

人地系统优化调控的理论方法研究

毛汉英^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 国际欧亚科学院中国科学中心, 北京 100107)

摘要: 在吴传钧先生倡导的人地关系地域系统(简称“人地系统”)理论体系中,人地系统优化调控占据核心位置。本文以吴先生提出的人地系统优化调控的思路及有关论述为主线,在人地系统结构、人地系统非线性效应、人地关系耦合理论、人地系统演进等理论方法方面加以深化与拓展。在此基础上,聚焦于两方面:① 人地系统优化与区域 PRED(即人口、资源、环境和发展)协调发展,着重探讨人地系统优化与 PRED 协调发展的关系,以及 PRED 协调发展的目标、重点、理论模式和定量测度;② 新时期中国人地系统综合调控的路径与对策,可归纳为:以创新驱动为引领,推动人地系统持续健康发展;以主体功能区划为导向,优化人地系统空间格局;以供给侧结构性改革为主线,建设现代经济体系;以促进人口长期均衡发展为目标,逐步完善人口政策;遵循市场原则,健全资源环境有偿使用和生态补偿机制。

关键词: 人地系统;优化;区域 PRED 协调发展;综合调控;理论方法

DOI: 10.11821/dlxb201804002

1 引言

1979年底在广州召开的中国地理学会第四届代表大会上,中国著名地理学家吴传钧先生在会上作了“地理学的昨天、今天与明天”的学术报告,他在总结中国古代朴素的人地关系思想以及19世纪西方地理学中人地关系或然论和适应论的基础上,根据中国人文—经济地理学的长期实践,并以他特有的科学敏锐,提出地理学研究的独特领域是人地关系地域系统(简称“人地系统”)。其后,又经过不断充实,于1991年在其著名的学术论文“论地理学的研究核心——人地关系地域系统”一文中,对人地关系地域系统作了详细的阐述。他指出,“人地关系地域系统是以地球表层一定地域为基础的人地关系系统”,“人地关系地域系统是由地理环境和人类活动两个子系统交错构成的复杂的开放系统”,“人地关系地域系统是一个跨学科的大课题,地理学研究的中心目标是协调人地关系,重点研究人地关系地域系统中的优化,并落实到地区综合发展上”,并强调,“任何地域开发、区域规划和区域管理都必须以改善区域人地相互作用结构、开发人地相互作用潜力和加快人地相互作用在地域系统中的良性循环为目标,为有效进行区域开发和区域管理提供理论依据”^[1-7]。

在吴先生关于人地关系地域系统理论的引领下,中国人文—经济地理学在人地系统的理论方法与实证应用研究方面取得了巨大的进展。特别在应用研究方面,从20世纪90年代开展的国土规划、区域规划到2010年以后的主体功能区规划、城市群规划、资源环

收稿日期: 2018-01-29; 修订日期: 2018-03-20

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41430636) [Foundation: The Key Project of National Natural Science Foundation of China, No.41430636]

作者简介: 毛汉英(1938-), 男, 江苏江阴人, 国际欧亚科学院院士, 研究员, 从事区域发展与规划及世界地理研究。

E-mail: maohy@igsnrr.ac.cn

境承载力与地震灾后重建规划、生态文明建设规划以及新农村和美丽乡村建设规划等,均以协调不同层级和不同类型区域人地关系和人地系统优化为主线,产出了一批高水平成果,被国家有关决策部门和各级地方政府采纳作为科学决策的重要依据^[7-8]。其中尤以国土规划和主体功能区规划在国家层面影响最大。中国人文—经济地理学能有今天欣欣向荣的繁荣局面,与吴先生的学术思想引领是分不开的。

2 人地系统优化调控的理论基础

2.1 人地系统结构

人地系统是由人口、资源、生态、环境、经济、社会子系统构成的动态、开放的复杂巨系统,不仅各子系统之间存在相互影响、互为促进或制约的关系,而且系统内外部进行着频繁的人员、物资、能量、资金、技术、信息的交流,并在人地系统内部复杂的反馈结构作用下,呈现出明显的非线性和耗散结构特征。因此,吴先生提出,人地系统是一个不稳定的、非线性的、远离平衡状态的耗散结构^[1,6]。而耗散结构作为揭示复杂系统自组织运动规律的理论,根据热力学第二定律中的“熵增原理”,一个封闭系统在其自发的演变过程中,系统的熵只会增加,表明系统的有序程度越来越低,最终达到熵值最大和混沌状态。因此,人地系统要保持其持续性和有序性,就必须保持“耗散结构”,通过不断从外部输入负熵流,即输入人流、物流、能量流、信息流,减少区内的熵增。由于系统有序性增加(增大)的前提条件是系统熵值 $S(t)$ 变小,可用以下公式表达^[9-10]:

$$R(t) = \frac{S(t)}{S_{\max}} \quad (1)$$

式中: $R(t)$ 为系统的有序性; $S(t)$ 、 S_{\max} 分别表示系统在 t 时刻和热力学平衡状态时的熵值。

2.2 人地系统的非线性效应

人地系统的复杂性和动态性,使得系统内部的人口、资源、生态、环境与经济社会发展之间,以及系统与外界之间存在着竞争与协同相互作用和正反馈机制,而竞争与协同本质都是非线性的,因为只有非线性系统才有整体行为。

人地系统的开放性是其产生有序结构的必要条件,而系统内部各子系统及各要素之间的非线性动力学效应则是其产生有序结构的基础,是物质—能量—信息有序化结构的重要反映,即具有生物—社会的自组织过程。当系统外部环境或内部某些环节发生变化时,系统就能感知这种变化,并在一定的阈值范围内通过自组织加以调整,从而适应这些变化。在这一自组织过程中,涉及各种要素结构功能的调整。各要素围绕着一一定的目标,通过非线性的叠加与衰减,放大了系统各部分的功能,从而使得系统的整体功能远大于各部分功能之和^[9-10]。

人地系统内部的非线性效应具有两个主要特征,即演变与分叉。因此对它的演化可用分叉理论加以描述,最常用的数学方法是非线性微分方程组:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = f(X, \lambda) \quad (2)$$

式中:状态变量 $X = x_1, x_2, x_3 \cdots$; λ 为约束条件,用于表征系统受控程度及偏离平衡状态的程度。

2.3 人地关系耦合理论

“耦合”最早作为物理学概念,是指两个或两个以上的系统或运动方式之间,通过各种相互作用而彼此影响以至联合起来的现象,是在各子系统间的良性互动下,相互依赖、相互协调、相互促进的动态关联(现代汉语辞海,2003)。人地关系耦合是指人与自

然两大系统之间,通过人类经济社会活动与资源、生态、环境之间的相互作用和复杂的反馈机制而形成彼此影响的动态关联关系。按耦合的特点,可分为时空耦合,以及系统内部各要素之间的近程耦合和跨区域的区际远程耦合。人地耦合系统强调在组织上、空间上和时间上的多维度耦合,即一个要素与多个要素的复杂相互作用,以及多个要素之间一连串交互耦合作用,体现了更高层次的综合性、复杂性与非线性特征^[11]。研究区域人地耦合系统中各要素之间的多重互馈过程和胁迫约束机制,通过构建耦合度和耦合协调度模型,是对区域人地系统进行优化调控的重要理论与方法基础。

对区域人地系统而言,耦合度是指两个或两个以上子系统或子系统内部要素之间的相互作用、彼此影响的程度,是一种良性互动关系,其模型为^[12]:

$$Cn = \left\{ (u_1 \times u_2 \times \dots \times u_n) / \left[\prod (u_i + u_j) \right] \right\}^{1/n}, \quad n = 1, 2, 3 \dots i, \quad j = 1, 2, \quad i \neq j \quad (3)$$

式中: Cn 为耦合度; u 代表子系统对总系统的有序贡献。

耦合协调度是度量系统内部要素之间在发展过程中彼此和谐一致的程度,体现了系统从无序走向有序的趋势。耦合度模型为^[12]:

$$D = (C \times T)^{1/2}, \quad T = a \times U_1 + b \times U_2 \quad (4)$$

式中: D 为耦合协调度; C 为协调度; T 为子系统综合评价指标; U_i ($i = 1, 2$) 为子系统的时间函数, a 、 b 为待定参数。

2.4 人地系统的演进

在区域的不同发展阶段,人地系统随着人口、经济、社会子系统发展水平的不断提升,以及水、土、气候及能矿资源和生态环境保障程度的动态变化,人地系统结构也逐步从低级向高级方向演进。

2.4.1 人地系统演进的动力机制 人地系统演进的驱动力主要有以下3类: ① 内部的扰动力,这是一种无序的作用力,在人类活动对资源环境的作用强度达到损害自然资源的再生更新机制和环境的承载能力时产生,但它在一定的外力引导下可转化为结构转换的動力; ② 因系统内外部交流而引起的拉动力,为一种有序的作用力,如由于市场发育和信息交流而引起的人流、物流、资金流、技术流的加强,导致人地系统结构的演进; ③ 外部推动力。由于体制机制及管理创新、政策保障以及基础设施、科技信息服务的提升而促使人地系统演进的推动力^[4, 9-10]。

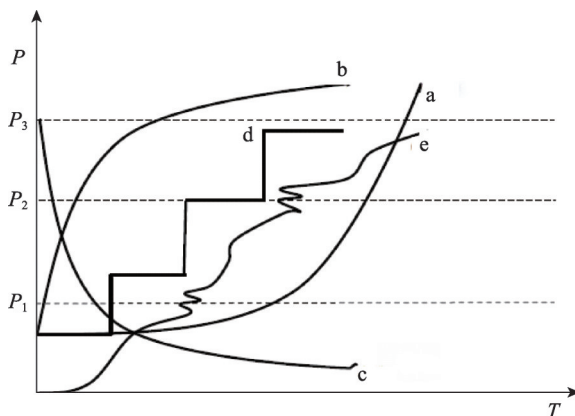
人地系统演进可分为两个阶段: 早期趋于随机过程,后期则通过非线性的相互作用更多地趋于自组织性,并形成特定的时空结构和具有一定功能的自组织结构,表现为有序状态。人地系统的开放性是产生有序结构的必要条件,而系统内部各子系统及各要素之间的非线性动力学效应则是产生有序结构的基础。因此,人地系统演进实际上是一个又一个越来越高层次的有序结构的形成^[4, 9-10]。

2.4.2 人地系统的演进模式 人类社会从低级阶段的原始社会、农业社会向较高级和高级阶段的工业社会、后工业化社会和信息社会的发展进程中,人地系统演进的基本模式可归结为以下3类^[10, 13]:

(1) 渐变型模式。人地系统的演进过程是随着社会发展阶段的不同而逐步变化的。其中最典型的是指数增长模式,即在特定的时间段内,由于区域人口和经济(GDP)的持续增长而导致资源消耗和“三废”排放量初期增长较慢、后期快速增长的过程(图1a),另外,还有两种与其相反的过程,即收敛平衡模式,前者如不可再生资源的衰减过程(图1b),后者如人口增长率的下降过程(图1c)。

(2) 突变性模式。即在人地系统演进过程中, 由于受突变因素(如重大自然灾害和科技的重大突破)的影响, 短期内在特定时间节点跨越原有的发展顺序而进入新的发展阶段。其中最典型的是由一组突变过程与稳定过程交替组成的阶梯状演变模式(图1d)。

(3) 复合型演变模式, 是由上述两种模式复合而成的。其中最典型的是由多级“S”型曲线组成的复合“S”型演化模式(图1e)。反映了人地关系系统在不同的演化阶段, 阶段之间存在持续增长期、突变期和相对稳定期3个阶段, 而且突变周期随系统的演进越来越短。如人地系统中资源环境承载力从可载到超载的变化过程属于此类。



注: a: 指数增长模式; b、c: 收敛平衡模式(分别为增、减过程); d: 阶梯状演变模式; e: 复合“S”型演化模式;
T: 时间过程; P: 人地系统演进动力。

图1 人地系统的演进过程与模式

Fig. 1 The evolution process and model of human-earth system

3 人地系统优化与区域PRED协调发展

3.1 人地系统优化与区域PRED协调发展的关系

早在1991年, 吴传钧先生就提出了人地关系地域系统优化的思想, 并指出“要从空间结构、时间过程、组织序变、整体效应、协同互补等方面寻求全球的、全国的或区域的人地关系系统的整体优化、综合平衡及有效调控的机理”, 并将研究“不同层次、不同尺度的各种类型地区人地关系协调发展的优化模型”作为中国未来人地关系地域系统研究的七大重点之一^[1, 3, 5]。其后, 又进一步强调, 不仅要深入研究人地关系各组成要素间的比例组合, 更为关键的是如何使人地关系达到一种理想的组合, 即优化状态^[1, 3]。

不同尺度的区域人地系统是由人口(Population)、资源(Resource)、环境(Environment)和发展(Development)4大子系统组成的复杂巨系统(简称为PRED系统)。在P、R、E、D之间, 总是保持着相互联系、互为影响的关系, 并处于相互制约、相互适应和相互促进的动态变化之中^[4, 9, 13-14]。在经济社会发展的不同阶段, PRED各要素客观上存在与之相对应的和谐与合理匹配关系, 而人地系统优化是指区域人地系统中各子系统及组成要素在时空过程中的合理组合与匹配关系, 它与区域PRED协调发展具有十分紧密的动态联系。实际上, 人地系统优化的最终体现就是区域PRED协调发展。

从系统论角度审视, 区域PRED协调发展与人地系统优化之间的紧密联系为: 一方面, 协调是指系统内部各组成要素之间的一种关系状态。系统论认为, 系统是有机的统一体, 不是各组成部分的简单加总, 子系统的最优并不意味着系统整体的最优。系统功能的强弱取决于各组成部分之间的组合与匹配状况, 只有相互协调、相互适应, 系统才能顺利地演进。另一方面, 人地系统结构优化是区域PRED协调发展的主要目标, 而系统结构失调必然导致区域发展失衡, 须通过PRED相互关系的调整 and 结构再造, 构筑相互依存、相互适应、相互促进的系统结构, 才能使人地系统有序、健康地发展^[9-10, 15]。

3.2 区域PRED协调发展的动态过程特点

区域PRED作为动态开放的复杂系统, 在其发展演进过程中, P、R、E、D四个子系统

是一个具有特定功能的有机整体,始终处于协调→不协调→协调循环往复的动态变化过程之中。为此,要从区域整体和持续发展的角度,协调发展过程中的各种矛盾与利益冲突^[14,16],主要包括结构协调与时空协调,其中最基本的是整体协调、共生协调与发展协调^[10]。

(1) 整体协调。是指在区域 PRED 系统的复杂交互反馈因果关系中,不仅要考虑影响人类生存与发展的各种外部因素,而且还要考虑各种内部因素的相互作用。对于一个区域而言,整体协调要求站在全局高度,从提高系统的整体功能出发,协调好局部利益与全局利益的关系,区际与区内经济社会发展同人口、资源、环境的关系,以及区域内部 P、R、E、D 各子系统和要素同各利益主体之间的关系,确保系统的整体性大于各子系统之和。

(2) 共生协调。是由协同论发展而来的,强调人与自然关系的和谐与“妥协”。它以区域 PRED 系统中多要素的组合与匹配为基础,在发展过程中通过不断的调整重组,确保整个系统朝着持续、有序的方向发展。

(3) 发展协调。是指影响经济社会发展诸要素(如区位、交通、科技、资源、生态、环境等)的相互作用及优化组合。各要素间的相互作用既包括线性与非线性关系,也包括确定与随机关系;在发展效果上,既要考虑增量,也要考虑减量。

上述 3 者协调,不仅能促进区域人地系统优化,确保其从低级向高级演化,最终实现区域可持续发展。反之,区域 PRED 间的关系不协调(失调),如单纯追求经济的高速增长,忽视资源的合理开发利用和生态环境保护,最终必然导致资源供需矛盾日益尖锐,生态环境不断恶化,形成制约经济发展和社会稳定的负反馈效应。

3.3 区域 PRED 协调发展的目标

区域 PRED 协调发展的总目标是实现区域可持续发展,亦即是在一定的时空尺度区域内,人类通过能动地控制自然—经济—社会复合系统,在不断提高人类的生活质量,又不超越资源环境承载能力的条件下,既满足当代人和本区域的发展、又不对后代人和其他区域满足其需求的能力构成危害的发展。具体目标为^[4,10,17-18]:

(1) 经济持续健康发展。经济保持持续较快增长,经济增长动能从依靠人力、资源、资本等要素驱动转变为创新驱动,经济增长方式从粗放型转变为集约型发展模式,经济结构不断调整优化,经济发展的协调性明显增强,经济发展的综合效益明显提升。

(2) 社会公平公正与进步。确保人口的长期均衡发展;建立健全就业、教育、医疗卫生、住房、社保、文化体育等基本公共服务体系,不断提高人民生活水平和社会保障程度;国民素质和社会文明程度显著提高;消除贫困,努力缩小地区和城乡发展差距。

(3) 资源永续利用。加强资源的节约集约利用,将可再生资源开发利用总量控制在自然界的可再生能力之内,不可再生资源的开发利用符合“代际公平”原则;全面推进节能、节水、节地等资源节约型社会经济体系建设;建立健全资源高效利用机制,大幅提高资源综合利用效益。

(4) 生态环境良性循环。通过加大环境综合治理力度和加强生态环境的保护修复,到 2020 年全国生态环境质量总体得到改善,生态环境恶化得到基本控制;2030 年全国生态环境状况得到显著改善,生态环境基本实现良性循环,其中各大中城市的大气环境质量和主要江河湖泊的水环境质量达标或基本达标,生态系统服务功能得到恢复提高,生态环境处于良性循环。

3.4 区域 PRED 协调发展的重点

在区域 PRED 协调发展中,资源环境是基础,经济发展是核心,科技是动力,社会发展是目的,“协同作用”则是 PRED 协调有序的保障。区域 PRED 协调包括区内和区际协调两个方面。利用 PRED 系统和要素之间的互馈关系,重点协调好以下 3 个方面关系^[10]:

(1) 协调好人口与经济增长同资源环境的关系。人口产生的巨大内在需求是经济增长的必要条件,但人口的过快增长又会对经济社会发展产生“拖累效应”并引发和加剧资源与生态环境问题;而人口长期过低增长甚至负增长,又会导致老龄化加快、劳动力短缺和有效需求不足等问题。因此,要确保人口的再生产同经济增长、社会进步、资源永续利用与生态环境良性循环同步发展。

(2) 协调好经济发展与科技进步、资源环境关系。在大力推进经济转型发展的基础上,确保经济的持续中高速增长,既是增强国家和区域综合实力的需要,又是满足人民生活水平和生活质量日益提高的需要。合理的增长必须依靠科技进步和体制机制创新而实现,它不仅体现在经济总量的增长、经济结构的优化和综合经济效益的提高等方面,而且要以不破坏资源和生态环境为前提,逐步建立起既能适应经济发展、又能促进资源合理开发利用和生态环境不断改善的现代产业体系。

(3) 协调好资源环境合理开发利用与保护治理的关系。长期以来,资源环境的无价和低价使用,以及资源与生态环境监管体制不健全,是导致资源不合理开发利用与浪费以及生态环境恶化的直接原因。为此,必须坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针,运用市场化经济手段,调节资源环境供需矛盾,建立完善市场化、多元化的生态补偿机制,改革并加强生态环境监管体制,才能实现资源环境可持续利用和生态环境的良性循环。

3.5 区域PRED协调发展的理论模式

在区域发展的不同阶段,受经济社会发展目标的驱使,区域PRED者始终处于相互制约、相互促进和相互协同的动态变化过程。对一个区域而言,按工业化进程与发展水平,大体可分为以下4个阶段(对应于图2中的I、II、III、IV阶段):

① 工业化以前的农业社会,为人口缓慢增长、经济低速增长、资源低消耗、生态环境良好的低水平协调阶段;② 工业化初、中期,因追求经济的高速增长,导致人口较快增长、资源快速消耗、环境污染日趋严重、生态系统退化的PRED失调甚至严重失调阶段;③ 工业化后期,随着科技进步和经济结构调整优化,特别是资源节约集约利用技术、环境污染治理技术的重大突破,资源消耗减缓、环境污染逐步减轻、生态系统服务功能加强,PRED协调状况得到改善和显著改善,处于低度和中度协调阶段;④ 后工业化及信息化社会,由于实施创新驱动及绿色发展战略,形成资源节约、环境友好、集约高效、绿色低碳的经济体系和绿色生活方式,PRED实现协调发展。区域PRED协调发展的理论模式如图2所示^[9-10]。

3.6 区域PRED协调发展的定量测度

为定量地测度区域PRED的整体协调与优化程度,可采用多目标函数法进行计算,公式如下^[17]:

$$\max [U(x)] = \frac{\prod_{i=1}^k f(x)}{\prod_{i=k+1}^n fi(x)} \quad (5)$$

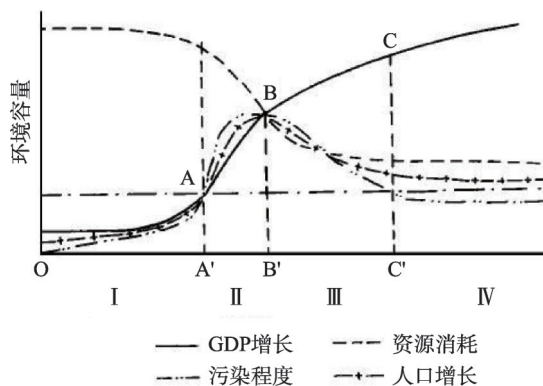


图2 区域PRED协调发展的理论轨迹

Fig. 2 The theoretical trajectory of the coordinated development of regional PRED

$$\max [U(x)] = \frac{\prod_{i=1}^k [f_i(x)]^{i_i}}{\prod_{i=k+1}^n [f_i(x)]^{i_i}} \quad (6)$$

将式(6)两端取对数:

$$I_n U_x = \sum_{i=1}^k a_i I_n f_i(x) - \sum_{i=k+1}^n \lambda_i I_n f_i(x) \quad (7)$$

式中: $U(x)$ 为评价目标函数; 分子为经济(如 GDP、工农业产值)、环境容量和资源承载力等指标, 其数值越大, 对 PERD 协调发展越有利; 分母为约束条件, 如人口自然增长率、万元 GDP 能耗及水耗、“三废”排放总量、水资源缺口等, 其数值越大, 对 PERD 协调发展越不利; λ_i 为指标权重 ($i = 1, 2, 3 \dots, k$), 可采用层次分析法(AHP)或主成分分析法等求得。

4 新时期人地系统综合调控的路径与对策

人地系统综合调控的最终目标是协调人与自然关系, 谋求人与自然的和谐共生, 亦即是协调区域发展过程中的各种矛盾与利益分配, 将人类的经济社会活动的规模和强度控制在自然环境的容量(承载力)之内, 使整个人地系统处于循环再生, 协调共生, 持续自生, 达到整体协调、共生协调与发展协调^[9-10]。

以党的“十九大”为标志, 中国特色社会主义进入了新时代。习近平总书记在“十九大”报告中指出, “人与自然是生命共同体, 人类必须尊重自然、顺应自然、保护自然”, “我们要建设的现代化是人与自然和谐共生的现代化, 既要创造更多物质财富和精神财富以满足人民日益增长的美好生活需求, 也要提供更多优质生态产品, 以满足人民日益增长的优美生态环境需要”。根据党的“十九大”精神, 以及习近平同志关于社会主义生态文明建设的系列论述, 新时期人地系统综合调控应坚定不移地贯彻创新、协调、绿色、开放、共享新发展理念, 突出创新驱动发展战略, 以建设现代化经济体系、美丽中国、为人民创造良好的生产生活环境为目标, 通过深化供给侧结构性改革、加快生态文明体制改革, 实现最严格的生态环境保护制度, 形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式和生活方式。

4.1 以创新驱动为引领, 推动人地系统持续健康发展

创新是引领发展的第一动力, 是推动人地系统结构优化与持续健康发展的强大动力。2017年1月, 中共中央、国务院印发的《国家创新驱动发展战略纲要》指出, “必须依靠创新驱动打造发展新引擎, 培育新的经济增长点, 持续提升中国经济发展的质量和效益, 开辟中国发展新空间, 实现经济保持中高速增长和产业迈向中高端水平双目标”^①。

实施创新驱动发展战略, 科技创新是核心, 主要为经济社会发展提供持久的动力; 体制机制创新是重要保障, 通过调整一切不适应创新驱动发展的生产关系, 最大限度地释放创新活力。创新驱动对推动人地系统持续健康发展的作用主要体现在以下4方面: ① 创新驱动是推动经济结构调整优化、经济高质量发展、劳动生产率和社会生产力提高, 以及能源资源消耗降低、产业核心竞争力增强的持续动力, 可促进经济子系统的优化。② 创新驱动是推动资源节约高效利用和环境保护的强大动力, 也是建设资源节约型

① 引自中华人民共和国科学技术部网站(www.most.gov.cn), 2017-04-17。

和环境友好型社会的重要保障。例如,通过发展污染治理和资源循环利用技术和产业,包括现代化水资源综合利用体系,资源循环利用产业以及水、大气和土壤污染防治技术等,不仅提高了资源利用率与生态环境承载力,而且可促进资源和环境子系统的优化。③由生命科学、中医药、生物工程等多领域技术融合的先进有效、安全便捷的健康技术,有助于应对重大疾病和人口老龄化挑战、显著提升人口健康的保障能力,亦即是人口子系统的优化。④体制机制创新既是优化创新组织体系、壮大创新主体、打造区域创新高地、推动创业创新和激发全社会创新活力的重要保障,也是建设现代化经济体系的战略支撑。

4.2 以主体功能区划为导向,优化人地系统空间格局

主体功能区划是根据资源环境承载力、现有开发密度和发展潜力,统筹考虑未来中国人口分布、经济布局、国土利用和城镇化格局,将全国国土空间划分为发展方向不同的3类区域,即:城市化地区、农产品主产区和重点生态功能区。其中,城市化地区又可分别划分优化开发和重点开发的城市化地区(简称“优化开发区”和“重点开发区”);重点生态功能区又可分别划分为限制开发和禁止开发的重点生态功能区(简称“限制开发区”和“禁止开发区”)^②。主体功能区规划作为优化人地系统空间格局的重要基础,是引导人口和经济向适宜开发的区域集聚、保护农业和生态发展空间,促进人口、经济与资源环境相协调的重要途径。其基础与导向作用主要体现在:一是按主体功能区定位科学地划定城镇、农业生态空间,以及生态保护红线、永久基本农田及城镇开发边界(即“三区”、“三线”),并据此规范空间开发秩序、控制开发强度,优化国土开发空间格局;二是按照主体功能区定位,实行分类管理的区域政策和差异化的绩效评价与考核体系^[19]。各类主体功能区人地系统优化的方向为:

(1) 优化开发区。这类地区由于经过长时期、大规模、高强度开发,在快速工业化、城镇化和人口、经济集聚的同时,水土、能矿资源过度消耗,资源环境承载力下降,生态环境日趋恶化,亦即人地矛盾日益突出。未来发展应以协调人与自然关系为核心,坚持生态优先,以高质量发展为目标,优化经济结构,强化创新驱动,推进绿色发展,加大环境治理和生态建设力度,遏制人地关系恶化趋势,并朝着良性循环发展,成为带动全国经济社会发展的龙头和中国参与经济全球化的核心区域。

(2) 重点开发区。这类地区区位优势条件优越、资源环境承载能力较强、集聚经济和人口条件较好,人地关系相对宽松。作为国家未来工业化、城镇化的主要区域,既要承接优化开发区的产业转移,也要承接限制开发区的人口转移。今后要坚持发展与保护并重,减少经济社会发展对生态环境的负面影响;重点发展优势产业,引导产业集群化发展,壮大产业规模;并以中心城市为依托,以城市群为主体形态,加快城镇化进程,成为支撑全国经济发展和人口集聚、人地关系协调发展的重要区域。

(3) 农产品主产区。这类地区光热、水土等自然条件与社会经济条件匹配较好,以提供粮食等农产品为主体功能。今后应限制进行大规模高强度工业化城镇化开发,严格保护耕地(其中基本农田保护区列为限制开发区),通过实施乡村振兴战略,稳定粮食生产,发展现代农业。按照产业兴旺、生态宜居、乡风文明、治理有效、生活富裕的总要求,加快美丽乡村建设。

(4) 限制开发区。是指资源环境承载能力较弱、大规模集聚经济和人口条件不够好并关系到全国或较大地区生态安全的区域。绝大部分地区人地系统脆弱,部分地区由于不合理开发,人地矛盾凸显。今后,应坚持生态保护优先,适度开发,点状开发,因地

② 《全国主体功能区规划》(国发[2010]46号), 2010年12月21日。引自: <http://wenku.baidu.com>(2017-7-7)。

制宜发展资源环境可承载的特色产业,加强生态修复和环境保护,引导超载人口逐步有序转移,建成全国或区域性的重要生态屏障。

(5) 禁止开发区。指依法设立的自然保护区,以及地质公园、风景名胜区、森林公园、文化自然遗产、水源保护地、重要湿地等。为维护人地关系和谐、协调,实行强制性的保护,控制人类活动对自然生态的干扰,严禁不符合主体功能定位的开发活动,逐步成为保障全国生态平衡、改善区域生态环境质量的生态功能核心区。

4.3 以供给侧机构改革为主线,建设现代化经济体系

供给侧结构性改革是从提高供给侧质量出发,运用改革的办法推进经济结构调整,使要素实现最优配置,扩大有效供给,提高供给结构对需求变化的适应性和灵活性,提升经济增长的质量和数量。推进供给侧结构性改革是新时期贯彻新发展理念、实行经济转型发展的需要,其目标是推进经济发展质量变革、效率变革,提高全要素生产率,加快建设实体经济、科技创新、现代金融、人力资源协同发展的现代化经济体系。

供给侧结构性改革是优化人地系统中经济子系统的有效路径,其重点为:① 经济由持续高速增长转向以高质量发展为特征的中高速发展。GDP年均增速从“十五”时期(2001-2005年)的9.5%、“十一五”时期的11.2%、“十二五”时期的7.8%,下降到“十三五”时期计划的>6.5%。2020年以后,经济增速保持5%~6%是可以接受的合理增速,有助于实现经济发展同社会、资源、生态环境的协调发展。② 经济结构优化。坚持走中国特色的新型工业化道路,推动科技创新与经济深度融合,深入实施“互联网+”、“大数据”、“中国制造2025”、“军民融合发展”、新一代人工智能等重大举措,推动传统产业转型升级,加快发展战略性新兴产业和现代服务业,促使中国产业迈向全球产业链的中高端。③ 调整优化经济布局。以发挥各地区比较优势和协调经济布局与资源、生态环境为目标,在宏观层面,继续实施西部大开发、全面振兴东北等老工业基地、促进中部崛起和支持东部地区率先发展战略;在中观层面,以省(市)、自治区为地域单元,按照主体功能区定位,优化重点产业布局,淘汰落后产能,加快钢铁、煤炭、有色、建材等落后产能退出,重点发展先进制造业和战略性新兴产业;在微观层次,协调好城市各类产业集聚区(新城、新区)建设与水土资源、生态环境承载力、城市功能定位相适应。

4.4 以促进人口长期均衡发展为目标,逐步完善人口政策

长期以来,中国实行计划生育基本国策,严格控制人口增长。这是根据中国人口基数大、人均水土和能源资源占有量小(居世界100位之后),以及资源环境承载力逐年下降的基本国情而作出的战略决策。经过40多年来的发展,中国自20世纪90年代初人口出生率明显下降,全国人口总和生育率从1990年的2.3下降至2000年的1.22,2010年更降至1.1811(其中城市为0.8821,镇为1.534,乡村为1.4376),远低于国际人口代际均衡发展的总和出生率(发达国家为2.17,发展中国家为2.3)^①。与此相适应,中国从1999年进入老龄化社会(60岁及以上人口占总人口的10%),2010年以来老龄化进程明显加快。2015年,中国60岁及以上人口达2.2亿,占总人口的16.15%(2010年为13.2%),其中65岁以上人口14386万,占总人口的10.5%(2010年为8.87%)^①。预测到2020年老龄化水平将达17.17%^③,2030年达25%^④。人口老龄化带来的突出问题是劳动力供应减少,相应地社会劳动年龄人口对老年人口的总抚养比从1990年的49.8%下降到2010年的34.2%和2015年的37%。同时,还增加了公共财政对社会保障的支出。因此,调整人口生育政策迫在眉睫,2015年10月党的十八届五中全会提出,在坚持计划生育基本国策

③ 《中国2010年人口普查资料》,引自:中国经济导报网(2012-11-01)。

④ 《国家人口发展规划(2016-2030年)》(国发[2016]37号),引自:中国政府网(2017-01-25)。

的同时,完善人口发展战略,全面实施一对夫妇可生育两个孩子政策,促进人口长期均衡发展。

不断提高人口的文化、科技和健康素质是中国人口政策的重要组成部分。为此,一方面要加快基本公共教育的均衡发展,实现普及高中阶段教育,大力发展职业技术教育,结合发展现代农业做好农村科技普及工作;另一方面,结合推进健康中国建设,建立健全全民医疗保障体系,加强重大疾病防治和基本公共卫生服务,使中国人口的平均预期寿命从1990年的70.47岁提高到2015年的76.3岁,预期2030年为79岁^②。同时,为积极应对人口老龄化,需建立以居家养老为基础、社区为依托、机构为补充的多层次养老服务体系。

4.5 遵循市场原则,健全资源环境有偿使用和生态补偿制度

节约资源和保护环境作为一项基本国策,为落实节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针,形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式和生活方式,必须遵循市场原则,建立约束与激励并举的生态文明制度体系。

2010年12月,国务院批准发布的《全国主体功能区规划》(国发[2010]46号)提出,要完善利益补偿机制,“中央财政要逐年加大对农产品主产区、重点生态功能区特别是中西部重点生态功能区的转移支付力度”。在国家“十二五”和“十三五”国民经济和社会发展的五年规划纲要中,都强调必须建立生态受益地区与保护地区之间的横向生态补偿机制、加快制定生态补偿条例。2015年9月,中共中央、国务院印发的《生态文明体制改革方案》再次强调,要健全资源有偿使用和生态补偿制度,并对资源有偿使用和生态补偿机制的对象、补偿原则以及资源环境税费改革等作了原则规定。2016年12月25日,第十二届全国人大第25次会议通过的《中华人民共和国环境保护税法》提出,为保护和改善环境,减少污染物排放,推进生态文明建设,于2018年1月1日起实施开征环境保护税,并明确了环境保护税的税目、计税依据、应纳税额及征收办法^⑤。

通过几年来的实践,相比之下,自然资源有偿使用及核算制度(如编制自然资产负债表)进展相对较快,推动了资源节约集约利用和资源综合利用效益的提高。环境污染治理也跟进较快,通过推进联防联控和流域共治,以及加大环境基础设施建设力度,并在国家和地区层面相继出台了一系列环境治理的政策法规,环境污染恶化趋势得到遏制,整体环境状况取得不同程度改善。而对生态补偿,由于缺少实施的具体办法和细则,总体进展较慢,无论在国家层面,还是在省(市)自治区层面,迄今尚未建立科学规范的补偿机制。现有的政府为主导的项目补偿模式,普遍存在补偿的主体不明确、补偿的法律法规不健全、补偿的覆盖面和范围不统一、补偿的标准过低、补偿的方式单一,以及财政转移支付不规范等问题,这也是制约绝大部分生态功能区生态环境状况改善缓慢的重要原因。

今后,要以建设资源节约型、环境友好型社会为目标,通过促进绿色发展,以加快建立绿色生产与消费的法律法规制度和政策导向,深化资源环境价格改革,完善资源环境价格机制,使其能全面反映市场供求、资源稀缺程度、生态环境损害成本和修复效益等因素,逐步将资源税扩展到生态环境领域。在环境综合治理方面,要实行最严格的环境保护制度,提高污染物排放标准,强化排污者的主体责任,构建以政府为主导、企业为主体、社会组织与公众共同参与的环境治理体系,并在开征环境保护税、推行排污权交易制度的基础上,积极推动建立全国统一的碳排放交易市场。在生态补偿机制方面,要按照习近平总书记在党的“十九大”报告中提出的“建立市场化、多元化的生态补偿机

⑤ 中华人民共和国环境保护部网站(Zho.gov.cn)(2017-04-07)。

制”要求,首先,明确生态补偿的范围和依据:一是生态系统的服务功能,如涵养水源、保持水土、防风固沙、调节气候、增加碳汇等;二是受损生态系统的恢复,即通过人工措施(如退耕还林还草、植树造林),使受损生态系统逐步恢复到合理的、生态系统能达到自我维持状态的结构功能。其次,优化生态补偿方式,除稳定的财政转移支付外,还可通过对口扶贫、对口支援、共建产业园区、人才培养、劳务合作等多种形式,同时要鼓励有实力的企业、机构积极参与,努力提高生态功能区的“造血”功能。再次,在国家统计体制上,应尽快采用绿色GDP核算体系,即在地区生产总值中扣除自然资源消耗与环境污染损失后的GDP,才能更好地体现经济增长与自然环境和谐统一的程度。

参考文献(References)

- [1] Wu Chuanjun. Man-earth areal system: The core of geographical study. *Economic Geography*, 1991, 11(3): 1-6. [吴传钧. 论地理学的研究核心: 人地关系地域系统. *经济地理*, 1991, 11(3): 1-6.]
- [2] Wu Chuanjun. Man-earth Relationship and Economic Allotment. Beijing: Academy Press, 1998: 28-33. [吴传钧. 人地关系与经济布局. 北京: 学苑出版社, 1998: 28-33.]
- [3] Wu Chuanjun. Theoretical research and regulation of the regional system of human-land relations. *Journal of Yunnan Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition)*, 2008, 40(2): 1-3. [吴传钧. 人地关系地域系统的理论研究及调控. *云南师范大学学报(哲学社会科学版)*, 2008, 40(2): 1-3.]
- [4] Mao Hanying. Man-earth System and Regional Sustainable Development. Beijing: China Science & Technology Press, 1995: 48-60. [毛汉英. 人地系统与区域持续发展研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 48-60.]
- [5] Lu Dadao, Guo Laixi. Man-earth areal system: The core of geographical study: On the geographical thoughts and academic contributions of Academician Wu Chuanjun. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 53(2): 97-105. [陆大道, 郭来喜. 地理学的研究核心: 人地关系地域系统: 论吴传钧院士的地理学思想与学术贡献. *地理学报*, 1998, 53(2): 97-105.]
- [6] Lu Dadao. Theoretical studies of man-land system as the code of geographical science. *Geographical Research*, 2002, 21(2): 135-139. [陆大道. 关于地理学“人—地系统”理论研究. *地理研究*, 2002, 21(2): 135-139.]
- [7] Fang Chuanglin. Recent progress of studies on man-land relationship and its prospects in China. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(Suppl.): 21-32. [方创琳. 中国人地关系研究的新进展和展望. *地理学报*, 2004, 59(增刊): 21-32.]
- [8] Fan Jie. Frontier approach of the sustainable process and pattern of human-environment system. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(8): 1060-1068. [樊杰. 人地系统可持续发展过程 格局的前沿探索. *地理学报*, 2014, 69(8): 1060-1068.]
- [9] Shen Yuming, Fang Chuanglin, Mao Hanying. The Theory and Practice of Regional Sustainable Development. Beijing: China Environmental Science Press, 2007. [申玉铭, 方创琳, 毛汉英. 区域可持续发展的理论与实践. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.]
- [10] Mao Hanying. Regional Development and Regional Planning: Theory, Method and Practice. Beijing: The Commercial Press, 2008: 13-60. [毛汉英. 区域发展与区域规划: 理论·方法·实践. 北京: 商务印书馆, 2008: 13-60.]
- [11] Tian Yaping, Xiang Qingcheng, Wang Peng. Regional coupled human-natural systems vulnerability and its evaluation index. *Geographical Research*, 2013, 32(1): 55-63. [田亚平, 向清成, 王鹏. 区域人地耦合系统脆弱性及其评价指标体系. *地理研究*, 2013, 32(1): 55-63.]
- [12] Fang Chuanglin, Zhou Chenghu, Gu Chaolin, et al. Theoretical analysis of interactive coupled effects between urbanization and eco-environment in mega-urban agglomerations. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(4): 531-550. [方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路线. *地理学报*, 2016, 71(4): 531-550.]
- [13] Wang Liming. Regional Sustainable Development: Based on the Perspective of Regional System of Human Relations. Beijing: China Economic Press, 1998. [王黎明. 区域可持续发展: 基于人地关系地域系统的视角. 北京: 中国经济出版社, 1998.]
- [14] Zheng Du. Prospects of studies on man-land relationship in the 21st century. *Geographical Research*, 2002, 21(1): 9-13. [郑度. 21世纪人地关系研究前瞻. *地理研究*, 2002, 21(2): 9-13.]
- [15] Fang Chuanglin. The optimal control of regional human-earth system and its sustainable development. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(4): 629-635. [方创琳. 区域人地系统的优化调控与可持续发展. *地学前缘*, 2003, 10(4): 629-635.]

- [16] Cai Yunlong. Sustainable development: A new approach to man-earth system optimization. *Applied Ecology*, 1995, 6 (3): 329-333. [蔡运龙. 持续发展: 人地系统优化的新思路. *应用生态学报*, 1995, 6(3): 329-333.]
- [17] Mao Hanying. Research on coordinated development of county economy and society with population, resources and environment. *Acta Geographica Sinica*, 1991, 46(4): 385-395. [毛汉英. 县域经济和社会同人口、资源、环境协调发展研究. *地理学报*, 1991, 46(4): 385-395.]
- [18] Niu Wenyuan. *Introduction to Sustainable Development*. Beijing: Science Press, 1994. [牛文元. 可持续发展导论. 北京: 科学出版社, 1994.]
- [19] Fan Jie. The scientific foundation of major function oriented zoning in China. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(4): 339-350. [樊杰. 我国主体功能区划的科学依据. *地理学报*, 2007, 62(4): 339-350.]

Theories and methods of optimal control of human-earth system: Commemoration of 100th anniversary of Academician Wu Chuanjun's birth

MAO Hanying

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

2. China Science Center of International Eurasian Academy of Sciences, Beijing 100107, China)

Abstract: The optimal control of the human-earth system plays the most important role in the theoretical foundation of human-earth areal system (abbreviated as the "human-earth system") advocated by Academician Wu Chuanjun. Based on the thinking and related discussion of optimal control of human-earth system proposed by Academician Wu, this paper deepened and expanded the theoretical and methodological aspects of structure, nonlinear effects, coupling relationship and evolution of the human-earth system. After that, we focused on the following two aspects. The first is to discuss the optimization of human-earth system and coordinated development of regional PRED (i.e., population, resources, environment, and development), including the relationship between human-earth system optimization and PRED coordinated development, as well as the objectives, key points, theoretical models and quantitative measures of coordinated development of PRED. The second is to explore the path and countermeasures of comprehensive regulation of human-earth system in the new era. First of all, we should promote the continuous and healthy development of human-earth systems through innovation. Secondly, we should optimize the spatial pattern of the human-earth system according to the main function-oriented zoning. Thirdly, we should build a modern economic system through supply-side structural reforms. Fourthly, setting long-term balanced development of population as a goal, we should gradually improve the population policy. Finally, we should follow the market principles to improve the mechanism of paid use of resources and environment and ecological compensation.

Keywords: human-earth system (human-earth areal system); optimization; coordinated development of regional PRED; comprehensive regulation; theories and methods