

文章编号: 1000-0585( 2000) 04-0337-07

# 地学信息图谱研究及其应用

陈述彭, 岳天祥, 励惠国

(中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 100101 北京)

**摘要:** 地学信息图谱综合了景观综合图的简洁性和数学模型的抽象性, 它是现代空间技术与我国传统研究成果结合的产物, 它可反演过去、预测未来。在分析地学信息图谱、生态系统发展战略、DLU 土地利用战略、数学模型与地理信息系统集成等研究成果的基础上, 提出了一个区域可持续发展虚拟系统。在这个虚拟系统中, 如何将区域可持续发展的有关信息转换为征兆图、诊断图和实施图是其核心理论问题。数学模型计算机程序自动生成软件和开放式地理信息系统的研究成果表明, 这些理论问题在不久的将来是可以解决的。也就是说, 这个区域可持续发展虚拟系统的进一步研究, 能够形成一个可操作的、实用的决策支持系统。

**关键词:** 地学信息图谱; 可持续发展; 数学模型; 地理信息系统; 虚拟系统

**中图分类号:** p 231.5      **文献标识码:** A

## 1 引言

在 1969 年, 系统生态学家 Odum 提出了生态系统的发展战略, 强调生态演替和人与自然的矛盾, 即最大保护与最大产量的矛盾。战略的总体思想是: 在有效能量投入和主要生存物理条件 (如: 土壤、水、气等) 的约束范围内, 使生态系统达到尽可能大和多样的有机结构。最舒适和最安全的景观是一个包含各种作物、树林、湖泊、河流、海滨和废弃用地的各种不同生态年龄群落的混合<sup>[1]</sup>。

景观生态学家 Haber 将这个生态系统发展战略运用于土地利用系统, 并在 1971 年提出了分异土地利用的概念<sup>[4]</sup>。经过多年的研究和实践, Haber 于 1979 年提出了适用于高密度人口地区的分异土地利用 DLU (Differentiated Land Use) 战略<sup>[2]</sup>: ① 在一个给定的自然区域中, 占优势的土地类型不能成为唯一的土地类型, 应至少有 10% 到 15% 土地为其它土地利用类型; ② 对集约利用的农业或城市与工业用地, 至少 10% 的土地表面必须被保留为诸如草地和树林的自然景观单元类型 (如表 1); 这个 “10% 急需规则” 是一个允许足够 (虽然不是最佳) 数量野生动植物与人类共存的一般计划原则; 这 10% 的自然单元应或多或少的均匀分布在区域中, 而不是集中在一个角落; ③ 应避免大片均一的土地利用, 在人口密集地区, 单一的土地利用类型不能超过 8 到 10 hm<sup>2</sup>。

收稿日期: 2000-05-08; 修订日期: 2000-09-17

基金项目: 中国科学院地理科学与资源研究所知识创新试点工程领域前沿项目 (CXIOG-D00-02)

作者简介: 陈述彭 (1920-), 男, 江西萍乡市人, 中国科学院院士、第三世界科学院院士、国际欧亚科学院院士。长期从事地球科学研究, 主持多项国家重大课题。出版了《伙比例尺景观制图方法及其实验》、《地学的探索》(四卷)、《地球系统科学》、《地球信息科学与区域持续发展》等专著, 及十多部大型地图集和几部大型工具书; 发表论文数百篇。

表 1 按人类影响强度分类的土地利用类型<sup>[2,3]</sup>

Tab. 1 Land use types arranged according to decreasing naturalness or increasing artificiality (based on Haber, 1990)

土地利用类型	注 解	实 例	人类影响强度
自然生态系统	没有人类的直接影响, 有能力自我调节	原始森林	0.0~0.1
近自然生态系统	受人类的直接影响, 有能力自我调节	国家森林公园	0.1~0.3
半自然生态系统	是人为作用的结果, 有限的自我调节能力	人工林	0.3~0.5
人文生物生态系统	人类有意识的产生, 完全依赖于人的管理	农 地	0.5~0.7
人文技术生态系统	由技术结构和过程主宰, 人类有意识地为工业、经济或文化活动而设计	工业区	0.7~1.0

Odum 的生态系统发展战略和 Haber 的 DLU 土地利用战略是空间异质性研究及其长期实践的成果。空间异质性的主要定量研究方法包括景观综合图、数学模型和地学信息图谱, 其中地学信息图谱吸收了景观综合图简洁和数学模型抽象的特点, 是一种最综合的空间异质性定量研究方法<sup>[5]</sup>。

2 地学信息图谱

地学信息图谱是一种地理时空分析方法论。它是现代技术和方法与我国传统研究成果相结合的产物, 它的发展经历了 4 个阶段: 景观制图实验, 图谱概念的提出, 图谱方法的应用和地学信息图谱理论的形成。

2.1 景观制图实验

1955~1956 年, 在太湖东西洞庭山进行了综合景观制图实验<sup>[6]</sup>, 将景观综合图划分为相互补充的 3 类: 景观类型图, 景观分区图和景观综合剖面图。试验结果表明: ‘景观制图是一个有希望、有困难, 然而是有办法解决的地理科学问题。在地球化学、水文地质学、局地气候与地植物学的理论基础上, 依靠野外制图、定位观测与航摄照片判读等技术方法, 是完全有可能建立起自己的理论和方法论的体系的’。虽然由于这一时期的技术和方法的发展水平所限, 还没有提出一套完整的理论体系, 但已看到了景观综合图发展的光明前途。

2.2 图谱概念的形成

1961 年, 通过对地图学发展的分析, 提出了图谱的概念。地图学的发展反映了它的既属于技术科学又属于区域科学的性质。其各个发展阶段的进展和成就, 一方面反映当时测绘印工艺的水平, 另一方面也反映当时数学基础和地理知识的范围。基于技术科学的性质, 就必须密切注意国际先进理论和技术的交流; 基于区域科学的性质, 又要求结合本国实际情况, 自力更生进行基础工作。综合地图集的编制要求经过严格的数量统计, 并按照类型区划的方法加以分析, 制定出可以反映区域地理特征的技术指标, 使地图集能够反映自然、社会经济要素和分布现象的相互制约、相互联系及其区域历史发展的过程。通过地理分布规律和历史发展过程两条线索, 把地图贯穿、交织起来, 使它们成为反映区域全貌和区域特征的图谱<sup>[7]</sup>。

2.3 图谱方法的应用

1964 年对图谱方法的应用作了初步总结<sup>[8,9]</sup>。自然或经济区域综合体的内部结构是很复杂的, 既存在垂直地带谱的变化, 又具有水平地带的不同形式的组合; 图谱不仅可以反映区域内部结构及其分异规律, 而且可以检验和论证区域原则和指标的准确性。例如, 毛乌素沙漠的景观图对荒漠草原和典型草原的划分有所改进; 鼎湖山的景观图对热带、亚热带的存属问题有所澄清。编制为生产服务的综合图谱需要经过 4 个阶段: ① 定位、定量, 如反映情况; ② 找出规律, 分析成因; ③ 考虑农业生产的技术指标; ④ 作出综合区划和综合评价。

2.4 地学信息图谱理论的形成

经过近半个世纪的探讨, 终于形成了地学信息图谱理论的雏形<sup>[10]</sup>。地学信息图谱是在继承中国传统研究成果的基础上, 运用卫星遥感、全球定位系统、地理信息系统和信息网络等当代先进技术和现代科学理论发展起来的, 它是一种地理时空分析方法论。地学信息图谱由征兆图、诊断图和实施图组成<sup>[10]</sup>。征兆图是信息提取模型对有关数据的运行结果, 可为我们进一步研究提供线索和依据; 诊断图可表达为各种基础图的不同组合、可反映资源环境的动态变化及其驱动因素; 实施图以诊断图为依据, 通过改变各种边界条件, 分析推理不同控制条件下的决策方案, 可为进行规划实验提供依据和预案<sup>[11,12]</sup>。

图谱是一种源远流长的中国传统方式, 主要运用图形语言进行时间与空间的综合表达与分析; 地学信息图谱则是应用地学分析的系列多维图解来描述现状, 并通过建立时空模型来重建过去和虚拟未来<sup>[10]</sup>。也就是说, 地学信息图谱不仅应用于数据采集和数据开发利用, 而且服务于科学预测与决策方案的虚拟。地学信息图谱具有以下 4 个重要功能: ① 借助图谱可以反演和模拟时空变化, 即可反演过去、预测未来; ② 可利用图的形象表达能力, 对复杂现象进行简洁的表达; ③ 多维的空间信息可展示在二维地图上, 从而大大减小了模型模拟的复杂性; ④ 在数学模型的建立过程中, 图谱有助于模型构建者对空间信息及其过程的理解<sup>[12]</sup>。

3 区域可持续发展虚拟系统

根据地学信息图谱理论<sup>[10]</sup>及其它有关研究成果<sup>[3,13~16]</sup>, 可概括区域可持续发展虚拟系统为 5 个相互作用层 (如图 1):

- (1) 地理信息系统: 收集和整理来自遥感、环境监测、研究成果、统计数据、实地调查和过去典型案例分析的有关信息, 并在一个公用的空间框架中为地理、文化、政治、环境和统计数据提供输入、储存、处理、分析和显示能力;
- (2) 区域可持续发展模型: 通过调用资源与环境标准化数学模型文档库的有关模型, 对土地利用的生存支持系统、发展支持系统、环境支持系统、社会支持系统和智力支持系统的重要指标及它们之间的相互作用关系进行模拟;
- (3) 情景分析: 通过建立征兆图谱和诊断图谱, 描述现状和可选未来 (alternative futures) 以及从现状到可选未来的可能发展途径;
- (4) 战略制定: 通过建立实施图谱, 改变各种边界条件, 分析推理各种条件下的决策方案, 提出达到方案中提出有关任务和目标的综合方法;

(5) 战略执行: 通过建立短期目标, 制定政策和匹配组织结构, 使战略付诸实践。

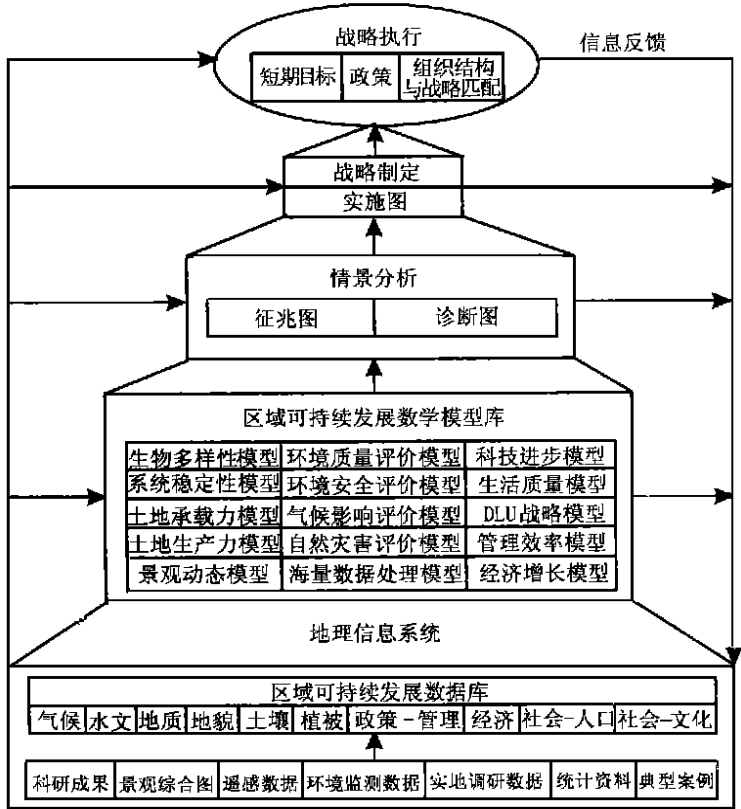


图 1 区域可持续发展虚拟系统

Fig. 1 A system for modeling sustainable development (modified from Yue et al. 1999)

4 讨论

如何将区域可持续发展的有关信息转换为征兆图、诊断图和实施图是区域可持续发展虚拟系统的核心理论问题, 它可归结为 3 个方面: ① 识别区域可持续发展数据库的要素体系, ② 确定和完成区域可持续发展数学模型库的模型体系, ③ 实现数学模型与地理信息系统的有效集成。

近几年的有关研究已解决了前两个问题。在分析和总结 1990 年以来已发表的可持续发展指标体系有关研究成果的基础上<sup>[15~23]</sup>, 参照国际环境指标体系委员会 (International Committee on Environmental indices) 初步提出的指标体系分类原则, 我们按照信息的综合水平将区域可持续发展指标体系区分为 级指标体系和 级指标体系, 其中 级指标体系对应可持续发展数据库的要素体系, 级指标体系对应可持续发展数学模型体系。级指标体系包括气候、水文、地质、地貌、土壤、植被、政策-管理系统、经济系统、社会-人口系统和社会-文化系统 10 个方面, 共计 198 个要素。级指标体系包括综合的生物多样性模型、系统稳定性模型、土地承载能力模型、生产力模型、景观动态模型、环境质量评价模

型、环境安全评价模型、气候影响评价模型、灾害评估模型、海量数据处理模型、科技进步模型、生活质量模型、DLU 战略模型、管理效率模型、经济增长模型。

地理信息系统与数学模型的有效集成是区域可持续发展虚拟系统需要解决的关键技术问题,也是近几年来世界各国的研究重点。地理信息系统和数学模型的集成方法可概括为以下 4 种<sup>[24]</sup>: ① 把地理信息系统功能嵌入数学模型软件包,这种方法的不足之处在于,数学模型软件包的数据管理和可视化能力远不及商业化地理信息系统,并且需要大量的编程工作;同时,大多数数学模型软件包是由专家针对特殊的研究项目开发的,虽然它们有概念上的某种共享性,但由于这些数学模型软件包使用了各种不同的数据结构、编程工具和硬件平台,它们对其它使用者是非常困难的;② 将数学模型嵌入地理信息系统,这种方法的基础是商业化地理信息系统软件包,它吸收了固有地理信息系统功能的所有优点,但模型构建能力过分简单化,并且标准化只能在软件包外部进行;③ 地理信息系统与数学模型的松散耦合,这种方法包括一个标准的地理信息系统软件包和一个数学模型程序,地理信息系统和数学模型通过数据交换结合在一起,这个数据交换过程在几个不同的软件包之间进行,没有共同的用户界面;④ 地理信息系统与数学模型的紧凑耦合,这种方法把某些数学模型通过宏指令或常规编程固定到一个商业化地理信息系统软件包中。

上述几种地理信息系统与数学模型的集成方法不能满足区域可持续发展虚拟系统的需求,它们需要大量的编程工作,需要宏指令,或需要在几个不同软件包之间进行数据交换。我们将开发一种地理信息系统与数学模型的集成方法,它能使所有用户不需要知道地理信息系统中的特殊数据结构,只要在一个共同的用户界面写入数学模型的表达式或数学方程,就可以在地理信息系统为模型研究者或使用者提供的可视化平台显示其运行结果。逐步实现地理信息系统与数学模型这种有效集成的可行性表现在以下方面: ① 目前已有开发成功的数学模型计算机程序自动生成软件,也就是说,只要在这个软件的用户界面写入数学模型的表达式或数学方程,就可以得到有关结果(数字和图的表达);② 开放式地理信息系统(Open GIS)研究将使地理信息系统中的任何数据可自动转换为我们所需要的格式<sup>[25]</sup>。

本文提出的区域可持续发展虚拟系统是地学信息图谱、数学模型、地理信息系统、战略决策理论在区域可持续发展研究中的集成应用,它的成果将是一个可操作的、实用的决策支持系统。

## 参考文献:

- [1] Odum E P. The strategy of ecosystem development[J]. *Science*, 1969, **164**: 262 ~ 270.
- [2] Haber W. Raumordnungs-Konzepte aus der Sicht der Ökosystemforschung[J]. *Forschungs- und Sitzungsberichte Akademie f. Raumforschung und Landesplanung*, 1979, **131**: 12 ~ 24.
- [3] Yue T X, Haber W, Grossmann W D et al. A method for strategic management of land[A]. In: Pykh Y A, Hyatt D E, Lenz R J M (eds). *Environmental Indices: Systems Analysis Approaches*[C]. Oxford: EOLSS Publishers Co Ltd, 1999. 181 ~ 201.
- [4] Haber W. Landschaftspflege durch differenzierte Bodennutzung[J]. *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch*. 48. Jg., *Sonderheft*, 1971, **1**: 19 ~ 35.
- [5] 岳天祥. 空间异质性定量研究方法[J]. *地球信息科学*, 1999, **1**(2): 75 ~ 79.
- [6] 陈述彭. 太湖东西洞庭山的景观制图实验[M]. 北京: 科学出版社, 1957.
- [7] 陈述彭. 综合地图集的设计与区域特性的反映[J]. *地理学报*, 1961, **27**(1): 38 ~ 56.
- [8] 陈述彭. 关于农田样板地图性质与内容的若干问题[A]. 见: 中国科学院地理研究所编辑. 农田样板地图的编制

- [C]. 北京: 科学出版社, 1964. 76~80.
- [9] 陈述彭. 农田建设规划中地图学的任务[A]. 见: 中国科学院地理研究所编辑. 农田样板地图的编制[M]. 北京: 科学出版社, 1964. 1~16.
- [10] 陈述彭. 地学信息图谱雏议[J]. 地理研究, 1998(增刊): 5~9.
- [11] 承继承. 资源环境信息图谱机理探讨[J]. 地理研究, 1998(增刊): 17~22.
- [12] 周成虎, 李宝林. 地球空间图谱初步探讨[J]. 地理研究, 1998(增刊): 10~16.
- [13] 陈述彭. 国土普查卫星资料应用研究[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [14] 陈述彭. 地球信息科学与区域持续发展[M]. 北京: 测绘出版社, 1995.
- [15] 中国科学院可持续发展研究组. 中国可持续发展战略报告[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [16] 刘求实, 沈红. 区域可发展指标体系与评价方法研究[J]. 中国人口·资源与环境, 1997, 7(4): 60~64.
- [17] Opschoor H, Reijnders L. Towards sustainable development indicators[A]. In: Onno K, Harmen V (eds). In: Search of Indicators of Sustainable Development[C]. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1992. 7~28.
- [18] Jackson T, Marks N. Measuring Sustainable Economic Welfare— A Pilot Index: 1950~1990[M]. Sweden: The Stockholm Environment Institute, 1994.
- [19] Pieri C, Dumanski J, Hamblin A et al. Land Quality Indicators[M]. World Bank Discussion Papers, No. 315, 1995.
- [20] Azar C, Holmberg J, Lindgren K. Socio-ecological indicators for sustainability[A]. In: Holmberg J (ed). Socio-Ecological Principles and Indicators for Sustainability[C]. G teborg: Institute of Physical Resource Theory, 1995. 1~39.
- [21] The World Bank. Social Indicators of Development[M]. London: The Johns Hopkins University Press, 1996.
- [22] Organization for Economic Co-operation and Development. Environmental Indicators for Agriculture[M]. 75775 Paris Cedex 16, France: OECD Publications, 1997.
- [23] Haber W, Engelfried J. Von Ökobilanzen zur Umweltverträglichkeit menschlicher Aktivitäten[J]. *Zeitschrift für Angewandte Umweltforschung*, 1997, 10: 222~229.
- [24] Sui D Z. GIS-based urban modelling: practices, problems, and prospects [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 1998, 12(7): 651~671.
- [25] 陈述彭, 鲁学军, 周成虎. 地理信息系统导论[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 220~238.

## Studies on Geo-Informatic Tupu and its application

CHEN Shu-peng, YUE Tian-xiang, LI Hui-guo

(State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System,  
CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Geo-informatic Tupu is a methodology of spatial and temporal geographical analysis. It synthesizes the succinctness of comprehensive landscape maps and the abstractness of mathematical models. It has been developed on the basis of modern spatial technique and information science, which also is integrated with virtual reality technique, to provide series of scenarios for constructing the past and predicting the future. It is an outcome of the Chinese traditional research achievements combining with relative modern technologies. Its development process can be identified into 4 stages: (1) from 1955 to 1956, Chen carried out an experiment on comprehensive landscape mapping in the area of

Taihu Lake; (2) in the early 1960s, Chen proposed the concept of Tupu by analyzing the development of cartography; (3) in 1964, Chen preliminarily summarized the early applications of Tupu method; (4) in 1998, Chen proposed an embryonic form of Geo-informatic Tupu after exploration for about 40 years.

Tupu is a kind of Chinese traditional methodology that uses iconic or graphic language to integrate and express spatial and temporal analyses. Geo-informatic Tupu is used, by applying a series of multi-dimensional graphic solutions and constructing spatial models, to formulate the current situation, reconstruct the past and forecast the future. In other words, Geo-informatic Tupu can be used not only for data collection and data mining, but also for virtual scientific forecast and decision making programs. Geo-informatic Tupu has four important functions: (a) the spatial and temporal changes can be reconstructed and simulated by means of Geo-informatic Tupu; (b) complex phenomena can be succinctly expressed by using the vivid expression capacity of maps; (c) the complexity of simulation by mathematical models can be greatly reduced because spatial information in multi-dimension can be unfolded in two-dimension plane; and (d) it is helpful to mathematical model constructors for understanding the spatial information and its processes.

In this paper, on the basis of analyzing the research achievements in the geo-informatic Tupu, in the strategy of ecosystem development, in the strategy of differential land use (DLU) and in the integration of geogephical information system with mathematical models, a system of sustainable development modelling is proposed. In this system, a major theoretical issue is how to transform the information concerned with sustainable development into sign map, diagnosis map and action map. An analysis of results on the software for automatically programming mathematical models and on the Open GIS has shown that the theoretical issue can be resolved in near future. In short, the system of sustainable development modelling is realizable.

**Key words:** Geo-informatic Tupu; sustainable development; mathematical models; GIS; virtual reality