

文章编号:1006-7639(2005)-02-0070-05

系统动力学及其在区域可持续发展研究中的应用

张爱胜,李锋瑞,康玲芬

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,甘肃 兰州 730000)

摘 要:系统动力学是一种以反馈控制理论为基础、计算机仿真技术为手段、研究复杂社会经济大系统的方法。近年来随着计算机技术的飞速发展和系统动力学理论与方法体系的不断完善,该方法得到了广泛地应用。该文综述了系统动力学方法在区域可持续发展研究中的应用,提出了在这一领域进一步研究的若干方向。

关键词:可持续发展;系统动力学;模拟

中图分类号:N949

文献标识码:A

引 言

可持续发展是指既满足当代人需要,又不对后代构成危害的发展观,其核心思想就是通过改变人们的观念,调整人与人之间的关系,协调人与资源的关系,实现人与自然长久和谐的发展^[1]。自 1987 年《我们共同的未来》一书发表以来,可持续发展作为一种新的发展模式已普遍被世界各国所接受。区域可持续发展是可持续发展思想在特定地域的体现,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模式^[2]。它要求区域的经济增长、社会发展要建立在有效控制人口增长、合理利用自然资源、逐渐改善环境质量并保持良性发展的基础上。因此,从系统的层次上综合探讨区域发展的动力与制约因素及其响应机制,进而提出具有较强操作性的区域发展规划,是区域可持续发展研究的重要内容。

区域可持续发展是一个复杂的动态过程,构成要素众多,响应机制复杂,不仅内部存在多重层次结构,而且不同层次的组成部分、子结构和子系统之间也存在着复杂的非线性的相互作用和反馈因果关系,所以用一般的数量研究方法难以全面把握其复

杂的变化趋势。系统动力学与其它分析工具最大的不同点在于系统动力学具备处理非线性问题(Non-linearity)、信息反馈(Information feedback)、时间延迟(Time delay)、动态性复杂(Dynamic complexity)的能力,因此在区域可持续发展研究中得到了广泛的应用。

1 系统动力学简介

系统动力学方法是一种以反馈控制理论为基础,以计算机仿真技术为手段,通常用以研究复杂的社会经济系统的定量方法。自 20 世纪 50 年代中期美国麻省理工学院的 J. W. Forrester 教授创立以来,它已成功地应用于企业、城市、地区、国家甚至世界规模的许多战略与决策等分析中,被誉为“战略与决策实验室”^[3]。

系统动力学模型从本质上看是带时间延迟的一阶差微分方程,与其它模型方法相比,系统动力学方法具有下列特点:

(1) 适用于处理长期性和周期性的问题。如自然界的生态平衡、人的生命周期和社会问题中的经济危机等都呈现周期性规律并需通过较长的历史阶段来观察,已有不少系统动力学模型对其机制做出了较为科学的解释。

收稿时间:2005-04-26;改回日期:2005-06-14

基金项目:国家 973 项目(G2000048705)和中科院寒区旱区环境与工程研究所知识创新工程项目(2004121)资助

作者简介:张爱胜(1972-),男,甘肃省甘谷县人,在读博士,主要从事旱区社会生态学研究。E-mail:lfengrui@vip.163.com, zhas5@163.com.

(2) 适用于对数据不足的问题进行研究。建模中常常遇到数据不足或某些数据难于量化的问题,系统动力学通过各要素间的因果关系及有限的信息及一定的结构仍可推算分析。

(3) 适用于处理精度要求不高的复杂的社会经济问题。上述总是常因描述方程是高阶非线性动态的,应用一般数学方法很难求解。系统动力学则借助于计算机及仿真技术仍能获得主要信息。

近年来随着系统动力学理论和方法体系的不断完善和计算机技术的飞速发展,系统动力学仿真方法在各个领域得到了广泛的应用。目前已有许多的系统动力学仿真软件相继被开发出来,如 Stella、Powersim、Vensim、ithink 等等。

2 系统动力学在区域可持续发展研究中的应用

系统动力学作为系统科学的一个重要分支,与可持续发展问题有着很深的渊源。20 世纪 70 年代,国际上就开始了关于系统动力学在可持续发展领域的研究工作,其中代表性工作就是发表于 20 世纪 70 年代初的《增长的极限》。它以系统动力学的创始人福雷斯特教授等开发的系统动力学世界模型 World III 为基础,在考察了加速工业化、快速的人口增长、普遍的营养不良、不可再生资源的耗尽以及恶化的环境等 5 种为全球所关注的主要趋势后指出,如果这些趋势再不加遏制,地球将在今后 100 a 中达到其增长的极限,并最终导致人口和工业生产力不可控制的衰退^[4]。在此之后,系统动力学方法被广泛应用到了区域可持续发展研究的各个方面,主要研究领域包括以下几方面。

2.1 以区域内资源的合理开发利用为核心的与区域可持续发展规划

资源的合理开发利用是区域可持续发展的基础。通过模型模拟区域内资源开发利用的合理规模和速度,并在此基础上提出区域可持续发展规划是系统动力学在区域可持续发展研究中的重点内容。国内外在这方面的研究主要有:

Stave 以拉斯维加斯为例,利用系统动力学方法模拟了不同水资源利用方式的结果,提出了该市水资源合理利用的模式^[5-6]。Janssen 等以草地资源为限制因子,探讨了不同的政策和制度对放牧者以及草

地生态系统的影响,在此基础上提出了澳大利亚放牧草场的优化管理模式^[7]。Janssen 还对湖泊的富营养化问题及其综合管理进行了研究^[8]。Güneralp 等针对土耳其境内一湿地湖泊的富营养化问题,利用系统动力学方法探讨了区域经济发展与生态系统之间的平衡关系,并提出了区域经济与可持续发展的优化模式^[9]。Saysel 等以土耳其 Anatolian 东南部为例,综合考虑了水资源、土地利用、土地退化、农业污染等因素,建立了区域农业可持续发展模型^[10]。王晓华等以江苏射阳县为例,建立了区域能量—经济系统动力学模型,分析了该县的能量结构及其对经济发展的影响,并提出了相应的解决对策^[11]。郭怀成等以云南洱海盆地为例,研究了这一区域的环境与社会经济可持续发展问题^[12]。刘小金等以山东莱州市为例,探讨了研究区域内资金、劳动力、水资源和能源的合理配置,并结合多目标决策方法,提出了区域发展的优化模式^[13]。凌亢等建立了南京市可持续发展系统仿真模型^[14],并设计了 4 种调控试验模式(即传统趋势型模式、工业发展型模式、资源环保型模式、协调发展型模式),对不同发展模式的运行结果进行了对比分析^[15]。施国洪、朱敏利用系统动力学方法研究了江苏镇江市环境经济问题,选取工业产值增长率、工业投资中重工业投资比率和环保投资比率作为控制变量,设计了一系列模拟方案,并通过对运行结果的比较,确定了区域环境与经济可持续发展的最优方案和较优方案^[16]。殷克东等分工业、人口、环境 3 个子模块,对青岛市可持续发展建立了系统仿真模型,并将青岛市与国内其它几个类似的沿海城市作了对比^[17]。尚金城等引入了战略环境评价的概念,利用系统动力学方法,以产业结构和环保投资作为调控变量对长春市建立了评价模型。研究表明,当这 2 个参数调控适中时,人口和环境子系统呈衰减振荡趋势,资本子系统呈增长趋势^[18]。沈先荣等研究了山东省淄博的可持续发展问题,建立了递阶层次结构,并利用仿真结果,进行了投资政策试验、工业结构调整政策试验以及技术进步政策试验^[19]。姚建等的研究表明,成都市可持续发展的瓶颈是资源经济容量和环境质量,为此,选择了水资源开发利用率、万元产值耗水量、对环保的资金投入占国民生产总值的比例作为控制变量,设计了 3 个系统调控方案^[20]。屈广义等探讨了北京市密云水库地区的可持续发展模式^[21]。徐建华等以新疆奎屯市为对象,研究了绿洲型城市的生态经济系统持续发展问题^[22]。钱

翌等以资源、生态平衡和基本需求为约束条件,以净能和可消化粗蛋白的供需平衡为调控手段,运用线性规划为优化方法,确定了北疆绿洲—荒漠过渡带草畜优化配置的肉类生产模式,并用系统动力学方法对农草畜系统进行了动态仿真^[23]。

2.2 基于系统动力学的土地与水资源承载力研究

土地承载力和水资源承载力是区域可持续发展的重要因素,水土资源承载力直接影响着该地区社会经济发展的可持续性。根据区域水土资源承载力确定合理的人口环境容量是可持续发展研究的重要方向,也是系统动力学研究的主要内容之一。这方面的研究主要有:

陈传美等在对郑州市农业系统进行辨识与诊断的基础上,描述了土地承载力系统各影响因素间的相互制约、相互促进的反馈关系,揭示了土地承载力系统的运行机制和控制机制并通过不同的策略方案,模拟了各方案下土地承载力系统的动态趋势,对系统动态仿真结果进行了分析,并提出了缓解郑州市人地矛盾的若干对策^[24]。陈兴鹏等在系统论述水土资源承载力研究的基本原理和方法的同时,结合西北干旱区水土资源和经济发展的特点,应用系统动力学原理建立了西北干旱区水土资源承载力系统模型,并以甘肃河西地区为例,对其水土资源承载力作了系统分析研究,从而提出了该地区提高水土资源承载力的对策^[25]。王丽明等以贵州省紫云县为例,运用系统动力学方法建立了喀斯特地区人口环境容量的系统动力学模型,分析了所建模型的结构,对模型进行了仿真模拟,并针对模拟结果提出了政策建议^[26]。杨春伟等针对塔里木河流域水资源调配的平衡性和合理性难题,根据塔河水资源特征和供水的基本特征,结合系统动力学原理,建立了一个水资源调配 SD 模型,对塔河进行了仿真模拟和研究,并提出了水调配方案^[27-28]。杨建强、罗先香以吉林西部地区乾安县为例,应用系统动力学的原理与方法,开展了该区水资源可持续利用系统仿真研究,经过政策模拟对比,提出了符合乾安县经济发展的最佳方案^[29]。童玉芬以新疆塔里木河流域为例,建立了该流域人口变动与生态环境退化的系统动力学模型,在对模型进行有效性检验的基础上,演示了该流域近 20 a 来源流段上、中游段和下游段各种不同人口变动条件下,下游出现的各种生态环境后果,并与实际的生态环境现状进行了对比^[30]。方创琳以柴达木盆地为例,设计了水资源优化配置的总体思路,对水资源优化

配置的多目标进行竞争辨识,采用以投入产出模型、AHP 法等定性为主的决策方法和以系统动力学模型、生产函数模型等定量为主的决策方法生成水资源优化配置基准方案,进而采用多目标决策方案优选的密切值模型求出了柴达木盆地宏观经济发展与水资源优化配置的最佳方案^[31]。李月辉等通过系统动力学模型的运行,预测了科左后旗未来 50 a 人口的动态变化和最大土地资源承载力,并对 1995~2000 年实际的人口发展状况和生态状况进行了讨论^[32]。牛叔文根据系统分析的原理,以食物供求为主线,对甘肃省的土地人口容量问题进行了探讨^[33]。黄国勇、陈兴鹏在综合分析甘南藏族自治州的土地承载力各系统的基础上,建立了系统动力学模型,拟定了影响土地承载力提高的不同方案,并通过模型仿真结果来验证影响土地承载力提高的因子,提出了提高甘南州土地承载力的对策和措施^[34]。方创琳等以干旱地区塔里木河下游尉犁地区为例,选取生态—生产—生活系统承载力的综合测度指标,综合评估了生态—生产—生活系统承载力的现状,进而采用多模型互补对接支持下的系统动力学模型预测未来 30 a 塔里木河下游尉犁地区生态—生产—生活承载力变化的总体变化情景^[35]。

3 问题与讨论

从以上文献回顾可以看出,系统动力学方法弥补了传统因果分析方法中纯描述性的缺陷,把对发展模式的预测建立在对系统结构分析的基础上,为区域可持续发展研究提供了一种既有理论基础,又有较强可操作性的有效方法。同时,建立在系统结构基础上的系统动力学模型可以更为深刻地反映出复杂系统的内在发展机制,据此而做出的预测能比较全面地反映系统宏观、长远的发展趋势。另外,系统动力学方法可以通过模拟来检验不同方案的实施后果,从而为区域可持续发展模式的选择奠定了科学的基础。正是基于以上特性,使系统动力学方法成为区域可持续发展研究的有效工具。

但是,由于系统动力学发展的历史较短,其理论和方法体系依然需要不断的完善。例如,与数量经济学或统计学模型相比较,系统动力学模型的有效性检验更为困难。同时,系统动力学在完成灵敏度的分析方面,并不存在严密的理论和程序,这也是该研究方法的主要薄弱环节。因此,加强系统动力学基础理论与方法的研究,不断完善系统动力学理论与方法

体系并把系统动力学方法同其它数量研究方法有机地结合起来,形成更为有效的区域发展研究方法体系,是今后区域可持续发展研究的重点与发展方向。

参考文献:

- [1] 刘培哲,潘家华,周红春,等.可持续发展理论与中国 21 世纪议程[M].北京:气象出版社,2001.2-3.
- [2] 张邦花,李刚.区域发展理论与区域可持续发展[J].临沂师范学院学报,2004,26:59-61.
- [3] 王其藩.系统动力学[M].北京:清华大学出版社,1994.4.
- [4] 丹尼斯·L·梅多斯.李宝恒译.增长的极限[M].长春:吉林人民出版社,1997.105-106.
- [5] Stave K A. Using system dynamics to improve public participation in environmental decisions [J]. System Dynamics Review, 2002,18 (2):139-167.
- [6] Stave K A. A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada [J]. J Environmental Management, 2003, (67): 303-313.
- [7] Janssen M A, Walker B H, Langridge J. An adaptive agent model for analysing co-evolution of management and policies in a complex rangeland system [J]. Ecological Modelling, 2000, (131): 249-268.
- [8] Janssen M A. An exploratory integrated model to assess management of lake eutrophication[J]. Ecological Modelling, 2001, (140): 111-124.
- [9] Güneralp B, Barlas Y. Dynamic modelling of a shallow freshwater lake for ecological and economic sustainability[J].Ecological Modelling, 2003, (167): 115-138.
- [10] Saysel A K, Barlas Y, Orhan Y. Environmental sustainability in an agricultural development project: a system dynamics approach [J]. J Environmental Management, 2002, (64): 247-260.
- [11] Wang Xiaohua, Hu Yunrong, Dia Xiaqing. Analysis and simulation on rural energy-economy system on Shouyang County in China [J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2004, 7(1):1-13.
- [12] Guo H C, Liu L, Huang G H, et al. A system dynamics approach for regional environmental planning and management: a study for the Lake Erhai Basin [J]. J of Environmental Management, 2001,(61): 93-111.
- [13] 刘小金,毛汉英,陈为民,等.系统动力学在区域发展规划中的应用[J].地理学报,1991,46(2):233-241.
- [14] 凌亢,王浣尘,陈传美.南京市可持续发展系统模型的仿真与分析[J].统计研究,2001, (1):62-64.
- [15] 凌亢,王浣尘,陈传美.南京市可持续发展系统模型的运行与检验[J].武汉大学学报,2002,55(1): 64-69.
- [16] 施国洪,朱敏.系统动力学在环境经济学中的应用[J].系统工程理论与实践,2001, 21(12):104-110.
- [17] 殷克东,薛俊波,赵昕.可持续发展的系统仿真研究[J].数量经济技术经济研究,2002, (10):61-64.
- [18] 尚金城,张妍,刘仁志.战略环境评价的系统动力学方法研究[J].东北师大学报,2001,33 (1):84-89.
- [19] 沈先荣.临淄区经济社会可持续发展系统分析[J].科学与管理,2000, 20(2): 25-27.
- [20] 姚建,刘莉,罗文锋,等.成都市可持续发展模拟与调控[J].山地学报,2000, 18(5):474-480.
- [21] 屈广义,郭怀成,孙延枫,等.北京密云水库地区可持续发展模式研究[J].中国人口·资源与环境,2002, 12 (2):81-86.
- [22] 徐建华,罗格平,牛达奎.绿洲型城市生态经济持续发展仿真研究[J].中国沙漠,1996, 16 (3):234-240.
- [23] 钱翌,余雄,郭星海.北疆绿洲—荒漠过渡带草地开发优化生态经济模型研究[J].新疆农业大学学报,2001,24(1):1-9.
- [24] 陈传美,郑垂禹,马彩霞.郑州市土地承载力系统动力学研究[J].河海大学学报,1999,27(1):53-56.
- [25] 陈兴鹏,戴芹.系统动力学在甘肃省河西地区水土资源承载力中的应用[J].干旱区地理,2002,25(4):377-382.
- [26] 王丽明,杨胜天.系统动力学方法在喀斯特地区人口环境容量研究中的应用——以贵州省紫云县为例[J].中国岩溶,1999,18 (2): 183-189.
- [27] 杨春伟,赵秀生,于素花,等.塔里木河流域水资源调配 SD 模型及应用[J].农业技术经济,2001(3): 13-17.
- [28] 杨春伟,赵秀生,于素花.塔里木河流域欠水年配水方案的系统动力学分析[J].西北水资源与水工程,2001,12(2): 1-9.
- [29] 杨建强,罗先香.水资源可持续利用的系统动力学仿真研究[J].城市环境与城市生态,1999,12(4): 26-29.
- [30] 董玉芬.人口变动对干旱区生态环境影响的定量评估模型的应用——以新疆塔里木河流域为例 [J]. 中国人口·资源与环境,2003,13(5): 59-65.
- [31] 方创琳.区域可持续发展与水资源优化配置研究——以西北干旱区柴达木盆地为例 [J]. 自然资源学报,2001,16 (4): 341-347.
- [32] 李月辉,赵羿,胡远满,等.科尔沁沙地东部农牧交错带土地承载力研究[J].生态学杂志,2003, 22(3): 23-28.
- [33] 牛叔文.甘肃省食物生产与土地人口容量的系统分析[J].生态学杂志,2000,19(1):23-31.
- [34] 黄国勇,陈兴鹏.甘南藏族自治州土地承载力的系统动力学分析[J].兰州大学学报(自然科学版),2003, 39(4): 75-79.
- [35] 方创琳,鲍超,张传国.干旱地区生态-生产-生活承载力变化情势与演变情景分析[J].生态学报,2003, 23(9): 1915-1923.

System Dynamics and Its Applications in Regional Sustainable Development Research: A Review

ZHANG Ai-sheng, LI Feng-rui, KANG Ling-fen

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: System dynamics (SD) based on feedback control theory and applied by computer simulating techniques is an effective methodology for modeling and analyzing complex social, economic and ecological systems. With the great development of computer techniques and system dynamics theories, the SD methodology has been broadly applied in many fields. This article reviews briefly the works done in regional sustainable development using the SD methodology in recent years, and discusses some further researches which can be carried out in this area.

Key words: sustainable development; system dynamics; simulation and modeling

国际会议报道

2005年5月22~23日,中国气象局、国家自然科学基金委员会和甘肃省人民政府在甘肃兰州联合召开了名为“干旱气候变化与可持续发展 ISACS”的国际学术研讨会。

中国气象局局长秦大河院士、副局长郑国光博士、甘肃省副省长陆武成、澳大利亚气象局副局长Dr. Michael Manten、加拿大气象局环境部主任Dr. Don MacIver、美国国家大气研究中心教授Dr. Michael H. Glantz等出席了大会开幕式。中国科学院院士丑纪范、国家气候中心研究员丁一汇等国际知名专家参加了这次大型国际会议,丁一汇研究员担任了此次大会学术委员会主任。

秦大河院士首先在大会上作了关于中国西部气候变化与环境演变及其对策的专题学术报告。会议共聚集了中国、美国、加拿大、日本、瑞典、澳大利亚等12个国家相关领域的200名科学家,对干旱气候变化及其预测、极端气候事件及其与干旱气候变化的关系、干旱气候变化对环境的影响、环境蠕变问题、干旱区陆面过程特征及模拟、干旱区气候资源和水资源合理利用、干旱气候变化与可持续发展、干旱防御工程技术与管理等干旱气候的各个领域展开了深入广泛地研讨。大会学术委员会主任丁一汇研究员做了大会总结,他指出,干旱问题不仅是全球地球科学界研究的焦点科学问题之一,同时也是世界各国政府和社会公众关注的热点问题,举办这次大型国际会议,正是反映了中国科学家和国际科学界对干旱气候变化及其对人类社会发展影响的高度关注,这次会议为中外科学家提供了一个科学论坛,取得了丰硕的成果,对进一步加强国内外干旱研究成果与信息的交流,促进国际干旱气象领域的国际合作起到重要作用。

这次大会是由甘肃省气象局组织承办的,会议期间,中国气象局兰州干旱气象研究所递交了22篇论文,其中11篇在大会中作了口头报告,11篇进行了书面交流。并与澳大利亚、加拿大和美国的科研机构及科学家探讨了进一步交流合作的有关事宜。在干旱所召开了小型中美座谈会,就有关在兰州成立国际环境蠕变中心的问题进行了讨论。

王涓力