

新时代中国自然资源研究的机遇与挑战

沈镭^{1,2}, 钟帅^{1,2}, 胡纾寒¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 党的十九大报告提出建设中国特色社会主义新时代对自然资源综合研究和管理实践提出了新的需求。20世纪90年代以来在大规模的自然资源综合科学考察任务完成之后, 自然资源综合研究逐渐成为资源学界的关注重点。新时代下自然资源研究面临着各种机遇和挑战。本文论述了山水林田湖草和联合国可持续发展目标(SDGs)与自然资源关联关系, 重点探讨了当今国内外最为关注的四种典型关联研究主题, 即资源—资产—资本关联、能源—资源—技术关联、食物—水—能源关联、能源—水—土地—碳排放关联, 并结合新时代提出的政策导向, 提出应对地缘政治风险、气候变化、国际贸易不确定性、重大应急事件等问题的新视角及相关建议, 旨在为自然资源研究相关学科发展及创新能力建设提供新的思路。结果表明: 百年未有的时代变革对自然资源的地位与作用产生了深刻影响, 亟需加强自然资源的基础理论研究并尽早设立自然资源研究重大研发计划, 为服务于国家自然资源战略及重大工程需求提供重要的科技支撑。

关键词: 自然资源; 新时代; 机遇; 挑战; 中国

2017年10月党的十九大报告中提出中国特色社会主义进入了“新时代”的重大论断之后, 不同学科分别从各自视角对于新时代的内涵提出了不同的理解。对于自然资源研究而言, 新时代意味着随经济发展模式的全面转型、发展内容逐渐向社会民生建设倾斜, 自然资源利用效率需要实现质的飞跃的同时兼顾更高标准的生态环境保护水平, 对自然资源综合管理实践和自然资源综合研究与学科建设提出了新的战略需求。新时代下中国自然资源安全保障和综合管理需要承担新使命和新任务, 特别是在持续关注全球气候变化、地缘政治风险、国际贸易格局及资源价格波动等资源安全重要影响因素之外, 还应结合新冠肺炎疫情发展趋势、国内外经济发展模式、发展重心和发展目标等一系列重大转变, 采取新的系统性视角, 应对新的风险与挑战。

国家先后于1998年成立的国土资源部和2018年成立的自然资源部, 是21世纪前后开展自然资源综合研究的全面扩展时期。新时代下我国自然资源管理改革实践也不断对自然资源综合研究提出新的课题, 特别是新组建的自然资源部要求统一行使全民所有自然资源资产所有者职责, 统一行使所有国土空间用途管制和生态保护修复职责(即“两统一”), 着力解决自然资源所有者不到位、空间规划重叠等问题。这标志着我国自然资

收稿日期: 2020-06-08; 修订日期: 2020-06-27

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA19040102); 科技部国家重点研发计划(2016YFA0602802); 国家自然科学基金项目(1771566)

作者简介: 沈镭(1964-), 男, 湖北麻城人, 博士, 研究员, 主要从事能源和矿产资源经济与政策、区域可持续发展研究。E-mail: shenl@igsnr.ac.cn

通讯作者: 钟帅(1985-), 男, 海南文昌人, 博士, 副研究员, 主要从事能源和矿产资源经济与政策研究。

E-mail: zhongshuai@igsnr.ac.cn

源管理体制改革向“大综合”迈出了关键一步,也充分体现了“大资源”和“大科学”的理念,自然资源综合研究迎来了新的机遇。例如,面对新的自然资源综合管理实践需求,需要制订一套权威的标准规范、框架统一的基础数据体系,建立包含自然资源调查评价、勘查监测、模拟预测等过程的全流程决策支持技术体系,形成资源大数据服务与技术解决方案。为此,本文试图系统梳理自然资源综合研究的新时代背景与基础,分析当前面临的主要机遇与挑战,提出未来推进自然资源研究创新能力建设的有关建议。

1 自然资源综合研究的新时代背景与基础

20世纪90年代是我国自然资源研究的重要阶段,国内大规模综合科学考察活动基本接近尾声,转向以区域开发总结、深入研究和决策咨询为主的重大调整。同时,中国自然资源学会的成立标志着中国特色的自然资源综合研究从面向国家需求转向引领学科建设和发展。中国自然资源学会是国内首个以自然资源综合研究为手段、以创建资源科学为宗旨的科技社团。21世纪前10年,中国自然资源学会相继组织并出版了一批标志性资源科学著作,如《资源科学百科全书》^[1]、《资源科技名词》^[2]、《资源科学》^[3]专著。自2004年起推出了学术年会制度,极大丰富和活跃了自然资源综合研究理论基础和方法论体系的探索。这期间还分别于2003年、2010年和2011年编撰出版了三本《中国资源报告》^[4-6],于2006年、2008年、2011年、2016年编撰发布了四份《资源科学学科发展报告》^[7-10]。21世纪以来,科技部设立了与自然资源考察相关的基础性工作专项。2006年,科技部在继续推动科技基础条件平台建设工作的基础上,首次启动实施了科技基础性工作专项,到2019年共立项235项。科学考察与调查是单列的主要任务之一,共立项145项。2016年之后在原“科技基础性工作专项”基础上,重新整合设立了“科技基础资源调查专项”。总体来看,科技部基础性工作专项(2006—2015年)和科技基础资源调查专项(2016年以后)的考察与调查,重点转向了具体的资源特性及其参数研究,如森林、土壤、地下水、动植物、生物多样性等,考察地区包括国内不同地域和境外“一带一路”重点走廊地区,如秦巴山区、南方丘陵山区、典型河口、阿勒泰中俄哈蒙边境地区、中蒙俄国际经济走廊、中巴经济走廊、中越边境地区、大香格里拉地区和澜沧江—湄公河流域,等等;负责承担单位包括中科院、教育部、环保部、农业部、卫计委等多个部门的若干机构,任务内容涵盖了生物资源、生态与环境、农业与健康、产业与区域发展等诸多领域的专项调查,形成了多种新兴学科交叉及整合的自然资源综合考察及研究的新模式。2019年,国家启动了新一轮面向2035年的中长期科技发展规划,这是历史上第9次国家科技发展规划,将为自然资源综合研究提供新的重大机遇。

自然资源在要素市场化改革中的重要性将更为突出和显现。从2014年十八届四中全会提出“发挥市场在资源配置中的决定性作用”,到2016年中共中央、国务院颁布《关于完善产权保护制度依法保护产权的意见》^[11],2017年十九大报告提出“经济体制改革必须以完善产权制度和要素市场化配置为重点,实现产权有效激励、要素自由流动、价格反应灵活、竞争公平有序、企业优胜劣汰”,再到2020年4月9日,在新冠疫情冲击全球导致国内与国际局势发生变化背景下的《中共中央、国务院关于构建更加完善的要素市场化配置的体制机制的意见》^[12](以下简称《意见》)正式出台,对于完善资源产权制度和资源要素市场化配置两大关键性领域的改革具有重大意义。面对外部经济环境的

巨大不确定性，完善要素市场化配置可以更好地发挥自然资源与其他要素的改革合力，更加突显而不是削弱了自然资源对国民经济社会发展的基础支撑作用。《意见》清晰地呈现了要素市场化改革路线图，目标是解决长期以来因制度机制障碍导致产权不到位、资源错配、资源粗放利用等弊端。《意见》不仅直接关系到土地资源要素，还涉及到充分发挥技术、管理、数据等要素改革的联动作用，是一场兼具空前力度与广度的市场化改革。例如，就土地资源管理制度而言，强调“城乡建设用地指标使用应更多由省级政府负责”，分权下放；对长期以来建设用地指标高度集中的审批制度进行了改革，将由国务院直接管理的“永久基本农田转为建设用地”审批事项试点委托部分省级政府，“其他农用地转为建设用地”审批事项全部授权给予省级政府；推动工业用地供应方式改革，鼓励不同产业用地类型的合理转换，推进省内土地资源优化配置，更加有利于重塑产业布局一体化和提升城市群、中心城和发达地区的优势地位。

2 当前自然资源研究的机遇与挑战

在20世纪持续至今的科技革命推动下，自然资源对于国家经济社会发展的作用发生了深刻变化。中国的经济发展形态正在由投资驱动的资源劳动密集型向创新驱动的知识与技术密集型转变。同时，中国产业形态正在向数字化加速转型，围绕新基建、新信息、新生物、新农业、新金融、新补贴、新就业等政策建议纷纷出台。在当前新冠疫情蔓延、全球经济下行风险加剧的大背景下，有学者提出以新冠疫情为分水岭把世界格局分为前后两个不同的时代。面向国家资源安全战略的自然资源研究，将更加需要应对复杂的外部不确定性因素，例如，之前普遍接受的国际局势整体平稳的假设将不再适用，中国与美国之间在政治外交、资源贸易、意识形态等方面的冲突可能加剧，将直接影响中国国家资源安全格局及其全球策略。

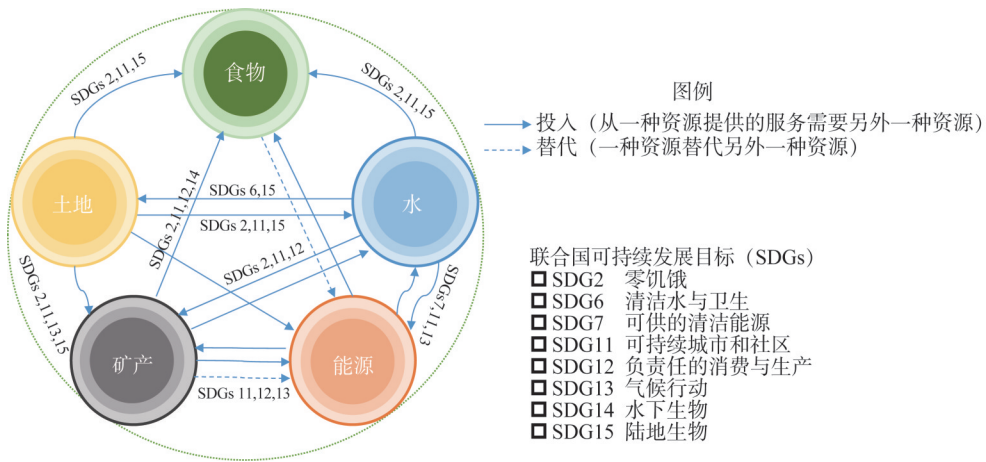
面向我国经济转型升级攻关期的各种挑战，保障自然资源安全战略被赋予了新的使命和要求，包括对外和对内两个方面。对外应对日益复杂的地缘政治经济风险，推动“一带一路”建设，对自然资源安全保障提出应对风险和不确定以及提升可持续供应能力的新使命；对内则是面向经济结构转型、社会民生建设和生态文明建设等目标，保障自然资源安全需要实现关联管理、民生优先、节约减排。从自然资源综合研究的学科视角出发，当前亟需对国家资源安全所面临的诸多不确定性和重大挑战进行准确识别，需要继续强化基础应用研究，重视学科与人才队伍建设，积极主动为国家应对已经剧烈变化的全球资源配置格局的战略需求提供决策支撑。

2.1 多种门类自然资源之间及其与生态环境之间相互关联更加紧密

当前国内外讨论较多的“关联方法(Nexus Approach)”在学术界和政策界越来越受到高度重视。2011年波恩会议首次提出关联(Nexus)范式，向社会各界宣传和普及了资源综合联系的属性。自此，学术界开始关注两两部门之间的关联，例如，水—食物、水—土地、食物—水、能源—食品、能源—土地。近年来，三个部门甚至更多要素之间关联得到更多关注，例如，Ringler等^[12]提出了一个包含水、能源、土地和食物等部门的综合分析框架，突出了土地在上述关联中的重要作用；Daher等^[13]提出一种水—能源—食品(WEF)关联模型方法，可为科学家和决策者开展情景评估，也可为国家制定资源可持续分配战略提供很好的分析平台，目前已应用于极度干旱的海湾国家卡塔尔。关

联方法的应用目标是分析并识别资源要素部门之间的生物物理、社会经济和政策联系，为相关政策制订和管理决策提供综合性解决方案。通过关联方法可以系统识别相互联系的各个要素维度之间的协同程度，进行利弊权衡与取舍。例如，未来中国水资源的中长期需求仍将上升，粮食供应对耕地资源造成巨大压力，直接影响民生福祉；矿产资源整体仍处于高位需求，不同矿种需求出现了“结构性分异”；森林、草场、湿地、生物等资源与生态文明建设和“绿水青山就是金山银山”理念之间的关联性认识得到不断深化。

(1) 山水林田湖草与自然资源关联。自然资源的关联特征与联合国可持续发展目标 (SDGs) 非常吻合 (图1)。一篇发表在《自然》杂志上的文章从SDGs视角分析了资源关联问题^[4]，认为在讨论自然资源需求时，“关联框架”可以识别各种自然资源之间的相互联系，并探讨在多大尺度上可能发生这些联系，评估其关联过程对气候变化政策、供应链管理以及资源富集发展中国家的影响。因此，在“关联框架”下认识自然资源实际上是深入发掘不同自然资源利用过程的人类行为关联特征。例如，自然界中的水、土地、能源、矿产是最为重要的自然资源，依托这些资源可以生产食物和原材料。为了生产食物，必须消耗水、土地、能源甚至矿产资源，这就涉及到SDGs的第2、第11、第12、第14、第15个目标；为了生产原材料，则需要开采矿产资源、消耗能源和水、占用或剥离土地，这些环节也涉及到SDGs的其他目标。



注：据参考文献 [4] 修改。

图1 从关联视角看自然资源与联合国可持续发展目标之间的联系

Fig. 1 Links between natural resources and the sustainable development goals from the nexus perspective

关联研究范式也可以很好地诠释习近平总书记关于山水林田湖草系统治理思想。习总书记把“山水林田湖草”看成是一个生命共同体，进一步论述“人的命脉在田、田的命脉在水、水的命脉在山、山的命脉在土、土的命脉在林”，这是将对自然的感性认识上升到理性认识的系统关联思想。自然资源系统可以视为一种以能源—水—食物关联为核心的“海绵体”，即能源—水—食物关联体现了自然资源与人类社会经济发展的关键纽带，而建立在这个关键纽带之上的土地、森林、草场、水、能源、矿产等自然资源要素和山、水、林、田、湖、草等生态环境要素，以及不同要素之间的相互关联共同组成了具有系统韧性特征的“海绵体”网络结构。它们相互之间具有一定的弹性能力，当出现

外部冲击时可以相互影响并实现一定程度的恢复（图2）。例如，后新冠肺炎疫情时代，资源和生态环境领域的学者们将更加关注自然资源系统和生态环境系统的韧性与恢复力的研究，需要科学地阐释自然资源系统与生态环境系统、社会经济系统之间相互耦合的系统韧性特征。

从自然资源和生态环境两个维度看，生态环境系统是与人类紧密相关的生命支持系统；自然资源系统为人类提供食物、能源和水的最基本物质与能量来源。人类要生产和消费食物、能源和水，必须从自然资源系统中开发利用各种自然资源，这些自然资源不但可以作为资源性产品或能量来源，还可作为生态环境系统的部分组成要素（如水既是资源又是生态涵养水分）来提供生态系统服务功能。因此，自然资源系统和生态环境系统相互紧密耦合，构成一个复合系统。这个系统一旦遭受破坏或干扰，则需要准确评估该系统的韧性（资源环境承载力）和系统恢复能力（国土空间生态修复），也需要构建合理的生态补偿机制，这些重大科学问题需要在一些重点地区或重点流域的实践中不断创新。例如，2020年4月由财政部、生态环境部、水利部和国家林草局联合发布的《支持引导黄河全流域建立横向生态补偿机制试点实施方案》，强化联防联控、流域共治和保护协作，急需开展与水资源、能源、粮食等相关的生态补偿理论研究。

生命共同体理念对于加强自然资源综合管理也具有重要的现实指导意义。从自然资源开发及利用关系的优化目标出发，必须强化自然资源系统与社会经济系统之间的耦合，也需要保障生态环境系统能够为人类提供优质的生态服务价值以获取更多的人类福祉。为了实现上述两大目标，必须长期开展资源环境综合承载力评价和国土空间开发适宜性评价，提出多用途和多时序的自然资源综合利用整体方案（图3）。

由此看来，自然资源关联分析是面对经济可持续发展、生态环境保护 and 应对气候变化以及保障国家资源安全等多种目标而形成的全新系统性视角，可为面向多种不确定性因素交织的自然资源综合管理提供基础性理论框架。自然资源关联分析实际上是集成多种自然资源利用过程的关联属性，协调多个可持续性目标，缓解资源环境的限制矛盾，实现系统性优化过程。根据目标类型、限制因素及利用过程的差异，当前学者比较关注四种典型关联类型，即“资源—资产—资本关联”“能源—资源—技术关联”“食物—水

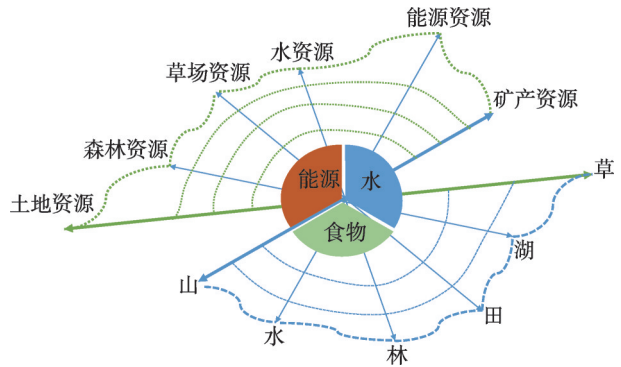


图2 山水林田湖草与自然资源系统的关联关系示意图
Fig. 2 Nexus between mountains, rivers, forests, fields, lakes and grasses connected to natural resources system

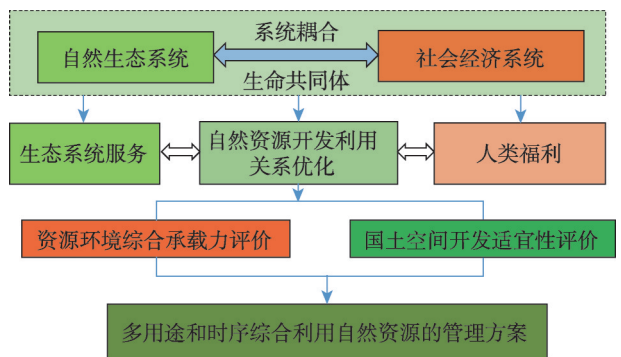


图3 基于生命共同体理念的自然资源综合管理
Fig. 3 Integrated management of natural resources based on the concept of life community

—能源关联”“能源—水—土地—碳排放关联”等。

(2) 资源—资产—资本的关联与转化。自然资源、自然资源资产和自然资源资本等三者之间具有明确的边界和内涵以及相互递进转化的关联关系(图4), 识别三者关联关系的核心内容是为了正确解决自然资源利用的远期目标与近期目标的权衡问题, 破解自然资源行政管理和市场调节的相互掣肘问题, 优化自然资源调控策略及其市场配置过程。自然资源是所有天然赋存、具有开发利用价值的自然物, 其地理空间边界非常清晰; 自然资源资产是具有清晰的产权法律关系、可进入市场交易的一部分自然资源产品或服务, 其法律权属边界也非常清晰; 自然资源资本则是未来在一定技术条件下有可能开发利用并且可以进入市场交易的部分自然资源和服务, 涵盖了市场预期及其价值不确定性的特点, 其技术市场边界也相对较为清晰。从政府与市场的角色定位来看三者的管理权属: 我国宪法和物权法等规定了所有自然资源由国家或集体所有、并由政府统一管理; 自然资源资产需要以政府为主、市场为辅的协同管理; 自然资源资本则以市场为主、政府为辅, 实现资源和资产在市场上的增值利用。

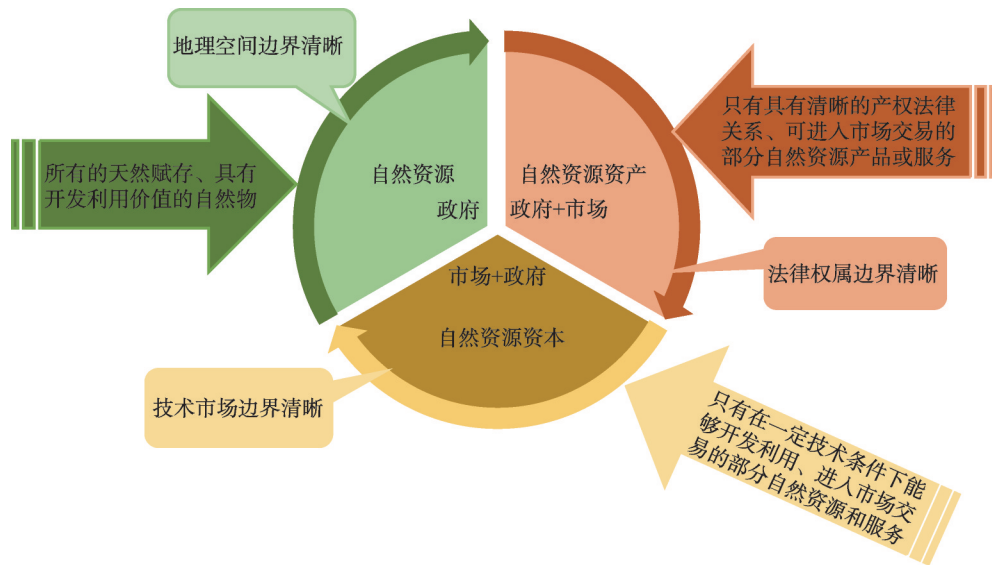


图4 自然资源与资产和资本之间的转化与联系

Fig. 4 Transformation and linkages between natural resources, assets and capital

(3) 能源—资源—技术关联。这类关联分析是为了解决关键性矿产资源开发利用过程中宏观资源安全目标和微观资源高效利用目标的权衡问题, 应对当前全球矿产品贸易格局变化及不确定性因素导致的成本限制乃至损失风险, 通过多种关键性技术策略的优化组合实现自上而下的政策过程与自下而上的响应过程之间相互协调。技术进步将导致能源转型和资源配置结构的显著变化。全球低碳能源系统转型必将导致其他部门需要更多的金属矿产资源, 但这些金属供应能力有限并且多数是以副产品方式开采的关键矿产, 由此可能会改变世界能源与矿产资源的传统地缘政治格局。中国是几种主要的关键金属矿产生产国和消费国, 开采这些关键矿产必然对其他行业或其他国家的低碳技术发展产生影响。Elshkaki等^[15]分析模拟了中国的发电技术(EGT)对包括银、铬、碲、铜、镉、硒、镓、镉、镓、钽、铽等18种关键金属的需求及其全球影响, 结果表明, 低碳能

源系统中最关键的是铍、铬、银、镍、铜、镉、镓等金属，技术进步有望降低与银、铜、镓、铍相关的风险。如果没有从主矿种供给获得足够的金属和提高资源利用率、回收利用和精炼技术，则很难实现绿色能源转型，即低碳能源技术与矿产资源具有全球性的关联影响。

能源、水资源和矿产资源在新能源技术和减排技术上也存在关联效应。资源需求增长以及对资源可供性、获得性和安全风险的担忧，已经引起学者们对未来资源可持续管理的关注^[16]。Elshkaki等^[17]采用动态物质流分析模型对10种发电技术（EGT）和21种金属材料进行了模拟分析，揭示了中国的能源—资源—技术关联关系及其对未来碳排放的影响。结果表明，在国家发展和改革委员会提出的（NDRC）情景中，与新能源发电技术相关的金属材料生产所需能量是国际能源署（IEA-450）情景的两倍，而且这些耗费能源的年增长率超过2.3%~3.4%。其中，NDRC情景主要识别了水电、光伏和风能与金属矿产的关联效应；IEA-450情景则是水电和光伏的关联效应。此外，新能源技术需要消耗更多的铁和含铝混凝土等矿产资源，这些是高耗能和高碳排放的资源，需要制订与新能源相协调的综合资源利用政策。

（4）食物—水—能源关联。这类关联分析的核心内容是在自然资源系统（主要涉及土地、能源、水等资源）和社会经济系统中寻求最佳的权衡解决方案。这是因为食物、能源、水之间存在明显的相互作用，不同社会经济部门需要加强整体协同，以实现多目标的共赢。这类关联分析是目前国内外探讨最为广泛、理论框架最为多样、实证案例最为丰富的研究热点，在全球、国别、区域乃至跨区域层面都积累了大量成果。其中根据不同目标内容，食物、水、能源关联分析的表述顺序会有所不同，即出现了“水—食物—能源关联”“水—能源—食物关联”“能源—水—食物关联”，等等。这是因为食物、能源、水等资源的利用在不同地区或者不同的发展方向之下，可以互为目标、互为限制因素，可以通过技术组合优化方案和综合管理实现协同优化。反之，如果在政策或技术实施过程中，无法将食物、能源、水的资源利用过程实现协调，可能出现“一损俱损”的局面，如食物浪费也是能源和水的浪费，能源供应危机也伴随着粮食危机和水危机，水安全问题也将影响到能源安全和粮食安全。对这些问题的关联过程及其发生机理进行准确识别，是“食物—水—能源关联分析”的主要贡献。例如，全球粮食产出约有30%~50%被浪费掉，相当于浪费了全球14.7亿~19.6亿 hm^2 的耕地、0.75万亿~1.25万亿 m^3 的水和1%~1.5%的能源^[18]。将食物—能源—水进行关联分析和研究，可能实现“经济效率、资源效率和改善生计的现实选择”。

粮食安全是资源安全的重要关注点。2019年底以来，全球接连暴发了非洲沙漠蝗灾、澳大利亚森林大火和新冠肺炎疫情。其中，新冠肺炎疫情和非洲沙漠蝗灾增加了全球粮食供给的不确定性，引起了粮食市场波动。我国小麦、水稻等口粮能够基本自给，但口粮只是食物消费的一部分。2019年，我国进口大豆约为8851.1万t，相当于海外8.4亿 hm^2 耕地上的产量。新冠疫情已使国际粮食供应链发生异常，我国要保障14亿人的粮食安全，必须防患于未然。研究表明，“藏粮于土、投资于技”是保障粮食安全的重要途径^[19]。我国土地资源的开发潜力还很大，可以进一步提升农业资源利用效率。例如，开发抗干旱、抗盐碱植物品种，可以大幅度提高盐碱地的生产力；如果结合新农村建设，合理开展土地整治，推进进城农民的宅基地等土地整理，可增加耕地面积；如果我

国能够实现杂交农作物（水稻、玉米、油菜、大豆、小麦，也称“五杂”）技术全部达到国际领先水平，有望提高粮食单产水平。同时，面向国内外阶段性、结构性供需不均衡的复杂新形势，应构建“营养、绿色、多元、开发”的新时代粮食安全观^[20]。

（5）能源—水—土地—碳排放关联。这类关联分析是在应对气候变化的背景下寻求特定区域经济增长目标和碳减排目标的最优权衡，解决经济增长引致的能源、土地和水等需求增长对碳排放限制的冲突问题，并在给定碳排放限额、碳市场交易、碳税等机制建设前提下促进能源、土地、水等资源利用过程的协同优化，实现资源节约、环境友好、效益提升的高质量经济增长或经济转型模式。近年来，在应对气候变化的压力下，限制碳排放的重要性日益突出，几乎涉及到所有行业。碳排放与能源、水、土地以及人为因素之间紧密相关，也与资源可持续性存在密切联系。其中，“可持续性”一词的含义早已随着时间变化发生了扩展，从最初保护环境的狭义可持续性，衍生到自然资源生产与消费、资源高效流动与利用、能源生产与供应、废弃物回收与利用等过程的广义可持续性。人类的特征、行为和表现以及人类与技术的互动是解决这类复杂关联问题的至关重要因素。

2.2 科技进步对自然资源的地位与作用产生深刻影响

能源革命、第四次产业革命、西部大开发战略等议题已经引起了国内外的持续关注，也形成了大量的成果，但这些进展限于不同学科领域的差异而显得“泾渭分明”。从自然资源研究的理论视角，可以将这些不同学科领域的问题进行有机联系，从而达到在认识上和实践上实现自然资源综合管理的发展目标，为相关改革的行动方案提供支持。

（1）能源革命加速了新能源对常规化石能源的替代过程。2020年政府工作报告指出：“保障能源安全。推动煤炭清洁高效利用，发展可再生能源，完善石油、天然气、电力产供销体系，提升能源储备能力”，涉及到技术、管理、基础能力建设等多个方面。我国能源安全形势依然严峻。2018年，我国石油对外依存度达到71%，同比增长10%；天然气对外依存度达到43%，同比增长32%^[21]。同时，快速城镇化进程催生了汽车工业的高速发展，但相比发达国家而言仍然有很大的增长潜力。我国每百人汽车拥有量为17辆，仅为美国的1/5、日本的1/3、巴西的1/2^[22]。因此，保障能源安全，需要多管齐下。如发展可再生能源，可探索开发荒山、荒坡、荒地种植能源植物，利用农作物秸秆，研发燃料乙醇、生物柴油、生物燃气，有望形成相当于7个大庆油田产出的“绿色能源”。2020年1月欧盟委会正式公布了“欧洲绿色协议”投资计划，在未来10年内预计总投资规模将达到1万亿欧元，可以帮助欧盟国家实现2050年“碳中和”目标，其中重点是降低化石能源使用、提高可再生能源发电比例、开发氢能等低碳能源。

（2）第四次产业革命推动了关键性战略资源的研究与利用。以信息化、网络化和人工智能为特点的第四次产业革命，为应对气候变化、提升资源利用效率及其综合保障能力、改善废弃物再利用能力等方面提供了新的技术解决方案^[23]。人类经历了三次科技革命，机械化、电气化替代了体力劳动，信息化、智能化正在替代部分脑力劳动，这三次科技革命的主要目标是改造自然世界。目前正在兴起的第四次科技革命将改变人类自身及人类社会的运行机制，特别是数字和生物等技术的创新突破，将彻底改变自然资源供需与管理模式，对人类经济社会可持续发展产生巨大的推动作用。与此相关的如农业生物资源绿色开发利用、生物能源替代、中药及天然药物资源利用、废弃物再生利用，等

等。合成生物技术能够使部分灭绝的生物获得再生，保护生物多样性，修复生态环境。耐盐碱、抗旱生物能够使荒山、沙漠变绿洲，部分盐碱地变粮田。例如，袁隆平团队最新发布的海水稻技术，有望多产出半个湖南省的水稻产量。

新技术革命将重塑资源利用及再利用的可持续发展格局。伴随新技术革命和原生资源可供量减少的变化，人们需要更多地利用再生资源。例如，根据循环经济理念提出的人工生产的矿产品（也称为城市矿产）正受到广泛关注，但其生成机理以及从产品到废弃物的数量、质量与分布等特征尚不清楚。一项发表在《自然》杂志上的研究表明，2010年中国可利用的再生矿产达到3900万t，到2022年将翻一番，到2045年则翻两番。一些贵金属和稀土矿产库存的增长速度远远超过大多数基础材料金属。预计每年人工矿产品的总经济价值将从2020年的1000亿美元增长到2050年的4000亿美元。到2050年，预计约有20种人工矿产品能够至少满足三种原生矿产品的消费需求^[24]。

对大宗战略性资源进行总量管控是我国实现“两个一百年”战略目标的关键举措。我国矿产资源“十四五”规划的主要目标依然是保障矿产资源的稳定供应，尤其是油气、铁、煤炭和水泥灰岩等大宗矿产，在支撑城镇化发展和基础设施建设方面还是顶梁大柱，在我国工业化进程尚未完成之前，其需求量还很大，但必须坚持总量控制，并且产地和渠道要牢牢地掌握在中国人自己的手上。其他矿产的总量不大，完全可以通过市场来调节。一些新兴战略性矿产资源是未来20~30年的主体需求矿种。目前，中国20多个省份即将实施34万亿以上超大规模的新型基础设施规划，未来在5G、特高压、城际高速铁路和城际轨道交通、新能源汽车充电桩、大数据中心、人工智能、工业互联网等领域的新增投资，将刺激包括稀土、锂、镓、锗等量小、价高的新兴战略性矿产资源需求。

(3) 推动西部能源资源高效利用成为西部大开发战略的重点内容。2020年5月17日，中共中央和国务院发布了《关于新时代推进西部大开发形成新格局的指导意见》，引起了全国界的广泛关注，也意味着西部地区再次成为我国经济社会发展的主战场。起始于2000年的西部大开发战略已经成功推进了20年，新时代的西部大开发战略和政策必将向纵深发展。西部各省市拥有煤炭和油气化石能源、矿产资源开采及金属冶炼、重化工及传统制造业等资源优势和产业基础，未来要实现西部地区经济高速及高质量发展，自然资源及其相关产业的重要性更为突出。西部能源开发仍然以煤炭为重点关注对象，强调对煤炭供需结构的优化，并在勘探、采掘、加工、利用、输送、存储及电网建设等全环节进行了技术升级部署，同时着力丰富煤炭产品，在煤制油、煤制气、煤制烯烃等方面延长煤炭产业链，强调煤层气的勘探开发利用。西电东输依然是西部基础设施建设的重点内容，主要包括跨省区重点输电通道、清洁电力输送能力、电网调峰能力等建设，目的是解决日益严重的“弃风弃光弃水”所造成的巨大能源浪费问题。钢铁、有色金属、建材等大宗矿产资源开发利用与强化基础设施规划以及开放大通道建设紧密相关。在建立健全市场化、多元化生态保护补偿机制、完善生态保护补偿市场体系等方面，西部地区可以探索更好的要素市场改革模式，构建自然资源资产交易平台，健全自然资源资产收益分配。

2.3 全球不确定性风险快速叠加并影响国家资源安全

习近平总书记于2014年4月15日首次提出包含11种安全的总体国家安全观，这是新时代中国特色国家安全道路，强调要构建集政治安全、国土安全、军事安全、经济安

全、文化安全、社会安全、科技安全、信息安全、生态安全、资源安全、核安全等于一体的国家安全体系^[25]。早在2000年,成升魁等^[26]、沈镛^[27]、谷树忠等^[28]率先提出了“资源安全”的概念,之后还专门组织撰写和出版了《中国资源报告:新时期中国资源安全透视》^[9],系统总结了资源安全的含义与评估方法、基本特征、主要影响因素,并分别对我国水、土地、能源、矿产、生物等主要资源安全态势及其影响因素进行分析,论述资源安全与生态安全和环境安全的差异与互动关系及其相互演进的过程。21世纪以来,在应对日益激烈的全球资源争夺格局并着力缓解国内供需矛盾过程中,我国资源安全面临着各种不确定性风险叠加的新挑战,需要从整体上坚持综合安全观^[29]。新时代的国家资源安全相对于传统意义上的国家资源安全具有更丰富的内涵^[30],不但要继续提升基础能力建设,应对长期存在的地缘政治风险、全球气候变化、国际贸易不确定性等问题,还要增强应急能力建设,针对突发性的重大应急事件形成快速反应机制,如新冠肺炎疫情,而这对于世界各国都是一个难题。

(1) 地缘政治风险的不确定性可能导致战略性资源供应中断。国际地缘政治格局快速演变,导致各种国际关系发生剧变、国家之间冲突加剧并影响全球资源经济和投资模式。充分了解国际地缘政治转变过程、驱动力及其长远影响,对于保障能源与矿产资源以及农林资源性产品贸易、资源外交与资源安全至关重要。一些战略性能源和矿产采掘行业及其产品在全球供应链体系、价值链和地理空间处于核心地位,其变化过程影响了当前及未来能源及资源地缘政治形态,而且由于其采掘生产活动许多位于地缘政治复杂、存在领土争议并且生态环境脆弱地区的地理分布特征使得供应中断风险极为突出。

(2) 全球气候变化的不确定性影响资源的绿色生产与消费。全球气候变化相关研究是近十余年来的热点问题,但各方观点不一,不确定性因素复杂。IPCC关于全球变暖1.5℃的特别报告评估了各种潜在的影响,如自然灾害风险成为全球最可能发生的10个大概率事件和重大影响之一。Xu等^[31]在美国科学院院刊(*PNAS*)上发表论文,认为数千年来人类、农作物和牲畜都集中生活在狭窄的气候宜居带,但这种适合人类的生存环境正在消失,未来全球每减少1℃的平均气温增幅,就能够救10亿人。

为了减缓和适应气候变化带来的影响,世界各国在自然资源领域的投资、生产与消费模式已然发生变革,特别是清洁生产技术和可持续消费理念对自然资源供需产生了较大的影响。应该认识到,全球气候变化是复杂多元的全球变化的一部分,除了气候之外还有政治、经济、社会、技术、治理等方面的全球变化。全球变化已经对自然资源可持续利用形成了长期挑战,主要包括7个方面,即新的领导力、第四次产业革命、日益恶化的全球影响、绿色金融、转型过渡期、非国家力量和交叉环境风险^[23]。

(3) 国际贸易的不确定性造成大宗资源产品的市场价格震荡频发。2019年以来中美贸易摩擦持续不断,对国际大宗资源产品贸易和资源价格造成动荡和冲击。受新冠肺炎疫情在全球大流行的影响,以及沙特与俄罗斯发生了石油大战造成持续的负面影响,2020年4月20日国际市场上即期交割的美国原油价格出现了历史上的首次负值,WTI原油5月期货暴跌3.06倍,收于每桶-37.63美元。这是自1983年4月WTI期货在纽约交易所开始交易以来的最低价格。由于WTI原油期货需要在美国库欣交割,但该地区所有的原油仓库均已订空,输油管道和库存也都接近满载,投资人需要支付高昂的运输费用乃至超过石油本身的价格,造成原油期货价格负值且市场崩溃。显然,国际贸易不确定性

对原油、铁矿石、粮食和大豆等大宗战略性资源价格影响很大，急需解析国际资源贸易变化规律并对未来发展趋势和可能发生的重大风险形成精准预警研判。

(4) 重大应急事件的不确定性加大资源供应成本。例如，新冠肺炎疫情彻底改变了世界格局，影响深远。正如习近平总书记在2020年4月8日召开的政治局常务会议上强调，面对当前“极不寻常”“突如其来”“前所未有”的国际疫情和世界经济复杂形势，要坚持底线思维，做好较长时间应对外部变化的思想与工作准备。中国国际经济交流中心陈文玲总经济师在第127期“经济每月谈”发表的文章用了四个“世所罕见”来形容当前国际经济严峻形势，包括全球经济大衰退、新冠疫情全球大流行、人为推动和肢解经济全球化的言行和举措、以美国为首的西方政客栽赃和诬陷中国等。可以预见，疫情时代将对全球资源产业链重构和贸易网络建设带来更多外部成本和风险。未来在国家导向下实现生命安全、生物安全、粮食安全、经济安全、能源安全等目标将会产生巨大的多种资源门类需求，并且这些目标的实现过程具有高度关联特征，需要引进大资源、开发大产品、培育大产业、占领大市场，需要加速培育新时代的资源科技型龙头企业，满足国家经济社会新需求，使我国资源经济发展迈上一个新台阶，摆脱西方国家对我国关键性战略资源的管控。

新冠肺炎疫情对全世界经济系统已经形成了重创。疫情持续时间越长，对世界影响则越加深远，可以预计将深刻改变国内外社会经济的运转方式和人们生产生活方式。对于自然资源的开发、利用和再利用，以及自然资源研究的影响，从不同视角应有不同的思路。然而，目前关于疫情的许多详细经济统计数据尚未发布，当前的严格管制条件也不允许开展典型调研或者社会访谈，在此仅基于各种报道和观察提出一些判断。

在宏观层面上，新冠肺炎疫情对于自然资源的开发、利用、再利用的影响程度与当前疫情时期乃至后疫情时期经济发展模式，尤其经济增长驱动力的转换密切相关。例如，当前疫情对我国和其他国家的影响呈现出时差特征，即我国已经降低防控等级时，其他国家的疫情还将持续甚至愈演愈烈，导致我国经济增长的外部环境可能将变得愈加恶劣，需要侧重发掘国内新的增长驱动力，强化“内循环”格局，尤其是新一轮的西部大开发启动，对于提升国内自然资源开发、利用和再利用等技术条件及能力建设将提供新的机遇。在区域和产业层面上，疫情已经导致大规模的失业和资产闲置，对于后疫情时期的区域经济恢复留下诸多不确定性和限制因素，已有专家提出要警惕“报复性消费”或者“应激性增长”的影响，避免经济形势出现较大幅度的动荡。对于企业而言，疫情将促使有条件的企业加快推进自动化、智能化、无人化的生产条件升级，而在5G迎来高速发展的机遇下，面向全国铺开的智能化过程可能将大大缩短；但对于公众而言，一方面线上办公可能成为常态，另一方面智能时代对于个人的科技素质要求将大为提高，社会经济向整体智能化转型的过程急需高素质人才，但可能也会导致短期较为严重的结构性失业。

3 未来自然资源研究的创新能力建设

关联研究方法为面向多目标优化的自然资源综合管理提供了新的理论框架和实践工具。应对气候变化是国家在保障资源安全、促进生态环境保护、实现经济可持续发展并加强国际地位等一系列前提下所必须采取的举措。未来自然资源研究需要同时部署近期

和远期目标,近期应围绕国家“十四五规划”、自然资源部重大任务需求,加强科技基础支持和数据、标准、方法方面应用;远期则面向联合国SDGs、国家“2030”“2035”及“2050”发展战略,加强基础研究人才培养、创新科学研究方法和手段,加快“从0到1”原创性成果形成较大突破。

3.1 急需加强自然资源的基础理论研究

基础研究既是大幅提升原始创新能力的关键基础,又是自然资源研究服务于国家战略需求目标的重要保障。自然资源研究在针对单一资源门类开展专项研究的基础上,可以创新综合性基础理论和系统性研究方法。同时,应加快资源科学一级学科建设,培养高层次资源研究复合型人才。从国际看,当今的关联分析、模型构建与情景模拟分析,需要把自然资源的综合问题与全球目标(如SDGs)、气候变化以及国内目标(如“一带一路”倡议、西部大开发)紧密结合起来。从国内看,为深入贯彻落实《国务院关于全面加强基础科学研究的若干意见》(国发〔2018〕4号),发挥基础研究对科技创新的源头供给和引领作用,解决我国基础研究缺少“从0到1”原创性成果的问题,2020年1月科技部联合国家发展改革委、教育部、中科院、自然科学基金委等发布了《加强“从0到1”基础研究工作方案》,对整个基础研究进行了系统安排,包括优化原始创新环境、强化国家科技计划项目的原创导向、加强基础研究人才培养、创新科学研究方法和手段、提升企业的自主创新能力等方面进行了具体的部署。自然资源研究应继续突出国家需求和问题导向,寻找基础前沿领域和关键核心技术的重大科学问题,注重跨领域、跨学科的交叉研究,注重青年人才和创新团队的培育,注重方法创新,特别是适应大科学、大数据、互联网时代的新特点,提高资源科学的基础研究原始创新能力,积极参与国家重点实验室和国家科技计划等,寻找稳定的经费支持和取得重大原创性成果或突破关键核心技术。从自然资源综合视角看,需要加强自然资源要素与生态环境要素的系统关联机理及韧性作用模式研究,加强新时代国家资源安全形势综合预警能力建设及国际危机应对策略研究,加强后疫情时期全球资源治理体系构建、大国资源博弈格局及可能的变革方向研究,加强战略性关键性矿产资源核心技术“卡脖子”清单及技术研发,加强再生资源的形成机理、分布格局、可用性评估及开发利用潜力分析,等等。

自然资源部的未来定位将更多地履行宏观规划、战略研究、综合管理、信息共享等服务型政府职能,这对于开辟新的自然资源基础研究领域是一个难得机遇。例如,自然资源部要履行全民所有的土地、矿产、森林、草原、湿地、水、海洋等自然资源资产所有者职责和国土空间用途管制职责,新成立了4个自然资源综合管理司和3个国土空间方面的司局,专门负责自然资源调查监测评价、统一确权登记、自然资源资产有偿使用,建立并监督实施国土空间规划体系和统筹国土空间生态修复,这些重大任务的基础性工作是如何对自然资源进行科学分类,如何制订统一的且易于推广的自然资源标准体系,等等^[32]。显然,管理部门的自然资源分类需要创新,力求简单易行、边界清晰和问题导向,不同于学理和法理上的分类,后者分类更广、更全。因此,在自然资源综合管理的实践方面,需要加强自然资源利用全流程标准体系创新及资源—资本—资产协同管理能力建设研究,需要研究西部地区、典型流域或区域资源环境综合承载力和国土空间开发适宜性的动态评价,需要探索东部地区再生资源的数量、质量、价值链及综合管理模式途径,需要研究后疫情时期我国战略性关键性矿产资源的可持续供应、储备能力建设及

国际风险管控策略。

3.2 急需设立自然资源研究重大研发计划为服务于国家战略需求提供科技支撑

(1) 建议自然资源部设立专项开展“新一轮自然资源综合调查与综合分区规划研究”。目前,自然资源部正在努力构建权威性的自然资源数据生产、集成与发布体系,开展区域资源环境承载能力评价、国土空间适宜性评价以及自然资源开发利用的系统性模拟预测等,为开展自然资源综合调查和综合评价,以及国土空间规划提供了难得的机遇。未来可以在此基础上,组织自然资源调查标准和方法培训班,研发构建自然资源大数据与模拟分析平台,开展新一轮的自然资源综合区划。

(2) 建议国家科技部设立“自然资源利用潜力调查基础性工作专项”。我国自然资源利用粗放,实现高效利用尚有巨大的潜力可挖。要实现自然资源高质量发展,必须摸清水、土地、能源、矿产等关键性自然资源的潜力现状,进而提出一些重大的资源利用技术创新领域和重点方向。为此,建议依托科技部的科技基础资源调查专项,选择一些重点行业和典型区域或城市群,组织实施一批自然资源利用潜力调查基础性工作专项计划。

(3) 建议国家自然科学基金委设立“自然资源学”独立的学科申请代码。根据国家自然科学基金委员会改革的总体部署,地球科学部开展了地理学科的项目申请代码调整与优化工作。总体要求是以学科现有申请代码为基础,梳理整体架构和逻辑层次,既保持基础学科的相对稳定,又反映新兴学科和前沿领域。为此,建议设立D0111“自然资源学”,包括水资源、土地资源、能源资源、矿产资源、其他资源(森林、草场、湿地等)、综合自然资源等方向;增加D0113“能源环境地理学”,包括能源安全、能源地缘政治、能源经济转型、能源消费与气候变化、能源贸易与市场融资等方向。

(4) 建议由中国工程院或相关部委牵头组织“面向2050中国自然资源战略研究”重大咨询项目。中国工程院、自然资源部、国家人口计划委员会等部委都有组织自然资源研究各个领域开展重大战略咨询研究的工作基础,也取得了诸多重大成果。如2005—2007年由王淀佐、陈毓川等组织完成了“中国可持续发展矿产资源战略研究”;2004—2007年由蒋正华、徐匡迪、宋健等负责完成了国家人口计划委员会重大项目“国家人口发展战略研究”;2009—2012年由孙鸿烈、方克定、韩海青等负责完成了原国土资源部重大咨询项目“国家可持续发展国土资源战略综合研究”等。这些研究积累了几乎所有门类的自然资源和相关人口及区域社会经济方面丰硕成果。然而在历经多年之后的现在,大多数门类的自然资源供给和消费格局已经发生深刻变化,未来30年还将出现诸多不确定性,有必要尽早启动面向2030年或2050年的中国自然资源战略研究,通过任务凝聚一批专业队伍并带动自然资源学科发展,为国家提出一些重大资源工程计划和咨询政策建议。

参考文献(References):

- [1] 孙鸿烈 主编. 中国资源科学百科全书. 北京: 中国大百科全书出版社, 2000. [SUN H L (Editor-in-Chief). Encyclopedia of Chinese Resources Science. Beijing: China Encyclopedia Press, 2000.]
- [2] 资源科学技术名词审定委员会. 资源科学技术名词. 北京: 科学出版社, 2008. [Resource Science and Technology Nomenclature Committee. Resource Science and Technology Nomenclature. Beijing: Science Press, 2008.]
- [3] 石玉林 主编. 资源科学. 北京: 高等教育出版社, 2006. [SHI Y L (Editor-in-Chief). Resource Science. Beijing: Higher Education Press, 2006.]

- [4] 成升魁, 谷树忠, 王礼茂, 等著. 2002中国资源报告. 北京: 商务印书馆, 2003. [CHENG, S K, GU S Z, WANG L M, et al. China Resources Report 2002. Beijing: Commercial Press, 2003.]
- [5] 成升魁, 谷树忠 著. 中国资源报告: 新时期中国资源安全透视. 北京: 商务印书馆, 2010. [CHENG, S K, GU S Z. China Resources Report: Perspective of China's Resource Security in the New Era. Beijing: Commercial Press, 2010.]
- [6] 成升魁, 沈镭, 徐增让, 等 编著. 2010中国资源报告 资源流动: 格局、效应与对策. 北京: 科学出版社, 2011. [CHENG, S K, SHEN L, XU Z R, et al. China Resources Report Resource Flow: Patterns, Effects and Countermeasures. Beijing: Science Press, 2010.]
- [7] 中国科学技术协会 主编, 中国自然资源学会 编著. 2006—2007资源科学学科发展报告. 中国科学技术出版社, 2007. [China Science and Technology Association (Editor-in-Chief), Chinese Society of Natural Resources (Editor). Report on the Development of the Discipline of Resources Science (2006-2007). Beijing: China Science and Technology Press, 2007.]
- [8] 中国科学技术协会 主编, 中国自然资源学会 编著. 2008—2009资源科学学科发展报告. 中国科学技术出版社, 2009. [China Science and Technology Association (Editor-in-Chief), Chinese Society of Natural Resources (Editor). Report on the Development of the Discipline of Resources Science (2008-2009). Beijing: China Science and Technology Press, 2009.]
- [9] 中国科学技术协会 主编, 中国自然资源学会 编著. 2011—2012资源科学学科发展报告. 中国科学技术出版社, 2012. [China Science and Technology Association (Editor-in-Chief), Chinese Society of Natural Resources (Editor). Report on the Development of the Discipline of Resources Science (2011-2012). Beijing: China Science and Technology Press, 2012.]
- [10] 中国科学技术协会 主编, 中国自然资源学会 编著. 2016—2017资源科学学科发展报告. 中国科学技术出版社, 2017. [China Science and Technology Association (Editor-in-Chief), Chinese Society of Natural Resources (Editor). Report on the Development of the Discipline of Resources Science (2016-2017). Beijing: China Science and Technology Press, 2017.]
- [11] 新华社. 中共中央、国务院关于构建更加完善的要素市场化配置的体制机制的意见. 2020-04-09. 见: http://www.gov.cn/zhengce/2020-04/09/content_5500622.htm. [Xinhua News Agency. Comments of the Central Committee of the Communist Party of China and the State Council on the construction of a more complete system and mechanism for factor-based market allocation, 2020-04-09. In: http://www.gov.cn/zhengce/2020-04/09/content_5500622.htm.]
- [12] RINGLER C, CLAUDIA A, LAWFORD R. The nexus across water, energy, land and food (WELF): Potential for improved resource use efficiency?. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(6): 617-624.
- [13] DAHER B T, MOHTAR R H. Water-energy-food (WEF) Nexus Tool 2.0: Guiding integrative resource planning and decision-making. *Water International*, 2015, 40(5-6): 748-771.
- [14] BLEISCHWITZ R, SPATARU C, VANDEVEER S D, et al. Resource nexus perspectives towards the United Nations Sustainable Development Goals. *Nature Sustainability*, 2018, (1): 737-743.
- [15] ELSHKAKI A, SHEN L. Energy-material nexus: The impacts of national and international energy scenarios on critical metals use in China up to 2050 and their global implications. *Energy*, 2019, 180: 903-917.
- [16] ELSHKAKI A. Materials, energy, water, and emissions nexus impacts on the future contribution of PV solar technologies to global energy scenarios. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 19238.
- [17] ELSHKAKI A, SHEN L, CHEN W Q. Material-energy-water nexus: Modelling the long term implications of aluminium demand and supply on global climate change up to 2050. *Environmental Research*, 2020, 181: 108964.
- [18] BAZILIAN M, ROGNER H, HOWELLS M, et al. Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. *Energy Policy*, 2011, 39(12): 7896-7906.
- [19] 封志明, 李香莲. 耕地与粮食安全战略: 藏粮于土, 提高中国土地资源的综合生产能力. *地理与地理信息科学*, 2000, 16(3): 1-5. [FENG Z M, LI X L. Cultivated land and food security strategy: Storing grain on the soil, improving the comprehensive production capacity of China's land resources. *Geography and Geo-Information Science*, 2000, 16(3): 1-5.]

- [20] 成升魁, 李云云, 刘晓洁, 等. 关于新时代我国粮食安全观的思考. 自然资源学报, 2018, 33(6): 911-926. [CHENG S K, LI Y Y, LIU X J, et al. Thoughts on food security in China in the new period. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(6): 911-926.]
- [21] 自然资源部. 中国矿产资源报告(2019). 2019: 1-25. [Ministry of Natural Resources. *China Mineral Resources Report (2019)*, 2019: 1-25.]
- [22] 姜浩, 李晓鹏, 陈志, 等. 提升汽车产业的中国经济支柱地位. 科技中国, 2020, (4): 49-58. [JIANG H, LI X P, CHEN Z, et al. To promote the automobile industry as the pillar of China's economy. *Science and Technology of China*, 2020, (4): 49-58.]
- [23] 沈镛, 钟帅, 胡纾寒. 全球变化下资源利用的挑战与展望. 资源科学, 2018, 40(1): 1-10. [SHEN L, ZHONG S, HU S H. Resource utilization under global change: Challenges and outlook. *Resources Science*, 2018, 40(1): 1-10.]
- [24] ZENG X, ALI S H, TIAN J, et al. Mapping anthropogenic mineral generation in China and its implications for a circular economy. *Nature Communications*, 2020, 11(1), Doi: 10.1038/s41467-020-15246-4.
- [25] 习近平. 坚持总体国家安全观走中国特色国家安全道路. 新华网, 2014-04-15. [XI J P. Adhere to the overall national security concept and follow the path of national security with Chinese characteristics. *Xinhuanet*, 2014-04-15.]
- [26] 成升魁, 沈镛. 由战争看国家资源安全战略: 从北约袭击南联盟谈起. 中国科学技术协会, 浙江省人民政府. 面向21世纪的科技进步与社会经济发展(下册). 中国科学技术协会、浙江省人民政府: 中国科学技术协会学会学术部, 1999: 549-550. [CHENG S K, SHEN L. From the war to see the national resource security strategy: Discussion from the NATO attack on Yugoslavia. China Association for Science and Technology, Zhejiang Provincial People's Government. In *Science and technology progress and social and economic development for the 21st century (Part 2)*. China Science and Technology Association, Zhejiang Provincial People's Government: Academic Department of the China Science and Technology Association, 1999: 549-550.]
- [27] 沈镛. 国家资源安全哲学及我国西部地区的地缘资源安全. 加入WTO和中国科技与可持续发展: 挑战与机遇、责任和对策(下册). 2002. [Shen L. National Resource Security Philosophy and Geopolitical Resource Security in Western my country. In: *Accession to the WTO and China's Science and Technology and Sustainable Development-Challenges and Opportunities, Responsibilities and Countermeasures (Part 2)*. 2002.]
- [28] 谷树忠, 姚予龙, 沈镛, 等. 资源安全及其基本属性与研究框架. 自然资源学报, 2002, 17(3): 280-285. [GU S Z, YAO Y L, SHEN L, et al. Conceptual framework and research focus of resource security. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(3): 280-285.]
- [29] 沈镛. 综合资源安全, 现状及预测, 战略选择. 中国科学院院刊, 2013, 20(6): 247-254. [SHEN L. Comprehensive resource security, current situation and forecast, strategic choice. *Proceedings of the Chinese Academy of Sciences*, 2013, 20(6): 247-254.]
- [30] 沈镛, 张红丽, 钟帅, 等. 新时代下中国自然资源安全的战略思考. 自然资源学报, 2018, 33(5): 721-734. [SHEN L, ZHANG H L, ZHONG S, et al. Strategic thinking on the security of natural resources of China in the New Era. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(5): 721-734.]
- [31] XU C, TIMOTHY A K, TIMOTHY M L, et al. Future of the human climate niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020, Doi: 10.1073/pnas.1910114117.
- [32] 孔含笑, 沈镛, 钟帅, 等. 关于自然资源核算的研究进展与争议问题. 自然资源学报, 2016, 31(3): 363-376. [KONG H X, SHEN L, ZHONG S, et al. Research progress and controversial issues of natural resources accounting. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(3): 363-376.]

Opportunities and challenges of natural resources research of China in the New Era

SHEN Lei^{1,2}, ZHONG Shuai^{1,2}, HU Shu-han¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The Report of the Nineteenth National Congress of the Communist Party of China proposed that building a New Era of socialism with Chinese characteristics puts forward new demands for comprehensive research and management practices of natural resources. Since the completion of large-scale comprehensive scientific investigations and researches of natural resources in the 1990s, comprehensive research on natural resources has gradually become the focus of attention in the field of resources science. In the New Era, natural resources research is facing various opportunities and challenges. This article discusses the nexus relationship between the frame of the Mountain- Water- Forests- Field- Lakes- Grasses, pointed out by President Xi Jinping, and the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) in terms of natural resources issues. It focuses on the four typical related research topics that are most concerned at home and abroad today, namely, resource-asset-capital nexus, energy-resource-technology nexus, food- water- energy nexus, energy- water- land- carbon emission nexus, combined with the policy guidance proposed in the New Era. It analyzed the geopolitical risks, climate change, international trade uncertainty, major emergency events and other issues and proposed several new perspectives and related suggestions which are aimed to provide some new ideas for the development of natural resources research and disciplines innovation capacity building. The authors believe that the century-long unprecedented changes have a profound impact on the status and role of natural resources. As a result, it is urgent to strengthen the basic theoretical research of natural resources and establish some major R&D plans for natural resources research as soon as possible to serve the national natural resources strategy and major engineering needs and provide some ways of important technological support for China.

Keywords: natural resources; the New Era; opportunities; challenges; China