

编者按 2016年5月16日，由中科院地学部联合我国相关部委和国际学术组织共同主办、中科院遥感与数字地球所承办的“一带一路空间认知国际会议”将在北京举办。本次会议是面向“一带一路”相关国家和地区召开的首次对地观测领域的高水平国际会议。藉会议召开之际，本刊特推出“空间科技助力‘一带一路’建设”专题，探讨如何利用空间技术宏观、快速、准确获取数据等优势，构建基于空间观测的“数字丝路”，助力“一带一路”建设和发展。本专题由郭华东院士指导推进。

“一带一路”的空间观测与 “数字丝路”构建*



郭华东 肖 函

中国科学院遥感与数字地球研究所 北京 100094

摘要 “一带一路”是我国提出的突破性、全局性重大战略和国际倡议，其包括65个国家，44亿人口，具有范围广、周期长、领域宽、时空域等特点。文章立足于分析空间对地观测技术优势和能力，在面临的环境、资源、能源、灾害以及全球变化等区域和全球挑战背景下，研究空间科技支撑“一带一路”可持续发展的能力和作用。在此基础上，提出构建基于空间观测的“数字丝路”设想，以为“一带一路”提供空间数据、环境信息与决策支持，促进我国与沿线国家的科技及全方位合作，以“数字丝路”服务“一带一路”世纪工程建设。

关键词 “一带一路”，空间观测，科学认知，“数字丝路”，可持续发展

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2016.05.006

2013年习近平主席提出建设“丝绸之路经济带”和“21世纪海上丝绸之路”的倡议（简称“一带一路”）^[1]。“一带一路”是21世纪我国实行改革开放的重大举措，是我国建国以来最大的国际合作计划，是我国与沿线国家共同发展的宏伟蓝图。

“一带一路”涉及65个国家、44亿人口^[2]，时空域上具有范围广、周期长、领域宽等特点，是一项长期、复杂而艰巨的系统工程，其推进实施面临诸多不容忽视的风险，也面临环境、资源、灾害等系列问题的挑战。应对这些挑战和风险尚缺乏必要的科学认知，需要对资源、环境宏观格局与发展潜力从科学层面进行总体认知与科学评估，对可能遭遇的风险给予分析与预警。

空间观测技术具有的宏观、快速、准确、客观获取数据的特点和能力使其在应对上述挑战与问题上具有巨大的优势^[3-5]。“一带一路”建设需要空间观测先行，对全球变化背景下的资源环境宏观格局从空间观测角度进行科学分析，快速客观地为国家规划与建设“一带一

*资助项目：中科院学部咨询项目“丝绸之路经济带资源环境格局与发展潜力空间认知”

修改稿收到日期：2016年4月24日

路”提供宏观、前期战略科学咨询，为“一带一路”沿线国家提供空间数据、环境现状信息支持，有效促进我国与沿线国家的科技及全方位合作。

1 我国空间对地观测技术发展

空间对地观测在国际上已有 50 余年的发展历程，从单领域调查逐渐转向服务于人类社会发展的多种重大需求转变，并向构建体系化的全球观测系统转变。根据国际卫星对地观测委员会（CEOS）的全球卫星任务统计数据，1962 年至今，全球共发射 330 多颗对地观测卫星，涵盖对大气、海洋、陆地等地球系统的全面观测^[6]。截至 2015 年底，中国共发射对地观测卫星 60 颗^[7]，已初步建成自主知识产权的空间对地观测体系，步入空间对地观测大国行列。

1.1 中国对地观测卫星体系健康发展

40 多年来，中国已逐步形成了气象系列卫星、海洋系列卫星、资源系列卫星、环境与灾害监测预报小卫星星座、高分辨率对地观测系统和“北斗”导航系列卫星等各具特色的对地观测卫星体系（图 1）。气象卫星观测系统已稳定运行，并被世界气象组织列入全球对地观测业务卫星序列，作为全球地球综合观测系统的重要成员，成为中国获取全球资料和满足区域灾害性天气和环境监测、气象服务和地球系统科学研究的重要工具。国家部署发展了海洋水色、海洋动力和海洋雷达 3 个卫星系列，已发射完成 2 颗海洋水色卫星（HY-1A/B）和 1 颗海洋动力环境（HY-2A）卫星，初步建立了我国的海洋卫星监测体系^[8,9]。资源卫星数据和环境减灾卫星应用产品已经在我国农业、林业、水利、国土资源、城市规划、环境保护、灾害监测等领域发挥了重大作用。随着高分辨率对地观测系统重大专项的启动和实施，我国空间信息与

应用技术快速发展，自主创新能力显著提升。根据北斗卫星导航系统全球组网建设计划，2018 年将率先为“一带一路”国家提供基本服务，2020 年形成全球服务能力，建成国际一流的全球卫星导航系统。当前，在轨民用运行卫星 39 颗。根据规划，不久的将来将有近百颗各类卫星上天，可为国民经济建设、社会发展发挥巨大作用。

1.2 中国具有接收国内外卫星数据的强大能力

中国采用国内外卫星数据共用的策略。中国遥感卫星地面站是国家重大科技基础设施，也是国际资源卫星地面站网成员，是世界上接收与处理卫星数量最多的机构之一（图 2）。2015 年，地面站成功完成 SPOT-6/7、RADARSAT-2、LANDSAT-8、PLEIADES-1A/1B、HJ-1A/1B/1C、ZY-02C、ZY-03、SJ-9A/9B、GF-1/2、CBERS-04、DAMPE 等 17 颗卫星总计 19 300 条轨道的数据接收任务，平均每天接收 42 条轨道，数据接收成功率达 99.4%。所有卫星数据均已实现高速网络传输。各接收站接收的卫星数据从接收结束到通过网络传送至北京总部，均可在 20 分钟内完成，网络数据传输成功率达 100%。

地面站建有密云、喀什、三亚、昆明（2016 年部署完成）4 个卫星接收站，2015 年已部署启动北极站建设。建成陆地观测卫星全国数据接收站网，目前 3 站网（密云、喀什、三亚）系统接收范围形成了覆盖全国及

		1988	1990	1997	1999	2000	2002	2003	2004	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2020 年前规划卫星
气象卫星	风云一号	FY1A	FY1B		FY1C	FY1D													8 业务卫星、2 试验星
	风云二号			FY2A		FY2B			FY2C	FY2D	FY2E					FY2F		FY2G	
	风云三号										FY3A		FY3B			FY3C		FY3D	
	在轨运行																		
海洋卫星	海洋一号						HY1A			HY1B									8 颗
	海洋二号														HY2A				
	在轨运行																		
	资源一号				CBERS-01												CBERS-04		
资源卫星	资源二号						CBERS-02		CBERS-02B										5 颗
	资源三号																		
	在轨运行																		
	环境减灾-1																		
环境减灾卫星	2+1 在轨运行																		8 颗
	高分一号																		
	高分二号																		
	高分四号																		
高分对地观测系统	在轨运行																		4 颗
	北斗导航卫星																		
	组网运行																		

图 1 中国对地观测卫星发展路线图

数据来源：国家卫星气象中心、国家卫星海洋中心、中国资源卫星应用中心、北斗卫星导航系统、高分辨率对地观测系统重大专项网

周边国家和地区（亚洲 70% 范围）的卫星数据实时获取能力。未来 5 站网将基本覆盖“一带一路”，形成宏观认知“一带一路”空间信息的技术条件保障。



图2 中国遥感卫星地面站

我国是国际对地观测组织（GEO）成员国。国际对地观测组织目标是发展一个全面、协调和可持续的综合地球观测系统（GEOSS），提供对地观测卫星共享数据和产品。国际对地观测组织也为我国谋划未来对地观测发展提供了广阔的视野和国际平台，可为共同应对和破

解全球变化生存环境问题和全球资源能源安全、粮食安全、重大自然灾害等问题，提供卫星数据保障。

2 基于空间对地观测技术认识“一带一路”

人类已经能够利用空间对地观测技术获取地球大气、海洋和陆地的高精度、高时空数据，可重复观测频率、空间分辨率、观测模式、观测角度等不断升级^[10]。伴随着 20 世纪末“数字地球”概念的问世，更促进了对地观测技术的研究和应用从区域性、领域性向综合性、全球化方向转变。从地球空间观测角度，对“一带一路”宏观问题提出如下认识。

2.1 “丝绸之路经济带”空间跨度大、资源环境格局复杂，发展潜力评估需求紧迫

“丝绸之路经济带”东连亚太经济圈，西接欧洲经济圈，中间是中亚的经济凹地。中亚国家地处干旱、半干旱地区，水资源严重缺乏，荒漠化问题突出，全球变暖引发湖泊萎缩、冰川积雪加速消融、植被退化等一系列问题，加之不合理的人类活动，社会、经济可持续发展正面临严重威胁。中亚五国和中东国家对于生态环境变化监测与未来影响、全球变化的区域响应、水资源变化、矿产资源潜力等非常关注，这些都需要借助空间对地观测技术做出回答。总体上来看，中亚和中东地区对地观测能力较弱、应用研究水平较低，对利用空间信息技术进行资源环境调查与评估具有迫切需求。

2.2 水资源格局空间认知及与粮食安全相互作用规律与机制亟待研究

粮食安全与水资源不足问题是“一带一路”沿线各国面临的共性问题。随着经济社会快速发展和全球气候变化影响，人增地减水缺的矛盾越来越突出，而缓解这一矛盾的重要举措即是构建与水资源禀赋相适应的现代农业。水资源禀赋决定农业发展规模，农业发展规模过大又影响水资源安全，二者之间相互制约。中国粮食生产量和进口量均居全球第一。中国有技术和经验参与帮助沿线国家解决粮食安全问题，也有解决自己粮食问题

的需求。应科学诊断“一带一路”各流域人类可持续发展的可以消耗的水资源量，掌握流域水资源潜力与时空格局；从空间认知的角度，结合沿线各国发展目标，通过情景分析，明确可耗水量约束下的流域农业规模与适宜的作物种植结构。

2.3 为沿线国家提供重大自然灾害空间观测减灾服务和支撑

利用天空地观测网络，分析灾害影响因素和灾害风险机理，确定“一带一路”开发的安全区域，为重大基础设施建设等提供空间观测灾害本底数据基础，围绕重大基础设施建设，研究跨区域地貌单元的空间监测及灾害风险空间信息评估方法，为重大工程灾害防治提供空间减灾能力支持；构建“‘一带一路’地质灾害危险性评价系统”，搭建空间减灾信息共享与技术转移平台，提升沿线合作国家的空间减灾技术共享和应用能力；构建“一带一路”空间减灾系统，根据不同国情和双、多边关系制定相应战略，加强面向“一带一路”沿线的空间减灾能力的建设。

2.4 “一带一路”自然与文化遗产地的观测与保护和健康诊断

“丝绸之路：起始段和天山廊道的路网项目”成功入选《世界遗产名录》，这是“陆上丝绸之路”的一部分，是中国和哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦共有的一段。遗产区空间跨度约5 000公里，总面积42 680公顷，遗产区和缓冲区总面积234 464公顷。“一带一路”沿线分布着近80%的世界文化遗产，在全球化趋势迅猛发展之际，以“一带一路”为代表的文明交往正以前所未有的规模和速度将人类活动和社会发展串联在一起。可针对“一带一路”沿线国家气候、地理、人文区域带的差异，联合开展遗产空间观测方法适用性及关键技术研究，因地制宜地规划和设计遗产地所在区域基础设施体系；以高科技为动力，增加文化遗产旅游运营中的技术含量，建立基于信息技术的旅游新业态，为旅游主业转型提供有力支持的科技发展战略。

2.5 空间技术在海岸带环境格局研究中能发挥重要作用

重点针对“海上丝绸之路”沿线国家海岸带地区生态与环境的多样性与脆弱性，系统开展海岸带生态环境空间观测信息的获取、处理与分析的科学研究；基于多源空间观测信息，研究“海上丝路”沿线各国海岸带生态与环境对全球变化背景响应的异同，研究沿线各国不同层次的经济和社会发展对海岸带生态与环境的影响差异；以空间观测为主，其他方式协同，进行海岸带生态保持、环境保护与管理政策的科学认知，以期提高“海上丝路”沿线国家对海岸带的科学利用与开发。

3 “丝绸之路经济带”发展的几点建议

中科院学部于2014年设立“丝绸之路经济带资源环境格局与发展潜力空间认知”咨询研究项目。依托空间对地观测技术，就影响区域可持续发展的关键要素——农业及水资源格局、矿产资源与能源合作、城镇化与交通布局、生态环境格局与全球变化适应、文化遗产保护与文明融合、空间信息通讯技术和区域国际合作等进行了多专题调研、分析，在综合研究基础上，提出如下几点认识与建议。

3.1 跨越“胡焕庸线”，打造西部新经济模式

“胡焕庸线”（简称“胡线”）在一定的自然和社会条件下形成，反映了我国人口空间分布和土地利用状况的格局。基于遥感技术对“胡线”进行30年来连续动态监测并结合统计数据的分析表明，“胡线”两侧人口密度差在局部上正在变化。以变化较大的“胡线”中部的甘肃中南部、宁夏为例，“胡线”两侧的人口密度变化率逐渐接近。但从总体上看，自1935年“胡线”提出以来的80年间，人口密度突变分界线两侧人口比重无论直线或曲线，在线的西北部整体人口占全国人口比重虽有变化（在3%—4%间），但是变化不大。说明传统的农业经济破不了“胡线”，只有新经济模式才有“胡线”发生重大改变，西部发展必须走科技创新驱动发展之路。

对于跨越我国东、中、西部的“丝绸之路经济

带”，其不同段的新型城镇化需要个别规划与建设。特别是在西部，要规划、建设与当地生态及人文环境相协调，与土地资源、人口分布相适应的城市，不宜聚（高楼拥挤、林立）、大（城市过大、超过环境承载）、密（人口过密），从而形成良好的生态与生活工作环境以吸引各方人才，打造独具特色的干旱区新型城镇，形成干旱区新经济发展模式，增强区域的辐射能力，突破“胡线”的束缚。

3.2 建立与水资源禀赋及生态环境相适应的现代农业

30年卫星遥感数据监测表明，受全球环境变化与人类活动的影响，“丝绸之路经济带”的中西部地区水资源与生态环境问题有加重的趋势。特别在干旱与半干旱的中亚与我国西部地区，生态环境脆弱、水资源匮乏。生态环境一旦破坏，将发生不可逆的灾难。目前，耕地面积的持续扩张，特别是灌溉农业的大规模发展，导致水资源消耗过大，超越流域水资源承载能力，亦是产生水资源危机与生态危机的重要原因之一。

对此，在保障粮食安全的前提下，我国西部地区，特别是在新疆，要尽快压缩传统农业、控制耕地扩张、调整农业种植结构、大力减少耗水量。以流域为单元，明晰流域可耗水量，划定水资源“红线”，确定流域的最大农业灌溉规模；利用现代生物与材料技术，大力加强现代农业育种栽培技术与节水灌溉技术的推广与应用；利用信息技术武装精细农业，提高单位耗水的粮食产量。

3.3 构建“一轴两翼四核五段”的“丝路”旅游经济带

目前，新型旅游方式助推产业升级方兴未艾，高科技助力旅游产业正不断显现，为旅游主业转型提供有力的科技战略支持。“丝绸之路”拥有巨大的文化遗产，沿线资源环境丰富，满足多样的新型旅游方式，也为使用现代科技对“丝绸之路”实施“保护性开发”提供了条件。因此，要充分利用新欧亚大陆桥在“丝绸之路经济带”中的旅游经济与产业布局方面的作用，打造沿线旅游新产业、带动新经济。通过系统分析，提出了“一轴两翼四核五段”的“丝绸之路经济带”旅游格局。

构建“一轴两翼四核五段”格局下的“中国-中亚丝绸之路旅游经济带”，着力打造产（文化旅游与文化创意产业）、教（实用技术培训与“丝路”精神教育）、研（“丝路”经济新产业与新学科的研究）一体的新经济利益共同体，率先实现数字旅游、虚拟旅游、科技旅游，使之成为西向开放战略的重点之一。

利用现代科技开发新能源也是一条可选之路。应充分利用中国与中亚五国的时间差，发展光伏发电产业；发展风力发电产业，建设分布式综合能源支柱基地，增强可再生能源设备制造业，形成与主系统配套的循环经济。

4 构建基于空间观测的“数字丝路”

作为利用海量、多分辨率、多时相、多类型对地观测数据和社会经济数据及其分析算法和模型构建的信息地球，正成为人类深入认识地球、理解地球，进而合理开发和利用人类赖以生存的地球资源和促进全球环境可持续发展的重要科技领域。构建基于空间观测技术研究“一带一路”的“数字丝路”，是数字地球的一个新方向（图3）。利用不同对地观测和相关数据，建设空间大数据共享平台，与国际组织和国际计划结合，开展6个领域的研究，形成“一带一路空间信息系统与科学模式”。

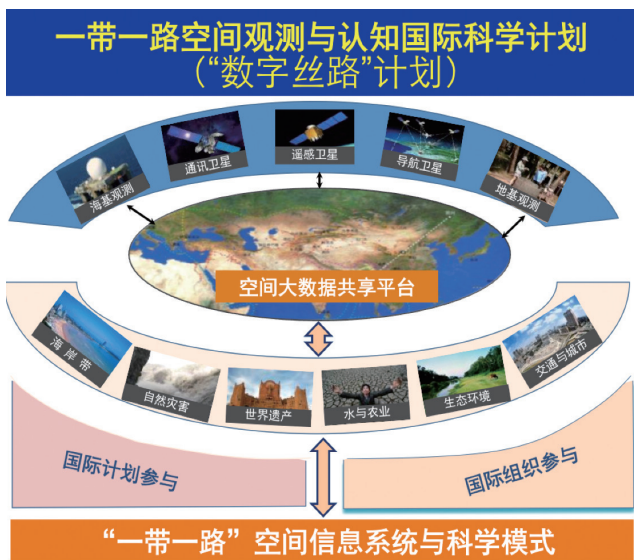


图3 “数字丝路”框架

“数字丝路”基于天基、空基、地基的多源海量数据并利用模拟手段来认识“一带一路”。“数字丝路”是一个巨型的数据、信息系统，汇聚与表征了与地球和空间相关的数据与信息；“数字丝路”是一个数字化的虚拟系统，可以对复杂地学过程与社会经济现象进行可重构的系统仿真与决策支持。“数字丝路”中的以下两点尤为重要。

4.1 “一带一路”空间大数据

(1) 建设“一带一路”空间大数据中心。建立天空地一体化的空间数据获取系统和可视化系统，以及以我国卫星数据为基础，汇聚国际其他空间组织提供的观测数据资源，结合“丝路”环境资源管理、文化旅游所涉及到的其他类型数据的收集和融合应用，为区域可持续发展提供强大的、可持续的空间数据设施。(2) 建立空间大数据共享服务系统。包括区域空间数据资源目录、区域空间数据元数据仓库和区域空间数据发现代理机制等基础性设施，可以构建以中国三亚为中心的东盟区域综合地球观测数据共享设施和以中国喀什为中心的中亚区域综合地球观测数据共享设施。(3) 建立空间大数据密集计算平台。以中国三亚为基地建立集中式的大型云计算设施，利用云计算、数据密集计算和资源虚拟化技术构建区域观测大数据设施，提供集空间信息存储、处理计算、分析设施一体化的云端应用服务，实现信息资源的动态调配和按需服务。

4.2 “数字丝路”应用领域

(1) 生态环境动态分析。研究该地区生态环境要素的时空演进格局和影响区域生态格局的驱动因素，评估生态环境系统的承载能力和区域脆弱性与适宜性及其对区域社会经济发展的影响。(2) 重大自然灾害风险综合研究。开展灾害特征要素空间观测研究，揭示自然灾害在该区域的时空分布规律，建立和发展基于空间观测数据的灾害风险预警与评估模型。(3) 水资源时空格局与安全性。研究该区域流域水资源的时空分布格局特征以及变化驱动机制，研究该区域水资源的承载力及应对

干旱、洪涝等灾害的能力，分析水资源与社会经济发展间的相互作用规律与机制。(4) 城镇化与自然文化遗产地监测。开展过去绿洲与城镇遗迹组合以及古河流、古湖泊与周边遗址组合的空间考古研究，揭示历史时期城镇聚址兴衰对古环境变化的响应，分析城镇资源环境承载力与发展潜力。(5) 典型海域与海岸带环境变化。分析海岸带环境要素时空变化规律，开展海岸线变化、近海岸土地利用与覆盖变化、港口和港口城市发展进程等应对研究。(6) 农情监测与粮食安全。建设基于“互联网+”的“一带一路”农情遥感速报系统，监测该地区的耕作活动、农业气象、大宗作物生长形势与产量信息。

5 结语

“一带一路”是我国面对世界发展新格局制定的一个具有突破性、全局性、长远性的国家战略和实现中国梦的重大布局。在这项雄伟的建设工程中，空间对地观测技术可以发挥重要的作用，特别是在全局宏观分析、长周期动态监测中更具有独特优势，其产出可为国家和国际合作者提供先期科学支持。构建基于空间观测的“数字丝路”，不仅可形成“一带一路”信息的重大基础设施，更可为“一带一路”决策者和参与者提供决策支持，对保障“一带一路”的建设和可持续发展具有重大意义。

致谢：本文引用了中科院学部咨询项目“丝绸之路经济带资源环境格局与发展潜力空间认知”部分内容，感谢“丝路”项目组研究人员、特别是吴炳方、王心源、李新武、刘洁、陈方、李国庆、张增祥、刘亚岚、王世新等的支持与贡献。

参考文献

- 1 国家发展改革委，外交部，商务部. 推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动. 北京：外交出版社，2015.
- 2 汤敏. 我国新时期对外开放的“龙头”. 光明日报，2015-3-12.
- 3 陈述彭. “数字地球”战略及其制高点. 遥感学报，1999，3(4):

- 247-253.
- 4 郭华东. 对地观测系统的构建及应用. 北京: 科学出版社, 2001.
- 5 郭华东, 陈方, 邱玉宝. 全球空间对地观测五十年及中国的发展. 中国科学院院刊, 2013, 28(z1): 7-16.
- 6 CEOS. The Earth Observation Handbook. In: Ward S, eds. UK: Symbios Spazio Ltd, 2015. <http://www.eohandbook.com/>
- 7 《卫星应用》编辑部. 卫星遥感应用回顾. 卫星应用, 2016, 6(2): 17-18.
- 8 林明森, 张有广, 袁欣哲. 海洋遥感卫星发展历程与趋势展望. 海洋学报, 2015, 37(1): 1-10.
- 9 蒋兴伟, 林明森. 海洋动力环境卫星基础理论与工程应用. 北京: 海洋出版社, 2014.
- 10 郭华东, 王长林. 数字地球: 十五年发展与前瞻. 中国科学院院刊, 2013, 28(z1): 59-66.

Earth Observation for the Belt-Road and Digital Belt-Road Initiative

Guo Huadong Xiao Han

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

Abstract The Belt and Road initiative, involving 65 countries with a total population of 4.4 billion, is not only a major national strategy but also an international initiative characterized by wide ranges, long-term, and diverse fields. In the context of the regional and global challenges of sustainable development brought by environment protection, resources, energy, hazard risks, and global change, this study aims to explore how space-based Earth observation technology can support to deal with those challenges by examining the advantages and capability of this technology. And then the establishment of a Digital Silk Road based on the spatial observation is further proposed, which will promote the S&T and overall cooperation between China and the other related countries by providing spatial data, environmental information, and decision support. Digital Silk Road will definitely serve and contribute to the construction of the centurial project, One Belt and One Road.

Keywords the Belt and Road, Earth observation, scientific cognition, Digital Silk Road, sustainable development

郭华东 中科院院士、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所研究员，博士生导师。现担任国际数字地球学会（ISDE）主席及ISDE中国国家委员会主席、国科联（ICSU）国际科技数据委员会（CODATA）前主席、灾害风险综合研究计划（IRDR）科学委员会委员及IRDR中国委员会主席、《国际数字地球学报》主编等职。主要从事遥感科学与应用研究，在遥感信息机理、雷达对地观测、数字地球科学等方面取得系列成果。发表论文400余篇，出版专著和主编著作16部，获国家和省部级科技奖励13项。E-mail: hdguo@radi.ac.cn

Guo Huadong Professor of the Institute of Remote Sensing and Digital Earth (RADI), Chinese Academy of Sciences (CAS), an Academician of CAS, a Fellow of the World Academy of Sciences for the Advancement of Science in Developing Countries (TWAS), and an Academician of the International Eurasian Academy of Sciences (IEAS). He presently serves as President of the International Society for Digital Earth (ISDE), Past-President of the ICSU Committee on Data for Science and Technology (CODATA), Science Committee Member of the Integrated Research on Disaster Risk (IRDR) programme co-sponsored by ICSU, ISSC, and UNISDR, Editor-in-Chief of *the International Journal of Digital Earth*, and Chairman of the Chinese National Committee for ISDE and China Committee for IRDR. He specializes in the remote sensing science and its applications, and has conducted ground-breaking research on the information mechanisms of remote sensing, radar for Earth observation, and Digital Earth science. Prof. Guo has published more than 400 papers and 16 books, and is the principal awardee of 13 national and CAS prizes. E-mail: hdguo@radi.ac.cn

(相关图片请见彩插一)