

引用格式: 沈镭, 钟帅, 胡纾寒. 全球变化下资源利用的挑战与展望[J]. 资源科学, 2018, 40(1): 1-10. [Shen L, Zhong S, Hu S H. Resource utilization under global change: challenges and outlook[J]. *Resources Science*, 2018, 40(1): 1-10.] DOI: 10.18402/resci.2018.01.01

全球变化下资源利用的挑战与展望

沈 镭^{1,2,3}, 钟 帅^{1,3}, 胡纾寒^{1,3}

(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;
3. 国土资源部资源环境承载力评价重点实验室, 北京 100083)

摘 要:近10多年来,全球变化已经成为了地理科学、生态学和环境科学等学科最主要的研究方向之一,而全球变化影响下的资源利用问题对于资源科技工作者而言既是挑战也是机遇。本文阐明了全球变化的多元性和复杂性特征,提出:①全球变化不仅仅指气候变化,而且涵盖了由自然和人文因素所引起的全球尺度地球系统功能变化,存在极其复杂的经济、社会、资源、环境、技术等多重因素相互作用过程;②全球尺度上的变化过程已由过去的单一经济格局变动演变成经济、社会、政治、人口、资源、环境、科技等多要素之间耦合或胁迫的复杂过程;③全球资源利用面临着七大共同挑战,新的全球资源格局逐渐形成;④进入新时代的中国应对全球变化下资源利用挑战,应采取内外并举的双向战略,即对外大力推动“一带一路”倡议在国际上取得重大突破,力图构建新的全球资源治理体系,保障国际资源供给安全;对内积极实施“十三五”创新驱动战略,挖掘资源利用科技创新的新动能,保障国家资源需求安全。

关键词:全球变化;资源利用;全球资源治理模式;国内外挑战;中国策略

DOI: 10.18402/resci.2018.01.01

1 引言

全球变化已经成为地理科学、生态学和环境科学的最主要研究方向之一,研究和解决好资源利用的各种问题作为资源科学的核心任务,也应充分借鉴上述三大学科的前沿成果和研究进展,形成资源科学新的综合性和系统性的研究视角。对于迈入新时代的中国而言,未来中国资源利用的重心应探索建立全球资源治理体系,采取内外并举的双向战略,综合保障资源的供给安全和需求安全。本文在简要梳理全球变化的基本特征基础上,利用作者参与“世界经济论坛”(www.weforum.org)的知识图谱资料,系统归纳出当今全球资源与环境安全所面临的主要挑战,进而结合中国特色社会主义新时代的新定位,提出中国的应对策略,以期资源科学的

未来研究与应用提供参考借鉴。

2 全球变化的多样性和复杂性

全球变化(Global Change)有狭义和广义之分。狭义的全局变化是指由自然和人文因素引起的地球系统功能在全球尺度范围的变化,包括大气与海洋环流、水循环、生物地球化学循环以及资源、土地利用、城市化和经济发展等的变化^[1]。广义的全局变化是指人类社会系统及其赖以生存发展的地球环境系统因某种或几种因素作用后引起的格局改变,包含着极其复杂的经济、社会、资源、环境、技术等多重相互作用过程。全球性的环境变化最为显性且易被人类感知,因而其影响深远,如,温室效应和全球增暖、臭氧层破坏、森林锐减和物种灭绝、土地退化和淡水资源短缺等等。

收稿日期: 2017-11-07; 修订日期: 2018-01-10

基金项目: 科技部2017年国家重点研发计划项目(2016YFA0602802); 国家自然科学基金面上项目(41771566, 41501604)。

作者简介: 沈镭, 男, 湖北麻城市人, 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@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 钟帅, E-mail: zhongshuai@igsnrr.ac.cn

当今全球变化学已经形成为一门独立的学科,主要内容是研究地球系统整体的变化行为,把地球的各个层圈(如大气圈、水圈、岩石圈和生物圈)作为一个整体,研究地球系统过去、现在和未来的变化规律和控制这些变化的原因和机制,从而建立全球变化预测的科学基础,并为地球系统的管理提供科学依据。全球变化科学的产生和发展是人类为解决一系列全球性问题的需要,也是科学技术向深度和广度发展的必然结果。全球变化具有多元、复杂的特征。从速度上看,在21世纪前1/5的时间内,全球变化的广度、深度和强度已经发生了深刻的转变;从广度上看,全球变化已从单纯的经济层面向气候、地缘政治、社会、技术、治理等多个方向扩展;从深度上看,其影响因素日趋复杂且持续时间更长

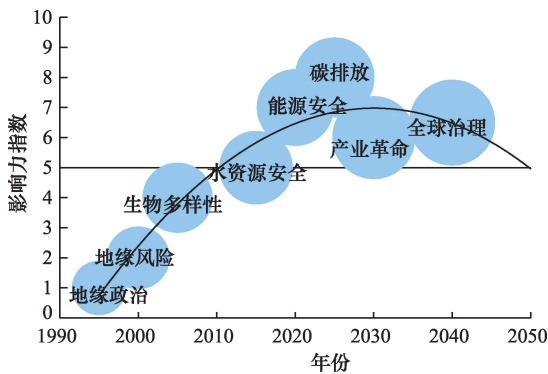


图1 全球变化影响因素及其影响力指数变化示意

Figure 1 Impact factors and their changes in influence indexes of global change

——5年、10年、20年甚至更长时间(如图1);从强度上看,近年来黑天鹅、灰犀牛等事件突发、自然灾害或人为风险事件(大规模黑客攻击)频发,在区域甚至国家层面造成深刻影响,局部地区出现了政治失衡、经济失调、社会失稳。因此,全球变化将带来全球格局的深度调整,国际秩序进入一个较长的重组期,局部地区的公共治理可能出现一个巨大的真空,较为剧烈的冲突和失序可能成为新常态。

国内有关全球变化研究兴趣高涨,学术论文成果丰硕。据中国知网的中文期刊论文数据,按照“全球变化”主题词检索,年发表相关论文在2000年超过1000篇,2002年超过2000篇,2006年超过3000篇,之后快速增长到2013年超过9000篇(图2)。近几年热度略有下降,但年发文量仍在8000篇以上,地理学、生态学、环境科学等领域的大量专家学者积极参与其中。

值得注意的是,一些著名学者已经明确表述全球变化不能成为地理科学主导方向的观点。著名地理学家陆大道先生非常尖锐地指出:“‘全球变化’并不能作为地理学最主要的前沿与热点,但全球变化研究却曾经统领了中国地理学20多年的主导方向,用去的人力、物力和财力不计其数,而放弃了国家日益突出的资源问题、环境问题的研究”^[2]。

资源问题其实是资源科技工作者的核心研究课题。以全球变化为背景的资源问题研究在2000年之后也处于一个快速上升趋势(图2)。立足于全

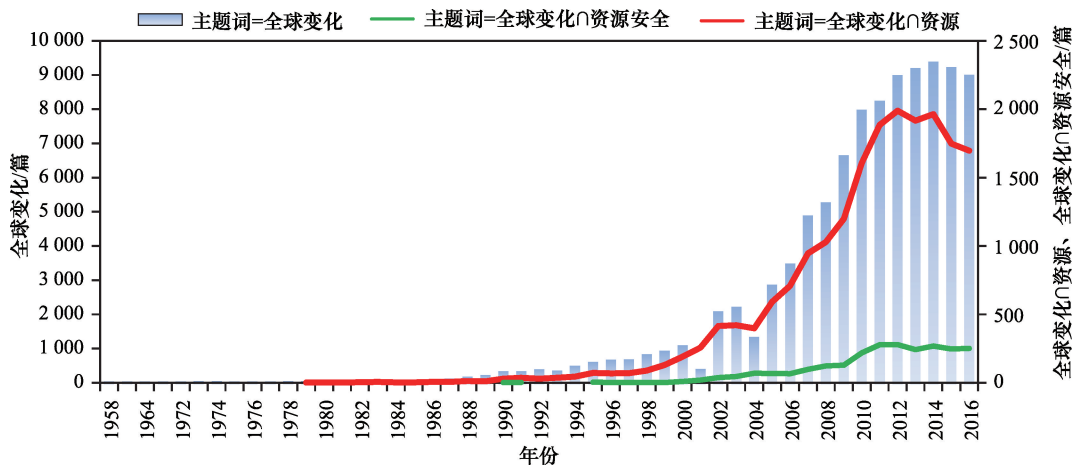


图2 中国学术期刊论文有关全球变化的研究成果统计

Figure 2 Statistics of research results related to global change in Chinese journals

2018年1月

球变化在广度、深度和力度上呈现的多元性和复杂性趋势,地理科学、生态学和环境科学的快速发展也为资源科学的研究拓宽了视野也提供了新的思路:资源问题研究不仅要关注全球变化对资源和环境系统的影响和作用机理,还应该关注资源利用的行为主体应对全球变化所面临的挑战、机遇和不同的发展路径。为此,本文利用“世界经济论坛”(World Economic Forum, or WEF)提出的知识图谱,系统梳理了全球气候变化下资源利用面临的各种挑战,并提出中国的应对策略,以期资源科学及相关研究和战略决策提供一种新的视角。

3 环境与自然资源安全的挑战

“世界经济论坛”《2016全球风险报告》^[3]提出,随着各种全球性问题的影响不断显现,管理好全球自然资源并为应对这些挑战提供相应的创新策略,需要各界开展新的合作与创新并真正快速地改变

现有的全球环境与资源格局。其中,环境风险是全球十大可能发生的概率事件和重大影响之一,可能的概率事件包括:极端天气、气候变化适用性失败、自然灾害;重大影响包括气候变化相关问题、生物多样性损失等。

“世界经济论坛”基于网络上的大量专家知识信息,动态地构建了当今世界十大热点问题及其解决方案的知识图谱框架。为了应对全球资源风险并缓解和适应气候变化问题,“世界经济论坛”列出了以下七大总体挑战及其转型路线图(图3)。

3.1 新的领导力

一些新兴国家、企业集团和地区领导者将成为解决全球资源利用问题的领导力量,推动重新界定国际秩序。近年来,世界范围内已经达成了许多具有标志性的应对气候变化与资源利用可持续性方面的政府间协议,包括“2030年可持续发展议程”^[4]、

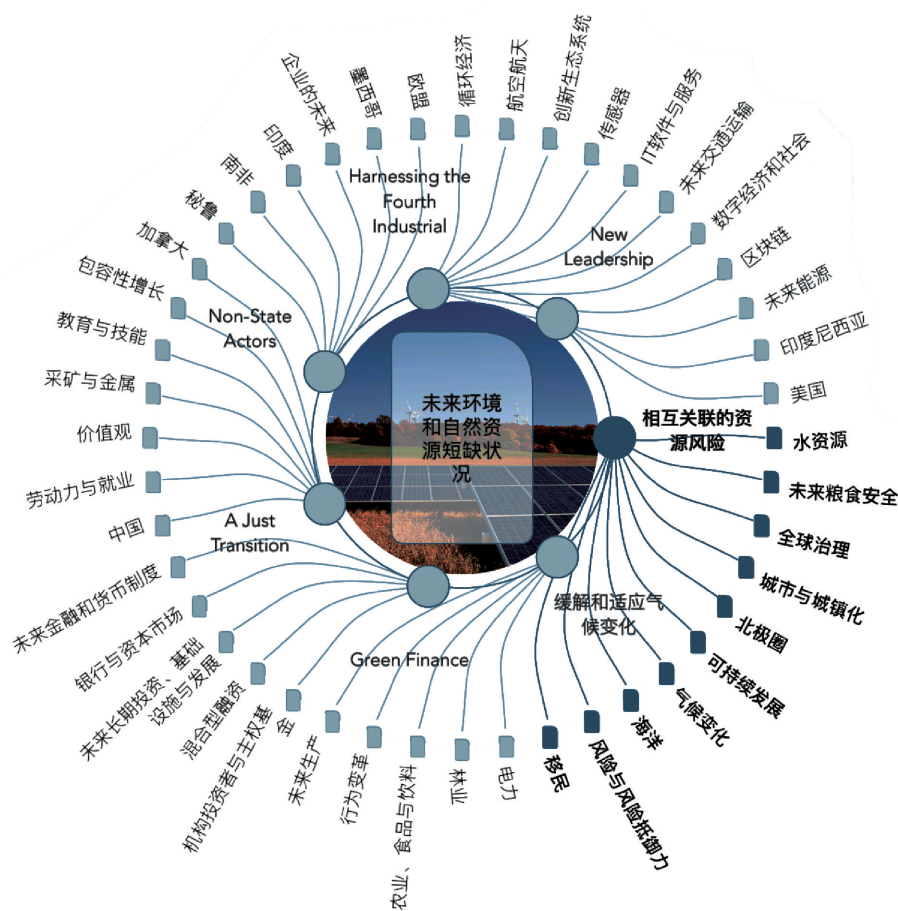


图3 世界经济论坛列出的全球资源风险与应对气候变化的转型路线

Figure 3 Transition roadmap addressing resource risk and climate change

“2015巴黎气候变化协定^[5]”、“蒙特利尔协定书修正案”、“国际民用航空组织公约”等等;当前关注重点已经从谈判内容转变为实施协议所采取的必要行动,中国和加拿大、国际企业领导者、一些地方政府和城市领导人发挥了很大的作用,如中国成功地举办G20杭州峰会、倡导绿色金融、联合美国在巴黎气候变化协定中发挥了积极作用。中国承诺在2030年实现碳排放峰值目标;加拿大提出了“包容性创新议程”和“清洁增长和气候变化泛加拿大框架”;美国一些大洲如加利福尼亚、华盛顿等提出继续履行气候变化与环境行动;印度尼西亚总统佐科·维多多(Joko Widodo)签署“暂停转变泥炭地的动议^[6]”;欧盟能源企业计划从2020年后停止燃煤发电厂项目^[7];全球2000家机械化开采矿山承诺节能减排^[8];印度铝业集团、非洲Redavia太阳能公司和IAMGOLD黄金公司、智利铜业集团等承诺利用15%的清洁能源。

3.2 第四次产业革命

第四次产业革命为应对全球环境与资源问题提供了难得的机遇,资源生产与消费及其管理模式将迎来新的变革。第四次产业革命为工业化带来的气候变化、水资源稀缺、能源与资源安全、陆海废弃物处理等提供新的解决方案。第四次产业革命在物理、数字、生物等许多领域的技术突破,可以改变自下而上的个体和分散决策模式,设计出一些主动的积极方案,提升资源管理系统的核心价值。主要标志是:一些重点产业向网络化生态系统转变,传统的自上而下、由少数专家主导的环境治理模式被替代,跨学科和交叉领域的共同合作成为应对全球海洋、大气、森林和水资源等问题的关键所在,新的公私组合融资模式将起更大作用,一些资源利用技术、互联网平台应用呈现了巨大的商业价值。例如,新的卫星交互传感器、卫星成像、数据处理工具、无人机技术可以获取高质量、时间系列的环境资源数据;《全球森林观察》^[9]把大量数据信息推送给手机用户,而这些数据过去只提供给学校和研究人員;区块链等知识技术在碳交易、水权交易管理与配置、非法森林采伐等分散行为领域具有广阔的应用潜力;物联网技术改变了人们对资源性产品生命周期的认识;智慧设计可以了解产品维修和持续

时间,从而尽量减少闲置时间、避免运行风险或高昂的冗余能力。

3.3 日益恶化的全球影响

人类活动和产业运行模式已把全球资源环境系统置于极端变化压力之下,威胁着未来的经济增长与可持续发展。2009年,一个国际科学家组织提出了一个新概念“Planetary boundary”(行星边界),用来衡量人类行为引起行星生命支持系统变化的阈值^[10],并指出地球共有9个行星边界,当前被突破了4个,这可能引起环境发生不可逆转变化,包括气候变暖、水压力、生物多样性和海洋酸化,也可能显著地改变资源供应链稳定性、劳动力市场效率和可供性以及消费者预期,因此很多学者认为人类活动把地球推向一个全新世纪——“人类世”^[11]。尽管在全球资源环境系统中还有大量的影响和反馈尚未显现,但目前环境与自然资源压力已经非常严峻。根据美国海洋与大气管理局和世界大气组织的公开数据显示:在有仪器记录的17次最热年份中,2000年以来就发生了16次,2017年很可能超过了2015年最热记录;IPCC第五次评估报告^[12]指出,1970—2011年期间CO₂排放增长了90%;据2016年UNEP的排放差距报告^[13]测算:2014年全球温室气体排放量达520亿t CO₂;2016年世界银行报告《气候变化、水资源与经济》^[14]估计:当前世界有16亿人生活在水资源稀缺等国家,而到2050年这类人口将可能上升到40亿,将引起卫生与健康、能源发电计划、农业生产等连锁效应;据2015年全球森林资源评估报告估算^[15],每年损失的林木覆盖面积1800万公顷,相当于两个葡萄牙国土面积;2016年世界卫生组织指出,全球92%的人口生活在空气不安全地区;据世界自然基金会估计,1970—2012年期间,脊椎动物数量减少了58%;据2012年世界银行报告估计,每年产生的废物量约13亿t,2025年将上升到22亿t;2012年《科学》杂志上一篇关于海洋酸化的地质记录显示^[16],当前是3亿年以来海洋化学状况变化最快的时期,不仅影响海洋旅游和渔业,还导致海洋吸收二氧化碳的能力下降进而加快气候变化;2016年联合国粮农组织报告显示^[17],全球1/3的渔群栖息地存在过度捕捞,每年因此而减少的渔业资源达2600万t,相当于230亿美元的价值损失。

2018年1月

3.4 绿色金融

当今绿色投资热潮正在世界各地兴起,但普遍规模不大。绿色基础设施部门正成为挖掘投资潜力和推动可持续发展的主要驱动力。在当前世界经济放缓、技术成本不断下降、政治因素从货币政策和限量公共支出转变为更多基础设施投资的背景下,可持续的基础设施诉求不断高涨,这是提升资源生产力、创造社会就业和促进经济增长的主要工具。几乎所有国家都在制订国家计划,在低排放能源、交通、建筑和土地利用方面都规划了大规模投资计划。2016年的UNEP《可再生能源投资全球趋势报告》显示^[18],2015年可再生能源总投资达到2860亿美元,相当于煤炭和天然气发电投资的两倍多,占当年新增装机的53.6%(不包括水电)。根据2016年IFC报告的估计^[19],到2030年新兴市场的气候投资将达到23万亿美元;2016年《新气候经济》报告也^[20]预计到2030年全球基础设施投资高达90万亿美元;世界可持续发展工商理事会(WBCSD)认为,食品及农业可持续发展目标(SDG)每年将产生2.3万亿美元和8000万就业机会。国际能源署(IEA)认为,日益增长的可再生能源投资正引发能源基础设施投资结构的变革。然而,实施绿色投资计划的关键环节是找到合适的公私伙伴关系组合;同时,大规模基础设施投资需要多边、区域性开发银行甚至全球融资平台;显著增长的私人绿色融资仍然还难以满足巨量投资需求。截止2016年底,绿色气候基金只募集了103亿美元^[21],与协议到2020年目标还差100亿美元。

3.5 转型过渡期

有很多管理者和学者普遍认为,当今世界所处的转型期将会非常漫长,需要一些包容性的具体解决方案,要依靠合理行动及目标导向的决策过程,在一些重大决策中需要考虑商业、技术开发者、资源环境专家的积极参与。例如,要确保世界各国向低碳、环境友好型经济与社会转型,对全球资源环境问题需要有系统性解决措施;必须解决发达国家的持续低增长、财富结构失衡、新技术造成失业的恐惧等难题,以及缓解很多社区失去认同感或被遗忘的感受。

显然,“转型过渡期”的概念具有一定的指导性意义。它是由国际劳工运动演变而来并在国际非营利性组织中广泛倡导的新提法,目的是在保护环境的同时确保持续繁荣。例如,保障气候福利就是要把工作机会从碳密集型部门转移出来,通过鼓励性政策为低收入地区创造新的工作机会,控制能源成本上涨,使得低收入家庭免受太大影响。世界各国已经出现大量实现转型过渡期行动计划,其中普遍的做法是采取可持续的包容性经济体系。例如,2016年11月,加拿大政府宣布未来将加快传统煤电退出,政府将与各省和劳工组织一起确保在受影响的个人纳入低碳经济转型计划之中;2017年4月,能源过渡委员会(Energy Transitions Commission)发布了旗舰报告^[22],提出了控制全球增温在2度以内的一些可操作路径;2016年2月,中国提出重新安置180万因去产能、实现产业转型的煤炭和钢铁工人^[23]。

3.6 非国家力量

当今领导全球环境与资源挑战的领导力量已经出现多元化趋势,特别是商业企业 and 国家层面下的地方政府正日益发挥更大作用。传统的政府和国际组织架构正在不断拓展,一些新的技能、资源利用模式和前景规划随着新的领导力量产生而不断呈现。各国政府致力于制订新的政策框架,探索实现可持续发展目标(SDGs)^[24]和2015年巴黎气候变化协议的操作方案,而真正促进政策实施的是企业和社区。因此,要协调和促进各种利益方的合作必须建立新的平台,采取更宽广的系统视角,应对各种错综复杂的挑战,并满足不断涌现的大量资源环境行动参与者的诉求,如热带森林联盟2020^[25]、非洲棕榈油倡议^[26]、2030水资源集团(孟加拉、印度、肯尼亚、墨西哥、蒙古、秘鲁、南非、坦桑尼亚、越南)^[27]等。

联合国全球契约2017年状况报告显示,近年来各地投资商和企业与私营部门在气候变化与可持续发展计划方面建立了广泛联系^[28]。由世界经济论坛召集的气候领导者CEO联盟^[29]倡导在碳定价、可再生能源、绿色融资与基础设施方面联合采取行动,这些企业总收入在2.1万亿美元以上。2016年6月,有两项最具影响力的、由城市主导的环境与资源安全倡议——欧盟市长盟约^[30]和市长契约^[31],宣

布城市和地方政府在应对气候变化影响方面的共同倡议,全球6个大陆、120个国家的7000多个城市重新承诺了气候与能源的全球市长盟约,这代表了世界8%的人口。2016年,联合国气候变化框架公约(UNFCCC)第22届巴黎大会发布了气候变化行动马拉喀什伙伴计划^[32],首次把非国家力量纳入政府气候行动过程之中,设置了土地利用、海洋及海岸带、淡水、人居、交通、能源、产业等7大议题,成立了联合国非国家参与者气候行动区(NAZCA),建立了独立网站^[33],截止2017年1月10日,约有2000家公司(世界最大公司占1/3)、2500个城市、200个地区、近500家投资商,共同登记了12500项承诺。世界20家大银行中有15家参与其中,市值达2万亿美元。

3.7 交叉环境风险

全球及区域性交叉环境风险使资源利用问题面临的形势更为严峻,加剧了世界各地经济增长、商业模式和社会福利方面的风险。世界经济论坛根据过去10年全球风险概率和影响程度探讨了环境风险和资源利用的交叉关联问题^[34],特别强调:持续变化的天气模式以及水危机可能引发或加剧地缘政治和社会风险,造成地缘脆弱带的国内及区域冲突而引发人口被动迁移;对全球海洋、大气和气候系统管理不善,可能造成超越资源和环境系统的局部或全球后果。然而,尽管全球促进低碳经济转型和恢复气候变化弹性的政治决心依然坚决,但步伐不快,而美国特朗普政府的气候政策具有很大的不确定性。UNEP报告显示,即使实现了巴黎峰会各国承诺的目标,全球仍将升温3.0~3.2℃,高于2℃目标安全水平。据印度政府报道,2015—2016年的干旱至少波及3.3亿人。2016年,北极圈海冰出现了消融,澳大利亚大堡礁北部1/3面积、约700km长的地带出现珊瑚白化^[35]。联合国报告^[36]显示,2008—2015年,年均有2150万难民因气候问题需要安置,2015年约有9800万人受到自然灾害影响。据世界银行报告预测,到2050年,水资源稀缺的经济影响将占中东和萨赫勒地区GDP的6%以上。

4 中国的应对策略与前景展望

面对当前全球变化下的资源利用问题,进入新时代的中国也存在五大外部挑战,分别是:

- (1)西方世界对中国崛起的偏见和误解;
- (2)美国主导的排他性国际规则;
- (3)地缘政治因素;
- (4)人权因素;
- (5)国外媒体过度赞扬与理性担当的权衡。

同时,在国内还有六大内部挑战也值得注意,分别是:

- (1)海外和长期投资加快;
- (2)人口向城市大规模迁移;
- (3)创新转型动力强化;
- (4)消费主义兴起;
- (5)智慧管理;
- (6)生态环境修复。

在此情况下,应对全球变化下的资源利用问题,需要一种综合性视角^[37],建议采取以下应对策略。

4.1 实施与联合国可持续发展目标(SDGs)相一致的可持续资源利用战略

中国“十三五”及其更长时间内实施的生态文明建设和“五位一体”发展战略与联合国可持续发展目标(SDGs)高度契合,将带来重要的机遇和挑战,并在不同层面对中国发展产生深刻的影响。中国是全球大国中第一个出台了《中国落实2030年可持续发展议程国别方案》的负责任国家,积极推进联合国SDGs的行动计划在中国落地。2016年12月推出了《中国落实2030年可持续发展议程创新示范区建设方案》,2030年预计还有一批部门性和地方性发展规划相继出台。SDGs与中国“十三五”规划理念高度吻合,追求可持续发展,也与中国“一带一路”倡议相一致,鼓励基础设施互联互通、可持续增长、促进就业、减少国家之间和国家内部不平等、消除贫困、倡导全球伙伴关系等。预计未来SDGs将推动中国的绿色发展、自然资源与环境体制改革,建立新的可持续发展评价体系等。

4.2 扩大“一带一路”倡议的长远国际影响力,建设新的全球资源治理体系

“一带一路”倡议最早是覆盖65个国家和地区,2016年底的GDP总量达到21万亿美元,是拥有44亿人口、1万多亿美元贸易额的重要市场。在中国进口商品中,约有65%的原油、42%的煤炭、92%的天然气以及35%的棉花是来自这些国家。随着“一

2018年1月

带一路”倡议的影响力逐渐扩大,目前已有70个国家和区域合作组织实质性地参与进来,104个国家与中国签署了双边投资协定,亚投行也已迎来70个成员国。同时,“一带一路”倡议激活了沿线许多国家战略。例如,中东欧国家有“三河”(易北河、奥得河、多瑙河)通“三海”(波罗的海、亚得里亚海、黑海)的千年梦想;乌兹别克斯坦、老挝改变内陆国计划;塞尔维亚成为中欧陆海快线的新节点、“16+1”合作非欧盟成员国的领头羊;欧盟成员国的领头羊波兰成为中东欧国家中率先加入亚投行的国家。在“一带一路”建设之中,中国应加强资源利用的国际合作,加快探索并推动全球资源合作的新模式,主要行动方案有四点:①注重海外资源开发投资承担更多的环境、健康和社会责任与义务;②积极争夺战略性资源定价话语权,重点是铁矿石、稀土、战略性新兴产业等^[38];③既要搞好与大国(重点是美国、欧盟、俄罗斯)的竞争与合作关系,又要积极应对周边国家(如印度、日本等)“依美欺我”和小国(东盟个别国家)“以小欺大”的各种挑衅;④针对美国在国际舞台上暂时性退让领导地位情况下,中国应更加理性地担当和加快全球资源治理体系的建设。

4.3 继续抓好“十三五”创新驱动战略,挖掘资源科学技术创新的新动能

为了解决国内经济增长动力不足、迎接世界范围内第四次产业革命,以科技为核心推动创新驱动发展应适应我国经济发展的新要求。就资源科学领域而言,随着新能源、新材料、IT技术、人工智能技术等方面实现突破,同时伴随着一批战略新兴产业的兴起,中国未来发展将依靠科技创新驱动,而不是传统的劳动力以及资源能源要素驱动。在此前景下,资源科学技术的创新目标必须是真正为了驱动经济社会和生态环境的健康发展,推进资源供给侧结构改革,加强资源产品再利用和循环利用,为资源产业去产能寻找新动能和新路径^[39]。

4.4 应对好资源科学本身的挑战,创新研究范式

近年来,地学领域出现了两大研究方法的应用高潮,即地理信息系统(GIS)和计算机图形与空间分析。GIS的核心思想是基于哈佛大学设计学院Carl Steinitz(1938-)教授和他的同事共同合作开发的著名地理设计框架(Geodesign Framework)。地

理设计框架在区域规划、景观设计、景观生态和建筑设计等相关的空间分析中得到了广泛应用,已经开发了引力模型、地图叠加分析、加权评价等一系列经典的空間分析方法和软件产品原型,建立了完备的地理信息科学理论体系,从而衍生了GIS软件系统。地理设计框架作为一种系统分析方法同样适用于资源科学的综合研究,尤其是用来研究整个资源利用的状态-过程-评价-变化-影响-对策等6个层次系统环节,其中每个层次可以分别对应一种信息表达模型,包括:表达模型(Representation Models)、过程模型(Process Models)、评价模型(Evaluation Models)、变化模型(Change Models)、影响模型(Impact Model)和决策模型(Decision Model)。

物质流和资源流动研究也是当前资源科学的热点之一^[40]。物质流和资源流动研究是针对一个系统(如资源系统、经济系统、社会系统等)的物质和能量的输入、迁移、转化、输出进行定量化的分析和评价方法,可以划分为宏观、中观和微观等3个层次:宏观层次是以国家或全球层面的物质流核算为研究边界;中观层次是以某一区域、流域、城市或工业园区为研究边界的物质流核算;微观层次的物质流核算针对具体企业或者具体企业的特定资源产品、物质进行研究。资源流动方法的研究目的有三个,一是追踪资源消费路径及其环境影响;二是对战略性资源生命周期代谢分析;三是对特定经济部门或区域的可持续性分析。

在资源流动研究的基础上,国内外学者也逐步向资源代谢与工业生态学研究领域拓展。资源代谢分析能够直观、量化表述人类活动对资源利用过程及其对环境的扰动过程,为进一步消减环境影响、提高资源及生态环境效益等工作提供更全面的数据支持和更系统的决策依据。资源代谢分析的常用方法主要有物质流分析、能量流分析、生命周期评价和投入-产出分析。多种分析手段结合运用已成为资源代谢问题中理论发展和应用实践的主要趋势。

5 结论

全球尺度上的变化过程由过去的单一经济格局变动演变成经济、社会、政治、资源、环境、科技等多要素耦合或胁迫的复杂关联过程,并且它们之间相互影响的速度、广度、深度和强度日趋复杂。因此,全

球变化不仅仅是气候变化,而是涵盖了各种自然因素、人文因素综合引起的地球系统功能在全球尺度的变化结果,存在极其复杂的经济、社会、资源、环境、技术等多重相互作用的过程、机理和适应策略。

当前时期,全球资源问题面临七大共同挑战,但各种资源门类(矿产、能源、水、粮食等)的挑战和特点各异,而这些挑战正在重塑全球资源格局。中国应该积极应对全球变化下的资源利用挑战,采取内外并举的双向战略。对外配合“一带一路”倡议构建新的全球资源治理体系,保障国际资源供给安全;对内深入推进“十三五”创新驱动战略,挖掘资源利用科技创新的新动能,保障国家资源需求安全。

全球变化下资源利用问题的挑战对于资源科学的发展既是挑战也是机遇。资源科技工作者在适应这些全球变化的同时,应不断创新并丰富资源科学自己的研究视角、研究方法和研究手段,在未来资源综合研究中广泛纳入地理设计、大数据、云计算、物质流和资源流动分析、资源代谢、工业生态学等领域的前沿理论和最新方法。

参考文献(References):

- [1] 徐冠华, 葛全胜, 宫鹏, 等. 全球变化和人类可持续发展: 挑战与对策[J]. 科学通报, 2013, 58(21): 2100-2106. [Xu G H, Ge Q S, Gong P, et al. Societal response to challenges of global change and human sustainable development[J]. *Chin Sci Bull*, 2013, 58(21): 2100-2106.]
- [2] 陆大道. 变化发展中的中国人文与经济地理学[J]. 地理科学, 2017, 37(5): 641-650. [Lu D D. The changing humanistic and economic geography in China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(5): 641-650.]
- [3] World Economic Forum. The Global Risks Report 2017 [EB/OL]. (2017-01-11)[2017-10]. http://www3.weforum.org/docs/GRR17_Report_web.pdf.
- [4] 联合国. 2030年可持续发展议程[EB/OL]. (2015-09-25)[2017-10]. <http://www.un.org/sustainabledevelopment/zh/development-agenda/>. [United Nations. 2030 Sustainable Development Goals[EB/OL]. (2015-09-25)[2017-10]. <http://www.un.org/sustainabledevelopment-agenda/>.]
- [5] United Nations. Framework Convention on Climate Change, Paris Agreement[EB/OL]. (2016-10-05)[2017-08-22]. http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php.
- [6] 联合早报. 印尼修法严禁在所有泥炭地开辟种植园[EB/OL]. (2016-12-07)[2017-08-22]. <http://www.zaobao.com/news/sea/story20161207-699095>. [Union Morning Paper. The Indonesian Revised the Law to Forbid the Opening of Plantations in all Peat [EB/OL]. (2016-12-07)[2017-08-22]. <http://www.zaobao.com/news/sea/story20161207-699095>.]
- [7] Neslen A. The End of Coal: EU Energy Companies Pledge no New Plants from 2020[EB/OL]. (2017-04-06)[2017-10]. <https://www.theguardian.com/environment/2017/apr/05/the-end-of-coal-eu-energy-companies-pledge-no-new-plants-from-2020>.
- [8] Kirsche J. Energy Urgency: Why the Global Mining Industry is Embracing Renewables[EB/OL]. (2017-03-30)[2017-10]. <https://nextbillion.net/energy-urgency-why-the-global-mining-industry-is-embracing-renewables/>.
- [9] World Resources Institute. Global Forest Watch: A Dynamic Online Forest Monitoring and Alert System that Empowers People Everywhere to Better Manage Forests[EB/OL]. (2017-08-22)[2017-10]. <http://www.wri.org/our-work/project/global-forest-watch>.
- [10] Mace G M, Meyers B, Alkemade R, et al. Approaches to defining a planetary boundary for biodiversity[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 28(1): 289-297.
- [11] 陈蕾羽. 科学家宣布地质纪元进入“人类世”[EB/OL]. (2016-09-14)[2017-08-22]. http://www.chinadaily.com.cn/interface/yidian/1139302/2016-09-14/cd_26717228.html. [Chen L Y. Scientists Declared that the Geological Epoch Enters the Anthropocene [EB/OL]. (2016-09-14)[2017-08-22]. http://www.chinadaily.com.cn/interface/yidian/1139302/2016-09-14/cd_26717228.html.]
- [12] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Fifth Assessment Report[EB/OL]. (2014-10-09)[2017-10]. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/>.
- [13] United Nations Environment Programme (UNEP). Emission Gap Report[EB/OL]. (2016-09)[2017-08-22]. <http://www.unep.org/emissionsgap/resources>.
- [14] World Bank. High and Dry: Climate Change, Water, and the Economy[EB/OL]. (2016-09)[2017-08-22]. <http://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/high-and-dry-climate-change-water-and-the-economy>.
- [15] 联合国粮食及农业组织. 2015年全球森林资源评估报告: 世界森林变化情况[EB/OL]. (2016-09)[2017-08-22]. <http://www.fao.org/3/a-i4793c.pdf>. [Food and Agriculture Organization. Global Forest Resources Assessments 2015[EB/OL]. (2016-09)[2017-08-22]. <http://www.fao.org/3/a-i4793c.pdf>.]
- [16] Hönisch B, Ridgwell A, Schmidt D N, et al. The geological record of ocean acidification[J]. *Science*, 2012, 335(6072): 1058-1063.
- [17] 焦翔. 《2016年联合国世界水发展报告》在京发布[EB/OL]. (2016-05-11)[2017-08-22]. <http://world.people.com.cn/n1/2016/0511/c1002-28343330.html>. [Jiao X. “UN World Water Development Report 2016” Was Released in Beijing[EB/OL]. (2016-05-

2018年1月

- 11)[2017-08-22]. <http://world.people.com.cn/n1/2016/0511/c1002-28343330.html>.]
- [18] United Nations Environment Programme (UNEP). Global Trends in Renewable Energy Investment 2016[EB/OL]. (2016-09)[2017-08-22]. <http://fs-unep-centre.org/publications/global-trends-renewable-energy-investment-2016>.
- [19] International Finance Corporation (IFC). Annual Report 2016: Experience Matters[EB/OL]. (2016-09)[2017-09-22]. http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/bf1bf0b-216b-4cde-941b-dd55febe9d3a/IFC_AR16_Full_Volume_1.pdf?MOD=AJPERES.
- [20] The New Climate Economy. The Sustainable Infrastructure Imperative: Financing for Better Growth and Development[EB/OL]. (2016-09)[2017-08-22]. <http://newclimateeconomy.report/2016/misc/downloads/>.
- [21] Climate Bonds Initiative. Green Bonds Market 2017[EB/OL]. (2016-09)[2017-09-22]. <https://www.climatebonds.net/>.
- [22] Energy Transitions Commission. Halving Global Carbon Emission by 2040 Is Within Our Reach, but Governments, Investors and Businesses must Act Now to Accelerate Energy Transitions[EB/OL]. (2017-04)[2017-08-22]. 25. http://energy-transitions.org/sites/default/files/ETC_Report_Global_press_release_%20April_2017.pdf.
- [23] 杜燕飞. 煤炭钢铁行业去产能后: 180万职工去哪儿? [EB/OL]. (2016-03-08)[2017-08-22]. <http://energy.people.com.cn/n1/2016/0308/c71661-28180852.html>. [Du Y F. How to Arrange 1.8 Million Workers after Cutting the Capacity of the Coal and Steel Industries [EB/OL]. (2016-03-08)[2017-08-22]. <http://energy.people.com.cn/n1/2016/0308/c71661-28180852.html>.]
- [24] Sustainable Development Knowledge platform. Sustainable Development Goals [EB/OL]. (2016-03-08)[2017-08-22]. <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>.
- [25] World Economic Forum. Tropical Forest Alliance 2020 [EB/OL]. (2016-03-08)[2017-08-22]. <https://www.tfa2020.org/en/>.
- [26] World Economic Forum. Africa Palm Oil Initiative: Balancing Economic Development with Conservation[EB/OL]. (2016-03-23)[2017-08-22]. <https://www.weforum.org/agenda/2016/05/africa-palm-oil-initiative-balancing-economic-development-with-conservation/>.
- [27] 2030 Water Resources Group. The 2030 WRG Strategy [EB/OL]. (2016-03-08)[2017-08-22]. <https://www.2030wrg.org/who-we-are/2030-wrg-strategy/>.
- [28] United Nations. 2017 United Nations Global Compact Progress Report [EB/OL]. (2017-12-08)[2018-1-02]. https://www.unglobalcompact.org/docs/publications/UN%20Impact%20Brochure_Concept-FINAL.pdf.
- [29] World Economic Forum. Global CEOs Call for Greater Disclosure of Climate Risks and Opportunities[EB/OL]. (2017-04-21)[2017-08-22]. <https://www.weforum.org/agenda/2017/04/global-ceos-call-for-greater-disclosure-of-climate-risks-and-opportunities>.
- [30] Covenant of Mayors for Climate & Energy. New 2030 Framework and Integration of Adaption [EB/OL]. (2016-03-08)[2017-08-22]. http://www.covenantofmayors.eu/about/covenant-of-mayors_en.html.
- [31] 人民网. 墨尔本和悉尼加入“市长契约”积极采取气候行动 [EB/OL]. (2015-09-28)[2017-08-22]. <http://env.people.com.cn/n/2015/0928/c1010-27642637.html>. [People. cn. Melbourne and Sydney Have Joined the "Mayor Compact" to Take Action on Climate Change [EB/OL]. (2015-09-28)[2017-08-22]. <http://env.people.com.cn/n/2015/0928/c1010-27642637.html>.]
- [32] United Nations. Yearbook of Global Climate Action 2017 [EB/OL]. (2017-12-12)[2017-12-12]. http://unfccc.int/paris_agreement/items/9951.php.
- [33] Global Climate Action. About NAZCA [EB/OL]. (2016-03-08)[2017-08-22]. <http://climateaction.unfccc.int/>.
- [34] World Economic Forum. The Global Risk Report 2016 [EB/OL]. (2016-09)[2017-08-22]. <http://reports.weforum.org/global-risks-2016/>.
- [35] Coral Reef Studies. Coral Bleaching Taskforce Documents Most Severe Bleaching on Record[EB/OL]. (2016-03-29)[2017-08-22]. <http://www.coralcoe.org.au/media-releases/coral-bleaching-taskforce-documents-most-severe-bleaching-on-record>.
- [36] The UN Refugee Agency. Environment, Disasters and Climate Change [EB/OL]. (2016-09)[2017-08-22]. <http://www.unhcr.org/environment-disasters-and-climate-change.html>.
- [37] 沈镭. 保障综合资源安全[J]. 中国科学院院刊, 2013, (2): 247-254. [Shen L. Investigations to safeguard comprehensive resources security of China[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2013, (2): 247-254.]
- [38] 沈镭, 高天明, 程新. 欧盟资源外交政策研究[J]. 资源科学, 2011, 33(10): 1822-1829. [Shen L, Gao T M, Cheng X. A study on European Union's resource diplomatic policy[J]. *Resources Science*, 2011, 33(10): 1822-1829.]
- [39] 沈镭. 资源的循环特征与循环经济政策[J]. 资源科学, 2005, 27(1): 32-38. [Shen L. On circulation characteristics of natural resources and policies of circulation economy[J]. *Resources Science*, 2005, 27(1): 32-38.]
- [40] 成升魁, 沈镭, 闵庆文, 等. 资源科学研究的新视角-自然资源流动过程与效应研究[J]. 资源科学, 2006, 28(2): 199-200. [Cheng S K, Shen L, Ming Q W, et al. New perspectives in resources science: study on flow process of natural resources[J]. *Resources Science*, 2006, 28(2): 199-200.]

Resource utilization under global change: challenges and outlook

SHEN Lei^{1, 2, 3}, ZHONG Shuai^{1, 3}, HU Shuhan^{1, 3}

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

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

3. *Key Laboratory of Carrying Capacity Assessment for Resource and Environment,*

Ministry of Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: In the last decade, global change has become a leading research area in geoscience, ecological science and environmental science. Tools such as geodesign, big data, cloud computing, material flow and resource flow analysis, resource metabolism and industrial ecology have been applied to global change. The study of resource utilization requires continual innovation to create new perspectives, methodologies and approaches. This study illustrates the diversity and complexity of global change, analyzes the overall challenge of resource utilization, and presents an outlook on China's coping strategies and prospects. First, global change not only indicates climate change but also covers the changes in earth systems caused by natural and humanistic elements at a global scale. Second, resource and environment systems are an important component of earth life-supporting systems, it is implied that the impacts at the global scale have been changed from a single economic level to the multi-levels involving economic, social, political, resource, environmental and technological factors, with interactive processes, and these processes have been shaped with more complex characteristics in speed, span, depth and strength. Third, it is widely believed that seven common challenges occurred in resource utilization would lead to a new pattern of global resource governance, even though different resources (mining, energy, water, grain) have different challenges with various features. Fourth, China should implement a two-pronged strategy targeting both external and internal objectives: external objective should be the Belt and Road Initiative to establish a new system of global resource governance for guaranteeing resource supply security; the internal objective should rely on the innovation-driven strategy of the 13th Five-Year Plan to guarantee resource demand security.

Key words: global change; resource utilization; global resource governance; domestic and foreign challenges; China's strategies