

# 遥感与中国可持续发展：机遇和挑战

徐冠华<sup>1</sup>, 柳钦火<sup>2</sup>, 陈良富<sup>2</sup>, 刘良云<sup>2</sup>

1. 中华人民共和国科学技术部, 北京 100862;

2. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101

**摘要:** 中国要实现可持续发展, 必须积极应对资源短缺、环境恶化、海洋开发和气候变化等一系列重大资源环境问题; 随着全球经济发展一体化进程加快, 中国必须以全球视角研究和解决面临的资源环境问题。遥感在地球科学、环境科学、资源科学与全球变化研究中具有宏观动态的优点, 是不可替代的全球观测手段, 是实施可持续发展战略的基础性技术支撑。本文回顾了遥感科学技术进步的历程, 总结了国际上围绕可持续发展所开展的全球遥感科学计划, 分析了中国遥感现状和服务于可持续发展的前景, 并结合国际上地球综合观测系统的发展态势, 提出了中国遥感科学技术发展面临的挑战和机遇, 进一步阐述了遥感发展面临的建立地球综合观测系统之系统、高精度遥感模型与参数反演、遥感产品真实性检验与遥感性能判据及测试系统、遥感数据与地球系统模式同化、遥感大数据与主动服务等前沿科学与技术问题。最后指出遥感要更好地服务于社会可持续发展, 服务于国家的全球战略, 服务于国民经济建设; 必须创新遥感应用服务模式, 加快遥感产业化和商业化进程; 建议推进卫星观测系统的商业化, 加快无人机遥感发展, 促进遥感应用市场化。

**关键词:** 遥感, 全球变化, 数据同化, 大数据, 高分辨率, 全球地球综合观测系统之系统, 可持续发展

**中图分类号:** TP702 **文献标志码:** A

**引用格式:** 徐冠华, 柳钦火, 陈良富, 刘良云. 2016. 遥感与中国可持续发展: 机遇和挑战. 遥感学报, 20(5): 679-688

Xu G H, Liu Q H, Chen L F and Liu L Y. 2016. Remote sensing for China's sustainable development: Opportunities and challenges. *Journal of Remote Sensing*, 20(5): 679-688 [DOI:10.11834/jrs.20166308]

## 1 背景与意义

### 1.1 中国实现可持续发展必须应对的几个重大问题

建国以来, 特别是改革开放以来, 中国经济建设和社会发展都取得了巨大进步, 人民生活日益改善。但在发展过程中, 资源短缺、环境恶化、海洋开发、气候变化等问题也日益突出, 成为中国实现可持续发展必须面对的问题(徐冠华等, 2010)。

(1)资源短缺问题。中国石油储量不足, 随着经济的发展, 石油供应十分紧迫。中国黑色金属、有色金属也越来越不能满足经济发展的需求。中国过去在资源问题上主要以自给自足为主, 随着经济的快速发展, 这种方式日益凸显出

其局限性。而全球化进程也必然会导致全球范围内资源市场结构的进一步调整。中国在将自己的资源提供给全世界分享的同时, 也面临着对世界资源越来越严重的依赖。因此, 不论从中国自身的发展, 还是促进全球共同发展的角度, 都要求我们对全球的能源、资源布局有全面、深入的了解, 如何实现资源的优势互补是中国实施可持续发展战略需要研究的重大问题之一。

(2)环境恶化问题。水污染和大气污染都是目前世界上最为紧迫的卫生危机之一, 一些科学家惊呼, 水污染和大气污染问题已经成为“世界性的灾难”。土壤大规模酸化和退化、森林减少、水土流失和有毒化学物质传播等环境问题都影响着中国乃至全人类的生存和发展。环境污染问题具有

收稿日期: 2016-07-20; 修订日期: 2016-08-01; 优先数字出版日期: 2016-08-10

第一作者简介: 徐冠华(1941—), 男, 原科技部部长, 中国科学院院士, 第三世界科学院院士, 瑞典皇家工程科学院外籍院士, 国际宇航科学院院士。研究方向为全球变化、遥感综合调查理论方法、可持续发展研究等。

世界性的特点,其影响早已超越国界,其源头和扩散过程也是一个众说纷纭、亟待阐明的全球性问题。

(3)海洋开发问题。中国既是一个陆地大国,也是一个海洋大国,拥有300多万平方公里的海洋国土。历史上的闭关锁国政策扼杀了中国人对海洋的探索,我们对近海资源环境了解甚少,对深海、极地的研究更是严重不足。中国要实施“走出去”的战略,就必须对全球海洋状况有全面的、深入的了解。

(4)气候变化问题。全球气候变化问题是对中国的巨大挑战。中国以煤为主的能源结构在支撑经济发展中发挥了重要的作用,但是,燃煤所带来的碳排放已不仅仅是中国,同时也是全世界共同关注的问题。中国在解决全球变化问题中,要承担起自己的国际责任。然而我们对全球变化的研究不够,了解甚少。我们既缺乏高质量的全球对地观测数据和产品,缺乏对全球变化各要素物理过程的深入研究和理解,也缺乏开展地球系统模拟所需的超级计算机平台。同时,全球变化研究凸显了多学科交叉、融合的极端重要性,而在这方面恰恰是当前中国科学技术发展中突出的薄弱环节。

## 1.2 可持续发展问题必须在全球化格局下加以解决

当代科学技术的进步,特别是信息技术、通讯技术和交通运输技术的发展,使各国经济、科技和文化等交流更顺畅,并形成了全球规模的信息和物流网络;经济生产和科学研究也同样在全球范围内实现了各种生产要素或科技分工的优化组合,形成了全球化视角的利益格局。科技发展促进了全球性的工业化和信息化,在给人类带来社会进步的同时,也带来了能源的大量使用,加上人口的快速增加及城市的极度扩张,由此引发了环境污染、全球气候变化与灾变等一系列的问题(徐冠华等,2013;IPCC,2013)。而地球系统是个非线性系统,它的某些参数的微小变化,有可能引发整个系统巨大的、不可逆的改变(国家外

交部,2016;联合国,1992)。人类的利益和命运与地球环境越来越紧密联系在一起,也促使人类更多地思考在全球变化中自身发展问题,形成了可持续发展的理念(联合国,1998)。正像我们之前指出的,可持续发展的核心是资源环境问题,包括气候变化问题,其解决方案都超越了国家的边界,成为全球性问题。可持续发展问题的解决也对科学,尤其是地球科学的进步提出了新的需求。全球化的格局促使人类必须以全球视角来研究和解决面临的问题,而遥感技术为解决这些问题提供了强有力的手段。所有这些都对地球科学和遥感技术的发展提出了新的要求,指明了未来的发展方向。

## 1.3 遥感科学技术是在全球化格局下实施可持续发展战略的基础性技术支撑

地球系统是包括人与自然的一个由多个系统组成的“复杂系统”。人类可持续发展需要观测和研究全球资源环境状况,提出应对策略并对策略实施进行不断监控和修正。遥感在地球科学、环境科学、资源科学与全球变化研究中具有宏观动态的优点,是不可替代的唯一的全球观测手段,是可持续发展研究的基础性技术支撑。遥感受用于全球化框架下的可持续发展研究具有以下特点:

(1)空间全球性和区域性相结合。遥感通过从太空观测地球,开阔了人类的视野,增加了人类对地球全球和区域在不同空间尺度上的认知,因而具备空间上全球性和区域性相结合的特点,包括地球同步和太阳同步等不同观测轨道的遥感卫星,不但具备在公里尺度上对全球进行宏观观测的能力,而且能对重点区域进行数十米直至米级尺度的高分辨率观测。

(2)时间连续性和机动性相结合。遥感技术经过几十年快速发展,已经积累形成了几十年长时间序列的观测数据。遥感观测具备时间连续性和机动性相结合的特点,如静止轨道卫星可以对台风、暴雨等灾害,以及环境污染等极端事件进行高时间分辨率的连续观测,显著提高灾害与环境遥感监测能力;而资源卫星、侦察卫星具备很强

的机动能力，可对特定目标和重点区域根据需要进行机动观测。

(3)应用上专业性和综合性相结合。全球气候变化研究是全球化可持续发展问题研究最突出的例子，主要包括全球综合观测和模式模拟两方面内容，需要专业性和综合性高度结合。气候模式直接影响到未来预估情景的可靠性，目前模式模拟存在很大的不确定性，模拟结果和实际结果之间的差异仍然很大，开展全球尺度综合观测获得长时间、高质量的观测资料有助于减少对全球变化认识的不确定性，所以需要加强全球变化关键参数和过程的多变量遥感多平台联合观(监)测研究，并开展海量数据的同化、融合技术等综合研究(徐冠华等，2010)，只有这样才可以获得高质量的全球变化研究成果，促进人类经济和社会的可持续发展。

## 2 遥感科学技术进步与人类可持续发展

遥感起源于航空探测，在1957年前苏联发射第一颗卫星后进入了现代遥感阶段。现代遥感技术发展取决于需求牵引、卫星载荷和数据处理分析技术进步。1960年美国第一颗气象卫星TIROS(Television Infrared Observation Satellite)拍摄的云图极大地促进了大气遥感探测发展。Terra卫星发射成功标志着遥感定量观测新的里程开始，卫星搭载的MODIS能够提供全球尺度、长时间序列的定量参数产品，极大促进了对地观测数据在人类经济和社会发展中的广泛应用，由此开创了遥感量化新时代。

### 2.1 国际遥感合作和人类可持续发展

人类可持续发展需要观测和研究当前全球资源环境状况，研究提出应对策略，并对策略实施进行不断监控和修正。根据不同的研究对象，遥感可分为大气遥感、海洋遥感和陆地遥感3大领域(Xu, 1997)。大气遥感是利用遥感技术监测大气结构、状态及其变化。遥感观测的物理量主要包括大气温度、压力、风、气溶胶类型与分布、云结

构及其分布、水汽含量、大气微量气体垂直分布及3维降雨观测等。大气遥感技术对于灾害性天气及全球环境变化的监测和预测具有极重要的意义。海洋遥感监测的物理量主要包括海面温度、海风矢量、海浪谱、全球海平面变化、海洋水色、叶绿素浓度、黄色物质、海冰分布等。海洋遥感可以很好地服务于海洋环境、海洋动力学与海浪预报以及全球变化等应用需求。陆地遥感的范围更广，包括了辐射与能量平衡系统，地表生物圈、水文圈、岩石圈、人文圈等领域。其中辐射与能量平衡系统、生物圈、水文圈是地球系统科学以及全球变化研究组最重要的3个系统，也是全球变化研究中地球系统各圈层相互作用的重要组成部分。

为了系统了解固体地球、大气圈、水圈、冰雪圈、生物圈各个要素的时空分布及其相互作用，国际科学界相继提出了一系列国际合作计划。如国际地圈—生物圈研究计划IGBP(International Geosphere-Biosphere Program)，世界气候研究计划WCRP(World Climate Research Program)，全球能量与水循环实验计划GEWEX(Global Energy and Water Cycle Experiment)，气候变化与可预报性计划CLIVAR(Climatic Variability and Predictability)，中层大气国际合作计划MAP，太阳、地球能量合作研究计划(STEP)等。在这些研究计划中，无不以遥感对地观测技术作为不可或缺的重要科学技术手段。针对全球变化与资源环境等问题，世界各国也提出了一系列大型国际遥感计划，如美国宇航局(NASA)的对地观测计划(EOS)，欧洲空间局的极地平台观测计划(PO-EM)，日本/美国的热带降雨量观测计划TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)。欧美等发达国家还发起了一系列大型国际遥感研究计划(如BOREAS、ISSCP等)，推动了星机地联合观测。在可持续发展各个领域，美国占据先机，取得了引人瞩目的成效。

2005年中国作为发起国之一，共同建立了政府间多边科技合作机制—地球观测组织GEO(Group on Earth Observations)，主导和引领全球地球观测系统的发展，预示着对地观测遥感将进入一个新

的阶段。GEO的宗旨是推动全球综合地球观测系统建设,以建立一个综合、协调、可持续的全球地球综合地球观测系统GEOSS(Global Earth Observation System of Systems),将能够更好地认识地球系统,提高对地球各要素以及自然和人类活动相互关系的认识,并为决策者提供从初始观测数据到专门应用产品的信息服务。

为此,GEO许多成员国或组织成立了内部协调机构。美国成立了以白宫科技政策办公室牵头,各有关部门参加的美国GEO(US-GEO),制定了美国全球综合地球观测系统的战略和政策框架,并牵头组织美洲地球综合观测系统计划(AMERI-GEOSS);欧盟以“哥白尼计划”名义协调欧盟全球综合地球观测系统的发展,主要目标是通过欧洲及非欧洲国家现有和未来发射的卫星数据及现场观测数据进行协调管理、集成、共享和信息服务,以应对气候变化、能源危机、人口增长、食品短缺、自然以及人为灾害等全球威胁。欧美以各自目标的实现为驱动,在全球GEOSS的建设中谋求主导地位,争取在推动全球综合地球观测系统时实现自身利益的最大化。此外,欧美及日本也开展的许多研究实现了互为镜像的地球观测卫星数据共享,以方便各合作方及时获得数据。

## 2.2 中国遥感现状和服务于人类可持续发展的前景

中国已经具备天空一体化综合观测能力。根据需求牵引的发展思路,部署了一批气象、海洋、资源、环境减灾科研和业务卫星,以及地面、业务应用系统等建设项目。正在实施的国家科技重大专项—高分辨率对地观测系统和空间基础设施,可初步形成天空一体化高精度对地观测网络,初步实现空间信息资源共享,促进业务化示范应用能力的形成和发展,为发展业务卫星体系奠定坚实基础。

中国已建立了涵盖各部门的遥感应用技术体系。根据中国国民经济和社会发展的需求,国土资源部、环境保护部、民政部、国家海洋局、国

家测绘地理信息局、中国气象局等部门纷纷制定面向本领域的卫星遥感应用发展规划,开展了行业和应用系统研制,建立了相应的业务运行系统。“十二五”期间,中国启动了国家高技术研究发展计划(863计划)“星—机—地”综合定量遥感系统与应用示范重大项目,规划建设了“天—空—地”一体化的全国遥感网技术体系,提升了覆盖数据接收、处理、定量遥感产品生产与应用服务全链条的空间信息服务能力,为中国的对地观测系统走向世界在理论和技术方面开展了积极探索。

在全球应用方面,通过国家科技计划支持,少数科研院所、大学以及行业部门初步具备了全球遥感监测与应用技术能力;科技部国家遥感中心组织开展了全球生态环境遥感监测,发布了年度评估报告;中国气象局、国家测绘局启动了全球卫星气象监测与全球测图等计划。

但与发达国家相比,中国遥感对地观测系统仍然存在着差距:

一是面向全球的卫星对地观测系统,除气象卫星和海洋卫星等具备一定的全球数据获取能力外,资源卫星绝大部分局限于国内数据获取;

二是存在设施配套的制约,全球数据获取能力和地面接收站网能力仍然受限,地面产品验证能力也严重不足;

三是全球综合观测与应用的意识尚需加强,需要着力解决配套的数据保障、信息提取、信息共享等问题。

## 2.3 中国遥感科学技术发展面临新的机遇

作为全球第二大经济体和正在崛起中的新兴大国,中国的经济、政治和科技活动范围已经遍布全球,对国际人才、科学技术甚至资源和市场的依赖程度日益增大,影响力也加速向全球扩展。实施以“一带一路”为核心的国际发展战略,提升对世界重点国家与地区的资源、环境、城乡发展及相关风险等问题的研究、了解与把控的能力,倡导全球命运共同体的安全理念,已成为中国国家的重要保障。作为一个迈向强国之路的人口大国,面对国内外生态环境的严重态势和

国外对我海外活动的疑虑，中国必须在全球经济社会的可持续发展和维护人类共同的生存环境方面做出与世界地位相适应的贡献。为支持中国日益增多的海外活动，服务于世界各国人民，特别是发展中国家的经济社会发展，保护中国的海外利益，建成并运行可控的全球综合地球观测系统是中国面对全球化挑战不可或缺的手段。

2015年，国务院办公厅印发的《国家民用空间基础设施中长期发展规划(2015年—2025年)》进一步明确中国地球观测卫星的发展，以满足各用户部门自身业务需求和特定应用目标为主的7个重大综合应用方向，即资源、环境和生态保护综合应用；防灾减灾以应急反应综合应用；社会管理、公共服务及安全生产综合应用；新型城镇化与区域可持续发展、跨领域综合应用；大众信息消费和产业化综合应用；全球观测与地球系统科学综合应用，以及国际化服务与应用。

中国作为联合主席国的地球观测组织GEO(Group on Earth Observation)正在倡导建立全球性的地球观测应用信息系统，这与中国目前的全球性战略发展目标基本一致。开展全球综合观测，建立全球综合地球观测应用系统，成为中国实施全球战略和空间信息产业发展的重要支撑，也是全球空间信息制空权竞争的必然要求。未来十年是中国正面临全球综合地球观测系统发展的重大战略机遇，可以利用GEO这一全球平台，在区域和全球层次上加速赶超世界先进国家。但是发展机遇期稍纵即逝，不进则退，必须超前规划、制订战略目标，并在国家科技计划体系中逐步开展和实施。

面对2016年全国科技创新大会提出的建设世界科技强国的目标，中国遥感科学技术必需意识到自身的发展压力和责任。当前更多的技术和研究方向，我们还处于跟踪世界前沿的发展阶段，虽然已经有不少的研究方向开始与国际同行处于并跑的水平，但能够领跑国际发展的学科方向还很少，这应该成为我们努力的主要目标。遥感界要充分认识和挖掘国内的应用需求，用好调整经济结构、鼓励创新创业的重大机遇，首先开发出

14亿人的用户市场；拿出中国科学家面对全球、区域、行业、个人等需求的科技供给产品，引领探索出一条支持全球可持续发展、社会用户消费的遥感服务模式，这是我们发展的重大机遇期。

### 3 遥感科学与技术前沿问题

随着高分辨率、定量遥感时代的来临，遥感数据获取与信息服务能力均得到了前所未有的发展，但依然存在系列瓶颈性制约问题，海量遥感数据获取能力和数据处理、应用能力之间仍不匹配，遥感科学和技术前沿问题研究薄弱，急需加强。

#### 3.1 全球地球综合观测系统之系统

全球地球综合观测系统(GEOSS)目标是致力于建立一个综合、协调和可持续的全球地球观测系统，涵盖天基观测、空基观测和地基观测。为了消除不同对地观测卫星的任务性能和观测结果的差异性问题，对地观测卫星委员会(CEOS)提倡建立虚拟星座(virtual constellation)，以建立不同空间机构之间的合作伙伴关系，通过集成分属于一个或多个机构的对地观测空间和地面系统，建立标准化任务规范，努力提升全球资源环境遥感综合监测与应用能力，星机地立体组网协同观测、全球综合观测多源遥感数据综合处理与应用等已成为国际对地观测技术的前沿发展方向。

全球综合地球观测系统应该在国家、区域和全球层次上同步推进，相互促进，共同发展，这一理念已经成为共识。在全球层次上一时无法达成一致的目标，在国家行政力量的介入下可以比较容易地在国家层次上先行实现，从而以更充足有效的可运行性资源，支持和促进综合地球观测系统在全球层次的实现，为全球变化与人类可持续发展提供技术支撑。

在2016年—2025年的十年规划中，地球观测组织对GEOSS提出新的战略目标，即在数据共享和数据管理原则方面有新的突破；深化政策制定者对地球的科学认识，以共同应对全球和区域的挑战；应用方面聚焦于与实现联合国可持续发展

目标 (SDG) 有关的防灾减灾、粮食安全及可持续农业、水资源管理、能源与自然资源管理、人类健康环境影响监测、生物多样性及生态系统保护、城镇发展, 以及基础设施与交通管理等8个重点领域, 向用户提供数据、信息和知识3类产品和技术服务。GEOSSE新十年战略目标的确定及其实现途径, 对于中国全球综合地球观测系统战略目标的确定具有重要的借鉴作用。

### 3.2 高精度遥感模型与参数反演

遥感建模与参数反演是定量遥感研究的核心内容。遥感模型主要分为经验统计模型、物理模型和计算机模拟模型等类型。参数反演则是从对地探测的电磁波信号中把探测目标的属性或参数反向推演出来。

遥感物理模型是对物理过程的数学抽象, 目的是从理论上阐释遥感探测电磁波信号和地表参量的状态及变化的内在机理, 因而具有一定的普适性。但不管是辐射传输还是几何光学模型, 都是对复杂空间异质地表的简单近似, 不能很好地描述现实世界复杂的植被冠层对于光线的拦截和反射现象。于是又出现了计算机模拟模型, 如蒙特卡洛模拟模型、辐射度模型、光线追踪模型等, 这类真实结构计算机模拟可以精确地刻画植被冠层场景, 但计算量过于庞大, 限制了该模型的反演与应用。近年来空间异质性问题引起了定量遥感领域的高度关注, 高分辨率卫星及激光雷达等数据的日益丰富给空间异质性建模研究提供了有力支撑。针对复杂异质性植被场景, 像元内部的组分比例、3维结构、空间格局以及端元边界处的阴影效应与散射过程等是遥感辐射传输建模过程中需要重点考虑的因素。

遥感反演经常面临模型欠定或病态问题, 即往往存在遥感待反演的参数多于卫星的观测方程数; 且待反演参数在迭代反演过程中往往由于观测误差和模型误差而出现发散的情况(李小文, 1997)。一方面, 需要通过集成地学先验知识, 降低反演过程的不确定性, 改善模型欠定或病态问题(Li等, 2001); 反演方法中地学规律的验证知识

能够提高遥感产品反演精度, 但其数学建模与表达问题也往往具有很大挑战性。需要加深地学参数本身的变化规律的理解, 不仅能够提高先验知识表达能力, 还有利于提高遥感反演的收敛性。另一方面, 利用多源数据的光谱与时空互补性提高反演精度及时空分辨率, 也得到越来越多的重视。光学与微波遥感的模型协同与联合反演、地表参数的主被动协同反演、多时空分辨率遥感数据的协同反演等已成为定量遥感研究的重要前沿方向。

### 3.3 遥感产品真实性检验与不确定性

遥感反演往往是一个非线性过程, 遥感反演结果真实性检验是定量遥感研究不可缺少的环节, 也是评价遥感反演准确性、稳定性和一致性的客观标准, 对于改进遥感反演方法, 推广遥感产品都具有十分重要的意义(Liang等, 2002)。

由于地表空间异质性的普遍存在, 尺度效应成为遥感产品重要的不确定性来源, 并是遥感产品真实性检验的核心科学问题。另外, 遥感像元空间尺度和地面观测的点尺度之间存在较大的空间差异, 尤其是针对异质性地表这种差异就更加明显, 遥感建模与反演验证的时空代表性问题也成为制约性因素之一。遥感产品真实性检验与不确定性评估研究中, 尺度效应与尺度转换还没有成熟的理论来指导, 也是受困于没有真正的多尺度数据。面对遥感尺度转换研究的困境, 应结合“自上而下的演绎方法和自下而上归纳方法”, 发展普适性的尺度转换方法; 同时, “从数据和方法论两方面促进尺度效应和尺度转换研究”(李小文和王祎婷, 2013)。这一思路和当前国际上一系列多尺度观测试验的出发点是一致的。

### 3.4 遥感数据与地球系统模式同化

地球科学面对的是大自然既宏观又复杂的问题, 野外调查定位观测与遥感瞬间观测均有局限性, 在时、空两个尺度上不易拓展; 且遥观测波段、空间分辨率、时间分辨率、成像模式等差异也需要借助模型方法进行波谱维、时空维的扩展。利用周期性、瞬间观测的遥感数据监测动态

地球要素，数学模拟与时空扩展就显得尤为重要。遥感数据同化对于地球系统科学与全球资源环境动态监测具有越来越重要的研究意义。

遥感观测数据同化到陆面过程模式中主要有两种方式：一是把遥感反演参数结果直接引入，或者通过同化后再引入到陆面过程模式，这可能会造成反演的陆表变量与模式动力不协调，或将反演的不确定性引入后导致模式更大的误差；二是通过数据同化直接将卫星在大气上界接收到的观测信息引入陆面过程模式，使陆面过程模式和卫星观测形成融合与集成，得到与模式动力相协调的状态变量的最优估计。因此，一般采用直接同化卫星遥感观测的方式，将卫星遥感观测应用到陆面过程模式中。

### 3.5 遥感大数据与主动服务

大数据时代，遥感信息获取能力大大加强。全球卫星数量超过千颗。遥感领域进入了以高精度、全天候信息获取和自动化快速处理为特征的新时代。成像方式的日益多样化以及遥感数据获取能力的增强，导致遥感数据的多元化和海量化，这意味着遥感大数据时代已经来临(李德仁等, 2014)。

高分辨率、高动态的遥感对地观测载荷不仅波段数量多、光谱和空间分辨率高、数据速率高、周期短，而且数据量特别大，仅EOS-AM和PM每日获取的遥感数据量就达TB级，全球对地观测数据已经达到EB级。现有的遥感影像分析和海量数据处理技术已难以满足当前遥感大数据应用的要求。而且，尽管地球系统模型在全球变化研究中得到了广泛应用，不同地球系统模式能够实现全球碳循环、能量循环、水循环以及全球气候模拟，但模拟结果存在非常大的差异，以2100年全球增温模拟为例，几个主流陆面过程过程模型模拟的升温幅度为 $1.3^{\circ}\text{C}$ — $4.3^{\circ}\text{C}$ 。

大数据分析是科学方法中，继实证、演绎、数字计算之后的一次新的革命，对于分析、预测复杂系统行为，包括经济行为、社会行为都有成功的实践。随着海量地球观测数据的积累，特别

是遥感能够获得高分辨率、周期性观测的全球尺度观测资料，数据驱动方法可以直接基于观测资料实现地球系统各圈层模拟和预测，将给地球系统研究带来质的变化。因此，大数据分析技术对于遥感地学分析与数据驱动的地球系统模拟方面具有更为重要的意义。目前，大数据分析方法多是对成功案例的论述，还没有形成完整的大数据分析理论与技术体系。遥感大数据面临“数据密集型计算”问题与挑战，如何快速、自动地进行遥感大数据的处理和分析，进而完成空间数据产品的主动、智能的信息服务，是大数据时代对地观测领域面临的一个严峻课题，未来应该在大数据平台、智能信息处理算法和主动服务模式等方面开展创新性研究，拓展科学视野，发展新的方法论，以应对地球观测数据获取能力飞速增长对信息高效、快速服务的重大需求。

## 4 遥感应用服务模式与商业化展望

遥感科学与技术虽然取得了重大的成就，但遥感要更好地服务于社会可持续发展，服务于国家的全球战略，服务于国民经济建设；必须加快遥感产业化和商业化进程，将遥感应用由政府主导的模式调整为主要由政府引导，购买服务，市场主导的模式，既可以更好地为经济发展主战场服务，又可以充分利用产业和市场力量，更快地发展遥感技术和服务能力。

### 4.1 推进卫星观测系统的商业化

遥感数据是遥感信息服务的起点，没有及时全面的数据供应，遥感应用就无法业务化，产业就没有生存和发展的余地。产业化要求的遥感数据保障，是在分辨率、光谱段、时间覆盖和可用性（无云）等方面全面满足业务应用需求的数据采集能力，目前高分辨率的全国无云全覆盖数据每年一次尚很困难，远远满足不了大部分业务应用的基本监测周期要求，尤其南方多云多雨区的数据更加难以保证。

高分辨率卫星观测系统的商业化是未来发展的重要方向。需要制定和完善可实行的政策，鼓

励民间资本投入、政府扶持、政企合作、军民融合、国家和地方合作,大力发展高分辨率商业化卫星星座和数据服务与应用服务体系。高分辨率商业卫星小、投资少、风险低、见效快,更加适合民间资本进入和社会化发展,国外比较成功的有美国PlanetLabs、SkyBox、加拿大UrtheCast、阿根廷Satellogic等企业发射运营的纯商业化遥感卫星星座。国内以企业与地方政府合作为主,目前有二十一世纪公司的北京二号系列、长光公司的吉林一号系列、航天集团的商遥卫星等。高分辨率卫星遥感系统的商业化,将极大地加强遥感数据保障能力,降低数据服务成本。

#### 4.2 加快无人机遥感发展

在地球综合观测系统之系统构建中,天、空、地一体化的观测能力是基础。卫星遥感在全球数据获取中具有巨大的优势,但是受制于天气条件、时空分辨率、重访周期等条件制约,而有人航空遥感飞行受空域申请限制以及飞行成本高,难以满足各种高时空分辨率的需求,特别是在区域和局地的突发事件检测中难以满足应用需求。

近年来,无人机由于具有机动灵活的数据采集能力、空域限制少、飞行成本低,正在成为未来遥感产业化发展的重要驱动力。无人机遥感在试验遥感、测绘制图、减灾应急、精准农业、森林病虫害监测、环境监测评估等领域具有重要的应用前景。加快无人机遥感发展,不但有利于增强对地综合观测数据获取能力,提升遥感应用水平,也将带动无人机制造产业、无人机遥感新型载荷研制、无人机数据获取与信息服务领域的发展,催生和培育一批无人机公司和企业,促进遥感产业化发展。

#### 4.3 促进遥感应用市场化

遥感应用发展不仅受制于技术瓶颈问题,市场化程度不高更是重要的制约因素。在中国,地理信息系统技术(GIS)和导航技术(GPS)已经实现商业化,应用领域不断扩大,产业规模不断提高,政府、部门和个人都从GIS和GPS技术发展中受

益。但目前遥感技术的产业化程度不高,市场化程度不够,遥感应用主体仍然是依托政府部门内部的相应机构,造成诸多问题,制约遥感应用和技术发展:

一是投入高,效率低。遥感应用所需的数据、软件、设施和人力的投入大,技术复杂,步骤多,流程长。各个行业部门和地方政府都建立各自独立的应用体系,有是不仅造成投资浪费,而且导致各部门之间在数据获取到应用服务环节相互封锁,重复度高,数据使用效率低。

二是激励不足,成果转化效率低。遥感数据信息挖掘不足,缺乏将遥感数据转换为业务信息和决策知识的规模化能力,针对遥感大数据挖掘和智能化分析的研究还很薄弱,没有形成规模化持续生产能力,也没有充分实现遥感数据的增值和应用效果。

三是遥感产业链形成不力。遥感产业链的各个环节(数据采集、数据处理、信息生产、方法模型、软件系统、应用集成、解决方案、设备设施等)没有有效地衔接、支撑和协同发展,产业发展环境不很完善,企业难以专注于特定技术和服 务,创新创业成本高、风险大,造成目前除了国家政府机构和有行业背景的企业外,其他遥感企业较少较弱,民间资本真正进入到这个行业仍比较困难。

遥感科学技术是一项快速发展、覆盖国民经济和社会发展各个领域的重大技术,具有很大的发展潜力。当前,遥感技术与应用面向公众服务才刚刚起步,及时更新、量身定制等服务产品还远未达到,遥感服务市场处于开放阶段,集中度很低,这也为遥感技术发展提供了大好机遇。为解决上述存在问题,有必要在深入讨论的基础上就以下方面统一认识,形成相应措施:

一是加强政府宏观管理,切实转变政府职能。制定和完善遥感技术发展规划,改善遥感企业的投资环境,推动包括社会公益性服务在内的遥感信息服务市场化、产品化,逐渐过渡到政府各部门从市场购买遥感信息服务为主的模式,解决当前重复、低效、成果转化动力不足的问题。



以增加我国遥感技术应用的实力, 提高应用效率, 降低应用成本, 加快研究成果的产业化。

二是开拓遥感新的应用领域。将遥感产品“下里巴人”化, 将遥感信息再进一步处理加工变成价格反映的信息, 通过价格信息, 支持解决用户在一定预算约束下的消费决策, 提高消费者效用。打通遥感与货币的连接, 运用市场、经济规则建立市场激励机制, 细分产品和服务, 实现遥感数据增值, 扩张市场规模。

三是要重视大数据、互联网+等带来的新兴市场动力, 跨界融合发展自己。遥感技术成为大数据产业中重要的基础支撑, 跨界融合大数据、互联网+等新兴市场, 从链条的各个环节来改造自我, 贯穿和重构整个产业链, 从根本上带动遥感技术新的产业发展。

## 5 结 语

中国的遥感科学技术一定要树立服务于国家可持续发展的战略目标, 努力探索遥感技术和产业发展新思路, 加强遥感前沿问题的科学研究, 推进国家遥感应用的市场化进程, 走出新的遥感技术创新驱动发展之路。

## 参考文献(References)

GEO Strategic Plan 2016-2025: Implementing GEOSS. [2016-07-20] [www.earthobservations.org/ipwg.ph](http://www.earthobservations.org/ipwg.ph). 2014-11

IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

Li D R, Zhang L P, Xia G S. 2014. Automatic analysis and mining of remote sensing big data. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 43(12): 1211-1216 (李德仁, 张良培, 夏桂松. 2014. 遥感大数据自动分析与数据挖掘. *测绘学报*, 43(12): 1211-1216) [DOI: 10.13485/j.cnki.11-2089.2014.0187]

Li X W, Gao F, Wang J D and Strahler A. 2001. A priori knowledge accumulation and its application to linear BRDF model inversion. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-201+2) 106(D11): 11925-11935 [DOI: 10.1029/2000JD900639]

Li X W, Gao F, Wang J D, and Zhu Q J. 1997. Uncertainty and sensitivity matrix of parameters in inversion of physical BRDF model. *Journal of Remote Sensing*, 1(1): 5-14 (李小文, 高峰, 王锦地, 朱启疆. 1997. 遥感反演参数的不确定性与敏感性矩阵. *遥感学报*, 1(1): 5-14) [DOI: 10.11834/jrs.19970102]

Li X W and Wang Y T. 2013. Prospects on future developments of quantitative remote sensing. *Acta Geographica Sinica*, 68(9): 1163-1169 (李小文, 王祎婷. 定量遥感尺度效应刍议. *地理学报*, 2013, 68(9): 1163-1169) [DOI: 10.11821/dlxb201309001]

Liang S, Fang H, Chen M, Shuey C J, Walthall C, Daughtry C, Morisette J, Schaaf C and Strahler A. 2002. Validating MODIS land surface reflectance and albedo products: Methods and preliminary results. *Remote Sensing of Environment* 83(1): 149-162 [DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00092-5]

Ministry of Foreign Affairs of People's Republic of China, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, 2016-01-13 (外交部, 变革我们的世界: 2030年可持续发展议程, 2016-01-13) [2016-07-20] [http://www.fmprc.gov.cn/web/ziliao\\_674904/zl\\_674979/dnzt\\_674981/xzxzt/xpjdmgjxgsfw\\_684149/zl/t1331382.shtml](http://www.fmprc.gov.cn/web/ziliao_674904/zl_674979/dnzt_674981/xzxzt/xpjdmgjxgsfw_684149/zl/t1331382.shtml)

UN. 1992. The United Nation Framework Convention on Climate Change (联合国. 1992. 联合国气候变化框架公约)

Xu G H, 1997. The progress and prospect of remote sensing information science. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 1: 4-14 (徐冠华, 1997. 遥感信息科学的进展与展望. *中国科学院院刊*, 1: 4-14) [DOI: 10.11834/jrs.19970101]

Xu G H, Ge Q S, Gong P, Fang X Q, Chen B B, He B, Luo Y and Xu B. 2013. Societal response to challenges of global change and human sustainable development. *Chinese Science Bulletin*, 58: 2100-2106 (徐冠华, 葛全胜, 宫鹏, 方修琦, 程邦波, 何斌, 罗勇, 徐冰. 2013. 全球变化和人类可持续发展: 挑战与对策. *科学通报*, 58: 2100-2106) [DOI: 10.1007/s11434-013-5947-3]

Xu G H, Ju H B, He B, Cheng X and Xu B. The development of Chinese earth science in 21<sup>st</sup> century How to based on China and thrive. *Science and Technology Daily* (徐冠华, 鞠洪波, 何斌, 程晓, 徐冰. 21世纪中国地球科学发展如何立足中国走向世界. *科技日报*. 2010-08-01)

# Remote sensing for China's sustainable development: Opportunities and challenges

XU Guanhua<sup>1</sup>, LIU Qinhua<sup>2</sup>, CHEN Liangfu<sup>2</sup>, LIU Liangyun<sup>2</sup>

1. Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Beijing 100862, China;
2. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

**Abstract:** For sustainable development, China must deal with a lot of significant major issues, such as resource shortage, environmental deterioration, ocean exploitation, climate change, and so on. As the acceleration of global economic integration process, we have to study and resolve these resource and environment problems with global view. Remote sensing is the unique and basic global observation technology to support the sustainable development, due to its advantages of synoptic view and dynamic monitoring capability for the earth system science, environmental science, resource science and global change study. After a short review of the remote sensing development history, the major international earth observation programs for human sustainable development and global change are summarized and the Chinese remote sensing technology and application status is analyzed accordingly. The most important five remote sensing frontier and challenge directions are presented as the Global Earth Observation System of Systems(GEOSS), high performance remote sensing modeling and inversion, quantitative remote sensing product validation theory and platform, earth system model and remote sensing data assimilation, and remote sensing big data science. Finally, we point out that the remote sensing application service model should be innovated for much better services on sustainable development, global strategy and economic development. The high-resolution remote sensing satellite commercialization, Unmanned Aerial Vehicle(UAV) remote sensing development, and the remote sensing application marketization should be encouraged.

**Key words:** remote sensing, global changes, data assimilation, big data, high resolution, GEOSS, sustainable development