

遥感与地球的全球性观测*

王之卓

(武汉测绘科技大学 武汉 430070)

编者按 该文系我国著名摄影测量学家和遥感专家、中国科学院院士、本刊编辑委员会顾问王之卓教授于1993年11月下旬在中国科学院地学部空间对地观测学术报告会上的报告。王之卓先生在该文中论述了遥感对地球的全球性观测的作用和意义。从一个新的高度审视了遥感技术与应用,这对于我国遥感事业的发展 and 全球变化研究的开展,无疑是有着重要指导意义的。

该文刊出前,王之卓先生进行了认真地修改和重要增补。

王之卓先生今年已85岁高龄,我们祝他健康长寿,为我国摄影测量和遥感事业的发展做出更多更大的贡献。

摘要 本文共分三部分。第一部分简述了地球的全球性观测的目的,然后,从最早的气象卫星说起,再讲到美国的陆地卫星和世界各国发射的有关卫星,接着叙述了有关全球性观测的若干国际活动和美国计划中的地球观测系统(EOS)。第二部分介绍了遥感技术与全球性观测发展中的一些曲折过程。第三部分论述了中国在全球性观测方面所做的贡献及前景。

关键词 全球性观测,合成孔径雷达,地球观测系统,全球性环境监测,极轨平台

1 遥感全球性观测的发展

人造卫星由于它具有全球性和周期性的特点,自然很适合于对地球的全球性观测。这里所谓对地球的全球性观测,其目的是要研究地球上陆地、大气及海洋等部分间的相互作用及其与地球上生命世界的相互关系。这就需要应用人造卫星对地球作长期的(例如10数年)连续的观测,而且还必须具有能够实现上述目的的各种仪表、设备和服务措施。迄今为止,全世界发射的卫星有数千颗,但是为了上述目的而用于全球性观测的,只有极少量的专项研究卫星和气象卫星。

气象卫星是发射得最早的全局性观测卫星。1957年,前苏联发射成功世界上第一颗人造卫星以后,美国于1960年发射了第一颗“泰罗斯”(TIROS即 Television and Infra-red Observation Setellite)气象卫星。这个卫星系列其后由美国国家海洋与大气管理局(NOAA即 National Ocean and Atmospheric Administration)负责发射,改称诺阿(NOAA)卫星系列。

* 在中国科学院地学部空间对地观测学术报告会上的报告,1993年11月24—26日,北京
收稿日期:1994年3月1日;收到修改稿日期:1994年3月21日

气象卫星资料主要用于对全球的天气进行监测和中、长、短期天气预报。此外还有多种用途。例如 NOAA 的主要传感器 AVHRR, 除可用作气象观测外, 还可用以观测海面温度和冰雪的覆盖以及农作物估产等。美国地质调查局 (USGS) 从 1988 年起, 每周(或每两周) 根据 AVHRR 影像提供全球植被的“规一化差值植被指数”(NDVI 即 Normalized Difference Vegetation Index), 用以监测全球范围内的森林、灌草、农作物等植被生长的季度变化情况。中国、日本及加拿大等国也都利用气象卫星提供的数据, 如 NDVI 或绿植被指数 (GVI 即 Green Vegetation Index)、比值植被指数 (RVI 即 Ratio Vegetation Index) 等不同表达形式的数据, 进行植被生长的研究。

对地球作全球性观测的专项研究卫星有: UARS (Upper Atmosphere Research Satellite) 卫星, 用以监测大气臭氧及环境变化; 美法合作的 TOPEX/POSEIDON, 用以探测海洋环流; 美日研制的 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), 用以监测热带洋面降雨, 等等。

未来用以进行较全面的全球性观测的装置将是一个空间站系统。它是由一个空间站、各种空间平台 (POP 即 Polar Orbiting Platform) 和轨道间飞行器组成的一个航天器群体。当然, 也会用到航空飞行器及地面上的观测手段等。现在已发射的一些空间站, 例如欧洲空间局和美国共同研制的空间实验室 (Spacelab) 等, 都属于实验性的空间站, 而未来的空间站将象一个有人居住的小岛一样绕地球飞行。

这里还要提一下美国宇航局 (NASA) 于 1972 年发射的地球资源卫星 (ERTS 即 Earth Resource Technology Satellite), 后改称陆地卫星 (Landsat)。该卫星的传感器 MSS 所获取的影像, 对于监测地球各部分的环境和资源作出了很大的贡献, 经济效益很高, 曾轰动一时。使得一位美国地理学工作者新创了一个代替“航空像片判读”这一术语的名词——“遥感”, 遥感也很快成为一门高新技术。Landsat 一直到现在还是遥感技术中的很重要的地球资源卫星系列。它的航行高度为 700km 及 900km 两种, 是当今对地球进行全球性观测的一个组成部分。这不仅因为对地观测需要各种航行轨道的卫星, 而且在过去的 20 年中, 世界各国都广泛地将 Landsat MSS 和 TM 影像作为考察全球变化的辅助资料。但是, 终因其缺乏对地观测的数据设备, 影像受云的影响过多, 且数据存储设备不足, 因此, 在全球性观测中的应用还是相当少的。

目前, 各国根据不同情况、不同需求发射的卫星数不胜数。这些卫星绝大多数不仅在其本国有明显的效益, 而且对全球性变化也是有用的。例如欧洲空间局 (ESA 即 European Space Agency) 在 1991 年发射的 ERS-1 遥感卫星 (ESA Remote Sensing Satellite), 主要用于监测海洋、海面的风速矢量及其变化、大洋环境情况等, 并取得了南、北极地区、南半球海域和一些多云地区的遥感信息; 日本在 1992 年发射的地球资源卫星 JERS-1 (Japanese Earth Resource Satellite), 主要用于资源开发及土地测量, 农业、林业和海岸带监测, 环境保护, 灾害预测等。另外还有气象卫星、海洋卫星等不下 20 余颗。日本的气象卫星 GMS 系列所获取的云图, 已成为东亚及西太平洋地区气象预报中不可缺少的重要工具。加拿大定于 1994 年发射的雷达卫星 (Radarsat), 不仅将广泛应用于本国, 还将进行全球问题的研究, 且与日本及一些欧洲国家签有合作项目。加拿大的北端接近北极地带, 其观测资料对全球性变化的研究更为重要。此外, 前苏联也很重视全球性研究,

从 1967 年开始的联盟号 (Soyuz) 宇宙飞船和从 1971 年开始的礼炮号 (Solut) 太空站等,都被用于进行对地观测和生物医学等方面的研究。

值得注意的是,合成孔径雷达 (SAR 即 Synthetic Aperture Radar) 近年来日益受到各国的重视。1978 年 NASA 首次发射了载有 SAR 的海洋卫星 (Seasat-A),用以探测全球海洋表面状况,监测海洋动态;其后,美国航天飞机上又装备了合成孔径雷达 SIR-A, SIR-B 和 SIR-C。90 年代已经发射的 ERS-1 和 JERS-1 以及将要发射的 Radarsat 都装有 SAR。这是因为 SAR 具有全天候、全日时、高分辨率等性能,且具有一定的穿透能力。将来发射的雷达还将具有多频段、多极化、多俯角等特点。它们对地质探矿,土壤水分、海洋大气和海冰监测,以及林下植物的生物量测定等,都表现出了显著的应用价值和潜力。此外,雷达影像还有较强的实时性,这无疑将会在未来的全球动态观测系统中发挥巨大的作用。

据联合国 1990 年统计,世界各国测制地形图的进度十分缓慢,比例尺为 1:5 万的地图只覆盖了全世界应测面积的 42%, 1:2.5 万的只占 13%。但中国的测图面积则是遥遥领先的,早在 70 年代,中国已基本完成除青藏高原以外全部国土(不包括台湾省)的 1:5 万比例尺地形图的测制。其后,除定期进行修测外,还进行了部分 1:2.5 万测图。之后又开展了大规模的 1:1 万的测图。已往这类作业都是由航空测量完成的。利用人造卫星影像测图,显然存在着影像比例尺过小、地面分辨率不足等缺点。当前在几何精度方面可用于测制 1:5 万地形图的有法国的全色 SPOT 卫星数据(地面分辨率约为 10m),俄国的 KFA-1000 摄影机和美国大像幅摄影机 (LFC 即 Large Format Camera) 获取的影像。在测图点位精度方面虽能满足修测 1:2.5 万地形图的要求,但在地物的辨认方面却存在问题。这不仅与卫星传感器的地面分辨率有关,而且还与影像的反差、地物的大小和形状有关。

值得注意的是,前苏联在 70 年代就发展了一组用作军事侦察的卫星摄影系统。它包括 3 个高分辨率的摄影机 KWR-1000 和 1 个地形摄影机 TK-350, 安装在宇宙号系列卫星 (Cosmos) 上。当时是在飞行高度为 220km 的轨道上,用 TK-350 摄影机摄取地面分辨率约 10m 的影像,作为高精度的地形略图。3 台并列的 KWR-1000 摄影机,其焦距为 1 000mm,摄取 TK-350 地面覆盖中的一部分,地面分辨率为 0.75m (规定不得超过 2m),可用于制作全球性的 1:1 万的像片平面图。

近年来,人们感到人类赖以生存的地球环境,一方面由于不停的物质和能量交流(如大气环流、气象变迁、地壳变动、沙漠演化及海浪海流等),另一方面由于人类的活动和过度的开发,导致了当前人类面临的重大而紧迫的全球性的环境和资源问题。例如人口的增长、粮食生产、都市的扩展、工业化活动产生的温室效应、酸雨的形成、森林的砍伐以及土地荒漠化、臭氧洞的产生、淡水资源短缺、生物物种灭绝等现象。这些全球性环境问题涉及到许多变量,需要经过长期持续的全球性观测,才能够对这些问题有一个全面的认识。鉴于此,自 60 年代以来,联合国和国际科联先后完成或正在实施大气圈、水圈、岩石圈和生物圈的国际合作计划。1972 年在斯德哥尔摩召开的联合国环境会议上,正式提出并实施的全球环境监测系统 (GEMS 即 Global Environmental monitoring System) 计划,迄今已有 140 余个国家参加,许多国际组织,如联合国粮农组织 (FAO)、世界气象组织

(WMO)、联合国教科文组织 (UNESCO) 都给予了支持。近年来,地球系统科学提出之后,国际科联发起了“国际地圈生物圈计划”(IGBP),中国参加了这一计划。

在利用遥感技术进行全球性变化的研究方面,规模最大的要算 NASA 的“地球观测系统”(EOS 即 Earth Observation System) 计划。这个计划是美国政府提出的“全球变化研究计划”(Global Change Research Program) 的核心部分。它在国际科联协调和世界气象组织资助下进行。NASA 执行 EOS 计划的目的是有三,一是建造一个综合性的基于空间的观测系统,使之有可能进行多学科的研究,以便更清楚地了解关系到地球存在的各种因素,包括大气、海洋、地表和固体地球;二是发展一组庞大的数据和信息系统,包括数据获取和处理的过程,以满足对地球进行综合的多学科研究的需要;三是为了积累连续 10 年以上的遥感观测数据,以便能够对地球进行系统的、确切的和结论性的研究。

EOS 的初期计划包括有 6 组极轨及中等倾斜轨道的卫星,并与欧洲和日本的卫星组合成一个大的国际监控系统,对地球的大陆、大气和海洋进行长期观测,以便为国际间的各种研究计划提供对地球系统的主要过程连续记录 15 年的观测数据。另外,还计划发射一组地球静止卫星,对同一地区做连续观测,以便对其每天的变化以及一段较长期期的变化进行深入的研究。计划发射的地球静止卫星共 5 颗, NASA 计划在下世纪发射第一颗。在 EOS 计划中,拟在 1999 年发射专门用于合成孔径成像雷达的卫星 (EOS SAR)。这种成像雷达具有 L, C, X 3 个波段、4 种极化 (HH, HV, VH, VV) 方式,可用于获取全球性的地球物理和生物物理方面的各种参数。

2 遥感技术与全球性观测发展中的一些曲折过程

发展遥感技术对全球资料的获取和处理虽然是十分必要的,但是发射卫星的投资也是巨大的。遥感技术的发展诚然是有关科学家们的责任,但更重要的是一些政治家的远见卓识。因为根据对地球研究的结论所做出的决策,可能会影响到全球民众的生活、就业以及人类的生存等大事。

下面以美国航天事业的发展情况为例,对遥感技术和全球性观测发展中的一些曲折过程加以分析。这里要说明的是,美国的航天事业走什么样的道路,如何走法,是美国政府和美国科学家自己的事,我们无意对他们的事说三道四。我们引用下面资料的目的,仅仅是为了对我国航天事业的发展有所裨益。

美国航测专家 Doyle 博士在 1990 年德国汉诺威大学校刊第 13 号上报道了美国在发展航天遥感事业中的一些情况,现转述如下:

NASA 发射的 Landsat, 其所获取的主要资料 MSS, 世界各国都在采用,起初几乎是免费赠送的,极有利于遥感应用的推广。1984 年美国管理与预算局 (OMB 即 Office of Management and Budget) 决定改为商品化运转,交 NOAA 负责管理,并与私营的地球观测卫星公司 (EOSAT 即 Earth Observation Satellite Company) 签订合同,由该公司承办卫星的发射及其它地面处理系统,美国政府不再补贴。自此,航天遥感资料的售价十分昂贵,往往使用户难以承受,严重地影响了其应有的科学价值和社会意义的发挥。

1984 年发射了第五颗陆地卫星,即 12 年中发射了 5 颗。1989 年 3 月,美国用于发射

和运行陆地卫星的拨款已经用完, NOAA 曾命令 EOSAT 停止陆地卫星 6 号的建造并关闭 Landsat 4 和 5 号的运转。虽然在有关方面的要求下, 美国又重新加以补贴, 但 Landsat 6 号的发射却一再延期, 直到 1993 年秋才发射, 然而这颗时隔 9 年的后续星的发射却以失败而告终。

如果归纳一下 1984—1993 年美国陆地卫星系列的发展状况的话, 不难发现美国卫星运营由政府拨款改为商品化运转后导致了以下结果:

(1) 卫星数据资料的价格猛增, 由微不足道到用户难以承担;(2) 陆地卫星系列的发射由原来的平均每两年一颗, 延长到相隔 9 年才发后续星;(3) 曾决定停止发射陆地卫星 6 号, 甚至要关闭已在天空的陆地卫星 4 和 5 号的运转;(4) 陆地卫星 6 号发射失败。

陆地卫星 7 号的设计综合了陆地卫星和法国 SPOT 卫星的特点, 具有独特的性能和立体成像能力。为了解决陆地卫星 7 号的经费, 使之早日升空, 美国曾对 1984—1993 年的卫星发展情况进行了总结, 曾想谋求国际投资, 但没有成功。同时, 美国总统的“地球与环境科学委员会”(CEES 即 Committee on Earth and Environmental Sciences) 也评估了陆地卫星系列同美国“全球变化分析计划”的关系, 证明了陆地卫星计划的重要性, 这样, 该卫星系列的发射情况可能会有所好转。据说, 1991 年 NASA 列有陆地卫星发射研究的预算 500 万美元。

美国的航天飞机计划自从 1986 年“挑战者”(Challenger) 号遇难后, 航天飞机的运行费用飞速上升, 由每次的 1 000 万美元猛涨到了每次 37 500 万美元, 严重地影响了科研飞行。尽管将原来的每周飞行一次的计划缩减到了每年 6 次, 却仍然不能保证飞行任务的圆满成功。例如在 1990 年的最重要的一次科研飞行中, 其有效载荷只有一台哈勃(Hubble) 空间望远镜, 其试验也不尽人意, 首先是安装问题, 望远镜的一个反光镜需要由原来的 3.3m 缩小到 2.4m; 其次是航天飞机的航行高度太低, 只有约 600km, 降低了望远镜的效率; 第三发射一再推迟, 使总花费高达 22 亿美元, 而在 1977 年预算时, 只预算了 5 亿美元, 其中还有 ESA 15% 的资助; 第四是由于制造上的和仪器检校上的不足, 使望远镜的功效减少了 50%

1984 年, NASA 曾在航天飞机上安装过 LFC 传感器, 其获取的影像适用于比例尺为 1:5 万、等高线为 20m 的全球性测图。但自从 1986 年挑战者号航天飞机失事以后, 这台 LFC 即不再使用。航天飞机影像雷达(SIR 即 Shuttle Imaging Radar) 是一项较为成功的计划, 现已上了航天飞机的 SIR 中, SIR-A 和 SIR-B 为单波段雷达, SIR-B 具有视角的变化。之后的雷达仪器将设有 L, C 和 X 波段, 可变的视角及各种水平和垂直极化的组合。原计划中的 SIR-C 已于 1994 年 4 月 9 日—20 日在“奋进号”航天飞机上运作, SIR-D 的发射日期还没有公布。

NASA 承担的“全球变化研究计划”的核心部分, 即 EOS, 当时估计造价约需 320 亿美元, 但是直到 1990 年只批准了一些研究费用。当时计划发射 5 个极轨平台 POP(Polar Orbiting Platforms): 两个由 NASA 分别在 1997 年和 2000 年发射, 叫做 EOS-A 和 EOS-B; 两个由 ESA 分别在 1997 年和 2000 年发射, 叫做 EPOP-MI 及 EPOP-NI; 另一个由日本在 1998 年发射, 叫做 JPOP。这些卫星的运行轨道分布将组成观测网络, 互相弥补观测时间上的空白。这就是 POP 计划, 也称“自由号空间站计划”。NASA 在

1991年曾对EOS计划进行过修改,以后又修改过多次,主要还是因为资金投入太大。据称,“自由号空间站计划”的研究已耗资80亿美元。

3 中国与地球的全球性观测

我国已多次发射科学技术实验卫星和气象卫星,资源卫星SBERS(与巴西合作)的发射也已列入日程。运载火箭和返回式卫星的设计制造技术日臻成熟,卫星信号的地面接收网已经建成,功能不断扩大,图像处理能力日益增强并逐步走向自动化和智能化。我国编辑出版了大量遥感学术论著和工具书,其中《遥感大辞典》巨册还编有5种文字的索引,在世界上亦属罕见,编辑出版的遥感期刊有近10种。我国的卫星应用和应用卫星发展迅速,砷化镓晶体炉、工程细胞、藻类、作物种子、动物以及药品制作等空间微重力研究取得了满意的效果,一些项目已居世界领先地位,我国已称得上是航天大国,已经跻身于世界空间技术的先进行列。

当前,在世界范围内研究地球的全球性变化,已经成为热门话题。世界各国都很重视全球环境变化及大气、海洋污染等问题,强调国际合作。有中国参加的夏威夷国际会议曾把1990年定为国际空间年,其目的就是利用空间技术监测全球性变化,保护和改善全球生命环境。把每年的4月22日定为“世界地球日”,其用意也是动员世界人民关心地球,思考环境问题。其次,以全球变化为主题的各种学术会议,不胜枚举,仅仅属于遥感在全球性观测方面应用的国际会议就有“国际地球科学与遥感学术讨论会”(IGARSS即International Geo-Science and Remote Sensing Symposium),其1987年会议的主题是“遥感:将地球作为整体系统来认识”,1991年的主题是“为了地球管理的全球监测”,1993年的主题是“为了了解人类赖以生存的全球环境,为了自然资源的管理,遥感应用的可能性”;“国际摄影测量与遥感学会”(ISPRS)1990年会议第七委员会的主题是“全球的环境监测”,等等。其受重视之程度,可见一斑。

我国幅员辽阔,占世界陆地的1/15。参加国际全球性变化的工作,按各国分工,实际上主要还是提供本国国内的一些观测和分析成果。1977年,我国地理和遥感学家陈述彭曾提出遥感技术的四大应用,其中之一就是全球研究,并列举了不注意宏观研究的若干惨痛教训,举出了对岩石圈、大气圈和水圈等全球分析的一些内容。1983年,中国科学技术协会组织召开了第一届全国天(文)、地(学)、生(物)相互关系学术讨论会。其后,中国科学院地学部召开的“地学发展若干问题及对策研讨会”也列有“地圈、生物圈的相互作用”、“全球气象系统的基本过程”等内容。我国参加了国际间的地圈-生物圈计划(IGBP——International Geosphere Biosphere Program),成立了相应的中国全球变化委员会,并将在全球变化研究中作出自己的贡献。1991年我国曾受联合国的委托在北京召开了“空间技术对抗自然灾害”国际研讨会;中国国家资源和环境信息系统实验室与加拿大发展研究中心联合组织召开了“洪水灾害评价和湿地发展研讨会”等等。在“国际空间年”前后,我国还举办过多种学术会议,出版并展览了有关丛书和图书等。

我国已经做了许多对全球变化研究有重大意义的工作,编制了各种全国性的专题图集,中国科学院系统还利用1975—1985年的陆地卫星资料,完成了1:100万的中国资源

分布及土地利用图,这些都是研究全球变化中的土地利用和地表变化的相当重要的资料。遥感试验项目有“三北”防护林计划,黄土高原地区计划,据此进行了大规模的植树造林;土地沙漠化调查,部分地区已落实了造林和种草等治理措施;进行了全国范围的水土流失调查,并编制了相应的系列图;以及洪水、干旱、森林火灾、地震等自然灾害的监测和评估,等等。今后,我们应该继续并更好地参与国际上的全球变化的观测和分析工作,充分发挥我国现有各部门的遥感技术潜力,提供更多的全球动态信息,研究全球生态环境变化,为造福人类做出自己应有的贡献。

最后,还有一个教育问题,即培养和储备人才问题。现在面临的问题是以全球性环境管理为主,以遥感与 GIS 为运作工具,应用地学、气象学、生物学、地球化学等诸多方面的知识,解决对地观测中的问题,当然,要不可避免地涉及到经济发展、人口增长、环境污染等经济和社会问题,宽广而复杂。总之,学科的发展走向了综合,解决这类问题所需的人才的培养问题也就提到日程上来了。武汉测绘科技大学在这方面进行了初步尝试,希望能够积累一些有益的经验,探索出一条培养人才的成功之路。

Remote Sensing and Global Change Observations

Wang Zhizhuo

(The Wuhan Technical University of Surveying and Mapping)

Abstract This article consists of three parts. In the first part, the aim of the global change observations is narrated in brief and the development is then depicted, beginning from the earliest meteorological satellite and then the Landsat and some other relevant satellites from different countries. Emphasis is placed on the use of micro wave sensors. Finally some international activities for global change observations are depicted and the Earth Observation System (EOS) project in America is introduced. In the second part, some happenings and policy changes due to the huge financial budget for satellite launching in America are narrated. In the third part, the contributions and the tasks ahead in China for the research works of global change are discussed.

Key words Global change observations, Synthetic aperture radar, EOS, Global environmental monitoring, Polar orbiting platform