

文章编号:1007-1180(2011)11-0032-06

航空侦察相机的发展分析

刘 明

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 中国科学院航空光学成像与测量重点实验室,
吉林 长春 130033)

摘 要: 航空侦察相机是应用最普遍的航空侦察设备。分析了几种典型的航空侦察相机的特点,给出了其具体参数和技术指标,根据航空侦察相机领域的发展状况和西方国家的发展动态,通过分析及对比各自的优缺点、应用前景和方便实用性,指出了航空侦察相机数字化、面阵、多光谱及集成吊舱的主要研究方向和发展趋势。

关键词: 航空侦察相机; 胶片相机; CCD 相机; 面阵 CCD; 多光谱成像

中图分类号: V447.3 文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI20112811.0032

Development of Aerial Reconnaissance Camera

LIU Ming

(Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement, Changchun Institute of Optics,
Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Aerial reconnaissance cameras are the most universal aerial reconnaissance device in applications. Several typical aerial reconnaissance cameras' characteristics were analyzed, and their technical parameters were given respectively. Based on the development of aerial reconnaissance camera and the action of some west countries in the field, the leading research direction and the development trend including the digitalize area multi-spectrum and integrated pod of aerial reconnaissance camera were put forward by the analysis and comparison of each advantage, disadvantage, preview of application, the convenience and the practicability.

Keywords: aerial reconnaissance camera; film camera; CCD camera; area array CCD; multi-spectrum imaging

*基金项目: 中国科学院知识创新工程领域前沿项目资助 (NO.070Y32R070)

1 引言

现代战争已进入信息制导时代,航空侦察是军事情报的重要信息来源、是当今世界应用最广泛的一种信息获取方式,它具有时效性强、机动灵活等特点,不仅可以在短时间内同时发现多个目标,而且还可对目标进行跟踪,因而在现代战争中发挥着越来越大的作用。航空侦察相机是应用最普遍的航空侦察设备,它经历了几代的发展历程,其功能和性能得到了不断的改善和提高。

2 相机的分类

航空侦察相机按用途可分为普查相机和详查相机,前者具有分辨力适中、覆盖面积大的特点,用于大范围侦察和监视;后者具有分辨力高的优势,适用于在普查的基础上对重点目标仔细观察分析。另外,按成像光谱范围又可分为可见光相机、红外相机、紫外相机和超光谱相机,其中红外又分为近红外、中红外和远红外,紫外相机也有紫外和极紫外的区别。按成像介质还可分为胶片式相机和 CCD 相机,按拍照方式可分为推扫、摆扫和面阵相机等。

3 航空侦察相机介绍

3.1 胶片式相机

胶片式航空侦察相机具有分辨率高、画幅尺寸大等优势,所以目前在役的航空侦察相机中有很大一部分是胶片相机。美国早在 1922 年就生产出了名为 STRIP CAMERA 的胶片相机,二战后开始大规模研制生产胶片相机,在航空军事侦察领域走在了世界前列。这里介绍具有代表性的 KS-146 相机和 KA-112A 相机。

KS-146 相机 1979 年由芝加哥航空工业公司研制成功,80 年代初定型后批量生产。现在,这种相机除了装备美国海军、空军外,还出口到以色列、埃及、土耳其、中国等国家。焦距长、照相分辨力高是 KS-146 的特点,它还具有

自动曝光控制、自动调焦控制、像移补偿控制、自动温度控制、主动稳像控制和微机控制等先进技术,是一种先进的全自动化的航空侦察画幅式相机,外形有吊舱式和折叠式两种(折叠式后改名为 KS-157 相机)。KA-112A 相机是一种倾斜全景式相机,它利用相机镜筒的旋转实现对地面景物全景扫描成像,焦距长,具有高空、大倾角、远距离侦察能力,这种相机是在 KA-99A 相机的基础上改进设计而成的。图 1 为这两种型号相机的外观照片,表 1 为它们的性能参数对比情况。

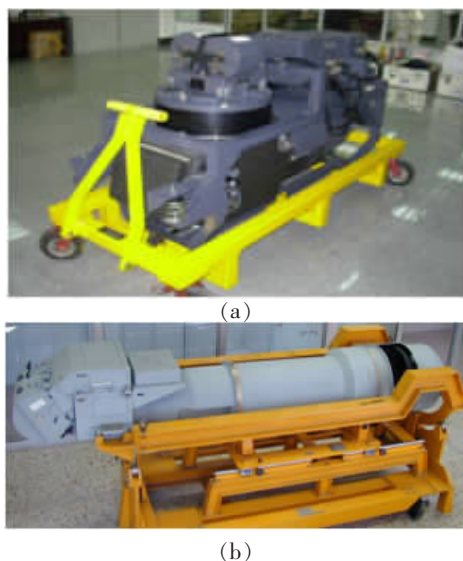


图1 KS-146 (a) 和KA-112A (b) 相机

3.2 CCD 相机

随着 CCD 器件的诞生和各项性能的不不断提高,CCD 式航空侦察相机得到了蓬勃、快速的发展,大致经历了 3 个发展阶段。这里介绍水平较高的 DB-110 和 CA-295 相机^[1]。

DB-110 是中高空可见/红外双波段航空侦察相机,拍照高度为 10 000~80 000 ft,可昼/夜侦察拍摄。它采用内部自稳定的稳像方式,在振荡剧烈的环境下工作仍可获得高分辨率的图像^[2]。具有大面积搜索、点目标捕获、目标跟踪和立体成像方式交错进行的能力。CA-295 是一种中高空长焦距斜视光

表1 KS-146和KA-112A相机性能参数

相机 参数	KS-146	KA-112A
焦距	1 676 mm	1 830 mm
相对孔径	<i>F</i> 5.6	<i>F</i> 5.6
横向视场角	21.4°	30°
纵向视场角	3.9°	3.5°
快门	可变狭缝式焦面帘幕快门	可变狭缝式焦面帘幕快门
曝光时间	1/1 500 s ~ 1/30 s	1/5 000 s ~ 1/125 s
重叠率	12%或56%	扫描角15°时纵向重叠55%
分辨率	70 lp/mm (目标对比度20:1)	84 lp/mm(目标对比度2:1)
自动控制	自动像移补偿, 自动检调焦, 自动检调光	自动像移补偿, 自动检调焦, 自动检调光
胶片类型	EK3412	EK3412
胶片容量	305 m	610 m
电源	交流115 V, 400 Hz, 700 VA 直流28 V, 200 W	交流115 V, 400 Hz, 520 VA 直流28 V, 280 W
重量	423 kg	288 kg
外形尺寸	1 524 mm(L)×546 mm(W)×914 mm(H)	2 774 mm(L)×594 mm(W)×483 mm(H)

电侦察相机, 可以红外和可见光双波段同时或分别拍照, 它代表了当前航空侦察相机领域的较高水

准^[3], 两种类型相机如图2所示, 表2为这两型相机的性能参数对比。



图2 DB-110 (左) 和CA-295 (右) 相机

表2 DB-110和CA-295相机性能参数

相机 参数	DB110		CA-295	
	可见光	红外	可见光	红外
焦距	2 794 mm	1 397 mm	1 270 mm、1 829 mm、2 134 mm	1 270 mm
相对孔径	<i>F</i> 10	<i>F</i> 5	<i>F</i> 4、 <i>F</i> 5.8、 <i>F</i> 6.7	<i>F</i> 4
单帧视场角	1.05°×1.05°	1.05°×0.5°	2.27°×2.27°、1.58°×1.58°、1.35°×1.35°	2.27°×2.27°
光谱范围	0.4~1 μm	3~5 μm	0.5~0.9 μm	3~5 μm
CCD类型	线阵	面阵	面阵	面阵
像元数	5 120×64	1 024×484	5 040×5 040	2 016×2 016
像元尺寸	10 μm×10 μm	25 μm×25 μm	10 μm×10 μm	25 μm×25 μm
最大帧速率	2.5 fps	2.5 fps	4 fps	4 fps
飞行高度	3.05~24.38 km		15.25 km	
重量	140 kg		181.6 kg	
外形尺寸	1 270 mm(L)×470 mm(W)×470 mm(H)		1 244.6 mm(L)×508 mm(W)×508 mm(H)	
载机	黄蜂侦察机		F/A-18	

3.3 世界知名航空侦察相机制造厂商

全球知名的 CCD 相机制造厂商及其产品主要有美国 BAE Systems 公司（前身为洛克希德-马丁红外成像部）和它的 AN/AAD-5、D-500 红外扫描仪和吊舱系列产品；英国 THALES Optronics 公司（前身为 W.Vinten 公司）及其 TYPE8010、8220、8042 和 MDS610 等相机；德国 Carl Zeiss Optronics 公司及其 VOS60 相机等；美国 Goodrich 公司及其 DB-110 相机等；美国 ROI 公司及其 CA 系列相机如 CA-260、CA-261、CA-265、CA-270、CA-290、CA-295 等^[4]。

4 发展趋势分析

航空侦察相机经过近一个世纪的发展历程，经历了多次改进与更新，其发展趋势大致有以下几项。

4.1 CCD 数字化成像

胶片型相机拥有性能可靠、分辨率高、覆盖范围大、控制技术成熟等优点，但存在结构复杂、附属设备多、获得图像时间长等缺陷，而 CCD 相机拥有的优点正好能弥补胶片相机的缺点^[5]，包括：

(1) 采用 CCD 器件做图像传感器，利用一系列数字化存储、压缩和无线电传输技术，可实时或近实时得到拍摄的场景信息，通过相机与飞机的导航系统交联，可以确定出目标的位置，为指挥部门分析判定目标、把握战机，提供实时、超视距的情报；

(2) 实时或近实时的数字图像传输避免了返航后处理的风险；

(3) 减少了诸如储片、输片和收片等机构，缩小了部件体积，使相机系统结构紧凑，可靠性高；

(4) 普通胶片的感光光谱波段为 500~700 nm，而 CCD 光电传感器的光谱带宽可达 500~900 nm，在成像条件如有雾时，也能获得高倍噪比的图像。

当然，CCD 成像在照片的细节和层次上要差于胶片型相机，且分辨力也要低些，不过，随着传感器技术的不断更新和加工工艺的持续提高，相信 CCD 相机的性能将不断改善。到目前为止，

世界各国在 CCD 相机上投入的比重远远超过了胶片相机，因此，当前航空侦察相机领域处于胶片相机与 CCD 相机并存但重点在于发展 CCD 相机的阶段。

4.2 CCD 面阵成像

面阵成像又称分幅式成像，它相对线阵推扫式成像具有以下两大优势^[6]：

(1) 线阵推扫式相机工作时，行与行之间的图像信息是从空间不同点获得的，然后再合成一幅，这样，从一行到另一行的成像因载机横滚、俯仰和偏航的差异将导致图像失真。采用面阵分幅式照相时在空间一点拍照整幅图像，可以获得很高的几何保真度，并可采用立体图像精确地跟踪目标。以上两种方式照相的示意图如图 3 所示，图 4 为这两种方式下航拍图像的对比，它们分别来自徕卡 ADS40 推扫式 CCD 相机和面阵 CCD 相机，可见前者的图像存在较明显的扭曲，后者保真度较高^[7-8]。

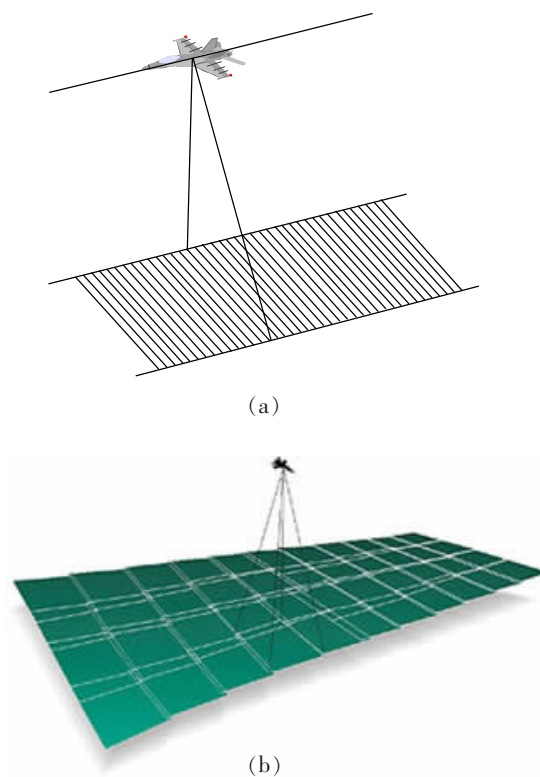


图3 线阵推扫式 (a) 与面阵成像 (b) 方式示意图

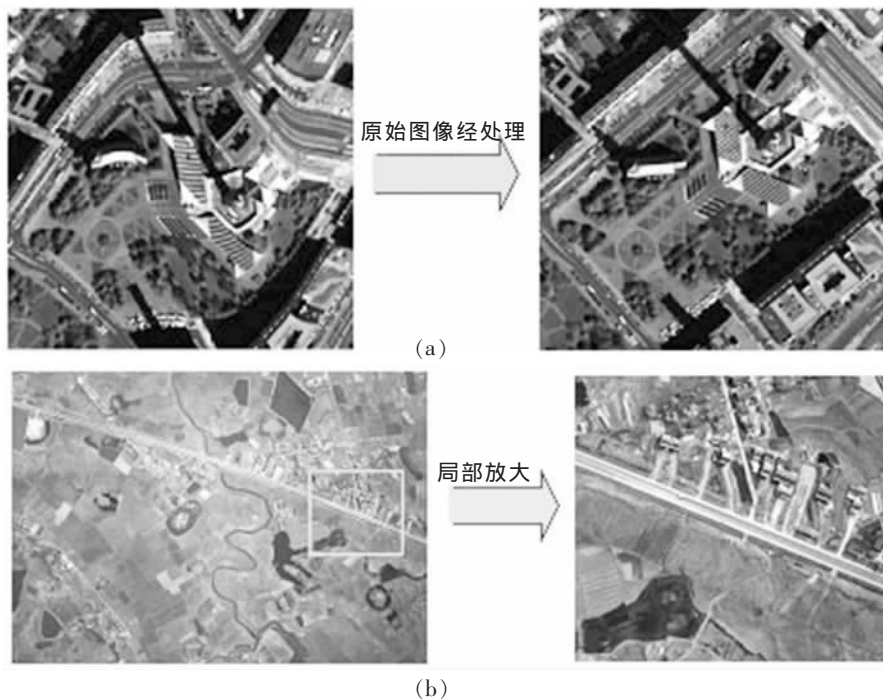


图4 线阵推扫式图像 (a) 与面阵图像局部放大 (b) 对比

(2) 面阵 CCD 分幅式成像在相同时间内比线阵 CCD 获得的信息量大, 具有更大的地面覆盖宽度, 所以在获取同等数量的信息时所需要的时间比线阵 CCD 短得多。如图 5 所示, 以美国的 CA-260 相机为例, 焦距 75 mm, 视场角 26.5° , 载机飞行高度 1 000 m, 速度 890 km/h, 当用线阵 CCD 推扫式 (地面垂直距离 2 000 m) 倾斜拍摄一条长 3 000 m、宽 1 000 m 的跑道时, 载机需在此高度飞行拍照的时间为:

$$t_1 = \frac{3\,000}{890/3.6} = 12.13 \text{ s} \quad (1)$$

而用面阵 CCD 分幅式相机拍照需要的时间为:

$$t_2 = \frac{457}{890/3.6} = 1.85 \text{ s} \quad (2)$$

可见面阵 CCD 分幅式成像大大缩短了在敌区域暴露的时间, 提高了载机及飞行员的生存力。

从目前国外在役的相机来看, 面阵 CCD 成像是最主要的照相方式, 它是今后发展的主要方向之一。

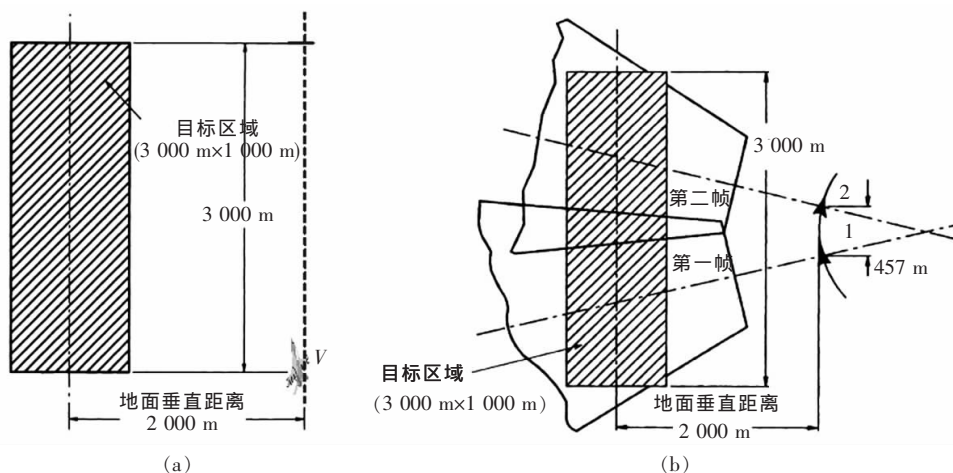


图5 线阵推扫式成像 (a) 与面阵成像 (b) 所用时间对比

4.3 多光谱成像

普通的光电成像技术主要依靠图像对比度和高的空间分辨率来分辨感兴趣的目标与周围背景,而光谱成像传感器是依靠目标与背景杂波的固有光谱差别,具有更好的反伪装、反隐身和反欺骗能力。因此,多光谱相机的发展受到了日益广泛的重视。

通常的多光谱侦察相机包括可见与红外两个波段,克服了传统可见光相机的缺陷,可全天候对目标进行侦察;而工作波段在 0.4~1.5 μm 、光谱分辨率为 0.01 的超光谱成像系统则能区分绿色帆布或坦克上的伪装涂料颜色;另外,工作波段中远红外、光谱分辨率为 0.001 的极光谱成像技术可用于分析类似气体物质,适合用来探测分析烟缕成分或空气中是否存在神经性毒剂等。可见光谱成像具有广泛的应用领域和良好的应用前景,有利于对目标进行全方位、多角度、立体式的分析处理,以期获得更加丰富的信息量。

4.4 吊舱式侦察系统

在航空侦察设备研制的初期,为避免对专用飞

行平台的需求,就已经提出了方便实用的吊舱式侦察系统,以降低对载机的要求,提高侦察设备的灵活性和通用性。另外,随着对侦察设备功能及性能要求的不断提高,需要集成的各类辅助设备也在逐渐增多,因此,使航空侦察设备模块化,将各种不同类型和功能的航空侦察设备组合在一起,装载于通用侦察吊舱中,挂装在不同类型的侦察机中,甚至是战斗机上,可有效降低设备的使用成本,提高使用效率。

在欧美等一些国家,吊舱式侦察系统已得到了广泛的应用,具有常见接口的通用侦察吊舱获得了大量的订货并装备部队,包括装配了 KA-112A 胶片相机的 LORAP 吊舱系统和 TARPS 系统、装配 W. Vinten 公司 TYPE8042 相机的泰勒斯 (Thales) 联合侦察吊舱 (JRP)、雷声 (Raytheon) 公司的先进前视红外 (ATFLIR) 吊舱 (AN/AAQ-228) 和共享侦察吊舱 (AN/ASD-12 (V) SHARP), 以及古德里奇 (Goodrich) 公司装配 DB-110 相机的 RAPTOR 侦察吊舱等。

参考文献

- [1] Lareau A G, Partynski A J. Dual-band framing cameras: technology and status[J]. *SPIE*, 2000, 4127: 148-156.
- [2] Farrier, Michael G, Kamasz, *et al.* Megapixel image sensors with forward motion compensation for aerial reconnaissance applications[J]. *SPIE*, 1993, 2023: 80-92.
- [3] Lareau A G. Electro-optical imaging array with motion compensation[J]. *SPIE*, 1993, 2023: 65-79.
- [4] Partynski A J. Dual band framing reconnaissance camera.: USA Patent, US6694094[P]. 2004-02-17.
- [5] 黄文彬, 高连义, 王杰刚. 航空摄影的走向与变化[J]. 西北测绘信息, 2000(1): 6-8.
- [6] 刘明, 修吉宏, 刘钢, 等. 国外航空侦察相机的发展[J]. 电光与控制, 2004, 11(1): 56-59.
- [7] 耿立中, 编译. KA-112A 全景式航空照相机[M]. 北京: 中国人民解放军空军司令部情报部, 1988: 8-12.
- [8] 王光, 编译. KS-146 长焦距航空照相机[M]. 北京: 中国人民解放军空军司令部情报部, 1989: 6-15.

作者简介: 刘明 (1977-), 男, 江西丰城人, 博士, 副研究员, 2005年于中科院长春光机所获得博士学位, 主要从事航空遥感器的研究。E-mail: jxlium@163.com。