

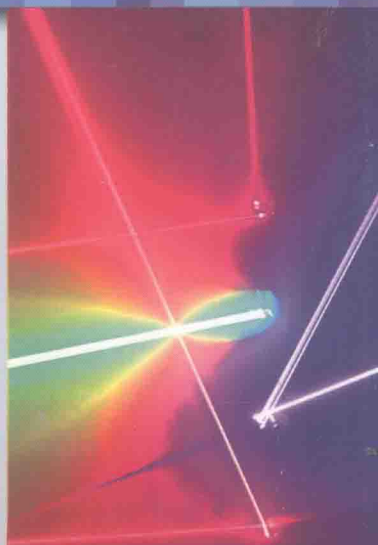



普通高等教育电子科学与技术类特色专业系列规划教材

光电技术 (第二版)

江文杰 主 编

施建华 谢文科 马浩统 曾学文 编著



 科学出版社

普通高等教育电子科学与技术类特色专业系列规划教材

光电技术

(第二版)

江文杰 主编

施建华 谢文科 马浩统 曾学文 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书介绍光电技术的理论及应用基础、常用光电器件的原理、应用技术和光电信号的变换与处理技术。主要内容包括光辐射源及光电探测的理论基础,光子探测器、热探测器、图像传感器等光电器件的结构原理及应用技术,光学信号的调制与解调技术,直接探测和相干探测技术,光电检测电路与信号处理技术,典型光电系统的分析与设计。

本书可作为高等院校光电信息工程、光信息科学与技术、测试技术与仪器、电子科学与技术、电气工程及其自动化、通信工程、应用物理学等专业本科生及研究生教材,也可作为高等院校其他相关专业师生和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

光电技术/江文杰主编;施建华等编著. —2版. —北京:科学出版社,2014.1

普通高等教育电子科学与技术类特色专业系列规划教材

ISBN 978-7-03-039602-0

I. ①光… II. ①江… ②施… III. ①光电技术-高等学校-教材
IV. ①TN2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 011021 号

责任编辑:潘斯斯 张丽花 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:阎磊 / 封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

化学工业出版社印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年1月第一版 开本:787×1092 1/16

2014年1月第一次印刷 印张:20 1/2

字数:538 000

定价:45.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

光电技术属于新兴交叉学科领域,它涉及光电子学、激光技术、应用光学、电子技术和计算机技术等众多学科,具有很强的工程实践应用背景,在光电检测、光通信、光电测量与控制、光电信息处理和光存储等领域均发挥着极其重要的作用。以光电技术为支撑的光电子产业是当今竞争最为激烈、发展最快的信息技术产业。

《光电技术(第二版)》一书由国防科学技术大学江文杰老师主编,施建华、谢文科、马浩统、曾学文等老师共同编著,紧紧围绕光电技术核心基础知识应用的内在联系,按照“理论基础→光电器件→光电信号处理→光电系统”知识结构层次逐级推进的思路,科学构建光电技术的知识结构,内容丰富,体系翔实,系统完整。该书从光辐射探测的理论基础出发,着重分析光电导、光伏、光电子发射等典型光电探测器,重点强化光信号的调制、探测以及光电信号的变换与处理技术,并对典型光电系统进行分析和设计,使读者打下坚实、牢固的理论基础,培养分析与解决光电工程问题的能力。该书传承拓新,注重理论与工程实践结合,紧密关注光电科技学术前沿,引入国内外最新研究成果,使知识结构体系具备科学性、先进性和系统性。

《光电技术(第二版)》一书突出“原理→器件→关键技术→典型应用→系统集成”的主线,较好地解决了传统“光电技术”课程结构体系松散、多个知识点之间缺少有机联系等不足的问题,有机融合光电技术理论基础与工程实践应用,体现了鲜明的理、工相结合的特色。该书博采众长,论述严谨,是一部具有科学性、系统性、实用性、高水平的教科书。自2009年第一版出版以来,深受光电类专业师生的欢迎,已被国防科学技术大学、北京交通大学、华南师范大学等34所国内高校选为本科或研究生专业教材或参考书,足见其良好的声誉和广泛的影响。

随着光电技术的飞速发展,国内开设光电类课程的高校必将越来越多。我很荣幸应邀为《光电技术(第二版)》一书作序,并诚挚地向读者推荐这本书,期望该书的再版发行能为国内光电类课程教学质量的提高发挥更大的促进作用。

周立伟

中国工程院院士

北京理工大学光电学院教授

2013年11月于北京

第二版前言

随着近代科学技术的发展,电磁波谱从本质上把光学(或光子学)和电学(或电子学)这两个原来各自独立的学科紧密地联系在一起。光电技术就是将传统的光学技术与电学紧密结合在一起的一门新技术,是获取光学信息或者借助光来提取其他信息的重要手段。同时,光电技术也是研发光、机、电、算一体化高新技术产品的基础。随着光电技术的飞速发展,光电技术的教学和研究工作也逐渐被国内外高校和科研机构所重视,已被越来越多的高等院校列入教学计划,成为许多与光电类相关专业本科或研究生的必修课程。

本书第一版自2009年出版以来,先后印刷6次,发行10000余册,期间被国防科学技术大学、北京交通大学、华南师范大学等34所高校光学工程、仪器科学与技术等专业选为本科或研究生专业教材或参考书,曾被“教育部光电信息科学与工程类专业教学指导委员会”选定为推荐用教材。多年的教学实践表明,本书具有结构体系完整、主线突出;内容准确、深入浅出;知识体系严谨、应用性强等特点。书中多处选编了作者的科研和教学研究成果。

全书共11章。第1章介绍光辐射源理论基础知识;第2章介绍光电探测器的理论基础知识;第3~6章分别介绍光电导探测器、光伏探测器、光电子发射探测器和热探测器等器件的结构原理及应用技术;第7章介绍变像管、像增强器、CCD及CMOS图像传感器等光电成像器件;第8章介绍光学信号的调制和解调技术;第9章介绍直接探测和相干探测技术;第10章介绍光电检测电路与信号处理技术;第11章介绍典型光电系统的分析与设计。附录为部分习题与思考题答案及提示。

在保留本书第一版编著特色的基础上,此次改版遵循以下几个原则进行:①知识体系结构清晰、逻辑性好,例如,相互独立的光辐射理论、探测器理论分别在第1章和第2章介绍,对第6章中热探测器的共性进行了归类和完善;②物理图像清晰、概念准确,例如,对“基尔霍夫定律”、“半导体激光器粒子数反转”条件、“色温”、光伏探测器的“暗电流”相位测距仪中的“光尺”等概念进行了必要的推导和修订,重写了“热释电效应”、“相敏检波器”等内容;③与学科前沿结合、与工程实践结合,例如,第7章删除了原来的“真空摄像器件”,增补了“固体成像器件”和“特种成像器件”等内容,第8章更新了调制器件的带宽等参数,增补了“锁相环解调”等内容,第9章删除了“二维相干检测”,并在第11章增补了“斐索型移相干涉仪及其应用系统”;④专业词汇和物理符号规范、统一,例如,按照国标GB3102.6—1993,将“光能”改为“光量”,“光出度”改为“光出射度”等。其中,第二版前言、绪论、第1和第6章由谢文科编写、修订,第2、8、9章由江文杰修订,第3、4、5、7章由施建华修订,第10、11章由马浩统修订,杨凡负责全书专业词汇和符号的规范。全书由江文杰统稿。

在本书编写之前,作者设计了《光电技术》教材用户意见调查表,广泛收集校内外教材使用老师和学生对《光电技术》教材改版的意见和建议,正是有了他们的支持和期待,本书的改版才有了方向和动力。在本书的编写过程中,得到了国防科学技术大学光电科学与工程学院秦石乔教授、杨丽佳教授、杨华勇教授、胡浩军副教授、伏思华副教授的指导与帮助。感谢中国科学院上海技术物理研究所龚惠兴院士与本书作者进行的有益探讨及建议。感谢国防科学技术大学揭文斌、陈蕙竹、姚金妹等同学在教材试用过程中提出的有价值修改建议。同时,在本书的

编写过程中参考了大量国内外优秀经典教材和科技文献,在此向被引文献的作者表示衷心的感谢。最后,特别感谢我国著名的电子光学与光电子成像技术专家周立伟院士在百忙之中拨冗为本书作序!

光电技术是多学科相互渗透、相互交叉的新技术学科,光电技术发展突飞猛进。由于编者研究领域和知识水平的局限,书中难免会有一些缺点和疏漏,恳请读者不吝指正。

编 者

2013年11月于国防科学技术大学

第一版前言

光电技术是一门以光电子学为基础,综合利用光学技术、微电子学技术、精密机械及计算机技术解决各种工程应用课题的技术学科。它将电子学中的许多基本概念与技术(如调制与解调、放大与振荡、倍频、和频与差频等)移植到光频段,解决光电信息系统中的工程技术问题。这一先进技术使人类能更有效地扩展自身的视觉能力,使视觉的长波延伸到亚毫米波,短波延伸至紫外、X射线、 γ 射线,乃至高能粒子,并可以在飞秒级记录超快现象(如核反应、航空器发射)的变化过程。光电技术在现代科技、经济、军事、文化、医学等领域发挥着极其重要的作用,以此为支撑的光电子产业是当今世界争相发展的支柱产业,是竞争激烈、发展最快的信息技术产业的主力军。

作者总结了多年讲授光电技术类课程的教学经验,并参阅了大量国内外优秀教材和科技文献,为适应光电类人才培养的需求而编写本教材。本书作者已在光电工程、光信息科学与技术等本科专业课程教学中经历了三次教学实践,并在征求专家、教授和学生等多方面意见的基础上先后对本书内容进行了四次较大的修改和完善。本书为“教育部光信息科学与工程类专业教学指导分委员会推荐用教材”。在编写过程中,特别注意做到以下几点:

1. 综合分析国内外知名大学光电技术类课程的知识体系,根据光信息科学与工程类专业课程结构特点和要求,将本书内容限定在光学系统和电子系统的联结点,即包括理论基础、光辐射源和光电探测器、光电信号变换与处理和典型应用系统的分析与设计等四大部分,力求突出主线内容。

2. 在阐明基本原理的同时,还突出了应用技术,使学生能够把握光电技术的总体框架,有兴趣、有信心地投入到创新活动实践中。

3. 根据培养计划和教学体会,特别注意了与其他基础课程(如光学、模拟与数字电路技术、激光原理与技术等)内容的衔接,力求讲授内容深入浅出、应用性强和可读性好。

4. 以小体字的排版形式,对知识衔接点和光电技术的最新发展应用实例等内容进行介绍,这些内容可根据课时要求有选择地讲授,也可作为阅读材料,以扩展学生的视野。

5. 优化了每章的习题与思考题,突出基本概念、基本应用,并注意拓展学生的知识面和综合应用能力的培养。

全书共11章。第1章介绍光辐射探测的理论基础知识;第2章介绍常用光辐射源;第3~6章分别介绍光电导探测器、光伏探测器、光电子发射探测器和热探测器等器件的结构原理及应用技术;第7章介绍变像管、像增强器、摄像管、CCD及CMOS图像传感器等光电成像器件;第8章介绍光学信号的调制和解调技术;第9章介绍直接探测和相干探测技术;第10章介绍光电检测电路及信号处理技术;第11章介绍典型光电系统的分析与设计。其中,绪论、第1~5、10章由江文杰编写,第6、7章及第11章第1、2、3节由曾学文编写,第8、9章由施建华编写,第11章第4节和第5节分别由王省书和邱志强编写。全书由江文杰统稿。

本书既适应多学时(50学时)教学,也可适应少学时(36学时)教学;少学时教学时,可根据课程设置的要 求,选讲第2章、第7章、第10章及第11章等章节的部分内容,甚至直接跳过这些章节进行教学,不会影响其他章节内容的学习。此外,各章加*号的内容也可根据需要选

讲,小体字内容可作为阅读内容。本书配有教学光盘,其中包括多媒体教学课件、习题与思考题的参考解答和科技文献等教学资料,可供教师教学参考。

在本书的编写过程中,得到了学院各级领导的悉心指导与大力支持以及有关院校的专家、教授和前辈们的指导和帮助。2005年春,国防科技大学光电科学与工程学院设立“光电技术”教学岗位,提出了明确的课程教材建设目标与要求,并全程指导和督查教材建设。清华大学孙培懋教授应邀亲临学校与教材编写组主要人员进行了深入而详细的探讨,就教材编写的指导思想、知识结构体系、内容安排及专业术语等多方面提出了宝贵的指导性建议;学院秦石乔教授指导制订了教材大纲,陆启生教授审查了全书知识结构体系并就重点章节提出了指导性修改方案,张广发教授、罗晖教授、谭吉春教授、冯莹教授、袁晓东教授、王省书教授、杨华勇副教授、梁永辉副教授和中南大学张学庄教授等参与了教材评审工作并提出了宝贵的修改建议;林亚风副教授就激光器部分提出了有益的建议;张强、陈梅雄和李丹等同学帮助校稿、查阅资料及搜集教材使用信息,做了大量的工作。教育部高等学校光电信息科学与工程专业教学指导分委员会郁道银教授、金伟其教授、刘向东教授和杨坤涛教授评审了教材的第四次修改稿,并站在光电信息科学与工程专业建设的前沿,提出了完善教材的指导性意见。编者谨向所有对本书编写工作提供帮助的同志表示衷心感谢。

在编写过程中,参考了大量的国内外优秀教材和科技文献,并根据本书体系的需要选编了其中的一些典型内容,在每一章后均给出了主要参考文献。编者在此向文献作者表示衷心的感谢。

光电技术不仅内容涉及多种学科领域,而且是活跃的发展学科。由于编者水平有限,加上时间紧迫,错误或不当之处,欢迎专家学者、教师、学生和工程技术人员提出宝贵意见,以便今后不断改进。

编者

2008年9月

目 录

序

第二版前言

第一版前言

绪论	1
0.1 光电系统和光电技术	1
0.2 光电技术研究及发展	4
0.3 本书编写思路和内容安排	6
参考文献	7

第一部分 光 辐 射 源

第 1 章 光辐射源	10
1.1 辐射度学与光度学的基础知识	10
1.1.1 光的基本概念	10
1.1.2 辐射度量	11
1.1.3 光度量	14
1.1.4 辐射度学和光度学中的两个基本定律	16
1.2 半导体的基础知识	17
1.2.1 能带理论	18
1.2.2 热平衡状态下的载流子	20
1.2.3 半导体对光的吸收	22
1.2.4 非平衡状态下的载流子	24
1.2.5 载流子的扩散与漂移	26
1.2.6 PN 结	27
1.3 黑体辐射	29
1.3.1 基尔霍夫定律	29
1.3.2 普朗克辐射定律	30
1.3.3 维恩位移定律	31
1.3.4 斯蒂芬-玻尔兹曼定律	31
1.4 典型光辐射源	32
1.4.1 光源的基本特性参数	32
1.4.2 热辐射光源	34
1.4.3 气体放电光源	37
1.4.4 激光二极管	39
1.4.5 发光二极管	42
本章小结	44

习题与思考题	44
参考文献	45

第二部分 光电探测器

第2章 光电探测器概述	48
2.1 半导体的光电效应	48
2.1.1 光电导效应	48
2.1.2 光伏效应	49
2.1.3 光电子发射效应	49
2.1.4 光电转换的基本规律	51
2.2 光电探测器的噪声	52
2.3 光电探测器的特性参数	55
本章小结	59
习题与思考题	59
参考文献	60
第3章 光电导探测器	61
3.1 光电导探测器的基本原理	61
3.1.1 光电导探测器的分类	61
3.1.2 光照下的光电导响应过程	62
3.1.3 光电导探测器的基本原理和结构设计	63
3.2 光电导探测器的主要特性参数	66
3.3 光电导探测器的偏置电路	72
3.3.1 偏置电路的基本参数及直流输出信号	72
3.3.2 几种典型的偏置电路	73
3.4 光电导探测器的应用举例	74
本章小结	75
习题与思考题	76
参考文献	77
第4章 光伏探测器	78
4.1 光伏探测器的工作原理及特性	78
4.2 典型光伏探测器	82
4.2.1 硅光电池	82
4.2.2 硅光电二极管	85
4.2.3 硅光电三极管	87
4.2.4 PIN 光电二极管	89
4.2.5 雪崩光电二极管	89
4.2.6* 紫外光电二极管	91
4.2.7* 碲镉汞、碲锡铅红外光电二极管	92
4.3 光伏探测器的偏置电路	92
4.3.1 自偏置电路	92

4.3.2 零伏偏置电路	94
4.3.3 反向偏置电路	95
4.4 光伏探测器组合器件	98
4.4.1 半导体色敏器件	98
4.4.2 阵列式光电器件	100
4.4.3 象限式光电器件	100
4.4.4 光电位置探测器	101
4.4.5 光电耦合器	103
本章小结	104
习题与思考题	104
参考文献	106
第5章 光电子发射探测器	107
5.1 光电阴极	107
5.2 光电管和光电倍增管的工作原理	110
5.2.1 光电管	110
5.2.2 光电倍增管	110
5.3 光电倍增管的主要特性参数	113
5.4 光电倍增管的工作电路及应用	120
5.4.1 高压供电电路	120
5.4.2 信号输出电路	122
5.4.3* 光电倍增管应用举例	123
本章小结	126
习题与思考题	126
参考文献	127
第6章 热探测器	128
6.1 热探测器的基本原理及特性	128
6.1.1 热流方程及其解	128
6.1.2 热探测器的共性分析	129
6.2 测辐射热计	132
6.2.1 测辐射热计的结构和原理	132
6.2.2 测辐射热计的主要特性参数	132
6.2.3 测辐射热计的应用	135
6.3 热电偶和热电堆	135
6.3.1 热电偶的结构和工作原理	136
6.3.2 热电偶的主要特性参数	138
6.3.3 热电堆	139
6.3.4 热电偶和热电堆的应用	140
6.4 热释电探测器	141
6.4.1 热释电探测器的结构和原理	141
6.4.2 热释电探测器的主要特性参数	145

6.4.3*	快速热释电探测器	147
6.4.4	热释电探测器的应用	148
	本章小结	148
	习题与思考题	149
	参考文献	150
第7章	光电成像器件	151
7.1	光电成像器件概述	151
7.1.1	光电成像器件的分类	151
7.1.2	电视制式	152
7.2	直视型光电成像器件	153
7.2.1	像管的结构和工作原理	154
7.2.2	像管的主要特性参数	156
7.2.3	变像管	156
7.2.4	像增强器	158
7.3	电荷耦合器件	161
7.3.1	CCD 结构和基本特性	161
7.3.2	CCD 基本工作原理	162
7.3.3	CCD 的主要特性参数	166
7.3.4	CCD 摄像器件	168
7.3.5	CCD 的发展趋势	172
7.4	CMOS 图像传感器	172
7.4.1	CMOS 图像传感器的结构和工作原理	172
7.4.2	CMOS 图像传感器的像素单元结构	173
7.4.3*	CMOS 图像传感器的主要特性参数	174
7.4.4	CMOS 图像传感器与 CCD 的特性比较	176
7.5	特种光电成像器件	176
7.5.1	红外焦平面阵列器件	176
7.5.2*	紫外固体成像器件	180
7.5.3*	增强型光电成像器件	181
	本章小结	182
	习题与思考题	183
	参考文献	183

第三部分 光电信号变换与处理

第8章	光学信号的调制和解调	186
8.1	光信号调制的概述	186
8.2	光信号调制的基本原理	187
8.2.1	连续波调制	187
8.2.2	脉冲调制	191
8.2.3	编码调制	191

8.3 光信号调制的基本方法	192
8.3.1 光信号强度的调制	192
8.3.2 光信号相位的调制	201
8.3.3 光信号频率的调制	203
8.3.4 光信号偏振的调制	206
8.4 调制信号的解调	208
8.4.1 直线律检波	208
8.4.2 相敏检波	209
8.4.3 锁相环与调频信号的解调	212
本章小结	213
习题与思考题	213
参考文献	215
第9章 直接探测和相干探测	216
9.1 直接探测	216
9.1.1 直接探测的基本原理	216
9.1.2* 直接探测系统的视场和作用距离	218
9.1.3 直接探测的应用举例	221
9.2 相干探测	229
9.2.1 相干探测的基本原理	229
9.2.2 相干探测的条件	232
9.2.3 相干探测的应用举例	234
9.3* 探测方法的改进	239
9.3.1 平衡探测	239
9.3.2 光前置放大探测	240
本章小结	241
习题与思考题	241
参考文献	244
第10章 光电检测电路与信号处理	246
10.1 光电检测电路的带宽和频率特性	246
10.1.1 光电检测电路的基本结构及技术要求	246
10.1.2 光电检测电路的带宽	246
10.1.3 光电检测电路的频率特性分析与设计	248
10.2 光电检测电路的低噪声设计	251
10.2.1 前置放大器的噪声	251
10.2.2 光电检测电路的噪声	254
10.2.3 光电检测电路的噪声估算	257
10.3* 微弱光电信号的检测与处理	261
10.3.1 相关检测理论	262
10.3.2 锁定放大器	264
10.3.3 取样积分器	267

10.3.4 光子计数器	270
本章小结	273
习题与思考题	274
参考文献	276

第四部分 典型应用

第 11 章 典型光电系统的分析与设计	278
11.1 分布式光纤测温系统	278
11.1.1 拉曼分布式光纤测温系统的工作原理	278
11.1.2 实用的分布式光纤测温系统	281
11.2 光谱测量系统	282
11.2.1 基于 PMT 的光谱辐射仪	282
11.2.2 光学多通道分析仪	283
11.2.3 傅里叶变换(红外)光谱仪	285
11.3 斐索型移相干涉仪及其应用	288
11.3.1 斐索型移相干涉仪的基本光路和原理	288
11.3.2 激光移相干涉测试技术原理	289
11.3.3 斐索型移相干涉技术的典型应用	291
11.4 CCD 尺寸测量系统	292
11.4.1 CCD 玻璃管测控仪的系统设计及工作原理	292
11.4.2 CCD 玻璃管测控仪的参量确定	293
11.5* 光电精确制导系统	297
11.5.1 红外点源寻的制导系统	298
11.5.2 激光制导系统	301
11.6* 图像测量技术及其应用	303
11.6.1 模拟图像与数字图像	303
11.6.2 图像测量系统的组成	304
11.6.3 图像测量系统的关键技术	304
11.6.4 典型图像测量系统举例	308
习题与思考题	310
参考文献	310
附录 部分习题与思考题答案及提示	311

绪 论

众所周知,电子和光子都是重要的信息载体。20 世纪下半叶,半导体的研究引导出微电子集成电路,彻底改变了计算机技术和信息技术的面貌。随着集成电路中单元器件的尺寸一直向“微”发展,不久将接近极限^[1,2]。据预测:2016 年,集成电路的特征线宽将进入 22nm 技术时代;到 2022 年,晶体管物理栅长将是 4.5nm^[3]。这时,硅 CMOS 技术将接近或达到它的“极限”,“电子”作为信息载体的功能,其“瓶颈”效应逐渐凸显。和电子信息相比,光学信息速度快、信息容量大,占据宽阔的光频范围以及有多参量、并行、高速的传输处理能力,特别是它显示的直观性等特点使得光子学已成为信息科学的重要发展方向之一^[4]。

20 世纪后期,人们就已深刻地认识到“光子”的巨大潜力。美国、日本、西欧经济发达国家纷纷部署各种战略发展计划,把光子技术视为 21 世纪高科技国力竞争的焦点。光子技术既是电子技术的突破,又是它的延拓与发展。它们彼此关联,互为依托,形成了综合利用光学和电子技术的光电混合系统,简称光电系统。

0.1 光电系统和光电技术

1. 光电系统的分类

广义的光电系统包括两个主要分支,即光电能量系统和光电信息系统。

光电能量系统主要着眼解决大功率光辐射能量的产生、控制、利用以及向其他能量形式转换等问题,例如,太阳能发电、激光加工、激光医疗、激光武器和激光核聚变等。光电能量系统已发展成为一个专门的学科,本书将不涉及这一方面内容。

光电信息系统是指以光辐射和电子流为信息载体,通过光电或电光相互变换,综合利用光学或电子学的方法进行信息的采集、传输、处理、存储或显示,以确定目标信息的混合系统。红外遥控发射接收装置、激光测距和光通信系统等都是典型的光电信息系统。通常提到的“光电系统”是指光电信息系统。

光电系统大致可分为光-电型、光-电-光型、电-光-电型、光电混合型和电光混合型等几种类型^[4]。其中,光-电型系统是指载荷有被研究信息的光载波通过光电转换变成电信号、再利用常规的电信号处理来实现检测和控制作用的系统。该类型系统是目前应用最为广泛的光电系统。从常见的应用角度出发,光-电型系统是将光学信息或者可变为光学信息的其他信息转换为电信号,进而组成光、机、电、计算机的综合系统,实现光学信息检测的自动化。这样的系统常称为光电探测系统(也称为光电检测系统),是本书重点讨论的内容。

2. 光电探测系统的组成

通常,光电探测系统由光辐射源、光学系统、调制器、传输介质、光电探测器和电子系统等基本环节组成。图 0-1 所示为典型的光电探测系统的组成和信息流程图。

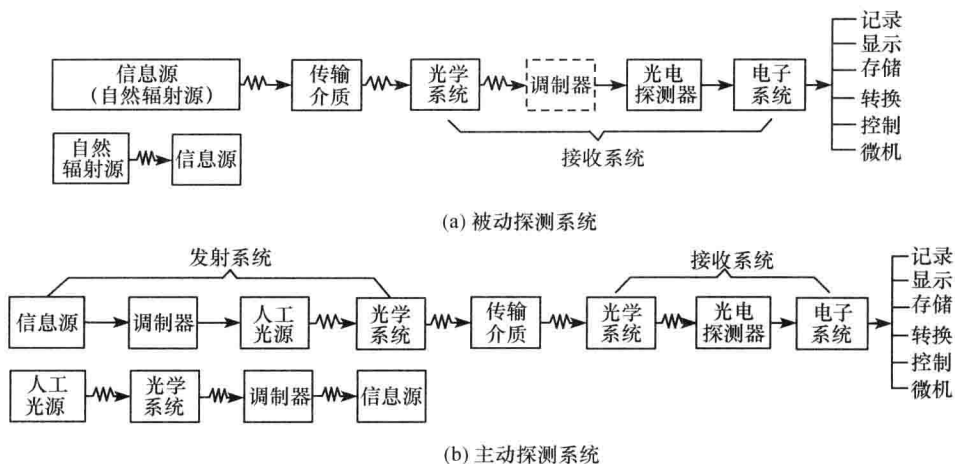


图 0-1 光电探测系统组成和信息流程图

图 0-1(a)所示为被动探测系统的框图,如人体红外测温仪、微光夜视仪等。其信息源可以是来自被探测物体自身的辐射,例如,所要探测的飞机、舰船、星体、火焰和人体等物体自身的紫外、红外或可见光辐射;也可以是来自其他自然辐射源(如太阳)照射在被探测物体上形成的反射、散射等光辐射,例如,遥感技术中地球表面不同物体的反射光。根据它们的辐射性质与周围环境的差别,探测系统就能获取有关信息。这些信息源的辐射经过传输介质(如大气),到达接收光学系统。接收光学系统获得的部分信息源辐射被会聚到光电探测器上,光电探测器将光信号转变为电信号。通常,为了尽可能提高检出信息的质量,系统中加入调制环节,从而光电探测器输出信号是调制信号。调制信号经电子系统放大、处理后,就能检出所需信息。由于检出的信息是电信号,所以方便与后续环节连接,如显示、记录、存储和转换等环节,或者连接控制环节形成自动控制系统,或者连接计算机完成智能性任务等。

图 0-1(b)所示为主动探测系统的框图。其信息源不同时兼作辐射源,即系统不是利用信息源自身辐射,或者信息源为非光学量。这种系统将某些非光学的物理量(如语音、数据等)先设法变成电信号,然后通过调制器把信息加载到光波上进行传输,典型的有光纤通信系统等;或者采用人工光源照射被测物体,使所需信息能加载到反射、透射、散射或衍射光波上,然后利用光电探测系统进行检测,例如,激光制导、激光测距系统等。在接收端,主动光电系统与被动光电系统有同样的方块图。主动系统中传输介质大多是大气,少数采用光纤。

3. 光电技术的定义及特点

光电技术是研究光电系统中光电信号的形成、传输、采集、变换及处理方法的技术学科。它是信息技术的重要分支之一,其最大特点是所有被研究的信息,包括光学的、电学的或其他非光学的信息,都将通过各种效应(机、热、声、电、磁)调制到光载波上,而对光载波的处理可以是光学的、也可以是电子学的。

光子技术处理的是空间光信息,它具有多维、并行、快速数据处理等能力;电子技术处理的是一维电信息随时间的变化,它有较强的运算灵活性和变换精度。光电系统兼备这些优点,具有以下的特点。

(1) 高精度和远距离。光电测量是各种测量技术中精度最高的一种。例如,用激光干涉

法测量长度的精度可达 $0.05\mu\text{m}/\text{m}$;光栅莫尔条纹法测角精度可达到 $0.04''$;用激光测距法测量地球与月球之间距离的分辨率可达 1m 。光载波最便于远距离传播,尤其适用于遥控和遥测,如电视遥测、光电跟踪和光电制导等。

(2) 高速度、大容量。以光子作为信息载体,其传输速度是各种物质中传播速度最快的,其信息载波容量比电子至少要大一千倍。

(3) 非接触。检测所需的输入能量几乎不影响被测物的能量状态,并且测量仪器和被测对象之间不存在机械摩擦,容易实现动态测量。

(4) 有较强的信息处理和运算能力。可进行复杂信息的并行处理和多种形式的数学运算。运算速度快,空间互连效率高,抗干扰能力强,可调制变量多,信号变换灵活。用光电方法还便于信息的控制和存储,易于实现自动化,易于与计算机连接,易于实现智能化等。

(5) 有广泛的适用范围。能获得和处理多种光学信息和非光学参量,包括探测机构内部或危险环境下的工作参量。

4. 光电技术的应用

根据系统功能的不同,光电系统常应用于以下几个方面^[4]。

(1) 测量检查。其基本功能是进行光学或非光学参量的光电检测,可测参量包括几何量(长度、角度、形状、位置、变形、面积、体积、距离等)、运动参量(速度、转动、流量、振动、加速度等)、表面形态参量(工件粗糙度、疵病、伤痕等)、光学参量(吸收、反射、透射、光度、色度、波长和光谱等)、成分分析(物理属性、浓度、浊度等)、机械量(质量、应力、应变、压强等)、电磁量(电流、电场、磁场等)以及温度和放射线的测量等。检测系统要求可靠的重复示值和可信度,并且要有适用的数据处理能力和数据输出方式。

(2) 控制跟踪。这是一种有光电检测能力的反馈控制系统。光电传感器是信号反馈单元,当它检测到受控目标相对平衡状态的偏差信号时,可通过闭环控制使目标相对基准实现伺服跟踪或恒值调节。它的主要应用包括军事和科学应用(激光制导、热定向、飞行物自动跟踪等),以及工业应用(精密工作台的自动定位、工业图形的自动加工、状态参量的极值控制以及有视觉能力的机器人等)。跟踪系统要求有准确的跟踪能力和快速的动态响应能力。

(3) 图像测量和分析。它的功能是采集目标的二维或三维光强的时空分布,记录和再现目标的图像并进行判读、识别或图像的运算处理。图形检测是图像分析的分支,其目的是同时完成图形几何坐标和光密度等级的精确测量,应用在工业图形检测中。图像测量和分析主要依靠扫描或摄像装置采集光信号,同时进行空间-时间和光-电的变换。为了将大容量的光学图像变成相应的数字图像,需要大容量的图像存储器。图像数据的处理和分析由计算机完成。这是当前光机电算混合型光电技术发展的重要标志。

光电技术特别是光电探测、光通信、光电测量与控制、光电信息处理和光存储等的应用已遍及军事、科学研究、工业、农业、宇宙与环境科学、医疗卫生和民用等各个领域。从星体温度探测和人造卫星监测到生物细胞的显微测量和微循环检查,从视觉工业机器人和光学计算机到民用全自动照相机和简单光电开关,光电技术已经成为现代科学技术和人类生活中不可缺少的环节,特别是在生产领域中生产过程的视觉检查和制品加工自动化、各种性能参数的精密测试以及图形检测和分析判断等方面,光电技术发挥了重要作用。为了实现光学仪器的更新换代,光电技术将在机电一体化光学仪器的研制开发中起主导作用。利用光电技术组成的各