

● 经济理论与实践

南京市可持续发展系统模型的运行与检验^{*}

凌 亢¹, 王浣尘², 陈传美³

(1. 上海交通大学 管理科学与工程博士后流动站, 上海 200030;

2. 上海交通大学 管理学院, 上海 200030; 3. 苏州工业园区管委会, 江苏 苏州 215011)

[作者简介] 凌 亢 (1961-), 男, 安徽怀宁人, 上海交通大学管理科学与工程博士后, 南京经济学院经济与统计学院院长, 教授, 主要从事可持续发展评价理论与方法研究; 王浣尘 (1933-), 男, 上海人, 上海交通大学管理学院教授, 博士生导师, 主要从事系统工程研究; 陈传美 (1965-), 男, 安徽萧县人, 苏州工业园区管委会管理学博士, 高级经济师, 主要从事区域可持续发展系统研究。

[摘 要] 南京市可持续发展系统模型具有问题研究、政策研究和结构分析三大功能。模型采用系统动力学专用的 DYNAMO 语言实现模拟运算。模型中的参数有常数值、表函数和初始值等。模型有效性检验主要有结构适应性、行为适应性、模型行为与实际系统一致性的测试。灵敏性分析包括数值灵敏性、行为灵敏性和政策灵敏性三种。

[关键词] 可持续发展系统模型; 有效性检验; 灵敏度分析

[中图分类号] F291.1 [文献标识码] A [文章编号] 1008-2999(2002)01-0064-06

一、模型的基本结构

南京市可持续发展系统是具有一定的边界位置, 由社会与自然环境相互联系、相互影响、相互作用而形成的系统, 是一个由人口、资源、环境、社会、经济等子系统组成的复杂大系统。具有集合性、整体性、功能性、关联性、层次性、动态性等特点。通过该系统中的人口系统、资源系统、环境系统和经济系统诊断和分析而构建的系统动力学仿真模型 (简称 NJDDM 模型), 主要研究在不同的政策参数和结构条件下社会经济系统中的各种问题, 具有问题研究、政策研究和结构分析三大功能。根据系统特点及建模目的, 将系统划分为农业 (含农业、林业、畜牧业、渔业)、工业、建筑业、商业、交通业、能源、水土资源、人口和生态环境 9 个子系统。模型的基本结构如图 1

二、模型的模拟程序

NJDDM 模型采用系统动力学专用的 DYNAMO 语言, 在微机上实现模拟运算, 其步骤如图 2 所示:

* 收稿日期: 2001-09-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (79870052); 国家社会科学基金项目 (01BTJ010)

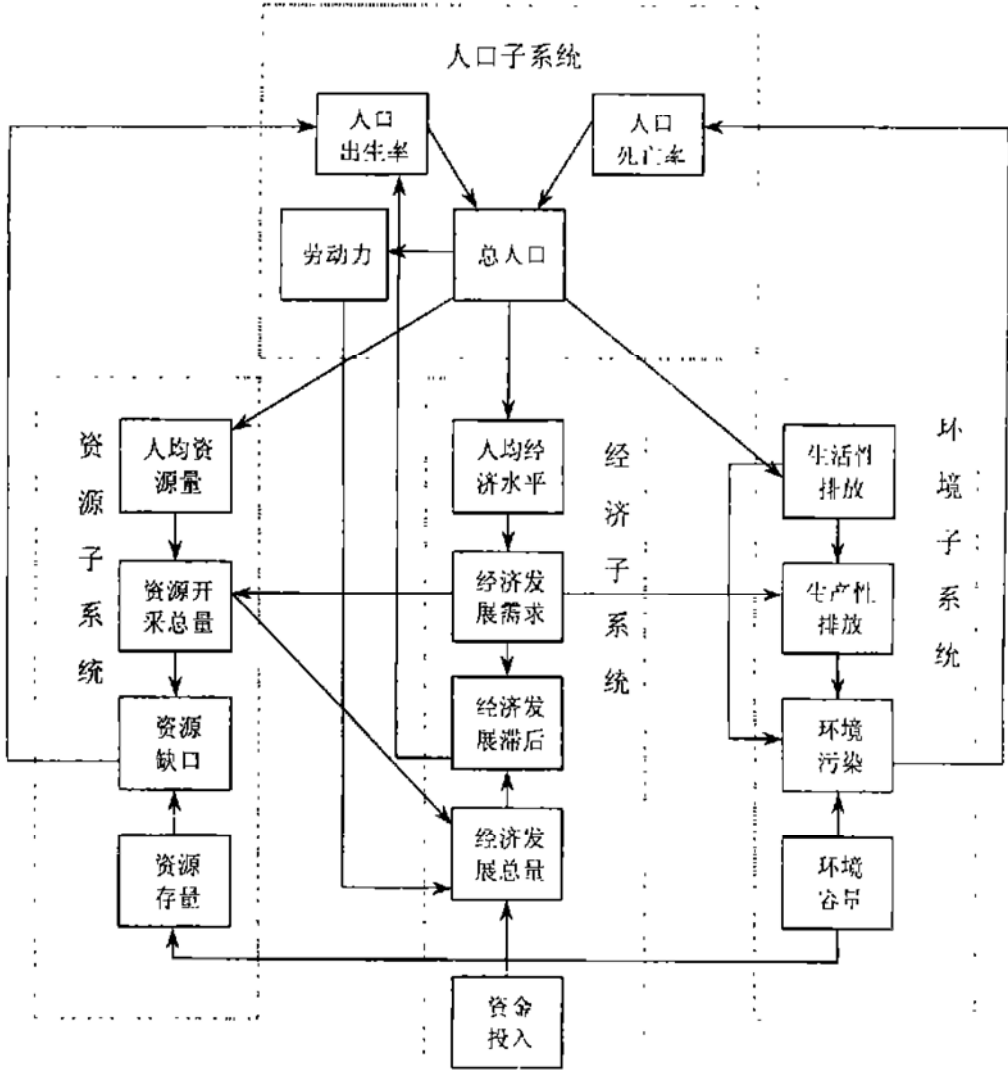


图 1 NJDDM 模型主反馈回路

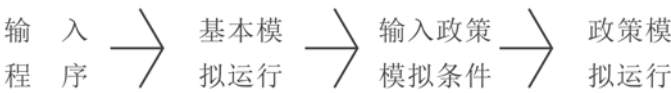


图 2 模拟运算步骤

三、模型参数选择

城市可持续发展系统参数众多且不易确定。在模型调试中,参数选择须与模型运行结合起来。本模型通过模拟实验法来确定系统参数,在参数值的变化范围内先粗略地试用参数进行模型调试,模型行为无显著变化时,即确定了该参数值。

模型中的参数有常数值、表函数、初始值等。为简化模型参数,对那些随时间变化不甚显著的参数亦近似地取为常数值。本模型中大量使用了表函数,方便有效地处理了众多的非线性问题。对于初始值,本模型采取了三种处理办法:一是拟合历史数据;二是在平衡处将模型初始化;三是将某些特殊的增长(或衰退)过程作初始化处理。考虑到初始值的确定对系统行为影响较大,对于在实际系统中波动较大的数据,作了一些必要的技术处理,选取时段的平均值。

本模型参数估计采用了以下方法:

- 1.应用统计资料、调查资料来确定参数;
- 2.一些常规的数学方法,如经济计量学、灰色预测等;

3. 利用模型中因素间的因果关系类比推算;

4. 专家评估。

对于仿真步长,该模型取为 $DT=1$,经对模型进行测试后认为,模型未出现失真及振荡现象,这表明步长选取合理可行。

四、模型调试

本模型调试主要分两步进行:

第一步:对各子系统的模型结构、参数、方程式进行反复修改,以保证能模拟各自对应的客观系统

第二步:将各子系统联结起来,形成总体模型,调试总体模型。

五、模型有效性检验

模型的有效性检验是在模型建立以后,在进行政策分析之前一次完成的。然而,系统动力学中的模型检验是贯穿于整个建模过程的持续工作,任何一次单个的测试都不足以验证一个系统动力学模型,或者说明模型的有效程度。希望判断系统动力学研究的有效性的观察者,都应该追踪与建模者走过的完全相同的途径。

在此,将有效性解释为如下两个问题:第一,模型对于它的目的和它提出的问题是否合适?第二,模型与它试图反映的事实是否一致?在这两个问题中,重新强调有效性问题有助于加强模型,目的在检验有效性时的重要性。如果没有考虑建模目的而又要决定模型是否合适,这是不可能的。因此,建模者必须着力研究模型的合适性与一致性,修正模型,直到两者均能满足为止。

系统动力学在寻求模型的合适性和一致性方面进行权衡,如果研究的目的是改进政策,那么建模者和用户都必须达到政策上的一致和某种主观心理的默契。

模型的最后判断应该是它的效用和效力。模型是如何有效地达到其研究的目的?模型或模型的结果能够使用吗?效用和效力与合适性和一致性是相关联的。一个不适应其目的的模型很难期望它能够有效地达到这一目的。但是,效力的解释超出了合适性、一致性以及有效性的通常解释范围。此外,一个模型的效用和效力依赖于该模型提供的信息,帮助产生见解、加深理解的程度;更一般地,是使模型达到影响研究者的程度。面向政策的模型,最终测试是要看它在现实系统中实施的政策是否产生与模型预测相一致的结果。

系统动力学模型有效性的测试概要如表 1

1. 结构的适应性测试

对模型进行量纲一致性、方程中极端条件测试、结构的合适边界测试。测试结果表明,在模型的每一个方程中,变量的量纲与计算一致统一,模型方程的变量或参数取极端值时仍有意义。模型的结构包含了所提出的问题和满足研究目的所需要的变量和反馈效应,结构的边界划分合理,既克服了边界太小所带来的诸如重要变量被省略、某些灵敏的反馈链被忽略等问题,又可避免边界太大所带来的混淆结构和动力学灾害间的主要关系的问题。

2. 模型行为适应性的测试

(1) 参数灵敏性。测试结果表明,对参数值的适当变化,模型行为是灵敏的,即行为模式是由模型随机的参数变化而变化来展示的,由模型分析所产生的政策结论是随参数值的适当变化而变化的。

(2) 结构灵敏性。测试后认为,模型的行为对适当的方案描述是灵敏的,即当同等可能的方案描述在模型中被测试时,行为模式是通过模型变化来展示的。

表 1 系统动力学模型有效性测试概要

	集中于结构	集中于行为
测试与目的的适应性 (集中于模型内部的测试)	量纲一致性: 方程中的极端条件 合适的边界: ——重要变量 ——政策杠杆	参数灵敏性: ——行为特征 ——政策结论 结构灵敏性: ——行为特征 ——政策结论
测试与现实的一致性 (将模型与实际系统的信息进行比较)	表面有效性: ——决策和状态 ——信息反馈 ——延迟 参数值: ——概念配备 ——数学配备	参考模式的复制 ——问题行为 ——过去的政策 ——预期行为 异常行为: 极端条件仿真统计测试: ——时间序列分析 ——相关和回归分析

3.模型结构与现实系统一致的测试

(1)表面有效性。经对模型进行检验后认为,模型是真实系统可识别的图像,模型的决策状态反馈结构与真实系统的本质特征之间存在着合理的拟合,模型表面有效。

(2)参数值。用于描述真实系统的参数本身是可辨识的,为参数选择的数值与可获得的关于真实系统的最佳信息是一致的。

4.模型行为与实际系统一致性的测试

(1)参考模式的复制。系统动力学模型的行为时间特性应与现实系统可观测到的现象没有显著差异,这种检验即是对历史数据的仿真。模型主要仿真结果与实际统计值的比较如表 2

由表 2可见,模型仿真结果与实际值拟合较好,能较好地模拟南京市可持续发展系统的行为。

(2)行为异常。在某些测试情况下,模型明显地产生真实系统中不能观察到的、未被期望产生的行为。存在两种可能的结论:模型不正确,必须修改;或者模型已正确地识别出在同样的条件下真实系统可能发生的一种行为模式。如果经过修正的分析得出:产生异常行为的机制是真实的,模型行为是有意义的,那么,即使行为在真实系统中尚未被观察到,对模型的信任感也会无可非议地增强。本模型调试中,未发现行为异常情况。

表 2 主要仿真结果和实际统计值的比较

项目	1995年			1998年		
	仿真值	实际值	相对误差 (%)	仿真值	实际值	相对误差 (%)
总人口(万人)	509. 72	521. 72	- 2. 30	541. 99	532. 31	1. 82
耕地面积(万 hm ²)	21. 44	21. 21	1. 08	26. 69	27. 25	- 2. 05
国内生产总值(亿元)	495. 96	489. 6	1. 3	772. 71	767. 34	0. 7
其中: 第一产业(亿元)	36. 54	37. 32	- 2. 1	47. 36	46. 21	2. 5
第二产业(亿元)	260. 03	255. 43	1. 8	377. 16	381. 74	- 1. 2
第三产业(亿元)	199. 39	197. 29	1. 1	348. 19	339. 41	2. 6
农业总产值(亿元)	43. 87	42. 13	4. 1	48. 32	46. 47	3. 9
财政收入(亿元)	63. 82	65. 17	- 2. 1	105. 17	108. 24	- 2. 8
社会商品零售总额 (亿元)	242. 78	240. 2	1. 1	383. 25	385. 39	- 0. 6

(3)极端条件仿真。模型在极端条件和极端政策下,甚至对从未在真实系统中观察到的极端条件和政策表现出合理性吗?在这样的测试中,合理的意义是主观的。但是,尽管如此,这样的测试对系统动力学模型的有效性是极为有利的。在极端条件下不能合理地表现的模型是可疑的。因为,在正常运行中突然出现极端条件情况的行为不能肯定是合理的。

通过以上对模型的检验,可以认为 NJDDM 的建模思想和方法是正确的,模型结构及其运行是符合实际系统的,模型可以用于预测和政策仿真。

六、灵敏性分析

为了证实基本的模型分析和政策建议是可信的,建模者应知道:当合理的方案假设加入模型时,模型行为将怎样变化,对于模型结构和参数值的微小变化,模型将具有怎样的灵敏性?另一方面,系统动力学首先强调的是系统结构而不是参数值的估计,模型中的许多参数,因缺乏资料,只是对它们作了大胆而合理的估计,这样虽然使模型带有某些不确定性,但比起在模型中不考虑这些参数更接近实际。因此,为考虑估计误差的影响,灵敏度分析就显得很重要。

一般地,灵敏性分析有三种:数值灵敏性分析、行为灵敏性分析和政策灵敏性分析。

数值灵敏性:如果参数或结构变化导致仿真过程中计算的数值变化,称模型在数值上是灵敏的。所有定量模型都具有数值灵敏性。

行为灵敏性:与动态仿真模型有关,是指当一个参数值变化时,模型行为模式变化的程度。系统动力学模型的行为对参数变化是相当灵敏的。

政策灵敏性:是指一组假定的变化引起系统对政策干预的响应特性。的确,模型的基本政策结论是否随着模型参数的合理变化而变化,这是考虑模型灵敏性的主要理由,任何一个模型的参数都不会只具有惟一满足现实系统的参数值,通常可能存在于一个有意义的值的范围。如果模型的行为对于其参数在这个范围内的变化十分敏感,以致于该模型不能帮助评价各种政策的优劣,那么这个模型作为政策工具就是无用的。

如果模型的基本政策结论对于模型中一些特殊参数是灵敏的,那么建模者须先确定灵敏性是模型中人为的结果,还是现实的客观反映。如果通过分析证明灵敏性是人为描述的结果,那么模型就必须重新描述,以消除这个灵敏性。也许要以更详细的形式,对现实系统的结构重新进行分析和模型概念开发。如果结构是合理的,而且与真实系统比较符合,那么建模者必须尽可能精确地估计参数。因为在这种情况下,真实系统具有相同的灵敏性。一般说来,一种好的政策并不十分依赖于参数的取值。

如果参数在选定的范围内变化时,政策分析依然有效,那么这些参数值就无需更精确的方法来进行估计。如果目的是进行政策分析,那么如果一个模型是数值灵敏的,只要政策结论对于参数变化是稳定的,那么,它就是政策不灵敏的。

如果仿真结果表明参数对模型行为有重要影响,可能有以下三种情况:

第一种情况:灵敏性可能指出问题中参数必须极为细心地进行估计。如果模型的基本结论依赖于小范围的、确实反映真实系统的参数,那么则必须千方百计地准确估计参数值。

第二种情况:重新描述模型可以获得包含参数的真实系统的、更为详尽的结构。重新描述很可能包括把一个常数改为嵌在某些新的反馈结构中的内生变量,或者用包含一个或多个状态变量和变化率的反馈结构来取代一个不定函数。这种努力在于消除建模过程中因人为地简化而造成的灵敏性。

第三种情况:灵敏性解释为真实系统中的政策杠杆作用点。当模型的结构对于所研究的参数很合适时,模型的灵敏性可能确实反映了真实系统的灵敏性,这些参数将在模型中发挥重要作用。

参 考 文 献

- [1] 王浣尘. 枚系统经济学与可持续发展[J]. 系统工程理论方法应用, 1997, (1).

- [2] 王其藩. 系统动力学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- [3] 杨秉庚, 赵士鹏. 龙井县社会—经济—生态复合系统动态仿真 [J]. 地理科学, 1989, (1).
- [4] 哈 肯. 协同学 [M]. 北京: 原子能出版社, 1989.
- [5] 邹珊刚. 系统科学 [M]. 上海: 上海人民出版社, 1987.
- [6] 凌 亢. 中国城市可持续发展评价理论与实践 [M]. 北京: 中国财政经济出版社, 2000.
- [7] HO M S. The Effects of External Linkages on US Economic Growth: A Dynamic General Equilibrium Analysis [D]. Harvard University, 1989.
- [8] W Forrester. World Dynamics [M]. Cambridge: The MIT Press, 1971.

(责任编辑 邹惠卿)

Nanjing City Sustainable Development, Operation and Test

LIN Kang¹, WANG Huan-chen², CHEN Chuan-mei³

(1. School of Management & Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

2. School of Management & Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

3. Suzhou Industrial District, Suzhou 215011, Jiangsu, China)

Biographies LIN Kang (1961–), male, Post-doctoral researcher, School of Management & Engineering, Shanghai Jiaotong University, majoring in sustainable development; WANG Huan-chen (1933–), male, Professor & Doctoral supervisor, School of Management & Engineering, Shanghai Jiaotong University, majoring in systematic engineering; CHEN Chuan-mei (1965–), male, Doctor, Suzhou Industrial District, majoring in systematic model on sustainable development.

Abstract Systematic model on sustainable development of Nanjing covers three functions of case study, policy study and structure analysis. The model adopts DYNAMO language specialized in system dynamics analysis to conduct imitation calculation. The parameters in this model are constant value, table function and initial value etc. The model effectiveness test involves structure adaptability test, behavior adaptability test and the consistency test between model behavior and practical system sensitivity analysis includes value, behavior and policy sensitivity.

Key words systematic model on sustainable development; effectiveness test; sensitivity analysis