

红外系统设计基础

刘贤德 编著

华中工学院出版社

红外系统设计基础

刘贤德 编著

华中工学院出版社

内 容 简 介

本书是根据作者从事过的有关教学和科研工作编写而成的。全书共分三部分，第一部分从红外信息的产生、传输、接收、检测等基本原理由发，比较系统地阐述了红外系统的基本工作原理。第二部分是红外系统性能的分析方法，除归纳了综合分析法外，还比较详细地阐明了频谱分析法和计算机分析法。第三部分为系统设计，包括总体设计和分系统的设计和选择。

本书可作为从事红外系统工程的设计人员、科研人员和教学人员参考，也可作为红外专业高年级学生以及从事红外系统课题研究的研究生参考。

红 外 系 统 设 计 基 础

刘贤德 编著

责任编辑 常江南

华中工学院出版社出版

(武昌喻家山)

湖北省新华书店发行

华中工学院出版社沔阳印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：14.5 字数：350,000

1985年7月第1版

1985年7月第1次印刷

印数：1-4,000册

书号：15255-033

定 价：3.30元

序 言

近年来，人们在开拓红外这个具有巨大信息容量的波段方面已取得了很大的成绩，成功地研制出了许多种具有不同用途的红外装置和仪器，并相应地提出了许多很好的分析理论和设计方法，其中有的是由相近学科巧妙地移植过来的，有的是独具特色的，等等……。所有这些都对红外学科的基础理论的形成和完善起了很好的作用。但总的来说，由于红外技术这门学科尚处在发展阶段，它的许多理论，特别是设计理论还很不成熟，有的局限性很大，有的还是一个“拼盘”，理论分析与实验结果的差距颇大。因此，如何使这门技术学科的设计理论系统化，以便更好地指导实际工作，这是红外科技工作者目前十分关心的问题。编者在教学和科研实践中经常思索这方面的问题，特别是在对本专业研究生的教学和课题指导中，这方面的问题常常是我们讨论的中心。

我们认为，对于象红外系统这样复杂的机器，如不借助当代最有力的工具——计算机，是不可能在设计理论上有所突破的。为此，对红外科技工作者来说，最关键的工作就是建立适合计算机计算的性能方程式。但是对如此繁多的红外装置以及相应的性能表示方法若不进行“规范化”工作，这样的方程式是难以全部建立的。根据目前红外技术学科的情况，我们认为必须要做好以下三个方面的工作：①建立能揭示各种红外装置之间内在联系的分类方法；②建立能阐明红外系统基本工作原理的理论，这种理论应该比较完善的，而不是拼凑起来的；③建立适合于使用计算机的性能分析方程。本书力图对这三个方面的内容作比较系统的论述。不过，编者深知自己的学识浅薄，对许多问题的分析是不够透彻和全面的，可能还有错误。所以，编写本书的目的，与其说是想解决上述问题，到不如说是通过本书提出问题，以引起同行的更多讨论，并希望得到本领域内学者、专家们的更多指教。相信在大家的共同努力下，红外技术理论，特别是设计理论将有所突破，因而红外技术也将得到进一步的发展。

我院本专业的历届研究生对本书所涉及的一些问题曾做过许多工作，为本书的编写起了极好的作用。所以，本书实际上是许多人共同劳动的成果。另外，在本书编写的初期曾得到我院红外教研室张守一教授和许多老师的指导和帮助，他们曾以听课的方式对本书的内容进行过多次审查。对他们的大力支持和热情帮助，在此表示衷心感谢。

由于编者的水平有限，书中肯定会有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 著 者

1984年6月于华中工学院

目 录

第一章 导论	(1)
§ 1-1 红外系统的基本概念	(1)
§ 1-2 红外系统的分类	(4)
§ 1-3 红外装置的应用	(7)
§ 1-4 红外系统的发展历史及今后的发展趋势	(7)
第二章 红外系统工作原理	(10)
§ 2-1 引言	(10)
§ 2-2 表征红外信息源特性的一些基本方法	(10)
§ 2-3 红外辐射的传输	(17)
§ 2-4 红外辐射的接收(一)——能量的收集与成象	(25)
§ 2-5 红外辐射的接收(二)——搜索和扫描	(31)
§ 2-6 辐射的调制与空间滤波	(38)
§ 2-7 红外辐射的转换	(48)
§ 2-8 信号处理	(56)
§ 2-9 统计学概念及信号的检测	(61)
§ 2-10 终端系统及其特性	(69)
§ 2-11 识别概论	(78)
第三章 系统的性能分析	(84)
§ 3-1 引言	(84)
§ 3-2 红外系统的频谱分析方法	(84)
一、红外信息源	(84)
二、大气	(85)
三、光学系统	(85)
四、调制盘	(86)
五、扫描器和探测器	(87)
六、信号处理电路	(88)
七、终端	(90)
八、系统总的传递函数	(90)
§ 3-3 红外系统性能的综合分析方法	(90)
一、表示红外成象系统性能的方程	(91)
二、表示红外探测系统性能的方程	(112)
三、表示测辐射(或温度)系统性能的方程	(124)
四、以光子形式表示的红外系统的性能方程	(125)
§ 3-4 红外系统性能的计算机分析方法	(132)
一、数学模型	(133)
二、程序框图	(139)
第四章 系统设计	(157)

§4-1 引言.....	(157)
§4-2 系统设计方法.....	(158)
§4-3 分系统的选择和设计.....	(168)
一、目标与背景辐射量的工程计算方法	(168)
二、红外辐射在“红外窗口”区的透过率	(176)
三、红外光学系统及其零件的选择原则	(189)
四、调制盘的设计考虑	(189)
五、扫描方法的选择	(194)
六、红外探测器的选择	(206)
七、探测器电路原理	(214)
八、致冷装置的选择	(221)
主要参考文献.....	(225)

第一章 导 论

§ 1-1 红外系统的基本概念

红外系统是一种用于接收波长为0.75微米到1000微米的电磁辐射的光电装置。它的基本功能就是将接收的红外辐射转换成电信号并利用它去达到某种实际应用的目的。例如，通过测定物体的红外辐射确定物体的温度，或用来获得物体辐射通量的空间分布等等。

红外系统的组成如图1-1所示。各分系统的组成及作用列于表1-1。在具体装置的组成

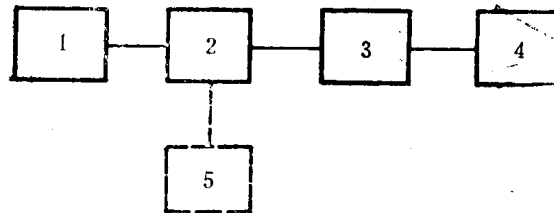


图 1-1 红外系统的组成方框图

1—光学头；2—探测器；3—电子部件；4—输出单元；5—致冷装置

中，其中某些部分可能没有，但总的结构形式大致不变。图中光学头将接收到的红外辐射会聚

表1-1 红外系统的组成及其作用

部件名称	组 成 及 作 用
光学头	• 光学镜头：收集入射辐射并将其聚集到探测器上 • 斩波器（调制器）：对入射辐射进行调制，使连续的辐射变成有一定规律的断续辐射 • 扫描器：使光学系统所成的象与探测器之间有相对的移动，以便探测器能连续而完整地分解目标的图象 • 标准参考源：定标 • 光学滤波器：与探测器的光谱响应共同确定系统所探测的辐射频谱范围 • 聚光镜：使入射窗投影到探测器的灵敏面上
探测器	• 将入射辐射转换成电信号
电子部件	• 探测器的偏置：使探测器工作在合理的工作点上 • 前置放大器：提高从探测器来的信号电平 • 视频处理电路：包括进一步放大、带宽限制、检波、整形、钳位、直流电平恢复、有用信息的提取等等 • 电源：供给各个部分所需的电源
输出单元	• 显示、记录装置：用以记录、显示，或输出要求的控制信号 • 模数转换器：根据需要将模拟信号变成数字信号供进一步信息处理时使用
致冷装置	• 致冷机和杜瓦瓶：保证探测器、光学元件以及低噪声前置放大器工作在低噪声状态

DAC 64/1

到探测器上，探测器将上述红外辐射变成电信号；电子部件用来处理电信号并提供探测器所要求的偏置；输出单元用来记录、显示所获取的信息或输出某种控制信号；致冷装置是为了抑制系统的热噪声（特别是探测器和光学部件的热噪声）而设置的一个附加装置。

以下列举三种具有代表性的红外装置，对红外系统方框图作进一步说明。

1. 辐射计

辐射计主要用于测定目标的辐射功率。这类仪器一般采用替代式测量法，也就是使探测器轮流接收目标和标准辐射源的红外辐射，并将二者进行比较。改变标准辐射源的辐射功率，可使仪器的输出信号为零。因为标准辐射源的能量为已知量，故可测得目标的辐射功率的定量数值。辐射计的结构如图1-2所示。

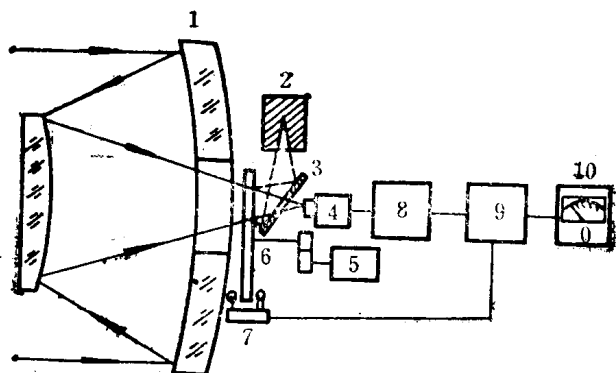


图 1-2 红外辐射计的原理示意图

1—光学系统；2—标准辐射源；3—反射镜；4—探测器；5—电动机；
6—调制盘；7—参考信号发生器；8—放大器；9—同步检波器；10—测量仪器

目标的红外辐射由光学系统1会聚。因为面向探测器的调制盘的扇形表面为光滑的镜面，所以马达5驱动的扇形调制盘6使探测器4轮流接收从目标和标准辐射源2来的辐射。经过调制的辐射通量由探测器变为电信号后便可由窄带放大器8放大。在调制盘旋转的同时，小信号灯均匀、断续地照射参考信号发生电路7中的光敏二极管，产生一组控制同步检波器9的同步脉冲信号。测量时，经调制盘调制的标准辐射源和目标的信号交替地输入到测量仪器10中，并比较两者的大小。这类辐射计的灵敏度约为 $10^{-10} \sim 10^{-11}$ 瓦/厘米²，温度分辨率可达0.01℃，仪器的时间常数为16毫秒。

2. 机载红外扫描仪

这是用以摄取目标辐射通量分布（即“热图”）并将其转换成可见光图形的一种仪器。它由三个基本部分组成，即：带光学机械扫描的望远镜系统、红外探测器和图象记录器。其工作原理如图1-3所示。

望远镜的扫描机构通过飞机底部的开口进行一维扫描，扫描的方向与飞行方向垂直。为了获得标准信号，在作下一次地面扫描前，它对扫描器内部的标准辐射源要进行一次扫描。当下一次地面扫描开始时，飞机已向前飞行了一段距离，这实际上就构成了另一维扫描，飞机一直匀速向前飞行，扫描线一条接一条，于是就构成了一幅连续的二维条状图象。所获得的这些红外信息由探测器变成正比于红外辐射强度的电信号，并通过两种途径将其记录下来：一种是用探测器出来的电信号调制一个小光源的发光强度，借助于与扫描反射镜同步转动的第二个反射镜，使被调制的光线在带状记录底片（感光胶片）上进行扫描，由于记录底片前进的速率正比于飞机的速度，所以，对于地面上的每条扫描线，在底片上都有一

条扫描线与之对应。另一种办法就是常用的磁带记录方法。这种仪器的工作波段为 $8 \sim 14$ 微米。典型探测器的瞬时视场为 $1 \sim 3$ 毫弧度。飞行高度为 1000 米时，地面分辨单元的边长为 $1 \sim 3$ 米，温度分辨力为 0.1°C 数量级。

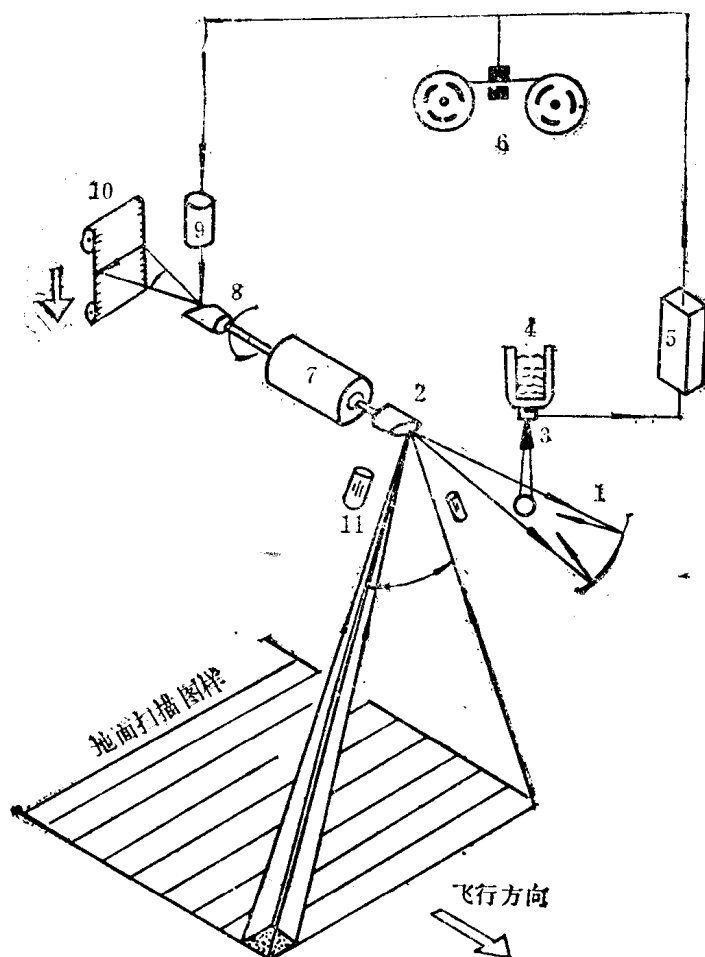


图 1-3 热红外扫描系统示意图

1—光学系统；2—扫描镜；3—探测器；4—致冷器；5—放大器；6—磁带记录器；7—马达；8—记录反射镜；9—受调制的光源；10—胶片记录器；11—标准辐射源

3. 红外搜索、跟踪装置

它是根据目标本身的红外辐射来搜索并跟踪目标的，其典型结构如图 1-4 所示。

首先，驱动装置使装有导引装置的光学系统按一定速度作搜索扫描。当目标进入光学系

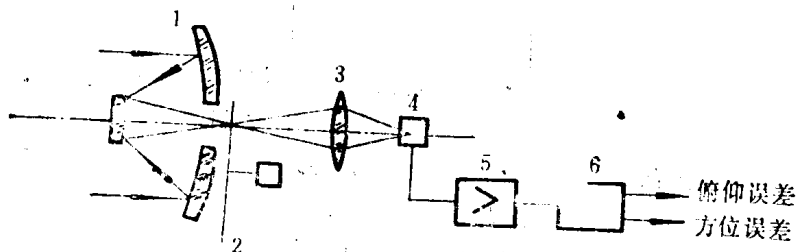


图 1-4 红外搜索跟踪系统原理示意图

1—光学系统；2—调制盘；3—场镜；4—探测器；5—信号处理电路；6—解调电路

统的视场后，系统就转入跟踪状态。目标的信息由调制盘进行编码调制，然后场镜将通过调制盘后的辐射重新会聚在探测器上。由探测器输出的电信号经放大后进入解调器，由此得到目标的方位误差和俯仰误差信号，用这种信号驱动伺服系统，并使光学系统的光轴与目标的方向趋于一致，从而实现对目标跟踪的目的。

§ 1-2 红外系统的分类

红外装置的种类繁多，因此对其合理分类是十分重要的。R.D.Hudson Jr.已做了大量有益的工作，他将红外装置按功能分成六类，即：①搜索，跟踪和测距的装置；②辐射测量装置；③光谱辐射测量装置；④热成象装置；⑤反射通量测量装置；⑥主动红外系统。还有

表 1-2 红外系统的分类和应用表

类别 应用 典型装置	探 测、定 位 装 置			
	军 事	国 民 经 济	医学, 科学研究	空 间 技 术
•红外搜索、跟踪系统 •红外制导装置 •红外寻的器 •红外预警系统	•搜索，跟踪目标 •导弹制导(空~空；空~地；地~空；末制导；指令制导；多重制导) •导弹的早期发现			•宇宙目标自动跟踪
•红外探测系统 •红外雷达	•探测目标	•森林防火，城市交通量计算，交叉路口控制	•盲人用的障碍物探测器 •气象情况遥测，北极冰层的研究	•测定大气温度的垂直分布
•红外报警器 •红外测距仪 •红外测角仪 •红外地平仪	•防线警戒，防盗	•距离测量 •地形测绘 •大地测量	•研究行星运动的方向距离	•确定空间飞行器的位置 •飞行器交会与对接 •卫星的姿态控制
•红外干涉仪 •红外长度计量仪 •天文望远镜(红外) •红外通讯		•非接触尺寸测定	•研究动物通讯的机制	•宇宙通信
•红外导航系统 •无损探伤装置	•飞机着陆	•飞机、船舶导航，防止汽车、飞机碰撞 •机械零件缺陷检测		•空间飞行器导航

表 1-2 (续)

类别 应用 典型装置	成 象 装 置			
	军 事	国 民 经 济	医学, 科学研究	空 间 技 术
• 光机扫描热象仪	• 卫星侦察	• 大地测绘 • 空中勘察	• 气象情况遥测, 监视台风 • 其它行星表面的研究	• 地资遥感确定资源的位置 • 地形分配, 观察地貌
• 多波段扫描仪	• 卫星侦察	• 研究农作物长势	• 探测微波场分布 • 医学摄影	• 测定水隙的位置 • 测绘地质图
• 行扫描仪	• 地形的热测绘	• 探测水的污染 • 城市供水、排水、输油、输气管道的监视	• 照像计温学 • 不接触诊断骨折、脱臼、损伤, 伤口治愈过程。	• 测绘云图 • 海洋面积陆地面的温度, 冰雪覆盖区的划分
• 红外前视仪	• 监视, 侦察	• 灌溉水源的利用 • 寻找地下水	• 局部炎症、烧伤范围及深度、皮肤冻伤、病牙探测。	• 岩石类型区分和地质构造分析
• 热象仪(热电管)	• 侦察监视	• 寻找鱼群 • 节能	• 癌症早期探测 • 初期脑溢血诊断	• 调查水文情况 • 预报洪水
• CCD, CID成象装置	• 卫星侦察	• 电子电路系统热状态研究 • 生产过程的自动控制	• 确定静脉堵塞位置 • 测定胎盘位置	• 海洋调查 • 森林调查
• 红外相机	• 航天, 航空摄影 • 刑法摄影	• 探测电力、电子系统表面过热点 • 雾天远景、黑暗摄影 • 纺织品检验	• 最佳切除部位的确定 • 进行脑电图的研究 • 人眼的研究	• 监视环境污染情况
• 夜视仪(主动)	• 侦察、监视		• 研究动物夜间习性 • 人体经络研究 • 考古	
• 红外观察仪 • 红外电视 • 红外瞄准仪	• 侦察、监视 • 夜间射击		• 古化石、天文、光谱摄影 • 对古字画的鉴别和复制	
• 红外夜间驾驶仪 • 红外电视显微镜 • 红外成象雷达 • 红外成象制导	• 车辆夜间驾驶 • 犯罪物证分析; 鉴别伪造证件和涂改件; 分析指纹 • 导弹制导	• 显微摄影 • 冶炼过程中成分控制		

不少学者曾从不同的角度对红外装置进行分类, 如: 按主动工作还是被动工作分类; 按装置的扫描方式分类; 按信号处理方式分类; 按用途分类等等。我们认为按装置的作用原理分类较好, 这样可把繁多的红外装置分成三大类别, 即: ①用于探测目标的距离和方位的红外装置, 如探测装置、搜索装置、跟踪装置、测距装置等, 这些装置所探测的目标通常小于瞬时视场(即目标为点源); ②用于探测目标的温差(ΔT)分布的红外装置, 如红外热成象系统。这种系统在探测的全部时间内, 目标都充满瞬时视场, 即目标为扩展源; ③用于探测目标的辐射通量或反射通量的大小的红外装置, 如热辐射计, 这时目标可以是点源, 也可以是扩展源。

表 1-2 (续)

类别 应用 典型装置	测 辐 射 装 置			
	军 事	国 民 经 济	医学, 科学研究	空 间 技 术
• 红外辐射计 • 红外测温仪 (低、中、高温) • 红外光谱仪 • 付里叶红外光谱仪 • 红外分光光度计 • 红外单色仪 • 红外气体分析仪 • 红外辐射加热干燥装置	• 地形分析 • 毒气探测 • 废气探测	• 远距离测量 • 车辆轴颈过热探测 • 原子反应堆的过热控制 • 研究飞机表面气动加热过程 • 喷气发动机热状态研究 • 燃烧过程研究及生成物 • 非破坏性试验 • 产品质量检查 • 有机化学分析, 气体分析 • 水质分析 • 探测患病的树木和庄稼 • 环境污染检测 • 发现空气中湍流防止飞机发生事故 • 红外线照相刺激生物发育 • 加热干燥	• 研究原子的状态、原子结构和能级分布 • 研究天体辐射的光谱, 分析确定星体的温度, 化学成分, 年龄 • 研究太阳的红外光谱 • 地球大气成分测定 • 其它星体上植被或生命探测 • 研究极光 • 地平线光学结构研究 • 地磁场测量 • 地热平衡测量 • 研究火山 • 农作物估产 • 植物热交换的研究 • 犯罪现场气氛分析 • 分析各种化合物的成分及含量 • 血清、生物组织细菌的研究 • 测定血液和呼出气体中的CO₂含量 • 研究绝热体效率	• 在卫星上装载红外辐射计对天体的红外辐射进行研究 • 研究其它星体正在发生的现象及过程 • 测定大气中水汽及O₃的分布 • 大气环流和辐射平面的研究 • 调查地热和了解火山的活动

这种分类法不但可以克服界限不清的毛病, 不必加任何说明就可得到分类的结果, 而且从以后各章的讨论中还可以看到, 它对系统的分析与设计也是十分有益的。分类举例可参看表 1-2。

§ 1-3 红外装置的应用

红外技术是技术物理和电子学的一部分，它对于促进国民经济各部门采用先进技术，以及加强基础科学和应用科学的研究都有极其重要的作用。今天，红外技术正被广泛地用于解决国防、国民经济、科学研究和空间技术中的各种不同的问题（详见表1-2）。

军事部门是红外装置最大的用户。由于红外辐射具有人眼不能觉察、抗干扰、隐蔽和可在薄雾中及夜间进行被动探测等一系列特点，所以早在第一次世界大战期间人们就企图将其用于战争。在第二次世界大战中出现了红外通讯设备和红外夜视仪。战后，性能优良的红外探测器、红外光学材料、相干红外辐射源、红外光学系统、微型致冷技术、各种空间滤波技术等的迅速发展，使红外技术在军事上获得了广泛的应用。各种直接用于军事的跟踪、制导、预警、夜视、通讯、导航、气象遥测、大地测绘等红外仪器日益增多，军事上的需要反过来也促进了红外技术的发展。

国民经济各部门是红外技术应用最广泛的领域。由于红外辐射的光谱位于可见光与无线电波之间，因此红外辐射同时具有可见光和无线电波所具有的某些特点。红外辐射的这种双重性，在很多实际应用中是非常有益的。红外仪器通常用在一些不适用可见光方法以及无线电设备精度不能满足要求的场合。它能够很容易地达到快速、高精度测量，对目标作非破坏性的远距离研究和对物质进行精细的微量分析。因此，在现代化的国民经济各部门，红外仪器已成为不可缺少的仪器。

科学研究是红外技术获得最早应用的领域。首先出现的是红外光谱学，从十九世纪中叶开始，红外光谱仪就用于实验室，用以研究物质的分子结构，并按红外光谱测定有机化合物。以后，红外仪器用于天文学，根据各个天体的红外辐射来测量它的温度。在研究太阳的工作中，这类仪器曾起了重要作用。目前红外仪器已在物理学、化学、生物学、地质学、考古学、古生物学和犯罪学等科学领域中得到了广泛的应用。

宇宙空间是红外技术的一个新的应用领域。红外辐射在宇宙空间传输时没有吸收问题，背景也比较简单，因此，红外仪器在宇宙中的工作条件优于在地面的工作条件，作用距离比在地面大得多。另外，红外仪器在完成许多技术任务时比其它仪器简单。所以，随着对宇宙研究的日益扩大，红外仪器在各种空间飞行器（如：人造地球卫星、宇宙飞船、自动行星站等）中将逐渐增多。目前已在宇宙航行，大气和地球表面的研究，在空间进行的星际研究，在空间进行的各种天文学和天文物理学研究及宇宙通讯等方面得到了成功的应用。

§ 1-4 红外系统的发展历史及今后的发展趋势

对红外辐射的研究迄今已有一百多年的历史，但作为一门应用技术还是在本世纪五十年代以后发展起来的，并在六十年代进入了全面发展时期，有关这方面的内容已有许多好的论文论述，这里我们以主要的红外装置为线索，将其整理成“简历”形式列举如下，供读者在需要回顾红外系统发展历史的时候参考。

- 1910年有人提出以硒作探测元件的红外搜索装置方案。
- 1912年开始研究冰山的夜间探测问题。
- 1914~1919年（即第一次世界大战期间）实验性的红外通讯和搜索装置均告完成。红

外搜索装置可探测到1英里远处的飞机和1000英尺处的人。

- 1920年凯斯 (Cose) 提出以硫化铊作探测元件的红外搜索装置。
- 1930年蒸汽热象仪研制成功。
- 1940年~1945年 (即第二次世界大战期间) 红外变象管研制成功, 随后夜视仪达到了生产水平。二次世界大战中, 德美双方都使用了红外通讯设备和步枪夜间瞄准镜等红外装置。此后大量从事电器研究的工程师和其他人员转向从事红外装置的研究, 他们将成熟的电器工程技术和工作方法带入到红外技术领域, 使红外技术有了全面发展的基础。
- 1948~1954年硫化铅探测器研究成功, 美国在1952年用这种器件制成了第一台非实时的热象记录仪, 继而红外光导摄像管研究成功, 开始了研究实时的红外成象系统的新阶段。
- 1955年研制成3~5微米波段的光子型探测器, 并由美国芝加哥大学于1956年用它制成了第一台前视红外仪器, 型号为XA-1。
- 1960年由美国Perkin-Elmer公司制成了第二台红外前视仪, 它是用棱镜扫描成象的。
- 六十年代: 出现了各种红外仪器, 其中最能代表红外装置水平的红外前视仪已成熟, 达到了与广播电视兼容的水平, 并被广泛地用于装备部队。其它红外设备也广泛地用于部队。此外, 1964年出现的红外外差探测系统, 为红外装置的研究和发展又开辟了一个新的途径。
- 七十年代: 阵列探测器、电荷耦合器件 (CCD)、扫积型器件 (Sprite)、高频探测器等研究成功, 这使红外技术又有了新的进展, 特别是红外技术在空间技术中的应用已成为它的主要发展方向。

在仔细分析了红外系统发展的历史以后, 可以清楚地得知其发展的两大特点。

第一, 红外系统的发展与红外探测器有明显的依赖关系, 每一种新器件的出现都导致了一次红外技术应用的新热潮, 并相应地出现一批新的红外装置。早在1910年以前就有人提出了红外搜索装置的方案, 但只是在1910年发明了硒探测器以后才将红外搜索装置的方案变成试验性装置, 继而出现了硫化铊探测器, 使红外搜索装置得到了新的进展。夜间观察是在四十年代初发明了红外变象管以后才实现的, 这是把人类的视界第一次扩展到不可见光范围的新技术, 军事上极感兴趣, 进行了积极的研究, 很快使其达到了生产水平。在第二次世界大战期间, 由德国人和美国人分别第一次把由红外变象管做成的红外通讯系统和步枪夜间瞄准仪等红外装置用于战场, 起了显著的作用。光机扫描成象的原始雏型是由四十年代后期出现的硫化铅探测器促成的, 其代表是1952年由美国制成的第一台热象记录仪, 它是由一个探测元件和一个双轴扫描器组成的二维慢帧速扫描系统, 所成的象被记录在照相胶片上, 因而是一种非实时系统。实时的快帧速扫描热象记录仪是在五十年代中期, 在一种响应速度快, 响应波段为3~5微米的光子型探测器出现之后制成的。这就是美国芝加哥大学在1956年制成的第一台前视红外仪以及美国Perkin-Elmer公司在1960年制成的第二台称为棱镜式扫描仪的红外前视仪器, 其显示屏为长余辉阴极射线管。六十年代以后随着探测器列阵技术的飞速发展, 红外装置进入到全面发展的新阶段。最能反映和衡量红外技术水平的红外前视装置也逐渐完善起来了, 已达到与广播电视兼容的水平。从1960年以后至少研制成功了百余种不同的前视红外装置, 有不少已投入生产并装备部队。

我们预计今后红外装置的发展仍然依赖于红外探测器的发展。例如高速、高集成度的组合功能器件的突破，势必给红外装置带来重大的变革性进展。

第二，红外技术的发展需要多种学科相互配合，它的每一个进展都是物理学、光学、光谱学、电子学、半导体技术等学科互相渗透的结果。因此，红外技术的进步，必须借助这些学科中的最新成就。例如：为了增强目标的辐射能量，人们利用红外波段的激光器作主动发射源，从而把红外装置研究的重点从被动式转为主动式；为了解决红外辐射在大气中传输时衰减严重的问题，人们企图将无线电技术中的波导传输技术和数字传输技术引入到红外领域；为了使探测器不受频率的限制，人们利用激光相干原理实现了红外上（下）转换探测技术，从而为探测器的发展打开了一条新的途径；另外为了使红外装置多功能化、降低成本、减轻重量、缩小体积等等，正在研究红外、雷达、电视、激光的组合系统；在装置中使用计算机；利用化学纤维的研究成果研制大口径轻型光学系统；利用半导体技术研制轻巧高效能的致冷装置；利用表面波技术使扫描技术进一步功能化；以及实现组件化，数字化等等。

人们在评述红外技术发展的时候，往往认为红外技术的发展是由于军事需要促进的结果，这虽然也是事实，但作者认为更重要的动力在于红外波段内存在着人类最有希望的科研领域。我们知道，地球上几乎所有物体的自身辐射都在红外波段内，宇宙空间所释放能量的主要部分也在红外波段。红外线所覆盖的频域已超过十个倍频程。这是存在于我们人类周围数量最大的一种信息，然而对这个波段信息的研究，人类仅仅做了很少的工作。已有的成果向人们展示了这种技术在今后实际应用中的诱人前景，可以想象，在进一步开拓了这一信息源泉后，那将会给人类带来何等辉煌的成就，它的发展潜力是巨大的。

第二章 红外系统工作原理

§ 2-1 引言

尽管红外装置的种类繁多, 结构形式也各不相同, 但它们获取信息、传递信息、转换信息以及检测信息的原理却是基本相同的。所以, 现有关于红外系统方面的著作在叙述红外装置的工作原理时, 都因此将红外信息按其发生、传输、接收、搜索与扫描、调制与空间滤波、辐射能的转换与混频、信号的电子学处理、输出与信息处理和检测、人机的联系等按序逐章叙述的。本章也将遵循这一思路进行叙述, 但力求从总体的角度说明各个环节的基本概念, 并着重引出一些供以后各节分析与设计用的计算公式。

§ 2-2 表征红外信息源特性的一些基本方法

这里所说的红外信息源主要是指人工辐射源、目标和它们所处的背景。根据它们的性质和使用情况不同, 红外信息源有如下几种分类方法:

(1) 根据辐射源光谱发射本领 $\varepsilon(\lambda)$ 的变化规律不同, 辐射源可分为:

黑体, 其 $\varepsilon(\lambda) = \varepsilon = 1$;

灰体, 其 $\varepsilon(\lambda) = \varepsilon = \text{常数}$ (小于1);

选择性辐射体, 其 $\varepsilon(\lambda)$ 随波长而变。

(2) 根据辐射源相对于红外系统瞬时视场张角的几何特性, 辐射源可分为:

点源, 它对红外系统的张角小于系统的瞬时视场;

扩展源, 它对红外系统的张角大于系统的瞬时视场。

(3) 根据辐射源本身辐射的相干性质, 辐射源可分为:

相干辐射源, 它发出的辐射在不同位置上相位关系保持恒定;

非相干辐射源, 其各点发出的辐射在相位上无固定关系;

部分相干辐射源, 性质介乎上述二者之间。

(4) 根据辐射源表面性质, 辐射源可分为:

镜面源, 其辐射的入射角与反射角相等;

漫射源, 也称朗伯辐射源。对漫射源观察方向的辐射与法线方向的辐射以及它们之间夹角的余弦成正比。

以上四个方面之间是彼此相关的, 例如点源可以是黑体、灰体或选择性辐射体, 也可以是相干辐射体或漫射体。扩展源也同样如此。这些辐射源所产生的红外辐射就是我们所要研究的红外信息。

了解红外辐射源所属的范畴是很重要的, 它是分析问题的前提条件, 不能混淆。

表征红外辐射源特性的形式有四种, 即总辐射量; 光谱辐射量; 辐射量的空间分布形式;

光子辐射量。根据对问题分析的需要, 本书对这四种形式的辐射能表示法都将用到。

总辐射量

这是辐射源于整个光谱区内在各个方向上发射的总的辐射能量。例如, 假定物体的表面是平面, 辐射将向平面的上半球内的各个方向发射出去, 总辐射量就是全频域内所有各个方向的辐射功率的总和。在辐射度量学中, 说明这种辐射能量特性的量包括: 辐射能 (Q); 辐射能密度 (W); 辐射功率 (P); 辐射通量 (ϕ); 辐射出射度 (M); 辐射强度 (I); 辐射亮度 (L); 辐照度 (E); 吸收率 (α); 反射率 (ρ); 透射率 (τ); 发射率 (ϵ) 等。它们的定义以及相互间的关系列于表2-1和表2-2。

表2-1 常用辐射量的名称、符号、定义、单位以及各种辐射量之间的关系

名 称	符 号	意 义	定 义 式	单 位 (M·K·S制)
辐 射 能	Q	以电磁波的形式发射、传递或接收的能量		焦 耳 (千瓦·小时)
辐射能密度	W	辐射场单位体积中的辐射能	$W = \frac{\partial Q}{\partial V}$	焦耳/米 ³
辐 射 功 率	P	单位时间内发射、传输或接收的辐射能	$P = \frac{\partial Q}{\partial t}$	瓦 (尔格/秒)
辐 射 通 量	ϕ	单位时间内通过某面积传输的辐射能	$\phi = \frac{\partial Q}{\partial t}$	瓦
辐射出射度	M	源单位表面向半球空间发射的辐射功率	$M = \frac{\partial P}{\partial A}$	瓦/米 ²
辐 射 强 度	I	点源向某方向单位立体角发射的辐射功率	$I = \frac{\partial P}{\partial \Omega}$	瓦/球面度
辐 射 亮 度	L	扩展源在某方向上单位投影面积和单位立体角发射的辐射功率	$L = \frac{\partial^2 P}{\partial A \partial \Omega}$	瓦/米 ² ·球面度
辐 照 度	E	入射到单位接收表面上的辐射功率	$E = \frac{\partial P}{\partial A}$	瓦/米 ²

关于表2-1补充说明如下:

(1) 表2-1中有关符号的意义如图2-1所示。

(2) 黑体的各种辐射量之间的关系:

$$M = \pi L = \frac{\pi I}{A}, \quad (2.1)$$

$$I = \frac{MA}{\pi} = LA; \quad (2.2)$$

$$L = \frac{M}{\pi} = \frac{I}{A}. \quad (2.3)$$

(3) 立体角 Ω 的确定:

以立体角顶点为球心作一半径为 R 的球面, 用此立体角的边界在球面上所截的面积 A 除