

# 地缘环境系统模拟研究探讨

葛全胜<sup>1,2</sup>, 江 东<sup>1,2</sup>, 陆 锋<sup>1,2</sup>, 邓祥征<sup>1,2</sup>, 王绍强<sup>1,2</sup>

(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:** 地缘环境系统研究是认知国际地缘政治态势、保障国家战略顺利实施的科学支撑。近年来,在国际地缘战略调整、经济全球化和技术进步等要素的驱动下,地缘环境系统研究的内涵与外延都发生了巨大变化。分析地缘环境要素的变化,预估地缘环境演变趋势并提出应对风险的措施,既是地缘环境研究的重要内容,也是实施国家战略的重要科技保障。本文回顾了地缘环境系统研究的学科发展历程及国内外的最新进展,系统梳理了地缘环境系统模拟的理论和方法体系。研究表明,地缘环境系统是一个复杂的非线性系统,具有层次性、地域性、综合性等特征。针对特定的地缘问题,可以采取分层次、合理概化、数值逼近等方法进行系统模拟。同时,大数据技术逐渐成为地缘环境系统研究的新范式,通过异构数据挖掘、机器学习、高性能计算等方法,可望发现纷繁复杂的地缘环境系统中蕴含的要素关联关系,预测与干涉系统演化过程,为地缘环境问题的解决提供新的技术手段。

**关键词:** 地缘环境系统; 地缘事件; 地缘政治学; 地缘经济学; 时空模拟

DOI: 10.11821/dlxb201703001

## 1 引言

地缘环境是自然环境和人文社会环境的总称,地缘环境系统是全球或区域尺度上自然要素(地形、地貌、气候、水土资源等)及人文要素(经济、文化、宗教、政治、军事等)相互作用形成的复杂系统。地缘环境系统研究属于传统地缘政治学与地球系统科学的交叉领域,旨在通过分析各种要素的相互作用,研究国家、组织或其他行政单元间的相互关系与演变过程。目前中国“一带一路”战略的实施面临复杂的地缘形势,中国与“一带一路”沿线国家形成一个复杂的互馈体系,各种有利和不利因素交织在一起<sup>[1]</sup>。

监测、分析和评估地缘环境要素的变化,预估地缘环境演变趋势并提出应对风险的措施,既是地缘环境研究的重要内容,也是实施国家战略的重要科技保障。近年来美国、俄罗斯和中国均提出了一些崭新的国家战略思路<sup>[2]</sup>。2013年1月,奥巴马提出用“亚太再平衡”战略取代具有争议的“重返亚太”战略<sup>[3]</sup>。2014年10月,美国国防部提出“第三次抵消战略”,计划重点发展大数据和先进制造技术等,以抵消中、俄等国的军事发展<sup>[4]</sup>。2015年12月,俄罗斯总统普京签署了新版《2020年前俄罗斯国家安全战略》,认为俄罗斯与中国发展全面战略协作伙伴关系是维护地区及世界稳定的关键因素<sup>[5]</sup>。在这些背景下,推进中国地缘环境系统研究具有重大的理论和现实意义。

收稿日期: 2016-04-01; 修订日期: 2016-12-06

基金项目: 中国科学院重点部署项目(ZDRW-ZS-2016-6) [Foundation: Major Program of Chinese Academy of Sciences, No.ZDRW-ZS-2016-6]

作者简介: 葛全胜(1963-), 男, 安徽怀宁人, 研究员, 中国地理学会会员(S110000942M), 主要从事气候变化、地缘环境研究。E-mail: geqs@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 江东(1972-), 男, 安徽寿县人, 研究员, 主要从事地理信息系统、地缘环境研究。E-mail: jiangd@lreis.ac.cn

(1) 促进地理学、地球系统科学等学科发展。随着现代科学技术的发展,当今人类对地表要素变化过程检测及要素相互作用规律分析技术不断成熟,对地球表层系统变化情景模拟能力愈来愈强,地球表层系统研究被赋予大数据分析、自然和人文科学交叉集成研究的多尺度和多要素相互作用分析、阈值检测和预警、多情景模拟和智能化决策支持系统等新的研究内涵,地球表层系统科学研究正处在革命性突破的前夜。地缘环境系统科学脱胎于地球表层系统科学和地缘政治学,同时,地缘环境系统科学的发展反过来会促进、推动地球表层系统科学和地缘政治学等传统学科的发展,催生出一系列新的学科生长点。

(2) 提升对地缘环境问题的认知水平和决策支持能力。过去 100 年,地球表层系统发生了有史以来最剧烈的变化。全球变暖、自然灾害、资源短缺和地缘冲突等关乎人类生存和发展问题愈来愈严峻,某些支撑生命系统的地表要素已逐渐逼近“阈值”而有可能发生不可逆变化,部分局地地表事件的扰动效应已扩展至全球,这些问题已在较大程度上威胁着全球人类的生存与发展。目前发达国家和诸多国际机构高度重视地缘环境系统的模拟与应用,建立了涉及地缘关系的跨国别决策分析模型。然而在大区域地缘环境评价方面,多数是针对资源利用、环境安全、国家实力、地缘经济等进行的单一要素评价,缺乏从可持续发展的角度针对大洲尺度资源环境系统进行综合评价的成熟案例。中国的地缘环境系统研究应当充分继承已有理论方法积累,抓住机遇,不断提升对地缘环境问题的认知水平和决策支持能力。

(3) 助力中国“一带一路”、生态文明建设等国家战略的实施。“十八大”报告提出的“以全球视野谋划和推动创新”战略突出了未来中国问题研究要基于全球背景。目前,中国的和平崛起面临着复杂的地缘政治形势,必须创新地缘环境系统模拟的理论、方法和技术,破解地缘环境系统内附和衍生的各种问题,确保支撑中国地缘环境安全。例如,“一带一路”被“内陆包围圈”及“第一岛链”切分成不连续的区段,如何链接这些断点是“一带一路”建设的重要内容。以地缘环境系统理论方法为依托,围绕政策沟通、道路联通、贸易畅通、货币流通、民心相通的“五通”举措实施的关键问题,可以为“一带一路”建设提供科学的决策支持。

## 2 地缘环境系统理论的起源与发展

地缘环境系统理论是地缘政治学与地球系统科学交叉融合的产物,随着二者的发展而逐渐萌生与发展。

### 2.1 地球系统科学的发展进程

地理学是研究地理环境以及人类活动与地理环境相互关系的科学<sup>[6]</sup>。由于地球空间广阔、形成时间久远、组成要素复杂,分门别类的研究难以完整地认识地球表层环境<sup>[7]</sup>。1978 年,世界气象组织(WMO)和国际科学联合会(ICSU)第一次提出了“气候系统”的概念<sup>[8]</sup>。1984 年,ICSU 第 20 届大会将“气候系统”的概念扩展为针对全球环境问题的地球系统<sup>[9]</sup>。1988 年出版的《地球系统科学》一书,系统地阐述了地球系统和地球系统科学的观点,标志着“地球系统科学”的思想和概念正式确立<sup>[10]</sup>。地球系统科学以系统观和多时空尺度来研究地球系统,使得人类能更好地认识自身赖以生存的环境<sup>[11]</sup>。

20 世纪 90 年代以来,一系列重大全球环境问题远远超过了单一学科的范畴,催生了以地球系统科学为理论基础的全球变化研究。它是研究地球系统各组成部分之间相互作用,以及发生在地球系统内的物理、化学和生物过程之间相互作用的一门新兴学科<sup>[12]</sup>。

全球变化科学的主要研究内容包括全球大气化学与生物圈相互作用、全球海洋通量、全球水文循环过程生物学特征、全球变化对陆地生态系统的影响、全球变化史研究5个方面<sup>[13]</sup>。2014年,为应对全球变化带来的挑战,加强自然科学与社会科学的沟通与合作,由ICSU和国际社会科学理事会(ISSC)发起、联合国教科文组织(UNESCO)、联合国环境署(UNEP)等组织共同牵头,组建了为期十年的大型科学计划“未来地球计划(Future Earth)”(2014-2023)<sup>[14]</sup>,旨在打破学科壁垒,重组现有的国际科研项目与资助体制,使自然科学与社会科学研究成果更积极地服务于可持续发展。未来地球计划设置了动态地球(Dynamic Planet)、全球发展(Global Development)、向可持续发展的转变(Transition to Sustainability)3个研究方向,共包括地球观测系统、数据共享系统、地球系统模式、发展地球科学理论等8个关键交叉领域的能力建设<sup>[15]</sup>。开展地球系统定量模拟与分析,已逐渐成为解决全球性资源环境问题的重要手段。

## 2.2 地缘政治学的起源与发展

地缘环境研究源起于人们对地理要素作用的基本认知,即全球或地区政治、经济格局的形成和发展受地理条件的影响和制约<sup>[1]</sup>。西方的地缘环境研究可追溯到亚里士多德、孟德斯鸠、康德等。1899年,德国的契伦(Rudolf Kjellen)首次正式提出地缘政治学(Geopolitics)的概念,认为其是“将国家作为地理有机体或空间现象的理论”<sup>[16]</sup>。此后地缘环境基本理论不断演化,相继形成了地缘政治、地缘经济和地缘文明等不同的视角,根据各种地理要素和政治、经济、文化格局的地域分布特征,分析和预测世界或地区范围的战略形势和有关国家的政治或经济行为<sup>[17-18]</sup>。地缘环境的相关学说是时代的产物,具有鲜明的时代烙印,受生产力、科学技术和认知水平的影响和制约,其发展历程可大致概括为3个阶段:二战前的古典地缘政治学、冷战时期的地缘政治学以及后冷战时代的地缘环境研究。

(1) 古典地缘政治学:古典地缘政治学是指从现代地缘学说兴起到二战以前的各类地缘政治学说。古典地缘政治学反映了当时人们强烈的民族主义、国家扩张和打造中心帝国的思想,强调地缘主体即国家的权力与控制,先后出现了“陆权论”<sup>[19]</sup>、“海权论”<sup>[20]</sup>、“空权论”<sup>[21]</sup>等。古典地缘政治学以欧亚大陆为中心,以空间和位置作为地理法则的重点,把全球划分为中心地带(欧亚大陆)和边缘区。如麦金德提出的“心脏地带论”<sup>[16]</sup>、斯皮克曼的“边缘地带论”等<sup>[22]</sup>。

(2) 冷战时期西方的地缘政治学:二战结束后,美苏为代表的两大阵营之间处于对抗的状态。冷战时期的西方地缘政治学大多以遏制共产主义的发展为目的,意识形态是地缘关系的主导,在地缘空间上将全球划分苏美两大板块,从全局角度考虑每个冲突点的对策(基辛格,大局观,1979)<sup>[23]</sup>,重点关注两大势力交汇的交错地带(威廉布利特,多米诺理论)<sup>[22]</sup>、关键地区(布热津斯基,关键国家地缘政治纲领)<sup>[24]</sup>。

(3) 后冷战时代的地缘环境研究:冷战时代结束之后,随着经济全球化和地缘政治格局的演变,国家“权力”的概念不断发展,地缘环境理论的内容更加丰富而均衡,“中心帝国”、“两极”被多极化的地缘主体所代替,地缘关系也从单一的“对抗”转向地缘政治、地缘经济<sup>[25]</sup>、地缘文明<sup>[26]</sup>多极、多种形态的竞争与共生<sup>[27]</sup>(表1)。

## 2.3 从地缘政治学到地缘环境科学

从地缘政治学和地球系统科学的发展历程可以看出,地缘政治学的发展与人类的地理认知过程息息相关。在地理大发现之前,各大洲之间的人类活动相对孤立,地理环境的作用主要表现在地形地貌、气象条件等的限制性作用。地理大发现过程彰显了海运的力量,因此马汉等的“海权论”认为海权优于陆权<sup>[20]</sup>;工业革命和蒸汽机催生了跨大陆



表 1 地缘环境系统理论发展简表

Tab. 1 The simple list of the development of geopolitical environment system theories

发展阶段	古典地缘政治学	冷战时期的地缘政治学	后冷战时代的地缘环境研究
时间	1945 年之前	1946-1991 年	1991 年以来
地缘格局划分	心脏地带(欧亚大陆)、边缘地带	北约、华约两极	多极世界模型
关键地缘要素	自然地理要素, 交通能力	意识形态	地缘政治、地缘经济、地缘文明等
代表性学说	1 陆权论/1904、心脏地带论/1919, 麦金德(H Mackinder)	1 遏制政策/1946, 乔治·凯南(G Kennan)	1 地缘经济学/1991, 卢特沃克(E N Luttwak)
	1 海权论/1890, 马汉(Mahan)	1 多米诺理论/1947, 威廉布利特(W Bullitt)	1 地缘政治经济学/1994, 戴姆科(G Demko)
	1 边缘地带论/1942, 斯皮克曼(N J Spykman )	1 大局观/1979, 基辛格(H Kissinger)	1 地缘文明/2011, 亨廷顿(S Huntington)
	1 空权论/1942, 谢维尔斯基(A de Seversky)	1 关键国家/1986, 布热津斯基(Z K Brzezinski)	1 无政府主义地缘政治学/2013, 卡普兰(R Kaplan) <sup>[28]</sup>

铁路时代(1869年联合太平洋铁路、1905年西伯利亚大铁路等)<sup>[16]</sup>, 欧亚大陆国家的崛起导致“陆权论”的再度抬头; 二战期间航空技术的优势催生了“空权论”, 即“控制空权, 就等于控制了全球”<sup>[21]</sup>。21世纪以来, 随着经济全球化和地缘政治格局的演变, 传统的国家“权力”的概念发生变化, 科学技术的变迁加速了“权力”的分散, “控制”变得越来越难, “发展”与“控制”共同成为世界各国区域地缘环境变化的主要动力<sup>[16, 27]</sup>。在地缘政治多极化和全球网络信息化的推动下, 以世界诸多经济主体的相互开放、融合与生产要素自由流动为特征的全球化对国际地缘环境格局产生巨大冲击。在一定地缘环境范围内, “零和博弈”逐渐被“非零和博弈”的思路所代替<sup>[29]</sup>。例如, 面对气候变化等全球性问题, 2015年12月在法国巴黎通过了巴黎协议, 表明全球各类地缘主体开始共同寻求应对地缘环境变化和推进可持续发展。

全球化并不会导致地理要素的终结, 也不会形成一个地理上的“平面世界”, 相反, 它会带来一个更加复杂的地缘环境体系<sup>[5]</sup>。现代工业、农业、交通、信息与通讯技术的发展与融合, 促进了地缘环境诸多要素之间的相互作用、相互依赖程度的加深, 局地的地缘风险因素可能对各国众多领域产生深远的影响<sup>[30]</sup>。与此同时, 通过现代空间信息技术与传统观测手段的结合, 已初步形成了对全球地缘环境系统的多尺度观测体系, 包括遥感对地观测体系、陆地样带(例如15条IGBP陆地样带<sup>[30]</sup>)、地面定位观测网(全球气候观测系统(GCOS)、全球通量观测网(Fluxnet)<sup>[31]</sup>、全球物候观测网<sup>[32]</sup>等), 以及人口流动、资源流动等社会要素观测体系, 为地缘环境研究提供了可靠的全球范围的实测数据; 在全球性综合研究计划如全球环境展望计划(GEO)<sup>[33]</sup>、“未来地球计划”<sup>[15]</sup>等推动下, 人类对地缘环境系统的认知手段不断丰富, 通过卫星定位导航系统、移动通讯系统、数据挖掘、高性能计算、视频与图像实时分析、大数据分析等高新技术的深化应用, 推动着地缘环境系统研究从单要素(单个区域)分析, 向着多要素、多尺度的综合模拟方向快速发展。

3 地缘环境系统模拟的理论与方法基础

3.1 地缘环境系统的结构

经典系统理论认为, 一个系统可以分解为主体、关系及环境<sup>[34]</sup>。相应地, 一个完整的地缘环境系统(S)由3大要素组成: 地缘主体、地缘关系、地理环境。

$$S=f(N, R, G)$$

(1)

式中:  $N$  为地缘主体, 指在一定空间尺度上具有独立行为能力的政治/经济实体, 可以是传统的国家、跨国政治或经济组织 (如欧盟、东盟共同体等), 或是国家内部的行政单元;  $R$  为地缘关系, 包括政治、经济、军事关系等。地缘关系是地缘要素的相互作用 (从属、依赖、共生、竞争等), 同时也包括动态的物质流动和能量转换, 如人口、贸易、资本、通信、意识形态的流动;  $G$  为地理环境, 指地缘主体及主体之间各类关系存在与发展的所有外部环境, 包括自然环境和人文环境<sup>[35]</sup>, 可进一步描述为自然地理、资源、政治、军事、经济、社会文化以及信息<sup>[36]</sup>等。

### 3.2 地缘环境系统的基本特征

地缘环境系统具有一般系统的共性特征如层次性、复杂性等, 又具有地域性、综合性等特征, 同时其演化过程具有明显的时代性。

**3.2.1 地缘环境系统的层次性** 层次性是系统的基本特征, 地缘环境系统是要素及要素间关系的集合, 而组成系统的要素本身也可以是一个系统 (子系统)<sup>[34]</sup>。对地缘环境系统的描述必须与特定的时间、空间尺度相对应。在空间尺度上, 地缘环境系统可以分为宏观 (全球)、中观 (区域)、微观 (国家/地区或子区域) 多个层次。在不同的空间尺度上, 地缘环境系统的特征和规律都不尽相同。例如, 科恩的“多级世界模型”理论从宏观空间尺度上将地缘环境系统划分为地缘战略辖区、地缘政治区、国家<sup>[16]</sup>; 国际应用系统分析研究所 (IIASA) 从全球能源安全的角度将全球划分为5大区域: 经济合作与发展组织 (OECD90)、东欧和前苏联 (REF)、亚洲 (除了OECD90国家, ASIA)、中东与非洲 (MAF)、拉丁美洲与加勒比国家 (LAC)<sup>[37]</sup>。

**3.2.2 地缘环境系统的复杂性** 地缘环境系统是包含多个地缘环境要素的非线性复杂系统, 系统的整体功能是各要素相互作用的展现<sup>[34]</sup>, 可以用式 (1) 中的3大类要素 ( $N, R, G$ ) 的  $n$  个指标 (状态变量)  $Q_i, i = 1 \sim n$  表示, 系统中任何一个变量  $Q_i$  的变化, 是所有指标的函数。系统随时间的变化可以用一组 ( $n$  个) 联立的一阶微分方程表示<sup>[34]</sup>:

$$\frac{dQ_i}{dt} = f_i(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \quad (2)$$

式中:  $Q_i$  表示地缘环境系统的第  $i$  个状态变量。系统的变化可以表示为状态变量在  $n$  维状态空间的轨迹<sup>[34, 38]</sup>。当系统不随时间变化时, 即式 (2) 等于 0, 则可得到一系列的状态变量  $Q_i$  的初始值:  $Q_i = Q_i^*$  为常数。对于任意状态的变量  $Q_i$ , 可引入新的变量:

$$Q_i = Q_i^* - Q'_i \quad (3)$$

则式 (2) 可表示为一个微分方程组:

$$\begin{cases} \frac{dQ'_1}{dt} = f'_1(Q'_1, Q'_2, \dots, Q'_n) \\ \frac{dQ'_2}{dt} = f'_2(Q'_1, Q'_2, \dots, Q'_n) \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dQ'_n}{dt} = f'_n(Q'_1, Q'_2, \dots, Q'_n) \end{cases} \quad (4)$$

地缘环境系统是一个复杂的非线性系统, 方程组 (4) 解很难表达为显式函数, 可以通过数值分析等方法, 通过对边界条件的合理假设逐级迭代获得近似解。

**3.2.3 地缘环境系统的地域性** 地理环境是地缘环境系统演变的物质基础, 地缘环境系统具有鲜明的地域性特征。首先, 地缘环境要素的空间分布呈现地域分异规律<sup>[10]</sup>。自然要素表现出不同规模的纬度地带性、经度地带性和垂直地带性, 这种地域分异性制约着自然资源 (水、土、气、生、矿产) 的空间分布, 影响人口分布、资源流动和人文社会要

素(经济、文化、宗教、政治、军事等)的时空格局,因此,地域特征是地缘环境系统的基本特征之一,要正确认知正在形成过程中的新世纪地缘环境格局全貌,就必须正确分析全球各种自然要素和社会经济要素的空间分布、传输途径、转换过程、相互关系及演变趋势。

**3.2.4 地缘环境系统的综合性** 任何一个尺度的“地缘环境系统”都是其内部多个要素的协同体,受自然、人文多元要素的共同作用,体现出综合性特征。因此,地缘环境系统研究也有赖于自然科学与社会科学的交叉。前人在此方面做了很多尝试,例如1860年,斯宾塞提出了自然有机体与社会组织之间进行类比的发展假说,即社会组织从不定的、不相关的同质性演进到非常确定的、联系紧密的异质性<sup>[39]</sup>。空间结构化地缘理论认为,地缘政治结构受地理环境要素控制,从无差异的原子状态逐步向区分化、差异化、专业化及专业化整合等阶段发展<sup>[40]</sup>。

**3.2.5 地缘环境系统演化的时代性** 地缘环境系统的演化是多元要素耦合、人—地关系演变的结果,在人类社会的不同发展阶段,地缘环境系统的关键要素、要素相互作用机制不断发生变化。公元1500年之前,人类活动影响局限在有限的地理单元,从全球角度来看,自然要素变化占主导地位。两次工业革命之后,人类活动对地缘环境系统的扰动不断加强,干扰形式多样化,导致了一系列的气候、资源环境乃至政治、社会经济格局的全球性变化,且随着科学技术的发展不断加剧。因此,时代性是地缘环境系统演化的重要特征。

## 4 地缘环境系统模拟研究的关键问题

地缘环境系统模拟是将地缘环境理论与地球系统科学的理论碰撞、方法融合和思路创新的过程,其关键问题包括地缘环境关键要素变化过程与阈值检测、地缘环境多要素相互作用机制与效应、地缘环境系统模式构建与参数化、地缘环境系统大数据分析和虚拟地理空间表达等。

### 4.1 地缘环境关键要素变化过程与阈值检测

社会学和系统论中的阶段理论认为,系统的发展是连续性与间断性的统一。因此,地缘环境系统模拟研究首先要梳理地缘环境要素指标体系,研究单个地缘要素的时空分布、变化特征和作用规律等。例如基于站点或再分析气候资料,结合气候模式研究区域各种气候要素的时间趋势和突变、空间分异规律等;利用陆面过程模型模拟分析地表水热平衡;利用网络文本挖掘、社交网络分析技术研究社会民意和交流势能等。识别影响地缘关系的主要地理和社会要素,厘清关键要素变化影响地缘关系的过程与途径,在此基础上,确定针对特定地缘问题的关键要素变化阈值,为地缘环境系统模拟奠定基础。

### 4.2 地缘环境多要素相互作用机制与效应

地缘系统层次论的提出者科恩认为,地缘政治体系的运行类似于自然体系,会耗尽作为权力基础的材料和人力资源,除非其能够用外部能源作为补充<sup>[16]</sup>。全球资源、能源与环境变迁是解决区域资源环境问题的背景。例如中国与周边多个国家属于连续的自然地理单元,在这些自然地理单元中存在相近的、相互联系的生态系统过程规律与自然资源演化规律;同时,地缘上的接近使得周边国家与中国不同地区之间存在自然要素迁移之外的社会经济要素流动,多个要素的时空变化都会对区域地缘环境产生不同程度的影响。因此需要通过跨国别的陆地表层过程、人文过程与要素研究,通过系统动力学和多因子分析方法,建立自然与人文多个地缘要素之间的因果关系链及其影响地缘安全的可



能途径,找出与地缘系统关系最显著的要素,以便更好地认清各种地缘环境要素的演化规律。

#### 4.3 地缘环境系统模式构建与参数化

地缘环境系统具有高维度、复杂关联、多目标等特点,传统的建模方法难以直接适用<sup>[41]</sup>。可参照耗散结构论以非平衡系统局域平衡假说为基础的中观方法,将地缘环境系统划分为3个层次,在每个层次上建立不同形式的模式,最终建立起复杂系统的统一模型,解释其发展演化规律<sup>[42]</sup>。其一般步骤为:①确定研究的敏感区域、系统的边界;②在有限地缘空间内,辨识关键地缘要素;③针对特定地缘事件,探求关键地缘要素的变化过程;④解析多个关键要素之间的相互作用机制,确定整个地缘环境系统某类地缘事件的触发条件、演化过程、影响程度。近年来的地缘环境系统模拟研究中,大多是采取这一思路。例如,Mazis提出了系统地缘政治分析理论,将地缘环境系统分解为4类要素:军事、经济、政治、文化与信息<sup>[43]</sup>。在此基础上,Nicholas等提出了一种基于加权地缘要素指标进行地缘事件预测的方法。首先利用4个地缘要素指标的加权值构建一个4维的特征空间( $S_0$ );对于待研究的地缘环境系统,利用特定时间跨度内、不同地点上各地缘要素的观测值,构建一个观测值特征空间( $S_i$ ),然后计算其与参照特征空间( $S_0$ )的距离 $d_i$ ,如果 $d_i$ 大于某一阈值,则认为地缘事件会发生。由于地缘要素的观测值总是有限的,具体计算时可采用拉格朗日多项式法和克吕格法进行观测值的时空插值<sup>[44]</sup>。Klaus等将欧盟地区的地缘政治环境进行概化,选择经济差异和文化差异作为系统的两个关键要素,构建了国家政权稳定/分裂模拟模型,并以前南斯拉夫为例进行了验证。结果表明,经济差异是导致南斯拉夫政权崩溃的首要要素,文化差异的作用虽然较小,但是其社会动荡的重要原因之一<sup>[45]</sup>。

#### 4.4 地缘环境系统数据采集与大数据分析

2012年,联合国在大数据白皮书《大数据:机遇与挑战》中指出,大数据时代将会对国际关系和社会各个领域产生深刻影响<sup>[46]</sup>。2013年牛津大学维克托迈尔-舍恩伯格教授提出,大数据的井喷式发展正在影响全球的地缘政治和经济版图,大数据会是未来国与国之间博弈的有力筹码<sup>[47]</sup>。基于密集型数据的大数据分析已成为科学研究,包括地缘环境系统模拟研究的第四范式。地缘环境系统研究的大数据分析包括地缘环境数据融合与知识发现、地缘环境可视化表达、地缘事件预测性分析等<sup>[48-49]</sup>。短短几年来,大数据分析 with 大数据预测方法在地缘环境系统研究领域已经取得了令人瞩目的成果。在地缘事件对国家政治、政策的影响方面,德国经济学家Manuel Funke、Moritz Schularik和Christoph Trebesch基于100起金融危机数据,与西方20个国家(地区)过去140余年中的800多次选举情况进行关联分析。结果表明,平均而言,金融危机后政治会急转向右,极右翼政党的选票会增加30%左右<sup>[50]</sup>;在地缘事件对社会经济影响方面,智利圣地亚哥大学的José NogueraSantaella收集了1861年美国南北战争以来的32个对石油价格可能造成影响的战争事件,以及1859-2013年逐月的全球石油价格数据进行分析,评估了战争对石油价格的影响。结果表明,2000年之前,战争会直接影响石油价格,而2000年之后,战争对石油价格影响微乎其微<sup>[51]</sup>。

#### 4.5 虚拟地理空间的分析与表达

全球网络体系的建设与信息技术的发展,使地缘环境空间从海、陆、空发展到虚拟空间(赛博空间,Cyberspace)<sup>[52]</sup>。信息流、信息位势等新的地缘要素和实体要素一样,成为地缘环境系统的重要组成部分。同时,以世界经济主体的相互开放、融合与生产要素自由流动为特征的全球化,促进了不同区域地缘环境子系统之间的资源流动和生产

力再分配。例如,2014年中国进口大豆7140万t,主要来自巴西、美国、阿根廷、乌克兰等国,约折合1130亿 $\text{m}^3$ 虚拟水量和0.26亿 $\text{hm}^2$ 的耕地。因此,在当前的地缘环境系统研究中,不仅要考虑实体的显性要素,对虚拟地理空间内的隐性地缘要素更要进行深入分析。近几年国际上开始出现此类探索,例如Beatriz等面向地缘环境中的能源安全问题,将地缘环境系统简化为能源主体(能源供给—消费链上的所有相关国家)、能源关系和地理环境(如能源通道)。系统的关键要素概化为经济、社会、政治、能源4类共13个指标,其中能源要素以能源相关的指标表征,包括生产、出口油气的能力,油气的储备时间,油气的净贸易量比例。Beatriz等采用加权求和的方法计算出能源地缘风险指数(GESRI),对全球122个国家的能源地缘风险进行了综合分析<sup>[53]</sup>。

## 5 结论与展望

地缘研究已经从传统的地缘政治研究演化到更加强调综合集成的地缘环境系统研究。纵观地缘环境系统模拟的研究进展,今后应该在以下方面加强研究:

(1) 完善地缘环境系统观测(监测、检测)体系。整合现有的多种数据获取手段,逐步建立天—空—地—体的地缘环境要素无缝观测体系;以观测数据及长期积累时间序列地缘环境要素数据为基础,集成地缘事件监测方法,形成对地缘环境系统长期监测及对突发地缘事件的动态监测体系;耦合自然—社会关键要素阈值监测及级联效应分析技术,发展地缘环境大数据分析及可视化计算与表达技术,构建一体化的地缘环境系统大数据监测体系。

(2) 建立地缘环境系统数据共享机制。依托国家加快数据开发共享和加强数据安全保障的政策,充分集成政府部门、科研、公众社会的数据基础,重点围绕地缘环境系统涉及的地缘要素数据、地缘环境事件及地缘系统模拟结果3个方面构建相应的共享产品机制、共享安全机制。构建全局共享(地缘要素、地缘事件)和单向私有共享(地缘模拟对策)两个层次共享机制,从而切实加强对涉及国家利益、公共安全等信息的保护,妥善处理地缘系统分析与保障安全的关系,进而提高地缘环境系统研究的科学性、预见性、安全性和有效性。

(3) 构建地缘系统模拟必备的自然-经济-政治分量模式及各模式耦合器开发,形成地缘环境系统模拟与综合评估能力。集成现有地缘环境自然分系统模式(如陆面过程模式、气候模式、海洋模式),优化现有地缘环境社会经济分系统模式(如城市扩张模式、国际贸易模式等),发展促进地缘环境政治分系统模式,在此基础上耦合自然—经济—政治各分系统模式,构建具有级联互反馈效应的、三位一体的、涉及过程模拟及风险评估预测模式的地缘环境系统模式。

总之,在国家战略实施的应用需求和学科发展需求双重驱动下,中国的地缘环境系统研究必须加强顶层设计,树立国际视野,统筹现有研究成果,集中优势力量,强化地缘环境系统模拟等核心技术的自主研发能力,大力推动数据共享,开展全球地缘环境系统研究,提升地缘关系模拟分析与预测评估能力,推动学科发展、人才培养、国家安全需求应用,为复杂政治、经济、自然格局变化背景下的“一带一路”等国家战略的实施提供科学依据。

## 参考文献(References)

- [1] Erickson A S, Li N. Goldstein, Li Nan. China, the United States, and 21st Century Sea Power. Beijing: China Ocean Press, 2014. [埃里克森, 戈尔德斯坦, 李楠. 中国、美国与21世纪海权. 徐胜, 范晓婷, 王琦, 等, 译. 北京: 海洋出版社,



- 2014.]
- [2] Hu Zhiding, Lu Dadao. The re-interpretation of the classical geopolitical theories from a critical geopolitical perspective. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(6): 851-863. [胡志丁, 陆大道. 基于批判地缘政治学视角解读经典地缘政治理论. *地理学报*, 2015, 70(6): 851-863.]
- [3] Pan Zhongqi, Huang Renwei. China's geopolitical and security strategy. *Journal of Social Sciences*, 2011(10): 4-11. [潘忠岐, 黄仁伟. 中国的地缘政治与安全战略. *社会科学*, 2011(10): 4-11.]
- [4] Bob Work, The Third U.S. offset strategy and its implications for partners and allies. <http://www.defense.gov/News/Speeches/Speech-View/Article/606641/the-third-us-offset-strategy-and-its-implications-for-partners-and-allies>.
- [5] <http://news.jxnews.com.cn/system/2016/01/04/014590917.shtml>. (accessed on June 1, 2016)
- [6] Lu Dadao. Development of geographical sciences and research on global change in China. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(2): 147-156. [陆大道. 中国地理学的发展与全球变化研究. *地理学报*, 2011, 66(2): 147-156.]
- [7] Huang Bingwei. On earth system science and sustainable development strategy (I). *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(4): 350-354. [黄秉维. 论地球系统科学与可持续发展战略科学基础 (I). *地理学报*, 1996, 51(4): 350-354.]
- [8] The National Natural Science Foundation of China. Global Change: The opportunities and challenge of China//The Strategic Research Report of Prior Financed Area in the National Nature Science Foundation of China, Beijing: High Education Press and Springer, 1988: 1-23. [国家自然科学基金委员会. 全球变化: 中国面临的机遇和挑战//国家自然科学基金优先资助领域战略研究报告. 北京: 高等教育出版社, 施普林格出版社, 1998: 1-23.]
- [9] Chen Panqin. IGBP: Global change research. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 1987, 2(2): 206-211. [陈泮勤. 国际地圈, 生物圈计划: 全球变化的研究. *中国科学院院刊*, 1987, 2(2): 206-211.]
- [10] Sun Jiulin. Development and prospects of res-Informatics. *Resources Science*, 2005, 27(3): 2-8. [孙九林. 资源信息学的发展与展望. *资源科学*, 2005, 27(3): 2-8.]
- [11] Zheng Du, Chen Shupeng. Progress and disciplinary frontiers of geographical research. *Advance in Earth Sciences*, 2001, 16(5): 599-605. [郑度, 陈述彭. 地理学研究进展与前沿领域. *地球科学进展*, 2001, 16(5): 599-605.]
- [12] Qin Dahe. Climate change science and sustainable development. *Progress in Geography*, 2014, 33(7): 874-883. [秦大河. 气候变化科学与人类可持续发展. *地理科学进展*, 2014, 33(7): 874-883.]
- [13] Rosswall T. The international geosphere-biosphere programme: A study of global change (IGBP). *Environmental Geology*, 1992, 20(2): 77-78.
- [14] Greenslade D, Berkhout F. Future Earth- Research for Global Sustainability//EGU General Assembly Conference Abstracts, 2014, 16: 3438.
- [15] Future Earth: research for global sustainability. <http://www.futureearth.org/>. accessed on June 1, 2016.
- [16] Saul B Cohen. *Geopolitics: The Geography of International Relations*. Shanghai: Shanghai Academy of Social Sciences Press, 2014. [索尔·科恩. 地缘政治学: 国际关系的地理学. 严春松, 译. 上海: 上海社会科学院出版社, 2014.]
- [17] Cederman L E. Endogenizing geopolitical boundaries with agent-based modeling. *Proceedings of the National Academy*, 2002, 99(suppl.3): 7296-7303.
- [18] Kong Xiaohui. Analyze on ways of geopolitics affecting a state's security strategy. *World Regional Studies*. 2010, 19(2): 19-26. [孔小惠. 地缘政治的涵义、主要理论及其影响国家安全战略的途径分析. *世界地理研究*, 2010, 19(2): 19-26.]
- [19] Chen Shaohua. On the geopolitics and geoeconomics in the game between countries. *Wuhan University of Technology (Social Science Edition)*. 2009, 22(3): 36-40. [陈少华. 国家间博弈中的地缘政治与地缘经济. *武汉理工大学学报(社会科学版)*, 2009, 22(3): 36-40.]
- [20] Alfred Thayer Mahan. *The Influence of Sea Power upon History*. Beijing: The People's Liberation Army Press, 2006. [阿尔弗雷德·塞耶·马汉. 海权对历史的影响. 安常容, 成忠勤, 译. 北京: 解放军出版社, 2006.]
- [21] Alexander de Seversky. *Air power: key to survival*. New York: Simon and Schuster Press. 1950.
- [22] Nicholas Spykman. *The Geography of the Peace*. Beijing: The Commercial Press, 1965. [斯皮克曼. 和平地理学. 刘愈之, 译. 北京: 商务印书馆, 1965.]
- [23] Henry Kissinger. *Big Diplomacy*. Hainan: Hainan Press, 2012. [亨利·基辛格. 大外交. 顾淑馨, 林添贵, 译. 海南: 海南出版社, 2012.]
- [24] Zbigniew Brzezinski. *Big Chess: U.S. Primacy and its Geopolitical Strategy*. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 2012. [兹比格纽·布热津斯基. 大棋局: 美国的首要地位及其地缘战略. 中国国际问题研究所, 译. 上海: 上海人民出版社, 2012.]
- [25] Luttwak E N. *The Endangered American Dream: How to Stop United States Becoming A Third Country and How to Win the Geo-economic Struggle for Industrial Supremacy*, New York: Simon and Schuster, 1993.
- [26] Samuel P Huntington. *The Clash of Civilizations and the Remaking of World Order*. Beijing: Xinhua Publishing House,

2013. [塞缪尔·亨廷顿. 文明的冲突. 北京: 新华出版社, 2013.]
- [27] Mao Hanying. Geopolitical and geoeconomic situation in the surrounding areas and China's strategies. *Progress in Geography*, 2013, 33(3): 289-302. [毛汉英. 中国周边地缘政治与地缘经济格局和对策. 地理科学进展, 2013, 33(3): 289-302.]
- [28] Robert D Kaplan. *The Revenge of Geography*. Han Pu trans. Guangzhou: Guangdong People's Press, 2013. [罗伯特·D. 卡普兰. 即将到来的地缘战争. 涵朴, 译. 广州: 广东人民出版社, 2013.]
- [29] Lu Dadao, Du Debin. Some thoughts on the strengthening of geopolitical and geoeconomic studies. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(6): 723-727. [陆大道, 杜德斌. 关于加强地缘政治地缘经济研究的思考. 地理学报, 2013, 68(3): 723-727.]
- [30] Ge Quansheng, Wang Fang, Chen Panqin, et al. Review on global change research. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(4): 417-427. [葛全胜, 王芳, 陈泮勤, 等. 全球变化研究进展和趋势. 地球科学进展, 2007, 22(4): 417-427.]
- [31] Yu Guirui, Zhang Leiming, Sun Xiaomin. Progresses and prospects of Chinese terrestrial ecosystem flux observation and research network (ChinaFLUX). *Progress in Geography*, 2014, 33(7): 903-917. [于贵瑞, 张雷明, 孙晓敏. 中国陆地生态系统通量观测研究网络(ChinaFLUX)的主要进展及发展展望. 地理科学进展, 2014, 33(7): 903-917.]
- [32] Fang Xiuqi, Chen Fahu. Plant phenology and climate change. *Science China: Earth Sciences*, 2015, 58(6): 1043-1044. [方修琦, 陈发虎. 植物物候与气候变化. 中国科学: 地球科学, 2015, 45(5): 707-708.]
- [33] UNEP. GEO: Keeping the global environment under review. <http://www.unep.org/geo/>. (accessed on June 1, 2016)
- [34] Ludwig von Bertalanffy. The history and status of general systems theory. *The Academy of Management Journal*, 1972, 15(4): 407-426.
- [35] Yang Wuyang. On the geopolitical environment of the development of China. *Exploration of Nature*, 1995, 14(51): 7-10. [杨吾扬. 论中国发展的地缘环境. 大自然探索, 1995, 14(51): 7-10.]
- [36] Hu Zhiding, Cao Yuan, Liu Yuli, et al. A new development of political geography research in China: Geo-setting. *Human Geography*, 2013, 28(5): 123-128. [胡志丁, 曹原, 刘玉立, 等. 我国政治地理学研究的新发展: 地缘环境探索. 人文地理, 2013, 28(5): 123-128.]
- [37] GEA, 2012: *Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- [38] Ludwig Von Bertalanffy. *The History and Status of General Systems Theory*. Beijing: Tsinghua University Press, 1987. [冯·贝塔朗菲. 一般系统论: 基础、发展和应用. 林康义, 等, 译. 北京: 清华大学出版社, 1987.]
- [39] Xia Jinwen, Liao Yingjie. Theory of non-equilibrium development and theory of dissipative structure. *Journal of Systemic Dialectics*, 2005, 13(3): 34-36. [夏锦文, 廖英杰. 不平衡增长理论与耗散结构论. 系统辩证学学报, 2005, 13(3): 34-36.]
- [40] Gao Qinlan. Neo-geopolitics: Concept, model and development. *Journal of Hunan University of Science & Technology (Social Science Edition)*, 2010, 13(5): 86-89. [高青兰. 新地缘政治学: 概念、范式及发展. 湖南科技大学学报(社会科学版), 2010, 13(5): 86-89.]
- [41] Ge Baoming, Lin fei, Li Guoguo. *Advanced Cybernetics and Its Application*. Beijing: China Machine Press, 2007. [葛宝明, 林飞, 李国国. 先进控制理论及其应用. 北京: 机械工业出版社, 2007.]
- [42] Hirsch M W, Smale S, Devaney R L. *Differential Equation, Dynamical System and an Introduction to Chaos*. Beijing: Posts and Telecom Press, 2008. [赫希, 斯莫, 德范尼. 微分方程、动力系统与混沌导论. 甘少波, 译. 人民邮电出版社, 2008.]
- [43] Mazis I Th. *Methodology for Systemic Geopolitical Analysis according to the Lakatosian model*, (Post graduate Colloquium). Turkey: Istanbul University. 2014.
- [44] Daras N J, Mazis J T. Systemic geopolitical modeling. Part 1: prediction of geopolitical events. *GeoJournal*, 2015, 80(5): 653-678.
- [45] Desmet K, Breton M L, Ortuño-Ortín I, et al. The stability and breakup of nations: A quantitative analysis. *Journal of Economy Growth*, 2011, 16: 183-213.
- [46] UN Global Pulse. Big data for development: Challenges & opportunities. <http://www.unglobalpulse.org/projects/Bigdataofordevelopment>. (accessed on June 10, 2016)
- [47] Mayer-Schonberger V, Cukier K. *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*. Eamon Dolan: Houghton Mifflin Harcourt, 2013.
- [48] Ndez-Delgado M, Cernadas E, Barro S, et al. Do we need hundreds of classifiers to solve real world classification problems? *Journal of Machine Learning Research*, 2014, 15: 3133-3181.
- [49] Liu Qiliang, Deng Min, Wang Jiaqiu, et al. Spatio-Temporal outliers detection within the space-time framework. *Journal*

- of Remote Sensing, 2011, 15(3): 457-474. [刘启亮, 邓敏, 王佳璆, 等. 时空一体化框架下的时空异常探测. 遥感学报, 2011, 15(3): 457-474.]
- [50] Funke M, Schularick M, Trebesch C. Going to extremes: Politics after financial crises, 1870-2014. *European Economic Review*, 2015, 88: 227-260.
- [51] Noguera-Santaella J. Geopolitics and the oil price. *Economic Modeling*, 2016, 52: 301-309.
- [52] Wang Yong. Analysis of geopolitical effects for information technology. *Information Sciences*, 2011, 29(4): 592-595. [王勇. 信息技术的地缘政治影响探析. 情报科学, 2011, 29(4): 592-595.]
- [53] Muñoz B, García-Verdugo J, San-Martín E. Quantifying the geopolitical dimension of energy risks: A tool for energy modeling and planning. *Energy*, 2015, 82: 479-500.

## Views on the study of geopolitical environment system simulation

GE Quansheng<sup>1,2</sup>, JIANG Dong<sup>1,2</sup>, LU Feng<sup>1,2</sup>, DENG Xiangzheng<sup>1,2</sup>, WANG Shaoqiang<sup>1,2</sup>

(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 term of geopolitical environment refers to the combination of both natural and social environment. Geopolitical environment system is a gigantic and complex system which consists of physical element (e.g. topography, geomorphology, water and land resources, meteorological conditions, etc.) and social economic elements (society, ethic, culture, politics etc.). The research of the geopolitical environment system simulation is a scientific support to the understanding of the international geostrategic dynamics and successfully implement the national strategy. In recent years, the connotation and extension of the geopolitical environment system research have changed dramatically due to the international geo-strategic shift, the global economy and technical progress. This paper presents a review of the origin and development of the geopolitical theory, from classical geopolitics before World War Two to the geopolitics during the cold war period, and the geopolitical researches in post-cold war era. The integration of geopolitics and earth system sciences has brought new advances both in the disciplines and methodology in these areas. The key issues of the simulation of the geopolitical environment system include the dynamic changes of the geopolitical factors, the interaction and adaption of the multiple geopolitical environment factors, methods for establishing the geopolitical environment system and virtual geographical environment techniques. The results indicated that faced with these complicated nonlinear problems like "geopolitical environment system", the hierarchical, reasonable generalization of the model and the numerical approximation methods can achieve the results of quantitative analysis for specific geopolitical issues. Meanwhile, the big data technology is increasingly providing a new paradigm for the studies of geopolitical system. By the methods of heterogeneous data mining, machine learning and high-performance computing, it is expected to explore the associated relationships among the elements contained in the geopolitical environment system to forecast and intervene in the geopolitical environment system evolution, and to provide a new technical method for the solutions to geopolitical issues.

**Keywords:** geopolitical environment system; geopolitical events; geopolitics; geo-economics; spatio-temporal simulation