

·光电系统与amp;设计·

美国天基光电侦察系统的发展分析

朱秀丽, 崔福洪

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘要:对美国天基光电侦察体系中的地球成像卫星系统、下一代光电系统、空间跟踪与监视系统和“战术星”系统等进行了研究,分析了高分辨率全色多光谱相机、先进的宽视场捕获传感器和窄视场凝视型多波段跟踪传感器、高分辨率超光谱成像仪的主要技术指标与使用特征及商业卫星提供的光谱频段及分辨率指标。在未来发展计划中,对大型衍射薄膜光学系统、先进的光学相机系统、尖端光学传感器、高级红外探测器、可见光和红外成像仪等高新技术装备进行了简要的介绍。

关键词:天基光电侦察系统;天基光电侦察计划;侦察卫星;成像卫星;气象卫星

中图分类号:TN201

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2010)04-0012-04

Development of American Space-based Electro-optic Reconnaissance System

ZHU Xiu-li, CUI Fu-hong

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: The GeoEye satellite system, the next generation electro-optic system, the STSS and the Tacsat system in American Space-based Electro-optic Reconnaissance System are studied. The mainly technology indexes and operation characteristics of high resolution, full color, multi-spectrum cameras, advanced wide FOV acquisition sensors, staring multi-band tracking sensors for narrow FOV are analyzed. The large diffraction film optic system, the advanced optic camera system, optic sensors, infrared detectors, visible light imagers and infrared imagers are briefly introduced in future development plans.

Key words: space-based electro-optic reconnaissance system; space-based electro-optic reconnaissance plan; reconnaissance satellite; imaging reconnaissance satellite; meteorological satellite

在军事航天技术领域,美国一直保持着领先地位,拥有世界上最为先进的空间光电侦察系统^[1]。2010年,美国在继续保持军事航天优势的同时,更加注重提高非常规作战能力,调整了军用卫星系统发展策略,终止了一些短时间内难以形成战斗力的重大空间项目,把近期重点放在发展空间态势感知能力和快速响应能力方面。

为了进一步增强天基光电侦察系统对空间态势感知能力,美军制定了一系列发展计划,投入大量资金发展天基光电侦察系统。在研的天基光电侦察系统和项目主要包括:地球成像卫星系统、下一代光电

系统、空间跟踪与监视系统、战术星系统;MOIRE计划、纳卫星计划、气象卫星计划。

1 天基光电侦察系统的新发展

1.1 地球成像卫星系统

2008年9月,美国“地球眼”公司(GeoEye)发射了一颗商业对地成像卫星“地球眼”1,质量约1955 kg,运行在高度684 km、倾角98°、周期98 min的太阳同步轨道。

收稿日期:2010-06-30

基金项目:国家部委技术基础项目

作者简介:朱秀丽(1971-),女,辽宁人,学士,高级工程师,主要研究方向为科技情报。

卫星上装备了先进的光电侦察系统,具有空间分辨率高、地理定位精度高和覆盖面积大的特点。其中的光电相机系统由ITT公司生产,该系统由光学望远镜组件、敏感器件和焦面装置以及高速数字处理电子部件组成。该相机系统为“地球眼”1提供商业遥感最高分辨率,即0.41 m全色分辨率和1.65 m蓝、绿、红和近红外多谱段分辨率。可使用户识别和分辨微小的目标和地物,如识别棒球场上的本垒板,或者数出城市街道上的井盖数。采取全色模式工作时,该光电相机每天能够拍摄总面积达 $7 \times 10^5 \text{ km}^2$ 的图像(数据量达数十亿字节),以多谱段模式工作时每天将能够拍摄总面积达 $3.5 \times 10^5 \text{ km}^2$ 的图像。这样的数据搜集量超过其他现有商业成像卫星的4倍之多。ITT公司还采用了新的遥感技术—望远镜主镜的大尺寸、相机望远镜的调准和相当高的信噪比,使光电相机拍摄的图片质量达到较高的水平。

随着美国军事变革的深入展开,对“精确作战、精确指挥、精确后勤”的需求不断提升,致使美军情报机构所承受的压力越来越大。尽管美国迄今为止已发射了500多颗卫星,并构建了以“锁眼”系列侦察卫星为主体的太空情报侦察体系,但美军方坦言,目前军事卫星的数量和功能难以满足未来的需求,对商业卫星服务的依赖将快速增长。“地球眼”1的分辨率达到0.41 m,如此高的精确度已经超过了很多国家正在使用的军用间谍卫星,可满足美军作战行动的需要。

鉴于此,2010年3月,“地球眼”公司选定了洛克希德·马丁空间系统公司,为其建造该公司的下一代高分辨率地球成像卫星系统—“地球眼”2。该公司已经开始购买主要部件以支持“地球眼”2的发射。合同内容将包括设计、制造和生产卫星及相关的指挥控制系统。

1.2 下一代光电系统

2009年4月,美国总统奥巴马批准了名为“下一代光电系统”的侦察卫星计划,亦称“2+2”计划,内容包括:制造2颗大型先进秘密侦察卫星;增加购买商业卫星图像数量,其金额之大足以制造和发射2颗新的商业成像卫星,从计划目标来看,该计划基本沿袭了“广域天基图像收集者”(BASIC)侦察卫星计划。目前美国政府从“数字地球”公司和“地球眼”公司购买商业卫星图像,而“世界观测”2卫星也将

纳入该计划,为美国政府提供高分辨率的商业卫星图像。

2009年10月,“德尔塔”2火箭成功将“数字地球”公司第2颗“世界观测”2号卫星发射入轨。该卫星位于770 km高度的太阳同步轨道,星上载有先进的光电侦察系统,可提供高分辨率的全色和多光谱图像。所提供的全色图像—可见图像是黑白的—分辨率0.46 m。8个光谱频段包括4个标准色(红、绿、蓝和近红外1),还有4个新频段(海岸、黄、红边、近红外2),分辨率为1.8 m。

1.3 空间跟踪与监视系统

1.3.1 技术演示验证卫星的发射

2009年9月,美国导弹防御局成功发射了2颗“空间跟踪与监视系统”技术演示验证卫星,运行在高度为1350 km、倾角为 58° 的预定轨道。此次试验的2颗技术演示验证卫星均装有1台宽视场捕获传感器和1台窄视场凝视型多波段跟踪传感器。

宽视场捕获传感器,采用波长为 $0.7 \sim 3 \mu\text{m}$ 的短波红外传感器(SWIR),在以地球为背景的方式下工作,捕获助推段弹道导弹的尾焰,完成对预警信息的接力。窄视场凝视型多色跟踪传感器,包括3种波长的传感器。其中,波长为 $3 \sim 8 \mu\text{m}$ 的中红外(MWIR)传感器,在以地球为背景的方式下工作,对助推段末期的弹道导弹进行跟踪;波长为 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 的中长波红外(MLWIR)传感器和波长为 $12 \sim 16 \mu\text{m}$ 的长波红外(LWIR)传感器,在以空间为背景的方式下工作,实现对弹道导弹飞行中段的持续跟踪,不但在导弹助推段关机后能继续跟踪导弹,而且能连续跟踪弹头的分离,并具备识别诱饵的能力。

1.3.2 计划发射2颗空间监视卫星

据美国《防卫系统》2010年6月报道,波音公司已经在加州Vandeng空军基地制造完成一颗空间监测卫星,以改进美国跟踪监测其他卫星和碎片能力。该卫星由波音公司和鲍尔航空技术公司联合开发,将经过最后的整合准备搭载Minotaur IV运载火箭升空。

一旦进入轨道,空间监测卫星将跟踪卫星、空间碎片和其他对美国卫星构成威胁的物体,提供通讯、导航、气象预报和其他服务^[2]。为了履行使命,空间监测卫星使用安装在一个高速万向节内的数字传感器进行定位和跟踪物体,无需定位整个卫星。空间监测卫星使空军从空间监测对象,不依靠地面传感器,

摆脱了天气和时间的限制。

目前,美国空军正在为首颗空间监视卫星的发射做准备。首颗空间监测卫星将使用一架质量为175 kg、30 cm口径的望远镜。卫星设计寿命7年,这样能与下一颗卫星同步运行至少2年。首颗空间监测卫星将用于替换美军的“中段太空试验”(MSX)卫星,其灵敏度将是“中段太空试验”卫星的2倍,容量是它的10倍。目前,该卫星存储在鲍尔宇航技术公司设备厂。该公司作为子承包商,建造了卫星主体及其光学望远镜,波音太空与情报系统分部研发了卫星的星载处理器和地面基础设施,并将在“施里弗”空军基地控制卫星运行。

美国空军也在安排第二颗卫星的招标工作,第二颗卫星本质上来说是第一颗卫星的复制品。空军目前的计划是在2011年初进行竞标活动并售出合同,卫星预计在2014年底发射,将与首颗空间监视卫星共享地面设施。该卫星配有一个超灵敏光学望远镜,可与地面跟踪雷达形成一个网络,用于监测太空碎片和外国卫星。除了一些低空目标外,望远镜还能探测到位于地球同步轨道上3.6万千米高空运行的卫星。它所提供的数据都是一些用于更新编目的测量信息,以便更好地掌握目标在太空中的位置和轨道上的移动轨迹,以及太空目标识别信息,用于了解在太空运行的目标及其潜在能力。

1.4 “战术星”系统

为了解决现有空间系统存在的“系统复杂、机动缓慢、快速响应能力不足”的问题,以及日益增加的反卫星威胁,“作战响应空间”能力近年来一直是美军发展的重点领域,“战术星”是美军在这一领域实施的主要计划。

2009年5月,美国空军成功发射了“战术星-3”卫星。该卫星装载的主要仪器是一台高分辨率的超光谱成像仪(ARTEMIS),具备较高的分辨率和星上处理能力,可把作战指挥官下达侦察指令到接收到目标侦察信息的时间缩短至约10 min。

2009年6月,该超光谱成像传感器已经启动并进入了工作状态,测试载荷的性能,通过10 min的数据采集,从太空向地面军方指挥官提供战术监视信息。超光谱成像仪是根据空军实验室一份价值1500万美元的合同而开发的,周期为15个月。这种载荷由一组三套件(望远镜、分光计和星载数字信号处理芯片)组成,能够在可见光和红外波段对地面进

行高空间分辨率成像。系统将用于搜索伪装、地面干扰和其他敌人活动迹象。超光谱成像仪易于制造和重复使用,可用作雷声公司近期开发的“应答器(Responder)”模块化载荷中光电组件的模型。“应答器”将使用一系列可互换特定任务传感器的通用载荷框架和标准化连接器结合在一起,可实现快速设计、制造和航天器载荷集成。

2010年6月,美国航天器控制部门将“战术星”-3正式移交给空军太空司令部,该卫星将从实验演示转为运行资产。卫星完成了快速初始校验并成功验证了主有效载荷高分辨率的超光谱成像仪并协助海地和智利执行了地震搜救工作。项目团队完成了计划的所有关键目标,卫星已经提供了高质量和信息丰富的数据,未来将继续全面量化成像分光计系统的适用性,以满足多种应用^[3]。

2 天基光电侦察系统发展计划

2.1 MOIRE 计划

据美国《军事与宇航电子》2010年2月报道,美国国防先进研究项目局的天文学家将实施一个新项目,即薄膜光学成像器实时开发(Membrane Optic Imager Real-Time Exploitation, MOIRE)计划。为地球同步轨道卫星望远镜开发一种大型衍射薄膜光学系统和通讯设备,这种望远镜将成为天基视频监视系统的一部分。美国国防先进研究项目局正在邀请业界对此有兴趣的公司参加这一项目。

薄膜光学成像器实时开发计划旨在为作战人员持续提供实时战术视频,国防先进研究项目局的科学家坚信,这种衍射薄膜光学系统的开发将有助于实现低成本地球同步轨道成像。国防先进研究项目局将最终开发一种尺寸为20 m的系统,可对无法进行地面侦察的地区提供7×24 h的可见光图像覆盖。美国国家图像可判读等级(NIIRS)为3.5+,刷新频率至少为1 Hz,覆盖面积超过155 km²,而系统的成本则低于5亿美元。

薄膜光学成像器实时开发计划第3阶段将开发一种尺寸为10 m量级的衍射薄膜光学系统。目的是实现用于地球同步轨道成像系统的体积更大、成本更低、质量更轻的可部署衍射薄膜光学系统;近实时图像稳定和战术地理位置信息;可增加光谱带宽的望远镜设计;大型装置在地球同步轨道的稳定性和

动力学性能;目标运动快速探测性能。

2.2 “鹰眼”纳卫星计划

“鹰眼”纳卫星计划是陆军的第2个纳卫星项目,源于美国国防预研计划局的一个项目。卫星质量为9 kg,分辨率为1.5 m,主要组成部分有电子设备和太阳能电池帆板,目前这两部分已完成原型建造。其他设备包括照相机和数据传输系统,该卫星将在2011年发射。每颗“鹰眼”卫星的成本将在100万美元左右,非常便宜。

目前,“鹰眼”项目正由智能技术微系统公司建造,星上装备了10 inch口径的照相机。“鹰眼”项目的下行链路系统每秒可以传回2张图像,卫星每颗卫星可覆盖8 km的区域。卫星分辨率仅为“锁眼”-12卫星的十分之一,虽然不算是高分辨率卫星,但已经足够识别地面的建筑物和车辆。这对陆军将非常有帮助。

“鹰眼”将直接接受战场上前线作战部队的指挥,并直接向地面站传送1.5 m分辨率的图像。一个有30颗小卫星组成的星座可以提供24 h 7天的覆盖。如果“鹰眼”计划成功,将为更小、更廉价的作战卫星开辟道路。它们可用于建造拥有红外和可见光波长能力、光学雷达和其他传感器的侦察卫星。

2.3 气象卫星系统发展计划

美国是目前唯一拥有军用气象卫星系统的国家,目前正在实施“国防气象卫星计划”及其后续计划——“国家极轨运行环境卫星计划”。

2.3.1 “国防气象卫星计划”

“国防气象卫星计划”(DMSP)卫星系统用于战略和战术气象预报,为美军的海上、陆上及空中军事活动提供支持。该系统由2颗在近极轨道运行的卫星、C3、用户终端和气象中心组成。卫星上装有一套尖端传感器,能够拍摄可见光和红外云量图片;测量降雨量、表面温度和土壤湿度。卫星收集在所有气象条件下的全球气象信息、海洋信息、太阳-地球物理信息。

美国空军于2009年10月发射了“国防气象卫星计划”(DSMP)F-18 Block 5D-3卫星。与前几代气象卫星相比,Block 5D-3系列卫星拥有更大的传感器载荷、功率更强的子系统、更大的电池容量、更强的自主性,以及更精确的指向机动性。目前,该系统还有2颗卫星即将补充发射,以使系统能力维

持到2019~2020年。

2.3.2 “国家极轨运行环境卫星计划”

美国空军希望在最后1颗DMSP卫星入轨前,研制并发射新型军用气象卫星,从而保证能力的连续性。为此,推出了气象卫星的后续发展计划——“国家极轨运行环境卫星计划”。

2009年6月,美国国家海洋大气局牵头研发新一代极轨气象卫星计划。该计划装载的主要光电遥感仪器有横跨轨道扫描红外探测器和可见光、红外成像仪。红外探测器有1000个红外通道,用于探测大气的温度和湿度垂直廓线。成像仪可将极轨气象卫星上的AVHRR和军用气象卫星上的OLS功能相结合,获取高分辨率微光、可见光、红外云图以及地表特征、气溶胶等资料。载荷中可见光红外成像辐射仪套件(VIIRS)有22个通道,包括一个长波昼夜通道,最大的特点是减少了视场边缘分辨率的下降。

2010年1月,诺斯罗普·格鲁曼公司领导的美国国家极轨运行环境卫星系统(NPOESS)小组交付了一个重要传感器——VIIRS。该系统是美国在低地球轨道运行的下一代气象和气候监测系统,将在未来20年为军民用户持续提供全球气象与气候数据,将提供非常详细的云、植被、冰雪覆盖、沙尘暴及其他环境现象的彩色图像。该系统将被集成到国家极轨运行环境卫星系统预备航天器上,预计在2011年发射。计划部署在首个国家极轨运行环境卫星系统航天器上的第2套可见光红外成像辐射仪套件飞行单元正在逐步成熟化,组件生产正在进行中。

2010年7月,美国下一代气象卫星已经接收到了最后一个观测仪器,将于10月开展发射前环境试验。

美国极轨卫星环境系统(NPOESS)预先计划(NPP)的此前5个传感器2010年6月运抵鲍尔宇航技术公司,已于7月集成到卫星上。NPP计划2011年10月发射,补充由国家海洋气象管理局(NOAA)运行的极轨气象卫星舰队。交叉跟踪红外探测器(CrIS)是NPP最后一个运往鲍尔公司卫星工场的有效载荷。CrIS由ITT Geospatial系统公司建造,将测量大气温度和水汽的垂直分布,该传感器此前出现问题导致了NPP发射从2011年1月推迟至10月。NPP最早是NASA极轨环境卫星的技术验证任务。但NPOESS计划的长期推延使NPP成

(下转第26页)

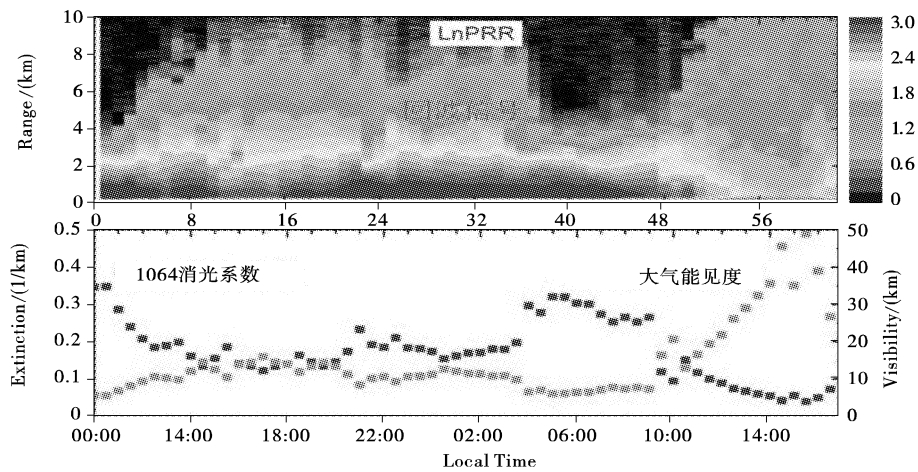


图 7 测量海域 6 月中旬连续 31 h 激光大气衰减变化规律

气严重,大气能见度较低,激光水平传输大气衰减主要是由雾产生的,激光在雾中传输其衰减相当大,此时透过率达最小;而在下午 14:00 左右,由于雾气、水汽蒸发大气中的水分子含量下降,激光传输主要受大气中霾粒子的 Mie 散射影响,其对激光传输的衰减作用减至最弱,此时透过率达到峰值最大。

借助于长期观测下的激光衰减时空变化规律统计,可更为直观、形象的对激光传输的日衰减变化规律、不同季节的交替周期变化规律以及年变化规律等进行描述。

4 结 束 语

在简要介绍激光散射衰减测量原理的基础上,

(上接第 15 页)

为维系当前卫星星座和下一代系统的重要角色。

3 结 束 语

近年来,随着航天技术的快速发展,促进了天基光电侦察技术的发展,世界各国都在积极研发各种新型天基光电侦察技术与装备。处于领先地位的美国一直十分重视发展天基光电侦察技术,其天基光电侦察系统将向分辨率更高、侦察谱段更多及侦察范围更广的方向发展。可以预计,随着航天技术和装

结合实际测量,给出了部分典型气象条件下的激光大气衰减测量结果,并对连续测量条件下的激光大气衰减变化规律进行了初步的统计分析研究。

参考文献

- [1] 宋正方.应用大气光学基础[M].北京:气象出版社,1990:158-164.
- [2] 孙景群.激光大气探测[M].北京:科学出版社,1986.
- [3] Curcio J A, Knestrick G L. Correlation of atmospheric transmission with backscattering[J]. J. Opt. Soc. Amer, 1958, 48(10):686-689.
- [4] 杨瑞科,马春林.激光在大气中传输衰减特性研究[J].红外与激光工程,2007,36:415-418.

备的飞速发展,空间光电侦察将开启空间态势感知的新纪元^[4]。

参考文献

- [1] 胡思远,陈虎.美军航天战[M].北京:国防大学出版社,1995:70.
- [2] 王永刚,刘玉文.军事卫星及应用概论[M].北京:国防工业出版社,2003:20-21.
- [3] 李荣常,程建.空天一体信息作战[M].北京:军事科学出版社,2003:1-14.
- [4] 任莹.军事航天技术[M].北京:军事科学出版社,2003:1-14.