

与遥感发展同行

——纪念《遥感学报》更名25周年

童庆禧

中国科学院 空天信息创新研究院, 北京 100101

摘要:《环境遥感》杂志更名为《遥感学报》已有25个年头,25年来中国经济社会发生了根本性的变化,中国的遥感科技也经历了从弱到强的转变过程。《遥感学报》正是这一变革的参与者、见证者和同行者。本文首先论述了自《遥感学报》更名后国内外遥感科技发展的历史背景以及国际遥感科技发展方向性的重大改变,全球变化已成为遥感的重大研究课题。文中论述了25年中国遥感科技的重大进展:中国已形成了完备的气象、海洋、环境减灾、陆地资源等国家级卫星遥感对地观测体系,与此同时,作为国家系统的重要补充,民营商业遥感卫星企业也相继建立并得到长足发展。随着遥感技术的进步,它已成为国家重要业务部门不可或缺的技术和信息支撑。中国的遥感在国家土地资源、农业、林草、水文、气象、海洋、城市、测绘、环境和灾害监测等方面的应用,无论从广度、深度和规模上成果斐然,走在了国际前列。25年,《遥感学报》也一直不断前行,她担负着促进遥感科技交流,弘扬遥感科技进步,传播遥感应用成果的重要历史使命,成为中国遥感科技成就与进步的缩影和结晶,她一直与中国遥感发展同行!

关键词: 25年,中国,环境遥感,遥感学报,国际地位,科技创新,资源探测,全球变化,遥感技术与应用,空天地一体化

引用格式: 童庆禧.2021.与遥感发展同行——纪念《遥感学报》更名25周年.遥感学报,25(1): 1-12

Tong Q X. 2021. Going along with the progress of remote sensing: For the 25th anniversary of the renaming of *National Remote Sensing Bulletin*. *National Remote Sensing Bulletin*, 25 (1) : 1-12 [DOI: 10.11834/jrs.20211031]

前言

25年前中国遥感科学技术的发展正走向一个新的阶段,国家一直十分重视遥感的发展,在过去的科技发展计划中连续占据着重点科技项目的地位。随着国家经济社会的进一步发展对遥感的需求更是与日剧增。在国家科技部、中国科学技术协会、中国科学院以及相关部委和地方政府的支持下,各类遥感学术研究、应用和业务机构相继建立,与遥感科技有关的学术刊物也相继问世。时代的发展呼唤和孕育着一个高级别的遥感学术刊物的出现,将原《环境遥感》更名并升格为学报级刊物已是众望所归,就在这样的背景下,由中国最著名的书法大家启功先生题写刊名的《遥感学报》于1996年正式面世了。《遥感学报》的

更名正值国家第9个五年计划开局之时,此后的25年,中国经济社会发展登上一个又一个的台阶,国际地位不断提升,科学技术更是受到国家前所未有的重视,遥感科技也 and 国家的整个科学技术一样,取得一个又一个的突破,攀上一个又一个的高峰,一路顺风顺水,展现了一个又一个的辉煌。《遥感学报》也顺应了中国和世界遥感科技蓬勃发展的潮流,伴随着中国遥感科技发展,在提升刊物的科学价值、编辑水准、版面形式和稿源拓展等方面不断前行,并跻身于中国科技期刊前列,并曾获百种中国杰出学术期刊、中国最具影响力学术期刊等荣誉,已被EI Compendex、EBSCO、Scopus、AJ、IC、JST、UPD、CSA等8大国际数据库收录。

收稿日期: 2020-09-10; 预印本: 2020-11-20

第一作者简介: 童庆禧,1935年生,男,研究员,中国科学院院士,研究方向为高光谱遥感技术和应用。E-mail: tqxi@263.net

1 25年,见证了国家经济社会的大发展

《遥感学报》更名以来的25载正是中国发展的黄金机遇期,国家经济的高速发展,使中国的经济在世界的排名从第七、八位迅速飙升到世界第2大经济体。中国的经济经历了年增速两位数的高速发展时期到7%以下增速的高质量发展期,社会经济稳步向上。从制造业来看,中国自改革开放以来就一直致力于发展工业化基础的制造业,20世纪90年代后期,世界的制造业基本由美日德所垄断,这三国的制造业占据了全球制造业的50%以上,而中国在那个时期基本微不足道。但从2005年以来中国的制造业迅速攀升,2006年中国制造业在全球的占比已达到10.9%,超过了日本,2010年以18.5%的占比一举超越了占比为17.6%的美国,到2015年中国制造业在全球的占比已超过全球制造业的1/4,达到25.5%。中国人均GDP从20世纪90年代仅数百美元,到2008年人均GDP达到3000美元,也就是当年所谓亚洲四小龙经济起飞门槛。而今中国的人均GDP已超过一万美元,进入到世行定义的中等偏上收入国家行列,基本实现小康社会。

2015年,数字中国和智慧社会业已成为中国发展的重大战略方向,智慧城市的建设在中国许多城市的兴起也为遥感和空间信息技术提出了重大需求,并成为其发展的重要动力。作为数字中国的核心之一的数字经济在中国得到了迅速的发展。中国的电子政务和电子商务发展迅速,由于网络技术特别是4G和5G网应用处于国际前列,约600万个基站实现了全国绝大部分地区的无缝覆盖,保证了中国在任何地方和任何时间的网上交易。中国不仅是世界上笔记本电脑和移动通信设备和手机最大的供应商,在巨型机的研发方面从曙光、银河、天河到神威·太湖之光,中国万亿到亿亿级的巨型机多年也处于国际首位。

据统计2019年中国数字经济总量已超过35.8万亿元人民币,占全国GDP的比重达36.2%。大约也占世界数字经济总量的1/3。中国社会经济的发展为中国科学技术发展奠定了坚实的基础,也为中国遥感科技的发展提供了经济和社会基础以及有力的保障。国家高技术研究发展计划(863计划)、国家科技攻关计划、后续国家支撑计划、国家中

长期科学技术发展规划、国家大科学工程等计划和项目的实施对中国科学技术发展起到了巨大的推动作用。以科技论文数量看,中国近年已跃居世界第一,虽然还有这样和那样的问题,但其中高质量论文数不断增长,据统计,2018年,中国在高引论文数、国际焦点论文数、最具影响力期刊发表论文数在世界的排名均为第2;而中国的专利申请数量已连续8年居世界第1,以2018年为例,中国专利申请数量占了全球申请重量的47%,超过美、日、英、德、韩等国的总和。这一事实至少从一个方面说明中国科技创新能力的不断增强,这正是建立创新型国家所必不可少的。当然,这也是中国遥感科技发展的基础。

中国的航天科技已取得重大成就,中国卫星发射数量逐年递增,在全球也仅排在美国之后。气象卫星、海洋卫星、环境卫星的发射已是常态化并进入业务运行,在实施国家气象保障、预报气象灾害、探测海洋资源、维护海洋权益和监测生态环境,特别是作为国家和全球大数据的重要空间数据来源等方面发挥了重大作用,是中国全球观测系统的重要组成部分。

2020-06-23,随着中国北斗三号系统最后一颗卫星的发射,中国经过3代系统建设的北斗导航卫星系统已经具备了全球导航能力,中国北斗卫星系统的多类轨道结构和短信功能是中国在这一系统上的创新并具有独特的优势,加之系统很高的定位精度受到国际上的高度重视,是目前全球在轨运行的3大系统(中国“北斗”、俄罗斯“格洛纳斯”和美国的“GPS”)之一。

作为卫星对地观测家族最重要的中、高分辨率遥感卫星,中国在前期包括返回式卫星在内的一系列试验的基础上,突破了卫星对地观测的数据传输技术瓶颈,1999-10,成功发射了第一颗与巴西合作的传输型地球资源卫星(CBERS-1),首次实现了30 m地面分辨率的对地观测并与巴西实现了卫星数据的共享。

作为国家中长期科学与技术发展规划的重大专项《高分辨率对地观测系统》,在国家大力投入的基础上实现了空间、临近空间(平流层)、大气层和地面观测的一体化;遥感信息获取、处理、应用服务的一体化;国家、地方、企业和军民融合的一体化,首次建立了中国自主的高分辨率对地观测系统。亚米级空间分辨率和纳米级光谱分

分辨率、地球同步中分辨率高频度地球观测以及立体测量能力的突破，使中国迈入国际卫星遥感先进行列。

21世纪第一个十年后，国家又规划并开始实施了《民用空间基础设施》计划。据此，国家将给予更大的投入发展多达80多颗各类卫星，它的实施在一定程度上成为《高分辨率对地观测系统》科研规划的业务延伸，为中国遥感的向着更为全面、更高、更强、更普及、更深入的业务应用方向发展。

此外，顺应国际发展潮流，在国家的鼓励下，中国商业化遥感企业也相继成立，在战略性新兴产业方面民营企业也开始占有一定的份额，成为国家空间遥感产业的重要补充。

经济的发展必然对空间遥感数据和信息提出更高的要求，摸清国家的基本资源，如土地、农业、森林、海洋等已成为国家的重大需求。党的十八大以来国家对生态环境的高度重视和经济社会发展从高速向高质量发展转换对生态资源和环境监测和评估的要求与日俱增。在此期间，中国在遥感技术的应用方面实施了一系列重大的宏伟工程，如全国土地资源详查、农业调查、森林资源，包括天然林保护工程以及城市发展的监测、重大自然灾害监测等国家级规模的重大遥感应用工程，取得了瞩目的成就。25年来中国成功抵御了数次重大的自然灾害：如1998年长江中下游和松花江—嫩江的特大洪水，2008年的雨雪冰冻灾害和汶川特大地震，2003年的非典型肺炎和2020年的新冠肺炎抗争中遥感技术和空间信息技术在应用中经受了考验、得到了提高，发挥了应有的作用。

近25年来，中国遥感卫星已经从技术试验型逐步实现了向业务应用型的转化；遥感应用也成为了国家重大业务应用工程不可或缺的信息保障。

2 25年，国际遥感科技实现了方向上的转变

20世纪后期，随着世界经济社会的发展、人类活动的加剧，资源、环境、人口之间的矛盾更加凸显。资源缺乏、环境恶化、人口剧增成为对人类社会的巨大挑战。如果说，地球上的人口从10亿增长到20亿用了整整123年，而从20世纪60年代以来，人类社会几乎每12—13年人口就增

长10亿。就在去年，2019年世界的人口已经突破了77.5亿，这无疑将会加剧对资源、环境，特别是粮食的巨大压力。

工业革命后，化石燃料（煤炭、石油等）的消耗不断增长和森林植被的大量破坏，人为排放的二氧化碳等温室气体不断增加，大气中二氧化碳含量每年大约上升1.8 ppm（约0.4%），按照政府间气候变化小组（IPCC）的评估，在过去一个世纪里，全球平均温度已经上升了0.3℃—0.6℃，全球海平面上升了10—25 cm，近年来更有加剧的趋势。许多国家的研究表明，到21世纪中叶，世界能源消费的格局若不发生根本性变化，大气中二氧化碳的浓度将达到560 ppm，地球平均温度将还会大幅度增加。依据各种计算机模型的预测，如果二氧化碳浓度从工业革命前的280 ppm增加到560 ppm，全球平均温度可能上升1.5℃—4℃。除此而外，人类生存环境遭受严重的污染，工业废水、生活污水的排放，农药化肥的滥用，转基因作物的泛滥，加上日益严重的自然灾害的威胁，地球不堪重负。人类命运共同体将更面临严峻的挑战。

深入研究地球，与地球和谐相处是人类社会发展的唯一出路，直到20世纪50年代以后，空间技术的发展使人类有了可能摆脱地球的束缚，从遥远的空间来观察赖以生存的地球。人们进一步意识到地球是一个整体，是一个完整的系统，“地球系统科学”首先由空间科学家提出，这是颠覆性的事件，进而一个对地球研究的全球性创新、协同和合作的纪元开始了（陈述彭，1998）。在这一背景下遥感对地观测，特别是卫星遥感从早期以资源探测为主，转变到将地球作为一个整体并以地球环境探测研究为主的方向上来。

作为空间科学技术研究的排头兵，美国国家航空航天局（NASA）在20世纪90年代制定了一个多国合作对地球观测的系统计划，即EOS计划。拟通过发射一系列新一代对地观测卫星；获取、组织、管理和分发这些科学数据并组织科学家开展对地球多要素，如水与能量循环，海洋，大气化学，陆地表面，水和生态系统过程，冰川和极地冰盖以及固体地球等的深入研究（刘闯和葛成辉，2020）。1999年发射的“TERRA”卫星就是这个计划的第一星。这是一颗重达5000 kg在离地球表面705 km高空轨道上运行的太阳同步极轨卫

星。星上装载有多种遥感探测仪器，同时于每天上午过境采集地球各圈层，包括大气、陆地、海洋和太阳能量平衡等的遥感信息。故在计划中称之为EOS-AM1卫星，星上主要载荷有：云与地球辐射能量系统（CERES）、中分辨率成像光谱仪（MODIS）、多角度成像光谱仪（MISR）、先进星载热辐射与反射辐射计（ASTER）和对流层污染测量仪（MOPITT）。有人认为TERRA卫星是一个对具有45亿年历史的地球的健康状况第一次进行全面检查和综合诊断的科学工具，这是很有见地的。

这里有一个有趣的故事，还在EOS-AM1发射的前一年，计划的主管方就向全世界8—12年级（初中二年级至高中三年级）的学生征集卫星的命名和命名的含义。最后美国密苏里州圣路易斯市高中三年级学生Sasha Jones建议“Terra”的名字中选。这位中学生的解说辞写的多好啊：“Terra，我相信这颗卫星以后会以此命名，她是一位仙女，一位从未有过的最漂亮的仙女。没有她提供的食物，我们就没有吃的。没有她提供的液体，我们就没有喝的。没有她对植被的悉心照料，我们就不能建造房屋，我们也不能抵御疾病，甚至我们不能呼吸。没有她的愤怒，我们就不能吸取教训，也不能更紧密地团结在一起，更不能学到怎样在奇异变化的环境中生存。她是我们的历史，是历史的全部。她是我们的现在，因为有了她才有了我们的今天。她是我们的未来，我们必须照护好她，因为她是宇宙中最富有同情心，最美的仙女。我们应该把这个名字授予她，把这份荣耀归功于她，她将完成地球观测系统EOS AM-1星的历史使命。她就是TERRA：地球母亲。”

就在TERRA卫星发射运行之后，由于需求强大，NASA又于2002-05将她的姊妹星，EOS-PM1，即下午星发射升空，命名为AQUA。至此双星绕地球，上、下午各观测一次，提高了对地球的观测频率。2004-07此系列的另一颗卫星AURA也发射成功。虽然此后还研制和发射了一系列对地观测卫星，但是这3颗卫星充分代表了科学家对地球全面观测和认知的愿望和行动。如果说TERRA以土地代表了地球大地母亲，AQUA则代表了地球生物、包括人类社会须臾不可离开的水，而AURA也代表了维系生命的地球大气。这种命名和部署十分贴合人们提出的对地球进行全面身体检查和

诊断的思想。可以说TERRA卫星上搭载的全部15种遥感载荷各具特色，在对地观测中发挥了很大的作用。这里特别值得提到的两个最为重要的卫星载荷，即由美国为主导研制的“中分辨率成像光谱仪”——MODIS（Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer）和以日本为主研制的“先进星载热辐射与反射测量仪”ASTER（Advanced Spaceborn Thermal Emission and reflection Radiometer）。它们具有特别的开创性。中分辨率成像光谱仪是第一次作为卫星载荷使用。NASA原来的初衷拟将两台成像光谱仪，即高分辨率成像光谱仪（HIRIS）和中分辨率成像光谱仪（MODIS）安排同时进行对地观测。后因在当时条件下高分辨率成像光谱仪研究难度太大而放弃，直到2000-11作为新千年第一星EO-1发射升空，才实现了超30 m地面分辨率的成像光谱观测。

TERRA卫星上的MODIS，即中分辨率成像光谱仪在0.4 μm （可见光）到14.4 μm （热红外）光谱范围内有36个探测波段，从而形成了“图谱合一”的重要信息特征。可对地球各圈层，生物圈、岩石圈、水圈、冰冻圈、大气圈等进行长期不间断的观测。其地面覆盖宽度最宽达2330 km，可以250 m、500 m和1000 m的地面分辨率每日或每两日获取一次全球观测数据。

由于MODIS的重要作用，所以在EOS-PM1，即AQUA卫星上也装载了同样的遥感载荷，因此MODIS对地观测时间从每天上午扩展到每天上下午各一次。

ASTER作为另一个重要卫星载荷，也是这次地球观测计划的重要探测仪器，它是EOS计划中唯一的高分辨遥感载荷，可在可见光/近红外、短波红外和热红外3个光谱范围共14个波段对地球进行观测。获取整个地表的高分辨二维和三维的遥感影像数据。ASTER不仅有高分辨率的观测能力，更重要的是它在1.60—2.56 μm 短波红外波谱区和8—12 μm 热红外波谱区各有6个和5个波段，其分辨率分别是30 m和90 m。这是以前的任何卫星所没有的，且都是我们的肉眼不可见的波段。短波红外波谱区能很好反映地物，特别是矿物质的物质特性，而5个热红外谱段90 m的空间分辨率也是当时民用卫星热红外波段分辨率最高的遥感载荷，它们反映的是地物的辐射温度状况，即

地物的热特性，它的辐射温度分辨率甚至可达 0.3°K 。

ASTER的另外一个特点就是利用它15 m分辨率的可见光立体观测数据制作全球数字高程模型(GDEM)，其高程精度基本与它的空间分辨率相当，远远超过2001年美国航天飞机雷达SRTM的数字高程模型，这也是全球光学卫星的重要尝试，并成为ASTER卫星载荷的重要成果。与此同时，欧洲和日本也在行动，2002年，欧洲的一颗名为“环境卫星”(EnviSat-1)发射入轨。这是一颗比美国TERRA卫星更大、功能更强的综合性地球观测卫星，其重量高达8211 kg，是迄今为止最重的民用遥感卫星，它携带了10种探测设备，包括“先进合成孔径雷达”、“雷达高度计”、“微波辐射计”、“先进沿轨扫描辐射计”、“中分辨率成像光谱仪”等对地球进行全面观测。实际上，欧洲的这颗“环境卫星”既是“欧洲遥感卫星”(ERS)的后继型号，也是EOS国际合作大计划的一个组成部分。

“吸收光谱大气制图扫描成像仪”是一个重要的新型遥感设备，简称SCIAMACHY。这是德国科学家研制的一种十分特殊的环境遥感测量系统，它的科学目标就是通过观测和测量由地球大气和地表在240—2380 nm光谱范围的太阳散射、反射和发射辐射来反演全球大气对流层和平流层中痕量和微量气体的浓度及其分布，同时对云和气溶胶也具有良好的观测精度。欧洲的“环境卫星”(EnviSat-1)的设计寿命为5年，实际上这颗卫星及其有效载荷一直服役了10年，直到2012-05-09可能是通讯系统动力发生故障，欧洲空间局才宣布这颗卫星任务终止。

作为东方主要航天国家之一，日本在20世纪90年代初期也初试牛刀，研制和发射了自己的地球资源卫星JERS-1，首次将光学遥感器(OPS)和合成孔径雷达(SAR)设置于同一卫星平台。卫星设计寿命为2年，在卫星运行期间进行了充分的实验研究，总结了成功的经验，吸取了失败的教训。在此基础上，跟上国际发展，特别是开展对地球全面探测和研究的步伐，制定了两个重要地球观测计划，即“高级地球观测卫星(ADEOS)计划”和“热带降雨测量任务卫星(TRMM)计划”。ADEOS卫星除了搭载日本本国的遥感载荷，

如“海洋水色和温度扫描仪”(OCTS)、“高级可见与近红外辐射仪”(AVNIR)而外，也是一个国际合作的平台，卫星上还装载有法国国家空间研究中心观测大气层偏振太阳辐射的仪器(Polder)和美国宇航局提供的“全球臭氧测绘摄谱仪”(TOMS)和散射仪(NSCAT)，TOMS用于测量全球臭氧的变化和紫外辐射的变化，NSCAT用于绘制海面风场。ADEOS-1卫星与1996-08发射入轨，但于1997-06-30因电源故障(太阳能帆板)停止了工作。

由日本和美国共同研制的“热带降雨测量任务卫星”“TRMM”卫星于1997-11发射成功。它为气象工作者提供了大量热带海洋降水、云中液态水的含量、潜热释放等重要气象数据。卫星共搭载5种遥感仪器，分别为：可见光和红外扫描仪VIRS(Visible and Infrared Scanner)、微波图像仪TMI(TRMM Microwave Imager)、降水雷达PR(Precipitation Radar)、闪电图像仪LIS(Lighting Imaging Sensor)及云和地球辐射能量系统CERES(Clouds and the Earth's Radiant Energy System)，其中VIRS、TMI和PR为TRMM卫星最基本的降水测量仪器。顾名思义，作为热带降雨观测卫星，它观测的主要区域设在地球 35°S — 35°N 。2001-08-06以前卫星高度约为350 km，经约4年的运行之后为使其继续服务，2001-08以后，将轨道高度提升到距地面403 km，因此所有仪器的观测范围也相应有所增加。2015-06卫星坠入大气层，结束了它17年超长的周期。

在“ADEOS-1”停止工作后，2002-12，日本又将搭载了10个任务载荷的“ADEOS-2”送入与“ADEOS-1”相同的轨道，继续执行“ADEOS-1”未完成之任务。但遗憾的是在2003-10-24这颗运行不到一年的卫星，也突然与地面站失去了联系，损失了两颗重要的对地观测卫星的日本不得不再立炉灶，研制和发射新的综合地球观测卫星——“先进陆地观测卫星”(ALOS)卫星。ALOS卫星是JERS和ADEOS的后继星，也是一颗大型的地球观测卫星(ALOS-1卫星的重量达到4000 kg)。该卫星采用先进的陆地观测技术，能够获取全球高分率陆地观测数据，广泛用于测绘制图、区域观测、灾难监测和资源勘探等领域。ALOS-1于2006-01发射成功，2011-05与地面失去联系，卫

星在轨运行 5 年 3 个月,在此基础上日本又继续研制和发射了 ALOS-2 和 ALOS-3。ALOS 卫星主要载有 3 台传感器:主要用于全球数字高程测绘的“全色立体测绘仪”(PRISM);用于精确陆地观测的“先进可见光与近红外辐射计”(AVNIR)和用于全天时全天候陆地观测的“相控阵 L 波段合成孔径雷达”(PALSAR)。日本共发射了 3 颗 ALOS 卫星,而且每颗卫星都有一定程度上的改进。卫星采取了高速大容量数据处理技术,如星上数据压缩技术和卫星精确定位和姿态控制技术等。特别是 ALOS-3,上搭载的有效载荷无论是在数据压缩能力、传输能力,还是在可观测范围、分辨率和立体观测水平上都有了大幅度的提高。ALOS 星上的这几种传感器向全球提供了大量的地球观测数据,成为全球卫星对地观测数据的主要来源之一。作为民用且带公益性的卫星,其 2.5 m 的全色分辨率的卫星影像也是此卫星的一大特点。

由于人类社会面临着地球环境变化的严峻挑战,一些国家发起成立了一个利用空间遥感技术以应对这一挑战的组织,这就是国际政府间地球观测组织 GEO (Group on Earth Observations),目前已有 111 个成员国和 129 个国际组织和观察员,中国也是成员国和发起国之一。该组织最重要的

任务就是建立一种政府间协调、合作机制以应对人类面临愈益严峻的全球环境变化的挑战。据此倡导建立的“综合地球观测系统”(GEOSS)就是试图协调调动各国大量的对地观测系统,开展数据、信息和知识的共享和合作,以增强人们对地球过程的认知,增强对此的预知能力和决策能力。

25 年来,国际遥感发展的另一个重大趋势就是遥感的商业化倾向。随着遥感载荷技术,光学遥感水平特别是卫星遥感数据的分辨率的提高,原先完全要靠航空遥感获取的数据,已开始有可能由运行于太空的卫星来完成。就在 20 世纪 90 年代中叶,也是美国 NASA 提出了遥感商业化的计划,将卫星数据分辨率 1 m 最为商业化的重要门槛。在经历了一系列挫折之后,终于在 1999-09-24 由洛马公司用雅典娜 2 型运载火箭从范登堡空军基地将 SpaceImaging 公司的一颗名为“IKONOS-2”的卫星发射升空,其光学相机的分辨率突破了 1 m。从此,人类航天遥感进入了米级和亚米级分辨率对地观测的阶段,进入 21 世纪以来一系列高分辨率卫星相继发射运行,形成了高分辨率卫星对地观测群星争辉的局面。初步统计,这些具有商业化特征的遥感卫星(不含国内卫星)可见于表 1。

表 1 国外部分高分辨率遥感卫星一览表

Table 1 Overview of part of high resolution remote sensing satellites

卫星名称	分辨率/m	发射时间/年	卫星名称	分辨率/m	发射日期/年	卫星名称	分辨率/m	发射日期/年
Rapid Eye	5.0	2008	SPOT-7	1.50	2014	Pleiades-1A	0.50	2011
DOVE	3.0	2013 起	IKONOS-2	1.00	1999	Pleiades-1B	0.50	2012
ALOS	2.5	2006	SKYSAT-2	0.80	2014	GeoEye-1	0.46	2008
CARTOSAT-1	2.5	2005	KOMPSAT-3	0.70	2012	WorldView-2	0.46	2009
TH-1	2.0	2010	Quick Bird	0.61	2001	WorldView-3	0.31	2014
SPOT-6	1.5	2012	KOMPSAT-3A	0.55	2015	WorldView-4	0.31	2016

除此而外,加拿大的雷达卫星(RADARSAT)和德国的 TerraSAR,意大利的 Cosmo Sky Med 雷达卫星系统以其全天候数据获取能力也同样在商业遥感市场颇受用户青睐,具有很好的市场效益。

3 25 年,中国遥感科技取得了重大进展

中国遥感的发展起步较晚 90 年代中期以前,中国尚未有自己稳定运行的遥感卫星系统,所需的卫星遥感数据都采购自美国的“陆地卫星”(LANDSAT)和法国的 SPOT 卫星。一些要求精度较高的遥感应用都是以航空遥感为主。经过

40 多年特别是近 25 年的努力,遥感科技在中国得到迅速发展,中国已建立了完整的遥感技术与应用体系。在卫星遥感方面已形成了气象、海洋、环境减灾、陆地资源等业务卫星系列、高分辨率对地观测国家重大专项卫星和民用空间基础设施计划卫星已及民营商业遥感等卫星系列,在调查国土资源、研究农林水资源状况、观测和预报气象、监测生态环境、观测海洋资源、维护海洋权益、监测城市发展、防灾减灾、国土测绘、维护国家安全等领域提供重要的信息支撑成为不可或缺的战略信息资源。与此同时,中国也发展了

技术多样、功能完善、商业化程度高，包括以大量无人机为平台的航空遥感系统，在地区性高分辨率遥感信息服务方面发挥了重要作用。

3.1 气象卫星系列

气象卫星是中国研制和发射最早的遥感应用卫星，1988年以来中国已成功发射17颗风云系列气象卫星，现仍有7颗在轨运行。经过30年的发展，中国气象卫星已实现了业务化、系列化，并率先实现了中国应用卫星从试验应用型向业务服务型的转变，风云气象卫星已被世界气象组织纳入全球业务应用气象卫星序列，成为全球综合地球观测系统的重要成员，也是国际减灾宪章机制的值班卫星，为全球93个国家和地区、国内2600多家用户提供卫星资料和产品。还特别向东南亚一些国家提供了直接获取中国气象卫星数据的“风云卫星数据广播系统接收站”，在国际上产生较大影响。

“风云-1A”（FY-1A）和“风云-1B”（FY-1B）极轨气象卫星是中国于1988和1990年先后发射的早期气象卫星，通过这两颗卫星的发射和运行，提高了技术、取得了经验。从而在20世纪90年代后期1999-05 FY-1C卫星的成功发射，成为中国气象卫星历史上具有里程碑意义的事件。其中最主要的是它们突破了卫星长寿命稳定运行的瓶颈，在设计寿命2年的情况下实现了近5年的运行历史。而此后于2002年发射的FY-1D卫星甚至在轨运行了10年以上。在中国航天卫星历史上留下了浓墨重彩的一笔。

FY-1D卫星与FY-1C一样搭载了一台具有10个通道的“可见光和红外扫描辐射计”。在可见光和近红外光谱范围内（0.43—0.965 μm ）部署了6个通道，主要绘制云图，观测植被、冰雪以及海洋水色等；在1.58—1.64 μm 的短波红外区有1个通道，用于监测旱情，云相、云雪界线等信息；在3.55—3.93 μm 的中波红外区安排有1个通道，以监测地球上诸如森林火灾等高温热源；10.3—12.5 μm 的热红外区有2个通道，以全天时观测和获取地表和海面温度。

2008年“风云三号”（FY-3A）卫星发射升空，这颗新型卫星成功实现了中国极轨气象卫星的升级换代，缩小了与发达国家新一代同类卫星

的差距。FY-3系列卫星（FY-3A\3B\3C）是一颗重达2400 kg的大型卫星，星上遥感仪器的观测谱段包含了从真空紫外、紫外、可见光、红外一直到微波频段，既有光学，又有微波。卫星的运行实现了全球高分辨率观测、对大气的三维探测以及全天候和全天时的对地球大气和地面的观测，与欧美新一代气象卫星处于同一发展水平。星上载荷从“风云一号”的1个增加到11个，其载荷数量不仅在中国前所未有的，在国际上也属罕见。“FY-3”装载的探测仪器有：10通道扫描辐射计、20通道红外分光计、20通道中分辨率光谱成像仪、臭氧垂直探测仪、臭氧总量探测仪、太阳辐照度监测仪、4通道微波温度探测辐射计、5通道微波湿度计、微波成像仪、地球辐射探测仪和空间环境监测器。上述11种遥感系统都具有自己的特色，如红外分光计和微波辐射计、臭氧探测仪、微波成像仪、特别是中分辨率光谱成像仪都是当时国内首次和国际前沿性的遥感探测系统。FY-3卫星上的中分辨率光谱成像仪与美国EOS TERRA和AQUA系统上的MODIS类似。它不仅具有气象观测作用，更是陆地表面、植被、水体、冰雪和海洋水色、海岸带滩涂等地物的有效观测技术，具有重要应用价值，是FY-3的代表性遥感载荷之一。

中国气象卫星的另一系列是地球同步卫星，1997年和2000年在发射了两颗实验型地球同步轨道卫星取得经验之后，2004年和2006年两颗具有业务运行能力的卫星FY2C及FY-2D发射升空。较之前两颗卫星FY2C及FY-2D在观测技术上有了较大的提高，主要将星载扫描辐射计由原先的3通道增加到5通道。从此中国静止气象卫星系统首次形成了双星观测模式。这也同时标志着中国成为既拥有太阳同步极轨气象卫星又同时拥有地球静止轨道卫星少数国家之一，是中国航天事业和气象事业发展的重要标志。

2016年“FY-4A”星成功发射，这是中国第二代静止气象卫星，卫星第一次实现了姿态的三轴稳定，从而提高了观测频率、区域机动探测能力和扫描成像能力，“FY-4A”具有光学和微波两种对地球的观测能力，可连续不间断对地球表面三分之一的固定区域进行分钟级高频次的观测。“FY-4A”星也是当今世界最先进的静止气象卫星

之一。中国还将还将瞄准国际最先进的科技水平继续不断研制和发射新型气象卫星, 提高气象卫星观测能力, 保障和支撑中国气象事业和服务能力的不断提高(孟执中和董瑶海, 2002; <http://www.sitp.ac.cn/xwzx/kydt/201205/t20120511-3574252.html> [2020-09-10])。

3.2 海洋卫星系列

海洋是全球生命支持系统最重要的组成部分, 海洋覆盖了地球总面积的 71%, 也是一个维持全球气候与生态平衡的动力系统。当今世界, 以高新技术为基础的海洋战略性新兴产业成为全球科技创新和社会经济发展的战略重点。开发海洋资源、保护海洋环境、维护海洋权益成为中国发展海洋科技的方向。

海洋科技不断向大科学、高技术体系的方向发展; 海洋观测进入了立体观测时代, 并向实时化、系统化、信息化、数字化方向发展, 利用遥感技术, 特别是卫星遥感对海洋进行全天候、全天时和全方位的观测和研究是发展海洋科学技术的重要方向。根据国家对于海洋系列卫星研制工作的要点, 明确要以海洋水色水温、海洋动力环境和海洋监视监测等 3 个系列卫星为主推进中国自主海洋卫星与卫星海洋应用体系的建设。大力发展量化遥感技术、多源卫星遥感资料的融合技术、海洋卫星资料分发技术、遥感业务化应用技术和新传感器应用技术等。与中国的气象卫星系列一样, 中国的海洋卫星在中国也有运营的业主, 是中国业务化程度最高的卫星系统之一。

2002-05 “海洋一号 A” (HY-1A) 卫星与“风云一号 D” (FY-1D) 气象卫星以一箭双星的方式成功发射升空, 填补了中国海洋卫星观测领域的空白, 实现了中国海洋卫星“零”的突破, 也开启了中国“海洋”卫星系列发展的新纪元。“海洋一号 A”卫星是中国自主研发的第一代海洋水色卫星, 星上装载有从可见光、近红外到热红外 10 波段的“海洋水色水温扫描仪”(COCTS) 和 4 波段的“海岸带成像仪”(CZI)。COCTS 和 CZI 的空间分辨率为 1.1 km 和 250 m。这两种载荷主要进行海洋水色、水温等环境要素, 如叶绿素、悬浮泥沙、可溶性黄色物质及其动态变化监测以及海岸带制图, 为中国海洋生物资源开发利用、河

口港湾的建设和治理、海洋污染监测和防治、海岸带资源调查和开发以及全球环境变化研究等领域服务。

“海洋一号 A”卫星的成功发射使中国跻身于世界海洋空间观测国家之列, 卫星获取了大量水色遥感探测数据, 探测范围覆盖了全球海域, 在中国海洋权益维护、海洋资源开发、海洋环境监测、海洋灾害预报等方面发挥了重要作用。在此之后, 2007-04 “海洋一号 B”星发射成功, 这是一颗超长寿命的卫星, 虽然此卫星设计寿命仅为 3 年, 但它实际在轨工作了 9 年零 10 个月, 也是中国运行寿命最长的卫星之一。

2018-09 和 2020-06 “海洋一号 C”星和“海洋一号 D 星”的发射, 是中国在空间形成了双海洋卫星组网的新局面, 星上的 COCTS 和 CZI 无论在分辨率和对地(海)面的覆盖都有所提高, “海洋水色水温扫描仪”的幅宽达到 2900 km, 是海洋一号 A/B 卫的 1.6 倍。特别是“海岸带成像仪”(CZI)的空间分辨率从 250 m 提高到 50 m, 其幅宽也达到 950 km, 它不仅有利于对海岸带和海洋的观测, 对陆地土地资源, 特别是对植被和生态环境, 甚至极地的高频度观测十分有利。除此而外, 卫星上还增加了两个紫外波段, 增设了星上定标传感器。大大提升了对海岸带资源和环境的探测能力, 有利于形成对中国和全球海洋水色、水温、海岸带以及海洋资源和环境强大的观测和监测能力, 双星组网可实现对海洋水色和水温全球 1 天的覆盖和两极地区的覆盖, 并可做到对陆海观测的兼顾。这对于中国海洋观测研究包括对陆地高频度的观测都具有特别重要的意义。新增加的载荷船舶“自动标识系统”载荷(AIS)在了解全球船舶分布和活动轨迹方面有很大作用。

2011-08 “海洋二号 A 卫星”(HY-2A)成功发射, 这是一颗具有主、被动微波遥感观测和高精度测轨、定轨与全天候、全天时、全球探测能力的海洋动力环境卫星。它的发射为中国首次, 填补了中国实时获取海洋动力环境要素的空白, 极大提高了灾害性海况预报的水平。卫星搭载有: 雷达高度计(RA)、微波散射计(MS)、扫描微波辐射计(SMR)和校正微波辐射计(CWR), 该卫星的主要使命是监测和调查海洋环境, 获取包括海面风场、浪高、海流、海面温度等多种海洋动

力环境参数，卫星每天可覆盖全球 90% 以上的海域，直接为灾害性海况预警预报提供实测数据，特别加强了中国对西北太平洋台风风场的监测能力。

2008-10 中国又将第二颗海洋动力环境卫星 (HY-2B) 发射入轨。卫星除载有 HY-2A 星上的 4 种载荷，即 RA、MS、SMR、和 CWR 而外，还增加了船舶自动识别 (AIS) 和数据收集 (DCS) 系统，具备了对全球船舶信息的自动识别接收、存储和转发中国近海及其他海域的浮标测量数据的能力，提高了中国海洋预报与监测预警水平和海洋防灾减灾与对海上突发事件的响应和应对能力，特别是为中国参与全球海洋治理、共同应对气候变化提供重要技术支撑 (蒋兴伟 等, 2016; <http://www.mnr.gov.cn/dt/hy/202004/t20200413-2508160.html> [2020-09-10])。

3.3 陆地资源卫星系列

虽然陆地面积仅占地球表面的 29%，但这里平原展布、山川纵横、森林无际、草原广阔、资源丰富、物产多样是包括人类在内的地球大多生物赖以生存的摇篮。但是，这里同时又因城市星罗棋布、人居密集、灾害频发，环境恶化等因素对人类的生存、发展形成了巨大的挑战。因此观测陆地资源、监测陆地环境、减灾避祸、保护生态环境、建设美好家园就成为人们为之努力的方向。陆地资源和环境卫星就是这一努力方向上的重要科技保障。在所有的卫星系列中在一定程度上陆地资源环境卫星要求更为细致、精准，技术难度也更高。所以 1972 年美国研制发射的第一颗高分辨率卫星就命名为“地球资源卫星”，而后更名为更为贴切的“陆地卫星”。

90 年代中期以来是中国科技，特别是遥感技术迅速提升的年代，譬如，中国最先发展的气象卫星已开始从实验型向业务应用型转变，中国的海洋卫星开始起步，在国土资源巨大需求的驱动下中国的陆地资源探测平台也开始从短期回收的返回式卫星向长期在轨运行的传输式卫星的转变。经过较长时间的准备，一个在中国卫星发展历史上具有里程碑意义的事件就是于 20 世纪最后一年，即 1999-10-14，由中国和巴西两国共同投资，联合研制的“中巴地球资源卫星 01 星” (CBERS-01)

成功发射，这是一颗高速传输型对地观测遥感卫星，它的发射和运行结束了中国没有在轨数字传输型卫星的历史 (陈宣元, 2001)。作为一颗实验型、多载荷以陆地资源为主要观测对象的卫星在轨运行 3 年 10 个月，圆满完成了它的历史使命。

CBERS-01 卫星对中国具有开拓性的意义，卫星的有效载荷有：电荷耦合器摄像机 (CCD)，红外多光谱扫描仪 (IRMSS)，宽视场相机 (WFI) 等遥感载荷和高密度数字磁记录仪 (HDDR)，数据采集系统 (DCS)，空间环境监测系统 (SEM) 和数据传输系统 (DTS) 等。这也是中国第一颗较高分辨率的遥感卫星。其中 CCD 相机具有一个全是波段和可见光和近红外光谱区 4 个波段。星下点的空间分辨率为 19.5 m，地面扫描幅宽为 113 km。

和国外资源卫星相同，CBERS-01 也设计有侧视功能，侧视范围为 $\pm 32^\circ$ 。相机带有内定标系统。

红外多光谱扫描仪 (IRMSS) 具有 1 个全色波段、2 个短波红外波段和 1 个热红外波段，可见光、短波红外波段的分辨率为 78 m，与美国早期的陆地资源卫星相似，热红外波段的分辨率为 156 m。卫星的扫描幅宽为 119.5 km，是中国第一台百米级空间分辨率热红外扫描成像仪。IRMSS 也带有自身的内定标系统和太阳定标系统。

宽视场成像仪 (WFI) 也是 CBERS-01 卫星的一个特点，它有 1 个可见光波段、1 个近红外波段，星下点的可见分辨率为 258 m，扫描幅宽为 890 km。它可以在较短的时间内获得高重复率地面覆盖的遥感数据。WFI 也可在星上进行相对辐射定标。

进入 21 世纪，中国的资源遥感技术，特别是随世界潮流的高分辨率卫星遥感进入了快车道，得到了加速发展。在国家制定 2006—2020 中长期科学与技术发展规划时，对高分辨率对地观测给予了高度的重视。“高分辨率对地观测系统”被列为国家中长期科技规划 16 个重大专项之一的“国家科技重大专项”。由于高分辨率卫星遥感是当前国际发展的前沿和制高点，国家以巨大的投入和高度的重视来发展中国高分辨率对地观测遥感技术。这是中国有史以来最大的对地观测遥感计划。重点在于发展基于卫星、飞机和平流层飞艇的高分辨率先进观测系统；形成时空协调、全天候、

全天时的对地观测系统；建立对地观测数据中心等地面支撑和运行系统，提高中国空间数据自给率形成空间信息产业链。虽然“高分辨率对地观测系统”包括卫星遥感、平流层平台、航空遥感以及遥感应用等多方面的研发计划，但是专项仍然明确以卫星对地观测，即“天基”系统作为主体。在卫星遥感系统的研发方面所投入要超过专项总投入的 2/3。“高分辨率对地观测系统”作为国家中长期科技规划的重大专项是一个科研工程，据此，将于 2020 年前研制和发射一系列新型“高分”遥感卫星。从而为中国遥感卫星家族增添

新型高分辨率卫星系统（童旭东，2016）。

“高分一号”（GF-1）卫星于 2013-04-26 成功发射，这是“高分辨率对地观测系统”国家科技重大专项的首发星，预示着这一重大专项的顺利实施。星上搭载了两台 2 m 分辨率全色（全色）/ 8 m 分辨率多光谱相机，1 套 16 m 分辨率幅宽达到 800 km 的多光谱相机。而后，2014 年、2015 年、2016 年、2018 年和 2019 年，“高分二号”（GF-2）到“高分七号”（GF-7）陆续顺利发射升空并成功运行。“高分辨率对地观测系统”的卫星都有所创新并各具特点（表 2）。

表 2 高分辨率对地观测重大专项遥感卫星一览

Table 2 Overview of remote sensing satellites for major high-resolution earth observation projects

卫星名	发射日期	主要技术特点
高分一号(GF-1)	2013-04-26	2 m/8 m 空间分辨率, 实现大于 60 km 成像幅宽, 16 m 分辨率成像幅宽大于 800 km
高分二号(GF-2)	2014-08-19	空间分辨率 1 m/4 m 地面成像幅宽 45 km, 侧摆 $\pm 35^\circ$
高分三号(GF-13)	2016-08-10	C 波段多极化雷达卫星(SAR), 分辨率 1—500 m, 幅宽 10—650 km。具有条带、扫描、聚束和全球观测等多种成像模式
高分四号(GF-4)	2015-12-29	地球同步凝视型观测卫星, 分辨率可见光 50 m, 中波红外 400 m。有效地面幅宽 400 km
高分五号(GF-5)	2018-05-09	共 6 大载荷, 可对温室气体、微量和痕量污染气体进行观测。光谱分辨率最高 0.3—0.5 nm。可见短波红外高光谱相机空间分辨率 30 m, 幅宽 60 km。光谱分辨率 VNIR5 nm\SWIR10 nm; 全波段光谱成像仪(0.45—11.5 μm) 共 12 波段, 分辨率 20/40 m, 幅宽 60 km
高分六号(GF-6)	2018-06-02	2 m/8 m 分辨率卫星, 实现大于 90 km 成像幅宽, 16 m 分辨率成像幅宽大于 800 km
高分七号(GF-7)	2019-11-04	高精度光学立体测绘卫星。全色分辨率达 0.64 m, 多光谱 2.6 m, 地面幅宽约 20 km
高分一号 02\03\04 星	2018-03-31	2 m/8 m 分辨率卫星, 3 星在轨以 120° 的距离组成星座, 单星成像幅宽大于 60 km, 16 m 分辨率成像幅宽大于 800 km

“高分一号”（GF-1）卫星适应了中国对 2 m/8 m 分辨率对地观测数据的需求，这是当前需求的主流数据，也是替代进口的需要；“高分二号”（GF-2）突破了中国自主卫星 1 m 分辨率的门槛，1 m/4 m 分辨率全色和多光谱载荷的 45 km 地面覆盖也大大超过当时美国突破 1 m 分辨率时的地面覆盖宽度；“高分三号”（GF-3）是中国第一部雷达（SAR）卫星，星载 C 波段多极化合成孔径雷达具有条带、扫描、聚束和全球观测等多种模式。其聚束模式分辨率也达到 1 m，而 500 m 全球观测模式的地面覆盖宽度达 650 km；“高分四号”（GF-4）卫星是中国，甚至世界首颗运行在地球同步轨道、凝视型高分辨率卫星，它具有普查、凝视、区域和机动巡查 4 种工作模式。其载荷在可见光波段分辨率为 50 m 单景成像幅宽达 500 km，在中波红外波段具有 400 m 的分辨率，单景成像有效地面覆

盖为 400 km。这颗卫星的发射对于区域性的地表过程和局地天气的分钟级高频度观测和研究，特别对区域性灾害的监测具有重要的意义；“高分五号”（GF-5）是一颗先进的高光谱卫星，星上共有 6 大载荷，可对温室气体、微量和痕量污染气体进行观测。光谱分辨率可达 0.3—0.5 nm；可见短波红外高光谱相机空间分辨率 30 m，幅宽 60 km。光谱分辨率在可见/近红外波段为 5 nm，短波红外 10 nm；全波段光谱成像仪在 0.45—11.5 μm 光谱范围内共有 12 波段，分辨率为 20 m/40 m，幅宽 60 km。“高分五号”卫星的发射在一定程度上将空间几何形态与地物光谱特性结合起来，体现了遥感影像“图谱合一”的特点；“高分六号”（GF-6）卫星实际上是“高分一号”（GF-1）的增强型卫星，它将原先全色和多光谱 2 m/8 m 分辨率 60 km 成像宽度增宽到大于 90 km 成像幅宽，提高了卫星的观测

能力。“高分七号”(GF-7)是一颗高精度光学立体测绘制图卫星,其全色空间分辨率达0.64 m,多光谱约2.6 m,地面幅宽约20 km。

2019-11-04 GF-7 的发射和运行,成为“高分辨率对地观测系统”国家科技重大专项的重要节点。至此“高分”系列卫星覆盖了从全色、多光谱到高光谱,从光学到雷达,从太阳同步轨道到地球同步轨道等多种遥感类型,构成了一个具有高空间分辨率、高时间分辨率和高光谱分辨率能力的卫星对地观测系统。

2018-03“高分一号”02/03/04星作为“民用空间基础设施”先导卫星成功发射。这3颗卫星与“高分一号”的技术指标基本一致,3星以120°的相互距离在同一轨道平面上组成星座,实现了2 m分辨率、大于60 km成像幅宽,16 m分辨率大于800 km 成像幅宽的在轨运行,从而使中国在2 m/8 m 高分辨率遥感数据的获取和服务方面有了重大的保障。

3.4 中国遥感的商业化进程

遥感,特别是以地理测绘为主要方向的航空摄影测量技术一直是各国按商业模式运营的测绘制图基本技术,初期的卫星遥感虽然表现了一次发射多年运营的优势,但由于分辨率和位置精度,特别是高程精度不高,仅能作为1/50-1/100万小比例尺地图的修测参考和小比例尺土地利用等专题图的编制基础。随着包括光学和合成孔径雷达以及激光等遥感技术的发展,加之全球导航定位卫星的发展,卫星遥感影像的空间分辨率、定位精度不断提高,当代民用遥感卫星数据的空间分辨率已可达0.4 m,即使在无地面控制的情况下其位置精度也可达到米级;光谱分辨率也达到纳米(nm)级,干涉雷达(InSAR)卫星大范围的三维制图也成为可能。遥感卫星几何和高程精度以及光谱分辨率的大幅度提高与突破使遥感应用的商业价值与日俱增。顺应国际商业化和市场化的发展趋势,在中国政府政策的引导下,中国高分辨率卫星遥感的商业化得到了很大发展。

3.4.1 “北京一号”、“北京二号”遥感卫星

在国家科技部、北京市等部门的支持下北京21世纪空间技术应用有限公司通过与英国 SSTL卫

星技术公司合作成功研制、发射和运营了“北京一号”小卫星,这颗小型卫星的发射既紧扣了北京市申奥的科技、绿色和人文奥运的主题,又实现了卫星数据和服务的商业化,在体制和机制的创新上迈出了可喜的一步。仅166 kg的“北京一号”小卫星在2005年发射时,其4 m分辨率全色影像和32 m分辨率多光谱影像及其600 km地面幅宽都是当时中国民用遥感卫星空间分辨率最高和地面覆盖最宽的自主卫星遥感数据源。在此基础上2015年又建成了“北京二号”高分辨率小卫星星座及与之相适应的接收、处理、分发和服务系统,并在新加坡建立了第一个在国外的地面接收站。由3颗超一米分辨率卫星组成的实体星座,当时在国际上也还是第一次。两个系列卫星的高质量数据不仅为北京市城市建设、农业土地、生态环境以及城市精细化管理等方面进行了不间断的观测与监测,形成了所谓空间遥感信息服务的“北京模式”;同时也对国家和政府业务部门重大土地、农业、环境、灾害和测绘等方面的业务提供了数据支持和信息服务;此外,还面向欧洲、美洲等国家和包括印度在内的亚洲国家的遥感应用需求实现了卫星数据的出口,在国际卫星数据市场跻身出一席之地。发挥和体现了民营企业的市场化、自主性和灵活性的特点。

3.4.2 “吉林一号”卫星

“吉林一号”卫星是中国自行研制的第一颗商用遥感卫星,卫星及其有效载荷由中国科学院长春光机所研制,卫星系统由“长光卫星技术有限公司”运营,。自第一组“吉林一号”卫星以一箭四星的方式于2015-10-07发射成功后,截至2019年底,共有13颗卫星发射入轨。“长光卫星技术有限公司”是发射和运营卫星最多的中国民营商业遥感卫星公司。“吉林一号”卫星一共发射了13颗,其中2颗为高分辨率光学卫星,其全色分辨率均优于0.75 m,多光谱优于3 m。

9颗为视频卫星,基本属4 K 高清视频,分辨率接近1 m,有的还具有凝视成像、扫描成像、微光成像和惯性空间成像功能,有利于对运动地物进行跟踪监测。两颗光谱成像卫星“光谱01”和“光谱02”星具有较高的光谱分辨率,有利于对农业、植被、树种、作物病虫害以及大范围海洋生

态的监测。“吉林”系列卫星公司还计划在3年内发射140颗卫星。

3.4.3 “高景一号”卫星

2016-12-28和2018-01-09,通过2次发射,分别成功将“高景一号”01/02卫星和03/04星发射升空,完成了4颗高分辨率卫星在轨的均匀分布和4星的组网,“高景一号”卫星由中国航天科技集团公司五院航天东方红卫星有限公司研制,由中国航天科技集团公司旗下中国四维测绘技术有限公司负责商业化运营。卫星搭载有625 mm口径镜头的光学相机,在530 km轨道高度上获取影像的空间分辨率全色为0.5 m,多光谱为2.0 m是中国自行研制空间分辨率最高的卫星,卫星有连续条带、立体、多目标和宽覆盖等成像方式,由4颗“高景”卫星组成的星座可实现对地球上任意地区每天的重访,从而大大提高了卫星数据获取和信息服务能力,也提高了卫星数据的应用价值。“高景”的下一步目标将陆续研制和发射由16颗0.5 m分辨率光学卫星、4颗高端光学卫星、4颗微波卫星以及若干颗视频、高光谱等微小卫星组成的0.5 m级高分辨率和迄今为止中国最大的商业遥感卫星星座系统。

3.4.4 “欧比特”微小卫星

2017-06-15、2018-04-26和2019-09-19 3组“欧比特”系列微小卫星先后发射入轨。目前在轨运行的欧比特卫星共有12颗,其中包括视频卫星(OVS)和高光谱卫星(OHS)。首次实现了4颗高光谱卫星(OHS)的组网运行。卫星轨道高度在500 km上下。视频卫星通过凝视和条带成像模式可对地面进行动态成像,其空间分辨率也都达到1—2 m的水平。据悉,高光谱卫星(OHS)载荷的空间分辨率高达10 m,在400—1000 nm光谱范围约有32个波段,光谱分辨率为2.5 nm,地面扫描宽度甚至达到150 km。卫星一次过境的成像范围可达150 km×2500 km (37.5万km²),4星组网更可获得600 km×2500 km (150万km²)的地面覆盖。“欧比特”遥感卫星由珠海市遥感卫星领域首家上市民营公司“欧比特宇航科技股份有限公司”建设并运营。“珠海一号卫星”星座还将继续发射,并最终形成由34颗包括视频、高

分光、高光谱和雷达(SAR)遥感卫星组成的微小卫星系统。

3.4.5 其他卫星系统

除上述重要卫星技术发展企业而外,随着科技的进步,特别是卫星制造水平的不断提高,卫星技术神秘感被打破,还有不少企业、高校和地方也参与到卫星制造和卫星运营管理等方面来,有的已经有所成就,有的正在跃跃欲试。如注册在湖南长沙专门从事微纳卫星研制的天仪研究院,近年来从他们的实验车间已生产出一批微小卫星并通过搭载发射的方式提供商品级的微纳卫星服务,成为中国炙手可热卫星产业俱乐部的新成员;武汉大学通过与长光卫星技术有限公司合作研发发射了一颗专门对全球夜间灯光进行探测的夜光遥感卫星。自2018-06发射入轨以来获取了全球各个地区,特别是城市大量的夜间灯光遥感影像,为研究和分析城市、区域和国家的社会经济问题提供了一种遥感佐证;又如大连理工大学也制定了一个基于立方星的世界首颗重量仅20 kg量级亚米级高分辨率的遥感卫星计划,初步起名为“小亮眼”(Small Bright Eye)的飞行任务。这是一颗名副其实的微卫星,卫星计划于2021年底前择机发射,星上还将采用一些新型技术并将搭载一些科学实验装置。

由于现代科学技术的发展,特别是芯片技术及其集成度仍按摩尔定律的发展,原来需要数百公斤甚至数千公斤的大卫星才能具有的技术性能,现在完全可通过微小卫星,甚至微纳卫星即可实现。卫星技术门槛的降低以及研制和发射费用的降低诱导更多的部门、单位、地方、学校特别是企业投入微小卫星技术的研发,使之成为新兴数字产业的一个组成部分。

5 结 语

25年,《遥感学报》顺应了遥感科技的发展,她的更名见证了遥感科技的进步。写到这里,作为中国遥感战线上的一名老兵。见证了中国遥感的起步、发展和进步。曾几何时,当中国遥感起步之初,我们曾言必称西方,我们向人家学过、跟过、追过、也交过学费,但更重要的是我们努力过、坚持过,经中国遥感科技工作者自强不息、

不懈努力和不断创新，才使中国的遥感科技有了今天的巨大进步，跻身于世界遥感之林，成为世界众所瞩目的遥感技术和应用大国。

可以说，中国已建立了最为完整的包括航天、航空、近地面层，所谓“空天地一体化”的遥感技术体系，对包括陆地表面、大气层和广袤海洋等在内的地球各个圈层进行观测和监测的遥感应用体系，也开展了对月球的遥感观测，并将对包括火星和其它行星和小行星进行观测研究。中国的遥感应用已覆盖了国家的大多业务范围，土地、农业、森林、草场、气象、海洋、城市、水体、环境、生态、灾害、测绘等领域的遥感应用已成常态，甚至须臾不可离开。数字中国、智慧社会的建设，新型数字基础设施建设等国家重大战略发展也同样离不开遥感科技的支撑。

十分值得欣慰的是长期困扰中国遥感科技发展的大型图像信息处理系统在最近若干年来也有了长足的进步。航天泰坦、航天宏图等一批国内企业一直坚忍不拔，执着追求，一批国产遥感图像处理、分析系统，如航天宏图 PIE 6.0、航天泰坦 SCP 等，在遥感多载荷，多源影像的预处理、快速匹配、融合镶嵌、大规模影像多机并行镶嵌、高速、高精度 DSM/DEM 自动提取、智能解译等都已开始形成自己的特色，具有规模化、高速度的处理能力。在一定程度上已形成了对国外知名软件，如 Pixel Factory、PCI、ENVI、ERDAS 的替代趋势，即将改变在中国自主卫星数据基本替代国外卫星的情况下，仍以国外软件系统占据主导地位的局面。

中国遥感科技的成就使我们遥感人深受鼓舞，在中国特色社会主义建设中遥感科学技术将大有用武之地。

我们也看到，中国遥感科技和应用的大多成就，基本都集中体现在 20 世纪 90 年代中期以来的 25 年中，且必将继续发扬光大，继续阔步向前。诚然，中国的遥感科技与国际最先进的水平相比仍然存在一定的差距，而正是这些差距会更激励中国遥感人不断前行。在这里，我们不得不钦佩当年学报领导人，其中包括原《环境遥感》创始人陈述彭院士和《遥感学报》时任主编徐冠华院士以及编委会成员等专家的高瞻远瞩和远见卓

识，恰逢其时地做出了更名的决定。《环境遥感》更名为《遥感学报》也为遥感，特别在中国遥感科技的大发展建立了一个展示的窗口，众多的遥感技术和应用成就都曾发表在这一份学报级的刊物上，她也成为了中国遥感科技成就与进步的缩影和结晶，对促进遥感科技交流也发挥了重要作用。同时学报还在版面上下了功夫，增加了外文的分量，也曾多次在国际学术会议上亮相，这也有利于国外同行对中国遥感的发展的了解。

今天，《遥感学报》仍是中国遥感科技领域的最重要的学术刊物之一，在学报更名 25 周年之际，我诚挚地祝《遥感学报》在国家深化改革、扩大开放的今天进一步担当起历史使命，促进遥感学术交流、传播遥感技术进步、拓展遥感技术应用、宣传遥感科技成就，培养遥感科技人才，为中国的遥感科技尽快全面赶上和超越国际最先进水平，建成遥感科技和航天强国而不懈努力。

志 谢 本文的参考资料主要来自网络，在此对有关作者们一并表示谢意。

参考文献 (References)

- Chen S P. 1998. Earth System Science: Progress in China, century outlook, Beijing: China Science and Technology Press (陈述彭. 1998. 地球系统科学: 中国进展·世纪展望, 北京: 中国科学技术出版社)
- Chen X Y. 2001. China-Brazil earth resources satellite. Engineering science, 3(3): 9-15 (陈宣元. 2001. 中巴地球资源卫星. 中国工程科学. 3(3): 9-15)
- Liu C and Ge C H. 2020. Features and applications of remote sensing data from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) in the American Earth Observation System (EOS), remote sensing information, 15(03)45: 48 (刘闯, 葛成辉. 2020. 美国对地观测系统(EOS)中分辨率成像光谱仪(MODIS)遥感数据的特点与应用, 遥感信息, 15(03)45: 48)
- Meng Z Z and Dong Y H. 2002. The FY-1D polar orbiting meteorology satellite. Aerospace Shanghai, 17(5) 1: 8 (孟执中, 董瑶海. 2002. FY-1D 极轨气象卫星. 上海航天, 17(5) 1: 8)
- Jiang X W, Lin M S and Zou Y R. 2016. Development and Application of Marine satellites in China, Satellite Application, 7(06): 17-23 (蒋兴伟, 林明森, 邹亚荣. 2016. 我国海洋卫星发展与应用, 卫星应用, 7(06): 17-23)
- Tong X D. 2016. Development of China high-resolution earth observation system. 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]

Going along with the progress of remote sensing: For the 25th anniversary of renaming of *National Remote Sensing Bulletin*

TONG Qingxi

Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences. Beijing 100101, China

Abstract: It has been 25 years since the journal of Remote Sensing of Environment was renamed as *National Remote Sensing Bulletin*. In the past 25 years, China's economy and society as well as science and technology have changed significantly. The remote sensing in China has also developed rapidly. *National Remote Sensing Bulletin* have participated, witnessed and been a peer of this time of change.

Firstly, the paper discusses the historical background of the development of remote sensing in China and abroad. In the world the strategy for development of remote sensing was changed from the resources exploration to the environmental study and the global change has become a major topic. In the paper the major progress of remote sensing in China is discussed. In the past 25 years since the journal renamed the state-level satellite system of the earth observation has been established in areas of meteorology, ocean, environmental/disaster reduction and land resources, etc. At the same time, as an important supplement for the national system the private remote sensing satellite companies have also been built and developed.

With the progress of remote sensing technology and system, it has provided an indispensable technical and information support for important governmental department business. The application of remote sensing in land resources, agriculture, forestry, hydrology, meteorology, ocean, city, surveying and mapping, environment and disaster monitoring has obtained a great achievement. The remote sensing applications have been in the forefront of the world with regards of breadth, depth and scale.

For 25 years, *National Remote Sensing Bulletin* has always been the process of improving. It has taken the important historical responsibilities of promoting the technical exchange, propagating the science and technical progress, and disseminating the achievement of remote sensing applications. *National Remote Sensing Bulletin*, as an epitome and the fruit of remote sensing development and achievement, always progresses together with the development of remote sensing in China.

Key words: 25 years, China, remote of environment, *National Remote Sensing Bulletin*, scientific and technological innovation, resources exploration, global change, remote sensing technology and applications, space-sky-ground system integration