以获取信息，也可将信息存储（寄载）在某个载体上；（2）信息是可以共享的，信息本身不会因为共享而受到损失；（3）信息是可以被处理的。除能够被存储外，信息还可以被加工、传输，甚至可以转换形态，特别是经过人脑的分析、综合和提炼而增值；（4）信息具有时效性。

信息技术是指有关信息的收集、识别、提取、变换、存储、处理、检索、检测、分析和利用等的技术。

### 1. 感测与识别技术

它的作用是扩展人类获取信息的感觉器官功能，包括信息识别、信息提取、信息检测等技术。这类技术的总称是“传感技术”，它几乎可以扩展人类所有感觉器官的传感功能。传感技术、测量技术与通信技术相结合而产生的遥感技术，更使人类感知信息的能力进一步加强。

信息识别包括文字识别、语音识别和图形识别等，相应的实现技术称做“模式识别”。

### 2. 信息传递技术

它的主要功能是实现快速、可靠、安全地转移信息。信息传递类似于人的神经系统，其物理实质是通过“场”或其他物理媒介将信息从一个位置传送到另外一个位置的过程，也称通信。它使得遥感、遥测成为可能，能够避免人们直接暴露于危害信号或危险环境之中。通过信息传输系统的设计，可以有效降低探测系统的成本、提高工作效率。

各种通信技术（如广播电视技术、GSM）都属于这个范畴。存储、记录可以被看成是从“现在”向“未来”或从“过去”向“现在”传递信息的一种活动，因而它们也可以看成是信息传递技术的一个特例。

### 3. 信息处理与再生技术

它是对信息的综合分析或进一步提炼。信息处理类似于人的大脑系统，包括对信息的编码、分析、加密等。

在对信息进行处理的基础上，还可形成一些新的更深层次的决策信息，称为信息的“再生”。信息的处理与再生都依赖于现代电子、计算机技术，也需要人的智能的持续介入。

#### 4. 信息施用技术

信息施用技术是信息处理过程的最后环节，包括控制技术、显示技术等。

## 1.2 现代信息技术与光电探测

现代信息技术的核心是计算机、软件和通信技术，技术发展的重点是微电子和光电子技术、高端计算机技术、计算机网络技术、光纤通信技术、人工智能技术、信息安全技术、卫星遥感技术、磁盘及光盘存储技术、液晶和等离子体显示技术等。

光电子是电子学与光（子）学浑然一体的技术。如果说微电子技术推动了以计算机、因特网、光纤通信等为代表的信息技术的高速发展，改变了人们的生活方式，使得知识经济初见端倪，那么随着信息技术的发展，大容量光纤通信网络的建设和光电子技术将起到越来越重要的作用。自 20 世纪 90 年代以来，全世界的光子产业以比微电子产业高得多的速度发展，成为 21 世纪具有代表意义的主导产业。美国商务部指出，“谁在光电子产业方面取得主动权，谁就将在 21 世纪的尖端科技较量中夺魁。”

光电信息技术是由光学、光电子、微电子等技术结合而成的多学科综合技术，涉及光信息的辐射（产生）、传输、探测以及光电信息的转换、存储、处理与显示等众多的内容已经成为现代信息技术的一个主干，它将光的快速、电子信息处理技术的便捷和智能化结合在一起，具有无可比拟的优势。

光电信息技术广泛应用于国民经济和国防建设的各行各业。光电子技术对信息技术有广泛的影响。

### 1. 感测与识别技术

信息的感测与识别可以通过各种类型的传感器或传感机构完成。传感器是将各类原始信息（被测控的非电物理量）转换成与之对应的易于处理的电信号输出的装置。

实验心理学家赤瑞特拉通过大量的实验证实：在人的一生中，获得信息量最大的感官是眼睛，约占人类获取的信息总量的 83%。与之相对应，在各类传感器中，光电传感（探测）器以其能够大容量、非接触、在线和主动地获取信息而脱颖而出，可实现纳米级（高精度）、光子级（弱信号）和万伏级（强信号）的信号测量，不断满足人类社会日益开拓的对信息获取的要求，如紫外线、可见光和红外波段的光电成像和遥感、光纤传感等。

此外，光电传感信息的数字化奠定了人工智能信息识别的基础。

### 2. 信息传递技术

现代通信已经由传统的有线（电缆）、无线（电波）通信发展到光通信，其特点是大容量、高带宽、抗电磁干扰、光纤材料与环境的相容性好，耐腐蚀。

光电传感使得很多非光、非电信号也可以在光纤中传输。

### 3. 信息处理与再生技术

光信息处理是现代信息处理技术中一个重要组成部分，具有速度快、抗干扰能力强、可大量并行处理的优越性。光学信息指光的强度（或振幅）、相位、频率（或波长）和偏振态等。光电信息技术乃是光学信息技术的进一步发展，是有光电转换过程介入的光学信息技术。



光) 光电信息处理是光学信息处理与电子学信息处理交叉融合的产物。

#### 4. 信息施用技术

作为信息过程的最后环节, 光电信息的施用反映在各种光电信息技术应用当中。

有关领域中的应用, 如工业: 产品质量检验、工业自动化、智能机器人。商业: 防伪系统、收款系统。办公: 办公室自动化、可视电话与电视会议、光纤通信、手写体和印刷体文字识别。文化教育和宣传: 电化教学、电子出版、电子娱乐、电子玩具、电子动画和广告。科技: 科学仪器的自动化、航天光电系统。医学: 医疗会诊、病历保存。军事: 军事电子模拟训练、光电对抗。安全与公安: 家庭、交通、银行、海关、飞行安全系统以及侦破、监控、指纹识别、证据鉴别等手段。家庭: 家务自动化、现代化和安全化、柔性办公系统等。

光电探测技术是光电信息技术的源头, 这里用探测 (test) 的说法, 不再区别检测 (detection)、测量 (measurement) 和计量 (metrology) 等概念。具有探测功能的装置构成了探测系统, 具有输出指示的探测系统也叫做探测仪器。

光电探测技术是随着其他相关技术的发展而发展的。由于激光技术、光波导技术、光电子技术、光纤技术、计算机技术的发展, 以及傅里叶光学、现代光学、二元光学和微光学的出现和发展, 光电探测技术无论在探测方法、原理、精度、效率, 还是在适用的领域范围都获得了巨大发展, 是上述相关技术发展的综合体现。

光电检测是一种典型的无损检测。无损检测利用材料内部结构异常或缺陷存在所引起的对热、声、光、电、磁等反应的变化, 来探测各种工程材料、零部件、结构件等内部和表面缺陷, 并对缺陷的类型、性质、数量、形状、位置、尺寸、分布及其变化做出判断和评价。在无损检测中, 除红外成像、激光全息检测法以外, 射线检测法、渗透检测法等的测量过程也都涉及光电检测技术。和以往的探测技术相比, 光电探测技术具有下列特点。

- (1) 高精度: 从地球到月球激光测距的精度达到 1 m;
- (2) 高速度: 光速是最快的;
- (3) 远距离、大量程: 遥控、遥测和遥感;
- (4) 非接触式检测: 在不改变被测物体性质的条件下进行测量;
- (5) 寿命长: 光电探测中通常无机械运动部分, 故测量装置寿命长, 工作可靠、准确度高, 对被测物无形状和大小要求;
- (6) 数字化和智能化: 强大的信息处理、运算和控制能力。

### 1.3 光电探测 (传感) 器



传感器的作用是将非电学量转化为与之具有一定对应关系的电学量, 是一种非电学量与电学量汇集—处理—指示的接口器件。

将光能量转换为电量的器件称为光电传感器或光电元件。光电式传感器的工作原理是: 首先把被测量的变化转换成光信号的变化 (当被测物理量本身是光辐射时, 无需专门的转换), 然后通过光电转换元件变换成电信号。光电传感器的工作基础是光电效应或热电效应。

由于热现象是指与温度及其变化有关的现象, 同时伴有人的肉眼看不到的红外辐射, 所以在这里把热电探测传感器也归类为光电传感器。

光电传感器主要有光电管、光电倍增管、光电二极管（光敏二极管）、光电三极管（光敏三极管）、光敏电阻、光电耦合器、光电池、热电传感器、光栅尺、光电编码盘和光电图像传感器等。主要种类如表 1-1 所示。

表 1-1 光电传感器类型

光电传感器类型	光电传感器实例
PN 结	PN 光电二极管（材料采用 Si, Ge, GaAs） PIN 光电二极管（材料采用 Si） 雪崩光电二极管（材料采用 Si, Ge） 光电晶体管[含光电达林顿管]（材料采用 Si） 集成光电传感器和光电晶闸管（材料采用 Si） 光电池（材料采用 Si）
非 PN 结	光电元件（材料采用 CdS, CdSe, Se, PbS） 热电元件（材料采用 PZT, LiTaO <sub>3</sub> , Se, LiTiO <sub>3</sub> , 双金属）
电子管类	光电管、摄像管、光电倍增管
其他类	色敏传感器（材料采用 Si, $\alpha$ -Si） 固体图像传感器（材料采用 Si, 有 CCD 型, MOS 型, CPD 型） 位置检测传感器（材料采用 CdS, CdSe, Se, PbS） 光纤传感器 光栅尺, 光电编码盘

其中，PN 结类传感器、非 PN 结类、光电管、光电倍增管主要在第 4 章介绍，固体图像传感器、摄像管将在第 6 章介绍，光纤传感器将在第 8 章介绍。

### 1.4 光电探测系统的构成及分类

由光源、光路（及光学器件）、光电换能器、电路组成，具有一定功能的整体，就构成了光电探测系统，如图 1-1 所示。其中，光学子系统由光源、光路构成，待测非电量产生于光源或置于光路中；电子子系统用电子学的方法对光学信息进行分析、处理与控制；光电换能器用以探测光信号，并以电信号的方式表达出来，是联系前两者的桥梁。光电探测系统作为测量系统时，具有明确的输出指示，又被称为光电探测仪器。

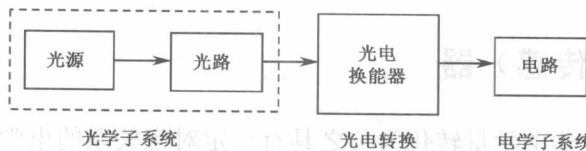


图 1-1 光电探测系统框图

图 1-1 为基本的光电探测系统框图，在光电探测过程中，若光源是系统自带的且输出参数可以被系统调控，该光电探测系统被称为主动式光电探测系统，如激光测距系统。若光源性能不能被调控，则该光电探测系统被称为被动式光电探测系统，如红外感温系统。

对于光电探测系统，按照其工作光线的波谱来划分，可分为激光探测系统、红外探测系统、紫外探测系统、可见光探测系统。其中，红外探测系统造价昂贵，多用于军事；可见

光探测系统多为民用。

按光波对信号的调制解调方式划分,可分为直接探测系统、相干探测系统。在直接探测系统中,光电探测器直接把接收到的光强的变化转换为电信号的变化,然后,用解调电路检出所携带的信息。在相干探测系统中,利用的是光波的振幅、频率、相位携带的信息,而不是光强,因为用光波的相干原理,只能用相干光,类似于无线电外差检测,故又称光外差检测。其中,光电相干检测系统可获得全部信息,转换效率高,信噪比损失小,检测灵敏度高,具有良好的滤波性能,必须由激光来实现。

光电探测系统也可划分为模拟系统、数字系统。事实上,由于大多数光电探测器自带 A/D 转换器或者容易连接 A/D 转换器,使得所在系统成为数字化系统。有时,对光束实施了机械斩波的系统也被认为是数字系统,如光电数字码盘。非数字系统,即为模拟系统。

如果系统采用单元探测器接收目标的总辐射功率,则称为点探测系统;若用多单元阵列接收元件测量目标的光强分布,则称为面探测系统。

按照光场分布来划分,光电探测系统可分为远场光电探测系统、近场光电探测系统。

按照光路来划分,光电探测系统可分为直射式光电探测系统、反射式光电探测系统、散射式光电探测系统,或者,也可划分为聚焦式光电系统、分光式光电系统。

光电探测器,或称光电传感器,是光电换能器件功能的扩展或商品化的产物。在一些市售的光电传感器中,还包含光源、光路、电信号放大或数字化电路。在光电传感器商品中,依光源、光路、光电换能器件排列位置的不同,光电传感器可以粗略地分为以下三种。

### 1) 直射型

光电探测器对着光源放置,且二者的光轴重合。此时,光电探测器灵敏度最大方向对准光源发射光通量最大方向。在使用中应避免或减少杂散光的影响,如采用杂光隔离暗箱、提高光源强度、光通量调制、调整光源与光电探测器的方向(如计数测量时对大物体,应使杂散光与光源方向一致;对小物体,应使杂散光与光源方向相反)。

### 2) 反射型

探测器接收到的光可以是来自镜面的单向反射光,或来自粗糙表面的漫反射光。前者可用于精密工作台定位,后者可用于软包装物品检测等。

### 3) 辐射型

当被测物本身就是一个辐射源时,探测器通过对被测物辐射的接收、分析来完成测量过程,属于被动式光电探测范畴。

## 1.5 经典的光电探测系统及光电探测系统的特点

### 1.5.1 经典的光电探测系统

20 世纪以来,光电探测系统在人类生活中扮演了举足轻重的角色。有了光电探测技术,人类首次准确地测量了地月距离;随着光电探测技术的发展,人类甚至可以操纵单个原子。光电子技术的每一次突破,都对人类的生活或科学研究带来了冲击性的影响。没有光电探测技术,就不会有复印机和数码相机的诞生;没有光电探测技术,我们甚至连有声电影都看不到。本节就几种经典的光电探测系统做简单介绍。

### 1) 光电管在电影放映机上的应用

电影作为一种崭新的传播媒介和艺术形式在全世界得到迅速发展后,其中一项重大技术进步是有声电影的研制成功。由于电子管、光电管的先后出现,美国于1926年首先放映了用光学(感光)法制作的有声电影。

在录音过程中,声音信号的强弱控制调制光束的宽度,通过光化学反应记录在电影胶片上,形成不同影像的声迹。

在电影还音过程中,记录在电影胶片上的声迹在光源与光电管之间穿过时,改变了到达光电管的光通量,声迹宽度起伏变化决定了光线强弱的变化,最终导致了光电流起伏并通过放大器还原成声音。影片声音重放原理如图1-2所示。

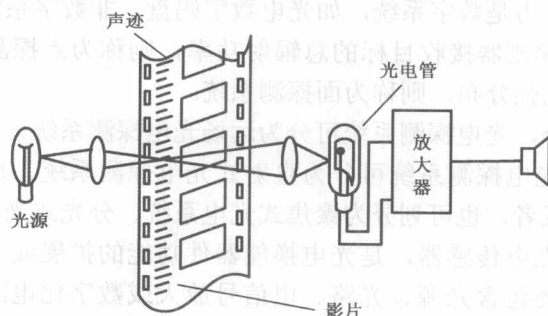


图 1-2 影片声音重放原理

### 2) 激光器与激光测距仪

世界上第一台激光器是由美国休斯飞机公司的科学家梅曼于1960年首先研制成功的。美国军方很快就在此基础上开展了对军用激光装置的研究。1961年,第一台军用激光测距仪通过了美国军方论证实验,此后激光测距仪很快就进入了实用阶段。

激光测距仪是利用激光对目标的距离进行准确测定的仪器。激光测距仪工作时向目标射出一束很细的激光,由光电元件接收目标反射的激光束,计时器测定激光束从发射到接收的时间,计算出从观测者到目标的距离。若激光是连续发射的,测程可达40 km左右,并可进行昼夜作业。若激光是脉冲发射的,一般绝对精度较低,但用于远距离测量,可以达到很好的相对精度。具体的原理将在2.5节中进行介绍。

激光测距仪重量轻,体积小,操作简单,速度快而准确,其误差为其他光学测距仪的五分之一到数百分之一,因而被广泛用于地形测量,战场测量,坦克、飞机、舰艇和火炮对目标的测距,测量云层、飞机、导弹以及人造卫星的高度等。它是提高坦克、飞机、舰艇和火炮精度的重要技术装备。

### 3) 数码复印机

1950年,以硒作为光导体,用手工操作的第一台普通纸静电复印机问世;1959年又出现了性能更为完善的Xero914型复印机。自此以后,复印机的研究和生产发展得很快。到了20世纪90年代又出现了兼容扫描仪的数码复印机。

在数码复印机中,曝光灯照射放在原稿台上的原稿,得到的光照图像经过反光镜、镜头等光学系统照射到CCD图像传感器上,CCD将光图像变成电信号,再进行数字信号处理,CCD输出的电信号数字化后,变成扫描文件传入计算机,或者用该数字信号控制激光