

空间对地观测技术发展及应用

周志鑫, 吴志刚, 季 艳

(北京遥感信息研究所, 北京 100085)

[摘要] 介绍了对地观测技术的国外发展情况,从国家安全的角度分析了地对地观测技术的发展趋势;接着结合国内地对地观测技术发展现状,分析了我国地对地观测系统发展存在的差距,从地对地观测对国家安全的重要作用出发提出了启示和建议。地对地观测系统可以满足面向各种应用的对陆地、海洋、大气等各个层面的全方位、立体观测信息需求,在维护国家安全、促进经济建设和推动技术发展等诸多方面发挥着越来越重要的作用。

[关键词] 地对地观测;国家安全;空间信息

[中图分类号] V11 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2008)06-0028-05

1 前言

近几十年来,地对地观测系统随着航天、航空、平流层等平台技术,光学、微波等有效载荷技术的发展而逐步发展壮大。目前,世界各国已建立了面向各种应用的多个空间地对地观测系统,构成了对陆地、海洋、大气等各个层面的全方位、立体观测体系,在维护国家安全、促进经济建设和推动技术发展等诸多方面发挥着越来越重要的作用。

地对地观测是以地球为观测对象,依托卫星、飞船、航天飞机、飞机以及近空间飞行器等空间平台,利用可见光、红外、高光谱和微波等多种探测手段,获取信息并进行处理和形成产品的过程。相应的承载平台、探测手段、处理及应用设备等共同构成地对地观测系统。地对地观测系统,根据承载平台所处空域的不同可分为天基、空基和临近空间三大类;根据用途不同可分为军用系统、民用系统、商业系统。

2 国外发展情况分析

地对地观测技术以其在军事、国民经济建设等领域的广泛应用前景而受到世界各国的重视。

早期,地对地观测技术的研究与应用主要是在军

事领域,以军事侦察和大比例尺制图为目的。美国和俄罗斯在这方面起步较早,并始终走在世界前列,发展并建立了先进的高分辨率军事地对地观测体系。20世纪90年代以后,随着经济、社会的发展,高分辨率地对地观测逐渐进入民用领域,并迅速地发展起来。21世纪初,地对地观测技术已进入以高分辨率、高精度、全天候信息获取和自动化快速处理为特征的新时期。

2.1 天基地对地观测系统

天基地对地观测系统的发展可追溯到1959年美国发射的第一颗卫星照相侦察系统。目前,美国、法国、德国、俄罗斯、以色列等国家技术最为先进;日本、印度、巴西、南非、韩国等国家也发射了对地观测卫星。

美国在地对地观测方面始终走在世界前列,建立了包括侦察卫星、资源(陆地)卫星、海洋卫星、气象卫星等较为完善的空间地对地观测体系。1959年2月28日成功发射了世界上首颗试验型成像侦察卫星——发现者1号,标志着美国的成像侦察卫星进入了实用阶段。随后,发展了六代以“锁眼(key-hole)”为代号的光学成像侦察卫星。该系列侦察卫星的星载传感器由第一代的单一可见光成像发展到

[收稿日期] 2008-01-30

[作者简介] 周志鑫(1965-),男,安徽太湖县人,博士后,北京遥感信息研究所研究发展中心研究员,主要研究方向为星载SAR图像处理及应用技术,卫星应用技术

现在的可见光、多光谱及热红外成像;分辨率由第一代的3~5 m发展到现在的0.1 m;工作寿命由第一代的3天发展到现在的8年;卫星重量也由第一代的1 t左右增加到现在的15 t左右。为了克服可见光成像侦察卫星的固有缺点,获得全天时、全天候侦察能力,并揭示地下目标,美国还于1988年发射成功了世界上第一颗高分辨率合成孔径雷达侦察卫星——长曲棍球(lacrosse),其分辨率可达0.3 m,设计寿命为8年。目前,美国在轨执行军事侦察任务的主要有3种:高级KH-11光学成像卫星、3颗长曲棍球雷达成像卫星和1颗8X光学/雷达成像卫星。这些分辨率高、机动性强、寿命长的侦察卫星,使美国在军事侦察领域占有明显的优势,并在历次现代局部战争中为美军夺取信息优势发挥了至关重要的作用。

同时,美国积极开发天基对地观测技术的民用价值。在1972年,率先发射了民用资源卫星——陆地卫星(landsat)。Landsat卫星系列是现今最先进的资源卫星之一,到现在已经发射了7颗,对全球的遥感技术与应用产生了重要而广泛的影响。此外,还有多个高分辨率商业成像卫星如艾科诺斯(Ikonos)、快鸟(quickbird)投入使用,并服务于军事、测绘、建筑、采矿、城市规划、土地利用、资源管理、农业调查、环境监测和地理信息服务等诸多领域,产生了广泛而深远的影响。

前苏联自1962年4月26日发射首颗侦察卫星宇宙4号起,迄今已发展了光学成像和雷达成像两大系列卫星,是世界上发射侦察卫星数量最多的国家。光学成像侦察卫星共发展天顶、琥珀和蔷薇辉石三大类别共八代,前三代先后被淘汰,第六、第七、第八代处于试验阶段,第五代和第八代属于数字图像传输型,其余各代均为胶卷回收型,第四代胶卷回收型卫星和第五代数字传输型卫星是目前俄罗斯照相侦察卫星的主力阵容。目前,俄罗斯在役的侦察卫星主要是第四代胶卷回收型详查卫星和第八代数字传输型卫星,其中前者分辨率约0.2 m,用于执行详查任务,后者分辨率约1 m,主要用于执行普查任务。

法国是世界上少数几个能自主研制和发射实用型高分辨率对地观测卫星的国家之一。早在1977年,法国便提出了侦察卫星发展计划,目前发展了两代太阳神1、太阳神2卫星各两颗;并同步开展了民用资源卫星系列SPOT的研制,陆续发射的SPOT-1、SPOT-2、SPOT-3、SPOT-4、SPOT-5卫星,为

其遥感技术的发展奠定了坚实的基础,并在商业遥感市场上占据了半壁江山。

此外,以色列、印度、日本、加拿大、德国、意大利等国从各自需要及国情出发,自20世纪80年代后期开始积极发展各自的卫星对地观测系统,典型系统包括以色列的地平线系列小型成像侦察卫星,印度的IRS卫星,日本的JERS卫星、高级对地观测卫星(ADEOS)、ALOS卫星,以及加拿大RADARSAT卫星等,涵盖CCD相机、SAR、成像光谱仪等多种探测手段。

2.2 临近空间对地观测系统

临近空间对地观测系统具有无人操作、探测范围广、时空分辨率高等优点,可装载多种对地观测设备,广泛用于侦察、预警探测、环境监测、大气科学研究等领域,受到各发达国家的重视,特别是20世纪90年代后,科学技术的飞速发展,使以平流层飞艇等为平台的临近空间对地观测系统实用化成为可能,临近空间对地观测系统已成为当前世界各国竞相研究的一大热点,美国、英国、德国、日本、以色列、南韩等国都在积极进行研发。

美国临近空间飞行器研究项目很多,有海象(walrus)、同温层卫星(stratospheric satellite)、复合壳体高空有动力平台计划(CHHAPP)、高空中继路由器实验(HARREX)、临近空间机动航空器(NSMV)、高空飞艇(HAA)、黑暗天空站(dark sky station)、轨道攀登者(orbital ascender)、高空侦察飞行器(HARVe)等。在临近空间信息应用方面,美国陆军空间和导弹防御司令部与导弹防御局(MDA)计划将临近空间飞行器用于弹道导弹和巡航导弹的早期预警;而美国国防部将临近空间飞行器列入无人飞行器系统范畴,同时美国空军为临近空间飞行器确定了更广泛的应用方向,诸如C4ISR(指挥、控制、通信、计算机、情报、监视和侦察)、近实时跟踪高价值目标、空间监视、导弹防御、自然灾害快速响应、边境控制等。

在美国大力发展临近空间信息技术的同时,世界各工业发达国家也积极加入这一高新技术领域。英国2002年9月完成了近空间定点飞艇平台的低空试验艇试验飞行;欧洲航天局(european space agency)从1998年开始进行近空间定点飞艇平台的概念设计;日本在2003年进行了升空高度达16 400 m的飞艇平台试验演示验证;韩国2003年10月已完成升空高度3 000 m、任务载重200 kg的全

电平流层飞艇平台中低空试验;荷兰正在实施一项称为“领航员”的军民两用硬式飞艇计划;澳大利亚在2002年初也提出了利用飞艇搭载信号情报侦察设备的计划等。目前,国外研究的这些临近空间飞行器的预定留空时间从几天到1年不等,设计有效载荷搭载能力从几十到2000 kg以内,应用领域主要包括通信、侦察、导弹防御、运输、对地攻击等,但是从总体上看,临近空间信息技术还处于关键技术攻关和演示验证阶段。

2.3 空基对地观测系统

空基对地观测系统以飞机为平台,可以装载各种观测仪器,具有高度机动性和灵活性,在对地观测应用中使用较为广泛,许多技术先进国家都专门建立用于航空遥感的飞机平台体系,并将其作为国家发展对地观测技术、开展其应用的基础设施之一。

美国宇航局(NASA)建立了一整套较为完善的机载遥感系统,其下属的阿莫斯(Ames)研究中心,按照NASA“机载科学应用计划(ASAP)”,设置了C-103地球资源研究飞机、DC-8机载实验室、C-141机载红外天文台、ER-2高空飞机和Learjet喷气式飞机等5种类型飞机。目前,在美国“机载遥感器实验平台联合计划”(RASTER-J)中,已经投入使用或正在试验的有全球鹰(global hawk)、捕食者、火力侦察兵、影子、蚱蜢、鹰眼、X-45A等57个品种的高空监视无人机。

此外,以色列有苍鹭、侦察兵、搜索者、赫尔姆斯等16个品种的无人机;法国有红隼等15个品种的无人机;俄罗斯现有6个品种无人机等。

航空侦察是空基对地观测系统的一个重要应用领域,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,向各级指挥官提供实时的侦察情报信息,而且还可对目标进行跟踪识别。同时,航空侦察既可克服地面侦察受地球曲率和地形障碍物对视线的限制,又可弥补卫星侦察细节描述和时效性的不足,因此,目前它仍是获取战术情报的基本和有效手段。在军事领域,空基对地观测系统主要用于目标侦察、战场监视、精确打击和毁伤评估。目前空基对地观测的最高可见光达到了亚米级,红外达到米级,SAR优于0.3 m。

2.4 发展趋势分析

美国对地观测应用技术代表了国际最高水平,基本实现了“从传感器到射手”连接应用。典型应用系统是“波斯尼亚指挥控制系统”,包括联合广播

服务系统和甚小孔径地面终端网络,可接收卫星、无人机和其他侦察飞机获得的图像,具有双向通信能力,联系着战区50个指控部,通过系统向每个用户传送一幅图像一般只需5~30 s。

对地观测在民用、商用的领域也日益扩大,世界各国已经将对地观测信息广泛应用于经济、环境监测、减灾防灾、科研等领域,并扩展到了政治、外交、社会经济建设方方面面,取得了显著的经济和社会效益。先进国家的对地观测应用系统日益完善,应用技术水平日益提高,促进了空间信息产业链的形成。

目前,全球新一代高性能对地观测卫星和航空遥感平台正在加紧试验研制,近空间对地观测技术也呈现良好的发展势头,美国、俄罗斯、印度、日本、欧空局和加拿大等的高分辨率航天和航空遥感平台相继投入应用。未来15年,人类可望进入一个多层次、立体化、多角度、全方位和全天候对地观测的新时代。由天基、空基和近空间各种平台相结合构成的对地观测系统,将能快速、及时地提供多种空间分辨率、时间分辨率和光谱分辨率的对地观测数据。从发展趋势上主要表现为以下几种。

2.4.1 对地观测在国家安全中的作用日益显著

对地观测无论是在全球安全还是在局部战争中都发挥着巨大作用,使得其在国家安全中的作用日益显著。

在朝鲜核危机中,美国利用高分辨率成像侦察卫星、具有侦测核辐射能力的侦察机等对地观测手段,监视朝鲜核设施建设情况,并综合各种对地观测情报,动态调整应对朝鲜核危机的各种政策。

在伊拉克、阿富汗战争中,美国构建了多层对地观测体系:太空由多颗间谍卫星组成的天眼卫星网——空中高度约20000 m的U-2侦察机,全球鹰无人侦察机,高度约12000 m的移动目标追踪雷达的预警飞机,高度约6000 m的图像、红外线及雷达传感器掠食者无人驾驶飞机,所有这些空中侦察到的数据都将传送到地面的指挥中心,使美军得以掌握最新的第一手情报。

2.4.2 高分辨率仍将是世界各国竞相追求的目标

对地观测不论是采用胶卷型卫星、光学数字成像卫星、合成孔径雷达卫星、光学和雷达结合的卫星及星座,还是无人机、平流层飞艇,其分辨率都是呈逐渐提高的趋势,以满足军事侦察、科学研究以及经济建设对分辨率的要求。

空间分辨率方面,成像侦察卫星的地面分辨率最初只能达到几 m,现在一般普查卫星为 1 m 或更高,详查卫星为 0.5 m 以上,美国的高级 KH-11 达到 0.1 m。美国的下一代“未来成像体系结构(FIA)”卫星据说分辨率将达到 6.35 cm。欧洲目前 SAR-Lupe, COSMO-SkyMed 及 TerraSAR 分辨率均为米级。日本目前侦察卫星分辨率为 1 m,下一代为 0.5 m。商业对地观测卫星的分辨率也已达到了 0.61 m,不久将提高到 0.5 m 的水平。

光谱分辨率方面,1999 年 12 月 10 日美国发射的 EOS Terra 卫星上装载的中分辨率成像光谱仪仅具有 36 个波段;而澳大利亚资源信息和环境卫星(ARIES)将有 105 个波段;号称“新千年计划”第一星的美国 EO-1 卫星,装载一台高光谱成像仪,其光谱分辨率更是达到 10 nm 共 220 个波段。强力星-2-1(Mightysat II.1)卫星的傅立叶变换超光谱成像仪更是达到了 256 个波段。

3 国内发展概况

在天基对地观测方面,我国通过研制和发射侦察、测绘、资源、科学探测、海洋、气象、通信、导航以及环境与灾害监测等系列卫星,已初步建立起可长期运行的天基对地观测系统;在空基对地观测方面,机载遥感仪器几乎覆盖了目前遥感采用的所有波段;在遥感数据处理和应用领域,也取得了一定的成果。但总的来说,我国现有的对地观测系统无论从性能水平上,还是从自主研发上,与美国、俄罗斯、法国等航天大国之间还存在着较大的差距,主要表现在以下几方面:

1)从全局来看,我国没有建立国家级对地观测体系,没有形成运行管理机制和高效的数据共享及分发机制,导致发展中的重复与空缺并存、资源既匮乏又有浪费的现象发生;

2)尚未形成全天候全天时和全球视野的遥感观测和侦察能力,尚停留在以观测和监测为主的阶段,预测与预警能力薄弱、快速应急响应能力差;

3)对地观测的整体水平不高,数据接收和共性处理(预处理)系统互相分割、业务水平低、重复建设严重、信息资源短缺、标准不统一、服务不规范,尚不能向用户提供长期、稳定和全面的对地观测信息。

4 结语

对地观测系统可以满足面向各种应用的对陆

地、海洋、大气等各个层面的全方位、立体观测信息需求,在维护国家安全、促进经济建设和推动技术发展等诸多方面发挥着越来越重要的作用。从国外发展情况,可以得到如下启示。

4.1 高分辨率空间对地观测技术的发展动力

维护国家安全和军事斗争需要是推动高分辨率空间对地观测技术发展的强大动力。

美国为获取前苏联战略导弹规模和轰炸机部署情况,1959 年成功发射世界上第一颗侦察卫星,揭开了天基对地观测的序幕,军备核查、目标打击的需求推动分辨率迅速提高;全天时、全天候能力需求推动数字成像技术及红外、微波成像技术的发展;前苏联于 1962 年首次发射侦察卫星;法国独立自主的安全、防卫政策,需要有稳定、可靠的信息来源,1977 年就提出侦察卫星发展计划,推动了对地观测技术的发展;以色列应对中东复杂的安全环境,发展自主的空间对地观测系统。

4.2 高分辨率空间对地观测系统的发展目的

世界各国的高分辨率空间对地观测系统均首先并主要用于军事目的。

高分辨率空间对地观测系统首先用于军事。美国 KH 系列的分辨率始终是同时代对地观测卫星中最高,20 世纪 50 年代末~70 年代,分辨率由 12 m 逐步提高到 1.8 m、0.5 m 和 0.3 m,只用于军事;70 年代 KH-11 的分辨率为 0.15 m,陆地卫星为 80 m;80 年代高级 KH-11 的分辨率为 0.1 m,陆地卫星为 30 m;目前高级 KH-11 的分辨率为 0.1 m,长曲棍球分辨率为 0.3 m,是天基对地观测的最高水平。前苏联 1962 年开始发射侦察卫星,民用的到 90 年代开始发展;目前性能最好的琥珀 4K2,分辨率为 0.2 m,用于军事侦察。以色列 1988 年开始发射 Ofeg 侦察卫星,1995 年发射 EROS,目前,EROS-B,分辨率达 0.7 m。

高分辨率空间对地观测系统主要用于军事。各国发展的高分辨率空间对地观测系统中,军用系统占多数。据统计:从第一颗人造地球卫星上天截至 2004 年,40 多年时间里,美国和前苏联向太空发射的 4 000 多颗航天器中,约有 75% 用于军事目的,而其中又有 40% 用于军事对地观测。仅成像侦察卫星,美国就发射了近 260 颗,前苏联更是高达 850 多颗。

4.3 高分辨率空间对地观测系统的不同发展之路

国民经济建设和科学研究对高分辨率对地观测

系统的需求越来越迫切,各国根据自身特点走不同的发展之路。

对地观测系统在城市规划、气象预报、环境监测、生态保护、海洋资源开发与保护、大气污染控制、重大自然灾害预报和预警、全球气候变化及区域可持续发展等领域广泛应用。

美国解密较早时期的侦察卫星图像,逐步放宽分辨率限制,发展商用高分辨率空间对地观测系统;保留对商业卫星的“快门”控制权;阿富汗战争期间,五角大楼买断了 IKONOS 商业卫星图像。

1987年,前苏联开始出售 5 m 分辨率图像,1992年俄罗斯开始出售 2 m 分辨率图像;发展民用对地观测卫星资源系列;发展军民两用对地观测卫星阿尔康。

法国鼓励发展民用、商用系统,SPOT 卫星采用公司运营方式,但政府每年提供相当补贴;发展军民两用空间对地观测系统,与意大利合作研制 Pleiades - Cosmo 光学/雷达成像卫星星座。

与国家的需求、国际发展前沿相比,我国对地观测系统仍然存在着较大的差距,为加快我国对地观测系统发展,建议:加强军民结合,发展空间分辨率对地观测系统,为维护国家安全、促进经济建设和推动技术发展服务;建立快速反应的协调管理体制,应对突发事件,保障对地观测数据在国家战略决策、抗灾减灾等领域的安全、高效和共享应用;加强对地观测数据的应用研究,结合行业建立典型示范应用,促进对地观测系统的跨越式发展。

Development and application of earth observation and nation security

Zhou Zhixing, Wu Zhigang, Ji Yan

(*Beijing Remote Sensing Information Institution, Beijing 100085, China*)

[**Abstract**] The foreign development of the earth observation technology is briefly introduced. The development trend of the earth observation technology is described from the angle of nation security. Besides, the shortage of the earth observation system in our country is explained on the base of the discussion on the development actuality of the earth observation technology in China. The revelation and suggestion is brought forward. The earth observation system's effect is more and more important on the economy building and technology development, which faces the different requirements on information of the land, the ocean and the atmosphere.

[**Key words**] earth observation; nation security; space information