

海军重点建设教材

# 航空摄影原理

Principles of Aerial Photography

赵育良 等编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

海军重点建设教材

# 航空摄影原理

赵育良 许兆林 王淑娟 赵宏强 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

·北京·

## 内 容 简 介

本书充分考虑到航空摄影技术的发展,着力突出航空特色及任职教育特色。作为航空侦察专业的任职基础课程,本书兼顾传统摄影理论,充分融入新型航空摄影理论成果,以情报生成为主线,以任职岗位需求为牵引,突出部队现有航空摄影侦察体系理论核心,兼顾航空摄影理论前沿发展趋势,从航空摄影概述及摄影基础切入,以航空相机结构原理、感光材料、光电成像器件、航空图像的处理和图像判读基础等内容展开,注重理论与实际结合,突出理论的实际应用特色。

### 图书在版编目(CIP)数据

航空摄影原理/赵育良等编著. —北京:国防工业出版社, 2017. 12

ISBN 978-7-118-11492-8

I. ①航… II. ①赵… III. ①航空摄影-教材 IV. ①TB869

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 312874 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印刷

新华书店经售

\*

开本 710×1000 1/16 印张 23¼ 字数 430 千字

2017 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 59.00 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

# 前 言

本书是根据航空侦察专业人才培养方案和“航空摄影原理”课程标准编写的任职基础教材,适于航空侦察类学员使用。对应同名的课程是航空侦察专业必修的一门主干课程,是任职基础课程。该课程是任职基础平台的主要支撑课程,对航空侦察专业人才培养目标的实现具有重要支撑作用,是海军重点建设课程。

近年来,摄影技术日新月异,传统侦察平台已发生了革命性的变化,航空摄影在保留原有胶片影像侦察设备的基础上,出现了大量新型数字影像侦察设备,而且这些设备在现代航空侦察体系中起着至关重要的作用。教材充分考虑到航空摄影技术的发展,对内容进行重组更新,着力突出任职教育特色。教材在内容体系构建上,以情报生成流程为主线,以任职岗位需求为牵引,突出部队现有航空摄影侦察体系理论核心,兼顾航空摄影理论前沿发展趋势,从基础摄影理论到航空摄影理论,从航空摄影物理基础到航空摄影技术及判读,每一部分内容逐次递进,深入浅出,充分考虑本专业学员的任职特点,在补充基础理论的同时,适当加强理论深度,为后续专业任职课程的学习做好准备。

本书共分八章。第一章绪论部分,介绍航空摄影的发展简史、航空摄影系统的基本情况以及摄影的一般过程;第二章航空摄影物理基础,主要介绍电磁波与电磁波谱、大气及大气烟雾和景物的光学特性等基础知识;第三章航空相机结构及原理,从相机的基本结构入手,介绍航空相机的光学系统、曝光系统、调焦系统及稳像系统等几大系统的构造及原理;第四章感光材料与光电成像器件,从模拟及数字两个方面对感光材料进行了详细介绍;第五章航空摄影曝光原理,主要介绍航空相机曝光的影响因素、原理及作用;第六章航空摄影技术,从航空摄影规划、航空摄影计算等方面进行了介绍;第七章航空图像处理技术,主要包括航空模拟、数字图像处理等两个方面的内容;第八章航空图像判读,主要介绍航空图像的观察方法、目标的识别特征及其综合运用。

赵育良副教授编写了本书第二、三、四、五、八章,并负责教材内容选定及整个教材的统编,许兆林教授编写了第一、六章,王淑娟及赵宏强副教授编写了第七章并进行了文字录入及校对工作。编写过程中,姜茂仁教授对本书提出了许多宝贵意见,在此表示诚挚的感谢。

本书既可作为航空侦察专业任职基础课程教学用书,亦可作为部队、院校相关专业人员学习的参考用书。由于编者水平有限,全书难免存在错误和不足之处,敬请读者批评指正。

编者

2017年2月

# 目 录

第一章 绪论	1
第一节 航空摄影的发展	1
一、初始发展阶段(1858年—1945年)	1
二、完善发展阶段(1946年—1970年)	3
三、光电数字传输阶段(1971年至今)	4
第二节 航空影像侦察设备技术综述	5
一、航空侦察系统的优势	5
二、侦察平台及侦察设备发展现状	6
三、航空影像侦察技术展望	9
第三节 航空摄影系统及应用	11
一、航空摄影系统	12
二、航空摄影的应用	14
练习题	15
第二章 航空摄影物理基础	16
第一节 电磁波与电磁波谱	16
一、电磁波的特性	16
二、电磁波谱	20
第二节 辐射及其度量	22
一、辐射定律	22
二、辐射源	24
三、辐射的度量	27
第三节 色的知识	39
一、色的概念	40
二、色的分类和特征	40
三、色光混合规律	41
四、物体的颜色	43
第四节 大气光学特性	45

一、大气的成分和结构 .....	46
二、大气对光的折射、吸收和散射 .....	47
三、大气透明度 .....	51
四、大气烟雾 .....	54
第五节 景物的光学特性 .....	57
一、景物的照度 .....	58
二、影响景物照度的因素 .....	58
三、景物的亮度特性 .....	65
练习题 .....	72
<b>第三章 航空相机结构及原理 .....</b>	<b>74</b>
第一节 航空相机的基本结构 .....	75
一、机身 .....	76
二、暗盒 .....	77
三、座架 .....	80
四、操纵器 .....	81
第二节 航空相机光学系统 .....	82
一、镜头 .....	82
二、滤光镜 .....	106
第三节 航空相机曝光系统 .....	116
一、光圈 .....	117
二、快门 .....	118
第四节 航空相机调焦系统 .....	125
一、调焦的意义 .....	125
二、影响离焦的因素 .....	126
三、调焦技术 .....	129
第五节 航空相机稳像系统 .....	141
一、像移及其补偿 .....	142
二、像稳定技术 .....	143
第六节 常用航空相机的类型 .....	157
一、画幅相机 .....	157
二、缝隙相机 .....	158
三、全景相机 .....	160
练习题 .....	166

第四章 感光材料与光电成像器件	168
第一节 黑白感光材料	168
一、黑白感光材料的结构	168
二、潜影的形成	174
三、可见影像的形成	178
四、感光材料的特性曲线	179
五、黑白感光片的主要特性	188
六、照相纸的主要特性	207
七、黑白感光材料的主要类型	209
第二节 彩色感光材料	211
一、彩色片的结构	211
二、成色剂和彩色感光材料的成色原理	216
三、彩色摄影处理	216
四、彩色感光材料的分类	217
五、彩色感光材料色的再现过程	218
六、彩色感光片的感光特性	221
第三节 光电成像器件	227
一、CCD 成像器件	227
二、CMOS 成像器件	238
三、红外光电成像器件	241
练习题	248
第五章 航空摄影曝光原理	249
第一节 影响曝光的因素	249
一、感光片的感光度	250
二、光线的变化	250
三、景物的反光性质	252
四、滤光镜的作用	252
五、光圈系数和快门速度的组合	252
六、互易律失效	252
第二节 曝光原理	253
一、曝光的概念	254
二、曝光参数方程	254

三、加法系统(APEX) .....	256
四、曝光的作用 .....	258
第三节 非自动曝光相机的曝光 .....	260
一、曝光算法 .....	260
二、曝光计算盘 .....	262
第四节 自动曝光相机的曝光 .....	265
一、设定感光度/滤色镜 .....	265
二、测量被摄体的亮度 .....	265
三、自动曝光控制原理 .....	271
练习题 .....	273
<b>第六章 航空摄影技术 .....</b>	<b>275</b>
第一节 航空摄影种类和特点 .....	275
一、垂直航空摄影 .....	275
二、倾斜航空摄影 .....	276
三、并列航空摄影 .....	277
四、摇摆航空摄影 .....	278
第二节 航空摄影规划技术 .....	280
一、航空摄影过程 .....	280
二、航空摄影规划设计 .....	281
第三节 像面上的特别点和特别线 .....	282
一、像主点( $o$ ) .....	282
二、像底点( $n$ ) .....	283
三、等角点( $C$ ) .....	283
四、主纵线( $VV$ ) .....	283
五、主横线( $h_0h_0$ ) .....	283
六、等比线( $h_ch_c$ ) .....	283
七、地平线( $h_ih_i$ ) .....	283
八、主合点( $i$ ) .....	284
第四节 航空摄影的比例尺 .....	284
一、垂直摄影的比例尺 .....	284
二、倾斜摄影的比例尺 .....	286
第五节 航空摄影计算 .....	295
一、航空摄影重叠率和影像位移量 .....	295

二、平直等速飞行的垂直照相诸元计算 .....	297
三、平直等速飞行的倾斜照相诸元计算 .....	303
练习题 .....	308
<b>第七章 航空图像处理技术 .....</b>	<b>309</b>
第一节 模拟图像的处理 .....	309
一、显影 .....	309
二、定影 .....	318
三、水洗 .....	322
四、干燥 .....	323
五、航空胶片的冲洗及印放技术 .....	323
六、影像质量分析 .....	329
第二节 数字图像的处理基本知识 .....	336
一、数字图像处理的发展历史 .....	336
二、数字图像处理及其特点 .....	337
三、数字图像处理的目的是主要内容 .....	340
四、图像技术的内涵 .....	343
五、数字图像处理系统构成 .....	344
练习题 .....	347
<b>第八章 航空图像判读 .....</b>	<b>348</b>
第一节 航空图像判读技术的发展 .....	348
一、目视判读技术 .....	349
二、影像判读专家系统 .....	352
三、影像交互判读技术 .....	353
第二节 目标的识别特征及其综合运用 .....	353
一、目标的识别特征 .....	353
二、目标识别特征的综合运用 .....	357
练习题 .....	359
<b>参考文献 .....</b>	<b>360</b>

# 第一章 绪 论

航空摄影就是借助航空器,按规定的技术要求,利用各种成像传感器从空中一定高度对地面进行摄影的过程,其目的就是为了获取某一指定地区地面物体的影像资料。航空摄影不仅在地理测绘、资源勘探、城市规划、农业水利工程、土地利用、环境监测、防震减灾及国家重点建设项目等方面有良好的应用,而且在军事斗争中占有重要地位,其中航空摄影侦察是获取地面军事目标信息的重要手段,它克服了地面侦察设备受地球曲率和地形障碍物对视线的限制,又可弥补卫星侦察的细节和时效不足,具有机动灵活、准确、针对性强的特点,可以在短时间内发现目标,向作战指挥部门提供实时的侦察情报信息,因而在现代局部战争中发挥着越来越大的作用。

## 第一节 航空摄影的发展

任何一门科学和技术的形成与发展,总是和时代的发展和要求相一致,不可能超越时代,航空摄影当然也不例外。它的形成是与工业革命、传感技术、航空技术以及计算机技术的发展相联系,与军事侦察、环境监测和资源开发的需要相适应的。航空摄影发展至今,大体经历了三个阶段:初始发展阶段、完善发展阶段和光电数字传输阶段。

### 一、初始发展阶段(1858年—1945年)

18世纪发源于英国的工业革命,被人们称为人类使用铁器后的第一次技术革命,以蒸汽机为标志的新技术极大地推动了纺织业、交通运输业、冶金钢铁业等行业,从而为航空摄影的产生、运用创造了极为良好的技术环境。航空摄影是伴随着影像技术、航空技术的发明、发展而产生的。进入19世纪,1816年,法国人尼埃普斯(N. Niepce)成功地制造了世界上第一架摄影机。1839年,法国人路易斯·达盖尔(L. Daguerre)发明了银版摄影法。1858年,法国人纳达(Nadar)乘气球在巴黎近郊拍摄帕提特·比西特村取得了具有重要历史意义的第一幅空中照片。到了19世纪70年代,人类文明踏上了以电磁研究的突破并广泛应用为主要标志的第二次技术革命的历程。伴随着工业革命的 second wave,在19世纪末

20 世纪初人类航空史上最伟大的发明——蒸汽发动机飞机(〈俄〉莫扎依斯基, 1882 年)、内燃发动机飞机(〈美〉莱特兄弟, 1903 年)相继飞上了天空。飞机发明以后, 1909 年 4 月, 美国人维尔柏·莱特(Wilbur. Wright)在意大利大逊多塞里城乘飞机进行空中摄影。1913 年, 俄国人波奇(B. Notte)设计制造了能够连续拍摄 50 张照片的半自动航空相机。至此, 运载器、遥感器、感光材料等物质技术条件的具备, 开辟了航空摄影的前景。

第一次世界大战(1914 年—1918 年)期间, 由军队技术装备发展所导致的战争的形式、战争的纵深等军事变革对军队侦察提出了新的要求。这样, 航空摄影很自然被纳入了侦察情报领域, 并被迅速而广泛地运用。当时, 德国 35% 的飞机用于航空摄影。法国开展高强度航空侦察, 有时一昼夜需要处理的航空照片达一万张以上。为取得质量良好的照片, 各国不断改进航空摄影机、胶片、照片洗印技术, 并逐步形成了航空摄影设备学科和航空摄影冲洗学科。同时, 由于航空摄影所取得的目标影像有独特而复杂的图形特征, 照片所包容的地面景物、地面目标有非常庞大的信息, 为取得有价值的情报, 逐步产生了研究识别目标的空中摄影判读学科。这样, 航空摄影侦察在第一次世界大战时就形成了较完整的军事侦察情报体系。

第一次世界大战结束以后, 航空摄影在地质、森林、铁路勘察和制作地图等领域广泛应用, 使航空摄影技术、理论和实践都有了较大的发展。

第二次世界大战(1939 年—1945 年)期间, 伴随着产业革命、经济发展的军事革命, 使军队的组织结构、作战方式发生了极其深刻的变革, 惨烈的军事斗争和复杂的战场状况对航空摄影侦察提出了更高的要求, 促使航空摄影在战术技术等方面迅速发展, 在不断完善黑白摄影的同时, 应用了红外、彩色、光谱空中摄影。英国皇家空军于 1939 年组建了人类历史上第一支专业从事空中侦察任务的飞行分队。当时用的是 F-24 型空中侦察照相机, 这种专为空中侦察设计的照相机配备有 125mm 和 550mm 两种定焦距镜头, 它被装在英国制造的莱桑德和布兰海姆轻型侦察飞机的机身下方, 这同第一次世界大战相比可以说是一个了不起的进步。后来, 英国空军侦察机的老式的 F-24 型 125mm 镜头航空相机被更为先进的 F-52 型 820mm 镜头航空相机所取代, 这种相机一次可以照 500 张照片, 可以在 3 万英尺的高空清楚地显示出地面上一个骑着自行车的人。1942 年英军通过航空侦察, 查明德军 V-1、V-2 火箭研制基地, 英军发动“长弩行动”, 出动 600 架飞机, 投弹 2000t 将其摧毁; 查明并摧毁了德军在法国海岸部署的 96 个发射架, 解除了飞弹对英国的威胁。1944 年英美军队在诺曼底登陆战役中, 进行了大规模的航空摄影侦察, 判明了德军的防御部署、障碍物, 纵深交通状况和登陆地段的地形地物, 为登陆部队提供了详细的情报图像资料; 盟军在

进攻西西里岛的战役中,共进行了 1100 次航空摄影,港口等重要地段几乎每天摄影一次。战争的实际运用证明,航空摄影侦察作为军事情报的一个重要领域,得到广泛一致的认同。航空摄影侦察的完善发展成为历史的必然。

## 二、完善发展阶段(1946 年—1970 年)

第二次世界大战结束后,世界在相对和平稳定的形势下,迎来第三次技术革命,这个以雄厚的自然科学理论研究为基础的广泛出现的新型技术群,逐步地、极其深刻地影响着社会经济的发展。同样也极其深刻地影响着军队建设,引发了新一轮由量变到质变的军事革命。就航空摄影侦察而言,由于现代科学技术的渗透介入,侦察技术、侦察手段产生突破性进展。这些不断完善发展的技术和手段在漫长的近半个世纪的局部战争、低强度冲突和冷战军备竞赛舞台上扮演着日益重要的角色。其中,主要体现在航空摄影侦察、空间摄影侦察、成像传感器技术、图像传输处理技术、图像判读技术及情报成果应用等六个方面。

航空摄影侦察紧密地伴随着迅速发展的航空技术而发展,各军事强国都装备当时最先进的飞机用以执行战时和平时的侦察、监视任务。20 世纪 50 年代初,美国为了更好地从空中偷猎他国的军事秘密,开始研制一种专用的远程侦察机,这就是 U-2 高空侦察机。当时 U-2 是世界上最先进的侦察机,配有 8 台自动高倍相机和电子侦察等系统,所用的胶卷达 3.5km 长,能把宽 200km、长 5000km 范围内的景物拍下并冲印成 4000 张照片。该型机只要在美国飞 12 次,就能把美国全国情况拍个遍,且清晰度很高。在 2.44 万 m、1.5 万 m、1 万 m 高空拍摄时,从所拍照片上可分别区分出步行与骑车人、报纸大字标题与墙上广告。通常当执行完空中侦察任务的飞机刚一着陆,首要的事情就是赶紧把飞机上的胶片取出来,并立即送往洗印车间去冲洗出来,因为在这些照片中往往会有最近的战情动态,在战场上,几个小时都会发生意想不到的变化。为了抢时间,美国军方委托柯达公司研制了一台一次可冲洗 1000 英尺胶片的 A-9 型冲洗机。大概在飞机归来的几个小时之后上千张黑白照片就可以摆在判读人员的桌子上。此外还研制装备其他侦察机,如美军的 SR-71 战略侦察机最大速度 3700km/h,实用升限 26600m,装有可见光摄影机 1 部、红外扫描相机 2 部、侧视成像雷达 1 部,其成像覆盖面积每小时达 15 万 km<sup>2</sup>。俄军的苏-32、米格-25P 侦察机侦察性能十分优良,其中,米格-25P 实用升限达 30000m。在数量型号极其庞杂众多的有人驾驶侦察飞机之外,各国竞相发展造价低廉、机动灵活的侦察直升机和无人驾驶侦察飞机,从而构成多层次、多机种、多型号的可以完成各种侦察任务的飞行侦察平台体系。

随着科技特别是电子技术的飞速发展,各种摄影传感器应运而生,有性能优

良的可见光、多光谱、红外扫描等相机;以及合成孔径雷达、微波全息雷达等侦察装备。航空相机从单纯的光机式、非自动小型简单航空相机,逐步发展到光机电结合、高分辨率、参数自动引入、自动曝光控制、自动像移补偿和自动调焦的胶片型全自动航空相机。

以下是不同时期不同形式的战例,说明了航空摄影侦察在战争中的地位:

20世纪50年代初朝鲜战争中,美军仁川登陆前,通过 RF-80 战术侦察机摄影侦察,查明高潮和低潮时码头距水面的距离以确定使用上陆方式,其测量误差小于 10cm。

20世纪60年代越南战争中,美军仅溪山战役一役,先后出动 RF-4C、RF-101 战术侦察机 1400 架次,拍摄胶片长度达 100 万英尺。

1968年,美国 U-2、SR-71 战略侦察机对越南北方摄影侦察,取得了包括机场、导弹、高炮、雷达、交通枢纽、后勤仓库等目标的详尽资料。在越战期间,美军还出动无人侦察机 3400 余架次,侦察成果回收率高达 90%。

### 三、光电数字传输阶段(1971年至今)

1970年美国贝尔实验室的 W. S. Boyle 和 G. B. Smith 两位科学家研制出 CCD 器件。CCD 器件问世后,由于以 CCD 为接收器的航空相机在大气条件差时(有雾),能减去雾气生成的背景,获得高信噪比的图像并把图像实时传输到地面站或者舰船上,同时由于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、超视距的情报信息。所以,世界军事强国皆着力于研究和发 展航空 CCD 侦察相机,其中,美国处于领先水平。20世纪70年代中期,美国伊台克(ITEK)公司把胶片型的 KA-102 相机改装成可使用 CCD 为接收器的两用相机,型号为 KA-102/EO,该相机光学系统为折射式,焦距 1.68m,相对孔径 1:4,视场角 3.9°,相机重 522kg,长 2.95m。采用 5 片 CCD,每片有 1728 个像元,像元尺寸为 13 $\mu$ m,在斜距 58.6km 时,地面像元分辨率为 0.45m。70年代后期,仙童(FAIRCHILD)公司开始研制焦距 3.66m、相对孔径 1:12、视场角 6°的 CCD 相机,采用 6 片 TDICCD。该相机 80 年代在 C141 飞机上进行多次试飞,当飞机高度 9km、斜距 54km、图像对比 1.00125:1 时,地面像元分辨率为 0.3m,在浓雾条件下,斜距 54km,仍能提供有用的情报。20世纪80年代后期,美国伊台克公司生产了 ES-250 轻型 CCD 相机,该相机采用全反式光学系统和 10000 像元的 TDICCD 器件,焦距 2.54m、相对孔径 1:10、视场角 3°,具有可见光和近红外两个波段,质量 126kg,在斜距 100km 时,地面像元分辨率理论值为 0.5m。

目前 CCD 相机已相当成熟,如在作战条件下,胶片系统典型的分辨率为

70~75线对/mm,而美国研制装备的10240×10240像元、像元尺寸9 $\mu\text{m}$ 的CCD相机,其地面分辨率与胶片型的分辨率相当,同时储存和后期处理方便,特别是图像能够实时传输和大画幅CCD器件的应用,胶片型相机已逐步退出航空影像侦察设备领域。

现在航空摄影侦察平台主要是有人驾驶侦察机、无人侦察机和侦察直升机等,所载的侦察设备一般包括航空CCD相机、红外侦察系统和合成孔径雷达等。

目前,世界范围内航空摄影的发展趋势表现在以下几方面:

一是进行航空、航天摄影的优势融合,系统地获取地球表面不同分辨率的航空图像数据。

二是图像传感器向超光谱、小型化、高分辨率、高灵敏度方向发展。

三是航空摄影侦察图像信息处理实现光学—计算机混合处理及实时处理,对目标图像进行自动识别(判读)与分类。

## 第二节 航空影像侦察设备技术综述

航空侦察是军事侦察的重要组成部分,它克服了地面侦察设备受地球曲率和地形障碍物对视线的限制,又可弥补卫星侦察的细节和时效不足,自第二次世界大战以来一直是战场情况瞬息万变的现代战争中不可或缺的重要侦察手段,在支持全球军事行动和国家安全任务上起着非常重要的作用。航空侦察系统能够准确获取目标的特征参数,判定目标的属性和类别,引导各种作战平台和武器系统对目标实施准确的攻击和有效的防御;同时,航空侦察系统能够迅速而准确地获取空中、地面和海面的战场信息,为各级指挥员的决策奠定信息基础,并可以显著提高武器系统的作战范围、攻击精度和作战效能,增强对战场的感知能力和综合处理能力,是现代战场上的一种力量倍增器。

### 一、航空侦察系统的优势

航空影像侦察与其他侦察手段相比,其具有的独特优势主要体现在以下几方面:

(1) 由于采用了升空平台实施侦察,克服了地面侦察设备受地球曲率和地形障碍物对视线的限制,实现了对战场居高临下的远程监视;

(2) 侦察时效性强,获取的各种目标信息能实时或近实时地提供给指挥员和作战部队;

(3) 具有较强的可信度,遂行光学图像侦察时,直观性强,目标图像清晰,能

够直接发现目标外部形状;

(4) 装载量大,可同时装载多种侦察设备,使各种侦察设备的性能可相互补充,达到目标数据准确度高,侦察能力达到全天候、全天时远程侦察的目的;

(5) 机动灵活性大,可随时、多次出动,并可根据战场情况、目标种类、时间与气候等,选择可见光、红外及多光谱等不同的侦察手段,并可快速抵达被侦察区域实施侦察;

(6) 具有不间断性,可对战场目标实施连续侦察,以保证战场情报完整、连续、实时地传送到指挥员手里。

## 二、侦察平台及侦察设备发展现状

航空侦察平台包括有人驾驶侦察机、无人侦察机、侦察直升机等。各种侦察平台所载的航空影像侦察设备一般包括可见光航空相机、红外侦察系统和合成孔径雷达等。随着光电技术、计算机与信息处理技术、通信和网络技术等的发展,一些先进的传感器和信息传输设备相继出现,为机载侦察设备的侦察监视能力的提高奠定了物质基础。

### (一) 无人侦察机侦察设备

无人机具有体积小、雷达反射截面小、造价低和不必考虑人员安全等特点,非常适合于战场侦察。根据续航时间、航程和大小等,无人机可分为长航时、中程、短程、近程和微型 5 种类型。当今,以色列和美国在无人侦察机发展的规模和技术水平方面处于领先地位。总体上说,无人机开发的先行者以色列,在发展近/短程无人机方面走在前面,先后推出“侦察兵”“先锋”“搜索者”“猎犬”“苍鹭”和“眼视”等无人机。美国则在长航时无人机方面占主导地位,主要有:用于战区和战略侦察的无人机“掠食者”“全球鹰”和“暗星”等几种无人机,具有续航时间长、覆盖范围大的特点;用于各军兵种通用、战场侦察的“猎犬”和“战术机动型”无人机;用于可在舰艇上垂直起降的“直升翼”无人机。此外,西欧、俄罗斯、日本、印度等也加快无人侦察机发展的计划。

无人机所用的机载侦察设备主要着眼于覆盖范围宽、高分辨率、能实时向作战指挥部门提供情报数据。绝大多数无人机都装备多种传感器。这些传感器的特点是:体积小、重量轻,可以昼夜在多数气候条件下完成监视、目标捕获等任务。“掠食者”无人机采用的是小型前视红外传感器一个,10 倍变焦摄像机一个和 900mm 数码相机一个。“掠食者”还计划安装新型的超光谱相机,它可以监视几千条光谱带,揭露伪装。“全球鹰”无人机上的第四代 CCD 相机具有 6600 像元宽度,采用了“步进拍摄”(step-stare)方法,将一次拍摄地面宽度达 150m 的多

个成像方块组合成  $2\text{km}\times 2\text{km}$  的画幅。“暗星”无人机采用了 12064 像元的 CCD 线阵,具有较高的分辨率,不必采用“步进拍摄”,就可实现 0.6m 的分辨率。“全球鹰”和“暗星”两种无人机上的光电传感器都具有宽地区搜索和定点搜索两种主要工作方式。战术应用无人机还将激光指示器作为重要的设备,例如,“掠食者”装备的激光指示器,可部署在云层之下,通过激光器为云层上的高空攻击飞机提供目标指示。

能够全天候昼夜 24 小时工作的合成孔径雷达/动目标指示雷达(SAR/MTI)是无人机,特别是大型无人机的重要侦察设备。在恶劣气候条件下,这种可穿透云层的传感器更显重要。“掠食者”投入服役时装备的是电光/红外设备,后来则装备了“合成孔径雷达”。该雷达重 75kg,工作在 Ku 波段,可提供 SAR/MTI 模式。无人机用的最大雷达是“全球鹰”的 SAR/MTI 雷达。它工作在 X 波段,质量为 290kg,峰值输出功率为 3.5kW。作用距离可达 200km,并可在一天之内采集 1900 幅图像。在搜索模式下,每天可搜索  $138000\text{km}^2$  区域;在地面动目标指示模式下,每天可监视  $15000\text{km}^2$  区域,并可探测 100km 范围内以 7.4km/h 速度移动的慢速目标。法国的“合成孔径雷达”工作在 G/H 波段,目标定位精度优于 50m。德国的 J 波段 SAR/MTI 成像雷达,适于 92.6~231.5km/h 速度范围内使用,覆盖范围 1~10km,具有 1.4m 分辨率(MTI 模式下为 10m)。

为适应侦察平台和侦察任务多样性的要求,降低研制、生产、维修成本。其侦察平台采用可换装不同传感器单元方式,例如:3~5 $\mu\text{m}$  前视红外装置、变焦 CCD 摄像机、激光指示器和合成孔径雷达可按特定任务需要装、卸载。

## (二) 有人驾驶侦察机侦察设备

有人驾驶侦察飞机具有速度快、侦察范围大和提供信息量多等突出优点,一直备受军事部门的重视。现在的有人驾驶侦察飞机大致可分为两类:一是专用型侦察飞机,如美国的 U-2、TR-3A 战术侦察机和 RC-135 战术与战略两用侦察机;二是战斗机、攻击机或轰炸机演变型,如 F-14、F-16、F/A-18D、“旋风”、苏-24 等战斗机通过加装吊舱兼具侦察功能。军方的重点是改进现役的侦察机,以增强实时能力和灵活性。例如美国主要的高空侦察机 U-2,其机载传感器已多次改进。U-2 的光电侦察系统将目前只有一个可见光波段和一个红外波段,改进为具有 3 个可见光波段和 2 个短波红外波段。U-2 的先进合成孔径雷达系统已增加了运动目标指示器和可在方位上进行电子扫描的新天线,并正进一步提高图像分辨率(现在的分辨率为 0.3~0.9m)和扩大覆盖区域。此外,U-2 侦察系统下一步将实现两个目标:第一是集成机上所有传感器,加强传感器间的自动相互指示能力,先以宽区域搜索模式探测目标,然后在几秒钟内,自动指引另一个传感器探测该处,以获得更详细的信息;目前 U-2 各传感器之间的相