



高 等 学 校 规 划 教 材
工 科 电 子 类

红 外 系 统

(第 2 版)

杨宜禾 岳敏 周维真 编著

國 防 工 業 出 版 社



数据加载失败，请稍后重试！

435624

TN21

Y30

(2)

红 外 系 统

(第 2 版)

杨宜禾 岳 敏 周维真 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

红外系统/杨宜禾等编. —2版. —北京:国防工业出版社, 1995. 10
ISBN 7-118-01430-3

I. 红… II. 杨… III. 红外线仪器 IV. TH74

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 02545 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 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 21 486 千字

1995 年 10 月第 2 版 1995 年 10 月北京第 2 次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 16.15 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作的规定,我部承担了全国高等学校和中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力,有关出版社的紧密配合,从1978~1990年,已编审、出版了三个轮次教材,及时供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要,贯彻国家教委《高等教育“八五”期间教材建设规划纲要》的精神,“以全面提高教材质量水平为中心,保证重点教材,保持教材相对稳定,适当扩大教材品种,逐步完善教材配套”,作为“八五”期间工科电子类专业教材建设工作的指导思想,组织我部所属的八个高等学校教材编审委员会和四个中等专业学校专业教学指导委员会,在总结前三轮教材工作的基础上,根据教育形势的发展和教学改革的需要,制订了1991~1995年的“八五”(第四轮)教材编审出版规划。列入规划的,以主要专业主干课程教材及其辅助教材为主的教材300余种。这批教材的评选推荐和编审工作,由各编委会或教学指导委员会组织进行。

这批教材的书稿,其一是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐,由编审委员会(小组)评选择优产生出来的,其二是在认真遴选主编人的条件下进行约编的,其三是经过质量调查在前几轮组织编写出版的教材中修编的。广大编审者、各编审委员会(小组)、教学指导委员会和有关出版社,为保证教材的出版和提高教材的质量,作出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还可能有缺点和不足之处,希望使用教材的单位,广大教师和同学积极提出批评和建议,共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系 1985 年初版《红外系统》的修订本。经电子物理与器件教材编审委员会激光与红外编审小组研究审定,进行修订再版。

本教材由杨宜禾、岳敏、周维真参加编写,刘贤德担任主审。编审者均依据激光与红外编审小组审定的修编大纲进行编写和审阅。

本课程的参考教学时数为 60~80 学时。

本书初版自 1985 年问世以来,曾受到有关读者的欢迎。这对于我们来说,无疑是一种极大的鼓舞和鞭策,激励我们在教学、科研实践中不断总结经验,积累素材,以进一步补充修改原书中的某些内容,从而将一本更加符合实际需要的新书奉献给红外领域中的广大读者。

自本书初版以来的近十年间,红外技术在理论与实践方面都有了长足的发展,红外系统应用的范围越来越广泛,它几乎渗透到军用、民用的各个部门。因此,需要一本适应面更宽,内容更加系统、完整、先进,并且是理论联系实际的好教材,以适应各类从事红外系统设计、研制工作者的需要。为此,我们在听取有关读者对初版的意见后,总结了原书的使用情况,并且在认真总结作者近十年间的教学、科研经验和成果的基础上,对本书进行修订。

修订版基本沿用原版的内容和体系,即以红外信息接收、传递、处理为主线,阐述红外仪器的基本概念、组成、工作原理及一般设计方法,对红外仪器的具体工程设计、制造装配工艺及测试等不作详细讨论。与原书相比,这一次修订版保留了原版的主要内容;调整了某些章节的次序,将跟踪系统和搜索系统移到热成象系统之后,这样在阐述了点源探测及成象探测之后再阐述跟踪、搜索系统,会自然而顺当;全面改写了第五章热成象系统,使其能反映出红外成象技术的新进展;第七章系统设计,去掉了有关调制盘设计的内容,增补了信号检测与处理系统的有关内容,并更换了原有的设计举例;其他章节增加了数字脉冲编码调制盘、光谱探测系统、跟踪系统数学建模、全方位警戒系统等内容。这样便拓宽了本书的适应面。

大学本科学学生选用本教材时,可学习本书的基本内容,对书中附有 * 号的节可概略讲述,也可供研究生及科技工作人员参考。

修订版全书共分为七章。第一章绪论,第二章红外调制与调制盘,第三章红外信息检测,第四章探测系统,第五章热成象系统,第六章跟踪、搜索系统,第七章系统设计。其中第一章、第三章、第六章中的成象跟踪部分及第七章由杨宜禾编写,第二章、第四章、第六章(除成象跟踪部分)由岳敏编写,第五章由周维真编写。岳敏统编全稿。在编写本书时,曾参阅了一些研究部门的若干技术资料,由于各种原因,未能在参考文献中全部列出,我们对这些资料的作者深表感谢。

由于我们的水平有限,在修订过程中仍然可能存在不少错误和不妥之处,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

内 容 简 介

本书系《红外系统》一书的修订版,全面地论述红外仪器的基本概念、组成、工作原理及一般设计方法。全书分绪论、红外调制与调制盘、红外信息检测、探测系统、热成象系统、跟踪搜索系统及系统设计七章。与初版相比,增加了数字脉冲编码调制盘、光谱探测系统、回路数学模型、全方位警戒系统等内容。重新编写了第五章热成象系统,第七章系统设计中增补了信号检测与处理系统的有关内容。拓宽了适应面,反映了红外技术的新进展。

本书着重叙述有关红外系统的基本理论知识和基本设计方法,主要章节都附有习题及思考题。对红外仪器设计的发展趋势也作了介绍。本书适用于红外技术专业的高等院校学生作教科书,同时可供军用和民用部门中从事红外遥感、导航、火控、夜视、监测、医疗等方面的科学工作者和工程技术人员及红外专业研究生自学与参考。

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 红外系统的概念及红外仪器的基本结构	(1)
§ 1.2 红外仪器的基本特性	(2)
§ 1.3 红外仪器的应用	(2)
§ 1.4 红外系统的研究内容	(3)
参考文献	(4)
第二章 红外调制与调制盘	(5)
§ 2.1 红外调制的一般概念	(5)
§ 2.2 调制盘的类型及工作原理	(23)
§ 2.3 调制盘的分析计算	(45)
§ 2.4 调制盘的空间滤波原理	(59)
习题	(69)
思考题	(70)
参考文献	(70)
第三章 红外信息检测	(71)
§ 3.1 概述	(71)
§ 3.2 噪声分析	(72)
§ 3.3 信号分析	(75)
§ 3.4 统计检测准则	(78)
§ 3.5 单次检测	(82)
§ 3.6 积累检测	(84)
§ 3.7 匹配滤波器	(91)
§ 3.8 多元检测	(97)
思考题	(103)
参考文献	(104)
第四章 探测系统	(105)
§ 4.1 概述	(105)
§ 4.2 目标方位探测系统	(106)
§ 4.3 温度探测系统——红外测温仪	(128)
§ 4.4 光谱探测系统	(136)
§ 4.5 红外系统的作用距离	(145)
习题	(148)

思考题	(149)
参考文献	(149)
第五章 热成像系统	(150)
§ 5.1 概述	(150)
§ 5.2 光机扫描成像系统	(154)
§ 5.3 热释电成像系统	(163)
§ 5.4 红外 CCD 成像系统	(173)
§ 5.5 其他类型的热成像装置	(186)
§ 5.6 热成像系统的信号处理与显示技术	(190)
§ 5.7 热成像系统的调制传递函数 MTF	(199)
§ 5.8 热成像系统性能的综合量度	(212)
附录 视觉积分特性	(223)
思考题	(225)
参考文献	(227)
第六章 跟踪、搜索系统	(228)
§ 6.1 跟踪系统	(228)
§ 6.2 搜索系统	(265)
习题	(281)
思考题	(281)
参考文献	(281)
第七章 系统设计	(283)
§ 7.1 总体指标的拟定	(283)
§ 7.2 工作波段、探测器及制冷装置的初步设计	(289)
§ 7.3 系统结构的初步设计	(297)
§ 7.4 光学系统的初步设计	(301)
§ 7.5 信号检测与处理系统设计	(311)
§ 7.6 系统设计举例	(321)
参考文献	(327)

第一章 绪 论

§ 1.1 红外系统的概念及红外仪器的基本结构

自然界中实际景物的温度均高于绝对零度。根据普朗克定理,凡是绝对温度大于零度的物体都会产生热辐射。物体发出的辐射通密度是物体温度及物体辐射系数的函数。利用景物温度及辐射系数的自然差异可以做成各种被动的红外仪器。当物体受到外来的红外辐射辐照时,会产生反射、吸收及透射现象。基于这些现象所做成的红外仪器,称为主动的红外仪器。主动的红外仪器多用于观测、分析、测量方面;被动的红外仪器应用面较宽,在探测、成象、跟踪及搜索等方面均有广泛应用,本书将以此类仪器为主进行阐述。红外仪器的基本结构如图 1-1 所示。由景物发出的红外辐射经空间传输到红外装置上。红外装置

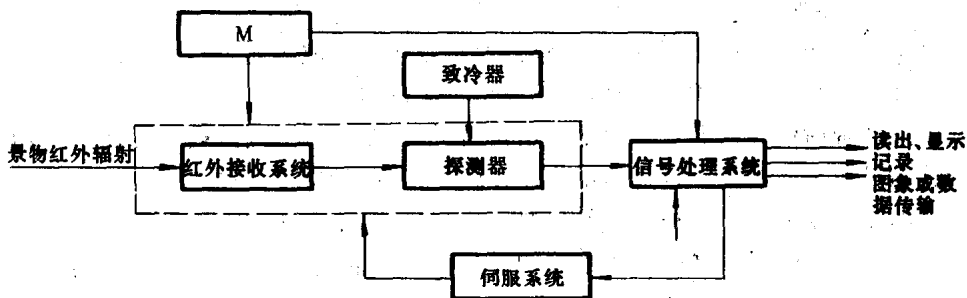


图 1-1 红外仪器组成方块图

的红外光学系统接受景物的红外辐射,并将其会聚在探测器上。探测器将入射的红外辐射转换成电信号。信号处理系统将探测器送来的电信号处理后便得出与景物温度、方位、相对运动角速度等参量有关的信号。红外装置取得景物方位信息的方式有两种:一种是调制工作方式,一种是扫描工作方式。方框图中的环节 M 为调制器或扫描器。若红外装置采用调制工作方式,则环节 M 为调制器。调制器用来对景物红外辐射进行调制,以便确定被测景物的空间方位;调制器还配合着取得基准信号,以便送到信号处理系统作为确定景物空间方位的基准。若红外装置采用扫描方式工作,则环节 M 为扫描器,用它来对景物空间进行扫描,以便扩大观察范围及对景物空间进行分割,进而确定景物的空间坐标或摄取景物图象。扫描器也向信号处理系统提供基准信号及扫描空间位置同步信号以作信号处理的基准及协调显示。当红外装置需要对空间景物进行搜索、跟踪时,则需设置伺服机构。跟踪时,按信号处理系统输出的误差信号对景物进行跟踪;搜索时,需将搜索信号发生器产生的信号送入信号处理系统,经处理后用它来驱动伺服系统使其在空间进行搜索。对机械扫描系统而言,扫描器 M 和伺服机构这两个环节总是合并设置而为一个环节。采用调制

工作方式的红外装置可以对点目标实行探测、跟踪、搜索;采用扫描方式工作的红外装置,除了能对景物实行探测、跟踪、搜索外,还能显示景物的图象。经信号处理后的信息,可以直接显示记录、读出,也可以由传输系统发送至接收站再加工处理。

红外系统是包括景物红外辐射、大气传输以及红外仪器的整体。红外系统的研究内容为分析计算景物的红外辐射特征量以及这些量在大气中传输时的衰减状况、根据使用要求设计适用的红外仪器。

§ 1.2 红外仪器的基本特性

红外仪器最基本的功能是接受景物的红外辐射,测定其辐射量大小及景物的空间方位,进而计算出景物的辐射特征;至于红外搜索跟踪功能,则是在红外接受系统取得了景物基本特征信息后再由伺服机构加以完成的。红外接受系统的性能主要指视场、探测能力和探测精度三个方面。视场表示红外仪器探测景物的空间范围。视场较大则相应的空间噪声增大,处理全视场信号所需时间较长或所需处理速度较快,因而会对仪器的探测能力及探测精度有所影响。探测能力包括红外仪器的作用距离、温度分辨率及检测性能等项参数,标示着仪器对景物探测的灵敏度。探测精度则指对空间景物的空间分辨率及目标的定位精度。探测灵敏度和探测精度是红外仪器的两项基本特性,它们由仪器的结构参数决定,同时也受仪器外部及内部的噪声和干扰制约。

红外仪器工作在电磁波谱的红外波段,波长较无线电波为短,所以红外仪器的空间分辨率较微波雷达及毫米波雷达为高,但不及可见光仪器。大气分子及大气浮悬物对辐射的散射随透过的辐射波长而异。辐射波长增长时,散射影响将逐渐减弱,因此红外辐射透过霾雾的能力较可见光为强。雷达的工作波长较长,因而具有全天候工作能力,这是红外仪器所不及的。被动状态下工作的红外仪器工作较隐蔽,受干扰影响也较小。综上可见,红外仪器在中近距离的目标精确探测跟踪中受到特别的重视。

§ 1.3 红外仪器的应用

一、红外仪器的应用方面

红外仪器在工业、农业、交通、科学研究、国防等部门应用十分广泛。按红外仪器的工作性质可分为以下四类:

1)探测、测量装置 用于辐射通量测定、景物温度测量、目标方位的测定以及光谱分析等。具体的仪器有辐射计、测温仪、方位仪以及光谱仪等。在目标探测、遥感、非接触温度测定、化学分析等方面广泛应用。

2)成象装置 用于观察景物图象及分析景物特性。具体的仪器有热象仪、热图检验仪、卫星红外遥感装置等。在目标观测、气象观测、农作物监测、矿产资源勘探、电子线路在线检测、军事侦察等方面广泛应用。

3)跟踪装置 用于对运动目标进行跟踪、测量及监控。具体的仪器有导弹红外导引头、机载红外前视装置、红外跟踪仪等。在导弹制导、火力控制、入侵防御、交通监控、天文测量等方面广泛应用。

4)搜索装置 用于在大视场范围搜寻红外目标。具体仪器有森林探火仪、红外报警器等,在森林防火、入侵探测等方面广泛应用。

二、红外仪器需求情况分析

红外仪器可在夜间工作、具有一定的气象适应性、工作隐蔽性好、结构较简便、成本较低,因而在军事应用方面具有独特的地位,尤其重要的是红外仪器在探测灵敏度及探测精度方面更具有较大的优越之处;红外仪器属于被动测量系统,测量灵敏度及精度均较高,因此在气象、农业、工业、科学研究等方面深受器重;在民用报警、家电遥控等方面红外仪器由于结构简便、价格低廉,所以应用前景广阔。

科学技术的进展,促进了科学研究及军事应用对红外仪器在使用性能方面有更高的需求,主要表现在以下几个方面:

1)高探测灵敏度 探测目标的距离过去仅为几公里,现在逐渐增至 10~20 公里甚至百公里,因而对探测灵敏度的要求大为提高。最小可探测辐照度从 $10^{-8}\text{W}/\text{cm}^2$ 提高到 $10^{-13}\sim 10^{-14}\text{W}/\text{cm}^2$;噪声等效温差也因使用要求增高而从通常的几度呈 1~2 个量级下降。

2)高定位跟踪精度 50 年代以前的制导系统定位跟踪精度通常为角分量级,现代的精确制导系统则要求 10~20 角秒的定位、跟踪精度。

3)抗干扰能力 为了减弱自然界及人工干扰的影响,红外仪器必需具有较强的抗干扰功能及自适应能力(智能化能力)。

上述需要的变化,促使红外仪器在工作机制、结构设计、信号处理方法等方面进行必要的改进。探测器从单元发展到多元线阵以至面阵,单元面积逐渐趋小;从信号调制机制转换到扫描机制;从单一视场转换到可变视场;从简单信息量到多信息量获取与处理是红外仪器发展的必然趋势。

§ 1.4 红外系统的研究内容

红外系统涉及红外物理学、红外光学、红外探测器、信号检测与处理等技术领域;从整体角度考虑,红外系统与机械结构、自动控制等学科密切相关;因此可以说,红外系统学是以光学、机械学、电子学为基础的综合性科学。

红外技术是光电子学的重要组成部分,属于光学的应用分支。光学中的几何光学和物理光学同样是红外系统设计中的理论基础。在红外系统设计中,运用光学设计的一般理论结合红外系统的特点,去做红外系统的光学结构设计。在红外系统的性能分析和计算中,常用光学传递函数的方法去分析评价系统质量,也常用光学传递函数的方法去进行系统设计。红外系统的结构形式及总体性能与红外探测器的发展密切相关。红外探测器技术的进展是顺应红外系统的需求而来的;另一方面,红外探测器的创新又为红外系统的发展开辟了可能的新途径。如红外 CCD(电荷耦合器件)的出现,使红外系统可以采用凝视式设计,凝视工作方式成为当前红外系统的主要发展方向,红外系统的发展与系统中各部件的技术进展状况有关。如同服机构的新构思、稳定机构的新设想、致冷器的微型化等都会给红外系统的发展带来很大影响。

红外系统的研究内容可分为结构总体及信息总体两大方面。以上所述的内容大体属于结构总体方面;至于信息总体方面的内容则是本书研究的重点,也是人们通常关心的主要方面。

从信息观点考虑,红外系统实质上是信息接受系统。由景物产生的红外辐射量,需作一定的分析计算以便提取出有用的信息量(如辐射强度、辐射亮度的空间分布和辐射谱分布及有效辐射面积等)。从能有效检测到目标信息和提高检测信噪比考虑,常需要对目标辐射进行调制。研究信号调制理论及调制盘设计方法是红外系统的一个重要研究内容。由目标发出的红外信号往往是相当微弱的,从噪声中检测信号是红外系统必需解决的首要问题。红外信号检测需要研究信号形式、检测准则和检测方法,以及估值问题。检测到的景物信号往往需根据需要作各种形式的处理。信号处理系统的任务是检出所需的景物信息。在现代信号处理技术中有模拟的和数字的两种信号处理方法,其目的都是抑制噪声、检出需用的景物信息。滤波技术、相关技术、图象处理技术以及各种背景抑制技术等等在红外系统设计中都得到了广泛应用。红外系统通常也是一个控制系统,过去在分析计算系统调节质量时总是运用经典的调节原理方法,但是由于计算参量较多因而目前愈来愈多地采用现代控制理论方法进行分析计算。从目标跟踪、识别及多维信号处理等方面考虑,系统中需要运用各种信号处理方法(算法)。对信号处理系统的要求不断增多,计算量不断加大,因此在红外系统中采用微处理机是很自然的趋势。采用微处理机不仅会增大信息处理功能,且能提高控制系统的质量。现代红外仪器的计算量已达每秒亿次以上,这需要高速大容量的芯片才能实现,目前已有此类芯片提供。新概念、新技术(如神经网络、多维数据融合技术等)的运用,也必将促进红外仪器向高智能、高效能方向发展。红外技术的应用范围在不断扩大,近年来对远红外波段($25\mu\text{m}$ 至 $1000\mu\text{m}$)的研究逐渐受到人们的重视。这将给红外技术带来新的发展。激光技术与红外技术在很多方面是紧密相连的。红外系统设计人员应熟悉激光技术领域中的有关研究内容。外差探测是检测微弱信号的有效方法。红外目标辐射和本振辐射同时作用在探测器上,探测器起混频器作用,由它检出的信号是目标辐射频率和本振辐射频率二者的差频信号。输出功率信噪比除与目标辐射功率成正比外还与本振辐射相关联。本振辐射功率可以做得较强,因此利用外差探测技术能检测到微弱的目标信号。外差探测极限为信号光子噪声限。外差探测在红外天文学、通信等方面有着广泛的应用前景。

红外系统涉及面较宽,且又在不断发展,因此在这本书中只能着重阐述红外系统中有关的一些基本理论、基本结构及其主要特性以及红外系统设计的基本原则和设计计算方法。在熟悉了这些基本内容之后,读者将有能力从事红外仪器的研究设计及使用方面的工作。关于具体工艺问题在本书中讲得较少,读者可参阅有关的工艺书籍。

参考文献

- 1 Richard D. Hudson Jr. *Infrared System Engineering*. John Wiley & sons, Inc. ,1969

第二章 红外调制与调制盘

* § 2.1 红外调制的一般概念

2.1.1 对红外辐射进行调制的意义

在电学领域及通信系统中,广泛地应用了调制和解调技术。调制实质上是对所需处理的信号或被传输的信息做某种形式上的变换,使之便于处理或传输。例如对直流信号进行放大时,通常采用将直流信号调制成交流信号,进行交流放大,再分离出直流信号的方法,以克服直流放大器的零点漂移;又如通信系统中,通过将信号调制可以使信号频谱搬移^[1,2],使之同一信道可以传送多个信号或便于以较小的天线尺寸进行空间电磁波辐射传送信息。解调是从已调制信号中恢复原始信号的过程,故解调即通常所说的信息检测。

系统的检测性能是与调制波的形式及调制器、解调器的性能密切相关的,因此从信号检测的要求出发研究调制波的形式、调制器的类型将是十分必要的。

本书第四、六两章所要研究的红外探测、搜索、跟踪系统,即为利用目标发射的红外辐射能对目标的温度、位置、速度等信息进行检测的系统。我们知道,当目标温度一定时,由目标所发射出的辐射通量总是恒定的,位于一定距离处的系统所接收到的辐射通量也是恒定的。为了探测目标,需要对目标辐射能进行调制,即把红外系统接收到的恒定辐射能转换成随时间变化的断续的辐射能,并使断续的辐射能的某些特征随着目标信息的变化而变化。例如使已调制辐射能的幅度、频率或相位等随着目标在空间的不同方位而变化,这样,调制后的目标辐射能便包含了目标的方位信息,它进一步通过光电变换、放大、解调后,便可以检测出目标的空间方位。可见,对辐射能进行调制的目的,主要是为了使断续的辐射能中包含目标信息,便于信号的放大、处理和检测。

辐射源按其对外装置的张角大小可划分为两类:点辐射源和面辐射源(扩展源)。点源目标的象点是位于光学系统焦平面上的弥散圆,通过光学系统象差设计,可以得到不同大小的弥散圆。面源目标在系统焦平面上的象点大小是由目标本身尺寸及光学系统象差决定的。在采用调制盘对象点能量进行调制的系统中,一般当象点大小覆盖了多个分格时,就认为该象点对应的辐射源为面源;而象点大小只与一个分格相当或小于一个分格时,认为该目标为点源目标。下面讲述的调制盘只限于用在对点源目标的调制。

调制盘是辐射调制器的一种,它是在能透过红外辐射的基板上,覆盖上一层涂层,然后用光刻的方法把涂层做成许多透辐射和不透辐射的栅格,由这些栅格构成了调制盘的花纹图案。调制盘置于光学系统的焦平面上,当目标象点与调制盘之间有相对运动时,透辐射和不透辐射的栅格切割象点,由于这种切割作用,使得通过调制盘的辐射能量变成了

断续形式。这样,调制盘就对目标象点的红外辐射能量进行了调制。

调制以后的辐射功率是时间的周期性函数,例如方波、梯形波、正弦波等。调制后的波形,由象点尺寸与调制盘孔径(即指一个透辐射栅格或一个不透辐射栅格)之间的比例关系而定。设孔径为一正方形,象点为一个长度与孔径相同但宽度是变化的长方形,当相同的孔径扫过不同尺寸的象点时,所得的信号波形如图 2-1 所示^[3]。

2.1.2 调制盘的作用^[3,4]

把恒定的辐射通量变化成为断续的辐射通量,是调制盘的最基本的作用。对一般红外系统来说,调制盘的主要作用如下。

一、产生目标所在空间位置的信息编码

物体经过光学系统成像,物和象有着——对应的关系。因此,目标在物空间位置的变化与目标象点在象空间即在调制盘上位置的变化相对应。象点位置的变化,使调制盘输出的载波信号的某些参量,如幅度、频率或相位也随之变化。此时,由调制盘输出的辐射通量就包含了目标的方位信息,然后由红外探测器把调制后的辐射通量转换成电信号,用信号处理电路检出载波的相应变化量,就得到了目标在空间的方位。故调制盘可看作是目标位置的信号编码器。

二、用调制盘进行空间滤波以抑制背景干扰

红外系统所要探测的目标(如飞机、军舰、车辆等)总是存在于背景(如大气、云团、海水和地物等)之中。利用目标和背景相对于系统张角大小的差异,调制盘可以抑制背景,突出目标,从而把目标从背景中分辨出来。调制盘这种滤去背景干扰的作用叫空间滤波。调制盘进行空间滤波的原理是:点源目标的象点与调制盘一个透辐射或不透辐射栅格尺寸相当,调制盘对该目标象点进行调制,产生一个由调制盘转速和调制盘分格数目确定的有限载频的信号。而大面积背景象点覆盖了若干个透辐射和不透辐射栅格,透过调制盘的能量为某一定值,得到的调制信号为直流或远离载频的其他频率的调制信号,即在载频附近背景感应的信号最小。通过电路的选频作用,使目标信号频率通过,而背景(直流或其他频率)被阻止,实现探测目标抑制背景的作用。

调制盘在探测点源目标和抑制大面积背景干扰方面是相当有效的,但当背景或某些人为干扰的张角较小,它们的象点大小与调制盘栅格尺寸相当时,就不起抑制背景的作用了。因此,一般调制盘的空间滤波作用又是有限的。为此,还需采用双色调制盘或色谱滤波等措施,进一步有效地抑制背景干扰。

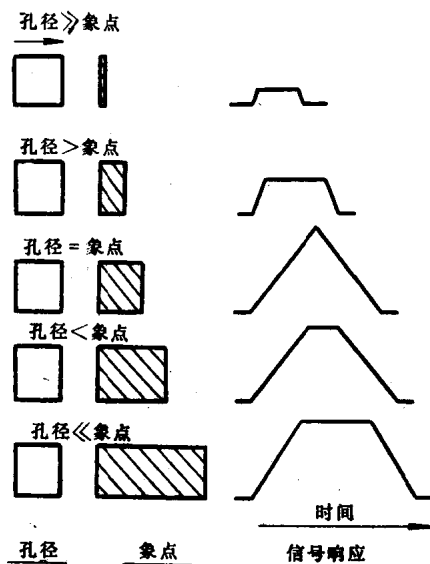


图 2-1 孔径和象点尺寸对信号波形的影响

三、用调制盘提高红外系统的检测性能^[5]

红外系统对目标的探测总是在噪声干扰下进行的,为能从噪声干扰中更多地提取有用的信息,红外系统必须根据合适的检测准则,确定系统的最佳检测方式及相应的具体系统结构。一定的检测方式,要求与之相应的确定的信号形式,在设有调制盘的系统中,调制盘的型式决定了系统的信号形式。因此,通过调制盘图案的设计及扫描方式的选择,可以给出满足最佳检测方式所要求的信号形式,从而提高了系统的检测性能。读者在学习了第三章和第七章的有关内容以后,会对调制盘的这一作用有更深入的理解。

2.1.3 关于调制波的一般概念

设已知一高频信号,其瞬时值由下式确定

$$a(t) = a_c \sin(\omega t + \varphi) = a_c \sin \Phi \quad (2-1)$$

式中,幅度 a_c 、角频率 ω 和相位 φ 可以是常量或缓慢变化的量; Φ 是时间为 t 时信号的相角。

如果 a_c 、 ω 和 φ 是常数,则式(2-1)表示一个简单的未调制波(简谐振荡),通称为载波,这个波形的角频率 $\omega = \omega_c$ 称为载频。

如果 a_c 或 Φ 发生变化,以相应地传送信息,则信号 $a(t)$ 就成了调制波。

使载波的某一参量(如它的幅度、频率、相位等)随时间按一定规律变化的过程,叫做调制。按照调制参量的不同,调制可分为两种主要型式:调幅(幅度调制,AM)和调角(角度调制)。

调角又分为两类:调频(FM)和调相(PM)。这两类调制之间有着紧密的联系,它们的差别只是在同一调制函数作用下,相角 Φ 随时间变化的性质不同。

我们把所要传送的信息称为调制信号,调制信号与载波信号相比,通常可以看作是慢变化的时间函数,就是说,相对于载波频率 ω_c 而言,调制信号频谱聚于较低的频率区域。

式(2-1)所表示的高频正弦信号,只要有一个参数(a_c 、 ω 或 φ)按调制信号规律发生了变化,那么该信号就不再是单一频率的正弦信号,而变成了一个由若干个不同频率的正弦型信号(以下我们把余弦信号和正弦信号统称为正弦型信号)组合而成的信号。由此可见,调制波具有一个频谱。频谱的结构与调制信号的性质以及调制的类型有关。

在实际中常常会产生混合调制,例如调幅—调频和调幅—调相。但此时往往是其中有一种型式的调制是有益调制(工作调制),而另一些则是附加在主要调制之上的寄生调制。这些寄生调制或者是由于实现调制的方法本身所造成的,或者是由于调制波通过电路时,其频谱发生变形而产生的。例如我们以后要讲述的光点扫描式调制盘,其载波的幅度和频率同时可以受到目标位置的调制。此时,如果我们利用载波幅度变化这一特征去处理这种调制波,那么这种调制盘就可以看成为调幅调制盘;如果从载波频率变化这一特征考虑去处理调制波,就可以把它看成调频调制盘。

2.1.4 调制波的形式及其主要特征^[6,7,8]

本节从讨论调制波的一般形式着手分析其主要特性。后面我们所要讲述的调制盘,尽管类型和工作方式不同,但所产生的调制波的形式与本节所述一般形式基本相同,因此在

进行不同调制盘的性能比较以及分析计算调制盘的特性时,均可参照本节所述方法进行。这里对调制波特性的分析,着重于它们的信噪比增益和频谱分布,这两者将直接影响系统检测性能(见第三章)和系统带宽的选择(见第七章)。

按照载波的类型不同,调制方式大致可以分为连续波调制和脉冲调制两大类。

一、连续波调制

用连续波(例如正弦型信号)作载波的调制称为连续波调制,它包括调幅、调频和调相三种方式,其中调频和调相又称为调角。

(一) 调幅

设调制信号(信息)如图 2-2(a) 所示,其中 $g(t)$ 为调制信号,载波为余弦波,载频为 f_c 。这样,图 2-2(a) 所示的调幅波可以用下式表示:

$$e_{AM}(t) = [a_c + kg(t)]\cos 2\pi f_c t = A(t)\cos 2\pi f_c t \quad (2-2)$$

式中, k 为比例系数; a_c 为载波信号的幅度(未调制时); $A(t)$ 为 t 时刻的调制波幅度。

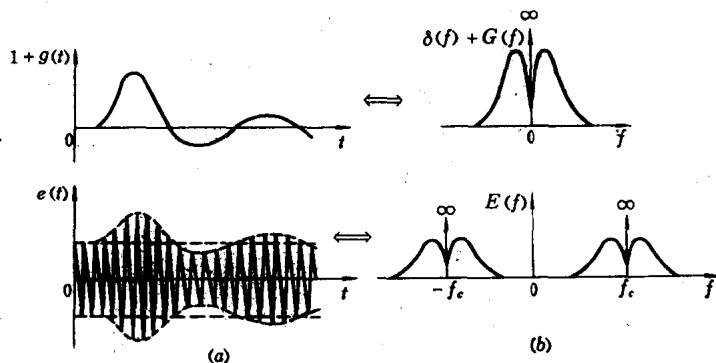


图 2-2 调幅波及其频谱

比值 $M = k/a_c$ 称为调制指数或调制度系数,它是表征调制深度的量,通常用百分比表示,即 $100M\%$ 。这时,调幅波的一般表示式为

$$e_{AM}(t) = [1 + Mg(t)]a_c\cos 2\pi f_c t \quad (2-3)$$

一般假定 $g(t)$ 的极大值 $g_{\max}(t)$ 和 M 满足下列条件:

$$|g_{\max}(t)| \leq 1 \quad 0 < M < 1$$

如果上述条件遭到破坏,便会出现过调制现象,即同时出现调幅和调相现象,这是我们所不希望的。

由式(2-2)可知,在调幅的情况下,载波信号的幅值随着调制信号的变化而变化,即 $A(t) = a_c + kg(t)$,也就是载波信号的包络线按着被传送信号的规律而变化。因此,在提取有用信号时,可以采用包络检波的解调方法。

对式(2-3)进行傅立叶变换,并利用 δ 函数的性质及傅立叶变换的频率搬移定理,可以得到调幅波的频谱为

$$E_{AM}(f) = \frac{a_c}{2}[\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] + \frac{Ma_c}{2}[G(f - f_c) + G(f + f_c)] \quad (2-4)$$