

# 区域可持续发展系统动力学综合协调模型研究

■ 蔡林 / 中国人民大学人口与发展研究中心  
高速进 / 中国环境科学出版社

**摘要** 系统动力学是研究区域可持续发展问题最好的方法之一, 在我国区域可持续发展研究中已经得到了大量的应用。但是, 研究者所建立的模型在结构上差异很大, 大多数模型并未反映区域可持续发展整体性的要求。因此, 有必要建立一个标准模型, 以规范系统动力学区域可持续发展研究, 满足越来越迫切的区域可持续发展综合研究的需要。本标准模型含有人口、资源、环境、社会与经济5个子系统, 可按照区域特征进行拓展。

**关键词** 科学发展观 可持续发展 系统动力学 标准模型

自1992年世界环境与发展大会明确提出可持续发展定义以来, 可持续发展作为人类的崭新目标和发展模式已被世界各国所广泛接受。实施可持续发展战略, 落实科学发展观, 也是我国经济和社会发展的必由之路。

促进我国社会经济整体的可持续发展, 区域可持续发展研究至关重要。所谓区域可持续发展是指特定区域的需要不削弱其它区域满足其需求的能力, 同时当代人的需要不对后代人满足其需求能力构成危害的发展<sup>[1]</sup>。区域可持续发展研究是一项复杂的系统工程, 需要全面协调人的经济活动、社会活动和自然界复杂的系统关系, 需要采用系统科学的方法<sup>[2]</sup>。

本文采用系统动力学方法研究区域可持续发展问题。系统动力学简称SD (system dynamics), 由J. W. Forrester 于1956年创建于美国, 是一种通过结构-功能分析和信息反馈来

研究和解决复杂动态反馈性系统问题的计算机模拟方法。它是一门新兴的交叉学科; 是现今适用于处理空间——时间图表上远处出现的各种问题的最有用的模型<sup>[3]</sup>; 是沟通统计类模型和思维决策模型的桥梁<sup>[4]</sup>; 在模型体系中有最多的“接口”, 是解决区域PRED——人口、资源、环境与可持续发展问题的首选方法之一<sup>[5]</sup>; 在处理复杂系统问题方面具有特殊的优势<sup>[6]</sup>; 被誉为“战略与策略实验室”。

## 1 研究框架

按照可持续发展的基本理论, 可持续发展涉及人口、资源、环境、社会与经济5大要素<sup>[7]</sup>。其中, 人口是驱动系统发展变化的动力, 资源环境是系统存在的基础支撑, 经济是为满足人口直接需求创造条件的各种活动, 而社会则是人口、资源、环境与经济活动的综合集

成, 是人口发展变化的组织形式, 也是作为个体的人生存发展的必要条件<sup>[8]</sup>。从系统论的观点来看, 这五个基本要素之间相互联系、相互作用, 构成了一个复杂的动态反馈系统, 可称之为人口、资源、环境、经济与社会协调发展系统 (以下简称PRESE系统)。此外, PRESE系统还与外界人口、资源、环境、资金等存在着密切的联系 (图1)。

PRESE系统充分体现了区域可持续发展的整体性要求。通过全面分析系统的内外结构关系, 构筑系统动力学模拟模型, 可以探讨整个系统协调发展的机制, 了解系统协调发展的演进过程, 发挥政策调控的综合作用, 促进区域社会经济整体的可持续发展。

## 2 模型结构分析

按照上述研究框架, 分析各个子系统的内部结构和输入-输出关系, 为

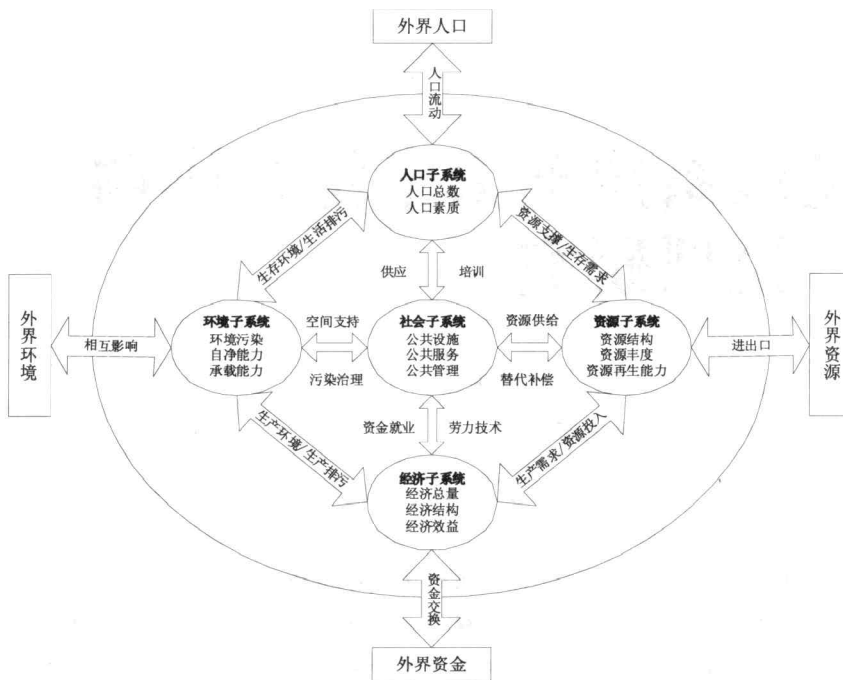


图1 人口、资源、环境与社会经济协调发展系统基本结构关系

模拟模型的构筑提供结构细节和确定反馈关系。

## 2.1 人口子系统——PRESE的动因

按照人口学的定义，人口是生活在特定社会、特定地域范围和特定期内具有一定数量、结构和素质的人的总体。

人口的数量包括人口的总量、不同结构和素质人群的数量。人口结构包括性别结构、年龄结构、素质结构和地域分布结构等。人口的素质包括身体素质、智力素质、心理素质和科学文化素质等。

人口具有自然和社会的双重属性。它的自然属性和社会属性决定了它与外部环境的关系。

人口的自然属性，即人口的生物本性，决定了它的自然行为。人口的繁衍需要一定的生存空间和物质支持。生存空间来源于自然环境；生存物质来源于自然资源。与此同时，向自然环境排放污染物质；导致不可再生资源的减少，影响可再生资源的生产和调节

和存量。

人口的社会属性，也就是人口的社会性，决定了它的社会行为。人口的社会行为的不断积累，导致了社会子系统的形成和不断发展变化。逐渐形成了整合与组织、教育、交流、导向、继承和发展等多项功能。人口子系统向社会子系统输出的是全体人口；社会子系统则向人口子系统提供商品与公共服务，以及政策调控指令等。

## 2.2 社会子系统——PRESE系统的调节中枢

从系统论的观点来说，社会是由各种相互关联的元素及子系统、属性及关系组成的系统的一种类型，其个体建立在反馈机制之上，其目的在于借助于一定界限内起作用的规律实现个体活力的极值原则<sup>[9]</sup>。

根据社会子系统所产生的功能，可以将社会子系统的内部结构划分为4大类，即基础设施与公共服务、科学与技术研究、社会安全保障和政策体系。

基础设施提供经济社会发展所必

需的基本物质基础，其中包括道路与交通、通讯、能源、供水与排水、医院、学校、住房等。基础设施的功能是提供社会公共服务。

科学研究为人们认识世界、改造世界，并最终与世界和谐相处提供技术支持。包括研究机构和成果输出。

社会保障是国家或社会依法建立起来的、具有经济福利性的国民生活保障与社会稳定系统。社会保障包含两方面的内容，一是生存的环境安全保障；二是生存所必需的生活安全保障。环境安全保障的基本内涵包括生产安全、休闲娱乐安全、医疗安全、饮用水安全、食品安全、交通安全、环境安全和教育安全等诸多方面；生活保障主要是指社会保险（失业、养老、医疗）、社会福利、社会救助等与经济不安全有关的社会保障。

政策体系包括内部政策体系和外部政策体系。内部政策体系包括政治权力与利益分配关系，其基本功能是调节系统内的成员及组织间的关系；外部政策体系包括人口政策、经济政策、环境政策、资源政策、科技政策等，作用是调节社会子系统与其他子系统之间的关系。

总体而言，社会子系统的输入包括人口、资金、自然环境与自然资源。它们分别来自人口子系统、经济子系统、环境子系统和资源子系统。通过社会子系统的内部组织与整合过程，对外输出人力资源和科学技术给经济子系统，生活物质资料（商品）给人口子系统；为人口和经济子系统的活动提供基础设施和公共服务；通过污染物的集中治理，调节环境子系统的状态；通过促进观念的转变，节约资源、寻找资源替代，进而缓解资源的压力。

## 2.3 资源子系统——PRESE系统的物质基础

自然资源是自然界中能为人类所

利用的物质和能量的总称,它是人类生活和生产资料的来源,是人类社会和经济发展的物质基础。自然资源的存量是衡量可持续发展能力的一个重要指标。它决定于资源的内部结构和外部关系。

资源的内部结构包括资源的种类、资源的丰度与开发利用强度。自然资源主要包括土地资源、水资源、气候资源、生物资源和矿产资源等。在资源的种类中可再生资源比例高、丰度大、开发利用强度低,则自然资源的存量就比较高,对可持续发展能力的支撑也就比较强;反之,则比较弱,更需要考虑节约和替代。

资源子系统主要与人口子系统、社会子系统和经济子系统相联系,并与之存在着冲突与协调两种关系:一是需求导致的资源存量减少;二是技术进步等措施推动的资源消耗速度减缓,资源替代、以及资源探明储量的增加,导致资源存量的增加。

提高资源的利用率,节约资源,并寻找资源的替代,主要依靠社会子系统提供的科学技术以及发出的调控指令(政策措施)。科学技术可以使每一个资源消耗主体都能提高资源的利用率;调控指令的作用在于调控科学技术在不同资源消耗主体中的应用程度。一般来说,提高资源的利用率、寻找资源替代,首先是应用在经济领域。如近些年来我国一直大力推动的节能降耗工作等。

减缓资源的消耗,保持或增加资源存量,还有一种方法就是依靠经济子系统的资金支持能力,购买资源。这一点,在全球化的大背景下尤为重要,甚至可以作为优先考虑的战略性措施。

#### 2.4 环境子系统——PRESE 系统的空间支持

不同的国家、不同的组织对环境的定义也有所不同。本文所定义的环境

是指为人类生存和发展提供支持的、不包括资源和人工产物的自然环境要素的总合。在此基础上,确定环境的组成和与外界的相互关系。

一般来说,环境可以划分成地理环境、地质环境和星际环境。影响可持续发展系统的主要是地理环境。

地理环境包括水、土壤、大气、生物等环境要素。每一个环境要素又构成一个结构单元,由次一级的因子组成,具有不同的结构和功能。

从总体上来看,环境子系统主要承担着两项功能:一是为人口、社会和经济子系统提供空间支持;二是承纳上述三个子系统所排放的污染物质。

空间支持表现为环境承载力,是所有环境要素的综合能力。主要决定因素是土地和气候。

环境污染物的承纳力表现为环境自净力。环境自净力是指自然环境可以通过大气、水流的扩散、氧化以及微生物的分解作用,将污染物分解净化为无害物的能力。

环境自净力在一定的时空条件下是有限的。当环境污染物的排放超过环境自净力极限的时候,环境污染的影响便产生了。

环境污染会大大地降低环境承载力。这时候就需要社会子系统发出调控指令,控制人口子系统、经济子系统和社会子系统自身污染物的排放,或者通过社会子系统构建的污染处理设施对污染物进行集中处理,以保证污染物的排放控制在环境的承纳力以内。社会子系统调控污染物排放的手段有经济的、行政的和法律的多种形式。其中,经济的调控手段包括排污收费、排污权交易、环境税等。

环境自净能力是有限的,但也不是一成不变的。通过社会子系统的技术投入和经济子系统的资金支持,环境自净能力可以得到提升。如植树造林可以增加河流的水量和流量的稳定

性,进而提高环境的水污染物自净能力等。

#### 2.5 经济子系统——PRESE 系统的推动力

科学发展观强调“以人为本”,强调“全面发展”,并不意味着经济建设可以退到次要的位置,更不是要放弃以经济建设为中心,经济是基础,是解决一切社会问题的前提,没有经济的发展,就谈不上其他方面的发展。因此,在PRESE系统中,经济的可持续发展仍然起着基础和主导的作用。而经济的可持续发展关键是经济结构的战略性调整和增长方式的转变。

经济结构指国民经济的组成和构造。它可以根据我们的研究目的和观察视角来确定。如从国民经济各部门和社会再生产的各个方面的组成和构造考察,则包括产业结构,如一、二、三次产业的构成等;分配结构,如积累与消费的比例及其内部的结构等;交换结构,如价格结构、进出口结构等;消费结构、技术结构、劳动力结构等。

一般来说,经济结构中最重要的是产业结构。产业结构的调整和升级,是提高经济效益,实现可持续发展的重点和难点。

产业结构的调整涉及五大要素:人力资源、自然资源、资金、科学技术和生产环境。这5大要素构成了经济子系统的输入,它们分别来自社会子系统、环境子系统、资源子系统和外部地区。其中,资金除了来自社会子系统的居民储蓄(贷款)、股票市场募集的资金,外部地区的投资以外,还包括企业的资金自投入。

经济子系统存在的价值在于它有多项重要的输出功能。经济子系统通过物质和资金的支持,促进社会子系统结构的完善,发挥更强大的功能。如建设更多更好的学校、研究机构等,进一步提高人口素质,增加科技产出;建设污染处理设施,减轻环境子系统的

污染压力等。经济子系统对环境子系统的稳定可以作出巨大的贡献。经济子系统是污染的大户,只有通过内部的技术改造、产业升级、清洁生产、污染物处理,才能使向环境排放的污染物减少,减轻环境的压力。与对环境子系统的贡献类似,经济子系统通过技术改造、产业升级、废弃物的循环利用等手段,减少自然资源的消耗;与此同时,可以投入更多的资金,购买外部资源,减轻资源子系统的压力。

### 3 模拟模型构筑及应用原则

在分析各个子系统的结构、输入与输出关系的基础上,依据系统动力学的理论和方法,可利用系统动力学模拟软件(如Vensim-PLE)构筑区域可持续发展研究总模拟模型。在模拟模型构筑和应用时,要注意以下的一些基本原则<sup>[10]</sup>。

#### 3.1 整体性原则

从可持续发展的本质来说,决定可持续发展的关键要素是五个——人口、资源、环境与社会、经济。任一要素的缺失都不能体现可持续发展系统的总体性要求。因此,应用系统动力学研究区域可持续发展问题时,无论是区域可持续发展整体状况的研究,还是某一专题的研究,首先要注意的就是它的整体性。即要从可持续发展系统动力学的标准模型出发,全面考虑人口、资源、环境与社会、经济诸要素的综合作用;按照系统科学的理论和方法,采取层层分解的方式,追根溯源,逐步展开。

#### 3.2 开放性原则

除了全球可持续发展研究以外,可持续发展研究都是区域性的,无论是子系统还是总系统则都是开放性的。系统与外界存在着各种相互联系。因

此,我们在构筑模型时,必须考虑系统与外部因素的相互影响。

#### 3.3 差异性原则

可持续发展系统的构成和各因子之间的关系,在不同的地域所表现出的结构和矛盾是不尽相同的,有明显的差异性。我们应该充分地考虑到这种差异。这样才能揭示系统的内部结构特征和真实的运行规律,找出矛盾和问题的所在,并对系统进行有效的调控,而不是照搬别人的经验和模型。

#### 3.4 标准化原则

我国在社会经济发展过程中,制定了一系列的管理规范和标准。如国民经济分类标准、国家环保标准、人口普查标准、城市用水分类标准、全国土地利用现状调查技术规范等。这些标准和规范涉及了人口、资源、环境与社会经济发展的基本内容和范围。依据这些标准和规范,我国也积累了大量的统计资料。因此,在模型的设计和细化过程中,应该考虑到这些标准和规范,以便利用历史资料对参数进行选择 and 统计,对模拟结果进行对比分析。

#### 3.5 逐步完善性原则

任何一个模型,其构筑不可能一步到位,都有一个逐步完善的过程。这源于两个方面的影响:一是我们对现实系统本质特征的认识是逐步深化的;二是现实系统也是逐步变化的,甚至在某一时刻发生突变。这种变化不是表面的变化,而是内部结构型的转变。因此,我们在构筑和应用模型时,就需要不断探索,逐步加深对所研究系统的内在结构以及变化规律的认识,使模型不断完善。可以说,无论是模型的构筑过程,还是模型的使用过程,都是不断探索和互动的过程。④

### 参考文献

- [1] 张邦花等. 区域发展理论与区域可持续发展[J]. 临沂师范学院学报, 2004, 26(4).
- [2] 胡锦涛在两院院士大会上的讲话[EB/OL]. news.xinhuanet.com/newscenter/2004-06/02/content\_1504595.htm.
- [3] (美) D. L. Meadows. 增长的极限——罗马俱乐部关于人类困境的报告[M]. 李宝恒, 译. 长春: 吉林人民出版社, 1997.
- [4] Isaac Dyrer. Energy Modeling Platforms for Policy and Strategy Support[J]. The Journal of the Operational Research Society. 2000, 51(2).
- [5] 方创琳. 区域发展规划论[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [6] 王其藩. 系统动力学理论与方法的新进展[J]. 系统工程理论方法应用, 1995, 4(2).
- [7] 中国科学院可持续发展研究组. 2002 中国可持续发展战略报告[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [8] 曾嵘等. 人口、资源、环境与经济协调发展系统分析[J]. 系统工程理论与实践, 2000(12).
- [9] (俄) A. A. 达维多夫. 关于“社会”概念的定义问题[J]. 刘伸, 摘译. 国外社会科学, 2005(01).
- [10] 王其藩. 系统动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.

### 更正启事

本刊总416期中第73页,《防治面源污染的法律措施》第2部分,引用了刘冬梅、管宏杰所写的《美日农业面源污染防治立法及对中国的启示与借鉴》(《世界农业》,2008,4)的相关内容。因作者冷罗生疏忽,未加注释也未在参考文献中列出,现予以补正,并特此向原作者及各位读者致歉。