文章编号 1674-2915(2009)04-0269-20

军用飞机光电平台的研发趋势与技术剖析

刘 洵,王国华,毛大鹏,韩松伟,孟 中
(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033)

摘要:以高分辨力和抗电子干扰为突出特点的光电平台已成为近代军用飞机的必备装备与显著标志。本文根据近年来国外公开发表的资料,围绕21世纪服役的无人机光电载荷,有人固定翼飞机、有人旋翼飞机的光电吊舱和多传感器平台,尤其是配置在新一代联合攻击机F-35、"同温层堡垒"低空突防轰炸机B-52H、"枪骑兵"战略轰炸机B-1B、"扑食者"无人侦察/攻击机RQ-1A/B等当今活跃在局部战争中的军用飞机上的光电装备,分析了近代军用飞机光电系统的主要优点,指出了相关光电技术与设备的瓶颈与不足,论述了机载军用光电平台的发展趋势,探讨了当前急需解决的若干技术难点,期望以此为我国军用飞机光电平台的快速发展,以及早日赶上发达国家的相应水平尽献微力。

关 键 词:军用机;无人机;光电平台
中图分类号:V271.4; V556.5 **文献标识码**:A

Developing trend and technological analysis of warplane optoelectronic platforms

LIU Xun, WANG Guo-hua, MAO Da-peng, HAN Song-wei, MENG Zhong

(*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun* 130033, *China*)

Abstract: Warplane optoelectronic platforms characterized by the high-resolution and anti-electronic interference have become the essential equipment and remarkable signs of modern military aircrafts. According to the data and information from publications, this paper introduces the main characteristics of the photoelectric loads of Unmanned Aerial Vehicles(UAVs), the electro-optical pods and multi-sensor platforms of manned fixed-wing aircrafts and rotorcrafts which are in the sevices in the 21th century. Especially, it describes a lot of new optoelectric equipment mounted on the new generation warplanes serving in modern wars, such as the combined attracker F-35, Stratortress B-52H, Lancer bomber B-1B and Predactor unmanned RQ-1A/B. Then, it analyzes the main advantages of photoelectric systems of the modern military aircrafts, and points out the bottlenecks and deficiencies of related photoelectric technologies and equipment. Finally, it also discusses the development of the airborne military photoelectric systems. As a summary, it presents the developing trends and several kind of technological difficults to be solved for the optoelectronic platforms of warplanes.

Key words: warplane; Unmanned Aerial Vehicle(UAV); optoelectronic platform

收稿日期:2009-04-11;**修订日期**:2009-06-23

1 引 言

光电平台以高于微波频率的光波为信息与能量载体,具有极高的时间、空间和频率分辨力,特强的抗电磁干扰能力,独有的夜视功能和良好的环境适应性,在低可探测目标观测、高分辨力动态目标识别、精密制导、光电对抗、火控与瞄准、飞行辅助等领域,日益发挥着重大的作用,并有着巨大的潜力。军用飞机的光电系统,在提高飞机的夜战、低空突防、抗反辐射导弹、反隐身、高分辨力成像侦察、高精度跟踪与制导、抗电子干扰等方面,更具备不可替代和独当一面的能力。

本文根据近年来国外公开发表的资料[1~4],围绕无人机(UAV)光电载荷、有人固定翼飞机、有人旋翼飞机的对地攻击光电系统和多传感器观察与监测平台,尤其是配置在新一代联合攻击机F-35、"同温层堡垒"低空突防轰炸机 B-52H、"枪骑兵"战略轰炸机 B-1B、"扑食者"无人侦察/攻击机 RQ-1A/B 等当今活跃在局部战争中的军用飞机上的光电装备,分析了近代军用飞机光电系统的主要优点,指出了相关光电技术与设备的瓶颈与不足,论述了机载军用光电系统的发展趋势,探讨了当前急需解决的若干技术难点,对我国相关领域的研发提出了建议。

2 无人机光电载荷

2.1 无人机光电载荷的分类

按工作波段,UAV 光电载荷可分为可见、红外和激光系统 3 大类。每类系统都包括传感器、光学系统、承载平台和数据存储器等分系统。激光系统属于主动光电系统,含有激光源。

可见与红外系统的承载平台,通常共用。激光系统的承载平台,往往将发射与接收光学系统安装在一起;也有将可见、红外和激光接收器安装在一个平台上的紧凑式结构,它们甚至可共用一个光学口径(即所谓"三光合一")。

传感器按工作波段,可分为可见光、红外和激光传感器。

可见光传感器,按波段可分为全色(黑白)和彩色(多光谱、超光谱)两类;按空间分辨力可分为普通(标准)和高分辨(像元数 1 k×1 k 以上)两类;按工作照度可分为昼间和低照度(高灵敏度)两类;按工作频率可分为视频(电视摄像)和低帧频(数码相机)两类。

红外传感器,按波段可分为长波、中波和短波红外传感器。按像元数量和相应的成像扫描方式,可分为点传感器(2D 扫描)、线阵传感器(1D 扫描)和凝视传感器(无机械扫描),有人也称其为第一、二、三代红外传感器。按致冷方式,可分为非致冷(常温)、斯特林循环致冷和液氮致冷 3 种。

激光传感器是一种能量接收器,因此以点探测器为主。目前广泛使用的四象限探测器,可用于探测激光光斑相对于视轴中心位置的偏差。

光学系统(镜头)依传感器而定。按焦距(或视场),可分为定焦、多档可切换定焦和连续变焦 3 类;按波段可分为可见与红外光学系统。激光传感器用的收/发光学系统,由于频率单一,设计/加工比较简单,也使接收光路容易与其它传感器共口径。

承载平台按稳定轴数,可分为两轴、三轴或多轴稳定平台。

数据存储器分普通型和海量型两种。普通型存储器均用固态半导体存储器;海量型存储器分固态半导体存储器、磁带存储器和湿膜(胶片)存储器。

激光源包括发射光学系统、激光器和激光电源。

上述各个分系统的交叉组合,即构成无人机具体的光电载荷系统。可见,光电载荷的内涵是很丰富的。这些分类还未包含正在研制中的激光探测与距离选通成像、固态 3D 激光雷达等新型光电载荷。

2.2 无人机光电载荷的功能及主要性能要求

2.2.1 光电传感器

2.2.1.1 可见光光电传感器

可见光光电传感器的功能是光电成像,即将目标入射光子转变成对应像元的电子输出,最终形成目标的可见波段图像。目前最常用的器件是 CCD,但 CMOS 器件发展势头迅猛,因其功能丰

富、造价低而日益受到广泛关注。

可见光光电传感器的主要性能指标是:有效像元数、量子效率及其频段分布、最高帧频、读出噪声、热噪声。

其中,有效像元数决定了器件的像元分辨力(空间分辨力)。

量子效率及其频段分布,决定了器件的灵敏度和工作波段。

最高帧频决定了器件的工作频率(时间分辨力)。最高帧频低于 25 frame/s 时,将无法输出视频图像信号。

读出噪声由读出方式和读出电路决定,它是构成器件本底噪声的重要成份,因而影响到传感器的输出信噪比(S/N),尤其是小信号。

热噪声是器件本底噪声中随温度而升高的成份,器件致冷是降低热噪声的主要措施。

从综合性能考虑,致冷运行的背照 CCD,往往优于 ICCD。

2.2.1.2　红外光电传感器

红外光电传感器的功能是红外波段的光电成像,即将目标入射的红外辐射(热辐射),转变成对应像元的电子输出,最终形成目标的热辐射图像。

目前常用的器件是 HgCdTe(MCT)、InSb、Pt-Si、量子阱和微温度计阵列。尤其是 HgCdTe,由于集成度高、工艺成熟、可方便地通过改变三元组分来控制工作波段,在中、长波红外传感器中得到广泛应用。微温度计阵列由于可无致冷器工作,价格优势明显,正日益受到重视。

红外光电传感器的主要性能指标是:

有效像元数、噪声等效温差(NETD)、工作温度和致冷方式、最高帧频、读出噪声、阵列均匀性和响应非线性。

NETD 决定了传感器的温差探测灵敏度或最小可探测温差。

致冷方式随工作温度而定,按温度从高到低的顺序,分别是:非致冷、热电致冷、斯特林循环致冷和液氮致冷。

阵列均匀性和响应非线性,是红外器件因工艺因素带来的特殊问题,虽然可以通过数字信号处理进行校正,但额外的时间花费和校正后的残差仍然令人头疼,是红外器件应用时重点关注的问题。

其它性能指标,如有效像元数、最高帧频、读出噪声等,意义与可见光器件相同,但由于二元以上红外半导体材料与制造工艺等方面的问题,均明显低于可见光器件。

2.2.2　光学系统

光学系统的功能是将目标的光子或红外辐射(热辐射)尽可能多而准确地收集起来,并清晰成像在传感器光敏(辐射敏感)层所在的成像平面上。

常规光学系统的一对主要矛盾性要求是视场和角分辨力。光学系统的口径,则是约束光电载荷体积/重量的重要因素。为提高远程探测能力,一般都要加长焦距,于是视场随之减小。因此,固定焦距镜头,不能同时满足大视场搜索和远程探测这两项要求。多视场切换和连续变焦镜头,可供选择,后者结构复杂,体积/质量偏大。如果还要兼顾定位和测量,则焦距精确输出和视轴中心位置重复性的要求将提高对镜头的加工复杂性和精度要求。

视场切换或连续变化过程中,视场变化时间也是一项重要指标,因为它往往决定从搜索到锁定的转换过程中会不会丢失目标。

红外光学系统除光学材料的要求与可见光系统有重大区别外,在冷屏设计、冷栏匹配和杂散辐射抑制等方面也均有特殊要求,必需予以充分考虑。

2.2.3　承载平台

承载平台的功能是承载可见光/红外/激光收发光学系统,以及相应的光电传感器,并保持其视轴稳定准确地指向目标。

承载平台的主要指标是视轴稳定性(视轴抖动)。由于承载平台是承载光电传感器的动基座,其运动状态下的轴系精度也是整个光电载荷视轴指向精度的重要一环。

承载平台的动态响应能力,如最大角度范围、最大角速度、最大角加速度等,是影响光电载荷搜索/截获/定位性能的重要指标。

2.2.4　数据存储器

数据存储器的功能是作为光电载荷海量数据

的长期或缓冲存储。当无人机承载的所有光电传感器的总数据输出速率远高于无人机下传链路的通信速率时,这种存储更是必需的。

数据存储器的主要性能要求是数据传输速率、存储容量和可靠性。

2.3 国外无人机光电载荷的现况

传感器是无人机光电载荷中造价最高、作用最大的关键部件。例如,光电/红外传感器-多光谱定位系统传感器,现已被普遍改装到 MQ-1“捕食者”无人机上,其造价相当于无人机本身。“全球鹰”无人机的 RQ-4 Block 10 综合传感器系统的造价占无人机总成本的 33%;而集成了多信号传感器的 RQ-4 Block 20 综合传感器系统,其造价占总成本的比重将上升到 54%。

下面以 3 个国家的设备为例,介绍无人机光电载荷的现况。

2.3.1 美国

美国是最早研制无人机的国家之一。目前已投入使用的无人机多达 75 种、1 329 架以上。正在研制的达数 10 种。它们在性能上具有飞行距离远、飞行高度高、续航时间长、通信速率快、机载设备及飞行控制技术先进、隐身能力强等特点,目前的研究工作正从单纯侦察向侦察/打击一体化方向发展,并积极研制无人战斗机。

2.3.1.1 L3-WESCAM 14TS/14QS“捕食者”无人机光电平台[2~4]

美空军的“捕食者” RQ-1(见图 1,改型后为 MQ-1,兼有战斗机功能)和“猎人”都在回转架上安置了实时视频系统。目前正将多谱段定位系统(光电/红外/激光指示器/激光照明器)集成到“捕食者”上。

图 1 RQ-1“捕食者”无人机

Fig. 1 RQ-1 Predator UAV

早期 RQ-1“捕食者”的光电载荷(见图 2)为 L-3 WESCAM Model 14 传感器转台系列(T 为 3 传感器,Q 为 4 传感器),可昼/夜工作。

图 2 RQ-1“捕食者”无人机上的光电平台

Fig. 2 Optoelecronic platform on Predator RQ-1

光电载荷及主要性能如下:

- 4 轴陀螺稳定,3 轴被动振动隔离,视轴抖动(RMS)优于 35 μrad;
- 最高转速:90°/s;
- 方位:360°连续,俯仰:-120° ~ +90°;
- CCD TV:两台 ICCD Sony XC-999,分辨力 469 Lines,灵敏度 2 000 lx@ f5.6,最小照度 4.5 lx @ f1.2;
- TV 变焦镜头:焦距 16 ~ 160 mm;
- 视场 FOV:2.3° × 1.7°/23° × 17°;
- 弹着点显示器镜头:焦距 955 mm,FOV:0.38° × 0.29°;
- 热像仪:像元数 512 × 512 PtSi, 3 ~ 5 μm, 4 视场,附加 × 2 焦距扩展器;焦距 19,70,180,560 mm, FOV: 40.9° × 31.3°, 10.9° × 8.4°, 2.7° × 2.1°,1.4° × 1.0°,切换时间 < 1 s,增益调节:5 档可选,MTBF 4 000 h,斯特林制冷;
- 可选热像仪:像元数 256 × 256 InSb,3 ~ 5 μm, 4 视场,附加 × 2 焦距扩展器;焦距 11,70,180,560 mm,FOV 40.9° × 40.9°,10.9° × 10.9°, 2.7° × 2.7°,1.4° × 1.4°,切换时间 < 1 s,增益调节:5 档可选,MTBF 4 000 h,斯特林制冷;
- 图像冻结用于分析;
- 人眼安全激光测距仪:1.54 μm,

60 pulse/min,接收器面积 50 cm^2,精度 ±5 m。

RQ-1B 是美国 1999 年新开发的变型机。B 型机增大了机身,采用了 Y 型尾翼和涡桨发动机,进一步提高了起飞质量,增强了续航能力。MQ-1 则是加挂"海尔法"激光制导导弹后的侦察/战斗机型无人机。

2.3.1.2　雷神 AN/AAS-52 多光谱瞄准系统 A(MTS-A)[3,4]

MTS-A(见图 3)是组合了光电、红外、激光测距,使用最新的数字结构,为 AGM-114 地狱火导弹和北约(NATO)激光制导弹药提供远程侦察、目标截获跟踪、激光测距和指示的多光谱系统。装备美国海军 MH-60R 直升机和空军 MQ-1 扑食者无人机。新型 MQ-1(见图 4)用 MTS-A 代替 AN/AAS-42,单台价格 150 万美元。2007 年 3 月,雷神签 25 台 MTS-A 用于 MH-60R 直升机,2007 年 2 月,签 60 台用于 MQ-1 的合同。

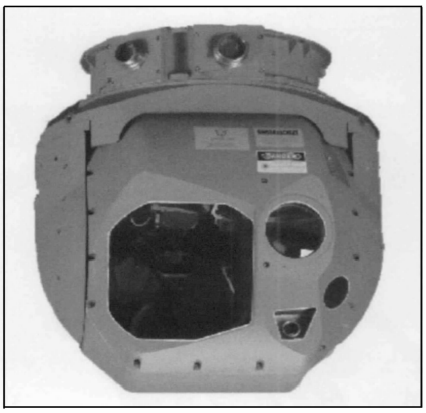

图 3　MTS-A

Fig. 3　MTS-A

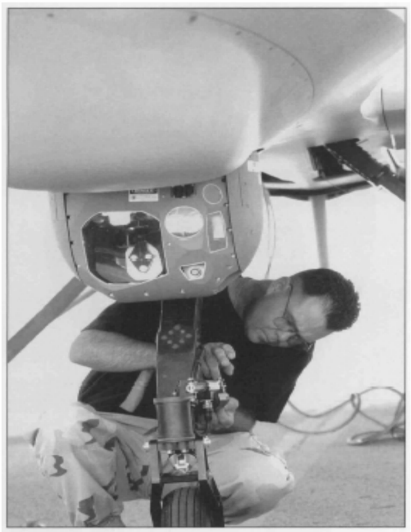

图 4　为 MQ-1 加装 MTS-A

Fig. 4　Installing MTS-A for MQ-1

AN/AAS-52 包括含集成惯性测量单元(IMU)的转台(WRA-1),和电子单元 WRA-2。系统使用了雷神的局域处理(LAP),这是一种自动的无需人插手的图像优化技术,能使图像显示信息最大化,以增强情景认知(SA)和远程监测能力。自动电视跟踪器工作在形心、面积和特征模式。主要特性:

- 体积、质量:WRA-1 Φ 457 mm × 475 mm, 59 kg; WRA-2 366 mm × 124 mm × 193 mm, 11.3 kg;
- 光谱段:0.4 ~ 0.7 μm 和 0.6 ~ 0.8 μm [TV/NIR],3 ~ 5 μm[MWIR];
- 焦面阵列 FPA:制冷型,像元数 640 × 480 InSb;
- IR FOV: 0.6° × 0.8°,1.2° × 1.6°,5.7° × 7.6°,17° × 22°,34° × 45°;
- TV FOV:0.21° × 0.27°,1.2° × 1.6°,5.7° × 7.6°,17° × 22°,34° × 45°;
- 电子变焦:×2: 0.11° × 0.14°(TV), 0.3° × 0.4°(IR), ×4:0.06° × 0.07°(TV), 0.15° × 0.2°(IR);
- 覆盖范围:方位 360°连续,俯仰 -120° ~ +60°;
- 回转速度:3 rad/s 俯仰;
- 电源:28 VDC/115 VAC;
- 温度:-54 ~ +55 ℃;
- 高程:9 144 m;
- 空速:350 n mile/h IAS。

2.3.1.3　雷神多光谱瞄准系统 B(MTS-B)[3,4]

MTS-B(见图 5)是一种多用户、数字式、光电/红外/激光组合的目标探测、测距和跟踪装备,专用于远程侦察、高空目标截获与跟踪、测距和激光指示,适合于 AGM-114 地狱火空-面导弹和所有 3 种服务/北约(NATO)激光制导导弹。针对 2004

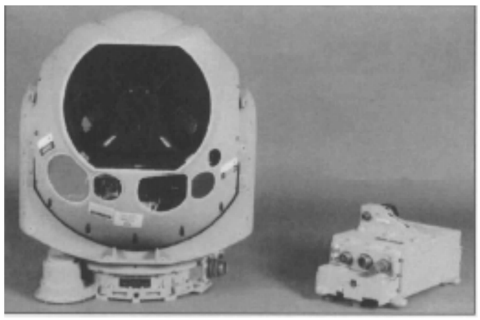

图5 MTS-B

Fig. 5 MTS-B

~2005 年通用原子公司 MQ-9(即扑食者 B) UAV,首批 4 台 2007 年 3 月装上 MTS-B,也可用于其它固定翼和旋翼飞机。MTS-B 中不同传感器图像可融合产生组合图像,还有自动的无需人工图像优化技术。主要特性为:

- 体积、质量:WRA-1 转台 Φ 559 mm,104 kg;WRA-2 电子箱 366 mm × 124 mm × 193 mm,11.3 kg;
- FOV:超窄:IR:0.23° ×0.31°,
  TV:0.08° ×0.11°,
  窄:IR/TV:0.47° ×0.63°,
  中窄:2.8° ×3.7°,
  中:5.7° ×7.6°,
  中宽:17° ×22°,
  宽:34° ×45°;
- 电子变焦:×2、×4;
- 覆盖范围:方位 360°连续;
- 俯仰: -135° ~ +40°;
- 回转速度:2 rad/s ;
- 电源:28 VDC;
- 制冷:内含;
- 环境:MIL-EO-5400,MIL-STD-810;
- 最大空速:200 n mile/h。

加装 MTS-B 的无人机 MQ-1B 见图 6。

2.3.1.4 "全球鹰"RQ-4 高空无人侦察系统[2~4]

雷神航空航天系统公司于 1995 年开始研制"全球鹰"RQ-4 见图 7,配套的传感器组合见图 8。1997 年首飞,2005 年供空军使用。其光电载荷及主要性能如下:

- 光学系统:焦距 1 750 mm,口径 280 mm;

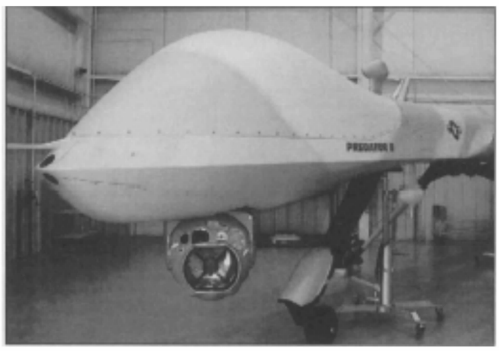

图6 加装 MTS-B 的 MQ-1B

Fig. 6 MQ-1B of installing MTS-B

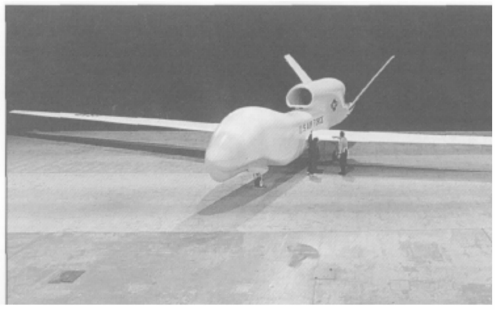

图7 RQ-4"全球鹰"无人机

Fig. 7 RQ-4 Global Hawk

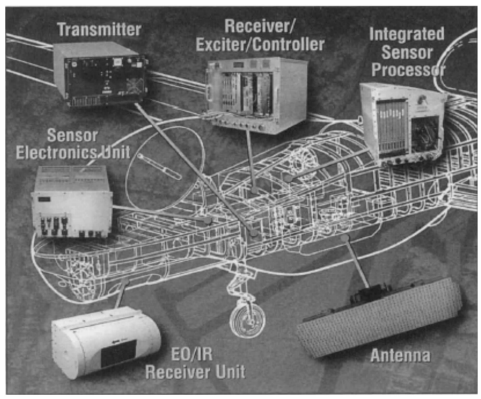

图8 RQ-4"全球鹰"的传感器组合

Fig. 8 Components of Global Hawk sensor

- 质量:402 kg(含 X 波段 3.5 kW SAR 雷达),其中 EO/IR,99 kg;
- 电源:28 V,582 W;
- 三代红外传感器:工作波段 3.6 ~ 5 μm,

FPA:InSb,像元数 480 × 640,阵列视场 5.5 mrad × 7.3 mrad,像元视场 11.4 μrad;

● CCD 相机:工作波段 0.4 ~ 0.8 μm,像元数 1 024 × 1 024,阵列视场 5.1 mrad × 5.2 mrad,像元视场 5.1 μrad;

● 搜索能力:宽域搜索模式 138 000 km^2/day;

● 点照明方式:1 900(2 km × 2 km) spots/day;

● 几何精度:20 m 圆概率误差(CEP);

● 稳定性:3 mrad(注:疑为 μrad)。

2.3.1.5　"影子"无人机 L-3 WESCAM Model11-SST 步进-凝视平台[2~4]

"影子"无人机 L-3 由 WESCAM 公司制造,装载的光电平台见图 9,各分系统性能如下:

● 转台:质量 17.7 kg;

● 尺寸:Φ 279 mm × 368 mm;

● 功耗:平均 85 W,最大 170 W;

● 稳定平台:主动陀螺稳定,四轴;

● 被动振动隔离:六轴,

视轴抖动:20 μrad,RMS,

转动范围方位:360°,

俯仰:-120° ~ +90°,

转动速度:120°/s,

定位精度:±1 μrad(注:疑为 mrad),RMS;

● 传感器:

3 视场热像仪,FPA:InSb 像元数 640 × 512,3 ~ 5 μm,斯特林循环致冷,

大视场:28.7° × 21.7°(f 35 mm),

中视场:8.9° × 6.7°(f 115 mm),

小视场:2.2° × 1.7°(f 460 mm);

彩色变焦 CCD,逐行扫描,16 bits,

IEEE 1 394 接口,×14 变焦,

视场:28.5° × 21.4°(f 11.5 mm),

视场:2.2° × 1.7°(f 150 mm);

人眼安全激光测距仪(可选),

Er 玻璃:1.54 μm,

重复频率:1 Hz,

测量范围:8 km,

测量精度:±5 m;

激光测距/指示器(可选),二极管激光器,1.064 μm/1.54 μm 双频,

重复频率:1 ~ 20 Hz。

2.3.2　以色列

以色列研制的无人机光电载荷多是通用式,可方便地按需要供机载、舰载和车载使用。几个典型产品如下:

2.3.2.1　"鹰眼"插入式吊舱 POP200[2~4]

"鹰眼"插入式吊舱 POP200(见图 10)由以色列飞机制造公司(IAI)TAMAM 分部制造。光电传感器特性为:

● 4 视场中波红外 FLIR,FPA InSb,像元数 320 × 240,3 ~ 5 μm,斯特林循环致冷,

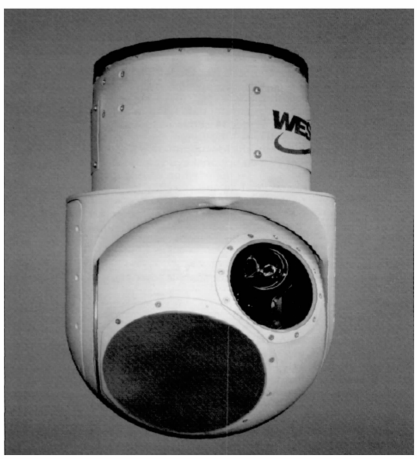

图 9　"影子"无人机光电平台

Fig. 9　Optoelectronic platform of Shadow UAV

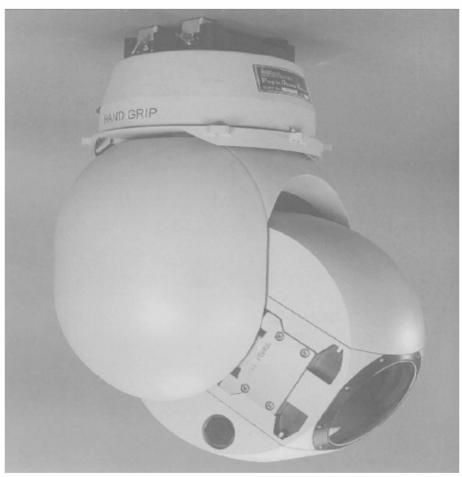

图 10　POP 200 光电平台

Fig. 10　Optoelectronic platform POP 200

大视场:22° ×16°,
中视场:6.9° ×5.2°,
小视场:1.7° ×1.3°,
超小视场:0.85° ×0.65°;

- 彩色变焦:CCD TV,1/4″,
  光学变焦:1:16,
  电子变焦: ×2,
  水平视场:27° ~0.85°;
- 物理特性:
  尺寸:直径 Φ 260 mm,高度 380 mm,
  质量:14 ~16 kg,
  电源:28 V,120 W。

POP 200 光电吊舱于 2006 年装载于无人直升机 CAMCOPTER S-100(见图 11)。

图 11 装载 POP 200 的直升机
Fig. 11 Helicopter installed by POP 200

2.3.2.2 高分辨力轻便稳定昼间观测系统 Controp ESP-600C[2~4]

Controp ESP-600C(见图 12)主要技术参数如下:

- 对车形目标探测距离:30 km,
  识别距离:12 km;
- 物理特性:尺寸:Φ 300 mm ×435 mm,
  质量:12.3 kg;
- 电源:28 V,40 W;
- 彩色 CCD:分辨率 450 lines,
  变焦镜头: ×15,*f* 40 ~600 mm,
  视场:0.75° ~11.5°;
- 稳定性:10 μrad;
- 转动范围:方位无限,俯仰 +10° ~ -105°;
- 转动速度:40°/s;

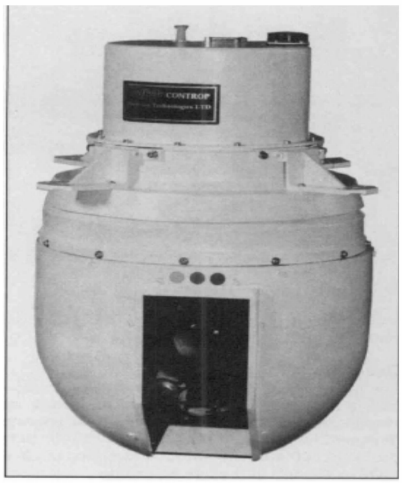

图 12 Controp ESP-600C
Fig. 12 Controp ESP-600C

- 定位精度:0.7°。

2.3.2.3 高分辨力昼/夜观测系统 Controp FSP-1H[2~4]

Controp FSP-1H(见图 13)主要技术参数如下:

- 对车形目标探测距离:12 ~20 km,
  识别距离:4 ~5 km(小视场);
- 物理特性:四框架结构,
  尺寸:Φ 320 mm ×500 mm,

图 13 Controp FSP-1H
Fig. 13 Controp FSP-1H

质量:28 kg;

- 电源:28 V,125 W;
- 前视红外:3 ~ 5 μm ,FPA;
- 昼光 CCD:LLLTV,可选用;
- 稳定性:25 μrad;
- 转动范围: 方位无限,
  俯仰 +10° ~ -105°;
- 转动速度:方位 45°/s,俯仰 32°/s;
- 定位精度:0.7°;
- 视场切换时间:1 s。

2.3.3　南非[2~4]

南非 Nenel 公司属下的 Cumulus(前身为 Kontron)研制的 Goshawk 350/400 光电平台(见图 14)系列,1995 年生产。Goshawk 350 主要技术参数如下:

- 1.2 cm(1/2 in) TV Camera:PAL,
- 3 种变型可用:

  单 CCD 彩色 TV Camera:像元数 450 × 450, f 16 ~ 244 mm;

  3CCD 彩色 TV Camera:像元数 560 × 560, f 14 ~ 448 mm;

  黑白 CCD Camera:像元数 580 × 580, f 1 000 mm;
- 二代热像仪:8 ~ 12 μm,288 × 4 CMT;
- 三代热像仪:3 ~ 5 μm,384 × 288 CMT 或像元数 256 × 256 InSb;
- 激光测距仪:20 km, ±5 m;
- 转台尺寸:直径 Φ 350 mm,长 500 mm,
  质量 14 kg;
- 覆盖范围:方位 360°连续,俯仰 -120° ~ +15°;
- 视线稳定:30 μrad;
- 传感器 FOV:

  白天训练 Sony FCB 780 1-CCD 彩色变焦,
  水平 2° ~ 18°,
  白天监测 DXC990P 3-CCD 彩色变焦,
  水平 0.7° -28°,
  MWIR 两档 3°/18°,
  MWIR 连续变焦 2° ~ 15°,
  LWIR 两档 4°/18°;
- 扫描速度:1 rad/s;
- 探测距离:8 km;
- 工作温度: -30 ~ +50 ℃;
- 平台控制单元 PCU 256 mm × 129 mm × 217 mm,6 km。

Goshawk 350 系列可组合成以下各种变型:多传感器型(MSP),超彩色型(SCP),通用摄像型(UCP)。型谱为 Goshawk 350-100 ~ Goshawk 350-900。

Goshawk 400 带更大的转台,用于中/高空无人机。型谱为 Goshawk 400-100 ~ Goshawk 400-900。

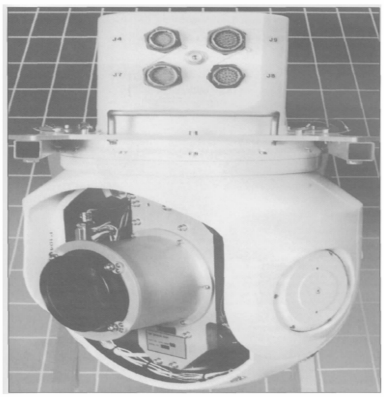

图 14　Goshawk 光电平台

Fig. 14　Optoelectronic platform Goshawk

物理特性:

- 尺寸:直径 Φ350 mm(350 型),
  Φ 410 mm(400 型),
  高度 490 mm(350 型),
  500 mm(400 型),
  质量 25 ~ 32 kg(350 型),
  35 ~ 42 kg(400 型);
- 电源:28(±10%) V;
- 目标探测距离:8 km;
- 搜索范围: 方位 连续,
  俯仰 15° ~ 120°(350),
  20° ~ 105°(400);
- 搜索速度:1 rad/s;
- 视轴稳定性:33 μrad;
- 定位精度:3 mrad;
- 传感器视场:CCD TV(宽视场):

1-CCD 22.6°,
3-CCD 26.0°;
CCD TV(窄视场):
1-CCD 1.5°,
3-CCD 0.8°,
黑白 CCD 0.3°;
IR (宽视场):18.0°,
IR(窄视场): 4°,
3 ~ 5 μm InSb 1.8°,
3 ~ 5 μm CMT 3.0°,
8 ~ 12 μm 4.0°。

2.4 无人机光电平台的关键技术及其发展趋势

"2005 ~ 2030 年美国无人机系统发展路线图"附件 B:"传感器,新兴技术和有待突破的技术"中提出了若干光电载荷的关键技术,其中一些颇有见的,可引为参考。

2.4.1 高清晰度电视视频技术

高清晰度电视(HDTV)代表了视频工业技术发展的基本方向,从隔行扫描到逐行扫描,可消除图像斜纹,成为先进视频处理技术的基础。

新的视频技术对光学系统提出了提高成像质量的需求,但不能要求转台尺寸加大,应该以图像的清晰度为前提,既要确保成像效果最优,又要可装入小型转台。

2.4.2 焦面阵列和视轴稳定技术

轻小型转台促进了高性能焦面阵列组件(对功率、质量和体积要求越来越高)的研发。数字技术的进步,消除了由于反复的模拟-数字-模拟转化而导致的图像质量降低。

当具备高清晰度动态视频源数据后,要获取有用的信息,图像的稳定性就显得尤为重要。视轴稳定方面的技术进步(电动机械技术和电磁技术)促使传感器系统的稳定精度达到数十微弧度级,高稳定系统的精确度则达到了两个微弧度级。然而,这两种稳定系统造价过于昂贵,为了弥补低成本机械稳定传感器装备的不足,数字视轴稳定(电子稳像)的研究与演示验证十分重要。

2.4.3 传感器的自主控制/自我提示技术

无人机的一个重要特征就是续航时间增长后,大量的图像/信号处理和网络技术的共同发展将实现传感器工作的自动化,即利用图像智能处理技术以减轻人的负担。

长航时平台系统允许用户首先设置目标/图像搜集模式,然后在战场上以预定的信号搜索目标。这时,主动目标提示器是非常有用的。最理想工作状态是:传感器可以自动搜索符合目标库中的特征目标,或者提示操作人员重点观察上次观察后的变化目标或者与环境有明显差异的目标。计算机处理能力的飞速发展和机载存储能力的增强,也将进一步提高传感器的自主性,该技术将带来地面作战模式和作战思想的根本性变化,使人类远离战场。

2.4.4 多光谱/超光谱成像技术

多光谱(数十谱段)和超光谱(数百谱段)成像技术是利用传感器对目标进行光谱成像,使其能从中获取更准确信息的重要技术手段。商业卫星产品(如地面遥感卫星或地球观测卫星)所具备的多谱段数据信息已经成为商业应用中的支柱力量,它们具备数十米的分辨力(现在已达到米级分辨力)。超光谱成像技术可以用于探测和识别生化战微粒,还可以通过气溶胶云层的被动超光谱成像对非传统攻击预警。此外,超光谱成像技术还提供了一种很好的反敌方伪装、隐蔽和欺骗的能力。

目前,高空侦察机 U-2 的 Senior-year 光电侦察传感器系统是唯一的军用机载多光谱传感器,它提供了高清晰度的 7 频段视频和红外成像。美国空军正在进行近视频/视频超光谱系列的验证,重点解决"隐形坦克"探测问题。美国陆军夜视与电子传感器管理局正计划对战术无人机的光电/红外传感器进行小的增补,增加多谱段功能。海军研究实验室研制了"战马"可视/近红外超光谱传感器系统,正在捕食者无人机上进行验证。

2.4.5 光探测与距离成像技术

光探测与距离成像技术,也可称为主动照明和距离选通成像探测技术,是利用激光束高空间分辨力成像的特征,对低观测性目标进行探测和识别。主动激光探测与距离选通技术,可用于昏暗区域的成像。在中等云层、尘土飞扬和烟雾环境下,通过使用精确的短脉冲激光,捕获反射回来的光子实现成像;还可实现夜间低能见度的高分辨力成像,使图像更加清晰,作用距离更远,达到

远距离字符识别能力。可在低光照,低可视条件下识别敌方坦克、车辆、舰艇、飞机型号,在现代战争的敌我目标识别方面,发挥重要作用。

3　对地攻击的有人机载光电平台

3.1　光电瞄准系统 EOTS[2~4]

用于联合打击飞机 F-35 的集成探测与瞄准系统(EOTS,见图 15),由 Lockheed Martin 导弹与火控部与英国 BAE 系统公司联合研制,提供地面超远程目标的探测与精密瞄准,以及远程空空威

图 15　F-35 配备的光电平台及其低探测性蓝宝石窗口

Fig. 15　Low-observable window of F-35

胁探测,2005 年首飞,2007 年装备 F-35。2006 年 6 月,整套 EOTS 在波音 737 联合航空试验台(CATB)上试验,其显著特点有:

- 低可探测性蓝宝石窗口;
- 具备高速光纤接口的中心计算机;
- 单口径设计;
- 基于成熟商业流行技术 COTS(Commercial-off-the-shelf)的电子模块;
- 先进的三代红外 3 ~5 μm 焦面阵列器件;
- 空地前视红外(FLIR)跟踪器;
- 空空红外搜索与瞄准系统(IRST);
- 自动的视线与机身对准技术;
- 高可靠人眼安全二极管泵浦激光测距/目标指示器;
- 激光光斑跟踪器;
- 被动/主动测距,增加满足对地攻击的高精度地理坐标,全重 74.6 kg(200 lb);
- 德国 TNO 物理与电子实验室(TNO-FEL)提供的最新研制 F-35 红外传感器修整算法(IRSC,2003 年 6 月),可增加红外图像清晰度;
- 英国 BAE 公司提供激光器。

3.2　先进轻型瞄准吊舱 Sniper XR[2~4]

由 Lockheed Martin 导弹与火控部研制的轻型瞄准吊舱(Sniper XR,见图 16),2001 年起动,当年冬天添加增程,装在 F-15E, F-16C/D, A-10C,B-1B 上。扩展为 PANTERA(带增程截获的精密打击导航与瞄准)时,仅改动软件。主要载荷有:

- 三代高分辨力中波前视红外,带图像处理算法(USAF 首用),无液体制冷,有环境控制单元 ECU;
- IR:像元数 512 ×640 凝视 FPA,3 ~5 μm,视场 3.6° × 3.6°, 1.0° × 1.0°, 数字扩大至:0.5° ×0.5°,电子变焦, ×4 连续;
- TV:像元数 659 ×494 CCD,视场 宽/窄, 电子变焦, ×4 连续;
- 吊舱:可调视场:俯仰 -155° ~ +35°,横滚:连续,稳定性:优于 20 μrad(6 g, RMS),验证:10 ~11 μrad,瞄准线误差:115 μrad,激光测距机:1.06 μm/1.54 μm, 直径:φ 300 mm, 长度:2 490 mm,2 300 mm(无 ECU),质量:181 kg,177 kg(无 ECU);
- MTTR:18 min,MTBF: >600 h。

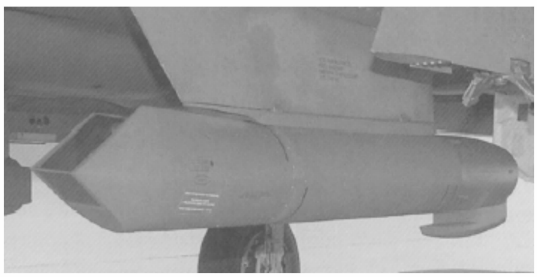

图 16　F-15E“攻击鹰”超音速战斗轰炸机装 Sniper XR

Fig. 16　Sniper XR pod of F-15E Strike Eagle

3.3　Litening Ⅱ 目标瞄准与导航吊舱[2~4]

由 Northrop Grumman 电子传感器与系统公司研制的 AN/AAQ-28(V) Litening 系统(见图 17),是机载激光目标瞄准吊舱,可提供各种气候下的昼夜精确打击(它包含稳定平台上的凝视 FLIR, CCD TV,激光测距器,激光目标指示器,激光光斑

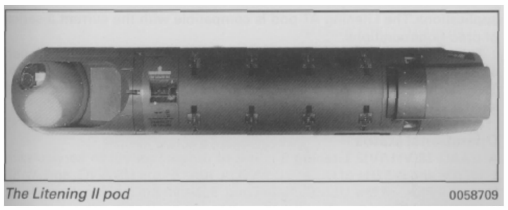

图17 F-16C装AN/AAQ-28(V)

Fig. 17 AN/AAQ-28(V) of F-16C

跟踪器和惯导传感器),于2002年~2004年分别装备于F-16C/D(168台)、B-52H(12台)、A-10A、AV-8B、F-15E(24台)上。基本特性为:

- 吊舱:ϕ 400 mm×2 200 mm,200 kg;
- 前视红外FLIR:视场1.0°×1.0°,4.0°×4.0°,宽视场24°×24°;
- CCD:视场1.0°×1.0°,3.5°×3.5°,像元数768×494;
- 激光测距与目标指示器:能量100 mJ/pulse;
- 跟踪器:先进的面与点相关/惯性,激光光斑搜索与跟踪;
- 长平架:可调视场,俯仰+45°~-150°,横滚±400°;
- 视轴稳定性:10 μrad;
- 飞行状态:低空M1.2,垂直机动9 g;
- 制冷:环境控制单元ECU;

型号系列:

Litening Ⅱ,三视场FLIR像元数256×256,二视场CCD TV,激光测距机,红外标识器,激光光斑跟踪器和惯导传感器,可升级为AT型(见图18);

Litening ER,三视场FLIR 640×512,其它同上。可升级为AT型(见图18);

Litening AT,多目标标识,超变焦和目标坐标产生,防虚警,更精确的处理算法,增加记忆容量,模块化,开放式,与现有J系列精密军械兼容。

3.4 LiteningⅢ目标瞄准与导航吊舱[2~4]

1995年由以色列Rafael军备研发局先后与德国、美国Northrop Grumman联合开发的LiteningⅢ目标瞄准与导航吊舱,其特性为(见图19):

- 尺寸:ϕ 4 064 mm×2 208 mm;
- 质量:200 kg;

图18 B-52H装AN/AAQ-28(V)3 Litening ER

Fig. 18 B-52H bomber with an AN/AAQ-28(V) 3 Litening ER

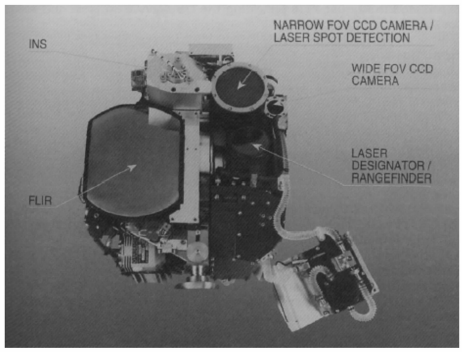

图19 Litening舱内多传感器布置

Fig. 19 Multiple sensor arrays in the Litening

- 电源:115 VAC,400 Hz,3 phase,2.5 kW;
- 可调视场:俯仰-150°~+45°,横滚±400°;
- 稳定性:30 μrad;
- FLIR:8~12 μm,像元数708×240,视场18.4°×24.5°,4.5°×4.5°,1.5°×1.5°;
- CCD TV:视场3.5°×3.5°,1.0°×1.0°,像元数768×494;
- 激光能量:100 mJ/pulse,发散角:0.2 mrad;
- 飞行状态:低空M1.2,3 965 m(13 000 ft)M1.8,垂直机动9g;

LITE吊舱为轻型战斗机,如A-4、F-5、MiG-21和幻影系列设计;

- 尺寸:长533 cm,重450 kg;
- FLIR:8~12 μm,像元数512×240,视场18°×24°,4.5°×6.0°,1.5°×2.0°;

● CCD TV: 视场 4.6° ×3.5°,1.3° ×1.0°,像元数 768 ×494;

● 稳定平台: 可调视场:俯仰 -150° ~ +45°,横滚 300°;

● 稳定性 40 μrad;

● 飞行状态(F-5):低空 M0.95,6 100 m(20 000 ft) M1.3,垂直机动 7g。

Litening Ⅲ吊舱,Rafael 称为"四舱归一",工作模式为:夜间 FLIR 瞄准,增强的昼间 CCD TV 瞄准,激光光斑跟踪/测距/标识(带夜视护目镜),夜间低空导航(FLIR 图像投影到头盔显示器上)。全数字吊舱有以色列制造的 3 ~5 μm 三视场 FLIR,三视场 CCD TV(含超变焦),二极管泵浦激光测距/目标指示器(人眼安全),激光光斑探测/跟踪/标识器。改善高 g 值机动和飞机视轴(优于 2 mrad)稳定性的集成惯导传感器。结构模块化,5 min 可拔出/插入,用于 F-111、MiG-29、"阵风"、"幼狮"等战机,Northrop Grumman 装于 A-10, AV-8B +, B-52, F-15E, F/A-18D, F-16(见图 20)战机,2006 年 4 月交 600 套。性能如下:

● 尺寸:ϕ 406.4 mm ×2 200 mm;

● 质量:208 kg;

● 可调视场:俯仰 -150° ~ +45°,横滚 ±360°;

● 稳定性:30 μrad;

● FLIR:3 ~5 μm,像元数 640 ×480,视场 18.4° ×24.1°,2.8° ×2.8°,0.77° ×0.77°;

● CCD TV: 视场 超变焦 0.25° ×0.25°,3.5° ×3.5°,0.7° ×0.7°;

● 激光测距/指示器:符合北约(NATO)标准编码,发散角:0.2 mrad;

● 激光光斑探测器:全视场可调;

● 跟踪器:点/面,激光光斑与惯导;

● 飞行状态:低空 M1.2,3 965 m(13 000 ft) M1.8,垂直机动 9g。

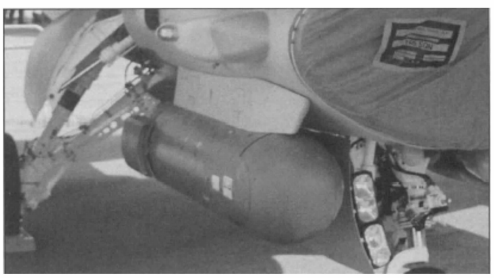

图 20　新加坡 F-16C 装 Litening Ⅲ

Fig. 20　Litening Ⅲ pod on F-16C from Singaporean

4　多传感器观察与监测平台

4.1　ASELFLIR-200 轻型多用热成像传感器[2~4]

ASELFLIR-200 轻型多用热成像传感器(见图 21)由美国 Aselsan 微电子、导引与光电公司研制,可用于固定翼、旋翼飞机和 UAV。关键特性:电子成像稳定性(EIS),图像增强局域处理(LAP),多模跟踪(MMT)。通常有 3 种视场:窄视场用于识别与确认;中视场用于探测;宽视场用于导航与驾驶。系统有 3 种配置方式,其主要特性:

● 单传感器:只有 FLIR;

● 双传感器:FLIR + 彩色 CCD 或 FLIR + 人眼安全激光测距机;

● 三传感器:FLIR、彩色 CCD、人眼安全激光测距机;

● 尺寸:转台 Φ 323.85 mm ×372.87 mm,电子单元 306.3(W) ×413.5(l) ×199.1(h) mm;

● 质量:转台 31.8 kg,电子单元 22.73 kg;

● 视场:宽/中/窄 3 种;

● 探测器:像元数 240 ×4 FPA,8 ~12 μm;

● 电子变倍:×2, ×4;

● 转台覆盖角:方位 360° 连续,俯仰 40°(上),105°(下);

图 21　2004 欧洲展示的 ASELFLIR-200

Fig. 21　ASELFLIR-200 displayed in Europe

● 转台扫描速率:3 rads/s;

● 转台加速率:与飞机速度相适应。

4.2 BAE 多传感器转台系统(MST-S),Selex S&AS Titan 大力神 385[2~4]

由 BAE 系统航空、传感与通讯公司研制的 BAE 多传感器转台系统(MST-S,见图 22),Selex S&AS Titan 大力神 385,装于旋翼和亚音速固定翼飞机,用高分辨力 FLIR 和 CCD TV 做 24 h 全天候目标探测、识别与跟踪。三轴转台陀螺稳定,适于空速 300 ~400 n mile/h 下工作。其特性:

● FLIR:8 ~ 10、3 ~ 5 μm,凝视 FPA 像元数 640 ×512,循环制冷,可切换视场:18° × 14.4°,3.6° ×2.8°, ×2 电子放大;

● 彩色 3CCD, ×20 连续变焦;

● 微光 TV,L^3CCD,星光到白昼,抗晕,抗饱和;

● 激光测距,1.54 μm, ±10 m,80 m ~20 km;

● 直径 Φ 385 mm,长 525 mm;
典型质量:转台 43 kg,控制器 3 kg;

● 扫描速度:10°/s;

● 功耗:28 V DC,340 W。

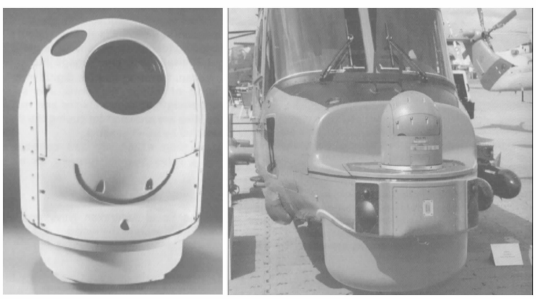

图 22 MST-S 转台及装备马来西亚超级山猫 300 鼻端

Fig. 22 MST-S mounted on the nose of a Super Lynx 300

4.3 海星 SAFIRE Ⅱ/Ⅲ[2~4]

FLIR 系统公司研制的海星 SAFIRE Ⅱ(见图 23),提供 24 h 各种观测和气候条件下的陀螺稳定远程成像,三视场 3 ~5 μm InSb FPA 和 18 倍变焦 CCD TV。主要特性:

● 转台尺寸质量:445.8 mm(d) × 383.5 mm(h),44.5 kg;

图 23 FLIR 系统海星 SAFIRE Ⅱ

Fig. 23 Sea Star Ⅱ of FLIR systems

● 扫描速率:60°/s;

● 最大空速:405 n mile/h;

● IR:探测器:像元数 320 × 240 InSb 3 ~ 5 μm;

● 探测分辨率:像元数 640 ×480(微扫描);

● 视场:窄 0.8° × 0.6°;中 3.4° × 2.6°;宽 25.2° × 18.8°;

● 可选宽视场:33.3° ×25°;

● 致冷:循环制冷;

● 可选载荷:自动聚焦彩色 CCD TV,0.2 lx,光学变焦: ×16,电子变焦 ×4,视场 24° ~1.5°;

● 可选载荷:激光测距机,铒玻璃激光(1.54 μm),Ⅰ类(人眼安全),距离精度: ±5 m,最大距离:20 km;

● 可选载荷:CALI 激光照射器(NVG 兼容-宽面照明),波长 810 nm,Ⅳ类;

● 可选载荷:激光照射器(NVG 兼容-目标指示),波长 810 nm, Ⅲb 类;

● 可选载荷:弹着点显示器,彩色视频 PAL,视场 0.4° ×0.3°;

● 可选性能:自动跟踪器,目标识别激光照射器;

● 海星 SAFIRE Ⅲ(见图 24):

热像仪:像元数 640 × 480 InSb FPA 3 ~ 5 μm,FOV 0.7° × 0.5°,1.4° × 1.05°,5.4° × 4.0°,25° × 19°;可见 TV,自聚焦彩色 CCD TV,0.2 lx,光学变焦 ×18,电子变焦 ×12;视场:24° ~ 1.5°;

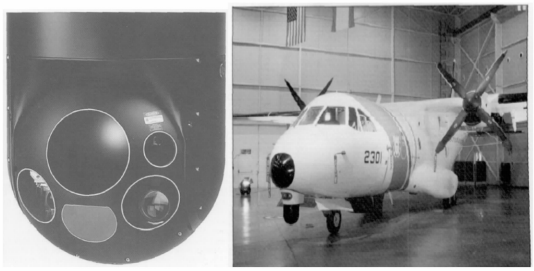

图 24　“星座”SAFIRE Ⅲ及装载的首架 HC-235A

Fig. 24　Star SAFIRE Ⅲ and the first HC-235A

像增强器:三代,0.000 4 lx;

激光测距机:1.54 μm, ±5 m,20 km;

CALI 激光照明器(NVG 兼容,宽度照明):810 nm,Ⅳ类;

激光照明器(NVG 兼容,目标指示):810 nm,Ⅲb 类;

弹着点观测器:彩色 3CCD,FOV 0.29°。

4.4　星座 SAFIRE™ Ⅲ[2~4]

由 FLIR 系统公司研制的星座 SAFIRE™ Ⅲ,有 6 个可选瞄准载荷的军级 COTS(Commercial-off-the-shelf)多传感器陀螺稳定机载平台,包括最远程性能三代高分辨力热像仪、ICCD、高倍多视场弹着点显示器、宽/窄面积激光照射或指示器以及激光测距机。星座 SAFIRE™ Ⅲ是首台分辨力高于 640 的 FLIR 成像系统,全部传感器自动聚焦,数字视频且图像融合。2004 年投产,美国、澳大利亚均投入千万美元以上,2007 年 1 月装于 HC-130C。主要性能:

- IR:保真度增强型像元数 640 × 480 InSb FPA,3 ~ 5 μm,4 种视场 0.4° ~ 25°,宽视场 33°可选,变焦比 ×71;
- ICCD:3/4 代,多视场匹配光学用于图像融合;
- 彩色变焦电视(可选),FOV 28° ~ 2.7°,变焦比 ×18(加 ×12 电子变焦);
- 弹着点观测器(可选):3-CCD,高于 800TVL 的彩色、多视场匹配光学用于图像融合,5.4° ~ 0.29°;
- LLTV:近红外敏感的彩色,FOV 5.4° ~ 0.7°,连续变焦加 ×25,电子变焦 ×4,灵敏度:0.2 lx;
- 激光测距机:1.54 μm,25 km, ±5 m;
- 激光照明器:Ⅳ类,1 ~ 2 W 可选,束散角 1° × 1°;
- 激光指示器: Ⅲb 类,100 mW;
- 体积质量:φ 380 mm × 450 mm,44.5 kg(含全部选件);
- 标准:5 轴稳定,方位:360° 连续,俯仰 −120° ~ +30°,稳定性 < 5 μrad;
- 电源:22 ~ 29 V,200 W(650 W max);
- 可选件:增强型像元数 320 × 240 InSb FPA,ICCD,多模自动跟踪器,霾/微光图像处理,大地指向/目标定位。

4.5　超级 7000™[2~4]

超级 7000™(见图 25)是 FLIR 系统公司研制的超小型双传感器系统,两种工作模式:即动目标自动跟踪为中心方式和记忆方式,在目标暂时消失时用运动参数粗跟踪重新截获。两种方式均可在 IR 与 CCD 间交换而不消失目标与景观。其主要性能:

- 稳定平台:2 轴;
- 尺寸:φ 228 mm × 343 mm;
- 可调视场:两轴 360°连续;
- 扫描速度:50°/s;
- 最大加速度:60°/s²;
- 稳定:光纤陀螺,两轴;
- IR:像元数 256 × 256 InSb FPA,3 ~ 5 μm,NETD 0.03 ℃,斯特林微致冷器,启动时间 7 ~ 8 min,FOV:17.6° ~ 1.76°连续;
- TV:795H × 596V,443 line,5.0 lx @ f/1.2,

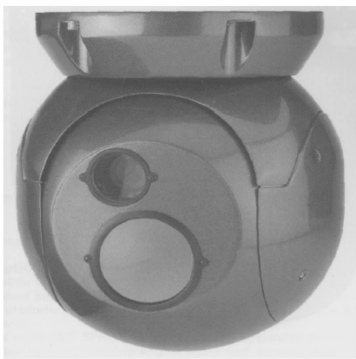

图 25　超级 7000™

Fig. 25　Ultra 7000™ of FLIR systems

FOV:22.3°~2.2°连续;

● 电源:18~32 V DC,15 A 最大。

4.6 超级 7500™/8000/8500[2~4]

超级 7500™/8000/8500(见图 26)是 FLIR 系统公司研制的轻型双传感器系统,带激光照射器,用于高空远程搜索与警戒。

超级 7500™

● 转台尺寸质量:ϕ 229 mm × 343 mm, 11.8 kg;

● 可调视场:两轴 360°连续;

● 扫描速度:0.02~50°/s;

● 稳定:光纤陀螺稳定;

● IR:像元数 320×240 InSb FPA 3~5 μm, FOV:2.2°×1.65°,22°×16°, ×10 连续变焦,内部非均匀校正;

● 昼间成像:752H×582V,PAL,460 TVL,连续变焦×18,电子变焦×4,FOV 0.7°~48°,NFOV 2.7°,灵敏度 0.2 lx@f/1.4/无滤光,3 lx@f/1.4/有滤光;

● 电源:18~32V DC;

超级 8000:

● IR:像元数 256×256 InSb FPA 3~5 μm, FOV:3.4°×2.0°,22°×16.5°,IFOV 0.12 mrad,内部非均匀校正;

● 昼间成像:752H×582V,PAL,460 TVL,连续变焦×18,电子变焦×4,FOV:48°×32°~3.4°×2.0°,电子变焦:0.67°×0.55°;

超级 8500:

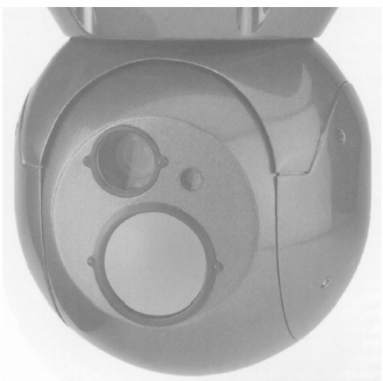

图 26 超级 7500™/8000/8500 公用转台

Fig. 26 Common turret to Ultra 7500™/8000/8500

质量增加 1.4 kg,增加激光目标指示器,用像增强夜视护目镜可以看见;

Ultra 8500FW:

IR:像元数 256×256 InSb FPA 3~5 μm,连续变焦×10, ×1.8 放大, FOV:连续或 3 档预设;

LLTV:像元数 768×494,460 TVL,连续变焦×18,电子变焦×4;

质量:13 kg。

4.7 超力 UltraFORCE™ Ⅱ[2~4]

超力 UltraFORCE™ Ⅱ(见图 27)是 FLIR 系统公司研制的高性能多传感器机载规范强制系统,其特点是:

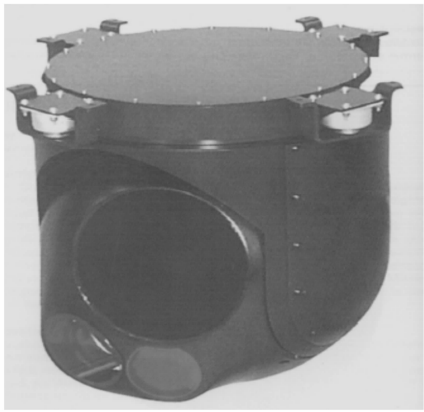

图 27 超力 UltraFORCE™ Ⅱ转台传感器

Fig. 27 UltraFORCE Ⅱ of FLIR systems

● 三载荷:高分辨力三代长波热像仪(QWIP),3-CCD 广播级高倍 TV 摄像机和双相机高倍弹着点显示器。IR 热像仪有自聚焦、自动图像优化和三视场高倍镜头。双 CCD 弹着点显示器提供超远程能力,白天彩色,夜间黑白,适合于多种载机(见图 28);

● 稳定平台:4-轴陀螺稳定;

● 转台尺度质量:ϕ 410×490 mm,39.5 kg;

● IR:三代 LW QWIP FPA,三视场自变焦光学系统,GaAs QWIP 像元数 320×240,8~9 μm, FOV:25°×18.75°,6°×4.5°,0.98°×0.74°, ×4 数字内插,长寿斯特林致冷器;

● 彩色变焦 TV:0.85 cm(1/3 in)3-CCD, 800 TVL,像元数 752×582,FOV:0.67°~36°,变焦比:×54(×27,外加×2 扩展器);

● 可选功能:双传感器弹着点显示器,人眼安全激光测距机,激光目标指示器,数字跟踪器Ⅱ。

图 28　英国超 PUMA AS332L2 直升机的 UltraFORCE™ Ⅱ

Fig. 28　UltraFORCE™ Ⅱ mounted on AS332L2

4.8　L-3WESCAM MX-15/MX-15i/MX-15D/Di 系列传感器转台[2~4]

L-3 WESCAM 公司研制的 L-3WESCAM MX-15/MX-15i/MX-15D/Di 系列传感器转台是 MX 系统中型成像转台(见图 29、30、31),包括 6 个传感器,其中两个是标准的三代凝视阵列高倍 FLIR,彩色变焦 CCD 相机。板上高性能惯性测量单元(IMU)能使目标大地位置精确定位。大地瞄准、地面驾驶、大地聚焦自动跟踪和移动地图功能全部可用。MX-15 使用较大光学口径,可提供最远程目标识别与辨认能力,并在分辨力与视轴的高稳定性间做了优化。2003 ~ 2004 年分别装备在英、美等国的军用飞机上。

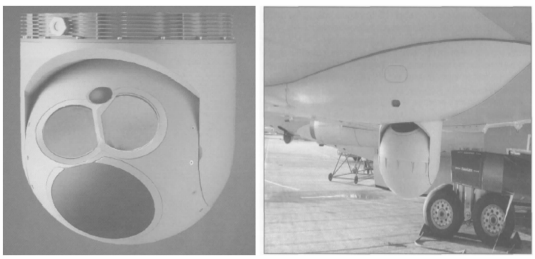

图 29　MX-15 转台(L-3 WESCAM)及在英国海港监察飞机 MR. 2 的安装

Fig. 29　MX-15 installed on the wing of an MR. 2

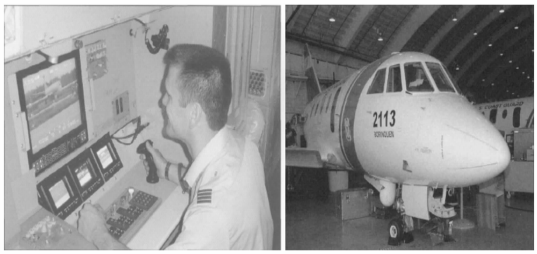

图 30　MR. 2 上的 MX-15 操作台和美海岸警卫 HU-25C 装 MX-15

Fig. 30　MX-15 on HU-25C and its operator station on MR. 2

图 31　英国直升机 HM. 1 装 MX-15 和 MX-15D

Fig. 31　MX-15 on a Royal HM. 1 & MX-15D

2005 年末设计了 MX-15i。2006 年末,采用高清技术(HD)将小型 1080p 相机(1 920 像元 × 1 080 像元)用于变焦光电和弹着点望远镜。引入实时增强局域处理(ELAP),使作用距离、特征识别能力和霾穿透性均大为提高。

MX-15D 是本系列持续发展的结果,该转台专门定制了高质量传感器高密集安装的大口径镜头。改进了图像算法,使输出图像更清晰。红外局域处理(ILAP)增大了动态范围,减小了噪声,优化了像元性能,使图像细节和景物对比度大为提高。可选滤光片提高了近红外灵敏度,使光电系统的霾穿透能力实质性增强。具有 MX-GEO 软件包的集成惯性测量单元(IMU),为用户提供了包括 GEO 定位、GEO 控制、GEO 自聚焦、自治跟踪、移动地图等功能。

MX-15 主要性能:

● 转台尺寸质量:φ 394 mm × 470 mm, 42.7 kg;

● 功耗:320/700 W;

● 转台:有源陀螺稳定,2-轴在内(纵倾/航向),2-轴在外(方位/俯仰);振动稳定,6-轴被动减振;视轴抖颤 < 10 μrad, RMS;扫描速度为60°/s;角覆盖为方位 360°连续,俯仰 -120° ~ +90°;

● 高倍热像仪:三代 InSb 像元数 640 × 480, 3 ~ 5 μm, FOV 4 种, PAL 31.8°, 6.51°, 1.30°, 0.52°(大格式),19.4°,3.91°,0.78°,0.52°(小格式);

● 彩色变焦昼间电视:3-CCD,800 TVL,FOV: 27.4° ~ 1.4°, × 19 变焦与 × 2 扩展镜 30.3° ~ 0.86°;

● 弹着点镜头 TV 相机:3-CCD 彩色或 1-CCD 单色,800 或 570 TVL ,FOV 0.29°或 0.39°;

● 人眼安全激光测距机:钕玻璃,1.54 μm,脉冲频率 12 pulse/min,作用距离 10 km(20 km 距离门),距离精度 ±5 m;

● 激光指示器:二极管激光器,860 nm,连续,800 W;

MX-15i 改进点:

● 多路电荷耦合器件(CMCCD)夜间弹着点照相机提供弱光远程识别;

● 激光照射夜间弹着点照相机提供全黑夜远程识别;

● 20 μm IR 探测阵列,数码热像仪作用距离、放大率和分辨力提高 20%;

● 第三代 MX-GEO 特性包,提供 GEO 扫描、自动电视与 GEO 跟踪(AVGT),GEO 跟踪与自适应 GEO 集成,均用于提高目标定位精度。

MX-15D 改进点:

4 个传感器增加到 6 个:昼间彩色变焦电视,带弹着点镜头单色昼间电视,高倍 4 步变焦 IR,高 MTBF 二极管泵浦激光指示器,人眼安全激光测距机、激光目标照明器。

4.9 MX-20 多传感器转台(AN/ASX-4)[2~4]

MX-20 多传感器转台(AN/ASX-4)(见图 32、33)是 L-3 WESCAM 公司 1995 年为美海军侦察机 P-3C 飞机研制的先进成像多谱系统(AIMS),满足远程识别要求,提供 × 75 IR 传感器和 × 400 EO 传感器,以及高质量 5-轴陀螺稳定和 6-轴振动隔离,以获得超低的视轴抖动,以及高精度大地定位。步进变焦镜头产生宽视场,以便远程监视与精确定位识别,而不用飞机偏离航线。从 2005 年 11 月开始,将 7 个传感器装入直径51 cm(20 in)转台:改进的高倍 4 步变焦 20 μm 热像仪、彩色变焦昼光 CCD、多路电荷耦合器件(CMCCD)弱光远程识别夜间弹着点相机、激光照明器、激光测距机、激光指示器、3 代 MX-GEO 软件包(GEO 扫描战术空间定制镶嵌地图、自动电视与 GEO 跟踪(AVGT)等用于精密跟踪的目标速度和方向估算,杂乱城区环境精密跟踪的操纵者输入自适应 GEO,2 代 MX-GEO 功能:GEO 定位/测量/关注)。其主要特性:

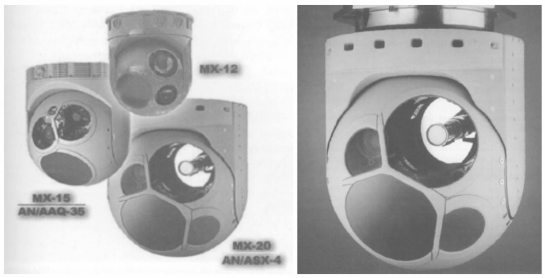

图 32 MX-12/15/20 系列及 MX-20

Fig. 32 MX family members & MX-20

图 33 加拿大 CP-140 和意大利海岸侦察机 ATR 42MP 装 MX-20

Fig. 33 MX-20 installed on a Canadian CP-140 & Italy ATR 42MP

● 转台尺寸质量:φ 530 × 670 mm, 84.1 kg;

● 功耗:500/1 000 W;

● 转台:5-轴有源陀螺稳定,6-轴被动振动隔离,视线抖颤 < 5 μrad RMS,扫描速度为 60°/s,角覆盖方位 360°连续,俯仰 -120° ~ +30°;

● 高倍 FLIR:三代 InSb,像元数 640 × 512,3 ~

5 μm,FOV:21° ~0.29°(4 级变焦,每级 0.5 s),焦距:40,200,1 000 mm,加 ×1.5 光学扩展;

● 彩色昼间变焦 TV:3-CCD,800 TVL,FOV:30.3° ~1.64°;

● 步进变焦弹着点镜头单色 TV:1-CCD,570 TVL,FOV:0.61° ~0.11°,4 级;

● 步进变焦弹着点镜头彩色 TV:3-CCD,800 TVL,FOV:0.47° ~0.09°,4 级;

● 人眼安全激光测距机:钕玻璃,1.54 μm,脉冲频率 12 pulse/min,作用距离 30 km(50 km 距离门),距离精度 ±5 m;

● 激光指示器:二极管激光器,860 nm,连续。

5 近代军用飞机光电平台的主要优点及发展趋势剖析

5.1 充分利用光电子科学与技术的最新成果

光电频谱位于电磁频谱的高端,是微波(无线电)频谱的自然扩展与延伸,与无线电科学与技术具备优良的兼容性。所有基于波动特性的无线电技术及相关信息与计算机科学技术,均可直接移植与带动光电科学与技术的发展;而那些基于粒子特性的光电子科学与技术特有的信息与能量的发射与接收手段,则赋予其独特优点。人眼安全激光器、量子阱热成像传感器、激光目标指示器、量子点半导体激光器等最新器件,在推动机载光电平台中的作用是显而易见的。

5.2 光电平台具有武器威力倍增效能

光电系统的成像能力,将在战场透明显示、目标识别、低信杂比目标探测、反隐身探测、夜间侦察与作战、防区外攻击、打击效果评估等方面,为机载武器带来了飞跃变化,诸如改概率轰炸为定点轰炸,变霰弹式攻击为精确打击等,将会在不增大战斗部署的前提下,产生显著的武器威力倍增效应。

5.3 光电平台为军事对抗新模式的形成做出重大贡献

外科手术式攻击、防区外打击、超视距攻击、全球作战等全新的军事对抗模式,促使现代战争由热兵器时代进入信息战背景下的远程精确打击时代。光电平台为远程成像侦察与打击效果评估、低可探测目标识别与瞄准、基于图像的精密末制导、激光目标指示等提供了坚实可靠的科学技术基础,而激光武器作为即将登场的新概念武器,其激光器及能源、光束对准及远程聚焦等均需光电平台的完善配合。以光电对抗为焦点的军事对抗新模式的形成,光电平台将功不可没。

5.4 多波段、多传感器、多功能集成与融合,增强光电平台信息获取能力

光电平台工作波段包括可见光、近红外、中波红外、长波红外;传感器有标准制式和高清晰度电视摄像机,微光电视摄像机,近红外、中红外、长波红外成像仪,激光测距机,激光目标指示器,激光照射器,弹着点显示器;光学镜头有定焦、分档变焦、连续变焦,还有电子焦距变倍器;承载转台有陀螺稳定的两轴、三轴、四轴、五轴转台,还有被动与主动式振动与冲击隔离装置。所有上述部件的有机集成与融合,都是为了在昼/夜、全天候环境下,快速获取景物与目标的高清晰实时动态图像,以增强光电平台信息获取能力。相对于微波而言,以光频工作的光电系统,具有本质性的高几何分辨力、高时间分辨力、高波谱分辨力的优点。

5.5 将高技术研究最新成果,即时用于提高系统探测能力

无论是对地攻击吊舱,还是侦察与瞄准转台,均应用了最新研究成果和高技术软硬件,例如,蓝宝石光学窗口用于降低雷达散射截面 RCS 和光学散射截面,微扫描技术用于提高 IR 传感器分辨力,电子焦距倍增、超变焦和数字内插用于提高等效焦距,IR 图像修整算法用于改善红外图像质量,高清晰度视频体制用于提高 CCD TV 分辨力,电子稳像和主动振动控制用于改善成像质量,激光主动照明用来适应极低照度和零照度环境,多光谱/超光谱成像用来反光学隐身,3D 激光成像探测等等,这些技术均已应用或即将用于机载光电装备上,提高系统的远程探测能力。

6 光电系统的技术难点与瓶颈

与基于微波工作的雷达相比,光电平台还很不成熟,尚存在一系列技术难点与发展瓶颈。

6.1 历史短暂,支撑基础不足

与无线电电子和微电子技术比较,光电子技术尚处于发展阶段,无论是在基础材料、元器件、制造工艺,还是在工作体制、接收与发射、探测器、传输与编/解码、防护与突防等系统级别上,均存在巨大差距。光信号的感知与变换,至今仍长期在低灵敏度、高信杂比、小动态范围、窄频带等水平上徘徊。理论与技术基础的严重不足,长期以来制约着光电子技术的发展。

6.2 技术储备甚浅,仍处于发展的初级阶段

光频段具有的本质性优势,如大信息容量、高空间/时间分辨力、宽频带宽度等,由于支撑技术储备匮乏,尚无从发挥作用,致使光电系统仍然处于发展的初级阶段。

光信号至今仍习惯于作用距离极近的直接探测,光外差接收方案长期走不出实验室的象牙塔。相比之下,采用超外差接收方案的无线电收音机,却被人们普遍认可,早已演变为低价普及商品了。

光电平台在自然非相干光照明下的被动探测,虽说是其工作隐蔽性优点的体现,但却强烈依赖于天气和太阳高角,无法适应低照度环境,遇到零照度探测,更感到十分困难。激光主动照明下的零照度成像,还未走出验证试用阶段,远未达到大批列装的技术水平。

激光雷达,历经半个世纪的研究,可用性仍似"鸡肋",同时期的超视距雷达、数千 km 级的远程预警雷达却已经林立在各战略/战术要点,成为各国威慑力量的重要组成部分。

雷达合成孔径技术,发明已近 40 年,这种成像雷达,穿透性与可视性兼备,早已广泛应用于机载与星载微波装备。光学合成孔径技术,虽然也研究了几乎同样长时间,却至今仍属阳春白雪,合者甚寡。

上述事实,表明光电子科学与技术及其工程体现的光电系统,实在是方兴未艾而又五彩缤纷的研究领域与朝阳行业,值得有识之士大加关注。

参考文献:

[1] 薛海中. 世界最新军用光电系统综览. 信息产业部电子第二十七研究所 2001 年(内部资料).
XUE H ZH. Overview of noval opto-electronic system in the world. The 27th Research Institute of Information Industrial Department. (in Chinese)

[2] Janes Electro-Optics Systems[EB/OL]. [2005-2006]. http://jeos.janes.com/public/jeos/index/shtmo.

[3] Janes Electro-Optics Systems[EB/OL]. [2006-2007]. http://jeos.janes.com/public/jeos/index/shtmo.

[4] Janes Electro-Optics Systems[EB/OL]. [2007-2008]. http://jeos.janes.com/public/jeos/index/shtmo.

[5] 2005 年~2030 年美国无人机系统发展路线图,2006 年(内部资料).
Developing route of UAV system chart in USA from 2005 to 2030. (in Chinese)

作者简介:刘 洵(1954—),女,汉族,吉林长春人,研究员,主要从事动基座光电测量设备应用研究。
E-mail:liuxun_ciom@sohu.com
王国华(1977—),男,汉族,江苏盐城人,硕士,助研,主要从事动基座光电测量设备应用研究。
毛大鹏(1979—),男,汉族,吉林长春人,助研,主要从事动基座光电平台伺服控制。
韩松伟(1980—),男,汉族,吉林蛟河人,实习员,主要从事动基座光电测量设备应用研究。
孟 中(1975—),男,汉族,吉林长春人,博士,助研,主要从事动基座光电平台信号处理及伺服控制。