

中国对地观测技术发展现状及未来发展的若干思考

姜景山

(中国科学院空间中心 国家微波遥感技术实验室, 北京 100080)

[摘要] 空间对地观测及应用是发展航天技术的核心使命之一。迄今为止,国际上已发射了几千颗航天器。其中,对地观测卫星占有重要分量,是为经济发展、国家安全及环境、能源等领域的需求直接带来效益的、不可替代的航天技术领域。几十年的发展表明,国际上把对地观测技术作为重中之重技术发展。我国对地观测技术是上世纪70年代初开始,至今已走过四个发展阶段,已成为谱段齐全、数据获取技术有了较大发展、应用领域不断拓展、有较深入的基础研究及处理方法的初具规模的技术科学体系,几十年来在国民经济发展、国家建设中已发挥了重要作用。在我国中长期科技发展规划中,有多项相关对地观测的重大事项和研究项目。我国对地观测将以需求牵引、技术驱动,面向国际前沿,力争在对地观测领域跻身国际先进行列。

[关键词] 中国航天;卫星;对地观测技术;遥感;信息处理

[中图分类号] V474; P171 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)11-0019-06

自1957年10月4日,人类第一颗人造卫星升天以来,对地观测即成为重要的航天活动。由于其巨大而迫切的需求,在近50年来,各航天国家都重视发展对地观测技术。如今已成为地球轨道卫星及行星探测的主要使命,已形成了一门很有生命力的科学技术体系。这使人类可以从崭新的角度认识自己赖以生存的地球及其周围环境,乃至整个太阳系,进而宇宙。我们生活在不断变化的地球上,要深入了解自身生存的条件、环境、物质及其变化,以求持续地发展,不断改善生存和生活的质量,不断地扩大对太阳系乃至宇宙发展的认识。而遥感技术是达到上述目的的必不可少的技术体系。

遥感技术是对地观测的核心技术,与通信技术、导航定位技术、地理信息系统技术及其他高新技术紧密结合,形成有效的对地观测、对空观测的空间探测体系。技术内含上主要包括信息获取、在轨处理、信息存储及传输、地面接收处理、应用处理、定标、真实性检验、应用研究及基础性研究

等。目前为止,用于遥感的谱段覆盖可见光、红外光、广义上的微波(含毫米波、亚毫米波段)及射频谱段。平台技术涉及轨道飞行器(卫星、飞船等),近地空间平台(飞艇等),航空器(各种飞机),探空火箭等。

经过近50年的发展,不但在技术和理论上,而且在应用领域对地观测技术已呈现出不可或缺的作用。对地观测的发展带动了一系列相关理论和新技术的发展;新技术的发展又极大地推动了应用的发展。进入21世纪,对地观测发展面临急迫而广泛的需求,展现出空前发展的机遇,面临严峻的挑战。因此,我们要努力把握机遇,冷静的认识问题和困难,以创新的精神为建立我国强有力的对地观测体系,以满足广泛需求,为国家建设、人民生活改善、建成持续发展的社会而努力。

1 近50年发展成绩显著

自人造卫星上天以来,对地观测成了主要的应

[收稿日期] 2006-09-12

[作者简介] 姜景山(1936-),男(朝鲜族),吉林龙井市人,中国工程院院士,中国科学院空间中心国家“八六三”微波遥感技术实验室研究员,中国探月工程副总设计师

用卫星使命。遥感技术首先用于由卫星观测地球的同时,早期已用于金星探测中。1960年美国发射的电视及红外卫星(TIROS)是最早的气象卫星。自那时以来已发射了数以百计的对地观测卫星,其主要成果和特点是:

1.1 坚持需求牵引和技术驱动,以重大全球性和区域性计划带动其发展

无论是美、俄、欧空局,还是中国,空间对地观测的发展都是从本国或全球的需求出发,军民两方面的需求,特别是在一些技术领域,军事需求仍是驱动遥感技术发展的动力。军事和战争的需求以及城市建设、重大工程等需求带动了高分辨率遥感(包括空间和光谱)的发展,也对平台的综合提出了要求和依据。全球环境变化以及这种变化对人类生存和持续发展所带来的巨大威胁和影响,提出了遥感全球化、定量化和高频度观测和分析技术的发展。

在对地观测技术发展过程中,美欧等国家和国际组织多次提出并执行了几项全球性或区域性计划,大大推动了其发展。这些计划中有美国NASA的行星地球使命MTPE(mission to planet earth)计划,EOS计划,欧空局(ESA)的Living Planet计划,国际全球变化计划(changing earth),全球气候研究计划(WCRP)及美国的新盛世计划(NMP)等。其中,MTPE计划是在1997年至2002年期间作为主要阶段,一直还在继续,其主要目的包括研究土地覆盖和土地利用变化;气候的季度变化和年度变化;自然灾害研究及应用;长期气候变化及大气臭氧研究等。EOS计划是MTPE计划的重要组成部分。ESA的Living Planet计划是一项长期的、由许多较小的、任务较单一的科学和应用项目组成,主要目的是进行地球、气候和环境研究等。由于这种计划多,不作一一说明。这里值得一提的是美国新盛世计划(NMP)。该项计划提出了快、好、省的发展理念,重点是以小卫星、微小卫星技术为基础,开展一系列前瞻性的中长期研究工作。NMP计划内容涉及较广,包括行星探测等,而遥感技术是其核心内容之一。

1.2 遥感应用领域不断拓展,效益和服务能力不断提高

在遥感和地球空间信息科学技术已高度发达并日臻成熟的今天,在一些发达国家,其国家行为更趋于支持新型技术的发展,包括探测和信息获取、处理技术,同化技术,融合技术,集成技术,共享

技术等;在应用方面,国家和政府更倾向于支持那些关乎人类生存发展的重大公益性问题,如全球环境变化和它的区域响应问题,减轻和防止自然灾害,扩展资源和能源空间等问题方面。数字地球概念提出来以后受到各国的重视,提出了各种版本的“数字地球”。遥感大大突破了国家、政府和公益性应用的框架,使遥感和空间信息的应用走上大众化和面向更广大用户直到个人应用(上至国家元首,下至普通百姓)的技术进步的道路,也产生了显著的直接经济效益。

1.3 形成了完整的对地观测体系和若干新理论

已基本形成了以专门理论为基础,遥感和地理信息系统、卫星定位和通信系统紧密结合,能满足广泛应用需求的完整的对地观测体系。

此外,在近50年发展过程中,还产生了若干新理论、新概念,诸如:遥感谱段拓展(紫外、可见光、红外、微波、毫米波、亚毫米波),接近填补电磁波“间隙”(EM GAP);信息获取技术(单一模态、多谱段、超光谱、亚毫米);孔径合成概念;光谱成像概念;多模态综合探测及融合处理;全电磁参量作为信息载体;新的处理方法;空间分布式系统及航天器编队飞行的概念等。

1.4 对地观测技术的不断进步与发展

全天候、无阻隔的对地观测受到很大的重视,这是提高对地球信息获取能力的重要技术进步,从美国Seasat开始,星载微波遥感和航天飞机雷达系统不断发展和运行。

遥感探测技术经历过早期的对地球观测,对空和对地的结合以地球为主到当今的地、空观测并重。一些更为先进的遥感系统如高光谱遥感系统等已大量用于对空和对地观测,如对月球、火星、土星以及其他行星、小行星、彗星等,大大拓宽了人类的视野。

现代小卫星(包括微小卫星)对地观测技术迅速发展:在广泛的应用需求和NMP计划的推动下,近20年来美、英等国相继提出了小卫星计划,其中,英国萨里大学小卫星研究中心起到了引领作用,至今已有多个国家都发射了相关的小卫星,而对地观测是其重点使命。

2 我国对地观测系统发展令世界关注

2.1 简要回顾

中国的遥感技术发展始于上世纪 70 年代初。而 1975 年 8—10 月间，在原国防科工委钱学森副主任主持下召开的全国第一次遥感规划筹备会（即通县会议）在我国对地观测技术发展中是一件历史性事件。从通县会议后，我国遥感正式成为国家重点发展项目，曾列为“六五”至“九五”国家科技攻关的重大项目之一。自那时起，我国遥感发展大约走过了 4 个阶段：**a.** 概念引进及调研；**b.** 经“六五”、“七五”、“八五”国民经济发展计划，初步布局了学科建设和技术研发工作，建立了地面站，建造了机载和地面遥感器，在灾害监测及资源环境应用等方面有了初步成果；**c.** 进一步加强基础设施建设和基础及应用理论研究，在研制气象卫星中，遥感器正式成为应用卫星主要载荷；**d.** 部分遥感卫星向业务化、系列化发展，在国际上占有一定的位置。

目前，正处于第 5 阶段，即全面深入发展，大力推进业务化、产业化，并开始 in 深空探测中得到应用。

2.2 主要进展及成果

2.2.1 已形成了谱段较全，学科和技术门类较完整的卫星和机载系统，在一些应用领域显现出不可替代的作用。我国在遥感空间信息技术上有了巨大的发展，取得了历史性的突破。我国已形成了气象、资源、海洋等卫星系列及其应用系统。在信息获取技术发展方面已拥有了从模拟胶片摄影遥感到固态数字成像、多光谱到高光谱，主、被动微波等在内较全面的遥感技术体系，在航空、航天平台上实现了遥感对地观测。与此同时地理信息系统和卫星定位系统技术也有了长足的发展，在国家经济、社会发展中起到了相当的作用。

已发射的主要对地观测卫星和机载遥感系统有：风云系列卫星极轨 FY-1 系列，静止轨道 FY-2 系列；海洋卫星趋向系列化发展，已发射了 HY-1 海洋水色卫星；中巴合作的资源卫星 ZY-1，ZY-2 系列卫星；神舟 3 号、4 号飞船；小卫星包括探测 1 号测绘卫星，北京 1 号对地观测卫星等；以及其他遥感卫星（包括返回式遥感卫星等）。在这些已发射卫星中，气象卫星已成为国际气象卫星业务运行系列，在处理运行及应用等方面在国际上占有相当重要的地位。在发射卫星系列的同时自“七五”科技攻关起，逐步建立了较完善的机载遥感系统，如“七五”攻关中建立的“机载遥感实用

系统”，“八五”和“九五”建立的“遥感信息的机—星—地实时传输系统”及其他的行业性机载系统已在我国灾害监测和管理、农作物估产、环境监测、城市规划、资源探测等方面都发挥了或正在发挥重要作用。

2.2.2 主要应用成果 在此期间，利用我国自己的卫星和机载信息，大量用国外数据开展了应用研究和推进处理方法和技术的发展。对地观测应用领域很广，成果比较丰富，下面只提及其中部分成果：

国家科技攻关及其他的国家和地区相关研究项目的实施，大大推动了我国对地观测应用的进展，其中包括：建立了重大自然灾害遥感监测及评价体系；重点产粮区主要农作物遥感估产；灾害和估产遥感技术系统；建立了资源环境和区域经济空间信息共享应用网络等；新型遥感器及其配套技术研究等。

此外，在国家“八六三”航天领域和信息领域支持下，一些遥感关键技术获得突破。

2.2.3 信息获取能力有了明显的提高 经过 30 多年，特别是近 15 年的努力和国家的大力支持，我国对地观测的信息获取能力有了明显的提高，已能初步满足各种应用计划的需要。从谱段覆盖看，已从可见光、红外到微波遥感器都实施了星载飞行，仪器形式包括可见光相机（包括胶片式和传输式），可见红外多光谱扫描仪，多种分辨率成像光谱仪，微波散射计，微波高度计，多波段微波辐射计，合成孔径雷达等星载设备；从遥感能力看，能够实现全波段、全天候、全天时的对地观测，其分辨率在可见光谱段已达到 1 m，光谱谱段数超过 100 个，分辨率达到纳米级；从应用使命看用于气象、海洋、资源（包括陆地）及探月等应用领域。

2.2.4 学术进步与科技队伍 不断进行对地观测的发展战略研究，广泛进行学术交流，在遥感基础理论和基础技术研究方面取得了瞩目的成果，我国对地观测的国际地位有了较大的提高。与此同时，形成了一支以老一代遥感者为指导，中年一代为核心，青年一代为骨干的对地观测科学技术队伍。

3 以创新实践推进我国空间对地观测向更高水平发展

3.1 做好对地观测卫星转向工作

以更好地为国民经济、社会发展、国防安全服

务为主线,做好对地观测卫星转向工作。根据《中国的航天》白皮书和主管方面的规划,我国航天科技将优先实施载人航天工程、探月工程、北斗导航工程和高分辨率对地观测等四大工程项目。重点发展卫星遥感等几大应用产业,从整体上要初步实现由实验应用型向业务服务型的转变,努力形成具有一定经济规模、产业链完整、与相关行业融合发展的航天产业体系。对地观测是其中重点之一。

对地观测的需求很广,下列 11 项包括了大部分急需解决的问题:关键土地资源天天监测;主要农作物长势动态监测;城市状态精确监测;重要事件定量监测;重大灾害应急和跟踪监测;环境生态长期监测;阴雨地区全天候监测;困难地区有效监测;周边国家和地区不间断监测;全球环境重点监测;国防安全高分辨率、高频度不间断监测。

3.2 计划发射的卫星

计划在“十一五”或“十二五”发射的部分对地观测卫星有:

3.2.1 风云 3 号卫星 (FY-3) 是以微波遥感器为主要载荷的极轨卫星,主要载荷有微波成像仪、微波温度计、微波湿度仪,其中微波湿度仪将工作在 150 GHz 和 183 GHz,计划于 2007 年发射。

3.2.2 海洋 2 号卫星 (HY-2) 是以海洋动力探测为主要目标,包括微波高度计、微波散射计和多波段微波辐射计,预计在“十一五”末期发射。

3.2.3 环境卫星系列 是 8 颗小卫星组网或编队的卫星,有效载荷包括 4 颗光学系统,4 颗微波系统。计划 2007 年发射首批 2 颗光学和 1 颗小型 SAR 卫星。

3.2.4 嫦娥 1 号探月卫星 主要有效载荷有光学相机和成像光谱仪, γ/χ 谱仪、激光高度计、微波对月探测仪及月球空间环境探测仪,其中微波探测仪是国际上首次在月球轨道上探月的微波系统。

3.2.5 资源及其他卫星系列 中巴继续合作发射一系列资源卫星;同时,根据有关规划,未来 10 年我国将发射数十颗不同使命的卫星,其中对地观测卫星占很大数量。

3.3 几项前沿性研究工作

为提高对地观测数据获取能力,在国家中长期规划、“十一五”发展规划、“八六三”计划、“九七三”计划及自然科学基金等研发渠道支持下,已布局了众多预研或有型号背景的研发项目。下面介绍几项具有代表意义的项目:

3.3.1 可见光成像仪 新的需求引发新概念和新技术的不断涌现,诸如新型可展开光学系统技术、光学合成孔径技术、充气可展开技术等新领域。我国在未来几年研发重点是:进一步提高空间分辨率的同时,加大覆盖宽度,减轻设备重量,降低功耗,提高可靠性。其分辨率目标是在 500 km 高度上达到 0.1 m。

3.3.2 积极发展超光谱成像技术 主要研究目标是进一步扩大谱段数,提高谱分辨率,研发多工作模式的成像光谱仪。

3.3.3 微波至亚毫米波段遥感器 研发重点是进一步拓展频率,开辟亚毫米 (THz) 空间探测及成像技术,推动电磁波“间隙”的合拢,研发先进机理,开发出新的、高功能的遥感器,进一步小型化和低功耗化,扩大应用适应能力,主要研发项目有:三维成像高度计;综合孔径辐射计;地球同步轨道太赫兹探测仪;全极化探测技术;海洋综合探测技术;超高性能小型雷达高度计 (CHiPA);圆迹 SAR (CrSAR);极化干涉技术 (POLIN-);逆合成孔径雷达技术 (ISAR);高性能合成孔径雷达。

3.3.4 全电磁波参量探测及全谱段融合探测 研发重点是全极化目标探测,多谱段综合探测及信息的融合处理。

3.3.5 空间激光探测技术 激光探测技术在一些应用中具有紧迫的需求,国际上也十分重视其发展。我国在前几个 5 年计划研发中已研究机载系统;在今后发展中,星载激光探测技术研究应得到重视。在“十一五”及中长期规划和“八六三”计划中已有一定的投入。

3.3.6 深入研究先进的信息处理技术 向先进数据处理技术要高精度、高效益的遥感信息,已成为遥感技术研究重点。通过对采样数据的超分辨率分析及相干处理,利用相位信息,可获取高分辨力图像。通过定标和验证,提高定量化水平。对数据的深入挖掘可以提升遥感系统的应用能力,通过极化、相位干涉处理可获得高程信息,利用极化散射矩阵特征分解或处理,可获得目标本证信息。对数据的深入研究可以促进新机理和新型遥感器系统的产生,利用低分辨力 (25 km) 散射计和辐射计信息通过高分辨分析,可获得 1 km 分辨力地面特性。

3.3.7 重视研究和应用空间分布式系统及航天器编队飞行技术 空间分布式系统 (SDS) 是随着小卫星技术的发展,在 NMP 中提出来的一种新的空

间系统。在上世纪末，美国在新盛世计划的推动下，NASA 布局了十几所大学研究编队飞行技术。在概念研究的同时，进行了若干验证性的试验，ESA 等随即也开展了相关工作。其长远目标是建立空间虚拟技术如“虚拟平台”、“虚拟天线”、“虚拟孔径”、“虚拟雷达”等。我国也在上世纪末开始研究这一技术，并以第 206 次香山学术会议为契机，正在推动其研究与空间实验。

4 我国空间对地观测任重道远

4.1 重要的发展机遇

在“国家中长期科技发展规划纲要”的 11 个国民经济和社会发展重点领域和 68 项优先主题中，与遥感技术发展有密切关系的占了相当的比重。在 11 个重点领域及优先主题中，与遥感有关或遥感可以发挥重要作用的计划涉及全部领域和主题，关系最为紧密的有：能源、水资源和矿产资源、环境、农业、交通运输业、信息产业、现代服务业、城镇化与城市发展、公共安全和国防。同时，与制造业特别是先进制造业也有一定关系。说明，对地观测在我国未来十几年将处于重要的发展机遇期。

4.2 主要差距

高分辨率空间遥感数据缺乏，尚不能摆脱对国外的依赖；覆盖全球和全国即时的数据缺乏，无法满足国家经济和社会发展对遥感的需求；定量监测与人类生存休戚相关的遥感数据缺乏，削弱了在全球环境变化及环境外交上与人对话的能力；先进空间遥感数据获取、分析、提取能力缺乏，难以进一步在深层次上加深对地球系统过程的认识。

遥感科学基础及技术基础设施建设薄弱，如整个空间应用的科学基础研究薄弱；空间科学基础设施建设及配套设施很弱。因此，要加强基础器件及频段器件（特别是探测器、毫米波、亚毫米波器件）的自主研发能力；要重视先进材料研究，使星载系统轻型化、小型化和低耗功化。

4.3 几点思考与建议

我国已经有科技发展中长期规划和“十一五”

发展规划。其中提出了对对地观测的广泛要求，并且一些重大项目已列入《规划》，并列为重点发展项目。如前所述，我们目前已在开展一些前沿性项目研究，其中已列出了今后要重点开展的研究内容。除这些外，笔者认为还要重视以下几方面：

要把解决或缓解国产信息源的压力放在第一位；要将国产信息处理和 GIS 系统摆在重要位置；要大小卫星有效结合，加速建立业务化系列，以满足迫切应用需求；航空、航天的有效结合，形成天地一体化体系，充分发挥多层对地观测平台的作用；加强电磁波综合探测及信息融合问题研究和先进高性能数据处理技术的研究；重视海洋、陆地及空间的定标、校准场建设，加强真实性检验工作（我国已有光学校准场和为 SAR 卫星服务的陆地定标场，但从航天发展规划看，仅有上述两个定标场是不够的，应建设布局合理的海上定标场及高度计卫星定标场，重视热带雨林定标场研究与应用，建立集中的为应用服务的定标场及辐射、散射测量实验室）；不断创新，加强国际合作，特别是我国提出的重大项目国际合作。

5 结语

随着国家经济、社会发展对空间遥感信息需求的不断增长并继续旺盛，进一步发展对地观测显得更为重要。对地观测技术的发展，将带动一系列科技领域的发展，其频率已扩展到亚毫米波段，其信息载体包括了电磁波的所有基本参量，其航天运行模式正在向空间分布式系统特别是以编队飞行为核心的空间虚拟探测体系发展。目前存在自主信息源缺乏和技术相对滞后，基础器件及材料对外依赖性强，基础设施不完善，基础理论（含基础技术）研究不够深入等问题。如何把握“十一五”规划和国家中长期科技发展规划的机遇，开拓创新，跨越发展，形成具有中国特色并能基本满足国家需求的先进对地观测系统以及相应的应用体系，就成为摆在我们遥感和空间信息技术科技工作者面前艰巨、光荣的重大历史使命。

Considerations on China's Earth Observation Technology

—Current Activities and Future Directions

Jiang Jingshan

(Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences (CSSAR, CAS),

National Microwave Remote Sensing Laboratory (NMRS), Beijing 100080, China)

[**Abstract**] Earth Observation and application is one of the core missions in space technology development. Up to now, over thousands of spacecrafts have been launched, and earth observation satellites occupy a very important position. It has become an area of no substitute, which can bring profit to economic development, national security and demands on environment and resources. The development over decades shows that earth observation technology has become a strong trend around the world. In China, earth observation Technology started from 1970s. Up to now, it has developed over four stages and has acquired considerable scale in the technology system, which spans the spectrum and achieves considerable development in data collecting. Besides, the application is expanded and in-depth basic research and processing methods have been set up. In the National Long-Term Technology Development Program, there are several important items and research projects relevant to earth observation. In China, earth observation technology will abide by the principle of “Demand Pulls, Technology Pushes”, aiming at coming up with international advanced technologies.

[**Key words**] China's space activities; earth observation technology; remote sensing; information processing

(cont. from p. 18)

[3] Asrar G, Mohr T, Withee G. Review draft WMO technical document: The role of satellites in WMO

programs in the 2010' s [EB/OL]. <http://www.wmo.ch/hinsman/Role of Sats. htm>

Ground Segments for FY Meteorological Satellites

Xu Jianmin, Niu Yinsheng, Dong Chaohua, Zhang Wenjian, Yang Jun

(*National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China*)

[**Abstract**] Meteorological satellite program of China was initiated in 1970s. Since then, two series of meteorological satellites are developed: polar and geostationary named as FY1 and FY2 respectively. Ground segments are major components of FY meteorological satellite projects. The paper reviews the programming, key technology and success rate of the operation of the FY meteorological satellite ground segments. FY meteorological satellites have become an essential portion in the modernization of China's meteorological system. They are also ranked by World Meteorological Organization (WMO) as a portion of world weather watch (WWW) space component. Data, products and information gained from meteorological satellites have been broadly used in various fields, such as weather forecasting, climate prediction, agriculture, environmental and hazard monitoring, etc. The paper discusses the success of FY meteorological satellite program.

[**Key words**] FY meteorological satellite; ground segment; satellite application