

# 中国对地观测 20 年科技进步和发展

廖小罕

中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

**摘要:** 2000 年以来, 中国对地观测领域在国家科技计划的支持下, 积累了系列关键技术和核心成果。以此为重要引领, 支撑形成了气象、海洋、陆地业务化遥感卫星系列和多类别遥感科学实验卫星系列, 建立了较为完善的卫星遥感和灵活多样的航空遥感数据获取体系。同时, 构建了数据获取、处理和产品服务体系和面向不同需要的应用系统, 较大程度上满足主要行业常态化和应急应用需求。特别是国家高技术研究发展计划(863 计划)地球观测与导航领域的设立和国家重大科技专项“高分辨率对地观测系统”的实施, 系统加强了中国综合对地观测技术和能力。在此基础上通过多边和双边合作, 中国对地观测领域在国际上取得了参与全球对地观测进程的主导地位, 发展巩固了中欧和中美等重要国际合作渠道。科技人才队伍日益壮大, 产学研合作推动遥感科技成果商业化培育环境不断完善, 多元化商业遥感卫星初见规模, 多类别遥感产品蓬勃发展, 涌现出一批代表性企业。面向未来, 空天地一体化观测能力、量化信息获取技术和智能化观测等方面将会得到进一步发展, 遥感大数据管理技术和共享服务机制等也将会有新的突破。

**关键词:** 对地观测, 科技计划, 卫星, 无人机, 遥感应用, 国际合作, 产学研队伍

**引用格式:** 廖小罕. 2021. 中国对地观测 20 年科技进步和发展. 遥感学报, 25(1): 267-275

Liao X H. 2021. Scientific and technological progress and development prospect of the earth observation in China in the past 20 years. National Remote Sensing Bulletin, 25(1):267-275[DOI:10.11834/jrs.20211017]

## 1 引言

对地观测是集地球、空间、信息、计算机科学等多门学科于一体的综合科学技术体系。通过航天航空手段与通信、网络和计算机等相关技术的集成, 地球观测包括信息的获取、处理、分析与应用的全信息链, 为人类了解和认知地球提供了前所未有的技术手段(陈述彭, 2002; 徐冠华等, 2016; Guo 等, 2018)。充分利用空间信息资源, 提高人流、物流和能量流的利用效率, 促进社会生产力的发展, 已成为世界各国, 尤其是发达国家高度关注的战略性新兴产业的重要组成部分(童庆禧等, 2005; Gu 和 Tong, 2015; 廖小罕, 2020)。随着人们对地球系统认识的不断深入, 全球化、体系化、专门化、智能化、大尺度、长周期、量化、实时化的遥感信息产品需求对遥感技术发展提出了新的方向和新的思路(李德仁和沈欣, 2005; 周成虎等, 2008; 李小文和王

玮婷, 2013; 龚建雅和钟燕飞, 2016; Zhang 等, 2019; 梁顺林等, 2020)。

近 20 年来, 一些发达国家和组织陆续出台业务化的地球观测计划, 加强对地球系统的理解和对地球环境的管理。美国构建了大气、海洋、陆地综合对地观测系统(EOS), 亚米级的高分辨率卫星全面实现商业化。国际对地观测卫星委员会(CEOS)提出“对地观测质量保证框架(CQA4EO)”, 规划了全球自动定标场网(RadCalNET)计划(李传荣等, 2016; Bouvet 等, 2019)。欧美等国也极其重视地球观测质量标准, 相继部署了 CLARREO 定标星计划和 TRUTHS 定标系统计划(Wielicki 等, 2013; Fox 等, 2014; 卢乃锰等, 2020)。这期间, 中国在航天领域开展了“快舟一号”(李淑, 2013)、“实践九号”(文强等, 2013)、大气二氧化碳监测(Ran 和 Li, 2019)、夜光遥感(李德仁等, 2019)等科学实验卫星试验, 构建了气象(许健民等, 2010; 杨军等, 2018)、海洋

收稿日期: 2020-10-20; 预印本: 2020-12-26

基金项目: 国家重点研发计划(编号:2017YFB0503005); 国家自然科学基金(编号:41771388, 41971359)

第一作者简介: 廖小罕, 1963 年生, 男, 研究员, 研究方向为无人机遥感应用与无人机低空航路规划构建。E-mail: liaoxh@igsrr.ac.cn

(潘德炉等, 2004; 林明森和张有广, 2018; 蒋兴伟等, 2019) 和陆地 (Xu等, 2014; 王桥和刘思含, 2016) 3大类别的民用业务卫星系统。其他如测绘卫星等 (唐新明和胡芬, 2016) 也在轨运行多年。“北京一号” (童庆禧和卫征, 2007) 和“吉林一号” (Xiao等, 2018) 卫星系列、“高景一号” (Wang等, 2018)、“珠海一号” (Jiang等, 2019) 等系列商业卫星更是如雨后春笋。航空遥感领域, 无人机遥感发展迅猛, 轻小型遥感无人机成为大众化遥感应用最突出的标志, 在众多应用场景发挥重要作用 (廖小罕和周成虎, 2016)。行业和地方通过遥感数据规模化和深入的应用, 广泛认识到遥感的重要性, 进一步对遥感数据提出了更高的要求, 这迅速驱动遥感数据供应朝着高空间分辨率和高时间分辨率方向发展。迅速增加的遥感数据使得对地观测进入遥感大数据高性能处理时代 (Chen等, 2014; Guo等, 2016; Gong等, 2019; Liao等, 2019), 自动化和智能化数据分析成为核心发展点 (李德仁等, 2014; 龚建雅和钟燕飞, 2016; 张兵, 2018)。

本文结合作者在科技部的工作经历, 从国家科技计划部署和研发进展、航天对地观测系统建设、无人机遥感崛起、对地观测应用、国际科技合作和产学研队伍建设6个方面, 简析这20年中国对地观测开展的工作和取得的成绩。

## 2 国家科技计划和研发进展

2000年以来, 通过科技攻关计划、国家高技术研究发展计划 (863计划)、国家重点基础研究发展计划 (973计划)、国家重点研发计划和科研条件平台建设以及科研基地建设布局等支持, 突破了遥感、地理信息系统、空间数据库软件、导航与测绘等领域许多关键技术, 培育了满足应用需求的规模化科研队伍, 形成了一批研发创新平台和科研基地。可以说, 国家科技计划对中国对地观测领域的发展发挥了主导作用。

“十五”国家科技计划主要面向中国信息资源设施建设的重大需求, 重点支持发展机载和星载多谱段、高分辨率遥感载荷和空间信息获取技术和先进小卫星对地观测系统技术。系统性地开展了遥感数据定量化、智能化处理技术研究, 通过重大应用示范, 推动中国空间信息资源的产业化。

“十一五”突出面向全球陆地、海洋与极地环

境, 开展跨区域的应用, 同时推动遥感服务统计等行业应用。重点发展了包括星载静止轨道多元遥感载荷、高精度红外成像载荷和海量空间数据自动化处理等核心技术 (科学技术部, 2012)。在时任科技部部长徐冠华、副部长马颂德的亲自关心和直接推动下, 2005–09, 经党中央、国务院批准, 863计划新增设“地球观测与导航”领域, 对地观测领域科技创新体系化布局和稳定经费支持有了高层次的组织和制度保障。一些新的平台、载荷和应用系统关键技术不断突破。诞生了一些标志性的成果, 这其中包括实践9A卫星遥感相机、静止轨道宽视场载荷、无人机遥感综合验证系统、北京一号应用系统、大气二氧化碳监测科学实验卫星及快舟系列实验遥感卫星等。2010–05, 经国务院批准, 按照《国家中长期科学和技术发展规划纲要 (2006年—2020年)》的具体部署 ([http://www.gov.cn/gongbao/content/2006/content\\_240244.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2006/content_240244.htm) [2020–10–10]), 国家重大科技专项“高分辨率对地观测系统” (简称“高分专项”) 全面启动实施, 这是继863计划地球观测与导航领域成立以来又一重大举措 (童旭东, 2016)。“高分专项”的组织实施加强了我国高分辨率数据系统性获取能力, 加强了已有的气象、海洋和陆地遥感卫星体系的综合性设计, 进一步打通空间信息全产业链, 推动科技和产业的结合, 以“形成空间信息产业链”为专项总目标, 力争通过10年的实施, 推动科技与产业的结合 (赵文波, 2019)。发展新型平台和载荷、强调行业应用和全球遥感能力建设是这个阶段科技计划部署的重点。863计划和国家重大科技专项的有力部署是这个阶段科技计划突出的时代特点。

“十二五”继续支持关键技术突破特别是机载和星载多谱段、高分辨率遥感载荷与处理关键技术, 包括部署了强度关联遥感成像技术、红外高光谱载荷、SAR处理系统、一体化卫星平台关键技术和星机地综合定量遥感系统与应用等。在系统应用上面支持解决高性能航空遥感数据自动处理与加工软件研制、遥感小卫星智能观测技术与应用示范、测绘装备国产化及应用示范、地理国情监测应用系统等。典型区域应用包括粤港澳、新疆及周边区域、旱区和青海湖流域等 (科学技术部, 2012)。该期间对地观测逐渐走向了天空地一体化的新时代, 卫星星座、编队飞行、组合观

测向智能化方向发展，高轨凝视监测成为技术焦点；高空间分辨率、高光谱分辨率、高辐射分辨率和高时间分辨率作为遥感系统发展的主要方向（李传荣等，2016）。对遥感科学实验卫星系统规划、研制和应用支持是这个阶段的重要特点之一。

“十三五”国家重点研发计划面向国家经济转型升级与生态文明建设、“一带一路”战略实施与新型城镇化发展、以显著提升地球观测与导航综合信息应用水平与技术支撑能力为总体目标，重点突破信息精准获取、高效应用等关键技术和复杂系统集成共性技术为研究主线，攻克量子成像与高轨高分辨观测、空间辐射基准与传递定标、超敏捷卫星与空天组网观测、全球空间信息服务与地球系统关键要素监测等基础理论与前沿技术，示范开展城市群经济及新型城镇化发展、重大灾害和突发事件应急监测与公共安全预警、一带一路空间信息服务与全球空间信息系统等应用，全球高精度信息获取与快速处理等战略指标，为构建综合精准、自主可控的地球观测与导航系统提供新一代技术支持，支撑中国空天技术创新国际竞争力、服务国家经济社会发展与全球战略实施支撑能力是这个阶段的主要特点。

通过4个五年计划攻关，中国光学遥感载荷技术在高分辨率、宽谱段、大视场和小型化上面得到突破。雷达成像技术在实现多模多频、全极化、立体、宽成像带和小型化等方面取得进展。成像技术在静止轨道凝视成像技术与主被动结合上面取得成果。平台技术上面在定姿定轨、卫星组网与虚拟星座、高精度IMU和POS技术上面取得成效。在应用关键技术方面，量化与自动化处理分析技术和多源信息综合处理与定量分析等系统集成技术取得重要进展。这些技术积累为建立国家综合对地观测体系提供核心技术与原型系统，为发展以高性能卫星遥感、高效能传统航空与无人机遥感与多源遥感数据综合处理等为核心的国家综合对地观测系统体系打下好的基础。

### 3 航天对地观测系统建设

这期间，国家科技支撑计划和863计划支持研制了“实践9A”科学试验卫星相机、快舟遥感卫星系列和二氧化碳监测卫星等，完成了完整的在轨试验，取得成功试验运行，在关键技术验证与在轨运行测试等方面开展大量科研工作，为全产

业链系统研制和业务化运行上打下了良好的技术基础，在遥感数据获取、传输和应用检验上取得了很好的成绩和宝贵的经验。中国气象、海洋和陆地卫星陆续形成完善的业务化运行遥感卫星系列，这取得的成果与国家大量科技投入是分不开的。值得一提的是，从2001年开始面向新体制进行探索，在国家科技支撑和863项目支持下，“北京一号”遥感小卫星成功立项，2005年首创了中国中分辨率遥感卫星数据商业化服务，在这之后，北京二号遥感卫星继续得到立项支持并实现业务化服务，在系统低成本、运行自主测控和数据商业化上的工作都具有开创性。2013年开始，国家重大科技专项支持下的“高分”遥感卫星系列陆续开始在轨运行。“高分”系列加强了航天遥感系统综合性设计，并逐渐成为科技投入直接支持下最重要、最具规模化的航天综合对地观测系统。2015年以来，多渠道支持的低成本系列商业遥感小卫星成为势头，“吉林一号”等系列诞生并在高质量遥感影像、视频影像和数据商业化服务方面取得好成绩。在这之后，“高景一号”、“珠海一号”等遥感卫星系列也发展迅速并提供业务化的优质对地观测服务。截止到目前，在数量上，中国在轨气象、海洋、陆地资源卫星和商业化遥感卫星数量稳居世界第二。在组网协作上，中国遥感卫星平台已构建全球虚拟星座，可实现多星联合与协作观测。从卫星类别来看，气象卫星系列在气象预报和气候变化监测方面的能力明显提升，同时实现了对台风、雨涝、森林与草原火灾、干旱、沙尘暴等灾害的有效监测；海洋卫星系列实现对中国海域和全球重点海域的监测和应用，海冰、海温、风场等的预报精度和灾害性海况的监测时效得到显著提高。陆地资源卫星系列在土地、地质矿产、农业、林业、水利等资源及地质灾害调查、监测与管理 and 城市规划中发挥了重要作用。环境卫星系列在环境污染、生态破坏和自然灾害动态监测等方面提供了重要支持。近几年发展迅速的商业化遥感卫星在区域治理、灾害监测和评估与救援等方面提供了重要的技术支撑。

### 4 无人机遥感崛起

无人机遥感系统具有机动灵活、响应快、成本低、时效性强等特点，尤其是在重大自然灾害应急响应、阴云天气下的影像获取、局部地区迅

捷遥感等情况下,无人机遥感系统拥有卫星遥感和传统航空遥感不可取代的优势,是航天遥感重要的补充并发挥独特的作用。2008年汶川地震及之后的芦山地震、舟曲泥石流等自然灾害灾情评估,无人机遥感系统均发挥了重要作用,截止目前,无人机遥感应急应用已成燎原势头,在各个行业和地方得到广泛应用。

早在2000年,863计划就支持中国科学院光电研究院开展轻小型低空无人机遥感监测系统研制(科学技术部,2012)。2004年,在科技支撑项目支持下。北京大学参与推动实现大型多用途无人机遥感系统实际飞行(晏磊等,2019)。2008年,863计划支持中国科学院光电研究院牵头无人机遥感载荷综合验证系统研制并在包头建立了中国第一个无人机遥感综合验证场,成为中国无人机遥感科技发展的重要节点(李传荣,2016)。同年汶川发生地震,中科院遥感应用研究所等单位牵头获取了震中首批无人机高分辨率遥感影像。自此无人机遥感在灾情评估上的迅捷和全天候能力被认可并逐渐得到应用,例如,2013年芦山地震发生后几小时国家测绘局系统无人机就获取了震中遥感影像(廖小罕和周成虎,2016)。另外,2009-06,在863计划支持下国家测绘局系统率先实现了钓鱼岛多个岛屿的遥感成像,为维护岛礁主权做出重要贡献。2017年,国家重点研发计划支持中科院牵头无人航空器区域组网遥感观测技术项目,支持研发构建具备全国土覆盖技术能力的无人航空器区域组网遥感观测技术体系(Liao等,2018)。如今,无人机遥感系统及其应用已经非常普及。无人机遥感的出现迅速使遥感数据成为大众化产品,让遥感科技创新和大众创新紧密衔接在一起。无人机遥感的特点也使得单纯的的对地观测技术可以和植保、自主导航、航路规划等其他技术深度融合在一起,无人机遥感呈现“遥感+”应用趋势,其中无人机遥感+区域组网应用在构建大范围高分辨率国土监测体系中将发挥重要作用。无人机高分辨率倾斜摄影数据也为正在兴起的高清三维地图应用提供了主要的遥感数据来源保障(廖小罕等,2019)。

## 5 对地观测应用

遥感应用系统方面,在面向全球和跨区域遥

感数据、高性能应急响应和多源遥感资源服务数据综合服务门户网站等作了部署。徐冠华院士特别重视遥感和GIS成果要服务国家战略和直接应用到生产建设实践中,强调成果要植入业务化系统,在实际应用中得到检验。在这个背景下,一批行业应用项目得以立项,包括国家测绘局牵头东海、南海岛礁遥感测绘,国家海洋局牵头极地遥感应用,国家统计局牵头统计遥感信息共享与服务系统等业务化应用系统和公安部牵头警用地理信息系统等研究。一批科技计划支持开发的多套软件系统在国土、测绘、林业、海洋、资源环境等行业逐渐得到广泛应用。2008年汶川地震是遥感应用的一次大检验。汶川地震灾情分析动用了国内外大量遥感卫星,在短时间内获取了大量灾情遥感影像。由于天气原因,初期的可见光影像数量和质量不能满足需求,而航空遥感与无人机遥感及时获取了大量高分辨率可见光遥感数据,为抗震救灾提供了重要的灾情信息。遥感在灾情评估上的重要性开始得到广泛认识,同时多云多雨复杂地区遥感无人机发挥的独特作用也引起关注。自此,建立包括无人机遥感在内的灾害遥感空天一体快速响应机制成为重要发展方向。

基于汶川地震遥感灾情评估获得的经验和教训,为提高对地观测数据使用效率和服务重大灾害评估,科技部依托中国科学院光电研究院建立了国家应急遥感数据共享机制。国家应急遥感数据共享机制在多次自然灾害发生后发挥了重要作用。科技部在此基础上,联合10余家国内主要卫星数据中心、科研单位及企业,依托国家遥感中心牵头建设国家综合地球观测数据共享平台。推动国内所有公益性卫星和部分商业卫星数据中心以及国外优质遥感数据中心的互联互通,为用户提供一站式的数据访问服务,推动了国内遥感数据共享和服务。该平台也在2019年被科技部认定为国家对地观测科学数据中心,该机制和平台目前都由中国科学院空天信息创新研究院牵头运行。值得一提的是,面向环境、生态、城镇化建设等重大问题,为充分发挥国内遥感队伍优势和成果应用,从2012年开始,国家遥感中心牵头组织国内研究队伍,每年开展全球生态环境遥感监测报告编制并通过科技部正式对外发布,该报告后来也成为中国在GEO年会上的官宣资料,成为国际遥感舞台“中国好声音”,是中国科学家对于全球

问题基于一手遥感数据发出自己的声音。截止到2020年，已有100多家单位，超500人参与到报告编写，发行到第22册（廖小罕和施建成，2014；李加洪和施建成，2015；王琦安和施建成，2019）。

## 6 国际科技合作

在多边合作方面，这20年来最主要的国际合作成果就是中国参与推进地球观测组织（GEO）进程。在地球观测技术加快发展和需求不断提高的趋势下，主要发达国家和发展中国家为响应2002年在南非约翰内斯堡举行的世界可持续发展峰会提出的对地球状况进行协调观测的迫切要求，以及2003年法国举行的八国集团首脑峰会关于确认地球观测应是重要和优先行动的声明，于2005年建立了政府间多边科技合作机制，作者陪同科技部主管副部长马颂德在布里塞尔见证了GEO的正式成立。GEO是目前在地球观测领域规模最大、最具权威和影响力的政府间国际组织，目前已有105个成员国、132个参加组织和6个关联组织。中国是GEO创始国之一（郑国光，2005），和美国、欧盟、南非并列成为联合主席国并持续任职至今（郑国光是中国推荐的首任联合主席），在地球观测组织中代表亚洲大洋洲区域和发展中国家。2008年南非开普敦举行的GEO部长级峰会上，时任科技部部长万钢提议中巴资源卫星数据对非洲免费开放和在非洲帮助建设地面站设施，对推动全球遥感卫星数据开放共享作了重要贡献，2010年作者访问美国USGS的时候，美方部门主管回顾中特别指出，中国在GEO开普敦会议上的提议带动了美国USGS陆地资源卫星数据的免费公开获取。2011-10，国务院批准由科技部联合国内相关部门，成立中国参加地球观测组织工作部际协调小组，制定中国参与地球观测组织的战略规划，集成各部门地球观测工作，其意义包括，通过国内多部门共同参与GEO国际合作，促进国内多部门对地观测工作的协同和数据资源共享。另外还有一些其他多边合作，包括联合国国际减灾宪章（Charter）计划，针对国际上发生的自然灾害，中国向澳大利亚、新西兰、巴基斯坦、印度、意大利、土耳其等提供遥感信息服务。

在双边合作方面，中国和欧洲国家、美国、巴西、澳大利亚和日本等国开展了有成效的科技合作。中国为意大利、澳大利亚、土耳其和尼泊

尔等国发生地震与山火等自然灾害及时提供卫星遥感数据支持，汶川地震期间，中国也获得欧盟组织和美国提供的遥感卫星地震灾情遥感影像和分析结果支持。这些往来促进了相互之间的友好合作。特别值得一提的是“龙计划”（中方首席是李增元）（Desnos等，2004），该计划成功组织了中国和欧洲许多重要的研究机构共同开展技术交流，合作研究内容涉及定标和真实性检验以及农业、林业、水资源、海洋、大气、灾害、地形测量等诸多遥感应应用领域，该计划每四年一期，2020年7月启动第五期（<http://www.nrsc.gov.cn/nrsc/gjhz/zgljhz/index.html> [2020-10-10]）。该合作涉及的人员多，领域广，对这个领域影响很大。

## 7 产学研队伍建设情况

对地观测科研单位和人才队伍在这个期间通过科技计划经费支持和有关政策扶持得以发展壮大。比较突出队伍包括：科技部通过在骨干科研单位和高校认定和培育系列国家重点实验室的方式，支持了依托中国科学院有关研究所和高校的遥感科学、资源与环境信息系统、测绘工程与遥感三大国家重点实验室发展；自然资源部（特别是测绘系统和海洋系统）、环保部和中国气象局等部委所属研究机构通过管理行业遥感卫星发展壮大了对地观测科研队伍。航天科技集团和中电科技集团等也在遥感天基基础设施建设中培养和造就了一批优秀人才。

本科院校是行业发展生力军和产业发展的后备力量（<https://mp.weixin.qq.com/s/50uATJMR2n3NGc4CDSw> [2020-10-10]）。截止到2019年6月，全国具有测绘工程本科专业的普通高校共159所，具有地理信息科学本科专业的普通高校共187所，具有遥感科学与技术本科专业的普通高校共49所，具有地理空间信息工程本科专业的普通高校共12所，2018年以来，部分高校还新成立、新组建了测绘、地理信息等相关学院和研究院。

在产业发展和商业化市场方面，遥感科技成果商业化培育环境不断完善，遥感平台、数据管理软硬系统和遥感标准影像和专题产品日益多元化，并逐步满足应用需求。2000年以来，除航天科技、航天科工等央企不断发展外，北京二十一世纪、珠海欧比特、长春长光卫星等一批商业化遥感卫星制造和运营企业脱颖而出，除深圳大疆

创新、成都纵横自动化和深圳飞马机器人、山西迪奥普等遥感无人机制造公司外，中测新图（北京）遥感技术有限责任公司、中科遥感科技集团有限公司、中煤航测遥感集团有限公司等无人机遥感服务专业化队伍如雨后春笋遍地涌现。主要互联网地图提供商如百度、高德和天下图等都能提供遥感影像服务。截至2019年末，地理信息产业从业单位数量超过11.7万家，其中，测绘资质单位超过2.1万家，产业从业人员数量超过285万（<http://www.cagis.org.cn/Lists/content/id/3147.html> [2020-10-10]）。

## 8 结 语

近年来，中国对地观测科研工作取得长足进步，与国际领先水平的技术差距明显缩小，技术发展程度总体达到国际先进，基础设施发展规模和部分核心技术处于国际领先。以国家科技计划支持的项目成果为先导，支撑形成了类别丰富的遥感卫星系列和一定规模的航空遥感队伍，建立了数据获取、处理和产品服务体系，较大程度上满足了主要行业常态化和应急应用。以国土资源调查为重点应用，做到了数字国土全覆盖。航空遥感领域，无人机遥感发展迅速，呈现分布式区域组网观测体系趋势。以无人机倾斜摄影技术发展为标志，对地观测进入高清三维地图时代。在大众服务市场上，多类别遥感产品蓬勃发展，基于互联网提供遥感影像服务，形成规模龙头企业。在国际上开拓了重要的双边和多边交流平台，获得参与全球对地观测进程的主导地位。

需要清醒认识到，中国地球观测领域在技术前瞻性、创新性、低成本和数据应用与服务共享上和国际领先水平比较还存在差距，难以满足日益增长的需求。面向未来，需加强自主创新与支持前沿技术发展，在遥感平台、载荷和定量化信息获取关键技术等方面取得进一步突破和发展，推动遥感卫星智能高效全球协同和遥感无人机快捷响应区域组网体系在内的空天一体化对地观测能力提升，调整完善有关遥感影像管理政策，加强数据管理和建立起有效的数据共享服务制度。

志 谢 本文起草和整理得到叶虎平、于艳梅、刘见礼的大力支持，在此深表谢意！

## 参考文献 (References)

- Bouvet M, Thome K, Berthelot B, Bialek A, Czapla-Myers J, Fox N P, Goryl P, Henry P, Ma L, Marcq S, Meygret A, Wenny B N, Williams E R. 2019. RadCalNet: A Radiometric Calibration Network for Earth Observing Imagers Operating in the Visible to Short-wave Infrared Spectral Range. *Remote Sensing*, 11(2401): 1-25 [DOI: 10.3390/rs11202401]
- Chen J, Chen J, Liao A P, Cao X, Chen L J, Chen X H, He C Y, Han G, Peng S, Lu M, Zhang W W, Mills J. 2015. Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103: 7-27. (1016/j.isprsjprs.2014.09.002)
- Chen S P. 2002. Some new ideas of space remote sensing application. *Aerospace China*, (01):3-8. (陈述彭.2002.航天遥感应用的若干新理念.中国航天,(01):3-8)
- Desnos YL, Bergquist K, Li Z Y.2004.Cooperation between European Space Agency (ESA) and China in remote sensing earth observation: Dragon program. *Remote sensing information*. 04: 78-79 (Desnos YL, Bergquist K,李增元.2004.欧洲空间局(ESA)与中国在遥感对地观测领域的合作:龙计划.遥感信息,04: 78-79)
- Fox N, Green P, Brindley H, Russell J, Smith D, Lobb D, Cutter M and Barnes A. 2014. Traceable radiometry underpinning terrestrial and heliostudies (TRUTHS): a benchmark mission for climate//Proceedings of the SPIE 10563, International Conference on Space Optics. Tenerife: SPIE: 1056325 [DOI: 10.1117/12.2304220]
- Gong P, Liu H, Zhang M N, Li C C, Wang J, Huang H B, Clinton N, Ji L Y, Li W Y, Bai Y Q, Chen B, Xu B, Zhu Z L, Yuan C, Suen H P, Guo J, Xu N, Li W J, Zhao Y Y, Yang J, Yu C Q, Wang X, Fu H H, Yu L, Dronova I, Hui F M, Cheng X, Shi X L, Xiao F J, Liu Q F, Song L C. 2019. Stable classification with limited sample: transferring a 30-m resolution sample set collected in 2015 to mapping 10-m resolution global land cover in 2017. *Science Bulletin*, 64(6): 370-373.
- Gong J Y and Zhong Y F. 2016. Survey of intelligent optical remote sensing image processing. *Journal of Remote Sensing*, 20(5): 733-747 (龚健雅, 钟燕飞. 2016. 光学遥感影像智能化处理研究进展. 遥感学报, 20(5): 733-747) [DOI:10.11834/jrs.20166205]
- Gu X F and Tong X D. 2015. Overview of China earth observation satellite programs [space agencies]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 3(3): 113-129 [DOI: 10.1109/MGRS.2015.2467172]
- Guo H D, Liu G, Liang D, Zhang L, Xiao H. 2018, Progress of Earth Observation in China. *Chinese Journal of Space Science*, 38(5): 797-809. [DOI:10.11728/cjss2018.05.797]
- Guo H D, Wang L Z, Liang D. 2016. Big Earth Data from space: a new engine for Earth science. *Sci. Bull.* 61, 505 - 513. [DOI: 10.1007/s11434-016-1041-y]
- Jiang Y H, Wang J Y, Zhang L, Zhang G, Li X and Wu J Q. 2019. Geo-

- metric processing and accuracy verification of Zhuhai-1 hyperspectral satellites. *Remote Sensing*, 11(9): 996 [DOI: 10.3390/rs11090996]
- Jiang X W, He X Q, Lin M S, Gong F, Ye X M and Pan D L. 2019. Progresses on ocean satellite remote sensing application in China. *Acta Oceanologica Sinica*, 41(10): 113-124 (蒋兴伟, 何贤强, 林明森, 龚芳, 叶小敏, 潘德炉. 2019. 中国海洋卫星遥感应用进展. *海洋学报*, 41(10): 113-124 [DOI: 10.3969/j.issn.0253-4193.2019.10.007])
- Ministry of Science and Technology. Report on scientific and technological development in the field of earth observation and navigation in the past decade. Beijing: Science and Technology Literature Press, 2012 (科学技术部. 这十年——地球观测与导航领域科技发展报告. 北京: 科学技术文献出版社, 2012)
- Li C R. 2016. The research and development of high resolution remote sensing comprehensive calibration technology system promotes the new stage of China's remote sensing industry entering development. *Science & Technology for Development*, 12(3): 371-376 (李传荣. 2016. 高分辨遥感综合定标技术系统的研发助推中国遥感产业进入发展新阶段. *科技促进发展*, 12(3): 371-376)
- Li D R and Shen X. 2005. On intelligent earth observation systems. *Science of Surveying and Mapping*, 30(4): 9-11 (李德仁, 沈欣. 2005. 论智能化对地观测系统. *测绘科学*, 30(4): 9-11)
- 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 D R, Zhang G, Shen X, Zhong X, Jiang Y H, Wang T Y, Tu J G and Li Z J. 2019. Design and processing of night light remote sensing of LJ-1 01 satellite. *Journal of Remote Sensing*, 23(6): 1011 - 1022 (李德仁, 张过, 沈欣, 钟兴, 蒋永华, 汪韬阳, 涂建光, 李治江. 2019. 珞珈一号 01 星夜光遥感设计与处理. *遥感学报*, 23(6): 1011 - 1022 [DOI: 10.11834/jrs.20199327])
- Li J H and Shi J C. 2016. Report of global ecosystems and environment observation analysis research cooperation in 2016--- The Belt and Road Initiative Ecological and Environmental Conditions. Beijing: Science Press (李加洪, 施建成. 2016. “一带一路”生态环境遥感监测丛书 (2015) 全球生态环境遥感监测报告. 北京: 科学出版社)
- Li S. 2013. China successfully launched Kuaizhou-1 satellite. *China Aerospace*, 10: 22 (李淑. 2013. 中国成功发射快舟一号卫星. *中国航天*, 10: 22)
- Li X W, Wang Y T. Prospects on future developments of quantitative remote sensing. *Journal of Geography*. 68(09): 1163-1169 (李小文, 王祎婷. 2013. 定量遥感尺度效应刍议. *地理学报*, 68(09): 1163-1169)
- Liao X H. 2020. Advance of geographic sciences and new technology applications. *Progress in Geography*, 39(5): 709-715. (廖小罕. 2020. 地理科学发展与新技术应用. *地理科学进展*, 39(5): 709-715 [DOI: 10.18306/dlkxjz.2020.05.001])
- Liao X H and Shi J C. 2015. Report of global ecosystems and environment observation analysis research cooperation in 2014. Beijing: Science Press (廖小罕, 施建成. 2015. 全球生态环境遥感监测 2014 年度报告. 北京: 科学出版社)
- Liao X H, Yue H Y, Liu R G, Luo X Y, Luo B, Lu M, Ryan B, Ye H P. 2019. Launching an unmanned aerial vehicle remote sensing data carrier: concept, key components and prospects. *International Journal of Digital Earth*, 1-14 [DOI: 10.1080/17538947.2019.1698664]
- Liao X H, Xiao Q and Zhang H. 2019. UAV remote sensing: Popularization and expand application development trend. *Journal of Remote Sensing*, 23(6): 1046 - 1052 (廖小罕, 肖青, 张颖. 2019. 无人机遥感: 大众化与拓展应用发展趋势. *遥感学报*, 23(6): 1046-1052 [DOI: 10.11834/jrs.20199422])
- Liao X H, Zhang Y, Su F Z, Yue H Y, Ding Z and Liu J L. 2018. UAVs surpassing satellites and aircraft in remote sensing over China. *International Journal of Remote Sensing*, 39(21): 7138-7153. [DOI: 10.1080/01431161.2018.1515511]
- Liao X H, Zhou C H. Light-small UAV remote sensing development report. Beijing: Science Press, 2016. (廖小罕, 周成虎. 轻小型无人机遥感发展报告. 北京: 科学出版社, 2016)
- Liang S L, Bai R, Chen X N, Cheng J, Fan W J, He T, Jia K, Jiang B, Jiang L M, Jiao Z T, Liu Y B, Ni W J, Qiu F, Song L L, Sun L, Tang B H, Wen J G, Wu G P, Xie D H, Yao Y J, Yuan W P, Zhang Y G, Zhang Y Z, Zhang Y T, Zhang X T, Zhao T J and Zhao X. 2020. Review of China's land surface quantitative remote sensing development in 2019. *Journal of Remote Sensing (Chinese)*, 24(6): 618-671 (梁顺林, 白瑞, 陈晓娜, 程洁, 范闻捷, 何涛, 贾坤, 江波, 蒋玲梅, 焦子铎, 刘元波, 倪文俭, 邱凤, 宋柳霖, 孙林, 唐伯惠, 闻建光, 吴桂平, 谢东辉, 姚云军, 袁文平, 张永光, 张玉珍, 张云腾, 张晓通, 赵天杰, 赵祥. 2020. 2019 年中国陆表定量遥感发展综述. *遥感学报*, 24(6): 618-671 [DOI: 10.11834/jrs.20209476])
- Lin M S and Zhang Y G. 2018. Application status and development prospects of marine dynamics environmental satellites in China. *Satellite Application*, (5): 19-23 (林明森, 张有广. 2018. 中国海洋动力环境卫星应用现状及发展展望. *卫星应用*, (5): 19-23)
- Lu N M, Ding L, Zheng X B, Ye X, Li C R, Lyu D R, Zhang P, Hu X Q, Zhou C H, You Z, Fang J C, Gong J Y, Jiang X W, Li J J, Ma L L and Xu N. 2020. Introduction of the radiometric benchmark satellite being developed in China for remote sensing. *Journal of Remote Sensing (Chinese)*, 24(6): 672-680 (卢乃锰, 丁雷, 郑小兵, 叶新, 李传荣, 吕达仁, 张鹏, 胡秀清, 周成虎, 尤政, 房建成, 龚建雅, 蒋兴伟, 李建军, 马灵玲, 徐娜. 2020. 中国空间辐射测量基准技术. *遥感学报*, 24(6): 672-680 [DOI: 10.11834/jrs.20200011])
- Pan D L, He X Q, Li S J and Gong F. 2004. Study on application potentiality of the first China's ocean satellite HY-1A. *Acta Oceanologica Sinica*, (02): 37-44 (潘德炉, 何贤强, 李淑青, 龚芳. 2004. 中国第一颗海洋卫星 HY-1A 的应用潜力研究. *海洋学报*, (02): 37-44)
- Ran Y H and Li X. 2019. TanSat: a new star in global carbon monitor-

- ingfrom China. *Science Bulletin*, 64(5): 284-285 [DOI: 10.1016/j.scib.2019.01.019]
- Tang X M and Hu F. 2018. Development status and trend of satellitemapping. *Spacecraft Recovery and Remote Sensing*, 39(4): 26-35 (唐新明,胡芬.2018.卫星测绘发展现状与趋势.航天返回与遥感,39(4):26-35) [DOI: 10.3969/j.issn.1009-8518.2018.04.004]
- Tong Q X. 2005. Thoughts on the development strategy of space earth observation system in China. *China Surveying and Mapping*, (4): 46-49 (童庆禧.关于中国空间对地观测系统发展战略的若干思考.中国测绘,2005(4):46-49)
- Tong Q X and Wei Z. 2017. Beijing-1 Micro-satellite and its data application. *Spacecraft engineering*, 16(2):1-5. (童庆禧,卫征.2007.北京一号小卫星及数据应用.航天器工程,16(2):1-5)
- Tong X D. 2016. Development of China high-resolution earth observationsystem. *Journal of Remote Sensing*, 20(5): 775-780 (童旭东.2016.中国高分辨率对地观测系统重大专项建设进展.遥感学报,20(5):775-780) [DOI: 10.11834/jrs.20166302]
- Wang Q A and Shi J C. 2019. Report of global ecosystems and environment observation analysis research cooperation in 2018--- Regional Ecosystem Trends along the Belt and Road. Beijing: Surveying and Mapping Press (王琦安,施建成.2019.全球生态环境遥感监测2018年度报告----一带一路生态环境状况及态势.北京:测绘出版社)
- Wang Q and Liu S H. 2016. Research and implementation of national environmental remote sensing monitoring system. *Journal of Remote Sensing*, 20(5): 1161-1169 (王桥,刘思含.2016.国家环境遥感监测体系研究与实现.遥感学报,20(5):1161-1169) [DOI: 10.11834/jrs.20166201]
- Wang S, Jin R and Zhu J D. 2018. Super View-1-China's first commercial remote sensing satellite constellation with a high resolution of 0.5 m *Aerospace China*, (1): 31-38
- Wen Q, Yan M, Yang B X, Wang Z Y, Wu F, He S S and Tong Q X. 2013. On-orbit imaging quality assessment of SJ-9A satellite high-performance optical small camera. *Spacecraft Recovery and Remote Sensing*, 34(4): 1-9 (文强,严明,杨秉新,王智勇,伍菲,贺少帅,童庆禧.2013.“实践九号”A卫星高性能光学小相机在轨成像质量评价.航天返回与遥感,34(4):1-9) [DOI: 10.3969/j.issn.1009-8518.2013.04.001]
- Wielicki B A, Young D F, Mlynczak M G, Thome K J, Leroy S, Corliss J, Anderson J G, Ao C O, Bantges R, Best F, Bowman K, Brindley H, Butler J J, Collins W, Dykema J A, Doelling D R, Feldman D R, Fox N, Huang X, Holz R, Huang Y, Jin Z, Jennings D, Johnson D G, Jucks K, Kato S, Kirk-Davidoff D B, Knuteson R, Kopp G, Kratz D P, Liu X, Lukashin C, Mannucci A J, Phojanamongkolkij N, Pilewskie P, Ramaswamy V, Revercomb H, Rice J, Roberts Y, Roithmayr C M, Rose F, Sandford S, Shirley E L, Smith W L, Soden B, Speth P W, Sun W, Taylor P C, Tobin D and Xiong X. 2013. Achieving climate change absolute accuracy in orbit. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(10): 1519-1539 [DOI: 10.1175/BAMS-D-12-00149.1]
- Xiao A R, Wang Z Y, Wang L and Ren Y X. 2018. Super-resolution for “Jilin-1” satellite video imagery via a convolutional network. *Sensors*, 18(4): 1194 [DOI: 10.3390/s18041194]
- 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 (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) [DOI: 10.11834/jrs.20166308]
- Xu J M, Yang J, Zhang Z Q and Sun A L. 2010. Chinese meteorological satellites, achievements and applications. *Meteorological Monthly*, 36(7): 94-100 (许健民,杨军,张志清,孙安来.2010.中国气象卫星的发展与应用.气象,36(7):94-100)
- Xu W, Gong J Y and Wang M. 2014. Development, application, and prospects for Chinese land observation satellites. *Geo-spatial Information Science*, 17(2): 102-109 [DOI: 10.1080/10095020.2014.917454]
- Yan L, Liao X H, Zhou C H, Fan B K, Gong J Y, Cui P, Zheng Y Q, Tan X. 2019. The impact of UAV remote sensing technology on the industrial development of China: A review [J]. *Journal of Geo-information Science*, 21(4): 476-495. (晏磊,廖小罕,周成虎,樊邦奎,龚健雅,崔鹏,郑玉权,谭翔.中国无人机遥感技术突破与产业发展综述.地球信息科学学报,2019,21(4):476-495) [DOI: 10.12082/dqxxkx.2019.180589]
- Yang J, Xian D and Tang S H. 2018. The latest progress and application of Fengyun series meteorological satellite. *Satellite Application*, (11): 8-14 (杨军,咸迪,唐世浩.2018.风云系列气象卫星最新进展及应用.卫星应用, (11): 8-14)
- Zhao W B. 2019. Phase research and practice of upgrading earth observation from test application to system effectiveness in China. *Journal of Remote Sensing*, 23(6): 1036 - 1045 (赵文波.2019.“中国高分”科技重大专项在对地观测发展历程中的阶段研究.遥感学报,23(6):1036-1045) [DOI: 10.11834/jrs.20199162]
- Zhang B. 2018. Remotely Sensed Big Data Era and Intelligent Information Extraction. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 43(12): 1861-1871 (张兵.2018.遥感大数据时代与智能信息提取.武汉大学学报(信息科学版),43(12):1861-1871) [DOI: 10.13203/j.whugis.20180172]
- Zhang B, Chen Z C, Peng D L, Benediktsson J A, Liu B, Zou L, Li J, Plaza A. 2019. Remotely Sensed Big Data: Evolution in Model Development for Information Extraction, *Proceedings of The IEEE*, 107(12): 2294-2301. [DOI: 10.1109/JPROC.2019.2948454]
- Zheng G G. 2007. Director of National Meteorological Bureau Zheng Guoguang was re-elected as co-chairman of GEO. *Satellite and network*, (12): 14 (郑国光.2007.国家气象局长郑国光连任GEO联合主席.卫星与网络,(12):14)
- Zhou C H, Ou Y and Li Z Y. 2008. Integration and sharing of remote sensing data in China. *Engineering Sciences*, 10(6): 51-55 (周成虎,欧阳,李增元.2008.中国遥感数据的集成与共享研究.中国工程科学,10(6):51-55)

## Scientific and technological progress and development prospect of the earth observation in China in the past 20 years

LIAO Xiaohan

*Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*

**Abstract:** With the support of the national science and technology programs, China has been gradually accumulated a series of key technologies and core achievements in the field of earth observation since 2000. Taking this as an important lead, it has formed a series of operational remote-sensing satellites for meteorology, marine and land resources, and a series of multi-category remote-sensing scientific experiment satellites. Relatively comprehensive data acquisition systems for satellite and flexible and diverse aerial remote-sensing data were created. At the same time, the systems for data acquisition, processing, product services and applications oriented to different needs were developed to meet daily and emergency needs of major industries. In particular, the establishment of the earth observation and navigation field in the National High Technology Research and Development Program (namely 863 Program) and the implementation of the National Major Science and Technology Project “China High-Resolution Earth Observation System (CHEOS)” have systematically strengthened China’s overall earth observation technology and capability. Through multi-lateral and bilateral international cooperation, China started to play a leading role in the global earth observation process, and has developed and consolidated important international cooperation channels such as Sino-EU, Sino-US. With the continuous development of talent teams, the cultivation environment for industry-university-research cooperation promoting the commercialization of remote-sensing scientific and technological achievements has been constantly improved, and a number of leading enterprises have emerged. Diversified commercial remote-sensing satellites have begun to take shape, and various types of remote-sensing products were booming, and a number of typical enterprises have emerged. In the future, the space-air-ground integrated observation capability, quantitative information acquisition technology, and intelligent observation will be further developed. The remote-sensing big data management technology and the sharing service mechanism will also have new breakthroughs.

**Key words:** earth observation, science and technology program, satellite, UAV, remote sensing application, international cooperation, industry-university-research team

**Supported by** National Key Research and Development Program of China (No. 2017YFB0503005); National Natural Science Foundation of China (No.41771388, 41971359)