

机载光电成像跟踪测量 系统误差与像移分析

Analysis of Error and Image Motion in Airborne
Electro-optical Imaging and Tracking Measurement System

金光 杨秀彬 张岫 姜丽 王旻 著



國防工業出版社
National Defense Industry Press

机载光电成像跟踪测量 系统误差与像移分析

金光 杨秀彬 张峻 姜丽 王旻 著



国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书深入浅出地介绍了机载光电成像跟踪测量系统误差与像移补偿计算原理,并以此分析了载体运动对光电成像跟踪测量精度的影响,通过建立成像测量全链路数学模型,对机载测量与稳定成像系统多类型影响因素进行了分析与综合,最后完成成像像移补偿方案。本书共6章,内容包括:绪论、机载光电成像跟踪测量设备的测量方程、机载光电成像跟踪测量设备误差分析与综合、机载光电成像像移及补偿技术分析、机载光电设备成像模型的建立和像点运动方程及误差分析。

本书内容重点突出,系统全面,实践性强,对于需要快速学习和掌握机载光电成像跟踪测量系统的年轻科技工作者来说,是一本很有价值的图书,也可作为本科毕业设计、研究生学术论文的参考资料,还可以作为对跟踪测量技术感兴趣并系统学习的读者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机载光电成像跟踪测量系统误差与像移分析/金光
等著. —北京:国防工业出版社,2018.9
ISBN 978-7-118-11631-1

I. ①机… II. ①金… III. ①机载电子设备-光电跟踪系统—系统误差—研究 IV. ①V243

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第171871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100048)

三河市众誉天成印务有限公司

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$ 字数 187千字

2018年9月第1版第1次印刷 印数1—2000册 定价62.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

序

现代战争中,航空领域中的制空权的重要作用日益凸显,有人甚至猜想:“未来的战争,很可能成为航空武器与空防武器之间的对抗。”信息化条件下的高技术战争,需要全面、详尽的战术与战略情报,进行超大范围内态势感知。机载光电跟踪设备是侦察、探测、定位以及战果评估的重要手段,日益受到各国的重视并竞相研制。机载光电成像跟踪测量系统在现代军事装备中,是具有基础性作用的通用设备,发展机载光电成像跟踪测量技术,对提高国防科技水平具有重要意义。

机载光电成像跟踪测量系统利用光电传感器完成对地面或空中目标的搜索、识别、跟踪和瞄准等功能,通过搭载红外、激光等不同的有效光电载荷,可进行空域监视、目标指示、光电干扰、武器测试等多种不同的工作任务。机载光电成像跟踪系统是一个大时延、多耦合、非线性的高精度实时伺服控制系统。在目标高速高机动的运动过程中,系统要达到精确稳定的实时跟踪成像,需要在时序、结构机构、光学系统和成像单元等多方面进行精确设计与成像补偿,进而才能实现对不同目标的精确打击能力和远程打击能力。针对武器实施战术打击及其效能评估、精确制导武器的研制评价,机载光电成像跟踪测量设备凭借高精度测量和高清晰成像能力成为最有效的评价手段之一,它已经成为赢得信息化局部战争胜利的一个必要条件。

机载光电成像跟踪测量系统是一个复杂的系统工程,该系统在一个活动的航空光电稳定平台上安装各类光电传感器,能够根据操作者指令和系统反馈,实现对目标的识别、获取及跟踪,最终完成视轴稳定和跟踪等功能。本书以机载光电稳瞄系统为研究对象,依据系统的稳定原理,分析载体运动对光电成像跟踪测量精度的影响,建立成像测量全链路数学模型,对机载测量与稳定成像系统多类型影响因素进行分析与综合,最后建立成像像移模型与补偿方案,使战场指挥员成为千里眼、顺风耳,从而拥有战场感知能力或者说它拥有强大的获取战场信息的能力。

本书是航空光电跟踪成像误差分析与综合领域一部较新的专著,本书的编著者都是长期从事航空航天、光电信息、深空探测以及误差体系分析与仿真的

一线科技工作者,不仅踏实勤奋,而且实践经验丰富。编者在编著过程中不仅收集了大量的文献资料,还通过认真分析总结整理完成了全书的编写工作,同时,在编写的过程中还大量融入了编者们的工作心得。本书一个非常重要的特点是理论联系实际,全书不仅系统全面地介绍了相关的理论方法,重要的是在介绍每一个重要分析应用领域中,都以详细示例分析为基础进行介绍,使得读者既能掌握基本理论方法,又能按照示例进行循序渐进地学习,可操作性强。

本书重点论述了机载光电成像跟踪测量系统误差与像移补偿计算,其内容安排由浅入深,重点突出,系统全面,实践性强,对于需要快速学习和掌握机载光电成像跟踪测量系统的年轻科技工作者来说,是一本很有价值的图书,也可供高等院校、科研院所高年级相关专业研究生和科研人员参考。



中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

2018年5月

王家骥为中国科学院院士。

IV

试读结束: 需要全本请在线购买: www.ertongbook.com

前 言

从 20 世纪初开始,光电成像系统迅速发展,并广泛应用于科研、军事、工业、资源与环境等领域。但由于背景复杂度和各类干扰的影响,在很多情况下,光电成像系统的成像质量较低,目标探测性能较差。因此,如何获得更高的成像质量成为一个热门的课题。机载光电成像跟踪测量系统就是一种提升成像质量和目标探测性能的系统。机载光电成像跟踪测量系统是安装在载机上的伺服系统,能够通过隔离飞机的振动和运动的干扰,确保载体平台上的光电传感器的视轴稳定指向目标,也能计算和修正目标的跟踪误差,实现对地面或者空中目标的跟踪定位。机载光电成像跟踪测量系统性能的优劣,直接影响了机载传感器的观测结果及后续决策,因此需要对其性能指标进行考核和评估。

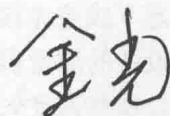
为了验证机载光电成像跟踪测量系统的性能指标是否达到要求,需要进行多次外场飞行试验。这种方法需要的试验周期较长,并且会花费大量的人力和资源,并且要求对系统成品进行试验,在系统预研时期无法实行。为了准确有效地考核和评估系统,减少不必要的消耗,缩短研发周期,迫切需要一种新的方法,在系统研发的前期,能够有效地评估系统的性能和技术指标,并为后续的设计和研制提供指导和支持。本书依据上述需求,针对中国科学院长春光学精密机械与物理研究所多年来在研的机载光电成像跟踪测量有关项目中涉及的跟踪测量误差与跟踪成像像移补偿技术,进行整理和归纳。重点分析和探讨机载光电成像跟踪测量设备的测量误差的种类、误差源、误差传递的关系及任意飞行姿态下成像像移补偿的问题,并从系统的角度出发,建立机载光电成像跟踪测量设备的测量误差方程和成像数学模型,进行误差分配、综合以及仿真计算,并结合像移速度矢量图分析了像移速度在载具的平飞、姿态调整和随机扰动的条件下的变化规律,为开拓和研制好机载光电成像跟踪测量设备做必要的技术准备。

本书从成像全链路理论出发,对光电成像跟踪测量系统进行深入分析。全书共分 6 章,第 1 章是对高精度测量和高清晰成像能力的信息化作战需求与光电成像跟踪测量设备进行介绍;第 2 章介绍机载光电成像跟踪测量设备的测量方程的建立过程;第 3 章介绍一种新的误差分析方法蒙特卡罗法,并建立了适合蒙特卡罗法的误差方程,实现了机载光电跟踪设备多环节测量误差的综合;

第4章对机载光电成像像移及补偿技术进行分析;第5章建立了由地物到像面的机载光电系统成像数学模型,得到包含载体飞行参数和相机成像参数的瞬时像面像移速度计算公式;第6章详细介绍了载体运动过程中一定范围内随机变化的姿态角和姿态角速度对像面上的像移速度变化的影响,并分析了像移速度变化对应的像移补偿措施。

本书是在团队成员的共同努力下完成的,参与本书资料整理、章节编写、校对审核和技术支持的人员包括了中国科学院长春光学精密机械与物理研究所的金光、杨秀彬、王旻、常琳、王绍举、范国伟以及空军第二航空大学的张响和长春理工大学的姜丽等人,全书由金光撰写和统稿。需要说明的是,为了保证本书的科学性和严谨性,本书在编写的过程中,对需要实践的相关章节内容通过软件编程仿真进行了实现。在本书的编写过程中,始终得到中国科学院长春光学精密机械与物理研究所学术委员会主任、中国科学院院士王家骥研究员的关注、指导和支持,并为此书作序,在此特向王家骥院士表示衷心的感谢。空军第二航空大学、北京理工大学、长春理工大学、清华大学、哈尔滨工业大学等兄弟院校航空航天领域的专业老师们提出了许多宝贵的意见和建议;国防工业出版社的领导和编辑予以直接指导与帮助。借此书出版之际,谨对上述领导、专家和朋友们一并表示深深的感谢。

机载光电成像跟踪测量系统误差与像移分析是囊括光学、机械和电子多学科的一项艰巨的系统工程,由于我们的水平所限,难免有错误和不妥之处,欢迎专家和读者批评指正。最后,感谢一直给予我关心和支持的亲朋好友、同事、同学和朋友们!我将永远怀着一颗感恩的心,祈祷你们身体健康、工作顺利,生活幸福!



2018年3月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 光电成像跟踪测量设备概述	1
1.2 机载光电成像跟踪测量设备概述	3
1.3 机载光电成像跟踪测量设备的发展	5
1.4 像移补偿技术国内外发展及应用情况	7
1.5 研究意义和应用前景	8
第 2 章 机载光电成像跟踪测量设备的测量方程	9
2.1 空间齐次坐标变换	9
2.2 机载光电成像跟踪测量设备的坐标系定义	11
2.3 机载光电成像跟踪测量设备的基本测量方程	13
2.3.1 从中心地平坐标系到被测目标坐标系的坐标变换过程 ...	13
2.3.2 从中心地平坐标系到目标坐标系坐标变换作用矩阵	13
2.3.3 机载光电成像跟踪测量仪测量方程	16
2.4 综合各误差项后机载光电成像跟踪测量设备的测量方程	17
2.4.1 从中心地平坐标系到被测目标坐标系的坐标变换过程 ...	17
2.4.2 从中心地平坐标系到目标坐标系坐标变换作用矩阵	17
2.4.3 机载光电成像跟踪测量仪测量方程	24
2.5 本章小结	25
第 3 章 机载光电成像跟踪测量设备误差分析与综合	26
3.1 机载光电成像跟踪测量设备误差分析	26
3.1.1 飞机的定位误差和高程误差	26
3.1.2 飞机的姿态角测量误差	28
3.1.3 光电成像跟踪测量设备与惯导系统之间的误差	29
3.1.4 减震器角振动误差	29

3.1.5	机载光电跟踪设备的三轴误差	30
3.1.6	机载光电成像跟踪测量设备传感器误差	34
3.2	机载光电成像跟踪测量设备误差综合	35
3.2.1	蒙特卡罗法的基本原理	35
3.2.2	机载光电成像跟踪测量设备各项误差穷举	37
3.3	机载光电成像跟踪测量设备误差的仿真计算	43
3.3.1	仿真计算程序的编写	44
3.3.2	机载光电成像设备测量误差计算结果的统计分析	47
3.4	本章小结	49
第4章	机载光电成像像移及补偿技术分析	50
4.1	机载光电成像像移类型	50
4.1.1	光轴平移产生的像移	50
4.1.2	绕光轴旋转形成的像移	52
4.1.3	光轴绕载机纵轴和横轴的角运动引起的像移	54
4.1.4	光轴随机运动造成的像移	57
4.2	机载光电成像像移补偿方式	57
4.2.1	自然补偿法	58
4.2.2	光学补偿法	59
4.2.3	像面补偿法	61
4.3	机载光电成像电荷转移补偿技术	65
4.3.1	机载面阵 CCD 前向像移分级补偿技术	66
4.3.2	面阵 CCD 全向像移梯级补偿技术	71
4.4	本章小结	76
第5章	机载光电设备成像模型的建立	77
5.1	建立理想机载光电成像模型的前提条件	77
5.2	物像共线关系及相机与载机运动的参数	78
5.2.1	共线关系	78
5.2.2	载机和相机相关参数及变量	78
5.3	坐标系转换关系及其坐标变换矩阵的确定	79
5.3.1	坐标系的建立	79
5.3.2	坐标系的变换	89
5.3.3	坐标系变换作用矩阵	95

5.3.4	地面物点到像面像点的成像模型	97
5.4	本章小结	107
第6章	像点运动方程及误差分析	108
6.1	像面上像点的位置及速度方程	108
6.1.1	地物到像面的像点位置方程	108
6.1.2	像点移动瞬时速度方程	112
6.2	像移补偿误差分析	134
6.2.1	以中心物点像移速度作为分区补偿速度时的补偿 误差	135
6.2.2	以分区平均像移速度作为分区速度补偿时的误差 分析	141
6.3	载机运动状态对像移速度的影响	148
6.3.1	垂直成像时像移速度变化分析	149
6.3.2	前视成像时像移速度变化分析	151
6.3.3	侧视成像时像移速度变化分析	153
6.3.4	任意姿态角成像时像移速度变化分析	155
6.4	本章小结	157
参考文献	158

第1章 绪 论

在国家防务中各类先进制导武器以其高精度打击能力一直排在各类军事威慑武器的前列,特别是海湾战争和科索沃战争中空中精确打击武器的大量应用为高技术武器在今后战争所起的作用奠定了雄厚的基础。21世纪现代化局部战争中对制导武器的作战要求:必须建立完善的作战系统;必须对不同的目标具备精确的打击能力;必须具有应急机动作战能力;必须具有远程精确打击能力;必须具有防空作战能力;必须具有较高的战场适应能力。针对武器实施战术打击及其效果评估、精确制导武器的研制评价,机载光电成像跟踪测量设备凭借高精度测量和高清晰成像能力成为最有效的评价手段之一。目前,我军武器装备的机械化和信息化程度越来越高,但是,获取武器打击信息和图像信息的装备却相对落后和匮乏。这就相当于一个体魄健壮却患有眼疾的战士,其战斗力必将大打折扣。因此,机载光电成像跟踪测量设备是发展高技术武器研制过程中不可缺少的关键成像测量设备,同时也是机载火控系统的关键装备。它已经成为我军赢得信息化局部战争胜利的一个必要条件^[1]。

1.1 光电成像跟踪测量设备概述

光电成像跟踪测量系统主要用来实施空间目标的跟踪成像与精确位置测量,根据其应用领域可以分为以下4类^[2]:

1. 天文望远镜

天文望远镜主要用于天文观测和天文测量。天文望远镜一般焦距很长,视场小,跟踪速度和加速度小,测量精度要求很高。天文望远镜的主要特点是长焦距、相对孔径和视场都很小,最长焦距可以到达5~30m,此时由于焦距过长,视场角就会变得很小。在天文观测和测量中,一般采用极轴式布置的跟踪架,其特点是外框架轴与地轴平行,即让外框架轴指向两极,其余的两轴与地平式相同。其好处是对当地天顶目标的观察和测量不受限制,特别在做天文观测时,只要外框架轴以地球自转角速度运动时,不必控制内框架轴,视轴就可和被观察的天体同步。但极轴式跟踪架在观察和测量接近两极的目标时受到限制,

因此天文观测和测量中往往还使用第三种布置形式,称为滚地式,即其外框架轴的指向不一定通过两极,而是根据观察和测量任务规划的需要,任意改变外框架轴的取向。

2. 靶场光测设备

靶场光测设备主要用于弹道测量,是根据靶场弹道测量,特别是火箭、导弹弹道测量的需要而形成的一类综合光学精密仪器。随着现代技术的发展,形成了装备有电视、红外和激光跟踪测量、电影记录的光电跟踪经纬仪,结构一般采用地平式跟踪架。这一类仪器焦距较长,视场适中,跟踪速度和加速度要求较高,其跟踪精度和测量精度要求极高。早期的光电成像跟踪测量系统往往是依靠人一机半自动跟踪,因此在主机上配置有操作员。操作员依靠目视瞄准镜,通过操作手轮(双人操作)或单杆(单人操作)实现半自动跟踪。随着电视跟踪测量传感器、红外跟踪测量传感器以及伺服控制技术的发展,新研制的光电成像跟踪测量系统大多为脱机操作,即在主机上不设操作员,而是依靠雷达引导、光电成像跟踪测量系统间的相互引导、光电成像跟踪测量系统各种跟踪测量传感器自身强大的捕获和跟踪能力,来实现捕获和跟踪目标。为了适应对各种不同目标的跟踪和测量需要,现代的光电成像跟踪测量仪器往往配置了多种测量、记录传感器,最典型的有电影摄影、电视跟踪测量、红外跟踪测量、激光测距、激光跟踪测量、目视观察望远镜以及微波测量测速。

3. 光电跟踪仪

光电跟踪仪主要用来为火器指示目标,给出目标空间位置信息。由于电子对抗的发展,雷达信号往往受到强有力的干扰,从而影响到整个火控系统的有效性,因此越来越多的火控系统装备光电跟踪仪,用其作为雷达的补充,同时还可以提高对目标指示的精度。对于火控系统的光电跟踪仪,由于其对测量精度的要求相对较低(比靶场光测设备通常低1~2个数量级),因此往往采用T形配置用来减轻重量和缩小体积,即减小转动惯量和提高刚度,提高其跟踪速度和加速度。

4. 机载光电成像跟踪测量设备^[3]

由于现代武器技术的发展,将靶场成像测量设备应用到飞机上是当前光电成像跟踪测量系统的新发展。机载光电成像跟踪测量系统是吊挂在飞机上,可精确成像测量地面目标或空间目标相对飞机的方位角和俯仰角及距离。由于飞机处于飞行运动状态,飞机的位置、姿态等因素会不可避免地影响测量。机载成像测量设备与地基光电成像跟踪测量系统相比,技术难度更大,对测量精度影响的环节更加复杂。如何分析机载光电成像跟踪测量系统的测量精度,寻找实用化、工程化的机载光电成像跟踪测量系统误差分析方法,是目前从事机

载光电跟踪系统科研人员亟待解决的问题,它对我国目前开展航空成像测量设备的研制具有较高的应用价值。

机载光电成像跟踪测量系统可完成对地面、空中目标的搜索、捕获、锁定、跟踪和瞄准,并将飞机相对目标的方位、俯仰、距离等信息进行记录,可应用到常规武器靶场、机载光电侦察、机载光电火控等领域。

机载光电成像跟踪测量设备与地基光电成像跟踪测量设备一样都是以地平式跟踪架为基础对飞行目标进行跟踪和测量,其结构和组成方式大致相同。地基光电成像跟踪测量设备一般是安放在固定基座上;而机载光电成像跟踪测量设备是吊挂在飞机上,它与飞机一起处于运动状态,并对地面目标进行跟踪和测量。因此,机载光电成像跟踪测量设备与地基光测相比,技术难度更大,环境要求更为苛刻。机载光电成像跟踪测量与地基设备不同点相关比较如下:

- (1) 设备的安装基座处于运动状态,称为动基座;
- (2) 飞机的姿态变化融入成像测量中,从而引起测量误差;
- (3) 跟踪架既承担目标的捕获和跟踪,又是成像测量的稳定平台;
- (4) 测量光轴的指向不稳定性、光学窗口外侧高速气流的扰动、载体的飞行姿态变化和高频振动均对成像质量和测量精度产生影响。

总之,机载光电成像跟踪测量设备是将光电成像跟踪测量拓展到更宽领域里的显著标志,同时也是光电测量的新发展。

1.2 机载光电成像跟踪测量设备概述

1. 机载光电成像跟踪测量设备的组成

机载光电成像跟踪测量设备与地基光电成像跟踪测量设备测量原理上基本相同,都是以地平式跟踪架为基础,含有竖轴、横轴、照准架、光电传感器视轴等基本部分,如图 1-1 所示。从组成形式上看,机载光电测量设备是倒载挂在机上,属动态测量,因此更为复杂,具体组成如下^[4]:

- (1) 基座:含有竖轴和光电轴角编码器、驱动电动机及减速器(或力矩电动机)、导电环、调平装置、无角位减震器等;
- (2) 照准架:含有横轴和光电轴角编码器、驱动电动机及减速器(或力矩电动机)、球型吊舱、电视摄像和测量、红外摄像和测量、激光测距、陀螺稳像、环控、保护窗等部分;
- (3) 陀螺稳定伺服控制:陀螺、伺服控制;
- (4) 图像跟踪及记录:电视跟踪、红外跟踪、视频处理及记录^[5];
- (5) 控制计算机:工业控制计算机、数据采集。

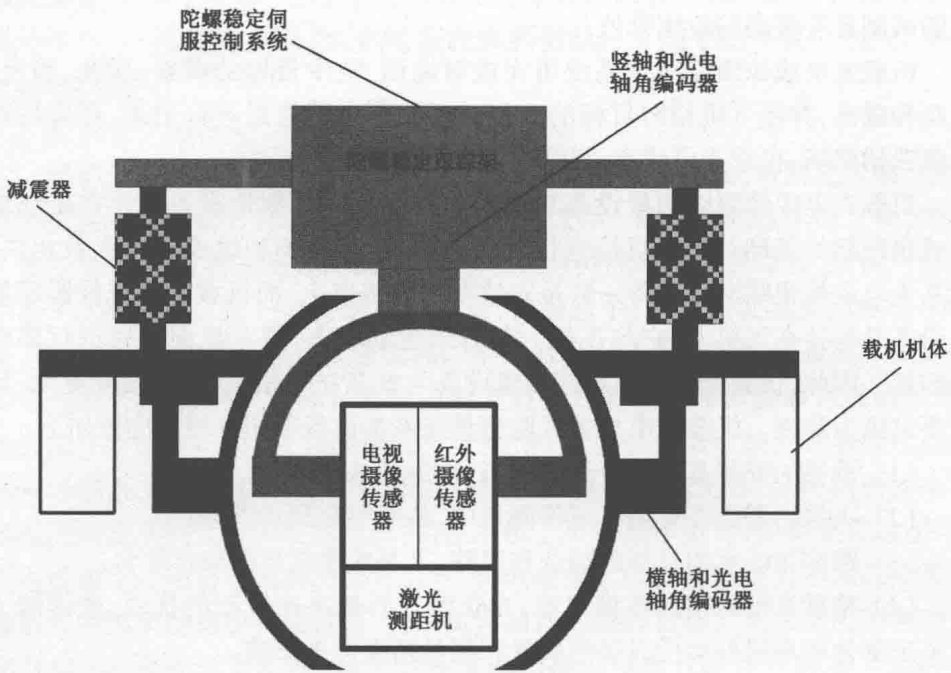


图 1-1 机载光电成像跟踪测量设备示意图

2. 机载光电成像跟踪测量设备的应用

1) 空基靶场光测设备

空基靶场光测设备主要用于巡航弹等各种特殊导弹的外弹道测量,它是配合地基光测设备共同完成各类导弹的测量任务。从其发展历史来看,也是应靶场弹道测量,特别是火箭、导弹弹道测量的需要形成其独有的新型综合光学精密仪器。随着现代技术的发展,形成了配有电视、红外和激光三位一体的综合测量手段。

2) 机载光电侦察设备

机载光电侦察设备主要是安放在无人机和各种型号侦察机上,完成对地面目标的侦察和测量定位,是目前机载光电侦察的发展方向^[6,7]。

3) 机载光电火控跟踪系统

机载光电火控跟踪系统主要用来为机载火控系统指示空中或地面目标,给出目标空间位置信息,引导机载武器打击目标。

机载光电成像跟踪测量设备的应用十分广泛,它即可对各种目标进行定位,又可与飞机火控系统相结合,承担地面目标的跟踪和瞄准,还可以吊挂在侦察机上实行侦察。

1.3 机载光电成像跟踪测量设备的发展

现代战争的特点是高技术、多方位、立体、全天候作战,它决定了陆、海、空的协调统一是制胜的关键,尤其是空中侦察对作战的优势显得越来越重要。因此,作为侦察、测量和校射,以及打击效果评估的重要手段,机载光电成像跟踪测量设备日益受到各国的重视。意大利、英国和西班牙从1992年开始联合研制“机载被动红外跟踪设备”,计划装备欧洲战斗机。该装置质量不到60kg,功耗小于550W,采用了工作于8~12 μm 波段的高灵敏探测器,可探测74km范围内的高速喷气式飞机。其空空工作包括:在两个不同的视场内,跟踪多个高速目标并优先排序、跟踪和识别单个目标;在空地工作中,它可辅助驾驶和着陆。该装置还具备以下能力:在空空和空地应用中提供高分辨率图像以用于目视识别;定位低空目标并提供标示信息;为平视或多功能俯视显示器提供数据和图像,以支持不良气候条件下的导航和地形回避^[8]。

法国“前方光电子防御”光导发光、可见与红外搜索和跟踪系统由法国国防部发起、汤姆逊无线电公司光电子分公司和通用机械电气公司从1991年开始合作研制,2000年左右投入生产,装备“阵风”战斗机。该系统是一个与MICA导弹火控系统配用的多功能系统,同时也可与其他火控系统协同工作。具备多频谱能力,可组合实施测距、跟踪和目标捕获。其传感器头含有两个光学头,将安装于“阵风”战斗机座舱罩的正前方。法国汤姆逊无线电公司研制的新型防区外侦察吊舱正在进行使用试验。由于尚未完成数字相机的研制,这个吊舱目前携带焦距610mm的胶片型DMS 610相机,不久的将来,即将增添以CCD为基础的光电传感器、数据记录器和近实时数据链路。法国空军首先将该防区外侦察吊舱装备两个“幻影”F1CR侦察机中队,以后还将装备“幻影”2000D飞机。

英国皇家空军已完成了提高战术侦察能力的一系列计划。研制的“旋风”飞机机载侦察吊舱,使“旋风”GR.4/4A飞机具有防区外/中空侦察能力,以补充现有低空红外侦察系统。此外,还与雷声公司签订了一项9000万美元的合同,在4年内采购8个容纳DB-110双波段(电光/红外)相机的机载吊舱和两个地面站。

德国空军向Daimler Chrysler宇航公司采购37个侦察吊舱和两个地面站,用于更换“旋风”飞机的老侦察吊舱。新吊舱长4.3m,重250kg,内部装载两台Zeiss-Eltro光电公司的中、低空用的普通昼用胶片相机和霍尼威尔公司的红外行扫描器,能在61~610m的高度使用,其中,前/斜视KS-153 Trilens 80相机视场为153°,直视型KS-153 Pentalems 57相机的视场为180°。

丹麦的 TERMA 电子公司与美国的侦察/光学公司组成联合体,为丹麦空军提供 6 个组件式侦察吊舱。吊舱中安装 CA-260 和 CA-261 电光相机以及 CA-265 红外分幅相机。荷兰空军仍在使用 20 世纪 70 年代的“俄耳甫斯”相机吊舱,但在波黑作战时为了提高中空侦察能力已购买了 4 个安装胶片相机的组件式侦察吊舱。目前还在考虑花费 1 亿美元购买 18 个新一代侦察吊舱和最多 3 个机动地面站。新一代吊舱装有中、低空光电侦察相机,红外行扫描器,侦察管理系统和数据链路。现有的组件式侦察吊舱将用于评估传感器和数据链路技术。比利时现使用的组件式侦察吊舱,安装胶片相机。

波音公司的联合攻击战斗机(JSF)将设计安装 2 个雷声公司红外传感器系统,该系统可使飞机具有搜索跟踪能力。该系统第一部分是分布红外传感器(DIRS),能够侦察敌人导弹的发射情况、跟踪敌机、为飞行员提示预警目标;第二部分是目标前视红外系统(IR),可以精选、验证、查明地面目标。

美国在 2001 年也大量采购用于战斗机的前视红外(FLIR)系统。包括雷声公司将为 F/A-18C/D 和 E/F 战斗机生产 500 多个的 ATFLIR(先进瞄准前视红外)系统吊舱;诺思罗普·格鲁曼公司正在为总数超过 200 架的美国海军陆战队的 AV-8B 飞机和美国空军国民警卫队/空军预备队的 F-16 飞机生产 Litening II 吊舱。此外,为了增强破坏和压制敌方空防的能力,美国空军正加速在 F-16CJ 战斗机上装备“先进瞄准吊舱”(ATP)。除了原来的几百个双吊舱 LANTIRN 以外,洛克希德·马丁公司基于 LANTIRN 吊舱的第三代前视红外系统 Sniper 也很适用。虽然现在只打算装备 100 个 ATP 吊舱,但 ATP 可能会进一步演化成所有 F-16 和 F-15E 战斗机上的 LANTIRN 吊舱的三代 FLIR 的改进型。据在世界范围内提供竞争情报服务的 Teal 集团即将公布的“战斗机 FLIR 市场预测”称,洛克希德·马丁公司将在 10 年内生产 350 个 Sniper(国际市场上称为 PANTERA)前视红外系统,此项目至 2009 年的总价值已达 10 亿美元。其他国家也意识到需要认真考虑 FLIR 系统,这使 FLIR 具有非常光明的国际市场,国外机载光电成像跟踪测量设备如图 1-2 所示。

我国在机载侦察及测量技术研究及设备制造方面起步较晚,空军空中侦察设备短缺,且多半为进口的老一代相机。机载测量设备尚属空白。所以,大力发展机载光电成像跟踪测量设备,具有十分重要的意义。中国科学院长春光学精密机械与物理研究所从 20 世纪 80 年代末开始

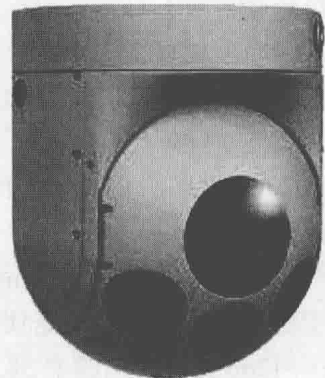


图 1-2 国外机载光电成像跟踪测量设备示意图

机载吊舱和稳定平台的研制。设备研制的基本出发点是瞄准世界先进水平,并结合现有的技术基础,提出我国自己的机载光电跟踪系统。中国科学院长春精密机械与物理研究所研制的多种机载光电跟踪系统已在近年来研制的5种机载电视侦察平台上成功使用,其中T-6无人机电视摄像系统已于1994年设计定型并列装,直9直升机电视侦察系统于1996年完成设计定型,BZK-002型高原无人机侦察电视系统于1998年完成设计定型,这三种无人机载摄像系统均已累计飞行40架次以上,每次留空时间4h,都圆满完成任务。国内外多种机载光电成像跟踪测量设备主要技术指标如表1-1^[9,10]所列。

表 1-1 各国电视侦察平台性能对照表

型号	MOSP	H-lite	T6
生产厂家	以色列飞机工业公司	以色列 ELbit system Ltd	中航工业西安飞行 自动控制研究所
结构形式	双轴	四框架两轴稳定	双轴
稳定精度	25 μ rad	25 μ rad	100 μ rad
工作范围	高低-110°~+10° 方位 $n \times 360^\circ$	$\pm 120^\circ$ $\pm 135^\circ$	高低-110°~+10° 方位-180°~+180°
体积	$\phi 380 \times 500 \text{mm}$	$\phi 260 \times 570 \text{mm}$	$\phi 260 \times 430 \text{mm}$
质量	35kg	53kg	20kg 左右
用途	无人机	直升机	无人机
电视焦距	20~770mm	12~600mm	10~150mm
红外 FOV	24.5° \times 18.4°,7.2° \times 5.4° 2° \times 1.5°	18° \times 24°,3.5° \times 4.6° 1° \times 1.3°	
激光测距	30km,精度 5m	激光测距 20km,精度 5m	

1.4 像移补偿技术国内外发展及应用情况

画幅相机可以每帧覆盖更大的区域,同时获得更好的几何精度,并且拍摄时更加灵活,不必像推扫和摆扫相机那样必须严格地按照既定航线和由速高比确定的帧率工作,甚至在载具做机动飞行时也可以进行拍摄。上述优点决定了越来越多的航空成像侦察装备,尤其是以无人机为载具的成像载荷都选择了画幅成像方式,所以本章讨论的也是画幅式相机的像移补偿。目前针对画幅相机的像移补偿有多种方式,比较成熟且已经实际应用的技术大多是针对民用消费级的产品,其中比较典型的有自然补偿、光学补偿和像面补偿等方法,这些方法对航空、航天相机的像移补偿具有借鉴意义。