



“遥感先行”服务自然资源调查技术变革与调整

李志忠^{1,2}, 穆华一^{1,2}, 刘德长^{2,5}, 孙萍萍^{1,2}, 党福星³, 刘拓^{1,2}, 贾俊¹,
王建华^{2,4}, 韩海辉¹, 马维峰^{2,6}, 汤晓君^{2,7}, 李文明¹, 赵君¹

1. 中国地质调查局 西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 中国地质调查局 西部绿色发展研究院, 陕西 西安 710054; 3. 中国地质调查局 自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083;
4. 中国科学院空天信息创新研究院, 北京 100101; 5. 核工业北京地质研究院, 北京 100029;
6. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 7. 西安交通大学 电气工程学院, 陕西 西安 710049

摘要: 随着遥感技术的发展和自然资源事业对遥感应用需求的不断增多,通过遥感先行开展先行观测、先行探测、先行监测,强化自然资源数据的获取,提高调查的精度和速度,遥感技术正在促进自然资源调查程序和方式的转变。本文围绕新时代自然资源调查体系的新变化,提出了遥感先行的理念、目标及发展方向,认为:1)遥感先行是自然资源调查监测技术体系构建的重要内容,可实现对自然资源全要素、全覆盖、全天候、全尺度的调查监测;2)通过遥感技术方法体系的创新、遥感产品的转化应用等,可发挥遥感技术在矿产、生态、水、土、灾害等调查监测中的重要先行作用;3)“天-空-地”一体化的遥感综合观测技术是推动中国西部地区自然资源精准快速调查和全球尺度环境问题监测的最佳技术手段。

关键词: 遥感;自然资源;生态文明;天-空地一体化;地球系统科学;西部地区

REMOTE SENSING FIRST: Service for the Technological Revolution and Innovation in Natural Resources Survey

LI Zhi-zhong^{1,2}, MU Hua-yi^{1,2}, LIU De-chang^{2,5}, SUN Ping-ping^{1,2}, DANG Fu-xing³, LIU Tuo^{1,2}, JIA Jun¹,
WANG Jian-hua^{2,4}, HAN Hai-hui¹, MA Wei-feng^{2,6}, TANG Xiao-jun^{2,7}, LI Wen-ming¹, ZHAO Jun¹

1. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, China; 2. Green Development Institute of Western China, CGS, Xi'an 710054, China;
3. Airborne Geophysical Prospecting and Remote Sensing Center for Natural Resources, CGS, Beijing 100083, China;
4. Aerospace Information Research Institute, CAS, Beijing 100101, China; 5. Beijing Institute of Uranium Geology, CNNC, Beijing 100029, China;
6. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 7. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

Abstract: With the development of remote sensing (RS) technology and increasing demand for the application of RS in natural resources survey, RS is promoting the transformation of procedure and method in natural resources survey by means of prior-observation, prior-detection and prior-monitoring to enhance the acquisition of natural resources data and improve the accuracy and speed of survey. Based on the new changes of natural resources survey system in the new era, the paper puts forward the concept, goal and development direction of Remote Sensing First as follows: RS-first is an important part of the construction of natural resources survey and monitoring technology system, which can realize the

收稿日期:2021-03-11;修回日期:2020-03-23. 编辑:张哲.

基金项目:国家重点研发计划“全球巨型成矿带重要矿产资源与能源遥感探测关键技术”(2012AA12A308);国际地科联地质对比项目“土地资源演变机制及其可持续利用”(IGCP665);国家地质调查项目“黄河中游生态地质调查”(DD20211398),“黄河源地区生态地质调查”(DD20190539).

作者简介:李志忠(1963—),男,研究员,从事遥感地质应用研究工作,通信地址 陕西省西安市友谊东路438号,E-mail/lizz2009@vip.163.com

通信作者:穆华一(1974—),女,讲师,从事地质科技管理和地质杂志英文编辑,通信地址 陕西省西安市友谊东路438号,E-mail/1517993978@qq.com

total-factor, full-coverage, all-weather and full-scale survey and monitoring of natural resources; Through the innovation of RS technology and transformation/application of RS products, RS can play an important leading role in survey and monitoring of minerals, ecology, water, soil and disaster; The integrated satellite-aero-ground RS observation is the most effective technical means to promote the accurate and rapid survey of natural resources in western China, as well as monitoring of global-scale environmental problems.

Key words: remote sensing; natural resources; eco-civilization; satellite-aero-ground integrated survey; earth system science; western China

0 引言

生态文明建设已被纳入国家的战略布局。为推进生态文明体制改革,自然资源部把“山水林田湖草”作为一个生命共同体,以自然资源科学和地球系统科学理论为指导,逐步实现山水林田湖草的整体保护、系统修复和综合治理,为保障国家生态安全提供基础支撑,为实现国家治理体系和治理能力现代化提供服务保障。新时代国家粮食能源安全保障、水资源安全、重大区域发展战略、重大工程建设、“一带一路”倡议、海洋强国战略、国土空间规划和自然资源管理等都对自然资源调查工作提出新的要求,为自然资源调查体系的变革与调整提供了难得的发展机遇。遥感先行是自然资源事业发展的需要,是遥感科技创新的需要,是天空地遥感调查监测技术体系发展的要求。

1 新时代自然资源调查的新变化

1.1 自然资源调查体系的指导思想发生重大变化

作为“统一行使全民所有自然资源资产所有者职责”的关键环节之一,新时代自然资源调查工作更聚焦国家重大需求和战略部署,服务方向从土地矿产资源为主向整个自然资源全要素转变,指导理论由传统土地和地质学向地球系统科学和自然资源科学转变,调查周期由阶段性向持续性转变,调查模式由专一调查向调查-监测-评价一体化转变,调查思维由注重资源开发利用价值向综合考虑资源利用涉及的人地关系转变,调查机制也由多部门分散组织向标准统一、数据衔接、成果共享的统筹协调方式转变。

1.2 自然资源调查体系的工作任务发生重大变化

为增强服务生态文明建设的能力和水平,新时代自然资源调查工作的重要任务将是建立以地下资源层、地表基质层、地表覆盖层和管理层为基础的自然资源调查监测体系,系统开展统一调查监测评价,查清全

国土地、矿产、森林、草原、水、湿地、海域海岛等各类自然资源真实家底和变化情况,揭示自然资源要素相互关系和生态系统演替规律。目前,水资源调查已扩展到大气水、地表水、地下水和海洋水的四水归一的全覆盖调查体系;地表基质调查作为一项新的工作内容,跨越了多门类自然资源业务体系和学科体系,需要不断构建能串联地表和地下矿产、岩石、土壤等基础物质的调查技术流程和方法体系。关键带是衔接地表基质层和地表覆盖层的重要纽带^[1],生态地质调查工作在关键带分析研究中的作用已初步显现,而健康地质调查工作新体系的探索与创建,将不断拓展自然资源调查监测体系的内容和应用,更好地支撑地质文化村、现代农业富硒产业园、国家公园等建设,有效服务于健康中国战略和乡村振兴战略。

1.3 自然资源调查体系的技术方法发生重大变化

目前,自然资源调查手段已由传统调查方法向以依托科技创新和现代信息化建设为技术支撑的新方法转变。在地质调查过程中,已逐步形成应用大数据、云计算、人工智能、5G 技术、北斗卫星导航系统为核心的信息技术,改造、引领和支撑地球物理、地球化学、遥感、钻探、分析测试、地质信息和资源利用等七大传统地质调查手段,提高未来地球演化的预警、预报和预测水平。新技术的加入将进一步完善对自然资源开发利用和地质灾害、土地荒漠化、水土流失等风险问题的调查、评价和监测预警体系,着力提升各类灾害隐患识别与风险调查能力,构建“天-空-地-网”的自然资源动态立体监测预警体系,破解“隐患在哪里”“灾害何时发生”“危害程度如何”等关键问题,不断增强防灾、减灾、抗灾的能力和水平。

1.4 自然资源调查体系的应用需求发生重大变化

自 1998 年“数字地球”概念提出后,以整体的视野思考和统筹地球信息资源的开发利用模式正在逐步构

建。放眼全球,发展全息数字地球是必然趋势,也具有重要的战略意义。借助自然资源和地质云平台,以对全球环境具有重大影响的土壤、水、大气、矿山环境、林草/湿地、荒漠化/沙化、污染状况等地球健康要素为目标,构建地球数据的全新生态系统,发展地球系统科学,支撑国家数字地球系统建设,实施国家区域发展战略,推进京津冀协同发展、长江经济带发展、粤港澳大湾区建设、长江一体化发展,推动黄河流域生态保护高质量发展,高标准、高质量建设雄安新区,以及推进新型城镇化,需要充分发挥自然资源和国土空间综合调查的基础先行作用。

2 为什么要遥感先行

遥感在“山水林田湖草”自然资源“三测”(观测、探测、监测)中先行,具有明显的现今其他技术方法无法替代的优势,主要体现在快速、多尺度、多角度、立体、动态、综合等方面。

2.1 遥感可以快速观测自然资源的分布特征

利用多目标增强的遥感图像,通过人工智能解译,可以快速查明目标区的山、水、林、田、湖、草等自然资源要素的类型、位置、形态和分布特征等信息。利用多空间分辨率的遥感图像,不仅可以调查、监测大区域乃至全球的山、水、林、田、湖、草等,而且还可以直观显示各要素的细节,甚至一棵树冠。

2.2 遥感可以快速探测自然资源的物化特性

利用多光谱遥感,不仅能从可见光角度对山、水、林、田、湖、草进行调查和监测,而且可以从红外、微波的角度进行物化特性探测,尤其是发挥高光谱遥感图谱合一的特点,不仅能高精度地识别山、水、林、田、湖、草的几何形态及各要素的光谱特征,还可以通过识别其物质成分进行定量分析。利用航天遥感、航空遥感、地面遥感,可对山、水、林、田、湖、草形成天-空-地一体化的立体探测、调查和监测,掌握资源的数量(面积、体积、储量)、质量和生态状况。

2.3 遥感可以快速监测自然资源的动态变化

利用不同时代、不同时相的遥感数据,可对山、水、林、田、湖、草进行长序列动态监测,研究其随时间和季节的变化特征及规律,形成林草田占用破坏、水土流失、荒漠化、矿山开发治理等有关灾变风险变化数据。同时利用多源遥感数据,还可提取多年植被覆盖度、净

初级生产力、叶面积指数、蒸散发等生态特征参量,支撑国土空间规划、生态保护与修复、自然资源资产管理、耕地保护、自然资源开发利用、地质矿产等工作。

2.4 遥感可以快速分析自然资源利用涉及的人地关系

遥感图像是地物信息综合体的真实反映,不仅可以掌握山、水、林、田、湖、草之间的相互转化关系,还可以分析其所处的地质背景、地形地貌、气温降水、人类活动等,从而进行“水-土-气-生-人”综合作用分析,从源头上为国土空间优化和生态保护修复提供理论依据和技术支撑。

2.5 遥感先行已具备较好的实施基础

目前,中国基于天-空-地一体化的遥感综合观测系统已形成,建成了以遥感、传感器、物联网等为主体的调查监测观测技术体系,实现了调查数据的采集、传输、处理、应用、服务全流程信息化。地质云、大数据、人工智能与调查业务深度融合,以数据驱动助推转型发展,形成了完善的地学信息服务体系。此外,自然资源部遥感技术装备力量雄厚,形成了航空遥感飞机网络系统,拥有高精度摄影相机、高光谱成像仪和水深激光测量仪等先进装备,构成12颗遥感卫星天网,已获取全球450万景国产卫星影像数据,为遥感先行奠定了坚实基础。

综上,随着国家经济实力的提高、遥感技术发展以及应用需求的不断增多,遥感应用正在发生巨大的变化。通过先行观测、先行探测、先行监测,可以发现更多新现象,提出更多新问题,为后续地表结构破坏的修复、治理提供科学依据。遥感先行理念的实行,是切实体现构建以遥感监测为主要手段的自然资源调查监测技术体系的重要使命。通过遥感先行加强自然资源数据获取,提高对多源数据的处理速度以及应用产品的深加工能力,提升自然资源遥感调查能力,实现对自然资源全要素、全覆盖、全天候、全尺度的调查监测,切实服务自然资源中心工作,以适应生态文明建设和自然资源管理的需要。

3 如何做到遥感先行

3.1 精准对接国家重大需求

根据国家制定的“十四五”规划和2035年远景目标,逐项分解涉及自然资源调查的工作任务,发挥遥感调查监测技术的优势,找出切入点,以地球科学为指

导,以解决重大资源环境问题为核心,聚焦影响能源安全、粮食安全、生态安全的自然资源要素,以及乡村振兴、城镇化推进、绿色发展、国家公园建设等要素保障需求,以系统思维开展自然资源保护、开发、利用、恢复成效的调查、监测和评估,尤其是在西北承受力脆弱地区先开展遥感综合“三测”。

3.2 聚焦典型资源环境问题

以核心科学体系战略和天-空-地一体化监测体系为基础,通过多要素综合研究、多学科交叉融合和系统论应用,聚焦新领域中的新任务、新难点,解决重大资源环境问题,科学推进荒漠化、石漠化、水土流失、黑土地保护、冻土消融灾变、矿产环境恢复治理等典型问题,加强全球气候变暖和人类活动对资源环境变化带来的驱动效应。

3.3 创新遥感技术方法体系

研发智能化遥感填图技术、基于大数据和云计算的生态环境遥感综合监测技术、高精度遥感地体解译技术,占领地球观测制高点。加强地质智能感知体系建设,建立星空地观测、地面综合实时监测网络体系。按照地质云、大数据、智能化“三位一体”总体布局,加快遥感技术与5G、区块链、知识图谱、空间信息等新一代信息技术的融合应用,将自然资源调查监测数据打造成建设“数字地球”的核心资源,使调查、监测、评价、区划、科研等数据在提升地质调查现代化工作能力和社会化服务水平中发挥重要作用。

3.4 加速遥感产品研发与转化应用

面向自然资源调查领域工作需求,加快遥感地质科技创新成果的转化,将遥感地质调查技术成果应用于自然资源综合调查评价。应用优势的遥感勘查技术,服务经济社会建设主战场,服务生态文明建设和自然资源管理中心工作。

4 在哪些领域遥感可以先行

在自然资源调查监测许多领域中,遥感发挥了重要先行作用,为资源三测、生态文明建设和自然资源管理工作提供了重要决策依据。

4.1 西部干旱少植被区矿产资源调查

在西部干旱少植被区,遥感地质调查是地质基础调查中的基础,先行中的先行。为保障矿产资源安全,中国地质调查局在中国西部干旱少植被区实施了一系

列重大项目。通过西部重要成矿带部署矿产资源遥感综合调查项目,创造性地将高分辨率遥感数据与多光谱、高光谱遥感数据相结合,开展多层次遥感解译,形成了一套高分遥感地质矿产调查技术方法体系,实现了多元、多层次遥感技术的综合应用,编制了工作区的岩性构造图、遥感异常图、遥感找矿预测图等基础性图件,开展成矿信息的综合分析和预测,新发现一大批遥感异常和上百处矿化点、矿化线索、地质找矿线索。西部干旱少植被区地质矿产调查,充分发挥了遥感地质的基础和先行作用,为实现地质找矿快速突破提供了技术支撑。2018年,中国地质调查局建立了高寒深切割区遥感+地质+地球化学“空地一体”快速勘查技术方法体系,引领昆仑-阿尔金地区快速取得锂矿找矿重大突破^[2],南疆逐步成为中国战略性矿产大型资源基地。此外,利用多源遥感数据和多特征匹配滤波技术,在西昆仑准确识别铅锌矿赋矿地层信息,结合地球化学、电阻率测深信息,快速实现和田甜水海地区萨岔口、五峰山一带铅锌找矿新发现。针对蚀变矿物遥感信息与地质背景临界阈值的定量化问题,建立了分维变点模型,形成高光谱标志性蚀变矿物组合找矿预测方法,实地验证显示高光谱蚀变异常提取精度达82%,奠定高光谱遥感技术在地质调查领域的推广基础,推动高分、高光谱遥感调查技术在西北地区矿产勘查中的规模化应用。

4.2 地质灾害调查监测

地质灾害遥感调查监测主要是采用多频段、多参数的天-空-地一体化观测技术,有效判读地质灾害孕灾背景、灾害特征、变形速率和发展趋势等信息,进一步为地质灾害识别、监测、防治、评价以及突发地质灾害应急处置等提供基础资料与决策依据^[3-5]。以卫星为主的天基层面,主要采用光学遥感、高光谱等手段,揭示孕灾背景、灾害范围以及影响因素等,运用InSAR技术获取地表形变信息;以无人机、有人机为主的航空层面,主要采用无人机航摄、LiDAR、贴近摄影等手段,获取地质灾害灾变形态特征、位移变化特征等。随着遥感观测技术的快速发展,在地质灾害早期识别、隐患排查、监测以及灾情评估等方面,“遥感先行”这一理念得到了广泛应用。2018年10月和11月金沙江白格滑坡、2019年7月贵州水城滑坡等灾害应急处置中,采用综合遥感技术准确获取了灾害规模、变形速率等关

键信息,为地质灾害应急指挥、抢险救灾以及科学决策提供了重要的技术支撑^[6-7]。在黄土高原地区,通过建立基于人工智能的地质灾害遥感识别技术,实现了隐蔽性黄土地质灾害的早期识别和监测预警^[8-9]。2016年以来该技术已成功实现天水、延安和沿黄公路沿线大面积强降雨引发的黄土地质灾害灾情的多次预警,有效降低了地质灾害造成的生命财产损失。

4.3 地表生态植被和水、土资源监测

地表生态植被调查,需要叠加长时序的遥感观测,综合地理、气候、经济、人文等因素,进行植被生态状况变化、生态系统功能分析和质量监测等工作,是数量、质量、生态三位一体的调查监测。

目前,自然生态植被遥感监测围绕自然资源管理“质量、生态”管控需求,综合利用大幅宽多光谱卫星的高重访能力和高光谱卫星的地物光谱探测能力,通过监测植被覆盖度、叶面积指数和净初级生产力(NPP)等指标,分析植被覆盖空间分布及变化特征。针对不同生态功能区、典型流域或生态单元开展大范围、长时序的宏观监测,可有效获取区域的植被生态状况时空演变趋势信息。2017年,中国地质调查局在南疆焉耆盆地实现无人机高光谱遥感技术与土壤地球化学调查技术协同,建立了盐渍化强度遥感反演模型,实现耕地盐渍化的快速、精准监测识别,揭示了1998—2017年盐渍化演化规律,为地方政府开展生态保护与治理提供决策依据^①。2019年以来,在西北的黄河源头、祁连山黑河流域、贺兰山、陕北毛乌素以及南疆塔河流域,利用多源遥感技术开展生态地质调查和环境地质调查,宏观掌握了2000年以来西北主要生态功能区的植被变化状况,定量分析了气温、降水、土壤等因素对生物量和生态环境变化的影响,揭示出不同区域植被生态状况时空演变趋势与差异。

在自然资源部水资源监测中,遥感先行作用主要表现为:具有全国顶级的卫星遥感数据接收、航空遥感数据采集、数据处理与应用等能力,实现了对一到三级河流、面积1 km²以上湖泊和水库每年两次动态监测,降水量、下垫面等水循环要素的监测,冰川、江河湖库塘体积、储量的监测。

4.4 土地动态变化监测

土地利用动态遥感监测是以土地变更调查的数据

及图件为基础,运用遥感图像处理与识别技术,从遥感图像上提取变化信息,从而达到对耕地及建设用地等利用变化情况的定期监测的目的。

目前开展的全球黑土地关键带地质生态天-空-地一体化调查与评价工作,是以地球系统科学理论为指导,以黑土地关键带相关理论体系为核心,形成了以高光谱遥感为代表的多手段联合勘查技术体系。2018年,中国地质调查局在黑龙江省海伦地区开展航空高光谱遥感土壤调查数据1500 km²,航空高光谱遥感农作物监测600 km²,提取了土壤地球化学指标包括有机碳、全氮、碱解氮、全磷、全钾、硒、铬等12种元素;土壤物理指标包括阳离子交换能力、全盐量、pH值、地表温度等;农作物生长状态指标包括植被叶绿素含量、叶面积指数。依据高光谱反演得到的影响土地质量的养分、有益元素、有害元素等含量数据,对黑土地质量进行了综合评价^[10-14]。黑土地动态变化监测示范是遥感精准对接黑土地调查监测的重要体现,支撑了黑土地保护和科学开发利用。后续还将通过长时序监测,建立基于玉米、小麦、水稻、大豆等不同农作物物候特征的光谱曲线模型,提取出粮食作物、非粮食作物、粮食与非粮轮作和未耕种等4类信息,对重要产粮区耕地进行“非粮化”“非农化”监测分析。

4.5 地表重大工程建设

地表重大工程建设遥感调查主要是紧密结合地表重大工程建设安全评价需求,通过遥感先行解译,进行构造地貌调查,综合地球物理探测、钻孔联孔剖面与断层位移监测等技术方法,开展地表重大工程区域活动断裂调查,查明活动断裂的位置、活动方式与最新活动时代,揭示主要活动断裂对近地表不良工程地质问题的控制作用,评价工程区及邻区地壳稳定性,服务于重大工程规划建设。

4.6 城乡规划调查和生态文明评价

遥感技术为城乡空间规划提供了解决问题的有力工具,利用不同分辨率的遥感影像提取城乡空间规划所需要的信息以及资源、环境、生态、灾害等要素信息。在规划前期,卫星遥感提供基础底图数据作为规划基础;在规划实施中,卫星遥感可以对实施效果进行监测监管;规划实施后,卫星遥感可以对规划结果进行宏观评估。遥感先行同时也有助于城乡国土空间规划的质

①刘拓,等.西北五省耕地地区1:25万土地质量地球化学调查.中国地质调查局西安地质调查中心,2019.

量和管理效率的提高,如围绕空间规划、用途管制等需求,在遥感监测的基础上,结合社会、经济、文化、历史及相关行业管理等数据,建立综合分析评估评价模型,开展适宜性分析评估,为明确城镇建设最大合理规模和适宜空间提供依据。

通过自然保护区的人类活动符合性分析,掌握全国各地自然保护区人类活动干扰情况,为保护区监管提供依据;通过对风力发电和光伏发电设施适宜性评估,为全国绿色能源设施布局提供参考;通过对全国新增建设用地的综合性评价,挖掘重点城市发展态势,分析全国经济发展格局均衡状况,为国家宏观经济调控提供决策支持——这些都是 2020 年以来综合调查监测的主要任务。

在生态文明评价中,通过遥感先行,获取多尺度生态地质和生态状况调查成果,支撑了生态地质调查体系的建立;获取防护林退化、湖泊萎缩、土地沙化、石漠化等生态变化重要信息和数据,为破解重大生态问题机理、支撑科学保护修复提供服务。每年定期开展全国新增矿山恢复治理面积监测,长江经济带、京津冀、汾渭平原废弃矿山修复工程进展监测,水环境保护与整治、低质低效林改造、水土流失治理、矿山环境修复、土地整治与土壤改良等生态保护与修复工程实施成果监测,为服务国家绿色发展指数和生态保护修复重大工程监测监管起到支撑作用。

4.7 碳源汇时空分布状况的调查反演

“十四五”规划中明确提出我国要加快推动绿色低碳发展,促进人与自然和谐共生。在区域尺度,卫星遥感技术是探测大气中碳浓度的有效手段,在国内外已取得一定应用效果。遥感监测结果显示,2018 年全球大气 CO₂ 浓度同比增长率从 2016 年的 0.72% 下降到了 0.48%。与此同时,全球生态系统固碳能力逐年增加,减缓了 CO₂ 浓度增速。中国于 2016 年发射了首颗二氧化碳科学观测实验卫星,成为全球第 3 个可提供碳卫星数据的国家。这颗“碳卫星”搭载的高光谱温室气体探测器可以高精度地反演大气中 CO₂ 浓度,动态监测大气 CO₂ 浓度分布和变化情况,可为应对全球气候变化提供准确依据。目前,研究人员已通过该卫星获取的全球叶绿素荧光反演图来监测和分析地球的“绿色生产力”。“十四五”期间,自然资源调查监测中,也应优先构建先进的天地一体化碳卫星监测技术体

系,加快推进人为源和自然源引起的温室气体排放卫星监测技术及应用,协助国家林草局等机构建立国家温室气体排放清单独立核算技术体系和相关国际标准规范,形成用于应对全球气候变化研究的中国方法和中国数据,引领全球碳排放监测技术能力。2019 年,中国地质调查局在配合国家林草局开展的全国泥炭碳库调查研究中,也逐步探索了基于地面钻探-遥感反演-实验测试一体化的碳源汇时空分布调查反演技术体系,期望通过遥感技术快速掌握泥炭发育区碳源汇时空分布格局,分析泥炭的形成时代、对应成炭期、气候背景来研究青藏高原等典型区域泥炭发育中碳循环过程及对气候变化的影响,为逐步提升中国在国际气候变化方面的话语权提供科学支撑。

5 “遥感先行”推动西部地区自然资源精准快速调查

中国西部自然资源丰富,尤其是矿产资源丰富。西部地区的自然资源调查工作应紧密围绕国家新发展格局,精准对接“十四五”地质工作的十大需求,积极践行遥感先行的理念,结合西部地区自然资源、社会经济等状况,科学谋划,合理部署遥感地质调查工作。

5.1 推动西部地区能源矿产资源精准快速调查

围绕国家清洁能源和战略性矿产资源保障安全需求,在战略性矿产远景区、西部重要油气盆地地区,利用遥感技术对地热、天然气和战略性矿产资源进行精细化调查,摸清地表热异常、油气渗漏异常和蚀变矿物异常分布规律,为新一轮地质找矿行动提供支撑。

5.2 推动西部地区水土气生资源精准快速调查

围绕服务绿色发展、乡村振兴,保障国家粮食安全,推进生态文明建设需求,认真贯彻落实“让黄河成为造福人民的幸福河”的精神,树立“山水林田湖草”生命共同体理念,以地球科学系统理论为指导,结合西部地区已有自然资源、社会经济等资料,利用天-空-地一体化技术开展遥感综合调查,摸清西部地区土地、水、生物等资源和地质灾害等生态环境,形成产-学-研-用“四位一体”协同机制与模式。坚持优势互补、互惠合作、协同攻关的原则,依托西部绿色发展研究院平台,联合多家单位,形成跨区域整装成果。

5.3 推动西部地区典型关键带的精准快速调查和技术创新

围绕健康中国和平安中国建设需求,组织开展西

部健康地质调查应用示范,可选择以陕南秦岭地区和黄河“几字弯”陕西、甘肃、宁夏、内蒙、山西段为示范区,重点围绕土壤、水系和山体关键带监测需求,充分利用航天、航空、地面高光谱遥感及地球化学调查等技术,以“水资源+生态环境”为核心,统筹考虑“地上与地下”空间格局,数量、质量、生态“三位一体”工作思路,建立面向地球健康状况调查的地质工作体系,结合秦岭矿山环境恢复治理监测、黄河水土流失动态监测成果及黄土高原局部地区治理经验,开展黄河流域水土流失防治和秦岭生态修复方法技术研究,推进区域生态保护和高质量发展。

5.4 建立和完善西北特殊景观区的自然资源调查监测体系

以地球系统科学和自然资源科学为理论基础,以技术融合和科技创新为支撑基础,跟踪调查监测技术发展的方向,聚焦短板问题,健全自然资源监测体制,尤其是针对西北特殊景观区自然资源管理的需求,建立和完善适用于西北高寒深切割区、戈壁荒漠区、绿洲平原区、高山峡谷区、黄土高原区等不同景观区的自然资源与灾害遥感调查监测技术体系。

6 遥感先行支撑宜居地球与地球体检计划

目前,全球突出的环境问题主要有空气污染、水污染、土壤侵蚀、土地退化、湿地草场及天然森林不断减少等^[15]。面对众多的环境问题,世界自然基金会(WWF)从2012年开始每两年发布一次《地球生命力报告》,持续关注地球生命力状况。报告显示,人类活动正在不断地给地球累积压力,地球环境恶化,生物多样性持续丧失,生态系统健康遭破坏,地球生命力指数持续下降,且下降趋势正在加剧。面对此状况,急需对地球进行一次总体环境的评估。侯增谦院士通过分析美国、德国、英国等科技发达国家的地球系统科学战略及1980年以来实施的多项全球大科学研究计划,指出人类活动与自然环境的交互作用已逐渐成为地球表层系统演化的主要驱动力,通过建立强大的调查与评价、探测与观测、模拟与预测全流程技术体系,开展圈层相互作用研究,可以更好地理解宜居地球的时空演变^[16]。王焰新院士引入“同一健康”概念,探讨了医学地质研究需要为预防、监测和控制全球性传染病提供地学理论、数据和方法支撑,进而研究在人类活动影响下,地

球物质循环、生态系统韧性变化与疾病出现和传播的成因联系^[17]。

针对全球尺度问题,基于天-空-地一体化的遥感综合观测技术是最佳体检手段,可在全球范围内开展多圈层、多尺度、多角度、多探测介质的一体化监测与评估,对地球健康状况进行全面体检,可对地球现状进行系统科学的认识、分析与评价。

以地球关键带理论为指导,系统开展地球体检,实现宜居地球目标,以遥感先行,利用卫星、遥感等现代信息技术为支撑,建立对全球环境具有重大影响的土壤、水环境、大气环境、矿山环境、林草/湿地、荒漠化/沙化、污染状况的地球健康检查要素,融合地球表层系统科学、公共卫生、生态环境等领域的权威专家,建立地球健康检查指标体系,结合光谱影像的高效处理和人工智能解译对每项指标进行专家评分,并根据各项指标的权重对地球健康进行总体评价,从而形成地球体检报告。

7 结论

1)遥感先行理念的实行,是构建以遥感先行技术体系重要使命的切实体现。通过遥感先行,可进一步促进遥感技术的产业化,使其在“山水林田湖草”自然资源三测中发挥更大的作用。

2)中国西部自然资源调查工作应紧密围绕国家新发展格局,结合区内自然资源、社会经济状况等,积极践行遥感先行的理念,科学谋划,合理部署遥感地质调查工作。

3)随着中国航天事业获得快速发展,遥感卫星的数量和种类已满足全球监测的需要,辅之北斗导航卫星的精准定位,无论在数据还是技术方面都可支撑地球体检计划的尝试与探索,且随着技术体系的成熟和发展,有望直接推送遥感地球体检工作的规模化应用。

参考文献(References):

- [1]安培凌,张志强,王立伟.地球关键带的研究进展[J].地球科学进展,2016,31(12):1228-1234.
- An P J, Zhang Z Q, Wang L W. Review of earth critical zone research [J]. Advances in Earth Science, 2016, 31(12): 1228-1234.
- [2]金谋顺,高永宝,李侃,等.伟晶岩型稀有金属矿的遥感找矿方法——以西昆仑大红柳滩地区为例[J].西北地质,2019,52(4):222-231.

- Jin M S, Gao Y B, Li K, et al. Remote sensing prospecting method for pegmatite type rare metal deposit—taking Dahongliutan area in western Kunlun for example[J]. *Northwestern Geology*, 2019, 52(4): 222–231.
- [3] 葛大庆. 地质灾害早期识别与监测预警中的综合遥感应用[J]. *城市与减灾*, 2018(6): 53–60.
- Ge D Q. The application of multi remote sensing technique on early warning and monitoring of landslides[J]. *City and Disaster Reduction*, 2018(6): 53–60. (in Chinese)
- [4] 许强. 对地质灾害隐患早期识别相关问题的认识与思考[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2020, 45(11): 1651–1659.
- Xu Q. Understanding and consideration of related issues in early identification of potential geohazards[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(11): 1651–1659.
- [5] 许强, 董秀军, 李为乐. 基于天-空-地一体化的重大地质灾害隐患早期识别与监测预警[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2019, 44(7): 957–966.
- Xu Q, Dong X J, Li W L. Integrated Space-Air-Ground early detection, monitoring and warning system for potential catastrophic geohazards [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2019, 44(7): 957–966.
- [6] 王立朝, 温铭生, 冯振, 等. 中国西藏金沙江白格滑坡灾害研究[J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2019, 30(1): 1–9.
- Wang L C, Wen M S, Feng Z, et al. Researches on the Baige landslide at Jinshajiang River, Tibet, China[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2019, 30(1): 1–9.
- [7] 陆会燕, 李为乐, 许强, 等. 光学遥感与 InSAR 结合的金沙江白格滑坡上下游滑坡隐患早期识别[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2019, 44(9): 1342–1354.
- Lu H Y, Li W L, Xu Q, et al. Early detection of landslides in the upstream and downstream areas of the Baige landslide, the Jinsha river based on optical remote sensing and InSAR technologies [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2019, 44(9): 1342–1354.
- [8] Zhang Y, Meng X M, Dijkstra T A, et al. Forecasting the magnitude of potential landslides based on InSAR techniques[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 241: 111738.
- [9] 张茂省, 贾俊, 王毅, 等. 基于人工智能(AI)的地质灾害防控体系建设[J]. *西北地质*, 2019, 52(2): 103–116.
- Zhang M S, Jia J, Wang Y, et al. Construction of geological disaster prevention and control system based on AI[J]. *Northwestern Geology*, 2019, 52(2): 103–116.
- [10] 翟富荣, 梁帅, 戴慧敏. 东北黑土地地球化学调查研究进展与展望[J]. *地质与资源*, 2020, 29(6): 503–509, 532.
- Zhai F R, Liang S, Dai H M. Geochemical survey of black land in Northeast China: progress and prospect[J]. *Geology and Resources*, 2020, 29(6): 503–509, 532.
- [11] 刘国栋, 杨泽, 戴慧敏, 等. 黑龙江省海伦市长发镇土地质量地球化学评价及开发建议[J]. *地质与资源*, 2020, 29(6): 533–542.
- Liu G D, Yang Z, Dai H M, et al. Geochemical evaluation of land quality and development suggestion of land in Hailun city, Heilongjiang province [J]. *Geology and Resources*, 2020, 29(6): 533–542.
- [12] 王建华, 陶培峰, 袁月, 等. PSR 框架下的黑龙江省海伦市耕地质量评价[J]. *地质与资源*, 2020, 29(6): 525–532.
- Wang J H, Tao P F, Yuan Y, et al. PSR-based evaluation of the cultivated land quality in Hailun city of Heilongjiang province [J]. *Geology and Resources*, 2020, 29(6): 525–532.
- [13] 刘驰, 刘希瑶, 刘澎. 松辽平原典型黑土区有机质的变化及影响因素分析[J]. *地质与资源*, 2020, 29(6): 550–555.
- Liu C, Liu X Y, Liu P. Analysis on the changes of organic matters and their influencing factors of typical black soil areas in Songliao plain[J]. *Geology and Resources*, 2020, 29(6): 550–555.
- [14] 戴慧敏, 刘凯, 宋运红, 等. 东北地区黑土退化地球化学指示与退化强度[J]. *地质与资源*, 2020, 29(6): 510–517.
- Dai H M, Liu K, Song Y H, et al. Black soil degradation and intensity in Northeast China: geochemical indication[J]. *Geology and Resources*, 2020, 29(6): 510–517.
- [15] Grooten M, Almond R E A. Living planet report-2018: aiming higher [R]. Gland, Switzerland: WWF, 2018.
- [16] 侯增谦. 用战略思维推动基础研究[EB/OL]. http://www.iziran.net/shendu/20201015_128312.shtml, 2020–10–15.
- Hou Z Q. Promoting basic research with strategic thinking[EB/OL]. http://www.iziran.net/shendu/20201015_128312.shtml, 2020–10–15. (in Chinese)
- [17] 王焰新. “同一健康”视角下医学地质学的创新发展[J]. *地球科学*, 2020, 45(4): 1093–1102.
- Wang Y X. Innovative development of medical geology: a one health perspective[J]. *Earth Science*, 2020, 45(4): 1093–1102.