



# 全球空间对地观测五十年及中国的发展\*

郭华东 陈 方 邱玉宝

(中国科学院遥感与数字地球研究所 北京 100094)

**摘要** 50年前第一届国际环境遥感大会“遥感”的诞生,使得人类掌握了利用对地观测技术获取地球客观而现实的时空信息、从空间高度分析并认识地球系统宏观变化规律的手段。空间对地观测技术在地球研究中具有难以比拟的优势,在遥感问世50年之际,在世界面临环境、资源、能源、灾害以及全球变化等挑战背景下,分析国际和我国对地观测技术的发展,剖析空间对地观测的科学内涵和应用方向,对更好地建设我国的空间对地观测体系,让遥感更好地服务于我国的国家战略和社会发 展需求有重要意义。

**关键词** 空间对地观测,地球观测系统,遥感五十年

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2013.Z01.001



郭华东院士

## 1 引言

1962年第一届国际环境遥感大会(International Symposium on Remote Sensing of Environment, ISRSE)在美国密西根州召开,会议上“遥感”一词首次被国际科技界正式使用,标志着遥感的诞生,也

揭开了人类利用遥感技术从空间观测地球的序幕。此后,人类开始从空间角度分析地球系统的水、碳、能量等循环要素的时空分布和变化规律,回答地球系统动态演变过程中出现的科学问题。同时利用空间观测获取的丰富的地球基础数据,开展灾害、能源、气候、天气、农业、生态、生物多样性和水等社会、经济及其相关领域的工作,在全球范围

内加强人类应对可持续发展的能力<sup>[1-3]</sup>。

迄今,遥感已历经半个世纪的发展。此际回顾空间对地观测的发展历程,有助于梳理空间对地观测技术的发展脉络,认识在不同历史阶段空间对地观测技术发展的时代特点和社会背景。特别是,在当前人类社会的发展面临着能源、水资源、气候变化和生态环境等多方面的挑战下,总结空间对地观测的发展,对深入了解地球现状、理解地球系统,进而更好地适应地球环境变化具有重要意义<sup>[4,5]</sup>。同时,通过了解世界遥感发展轨迹和历程,借鉴其他先进技术国家和地区的发展经验,剖析国际前沿发展趋势,可以更好地把握我国未来空间对地观测体系建设的方向,更好地服务于我国社会的可持续发展。

## 2 空间对地观测技术的发展

根据国际卫星对地观测委员会(Committee on Earth Observation Satellites, CEOS)的全球卫星任务统计数据<sup>[6]</sup>,1962年至今,全球共发射320多颗对地

\* 收稿日期:2013年4月7日

观测卫星,涵盖对大气、海洋、陆地等地球系统的全  
面观测(图1)。

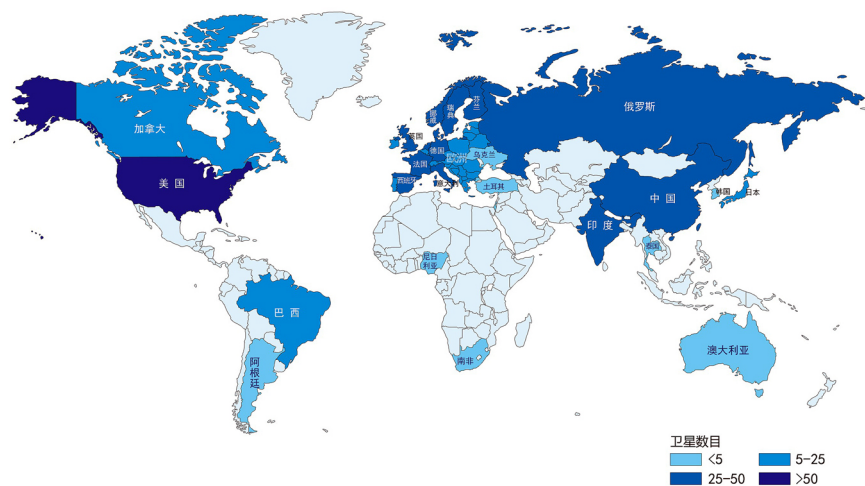


图1 1962—2012年全球对地观测卫星任务分布图

从1962—2012年间的全球对地观测卫星任务分布图可以看出,在空间上,美国发射的对地观测卫星超过50颗,是全球卫星发射数量最多的国家。欧洲地区,俄罗斯、法国、意大利、德国等国家是主要的卫星发射大国,卫星数目为25—50颗。中国和印度发射的对地观测卫星超过25颗,亦为遥感卫星大国。其次,加拿大、巴西等国家的卫星发射数量也达到了5—25颗,阿根廷(SAC系列卫星)、南非(SumbandilaSat卫星等)、尼日利亚(NigeriaSat系列卫星)、澳大利亚(Fedsat卫星)均有少量卫星发射。

1962—2012年全球发射对地观测卫星情况的统计表明,欧洲地区的卫星发射总数已达115颗,有13个国家拥有自主对地观测卫星。俄罗斯是欧洲拥有自主卫星最多的国家,数量达31颗,由欧洲不同国家组成的各欧洲机构(包括欧洲空间局ESA、欧洲气象卫星开发组织EUMETSAT和欧盟)共发射25颗对地观测卫星(图2)。美洲地区50年间发射对地观测卫星111颗,其中美国的卫星数量占到美洲卫星总量的85%,发射了94颗卫星。亚洲和大洋洲国

家共发射 89 颗卫星,印度和中国的对地观测卫星数量分别达到 34 颗和 30 颗。非洲地区,拥有对地

观测卫星的国家很少,南非拥有 2 颗,尼日利亚拥有 3 颗。

从不同的历史时期看，1962—1980年期间全球共发射14颗对地观测卫星（前苏联发射的卫星未列入统计），其中，法国2颗、意大利1颗、欧洲机构1颗和美国10颗。1981—1990年期间全球有43颗卫星发射，除上述国家和机构外，中国、日本、俄罗斯、印度开始启动本国的卫星发射任务。1991—2000年期间

共发射 89 颗对地观测卫星,是全球卫星发射的第一个高峰期,丹麦、德国、加拿大、巴西、阿根廷等 8 个国家开始拥有对地观测卫星。2001—2012 年期间是对地观测卫星发射数量最多的时期,共发射 174 颗卫星,拥有对地观测卫星的国家达 26 个。此外,各国家卫星发射数量分布又有各自特征,如美国卫星发射总量最多,且自 1981 年以来的 3 个阶段发射数量分布较为平均;俄罗斯卫星发射的高峰期主要集中在 1991—2000 年期间,其次为 2001—2012 年期间,有别于世界其他国家和地区在这两个时段的卫星发射情况;中国、意大利、法国、印度、欧

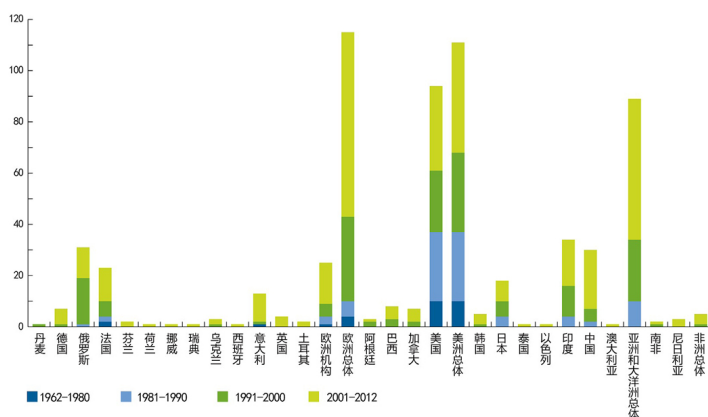


图2 1962—2012年全球发射对地观测卫星概况

洲机构等在最近 10 年迎来卫星发射的高峰,特别是中国,发射的对地观测卫星的数量占到已发射总量的 80%。

从卫星携带的传感器来看,1962—1980 年间全球对地观测卫星携带的传感器以光学相机为主,1970 年后开始出现少量的多光谱传感器。1981—1990 年主要以针对大气温度、湿度,大气化学测量的传感器和多光谱传感器为主(图 3)。1991—2000 年是全球卫星传感器快速发展的阶段,降水和云扩线、地球辐射能量、海色测量、高空间分辨率光学成像、成像雷达等新型传感器不断出现,对地观测传感器数量达 80 台。2001—2012 年是全球传感器研发和产出最多的时期,传感器的类型更为多样化,一些新型的传感器如激光雷达开始服务于空间对地观测,全球用于对地观测的传感器数量达 222 台,空间对地观测形成了以成像光谱技术、成像雷达技术和激光雷达技术为代表的先进对地观测技术体系<sup>[7-9]</sup>。

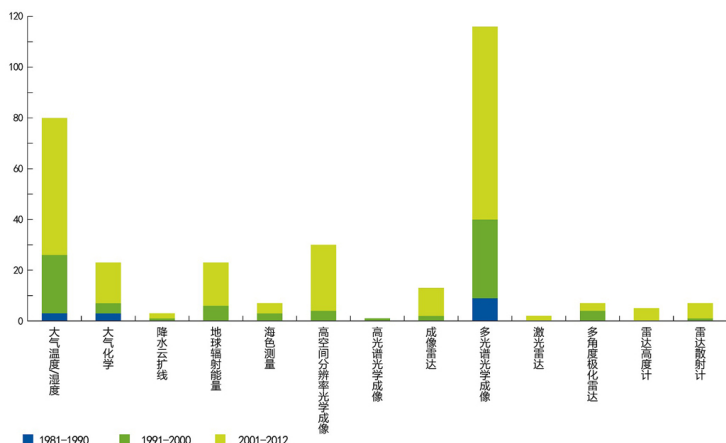


图3 1981—2012年期间全球对地观测卫星传感器概况

总览 1962—2012 年各阶段全球对地观测卫星的发展,60 年代中期前,普遍观点认为利用地面调查和航空观测,人类已经能够认识地球,所以此时发射的卫星多服务于针对外太空的观测,少量用于地球的观测。直至 1972 年具有对地观测历史中里程碑意义的 ERTS-1 卫星发射升空后,人类卫星计划出现面向空间对地观测的新的方向,空间对地观

测技术进入快速发展的新时期。在光学遥感领域,Landsat、SPOT、NOAA、Resurs、IRS、RESOURCE-SAT、Terra、Aqua 等卫星提供米至公里级多光谱分辨率的地球图像<sup>[10-14]</sup>,2000 年以后出现了 EO-1 为代表的携带高光谱传感器的对地观测卫星平台<sup>[15,16]</sup>。20 世纪末,商业遥感卫星开始服务于对地观测,IKONOS、QuickBird、GEOEye 等卫星提供民用领域 1 米内的观测影像<sup>[17-19]</sup>。在微波观测领域,1978 年发射世界上第一颗携带合成孔径雷达的 SEASAT 卫星<sup>[20]</sup>,90 年代后,包括航天飞机雷达 SIR-A、SIR-B、SIR-C/X-SAR 和 SRTM 在内的 JERS、RADARSAT、ENVISAT、ALOS 等星载 SAR 卫星陆续发射升空<sup>[21-23]</sup>。

经过 50 年的发展,人类能够利用空间对地观测技术获取大量大气、海洋和陆地的高精度、高时空分辨率观测数据,可重复观测频率从月到分钟,空间分辨率从公里到厘米,电磁波谱从可见光到微波,模式从被动到主动,观测角度从单一角度到多

角度,相位上采用偏振技术,微波遥感从单极化到全极化,天线系统从真实孔径到合成孔径。空间对地观测技术的发展使人类具有了获取全球尺度地球数据的能力,而丰富的全球数据积累为今后有效应对全球化发展中出现的资源、环境、生态与人口、社会、经济等问题铺垫了坚实的基础。

### 3 综合地球观测系统

随着各国发射卫星能力的不断增强,地球观测大家庭逐渐壮大。1984 年正式成立了国际对地观测领域权威的非政府间组织——国际卫星对地观测委员会(CEOS),主要目的是协调民用空间对地观测,增强空间对地观测能力的国际协调、数据交换和优化社会应用。目前 CEOS 拥有 30 个正式成员以及 23 个联系成员,在组织结构上包括空间对地观测部分的 4 大工作组,包括定标验证、信息系统、数据民主和





气候变化等工作组。

从20世纪90年代开始,人们把地球作为一个整体系统进行研究,美国正式启动了对地观测系统(EOS)计划,该计划事实上是由多个国家和国际组织共同参与的跨学科的计划,致力于地球科学、数据信息传输与处理系统(EOSDIS)和传感器平台开发的综合研究,目的在于实现对陆地表层、固体地球、生物圈、大气和海洋等展开全球性的长期对地观测。其中在轨的卫星主要有搭载中分辨率成像光谱仪(MODIS)的Terra卫星和Aqua卫星等,已实现10余年的高时空分辨率的空间对地观测<sup>[24]</sup>。

20世纪末“数字地球”概念问世后,对地观测技术的发展开始从区域性、领域性向综合性、全球化方向发展<sup>[25]</sup>。2002年约翰内斯堡世界可持续发展峰会开始呼吁对地球系统进行协调观测,2003年在法国举行的八国集团首脑峰会(G8)正式确认地球观测的重要性和优先行动纲领。同年7月在美国华盛顿召开的第一次地球观测峰会,正式提出全球协调组织成立一个全面协调、发展和可持续的地球观测系统以协调全球资源和地球观测活动,并于2005年在布鲁塞尔通过草案设立了政府间组织——地球观测组织(GEO),颁布了综合地球观测系统(GEOSS)2015年建设任务和目标<sup>[26,27]</sup>。目前由88个国家、欧盟和67个国际组织参加的GEO已构成空间对地观测的强大力量和组织体系,人类正进入对地球进行系统观测的新时代。

地球观测系统正是以电磁波和地物的相互作用理论为基础原理,综合利用不同形式的观测平台和技术,实现对地球陆地表面、生物圈、固体地球、大气圈、水圈和冰冻圈等进行系统探测的观测体系和应用系统。地球观测系统出现后对地观测从依靠单一平台观测转向通过制定系统的、可协调的对地观测计划,在全球尺度开展的多平台体系化观测,地球观测系统进一步发展成为服务于人类社会可持续发展需求的重要技术手段。

为推动全球综合地球观测系统的建设,在GEO的推动下,2005年《全球综合地球观测系统

(Global Earth Observation System of Systems, GEOSS)10年执行计划(2005—2015)》正式启动。GEOSS计划旨在建立一个综合、协调和可持续的全球地球观测系统,以更好地认识包括天气、气候、海洋、大气、水、陆地、地球动力学、自然资源、生态系统以及自然和人类活动引起的灾害等的地球系统,为决策者提供从初始观测数据到专业应用产品的信息服务。GEOSS计划成为综合利用地球观测技术应对全球资源环境与可持续发展问题的有效手段,同时对GEO各成员国建立国家和区域级综合地球观测系统具有指导性的重要作用。在该10年计划还有两年之际,经过来自10余个国家的科学家一年多的努力,面向未来10年发展的GEOSS后2015计划框架即将问世。

#### 4 中国的空间对地观测

历经30余年的发展,中国已成为空间对地观测大国,形成资源卫星、环境卫星、气象卫星、海洋卫星、小卫星和飞船等空间对地观测系统,并形成了北斗导航卫星计划,广泛服务于国民经济的各个领域(表1)。

中国和巴西合作研制的资源卫星(CBERS-01)于1999年首次发射,随后发射的CBERS-02、CBERS-2B、ZY-3卫星的空间分辨率和图像质量得到进一步提升<sup>[28,29]</sup>。2008年携带有多光谱可见光相机和超光谱成像仪的HJ-1A卫星发射成功,此后形成的“环境与灾害监测预报小卫星星座”具备中分辨率、宽覆盖、高重访的灾害监测能力<sup>[30,31]</sup>。在气象卫星方面,我国从1988年开始发射“风云”气象系列卫星,目前已形成静止轨道和极轨气象卫星观测体系<sup>[32-34]</sup>。2002年我国发射了第一颗海洋卫星(HY-1A)卫星,星上载有1台10波段的海洋水色扫描仪和1台4波段的CCD成像仪,后续发射的HY-1B和HY-2卫星在成像幅宽和重访周期等性能上进一步提升<sup>[35,36]</sup>。在微小卫星方面,我国成功发射了“实践五号”、“航天清华一号”、“纳星一号”、“北京一号”等卫星,完善并丰富了我国的卫星观测

表 1 中国 4 类对地观测卫星概况

卫星类型	卫星名称	主要传感器	光谱范围	空间分辨率(米)	幅宽(公里)	重访周期(天)	发射日期
陆地资源卫星系列	CBERS-1-01/02	CCD/WFI	RVIS/NIR	20/258	120/890	26/5	1999-10-14/ 2003-10-21
	CBERS-1-01/02B	Infrared Scanner	WIS/SWIR/TIR	78/156	120	26	2007-10-29
		CCD/WFI	VIS/NIR	20/258	113/890	26/5	
	ZY-3-01	High-Resolution Camera	VIS	2.36	27	104	2012-01-09
		CCD	VIS/NIR	6/2.1	52/52	59/5	
		Forward/Back Looking Camera	VIS	3.5	52	59/5	
环境卫星系列	HJ-1A	CCD/Hyperspectral Imager	VIS/NIR	30/100	700/50	4	2008-09-06
	HJ-1B	CCD	VIS/NIR	30	700	4	
		Infrared Multispectral Camera	IR	150/300	720	4	
	HJ-1C	SAR	-	4/15	40/100	4	2012-11-19
气象卫星系列	FY-1A/B	MVISR	VIS/NIR/TIR	1 100/4 000	2 860	-	1988-09-06/ 1990-09-03
	FY-1C/D	MVISR	VIS/IR	1 100/4 000	3 100	12	1999-05-10/ 2002-05-15
	FY-2A/B/C/D/E	VISSR	VIS/IR	1 250/5 000/ 5 760	-	30/ 25.5min	1997-06-10/ 2000-06-25/ 2004-10-19/ 2006-12-08/ 2008-12-23
	FY-3A/B	IRAS/VISSR/MERSI	VIS/R	17 000/1 100/ 250—1 000	2 800	5.5	2008-05-27/ 2010-11-04
		MWTS	EHF/U-band	15 000/50— 75 000	2 700	-	
		MWRI	X/Ku/K/Ka/ W-band	15 000— 85 000	1 400	-	
		ERM/SIM	UV/VIS/IR	-	-	-	
		SBUS/TOU	UV	200 000/ 50 000	-	-	
海洋卫星系列	HY-1A/B HY-2	COCTS/CZI	VIS/IR/NIR	110/250	1 600/ 3 000/500	3/1/7	2002-05-15/ 2007-04-11 2011-08-16
		Radar Altimeter	C/Ku-band	-	-	14	
		Microwave Scatterometer	Ku-band	-	1 350/1 700	1	
		SMR/CMR	C/X/K/Ka-band	-	1 600	1	

表注:表中 VIS 为可见光; SWIR 为短波红外; IR 为红外; NIR 为近红外; TIR 为热红外; EHF 为极高频; UV 为紫外; WFI 为宽视场成像仪; IRMSS 为红外多光谱扫描仪; MVISR 为多通道可见光和红外扫描辐射计; HEPD 为高能粒子探测器; VISSR 为可



见光和红外自旋扫描辐射计; IRAS 为红外大气探测器; MERSI 为中分辨率光谱成像仪; MWTS 为微波温度探测仪; ERM 为地球辐射测量仪; SIM 为太阳辐射监测仪; SBUS 为太阳后向散射紫外光谱测量仪; TOU 为臭氧总量; COCTS 为中国海洋水色水温扫描仪; CZI 为海岸带成像仪; SMR 为扫描微波辐射计; CMR 为校准的微波辐射计; Infrared Scanner 为红外扫描仪; High-Resolution Camera 为高分辨率相机; Forward/Back Looking Camera 为前后视角相机; Hyperspectral Imager 为高光谱成像仪; Infrared Multispectral Camera 为红外多光谱相机; Radar Altimeter 为雷达高度计; Microwave Scatterometer 为微波散射计<sup>[40]</sup>。

体系<sup>[37-39]</sup>。2010年,我国正式启动实施高分辨率对地观测系统重大科技专项。

在国际卫星数据接收方面,中国遥感卫星地面站能够接收10余颗卫星数据,保存着1986年以来各类卫星数据300多万景,是国际接收处理分发卫星数据最多的地面站之一,是国内、国际宝贵的空间对地观测数据库。

## 5 空间对地观测发展的思考

纵观全球空间对地观测50年的发展过程,每项新技术、新计划诞生的背后都有与其对应的时代和政治经济背景。人类开展对地观测的目的也从单领域调查,逐渐转向服务于人类社会发展的重大需求。随着全球化时代的到来,对地观测技术更是发展出体系化观测的地球观测系统。

目前,拥有世界领先的对地观测技术的美国、欧洲等国家和地区,均已制定面向长期发展需求的对地观测计划。2013年后欧洲机构和美国预计发射的对地观测卫星数量均将达到34颗,印度(26颗)和中国(25颗)计划发射20颗以上的新卫星,俄罗斯、日本、加拿大预计发射的卫星数量也都在10颗以上(图4)。从各洲发射卫星的情况来看,俄罗斯仍然是欧洲最主要的卫星发射大国,但与之之前不同,欧洲机构发射卫星总量开始显著多于俄罗斯,欧洲地区的卫星发射将更加强调多国间的联合和协作。美国仍然是最主要的卫星发射国家,同时加拿大卫星发射数量增加也较多。亚洲地区则延续了过去的传统格局,中国、印度、日本和韩国依然是最主要的

卫星发射国家,非洲地区没有新的卫星发射计划。

这些卫星计划具有明确的服务领域,如美国2016—2020年的对地观测计划关注全球臭氧及相关气体的监测(GACM计划)、大气污染监测(3D-Winds)、地质灾害(LIST)、天气预测(PATH)、水资源利用(GRACE-II/SCLP)等<sup>[41,42]</sup>;欧洲的GMES计划设有陆地、海洋、应急管理、安全、大气、气候变化6大服务领域<sup>[43,44]</sup>。同时,俄罗斯、日本、印度等国也发布了各自的对地观测战略规划,逐渐形成了具有其自身特点的对地观测系统和体系。俄罗斯联邦航天局(ROSCOSMOS)计划于2020年前形成包括静止轨道气象卫星(ELECTRO系列)、极轨的气象卫星(METEOR系列)和资源/环境卫星(KANOPUS-V和RESURS-P系列)的卫星体系;日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)在继续发展携带有L波段SAR和高光谱传感器的高空间分辨率ALOS系列卫星计划的基础上,提出针对温室气体监测的GOSAT计划和针对全球变化需求的GCOM计划,并继续开发导航实验卫星计划(QZS);印度空间研究组织(ISRO)和国家遥感局(NRSA)计划进一步提升Resourcesat系列卫星的空间分辨率,发展本国星载SAR卫星(RISAT系列)和环境卫星(Environment Sat)<sup>[45,46]</sup>。

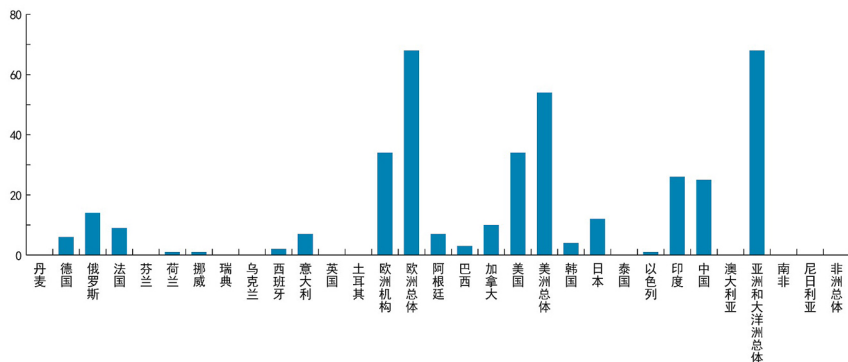


图4 2013—2035年全球对地观测卫星发射计划

未来全球的空间对地观测计划更加强调观测的连续性、发展能力和综合协调应用能力,即制定长期持续的观测计划,开展机载和星载传感器的系统化开发。其对地观测计划也更强调对地观测平台和数据的协调使用,更加面向满足社会受惠领域的应用需求和国家、区域战略目标。

纵观国际对地观测技术的发展趋势,我国未来空间对地观测的发展首先需要满足国家战略需求,考虑国家社会、经济、科学发展的重大要求,确定我国空间对地观测的优先服务领域,建立多平台综合观测计划,突出大小卫星并举的观测体系。在构架我国国家空间对地观测体系的过程中,需要分析国际已有的对地观测系列计划,依据国家战略需求确定我国必须发展的对地观测平台。同时,考虑国际对地观测平台和数据建设的缺失,制定我国独特的系列观测计划,弥补全球在该领域的“数据”鸿沟(如时间、空间和精度等)。

开展我国综合地球观测系统的建设和协调,根据我国对地观测卫星序列的管理和观测需求,增强发展国家基础设施,开展可持续的多卫星系统的协调应用体系的建设,有重点有突出地开展综合性对地观测业务系统的开发。

随着大数据时代的到来,应重视空间大数据的研究,特别是要重视空间数据密集型科学研究。为此,需进一步加强我国未来空间对地观测发展的一体化管理,提高顶层设计能力和水平,进一步促进国家对地观测资源和数据的共享,减少重复建设,避免针对相同科学需求的同性能的卫星重复发射,提高对地观测的服务效率。应从社会应用和受益需求出发,建立我国空间对地观测应用和受惠领域体系,满足我国科学、社会发展的现实需求。同时,通过统筹协调不同机构与部门已有的对地观测资源,依据我国对地观测优先服务领域,加强机载和星载传感器的连续性研制,制定系统的国家对地观测计划。

未来人类社会的全球化进程将不断加快,环境、资源等问题也逐渐由区域性问题的发展成为全球

性问题。我国未来空间对地观测的发展需要面向人类社会可持续发展的重大问题,在进一步重视发展业务卫星的同时,重视发展具有全球数据快速重复获取能力的全球变化科学卫星计划,在满足我国全球化时代的战略需求的同时,使我国能够更好地承担应对人类可持续发展危机的国际责任。

## 6 结语

空间对地观测技术可以帮助人类更为全面地认识地球的物理、化学和生物系统的变化规律。研究空间对地观测技术的发展历程,分析对空间的观测技术的能力,可以帮助我们更好地认识未来空间对地观测发展的科学目标和社会应用需求,最大程度地让空间对地观测服务于人类社会。把握空间对地观测的发展现状和趋势,有助于我国建立可系统观测、可连续发展、可协调合作、可有效服务的空间对地观测任务和计划体系,服务于我国在全球化背景下的重大政治需求和社会经济的可持续发展。

### 参考文献

- 1 Reid W V, Chen D, Goldfarb L et al. Earth System Science for Global Sustainability: Grand Challenges. Science, 2010, 330: 916-917.
- 2 Sabins Jr F F. Remote Sensing. Principles and Interpretation. New York: W. H. Freeman & Co, 1986.
- 3 陈述彭.遥感信息的应用前景和科学前沿. 遥感信息, 1988,4:2-3.
- 4 IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Parry M L, Canziani O F, Palutikof J P, et al, eds. Cambridge: Cambridge University Press, 2007, 976.
- 5 罗格.博奈,罗德维克.沃尔彻.继续生存10万年:人类能否做到? 北京:科学出版社, 2012.
- 6 CEOS. The Earth Observation Handbook. In: Ward S, eds. UK: Symbios Spazio Ltd, 2012.
- 7 Jenson J R. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. New York: Pearson Prentice Hall,





- 2006.
- 8 Weng Q. Advances in Environmental Remote Sensing: Sensors, Algorithms, and Applications. Boca Raton: CRC Press, 2011.
- 9 Schowengerdt R A. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. London: Academic Press, 2007.
- 10 Chander G, Markham B L, Helder D L. Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. Remote Sensing of Environment, 2009, 113: 893-903.
- 11 Haack B, Bryant N, Adams S. An Assessment of Landsat MSS and TM Data for Urban and Near-urban Land-cover Digital Classification. Remote Sensing of Environment, 1987, 21: 201-213.
- 12 Chevrel M, Courtois M, Weill G. The SPOT Satellite Remote Sensing Mission. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1981, 47:1163-1171.
- 13 Kulkarni A V, Singh S K, Mathur P et al. Algorithm to Monitor Snow Cover Using AWiFS Data of RESOURCE-SAT-1 for the Himalayan Region. International Journal of Remote Sensing, 2006,27:2449-2457.
- 14 Justice C O, Vermote E, Townshend J R G et al. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Change Research. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1998, 36: 1228-1249.
- 15 Ungar S G, Pearlman J S, Mendenhall J A et al. Overview of the Earth Observing One (EO-1) Mission. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41:1149-1159.
- 16 Turner W, Spector S, Gardiner N et al. Remote Sensing for Biodiversity Science and Conservation. Trends in Ecology & Evolution, 2003, 18: 306-314.
- 17 Mumby P J, Edwards A J. Mapping Marine Environments with IKONOS Imagery: Enhanced Spatial Resolution Can Deliver Greater Thematic Accuracy. Remote Sensing of Environment, 2002, 82: 248-257.
- 18 Wang L, Sousa W, Gong P et al. Comparison of IKONOS and QuickBird Images for Mapping Mangrove Species on the Caribbean Coast of Panama. Remote Sensing of Environment, 2004, 91: 432-440.
- 19 Fraser C S, Ravanbakhsh M. Georeferencing Accuracy of GeoEye-1 Imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2009, 75: 634-638.
- 20 Gerling T W. Structure of the Surface Wind Field from the SEASAT SAR. Journal of Geophysical Research: Oceans, 1986, 91: 2308-2320.
- 21 Joughin I, Gray L, Bindschadler R et al. Tributaries of West Antarctic Ice Streams Revealed by RADARSAT Interferometry. Science, 1999, 8:283-286.
- 22 Funning G, Parsons B, Wright T J et al. Surface Displacements and Source Parameters of the 2003 Bam (Iran) Earthquake from Envisat Advanced Synthetic Aperture Radar Imagery. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2005, 110: DOI: 10.1029/2004JB003338.
- 23 Rosenqvist A, Shimada M, Ito N et al. ALOS PALSAR: A Pathfinder Mission for Global-Scale Monitoring of the Environment. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2007, 45: 3307-3316.
- 24 郭华东.对地观测系统的构建及应用. 北京: 科学出版社, 2001.
- 25 陈述彭. “数字地球”战略及其制高点.遥感学报, 1999, 3: 247-253.
- 26 Group on Earth Observations (GEO). The Full Picture, <http://www.earthobservations.org>.
- 27 Battrick, B. Global Earth Observation System of Systems GEOSS; 10-Year Implementation Plan. ESA Publications Office: Noordwijk, 2005.
- 28 中国资源卫星应用中心.中巴地球资源卫星 02B 应用研究文集. 北京: 中国宇航出版社,2008.
- 29 Xu W. The Application of China's Land Observation Satellites within the Framework of Digital Earth and Its Key Technologies. International Journal of Digital Earth, 2012, 5: 189-201.



- 30 王桥, 吴传庆, 厉青. 环境一号卫星及其在环境监测中的应用. 遥感学报, 2010, 1: 104-121.
- 31 Fan Y, Wen Q, Chen S. The Engineering Survey of the Environment and Disaster Monitoring and Forecasting Small Satellite Constellation. International Journal of Digital Earth, 2012, 5: 217-227.
- 32 宏观, 张文建. 我国气象卫星及应用发展与展望. 气象, 2008, 9: 3-9.
- 33 Yang J, Zhang P, Lu N et al. Improvements on Global Meteorological Observations from the Current Fengyun 3 Satellites and Beyond. International Journal of Digital Earth, 2012, 5: 251-265.
- 34 杨军, 董超华, 卢乃锰等. 中国新一代极轨气象卫星-风云三号. 气象学报, 2009, 4: 501-509.
- 35 Jiang X, Lin M, Liu J et al. The HY-2 Satellite and Its Preliminary Assessment. International Journal of Digital Earth, 2012, 5: 266-281.
- 36 蒋兴伟. 我国海洋卫星系列的发展及其应用展望. 中国航天, 2001, 9: 13-17.
- 37 马兴瑞, 张永维, 白照广. 实践五号卫星及其飞行成果. 中国航天, 1999, 11: 3-8.
- 38 童庆禧, 卫征. 北京一号小卫星及其数据应用. 航天器工程, 2007, 16: 1-5.
- 39 赵凯嘉. 航天清华一号卫星及其应用. 北京: 中国宇航出版社, 2002.
- 40 Guo H D. China's Earth observing satellites for building a Digital Earth. International Journal of Digital Earth, 2012, 5: 185-188.
- 41 Livesey N, Santee M, Stek P et al. A Future "Global Atmospheric Composition Mission" (GACM) Concept. American Geophysical Union, Fall Meeting 2007, San Francisco, CA USA, Available at: <http://alexandria.tue.nl/openaccess/Metis240271.pdf>.
- 42 Neeck S P, Jucks K W, Lindstrom E J et al. The Decadal Survey Tier 2 Missions. Proc. SPIE 7106, Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XII, 71060A (October 09, 2008); DOI:10.1117/12.803678.
- 43 Veeffkind J P, Aben I, McMullan K et al. TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor: A GMES Mission for Global Observations of the Atmospheric Composition for Climate, Air Quality and Ozone Layer Applications. Remote Sensing of Environment, 2012, 120: 70-83.
- 44 Evert A, Pierre B, Peter E et al. Sentinel-1: the Radar Mission for GMES Operational Land and Sea Services. ESA Bulletin, 2007, 131: 10-17.
- 45 Misra T, Rana S S, Tyagi R N et al. RISAT: First Planned SAR Mission of ISRO. Proc. SPIE 6407, GEOSS and Next-Generation Sensors and Missions, 64070J (November 30, 2006); DOI:10.1117/12.697402.
- 46 Sasaki T, Nakagawa K. GCOM Mission Overview. Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Space Technology Japan, ISTS Special Issue: Selected papers from the 26th International Symposium on Space Technology and Science, 2009, 7: Tn\_21-Tn\_25.

**郭华东** 中国科学院院士, 发展中国家科学院院士, 国际欧亚科学院院士, 中科院遥感与数字地球研究所所长, 研究员。任国际科技数据委员会主席、国际数字地球学会秘书长、《国际数字地球学报》主编等职务。主要从事遥感信息科学、雷达对地观测和数字地球科学领域研究。曾任航天飞机雷达对地观测计划、全球雷达遥感计划等8个大型国际雷达计划的课题负责人; 是“973”计划“空间观测全球空间敏感因子的机理与方法”项目和国家大科学工程“航空遥感系统”项目的首席科学家。E-mail: [hdguo@ceode.ac.cn](mailto:hdguo@ceode.ac.cn)

## Development of Earth Observation over the Past Half Century and Future Direction

Guo Huadong Chen Fang Qiu Yubao

(Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

**Abstract** 2013 is a special year for the world remote sensing community. In 1962, the First Symposium on Remote Sensing of Environment was held in Michigan, United States. From that date, remote sensing as a discipline began to come of age. Earth observation technologies, the unique vantage point of space, provide the valuable and cost effective means of acquiring Earth system information such as atmosphere, ocean, land surface, and glacier, which is not available using any other means. Long-term data sources of Earth observations have been systematically collected and analyzed, enhancing and improving our ability for understanding Earth system. Planet Earth is being rediscovered.

This year we celebrate the 50th anniversary of Remote Sensing. It is a delightful and meaningful experience reviewing the history and development of the Earth observation technologies over the years. This article provides summary of the overall status of world Earth observation missions since 1962, based on the latest database developed by the Committee on Earth Observation Satellites (CEOS). As an important step into the direction of Earth observation system, the development of national and global Earth observation projects, such as NASA's EOS mission and GEO's Global Earth Observation System of Systems (GEOSS) are presented. China's past and current Earth observing missions are also introduced, regarding to China has become an important member of the world remote sensing community. After presenting future Earth observation missions of other countries, the suggestions of the development of China's future Earth observation system are proposed.

**Keywords** earth observation from space, earth observation system, fifty years of remote sensing

**Guo Huadong** is the Director-General and Professor at the Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences. He is a member of the Chinese Academy of Sciences, a fellow of the Academy of Sciences for the Developing World, and a member of the International Eurasian Academy of Sciences. He also serves the President of the Committee on Data for Science and Technology, the Secretary-General of the International Society for Digital Earth, the Director of the International Centre on Space Technologies for Natural and Cultural Heritage under the auspices of UNESCO, and the Editor-in-Chief of the International Journal of Digital Earth and the associate Editor of the Journal of Applied Remote Sensing. He has been engaged in remote sensing research and applications and made productive achievements in the fields of radar remote sensing information mechanisms, multi-model methods for land and object identification, and conducting pioneering researches in Digital Earth. E-mail:hdguo@ceode.ac.cn