

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2021.02.03

引用格式: 秦奇, 刘晓煌, 孙兴丽, 等. 中美两国对地系统观测比较分析及其对中国的启示[J]. 中国地质调查, 2021, 8(2): 8–13. (Qin Q, Liu X H, Sun X L, et al. Comparative analysis of the Earth Observation System between China and the United States and its implications to China[J]. Geological Survey of China, 2021, 8(2): 8–13.)

中美两国对地系统观测比较分析及对中国的启示

秦奇¹, 刘晓煌^{2,3}, 孙兴丽⁴, 赵瑞芬⁴

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 世界地理与资源研究中心, 北京 100101; 2. 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心, 北京 100055; 3. 自然资源要素耦合过程与效应重点实验室, 北京 100055; 4. 河北地质大学经济研究所, 河北 石家庄 050031)

摘要: 地球系统各要素间的相互耦合作用对资源开发利用、粮食和生存空间供给以及自然灾害防治等维持人类社会稳定发展的基本活动产生着巨大影响。因此, 建设对地系统观测工程成为地球系统科学界的重大课题。对地系统观测工程包括三大彼此联系的功能模块, 分别是破解地球系统要素耦合作用机理、提升对地球系统发展变化趋势的预测能力以及为决策者提供具有明确行动指向的信息情报。近期, 中美两国均提出了未来对地系统观测的战略构想。通过比较分析两国对地系统观测的构想和实践过程, 梳理两国对地系统观测的异同, 在借鉴美国经验的基础上, 提出了对中国对地系统观测工作的启示。

关键词: 地球系统; 对地系统观测; 要素耦合作用机理

中图分类号: P963

文献标志码: A

文章编号: 2095–8706(2021)02–0008–06

0 引言

人类社会的繁荣发展依赖于地球系统功能的稳定。然而, 这一整套物理、化学、生物和人类相互作用的过程与系统已出现了人类社会产生重大影响的风险危机。Steffen 等^[1]指出在 9 个调控地球系统稳定性和恢复能力的指标中, 有 4 个(气候变化、生物圈完整性、生物地球化学流动和陆地系统变化)在全球尺度上已经超过了最大风险阈值; 而水循环和非传统实体(如有机污染物、放射性粒子、微塑料和纳米粒子)虽然在全球尺度上未达到最大风险阈值, 但在区域或中小尺度上已构成了巨大风险。这些单一风险及其相互作用所带来的未知潜在影响将对资源开发利用、粮食与生存空间供给、自然灾害防治等人类社会的发展要素构成深刻挑战。资源管理者、应急管理者和政策制定者将面对对比过去更为复杂的一系列问题, 这需要对大量的

潜在有用信息进行解释。解决这些危机、应对潜在变化的关键在于: ①深入认识这些相互作用过程与系统耦合作用的机理; ②提升对地球系统发展变化趋势的预测能力; ③为决策者提供具有明确行动指向的情报信息。

在上述背景下, 中美两国均提出了对地系统观测的构想。2018 年 10 月, 中国自然资源部发布了《自然资源科技创新发展规划纲要》^[2], 明确将“自然资源要素综合观测网络工程”列为 12 项重大科技工程之首; 2020 年 5 月, 美国地质调查局发布了《美国地质调查 21 世纪科学战略(2020—2030)》^[3], 指导美国对地系统观测工作。美国地质调查局是美国对地观测的领导部门, 理论基础较好、技术装备先进、观测经验丰富、多维观测尺度覆盖全球—区域—地方, 是地球系统科学和对地观测研究的先进力量。研读其对地系统观测的战略政策, 剖析、借鉴其经验得失, 以期取长补短, 推动中

收稿日期: 2021–02–22; 修订日期: 2021–03–22。

基金项目: 中国地质调查局“自然资源要素综合观测数据集成与应用服务(编号: DD20208067)”“青藏高原自然资源要素综合观测试点(编号: DD20208064)”和“黑河流域自然资源要素综合观测试点(编号: DD20208065)”项目联合资助。

第一作者简介: 秦奇(1986—), 男, 特别研究助理, 主要从事自然资源经济、资源安全与世界地理研究。Email: qinqicumt@163.com。

通信作者简介: 刘晓煌(1972—), 男, 高级工程师, 主要从事自然资源学、基础地质学与矿床学研究。Email: liuxh19772004@163.com。

国对地系统观测向前发展,具有重大的科学和实践意义。本文在分别梳理中美两国对地系统观测的战略构想与实践进程的基础上,比较评述了两国观测工作的异同之处,进而阐述了对中国对地系统观测工作的启示,以便推动观测工作更好地服务于国家生态文明建设和自然资源管理“两统一”职责。

1 中美对地系统观测构想与实践的比较分析

1.1 美国对地系统观测的构想与实践

2020年,时值美国总统富兰克林·罗斯福委托撰写的《科学无止境》发表75周年之际,白宫科技政策办公室提出美国正在进入第二个科学的“大胆时代”,需要新的战略指导框架^[3]。美国地质调查局积极响应,希望在此进程中扮演重要角色,以服务国家为目的制定长期规划。当前,人类深刻认识到地球系统各要素耦合作用引发的系统性自然资源与生态环境挑战。水、能矿资源、生态系统、自然灾害和土地利用以无数种方式相互作用,引发复杂且出人意料的后果,对国家土地、水、能源矿产和生态系统资源的开发利用管理需要进行权衡。因此,资源管理者需要整合多学科数据、地球空间工具、预测模型和技术设备的“全面综合地质调查”来支持决策。新技术革命为“全面综合地质调查”提供了技术基础:①覆盖空-天-地尺度的新型传感器的应用,有利于获取全新时空分辨率的地球系统基本信息;②大数据和云计算为地球系统科学提供了崭新的科学计算和分析范式;③新兴信息管理和技术能力将有效兼容历史和实时数据流。因此,基于自然资源综合管理需求和新兴技术基础,美国地质调查局发布了《美国地质调查21世纪科学战略(2020—2030)》^[3]。

该战略提出美国地质调查局的主要任务是监测、分析和预测复杂的人类与自然地球系统相互作用的现状与动态过程,为决策者提供在相关尺度和范围内具有明确行动指导性的情报信息。其发展愿景是领导美国21世纪自然资源的综合研究、评价和预测,加深对地球资源与生态环境的了解,向公众提供数据和地图产品,服务国家,确保人民的安全与福祉。实现任务和愿景的理论基础是地球系统科学。随着地球物理、化学、生物科学及其分支学科的不断进步,人类对地球系统内部的诸多过

程有了更深入的了解,越来越认识到需要进行多学科整合,推动学科之间的交叉探索,将地球看做一个统一的系统进行综合考察。

实施“美国地质调查21世纪科学战略”包括5个相互关联的实践路径:①以“地球监测、分析与预测(EarthMap)”工程为抓手,发展全局性、综合性和预测性的科学能力;②以任务为导向,在已有大气、海洋和地表物理、化学、生物过程的观测基础上,推动跨学科交叉综合研究;③广泛应用21世纪的新兴信息技术进行支撑;④建立广泛的伙伴关系,整合地球系统科学的相关组织和人员,包括实地和远程的观测团队、从事建模与预测的研究人员、从事新兴信息技术的开发人员以及资源决策管理者;⑤优化内部组织结构,发展员工队伍,提升设备水平。

1.2 中国对地系统观测的构想与实践

1.2.1 提出背景

我国野外观测工作有着较为坚实的基础。中国科学院、农业农村部、自然资源部、教育部等单位建有各类生态综合观测站700余座,主要围绕生态环境和科学家兴趣开展观测研究,部分环境监测站(不含气象、水文、地震等部门的专项监测站)保存了40~50a的连续观测记录。观测研究为国家生态文明建设、粮食安全、环境修复、灾害防治、应对气候变化、国家天然林保护、退耕还林还草还湿、三北防护林工程、塔克拉玛干沙漠公路、青藏铁路等重大工程建设及国防科技发展作出了重要贡献。

十八大以来的治国理政理念和方略标志着我国开启了新时代生态文明建设和资源、环境、生态统一管理的序幕。2018年10月,肩负着自然资源管理“两统一”职责的自然资源部发布《自然资源科技创新发展规划纲要》^[2],明确将“自然资源要素综合观测网络工程”列为12项重大科技工程之首。2019年10月,自然资源部正式启动“自然资源要素综合观测”科学工程,由原武警黄金部队转隶组建的自然资源部中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心负责实施。

1.2.2 理论基础及构想

山水林田湖草是生命共同体,在一定空间区域内各自然资源要素通过水(矿物)、化学元素和能量循环联结为有机整体,在垂向上形成大气资源、地表覆盖资源、土壤资源和地下资源(水、地热)的物质能量循环,在地表平面上形成一定的森林、草原、耕地、冰川、荒漠和水资源等覆盖资源的耦合结构

配比,维系着区域生态系统的稳定平衡和良好的自然环境状态。要遵循自然规律开展自然资源统一管理、国土空间统一规划和生态保护修复,就需要空-天-地-井-网立体的对地观测研究,重点要做好5项工作:①获取高质量的资源-环境-生态观测数据;②探究自然资源要素间、资源与环境-生态间的耦合作用机理;③开展自然资源-环境-生态的时空演变与趋势模拟;④进行空间分析与动态区划、资源承载力与资产核算、国土空间优化与适宜性评价等综合分析评价;⑤提出资源-环境-生态安全的对策与建议。

1.2.3 研究进展

自然资源要素综合观测网络工程启动以来,初步形成了个体、景观、区域、全球等不同尺度下空-天-地-井-网一体化的自然资源要素综合观测体系框架^[4]:①提出了自然资源分类框架,明确了3个一级类、15个二级类、53个三级类观测对象^[5];②构建了自然资源观测指标体系,涵盖51个一级指标、124个二级指标和514个三级指标^[6];③首次完成了1990—2018年长时序动态的全国自然资源区划,并以此为基础底图进行分层抽样,搭建了覆盖全国的三级观测站网架构,包括一级观测站点8个、二级56个、三级106个^[7];④编制了包含5个大类、25个小类的观测站网标准规范体系^[8]。同时,利用现有观测站网基础,融合共建观测站点,顺利推进了青藏高原、黄河流域、黑河流域重点区域的试点项目。

1.3 中美两国对地系统观测进展的比较与评述

美国地质调查局提出的对地观测体系由观测获取数据、模型构建和模拟预测、情报支撑3部分组成;中国自然资源部提出的自然资源要素综合观测(即资源-环境-生态观测体系)则由观测数据、资源-环境-生态耦合机理研究、模型模拟、综合评价分析及决策建议5部分组成,其中我国对地观测体系组成的资源-环境-生态耦合机理研究、模型模拟、综合评价分析对应了美国对地观测体系组成的模型构建和模型预测。由此可见两国都提出了构建对地观测体系,在构建理念和思路上基本一致,但也存在一些差异,主要体现在以下几个方面。

1.3.1 两国观测体系的共同点

(1)同时注意到对地系统观测的前瞻性和创新意义,都在近期提出了战略构想,并进入初步探索阶段,争取对地系统观测的领先地位。

(2)都在集中力量打造示范性的观测工程及其数据产品,并以此为抓手,推动对地系统观测战略的实施。

(3)都以地球系统科学为理论基础,探索自然资源系统(地下资源、地表覆盖资源、气候资源)各资源要素之间的耦合作用规律及其对人类的影响路径。

(4)观测系统的基本结构和功能一致,都分为数据的获取与管理、建模与预测、支持决策3个功能板块。

(5)都强调创新技术的支撑作用,广泛应用物联网、新型传感器、人工智能、机器学习、云计算等前沿技术。

(6)都辨析了监测与观测的区别与联系:观测是对地自然现象长期、连续、多尺度的科学观察与记录并解析地球系统要素耦合作用机理,监测则是为达到特定目标、目的利用观测手段监督、检测或评价系统的目标、目的与系统运行的匹配程度。

1.3.2 两国观测体系的差异

(1)服务对象不同。中国的观测体系服务于国家生态文明建设、自然资源管理“两统一”职责,致力于支撑自然资源资产化、国土空间规划、生态环境保护修复等工作;美国的观测体系服务于多元对象,既有联邦、州等各级资源管理者,也有学术机构、私人企业、非政府组织等。

(2)美国观测体系的空间范围较广,例如它提出关注全球尺度下能矿资源的位置、可得性、供应链危机等态势;中国的观测目前主要聚焦于国内。

(3)中国综合观测体系框架设计已基本成型,制定了分类标准、观测指标体系、自然资源区划、全国站网布设架构和规范标准,开展了试点项目,而美国的相关工作尚未有效展开。

2 对中国对地系统观测工作的启示

2.1 国际对地观测研究历史及发展动态

对地观测是探寻自然规律、认识和掌握地球演化对人类生存发展影响的主要手段,世界各国都高度重视对地观测研究工作。近代最早的对地观测是英国1843年为观测研究土壤肥力与肥料效益开展的长期定位试验,已持续近180年。目前世界上持续观测80年以上的长期定位试验站有30多个,主要集中在欧洲、俄罗斯、美国、日本、印度等国家。伴随着卫星遥感、通讯、网络、大数据、观测设备等技术的不断发展,世界对地观测的发展大体分为4个阶段。

第一阶段,站点尺度的单资源生态系统观测研究。1979年,美国开始部署长期生态研究计划,在全球掀起了以森林、草原、海洋、淡水、农田、冻原、湿地、城市等生态系统站点尺度的观测研究,主要成果有美国生态网(Long Term Ecological Research Network, LTER)、关键地带网(Critical Zone Observatory, CZO)、英国环境网(Environmental Change Network, ECN)、加拿大生态网(Ecological Monitoring and Assessment Network, EMAN);1984年美国配合全球地震台网计划提出了大陆岩石圈流动测震台阵研究计划(Portable Array Seismic Studies of the Continental Lithosphere, PASSCAL),开始立体观测外动力和内动力地质作用。我国地球物理观测台网建设始于20世纪60年代;1988年中国科学院开始建立野外生态系统研究站;1991年中国农业科学院开始建立土壤肥力和肥料效益监测站;1992年国家林业局开始建立森林生态站;1993年生态环保部门开始建立生态监测地面站。

第二阶段,全球尺度专项观测研究。20世纪90年代,随着气候变化等全球性重大问题的出现,不同国家和国际组织启动了全球尺度的多学科交叉、多站点联网、空-天-地一体化协同观测研究,主要有全球综合观测协作体(Integrated Global Observing Strategy, IGOS)、全球大气监测网(World Meteorological Organization/Global Atmosphere Watch, WMO/GAW)、冰冻圈监测网(Global Cryosphere Watch, GCW)、环境监测系统(Global Environmental Management Systems, GEMS)、国际生态网(International Long-Term Ecological Research Network, ILTER)、通量网(FLUXNET)等。

第三阶段,景观、区域尺度的科学研究。进入21世纪,各国开始将观测站联网统一观测,开启了标准化、规范化、自动化和网络化的区域、景观尺度的观测研究。1999—2001年,中国科学技术部建成了国家生态系统观测研究网络(Chinese National Ecosystem Research Network, CNERN);2003年,林业部建成了中国森林生态系统定位研究网络(Chinese Forest Ecosystem Research Network, CFERN)。2010—2019年,美国建成了国家生态观测网络(National Ecological Observatory Network, NEON);2009年,澳大利亚建立了澳大利亚陆地生态系统研究网络(Terrestrial Ecosystem Research Network, TERN)。

第四阶段,资源-环境-生态一体化观测和多

目标监测研究。2019年,中国自然资源部为实现统一管理自然资源、国土空间规划和生态保护修复,按照“山水林田湖草是生命共同体”和“生态环境问题归根到底是自然资源开发问题”的管理理念,启动了自然资源要素综合观测网络工程,开启资源-环境-生态一体化观测和多目标监测研究。

2.2 美国对地系统观测对中国的启示

(1)两国均启动了对地系统观测工程,间接证明了以“山水林田湖草是生命共同体”理念为指导、以地球系统科学为理论基础的自然资源要素观测工程的前瞻性和创新性。两国的对地系统观测同处于起跑阶段,我国需要加大投入、扎实推进,争取对地系统观测的国际话语权,打造中国自然资源品牌并向世界提供资源数据产品。

(2)两国的对地观测经验表明,科学理论发展和信息技术进步是支撑对地系统观测的两个支柱。在未来工作中,要推动自然资源学、地球系统科学、生态学、水文学等相关学科的交叉融合,积极探索自然资源要素耦合作用机理及其对人类的影响路径,夯实理论基础;重视新兴信息技术,推动数据的获取与管理、模拟与预测以及支撑决策等工作。

(3)美国的对地观测体系提出了多部门、跨学科联合观测研究和多目标的情报服务构建理念。我国于2018年3月组建的自然资源部代表国家对土地、矿产、海洋、森林、草原、湿地、水资源等实行统一管理,这些自然资源是对地观测的主要内容和对象。因此,自然资源部可以参照美国对地观测构建理念,牵头联合其他部委和科研院所,利用自然资源要素综合观测网络工程,整合全国观测资源和力量,构建起我国的对地观测体系,促进自然-环境-生态的协调发展,大力推进我国生态文明建设和中华民族的永续发展。

2.3 我国资源-环境-生态系统观测-预测-监测体系

按照观测-监测的学术内涵,结合国家对自然资源、生态、环境的观测、监测体系建设要求和我国现有观测-监测站网体系架构,根据“山水林田湖草是生命共同体”和“生态、环境问题归根到底是自然资源开发利用问题”理念,在全国自然资源要素综合观测体系的基础上,提出我国对地观测-预测-监测体系,即资源-环境-生态系统观测-预测-监测体系(Observation-Prediction-Monitoring System, OPMS或“三测体系”,图1)。

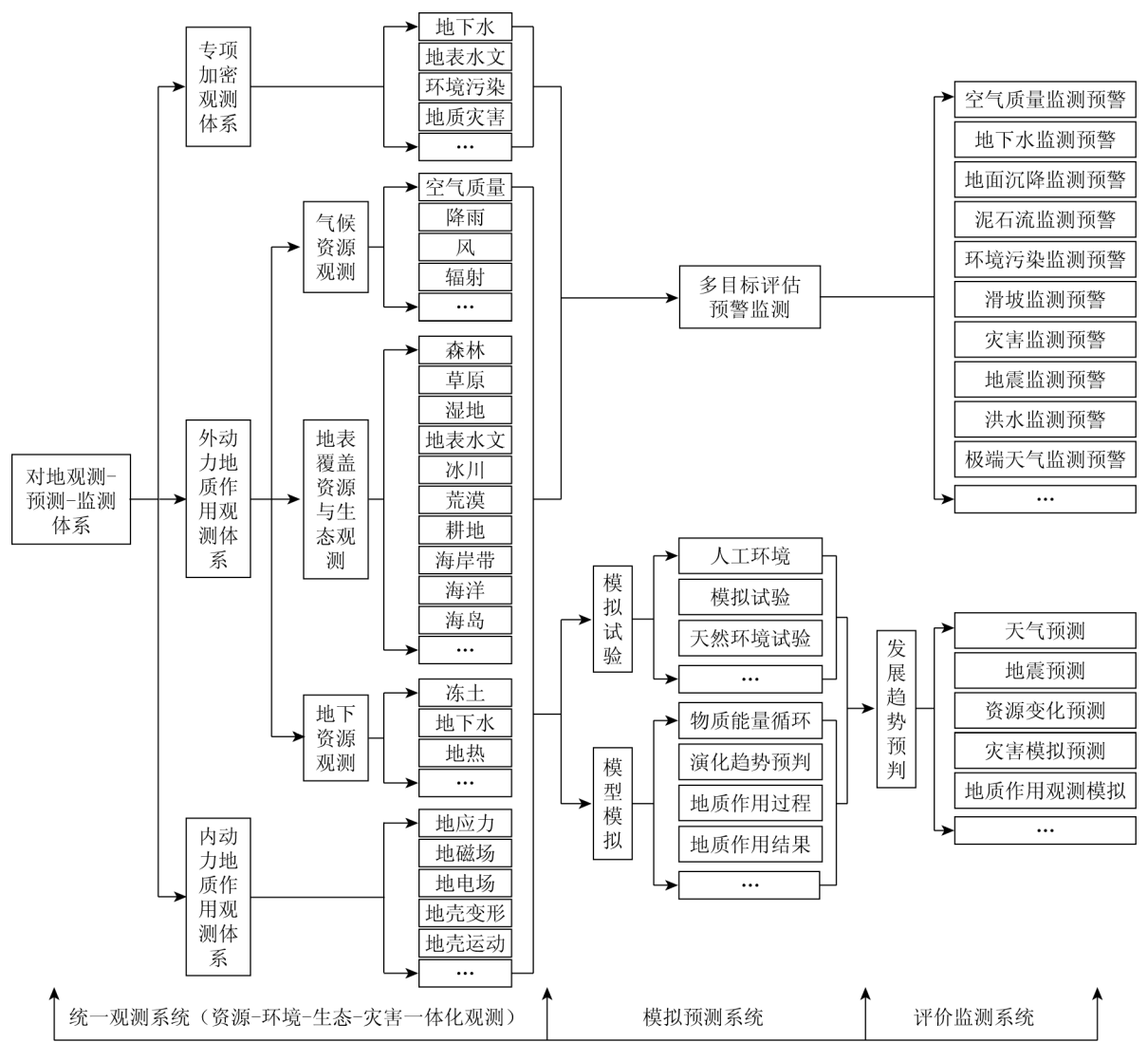


图 1 对地系统观测-预测-监测体系

Fig. 1 The observation - prediction - monitoring system of the Earth Observation System

(1)统一观测系统。在全国统一部署开展全要素、多过程、多尺度的综合系统对地观测和试验模拟,获取统一对象、统一内容、统一指标、统一方法、统一标准的对地观测数据。数据包括 3 部分:一是内动力地质作用的地应力、地磁场、地电场、地壳变形和地壳运动等观测数据;二是外动力地质作用的风、降雨、辐射等气候资源数据,森林、草原、湿地、地表水文、土壤、冰川、荒漠等地表覆盖资源与生态数据,地下水、地热、地下洞穴等地下资源数据;三是专项加密观测(环境-灾害)数据,在内外地质作用观测站网的基础上,根据具体目标和任务需要,加密相关的观测站点,遴选少量的观测指标,开展专项观测。

(2)模拟预测系统。利用观测站网的观测数据结合其他外部数据,通过野外试验模拟和计算机数据模型模拟技术方法,开展预设场景下的模型试

验,进行科学预测,预判资源-环境-生态-灾害等演变发展趋势和未来状态,为重大决策提供科学技术支撑。

(3)评价监测系统。根据不同的监测目标任务,选取相关观测数据,采用相应的评价方法技术,进行综合评价分析和监测预警。

3 未来展望

本文通过比较分析中美两国对地系统观测的构想与实践,提出构建我国对地系统观测-预测-监测体系(即资源-环境-生态系统观测-预测-监测体系)。近期内,加强对地系统观测-预测-监测体系建设是优先选项,依据观测数据揭示自然资源要素间的相互作用规律,预测自然资源演化趋势,为自然资源管理(监测)提供有效的信息情报,服务于

自然资源资产化和国土空间规划等自然资源统一管理职责。中长期目标是破解自然资源 – 环境 – 生态耦合作用机理,为“山水林田湖草是生命共同体”理念注解,为自然资源可持续开发利用与生态环境保护修复工作的协同发展提供理论依据。相信这一体系的建设实施必将为地球系统科学理论发展、自然资源管理“两统一”职责和国家生态文明建设实践作出贡献。

参考文献(References):

[1] Steffen W, Richardson K, Rockstrom J, et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet [J]. Science, 2015, 347(6223): 1259855.

[2] 中华人民共和国自然资源部. 关于印发自然资源科技创新发展规划纲要的通知[EB/OL]. (2018-10-16) [2021-02-18] http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/201811/t20181113_2364664.html.
Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Notice on Printing and Distributing the Outline of the Plan for Scientific and Technological Innovation and Development of Natural Resources[EB/OL]. (2018-10-16) [2021-02-18]. http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/201811/t20181113_2364664.html.

[3] U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey 21st – century Science Strategy 2020—2030 [R]. Reston, Virginia: U. S. Geo-

logical Survey, 2021.

[4] 刘晓煌, 刘晓洁, 程书波, 等. 中国自然资源要素综合观测网络构建与关键技术[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 1849 – 1859.
Liu X H, Liu X J, Cheng S B, et al. Construction of a national natural resources comprehensive observation system and key technologies [J]. Resour Sci, 2020, 42(10): 1849 – 1859.

[5] 孙兴丽, 刘晓煌, 刘晓洁, 等. 面向统一管理的自然资源分类体系研究[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 1860 – 1869.
Sun X L, Liu X H, Liu X J, et al. Classification system of natural resources for integrated management [J]. Resour Sci, 2020, 42(10): 1860 – 1869.

[6] 张贺, 王绍强, 王梁, 等. 自然资源要素综合观测指标体系探讨[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 1883 – 1899.
Zhang H, Wang S Q, Wang L, et al. Discussion on the indicator system of comprehensive observation of natural resource elements [J]. Resour Sci, 2020, 42(10): 1883 – 1899.

[7] 张海燕, 樊江文, 黄麟, 等. 中国自然资源综合区划理论研究与技术方案[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 1870 – 1882.
Zhang H Y, Fan J W, Huang L, et al. Theories and technical methods for the comprehensive regionalization of natural resources in China [J]. Resour Sci, 2020, 42(10): 1870 – 1882.

[8] 刘玖芬, 高阳, 冯欣, 等. 自然资源要素综合观测质量管理体系构建[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 1944 – 1952.
Liu J F, Gao Y, Feng X, et al. Construction of the quality management system for comprehensive observation of natural resources [J]. Resour Sci, 2020, 42(10): 1944 – 1952.

Comparative analysis of the Earth Observation System between China and the United States and its implications to China

QIN Qi¹, LIU Xiaohuang^{2,3}, SUN Xingli⁴, ZHAO Ruifen⁴

(1. Center for Global Geography and Resources, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Natural Resources Comprehensive Survey Command Center, China Geological Survey, Beijing 100055, China; 3. Key Laboratory of Coupling Process and Effect of Natural Resources Elements, Beijing 100055, China; 4. Economic Research Center, Hebei GEO University, Hebei Shijiazhuang 050031, China)

Abstract: The coupling effect among the earth system elements has a great impact on our basic activities in order to maintain the stable development of human society, including the development and utilization of resources, the supply of food and living space, and disaster prevention and mitigation. Therefore, the construction of the Earth Observation System (EOS) engineering has been a major task in earth science. The EOS engineering includes three interrelated functional modules, namely, interpreting the coupling mechanism of the earth system elements, improving the prediction ability of development and change trend of the earth system, and providing decision makers with clear action-oriented earth intelligence. Recently, China and the United States have put forward the strategic concept of future EOS. The authors in this paper have compared and analyzed the conception and practice process of the EOS between China and the United States, summarized their similarities and differences, and in the end put forward some implications to China about the EOS work based on the experience of the United States.

Keywords: earth system; the Earth Observation System (EOS); coupling mechanism of elements

(责任编辑: 刁淑娟, 魏昊明)