

文章编号: 1227(2001)S0-0014-06

无人机任务有效载荷技术现状与发展趋势研究

孙滨生

(中国航空工业第六二八研究所 北京 100029)

摘 要: 科索沃战争中北约无人机的行动引起了世人的关注。本文主要评价典型无人机任务有效载荷的关键成像探测技术的现状和未来。

关 键 词: 无人机; 任务有效载荷; 成像探测器; 光学照相机; 红外行扫描器

中图分类号: V279 **文献标识码:** A

Study on Present and Future of UAV Mission Payloads

SUN Bin-sheng

(The 628th Research Institute of AVIC, Beijing 100029)

Abstract: UAV operations during NATO's Operation Allied Force in Kosovo attracted the attention of the world. The present and future of the critical imaging detection technologies of UAV are commented in this paper.

Key Words: Unmanned Air Vehicle (UAV); mission payload; imaging detector; photographic camera; IRLS

1 引言

如果说 1991 年海湾战争使装备精良夜视和精确制导设备的 F-15E、F-16C/D 和 F-117 等战斗机利用夜幕掩护投放激光制导武器空袭伊拉克令世人震动,那么 1999 年的科索沃战争则使装备小巧成像侦察设备的“捕食者”、“猎犬”和 CL-289 等无人机昼夜在空中盘旋侦察而引人注目。

据不完全统计,在科索沃战争的 79 天空袭中,美、英、法、德等国投入了 7 种型号上百架无人机。科索沃战争创造了无人机部署、出动、击落机型和架数以及发回实时图像情报的记录。

无人机执行监视、侦察和目标截获任务最主要的是用光学照相机、红外行扫描器、电视摄像机和前

视红外(热成像器)等任务有效载荷获取敌方地面图像情报供指挥作战。无人机的成像探测设备特别是多轴陀螺稳定转塔式电光(电视摄像机)/前视红外多探测器系统都渊源于轻型固定翼飞机和直升机的同类设备,有些甚至与之通用。当然,无人机自身偏小,有效载荷一般不大,因此要求这些设备更小、更轻,并采用商用成品(COTS),经济上可承受。就现状而言,电视摄像机已逐渐取代光学照相机;多探测器系统正在成为首选。而美、英、法、德等国在科索沃使用的“捕食者”、“猎犬”、“先锋”、“不死鸟”、CL-289、“红隼”以及“奎宿九星”26 等无人机及其装备和改装的任务有效载荷(成像探测设备)很有代表性,其关键技术设备值得评述。就发展趋势而论,凝视焦平面阵列、中波红外探测器、非冷红外探测器、

电荷耦合器件电视摄像机、多频谱/超频谱探测器以及合成孔径雷达值得探讨。

2 关键技术设备现状分析

北约在科索沃战争中使用的无人机及其有效载荷情况见表 1。目前世界各国所用的无人机也像北约在科索沃使用的 7 种无人机一样,执行的主要任务是监视、侦察和目标截获,提供图像情报。其所用的任务有效载荷都是光学照相机、红外行扫描器、电视摄像机、前视红外等无源成像探测设备。下面对无人机有效载荷的技术现状加以分析。

表 1 科索沃战争中的无人机任务有效载荷情况

机 种	任务有效载荷
“猎犬”	CCDTV/FLIR
“捕食者”	CCDTV/FLIR/SAR
“先锋”	CCDTV/FLIR
CL-289	PC/IRLS
“红隼”	CCDTV/IRLS
“不死鸟”	CCDTV/FLIR
“奎宿九星”26	CCDTV/IRLS

注:CCD—电荷耦合器件 FLIR—前视红外
IRLS—红外行扫描器 PC—光学照相机
SAR—合成孔径雷达 TV—电视摄像机

2.1 光学照相机

光学照相机是一种古老的光化作用成像设备,也是最早装上无人机使用的侦察设备。其最大优点是具有极高的分辨率,目前其他成像探测器还无法达到。但其缺点是需回收冲洗,不能满足实时情报的军事需要。在科索沃的北约 7 种无人机中只有德、法两国使用的 CL—289 还装备光学照相机。

据统计,《舍菲尔德无人机手册 2000》已知 109 种(生产型 59 种、研制型 39 种、微型/战斗型 11 种)无人机中(包括 CL—289 和中国的 ASN—206)装备光学照相机的仅 7 种。一般认为它正在让位给电荷耦合器件电视摄像机。

2.2 红外行扫描器

红外行扫描器(IRLS)是一种热成像装置,它利用扫描镜收集地面红外辐射并投射到多元碲镉汞

(HgCdTe)等红外探测器上,形成红外图像信号。如果用其调制光源并记录在感光胶片上,就构成红外照相机;也可以用这种红外图像信号调制视频通道,经过数据传输系统发送回地面接收站。前者与光学照相机同样有缺乏实时性的弊病,后者则得以克服。

红外行扫描器属于机载无源探测夜视设备,其最大优点是能探测地面物体自然的红外辐射而不借助环境光的照射,因此可进行夜间监视和侦察,不仅自身隐蔽性好,而且不受一般目视伪装的欺骗。

在科索沃战争中,北约有 CL—289,“红隼”和“奎宿九星”26 三种无人机都装备红外行扫描器。其原理和功能基本相同,也都用于夜间执行任务。这对于它们逃避白天塞族地面防空火力打击起了一定作用。

红外行扫描器目前也很少在无人机上使用。在《舍菲尔德无人机手册 2000》的已知 109 种无人机中只有 15 种(生产型 12 种,研制型 3 种)无人机仍在使用红外行扫描器。

2.3 电视摄像机

无人机上所用的电视摄像机都是电荷耦合器件电视(CCDTV)摄像机。它是一种用固态的电荷耦合器件代替早期的摄像管作为光电转换成像器件的黑白或彩色摄像机。所谓电荷耦合器件是一种直接利用半导体表面少数载流子的注入、传输和收集等物理过程来完成电路功能的器件。目前摄像机一般都采用焦平面阵列电荷耦合器件而不用线列电荷耦合器件,从而淘汰了光机扫描装置,成为全固态电荷耦合器件电视摄像机。

电荷耦合器件电视摄像机的主要优点是体积小、重量轻、功耗低、灵敏度高、抗冲击震动和寿命长。这使它在无人机中获得广泛应用。不仅用于监视、侦察获取实时图像情报,而且用于辅助地面操纵员遥控驾驶。

北约在科索沃战争中使用的 7 种无人机中有 6 种采用了电荷耦合器件电视摄像机。其中“捕食者”由于采用彩色电视摄像机发出彩色图像而被北约空军计划官员评以高分。

在《舍菲尔德无人机手册 2000》已知的 109 种无人机中采用电荷耦合器件电视摄像机多达 89 种(生产型 50 种,研制型 30 种,微型和战斗型 9 种),可见其应用日益广泛,在昼间图像情报探测设备中占统治地位。它常和前视红外等组成多探测器转塔系统,满足全天候实时图像情报需要。

2.4 前视红外

前视红外(FLIR)即热成像器(TI),是通过光学系统把景物红外辐射成像在红外敏感元件阵列上并转换成视频电信号的一种成像红外探测器。前视红外与点源红外探测器的区别在于,前视红外具有较高空间分辨率,能分辨出景物的各个细部形成反映景物自身热特征的图像;而红外寻的导弹用的点源红外探测器的空间分辨率很低,仅把景物(目标)作为一个“光斑”来探测,不能分辨细部。前视红外与低亮度电视(LLLTV)摄像机即像增强器(II)的区别在于,前视红外探测景物自身红外辐射,无需环境光(包括红外)照射;低亮度电视摄像机则需要星、月等环境微弱可见光照射。因此前视红外是目前能在纯暗夜发挥作用的无可替代的夜间无源成像探测器。它对目标自身红外辐射敏感,不会被目视(可见光)伪装和假目标欺骗。

前视红外常和电荷耦合器件电视摄像机装在陀螺稳定转塔内组成多探测器系统,用于昼夜执行任务;和激光测距-跟踪-照射器装在陀螺稳定转塔内组成前视红外激光探测-测距-跟踪-照射系统,为激光制导武器进行目标探测、识别、跟踪和照射。

北约在科索沃战争中使用的7种无人机中,有“捕食者”、“猎犬”、“先锋”和“不死鸟”4种装备了前视红外,为逃避白天遭塞族防空火力打击和夜间执行任务创造了条件。特别是“捕食者”和“猎犬”在“盟军行动”中改装了前视红外激光照射系统,虽然没有实战为“海尔法”激光制导导弹照射目标,也算是一次突破性尝试。

在《舍菲尔德无人机手册2000》已知的109种无人机中,装备前视红外的就有65种,其中生产型无人机43种,研制型无人机22种。

2.5 多探测器转塔

多探测器转塔(Multi-Sensor Turret)是把前视红外、电视摄像机、激光测距/照射器等2、3种探测器综合进转塔形式的多轴陀螺稳定平台(万向支架)内的无人机多任务电光探测系统。如上所述,各种探测器都有自己独特的优点和缺点以及应用范围。例如,电视摄像机具有较高的分辨率和彩色图像,但仅适用于昼间,而前视红外最适于暗夜探测目标,二者相结合就可以取长补短,能够昼夜24小时执行监视和侦察任务。但是电视摄像机和前视红外都是无源成像探测器,它们不能测量目标距离,如果与激光测距器和激光照射器这种有源精确制导设备相结合,

就在无源探测系统的基体上升级为精确制导武器瞄准系统。安装各种探测器的平台实际上是支承在几个万向支架上,由陀螺提供信号进行多轴向稳定。其稳定精度由数10mrad逐步提高到数10 μ rad。探测器还能接受无线电遥控系统和数据传输系统的指令,操纵其转向,在小视场内观察目标,在大视场内监视战场情况。探测器以及平台和稳定系统都包括开有1个或数个光窗的保护罩内。由于这种探测系统能相对于无人机转动,因此常称为多探测器转塔,通常装在前机身下部。这种多探测器转塔也广泛应用于直升机和轻型固定翼飞机。由于无人机的有效载荷能力偏小,一般要求多探测器转塔尽可能体积小、重量轻、功耗低。

多探测器转塔是机载成像探测器发展,完善、升级的结果。无人机任务有效载荷究竟是应当发展分立、方便、即插即用的单用途探测器还是发展综合、笨重、可重构的多用途探测器在国外也是有争论的问题。前者,目前世界上有些军兵种在研究,提供了一个立杆见影的近期解决办法,但是采用总体模块化发展途径具有灵活性,减少繁杂性并且系统全寿命的成本效率高。可互换单探测器转塔多为技术水平较低、时间紧迫、条件限制的不得已选择,并非实质性战术技术需求。而且实战中条件复杂多变,绝非简单地采取“白天用电视摄像机,夜间用前视红外”所能解决。实践表明前者在不可逆地发展为后者——多探测器转塔。

2.6 结论

对科索沃战争中北约使用的7种无人机进行评述和分析,以及对《舍菲尔德无人机手册2000》所载131种无人机中已知任务有效载荷的109种无人机的统计分析,可以得出如下结论:

1)光学照相机已经很少在无人机上使用。其图像质量和分辨率虽然最优,但不能实时被利用则是致命缺点,正在被电视摄像机取代。

2)红外行扫描器也已很少在无人机上使用。能用于夜间照相侦察是其比光学照相机优越之处,但同样存在不实时的严重缺点,正在被前视红外所代替。

3)低亮度电视摄像机即像增强器同样很少使用,这不仅因为它易受强光侵害,而且也常被日光电视机和前视红外两面夹击。

4)电视摄像机在无人机上广泛使用,一方面用于监视、视察,另一方面也辅助无人机操纵员遥控驾

驶飞机。它的小巧及实时性对侦察无人机特别有吸引力。对于微型无人机,无疑是首选甚至是唯一供选的图像情报探测设备。

5)前视红外目前由于复杂、昂贵还不是无人机普遍装备的实时成像探测设备。但它已是高性能昼夜全天候侦察无人机无可替代的设备。前视红外还常作为核心,与电视摄像机和/或激光测距器/照射器综合成为多探测器转塔,昼夜执行多种任务。

6)多探测器转塔目前仅在少数高性能战术侦察无人机上使用,但是在老机改装升级和新机研制的图像探测设备中却占重要地位,这种由分立单探测器到综合多探测器的发展看来也是不可逆的。在多探测器转塔中引入激光测距器/照射器这种武器精确制导设备,则使任务有效载荷具有目标瞄准功能,使侦察无人机“战斗化”,参与执行目标攻击任务。在科索沃战争中进行的尝试不能不引起注意。

7)以科索沃战争为界,侦察无人机现役标准任务有效载荷仍仅限于无源成像探测设备;合成孔径雷达(SAR)和毫米波雷达(MMR)之类的有源成像探测设备对无人机来说仍处于研制和试验阶段,并未成为现役标准装备。

3 发展趋势

无人机任务有效载荷的发展离不开需求牵引和技术推动。而需求牵引和技术推动二者又是相互依存和促进的辩证关系:新需求促进新技术,新技术又引发新需求。在探讨无人机有效载荷的发展趋势时,必须从当前和未来无人机的需求出发,落实到当前和未来具有可行性的新技术。

3.1 侦察新时代带来极大需求

现代空中图像情报侦察运载平台已经多样化,从侦察卫星、U-2之类有人驾驶战略侦察机和 RF-4 之类有人驾驶战术侦察机,一直到各种侦察无人机。但是,绝大多数国家不仅无力发射侦察卫星,甚至也买不起和买不到有人驾驶侦察机,只能采用侦察无人机。五角大楼负责指挥、通信、情报、监视和侦察的国防部长副助理称:“在南斯拉夫的北约‘盟军行动’证实,侦察新时代已破晓”。“战术侦察另一个发展趋势看来是希望用战术无人机代替专用有人驾驶飞机——不仅美国武库如此,国际武库同样也如此——而且完全依赖战术无人机进行战术侦察之计仍是未来的希望。”

就战术无人机的探测器而言,从早期的光学照相机到今天的多探测器转塔,已经有惊人的发展。但是战术无人机的发展则对其提出了更高的要求。科索沃战争之后,以美国为首的北约军政首脑更强调高分辨率实时图像情报的重要性。为了逃避地面防空火力的威胁和全天候侦察,大力发展合成孔径雷达等有源成像探测设备。这些要求必然将影响无人机任务有效载荷的发展方向。

3.2 凝视焦平面阵列已经淘汰扫描器

第一代前视红外(热成像器)采用扫描线列红外探测器,第二代前红外采用扫描阵列红外探测器。其共同之处是需要光机扫描器。这种复杂的机械光学电气伺服机构带来体积和重量大、可靠性低的缺点。第三代前视红外采用凝视焦平面阵列红外探测器。它在成像焦平面上纵横各有数以百计的红外敏感元件,通常和电荷耦合器件等信号处理电路集成在同一个芯片上或通过钼柱连接混成在两个芯片上,一次完成成像探测、积分、滤波和多路转换功能。这种全固态红外成像器不仅体积小、重量轻、可靠性高,而且凝视比扫视具有更高的灵敏度和分辨率以及更远的作用距离。这显然对无人机更有利。

3.3 中波红外探测器具有更强湿热穿透力

前视红外工作波段究竟选择 $8\sim 14\mu\text{m}$ 长波红外还是 $3\sim 5\mu\text{m}$ 中波红外大气透射窗口,是成像系统灵敏度和空间分辨率要求、目标红外辐射特性以及被探测地区大气透射特性等多种因素综合权衡的结果。据透露,在美苏对峙的冷战年代,美国等西方国家研制的第一代前视红外主要考虑适用于北美和欧洲寒冷地区,对付的目标是苏联。这就不难理解为什么碲镉汞 $8\sim 14\mu\text{m}$ 长波红外扫描线列红外探测器虽然有上述缺点,仍能在成像红外探测器领域特别是在战斗机瞄准吊舱中占统治地位。

随着苏联解体,冷战结束,局部战争地区逐渐南移,转向东南亚等湿热地区。实验表明前视红外工作在 $3\sim 5\mu\text{m}$ 中波红外波段反而比 $8\sim 14\mu\text{m}$ 长波红外波段有更强的湿热气候穿透力,因而探测距离更大。这一优点也是近些年铟化铟和硅化铂等 $3\sim 5\mu\text{m}$ 中波红外凝视焦平面阵列成像红外探测器得以迅速发展和应用并在不少前视红外成像探测系统中取代碲镉汞 $8\sim 14\mu\text{m}$ 长波红外成像探测器的重要因素之一。

3.4 非冷凝视焦平面阵列正在废除制冷器

红外探测器一般分为两类:光探测器和热探测器。热探测器与光探测器不同,热探测器要达到良好性能的关键是敏感元件(像素)与相邻元件和基板之间最大限度地绝热。热探测器一般可以工作在室温下,这就不需要昂贵的深冷制冷器、杜瓦瓶。因此,现在常把热探测器称为非冷红外探测器。

分析表明,非冷红外凝视焦平面阵列可能成为近距、低成本红外成像侦察设备的首选。它很适合战术无人机特别是微型无人机任务有效载荷的要求。

3.5 电视摄像机高分辨率和小型化

如前所述,电荷耦合器件电视摄像机逐步取代光学照相机在无人机上广泛应用。它不断精细的像素阵列正在产生给人印象深刻的高分辨率足以在近距探测和识别出装甲车。

如果说前视红外在追求接近电视摄像机的图像质量,那么电荷耦合器件电视摄像机则进一步追求光学照相机的图像质量。这就是发展趋势。

电荷耦合器件电视摄像机与前视红外特别是深冷扫描线列前视红外相比,已经是小型化了,并且仍在继续小型化来满足更小、更轻的不变要求。但是,微型无人机(MAV)和微机电系统(MEMS)的发展对任务有效载荷的体积、重量进一步提出更严的要求,也正在促进任务有效载荷及分系统技术在微型化上有重大突破。其中,电荷耦合器件电视摄像机最有希望因而也首当其冲。就重量而言,进行的是“克”级竞赛。

3.6 合成孔径雷达正进入无人机

无人机传统上一直使用轻、小型电光成像探测设备,其监视、侦察和目标截获任务的价值也得到证实。但是,它们的不足之处在于探测距离短,受云雾雨雪气象条件限制,也不能测量距离。而这些正是机载雷达的长处。不过由于雷达一般体积、重量和功耗较大,很少有无人机能承受得了。

目前专家们认为无人机有源成像探测设备的发展方向是合成孔径雷达(SAR)。它突破了一般雷达由于天线长度和波长的限制使分辨率不高的缺点。合成孔径雷达采用侧视天线阵,利用载机向前运动的多普勒效应,使多阵元合成天线阵列的波束锐化,从而提高雷达的分辨率。合成孔径雷达用飞机航迹仿真特大天线或孔径。它发射信号到目标并测量回波能量,利用多普勒效应构成高分辨率图像,这实际

上是一条回波地图,各像素的亮度代表雷达能量返回天线的强度。同时,飞机速度越快,多普勒频移越大,距离分辨率也就越高。逆合成孔径雷达(ISAR)是利用目标而不是无人机(发射机)移动造成的多普勒效应来产生合成孔径,导出相对无人机的周期性移动。额外增加信息处理,合成孔径雷达则具有逆合成孔径雷达和活动目标指示器(MTI)功能,因此合成孔径雷达往往含有后二者工作状态,从而探测活动目标。

合成孔径雷达由于有上述特点,已成为理想的有源成像探测设备,特别适合于高空长航时战略侦察无人机。因为飞得高,雷达观测范围扩大,受地形掩蔽影响减小,通信和数据传输距离增大并减少防空高炮和大部分地空导弹的威胁。因此近些年来美、英、法等国都在大力竞相研制和试验合成孔径雷达,一些研制和改型无人机都提出使用合成孔径雷达。

目前都在为合成孔径雷达减轻重量提高性能而努力,但是要想和电光成像探测设备那样成熟地在战略甚至战术侦察无人机上应用看来都尚待时日,更不用说在微型无人机上应用了。但是美国国防先进研究计划局在小规模革新研究(SBIR)项目下投资让 GORCA 公司研制微型合成孔径雷达(MicroSAR)。国防先进研究计划局主管微型合成孔径雷达的约翰逊认为使这项小规模革新研究项目转为研究计划的关键在于把这种新的微型合成孔径雷达装上飞机并证明它能工作。陆军对其兴趣最大。他相信,装备微型合成孔径雷达和其他探测器的微型无人机可能引人注目地改变军方看法。

3.7 多频谱和超频谱探测器是长远发展趋势

红外探测器的最长远发展趋势可能是多频谱和超频谱成像技术。多频谱探测技术寻求不同类型探测器由同一孔径、有时由同一半导体器件工作。这些探测器可以探测不同红外带宽、不同光谱甚至混合光和射频以及激光测距的频谱。这将提供更多信息并减轻信号处理负荷。超频谱成像技术运用常规成像、频谱学和辐射测量学技术产生频谱特征结合每个空间分辨单元(像素)的图像。也就是说由频谱成像器产生的数据构成三维立体图像,二维空间加第3维频谱。成像频谱仪一般使用二维阵列,例如电荷耦合器件产生三维立体数据。

超频谱技术与多频谱技术有所不同。一般多频谱技术利用的频带很少(不超过10个),而超频谱系统要利用几十或几百。但是二者用途不完全相同。用

大量采样频带(频道)能够在一个像素内同时分析区别很多频谱特征。这项技术称为频谱分层,已经在有不同类型目标的各种复杂景物上演示过。结果仅用适中的空间分辨率就能从测量数据中提取出重要的目标信息。

4 结束语

可以看出,无人机成像探测技术当前是航空电子一个重要和活跃的领域,并且前景广阔。从无人机成像探测系统的总体看,多采用多轴稳定转塔,从某种意义上说是轻型固定翼和直升机的转塔式成像系统的小型化,甚至通用化。这种继承性、两用性或通用性对研制、生产、使用及经济效益的好处值得重视。搞一个基本型成像探测转塔,再派生出多种平台应用的系列设备是值得尝试的。

参考文献

- [1] P. J. Klass. Uncooled, Cheap FLIRs to Open New Markets. Aviation week 1994. 2. 28. P61.
- [2] 孙滨生. 前视红外探测技术现状及发展[M]. 中国航空信息中心. HY94007. 1994. 3.
- [3] M Hewish. Sensor Payloads for Unmanned Aerial vehicles. International Defense Review. 1995. 12. P53~58.
- [4] C Chinnok. Uncooled IR devices spark revolution in sensors. Military & Aerospace Electronics. 1996. 4. P12~15.
- [5] K Sewell. Smart FPAs mimic human eye in image processing. Military & Aerospace Electronics. 1997. 1. P1.
- [6] K Munson. Jane's Unmanned Aerial Vehicles and Targets. 1998. Jane's Information Group Limited. UK.
- [7] S Waddington. The Future is Synthetic, Unmanned vehicles. 1998. 2. P6~8.
- [8] J R Wilson. HAE Payload. Unmanned Vehicles. 1998. 4. P34. 35.
- [9] J Keller. Infrared sensors designers move beyond their goal of simply owning the night. Military & Aerospace Electronics. 1998. 4. P21~29.
- [10] P V Blyenburgh. Through the Looking Glass. Unmanned Vehicles. 1998. 5 P26~32.
- [11] M Thomas, J Hayhoe. Operational Experience with High Resolution Synthetic Aperture Radar for Unmanned Aerial Vehicles. Association for Unmanned Vehicle Systems International '98. 1998. 6. 8~12. P535~544.
- [12] J Rhea. Electronics packaging key to new micro-reconnaissance vehicles. Military & Electronics. 1999. 1. P1.
- [13] T Ripley. Eyes Over Kosovo. Unmanned Vehicles. 1999. 2~4. P17.
- [14] J Masey, S Waddington. Phoenix Spreads its Wings. Unmanned Vehicles. 1999. 2~4. P24~27.
- [15] S Waddington. Opening the Aperture. Unmanned Vehicles. 1999. 2~4. P31.
- [16] A H Caruso. Advancement in UAV Payloads. UAVs Fourteenth International Conference. 1999. 4. 12~14. P1~13.
- [17] S Waddington. A Bird's Eye View. Unmanned vehicles. 1999. 5. P14~20.
- [18] S Waddington. T Ripley and D S Harvey. 'Eagles Eye' to 'Allied Force'. Unmanned Vehicles. 1999. 5. P41~43.
- [19] New Lynx SAR Flexes its Muscles. Unmanned Vehicles. 1999. 5. P52.
- [20] B P Rivers. UAVs: 100 Eyes in the Sky. Journal of Electronic Defense. 1999. 6. P45~57.
- [21] D Herskovitz. A Sampling of Unmanned Aerial Vehicles. Journal of Electronic Defense. 1999. 7. P55~60.
- [22] Far Sighted Predator. Unmanned Vehicles. 1999. 8. P5.
- [23] S Waddington. UV'99 Hits the Headlines. Unmanned Vehicles. 1999. 8. P6~P10.
- [24] T Shelley, P Donaldson. Spirit of Innovations. Unmanned Vehicles. 1999. 8. P20~25.
- [25] B P Rivers. Shooting with Sensors; Tac Recce Shifts to the Fighters. Journal of Electronic Defense. 1999. 9. P37~43.
- [26] B Rivers. US Army Shortlists TUAV Bidders. Journal of Electronic Defense. 1999. 9. P28~29.
- [27] B Rivers. Predators Flew with Target Designators over Kosovo. Journal of Electronic Defense. 1999. 9. P33~34.
- [28] H Viel. Kosovo Focus: A Gallic Eye in the Sky. Unmanned Vehicles. 1999. 10 P8~12.
- [29] T Ripley. Kosovo Focus: Task Force Hunter. Unmanned Vehicles. 1999. 10. P28~33.
- [30] J W Canon. Seeing more and risking less, with UAVs. Aerospace America. 1999. 10. P26~31. 35.

(注:受篇幅所限,参考文献未全文刊登,望谅)