

文章编号: 1007-6301 (1999) 04-306-10

# 环境保护与经济计划决策支持系统模型研究

张晓东, 池天河

(中国科学院地理研究所, 北京 100101)

**摘要:** 模型是 DSS 的核心部分, “经济发展与环境保护辅助决策支持系统”从经济决策行为所带来的经济状态变化对环境的影响为出发点, 研究了环境与经济相互关系状态的评价、分析及优化决策三大类模型, 并对主要模型、系统结构和模型运行过程进行了介绍。

**关 键 词:** 经济发展; 环境保护; 决策支持; 模型

**中图分类号:** X144      **文献标识码:** A

## 前言

人类在保护环境的实践中越来越深刻地认识到, 环境问题不仅是单纯的自然问题, 更主要的是复杂的社会经济问题。环境问题产生于人类社会发展的过程中, 也必须在这个过程中解决。许多经济学家、环境学家、社会学家与地理学家分别从各自的研究领域入手, 对社会经济发展和环境保护的相互关系进行了深入研究, 取得了很有意义的研究成果, 但是, 系统地研究社会经济政策和行为对环境的影响, 特别是通过系统和模型方法, 揭示其客观规律并提出解决问题的对策, 在各种研究成果中尚不多见。而任何一个国家, 为了在一定时期内达到特定的社会经济发展目标, 总要制定和实施一定的政策措施, 这些政策的实施结果必然对资源与环境产生了一定影响, 政策的实施和调整会使环境产生什么样的改变以及改变的程度如何, 是决策者越来越关注的问题。本文就半结构化的社会经济政策、经济活动行为与生态环境系统之间的空间相互影响关系, 在环境与经济决策支持系统的模型开发研究中, 进行了初步探索。

## 1 模型研究在决策支持系统中的意义

从 1970 年决策支持系统 (DSS) 的开始研究到 80 年代逐渐成熟起来, 随着 GIS、分布式网络技术和面向对象技术的迅速发展, DSS 在解决半结构化决策问题时, 不管是应用领域的广度还是深度两方面, 都有了进一步的提高。但是这些方法与手段并没有改变 DSS 的基本特征, 这些特征包括<sup>[1]</sup>:

(1) 数据和模型是主要资源, 具有专门的模型库系统, 供决策人员进行模型选择和构造新模型。

收稿日期: 1999-10; 修订日期: 1999-11

作者简介: 张晓东 (1966-), 女, 中科院地理研究所博士生, 研究方向为 GIS、WebGIS 实现技术以及决策支持系统。

- (2) 强调知识和模型在问题求解过程中的重要性。
- (3) 主要用于解决半结构化及非结构化决策问题，是辅助用户决策而不是代替用户作决策。
- (4) 模型在很多情况下都涉及到空间维变量和空间关系，即空间决策模型。
- (5) 系统的目的在于提高决策的有效性而不是提高决策的效率。

除了以上主要特征外，DSS 应该适于解决即时性的、不可预测的问题；并且能对复杂的问题提供适当的模型，决策者可以参照 DSS 的模型极其产生的结果来评价问题解决的逻辑合理性。因此，模型的实现是在决策者进行决策活动时，发现问题，寻找用于决策的信息资源、设计行动方案并选择方案的过程，模型的合理程度是决策支持系统成败的关键。

## 2 半结构化的经济决策问题与决策支持系统概念模型

根据决策活动表现方式的结构化程度，决策活动可分为结构化的决策活动和非结构化的决策活动。结构化的决策过程存在标准的解法，决策目标明确，该过程的输入输出都可以被明确地规定，并且决策过程的每一个阶段都是结构化的。相反，非结构化的决策是指它的每一个决策阶段都是非结构化的。如果一个决策过程中的一部分决策阶段是结构化的，而另一部分阶段是非结构化的，那么该决策过程称为半结构化的决策。对于非结构化和半结构化决策，对决策资源的寻求和分析是解决问题的基本方法。

按照 Anthony 对决策的分类<sup>[2]</sup>，经济政策与环境政策对资源环境的影响属于战略性决策和管理性决策，通常这一类决策属于非结构化和半结构化决策，因为经济决策产生的环境影响非常复杂，各个阶段的输入输出结果无法明确规定，也不存在标准的解决过程。

模型方法基于对经济系统与环境系统相互作用机制的深入分析，在开发具体模型之前，首先要根据有关理论建立系统的概念模型。该系统的目标是保证经济发展的可持续性与生态环境的永续性，是综合发挥经济与环境效益，统筹兼顾生产、生活和环境质量，即协调原则。经济计划的实施与环境保护之间关系的实质实际上是在一定的空间中经济系统与环境系统适应彼此变化的问题。显而易见的是，这两大系统之间是个互动过程（图 1），经济系统从环境系统获取资源进行生产消费，并将废气、废料、残渣排到环境系统中。如果没有适当的环境和经济政策对这种“互动”进行协调，一个凭借生态机制，一个依靠市场机制进行发展，必然是经济系统的增长、经济活动的空间分布变化造成环境系统压力，这一环境压力又对经济福利产生不利影响，使经济发展速度放慢。因此，为实现一定的社会经济目标而制定和实施各项经济和环境政策是政府的基本职能，不仅是经济发展的导向，同时也是环境保护的关键。我们的概念模型就是从现行的各项经济与环境政策入手，分析这些政策体系的每一部分对环境的影响，从决策的“源头”控制住环境问题的产生。

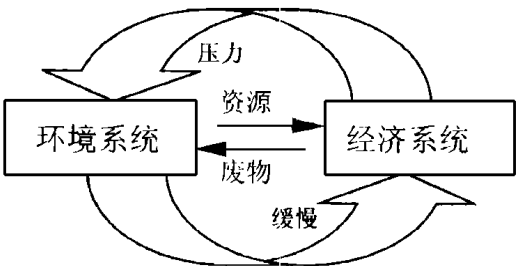


图 1 缺乏决策协调的环境与经济系统  
Fig. 1 The environmental and economical system without decision-making



### 3 经济计划与环境保护空间决策支持系统主要模型的开发

经济计划与环境保护决策支持系统是对空间经济活动与环境质量状况的评价、模拟和分析，由于系统的复杂及半结构化特点，不能用单一的模型解决问题。我们采取的方法是根据系统的逻辑关系将决策问题分解，按照空间经济决策行为对环境影响方式，将其视为若干个阶段构成的过程，在每个阶段采用不同的方法和模型，并使用与之相关的数据。

在概念模型种已建立了整个系统各子系统指标间的逻辑关系：① 目标是通过政策的制定与实施实现的；② 衡量经济和环境政策实施状况的分别是社会经济活动状态和生态环境质量；③ 经济系统的各状态指标与环境状态指标相互作用；④ 经济系统的状态指标之间相互影响；⑤ 系统为实现一定的经济目标，对现有系统进行调控的方式有两种，一是微观调控，即环境目标与环境系统保持不变，只调节经济系统内部各状态指标；二是宏观调控，即调整环境目标与环境状态指标。

根据经济政策的实现过程和对环境的影响以及系统指标间的逻辑关系，系统模型要解决的问题分为评价、分析、决策三个层次或阶段，相关模型有几十个，本文就系统的一个案例怀柔的特点，介绍具有代表性的模型。

#### 3.1 现状评价模型

评价模型是对现行经济运行状况、环境质量及其关系的评价，是进行辅助决策支持分析的基础，包括两大部分的内容：

(1) 生态环境质量状况评价。环境质量综合评价由大气质量评价、水质量评价、噪声污染、土地污染评价与生态质量评价五部分叠加而成。先做要素评价，再做综合评价，水与大气要素评价中，筛选出污染影响最大的主要污染物作为参数，确定质量级别，指出主要污染物。根据怀柔环境监测报告与统计数据，对以下主要污染物进行环境质量评价：

主要污染物污染指数计算方法

$$P_i = C_i / C_{is}$$

式中  $P_i$  为  $i$  污染物的污染指数， $C_{is}$  为  $i$  污染物的评价标准， $C_i$  为  $i$  污染物实测浓度  
大气、水、噪声、土地与生态质量要素评价

$$E_{\text{气}} = \max(P_{\text{SO}_2}, P_{\text{NO}_x}, P_{\text{TSP}})$$

$$E_{\text{水}} = \max(P_{\text{COD}}, P_{\text{BOD}})$$

$$E_{\text{声}} = 1 / P_{\text{区域环境达标率}}$$

$$E_{\text{生}} = (P_{\text{森林覆盖率}} + P_{\text{水土流失治理率}}) / 2$$

$$E_{\text{土}} = (1 / P_{\text{生活垃圾处理率}} + P_{\text{化肥施用率}}) / 2$$

式中  $E$  为环境污染指数

区域环境综合评价

$$E_{\text{综合}} = E_{\text{水}} + E_{\text{气}} + E_{\text{土}} + E_{\text{声}} + E_{\text{生}}$$

(2) 环境与经济协调度和经济环境综合效益评价模型，通过建立经济状态指标与环境状态指标间的函数关系，对当前经济状态与环境质量相互协调程度作出评价，并对某种协调状态下的环境效益、经济效益和综合效益进行详细说明。

协调度

$$C = [F(x)G(y)]/[aF(x) + bG(y)]^2K$$
$$F(x) = a_i(x_i/x_0)$$
$$G(y) = b_j(y_j/y_0)$$

式中  $C$  为协调度,  $a$ 、 $b$  为权重,  $K$  为调节系数,  $F(x)$  为环境效益指数  
环境经济综合效益发展指数

$$U = F(x) + G(y)$$
$$F(x) = F(x_t)/F(x_{t-1})$$
$$G(y) = G(y_t)/G(y_{t-1})$$

式中  $U$  为发展指数,  $F(x)$  为环境效益变化率,  $G(y)$  为经济效益变化率,  $t$  为年份  
在怀柔案例中选取的指标为:  $X_i$  为绿化率、人均绿地、环境噪声达标率、工业废水排  
放达标率、生活垃圾处理率等环境状态指标,  $x_0$  为标准值;  $Y_j$  为人均 GDP、第三产业产值  
占 GDP 的比重、人均旅游收入、人均社会消费品零售额、人均职工年工资、农民人均收入  
等经济状态指标,  $y_0$  为标准值。经济和环境状态指标权重通过层次分析法获得。

协调度评价标准:  $C < 0.1$ , 严重失调;  $0.1 < C < 0.29$ , 中度失调;  $0.3 < C < 0.49$ , 失  
调;  $0.5 < C < 0.59$ , 勉强协调;  $0.6 < C < 0.75$ , 中等协调;  $0.76 < C < 0.9$ , 良好协调;  $C > 0.9$ ,  
优质协调。

效益发展评价标准: a) 如果  $F(x) = 0$ ,  $G(y) = 0$  环境经济综合效益呈可持续态势,  
这种情形下, 如果  $G(y) > F(x)$ , 经济效益的提高优于生态环境的优化; 反之, 环境效  
益的提高优于经济发展。b) 如果  $U = 0$ , 且  $F(x) = 0$ ,  $G(y) = 0$ , 或相反, 表明有一方  
面的效益呈下降趋势, 但能被另一方面的发展所弥补, 短时期内, 环境经济综合效益依然  
在提高。c) 如果  $F(x) = 0$ ,  $G(y) = 0$ , 或相反, 且  $U = 0$ , 与 (b) 不同的是, 虽然考虑  
互补性, 但环境经济综合效益越来越差, 即使有一方的效益在提高, 也不足以带动社会经  
济环境的总体前进。d) 如果  $F(x) = 0$ ,  $G(y) = 0$ , 经济与环境效益越来越差, 环境经济  
综合效益呈下降趋势。

3.2 分析模型

这是第二个阶段的模型, 在评价模型的基础上进行, 主要分析形成当前经济环境协调  
度及综合效益好或差的原因, 建立政策指标层与状态指标层之间、状态层之间的关系模型。  
根据分析方法和内容的差异, 分为三种类型的模型:

(1) 通用模型。通过回归分析、因子分析、主成分分析等通用解析方法, 根据理想状态  
确定模型系数, 建立主要政策指标之间及与它相关的状态指标间的相关关系模型, 包括财  
政和金融政策、消费政策、人口政策、能源政策、资源政策、科技政策、环保政策等。主  
要难点是政策指标的量化, 这是系统的非结构化部分, 如产业政策的衡量指标。产业政策  
是政府对产业结构采取一定的政策性措施进行调整, 主要包括产业结构政策(环境标准、制  
定税收补贴、贷款利率、公共费用制度等)和产业组织政策(市场竞争、投资政策、反垄  
断、规模政策等)。

投资政策最能代表政府对产业的倾斜度

$$y = ax^m + bx^2 + cx^3 + d$$

式中  $y$  为投资系数, 是经过加权的三次产业投资综合系数;  $X_1$  为人均 GDP, 经济效益衡量指标;  $X_2$  为产业结构指数, 衡量产业结构水平, 用第三产业产值比重衡量;  $X_3$  为生态质量污染综合指数, 代表现行产业结构状况下的污染程度;  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  分别为待定系数,  $m$ 、 $n$ 、 $p$  为待定指数

经济增长因素回归分析, 因变量是经济增长状况, 用人均 GDP 增长量反映; 自变量有多个指标<sup>[3]</sup>, 包括实际利用外资、国有企业固定资产投资额、工业效率、产业结构、城市人口规模等。

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^5 b_i x_i$$

式中  $y$  是城市经济增长量的回归估计值,  $b_i$  是待估回归系数,  $b_i$  的大小反映从统计规律看, 自变量  $x_i$  变化一个单位引起因变量  $y$  值变化的量

(2) 专用模型。根据本系统实现的目的和特点, 有针对性的建立有关经济决策行为对环境影响的模型, 如“产业结构与资源环境关系模型”。产业结构是衡量产业政策实施结果的主要指标, 通过建立三次产业中主要行业与资源利用之间、经济效益与环境容量之间的关系, 利用层次分析法确定各指标的权重, 最后得出在资源禀赋、资源利用和环境质量状况影响下的产业政策的合理程度<sup>[4]</sup>。

模型的评价原则: 产业结构的合理表现在产业结构经济效益、环境资源产出力和环境资源满足度的相互协调和平衡, 理想的模式是三者的效益均达到最优。

$$E = \sum_{i=1}^3 \frac{x_i}{\bar{x}}$$

式中  $E$  为经济评价系数, 用人均 GDP、人均利税、万元固定资产实现利税三者的加权与与全国平均值之比

$$p_m = \sum_{n=1}^{13} a_{mn} \quad m = 1, 2, \dots, 6$$

式中  $P$  为环境资源产出力; 其中  $n$  个行业构成了产业结构体系,  $m$  为土地资源、能源、水资源、水环境、大气环境等环境资源体系,  $a_{mn}$  表示每个行业的环境资源产出力, 即单位资源的行业产值, 反映了社会经济部门对资源的索取程度

$$R_n = \frac{c_m}{\sum_{n=1}^{13} x_n a_{mn}}$$

式中  $R$  表示产业结构的环境资源满足度, 即资源需求与资源支持力的比值;  $x_n$  为  $n$  行业产值, 分母为每个行业对所有环境资源需求之和;  $c_m$  为环境资源支持力 (城市可用地、水资源可开采量、能源可供应量、矿产可开采量与各项环境容量, 用如  $[COD]$  标  $/ [COD]$  表示, 反映水环境容量利用程度等)

产业结构评价:

$$U = w_e E + \sum_{m=1}^6 w_p p_m + \sum_{n=1}^{13} w_r R_n$$

$$W_e + W_p + W_r = 1 \quad W \text{ 为权重}$$

评价标准:  $U < 0.7$  产业结构极不合理, 产业政策需要调整;  $0.7 < U < 0.9$  产业结构不合理;  $0.9 < U < 1.2$  产业结构合理;  $1.2 < U < 1.3$  产业结构良好;  $U > 1.3$  产业结构最优。

进一步分析探讨, 如果  $U > 0.9$ ,  $W_R - R_n > 0.3$ ,  $W_P - P_m > 0.3$ , 但  $W_E - E_i < 0.3$ , 表明经济效益差, 但由于环境资源利用没有超出环境承载力, 环境资源产出力也达到中等水平, 可以弥补经济发展缓慢所造成的损失, 产业结构短期内可以保持不变, 长期仍需调整; 同样的道理, 如果  $U > 0.9$ ,  $W_P - P_m < 0.3$ ,  $W_E - E_i > 0.3$ ,  $W_R - R_n > 0.3$ , 环境资源产出力过低, 但由于经济效益良好, 环境资源利用没有超出环境承载力, 可以弥补由于技术水平不高所造成的损失, 产业结构短期内可以保持不变; 或者,  $U > 0.9$ ,  $W_R - R_n < 0.3$ ,  $W_E - E_i > 0.3$ ,  $W_P - P_m > 0.3$ , 良好的经济效益与高产出力, 可以弥补由于环境资源利用超出环境承载力造成的损失, 产业结构也可以短期内不调整。

(3) 空间分析模型。随着决策部门对 GIS 越来越深入的需求, DSS 的概念与理论被引入 GIS 的研究中, 促使 GIS 向空间决策支持系统 (SDSS) 延伸。这种发展使 GIS 在系统功能和技术特点等诸多方面都发生了深刻的变化, 其中最具代表性的变化表现在系统的驱动机制上, 即从数据库及其管理系统的驱动机制转变成了模型库及其管理系统的驱动机制, 模型在系统中已不在处于从属地位, 而成为系统的驱动核心。这使得 SDSS 具备了对复杂的结构性较差 (如半结构化或非结构化) 的空间问题的求解和决策能力, 从而 SDSS 不仅可像 GIS 那样为用户提供各种所需的空間信息, 即数据级支持, 而且还可提供实质性的决策方案<sup>[5]</sup>。

经济决策活动实际上是一种空间行为, 环境与经济计划决策支持系统中的模型在很多情况下都涉及到空间维变量和空间关系。空间关系是指地理实体之间存在的一些具有空间特性的关系, 如拓扑关系、顺序关系等, 是空间数据组织、查询、分析、推理的基础<sup>[6]</sup>。空间分析在某种程度上是在处理空间实体之间的相互关系, 如点模式识别是在处理点状目标之间的邻近关系与分布, 叠置分析则处理多个空间目标之间的相交、重叠等拓扑关系, 网络分析处理的空间实体之间的拓扑邻接与关联, 邻域分析是在相互邻近的空间实体之间进行的等。由于决策的实施带来经济实体与地理环境的改变, 政府的每一项具体政策都要落实到区域单元上, 并对政策实施实体及周围生态环境产生影响。不考虑空间因素的模型对决策者进行辅助决策来说显然是不完整的, 空间分析模型正是上述模型的进一步拓展与完善。由于空间分析模型由于比较复杂, 笔者在另外的文章中将作专门的分析。

3.3 优化决策模型

通过多目标线性规划<sup>[7]</sup>、效用函数等方法, 设计将来一定时期内, 在一定目标和特定条件下的产业结构具体比例和最优方案及多种方案选择, 并将系统的变化分为几个阶段, 将模型参数合理地求出, 以求得不同阶段最优结构, 从而使静态模型接近于动态系统, 预测经济结构与环境状态中长期变化的趋势和方向。

(1) 目标。总目标是在满足资源最大可供量与环境容量的约束下, 使未来一定时期内区域经济和环境整体效益最大。子目标包括保护生态环境和提高人民生活水平。

(2) 决策变量, 为经济各部门产值。

(3) 约束条件, 资源禀赋和环境容量是区域产业结构形成的基础。

能源供给量约束:

$$\sum_{i=1}^n e_i(t) x_i(t) \leq E(t)$$

式中  $e_i(t)$  为第  $i$  部门在  $t$  年的能源系数 (吨标准煤/万元),  $x_i(t)$  为第  $i$  部门在  $t$  年的产值,  $E(t)$  为  $t$  年能源最大供应量

水资源供应量约束:

$$\sum_{i=1}^n w_i(t) x_i(t) \leq W(t)$$

式中  $w_i(t)$  为第  $i$  部门在  $t$  年的水耗系数 (万吨/万元),  $W(t)$  为  $t$  年最大供水量

土地利用约束:

$$\sum_{i=1}^n l_i(t) x_i(t) \leq L(t)$$

式中  $l_i(t)$  为第  $i$  部门在  $t$  年占地系数 (公顷/万元),  $L(t)$  为  $t$  年最大可供利用的土地面积供水量

资金约束:

$$\sum_{i=1}^n c_i(t) x_i(t) \leq C(t)$$

式中  $c_i(t)$  为第  $i$  部门在  $t$  年固定资金占用系数,  $C(t)$  为  $t$  年最大可用固定资金额

劳动力就业约束:

$$L_1(t) \leq \sum_{i=1}^n \frac{x_i(t)}{d_i(t)} \leq L_2(t)$$

式中  $L_1(t)$  为  $t$  年要求最低就业人数,  $L_2(t)$  为  $t$  年最大就业人数,  $d_i(t)$  为第  $i$  部门劳动生产力 (万元/人)

环境质量约束:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n b_{ij}(t) x_i(t) \leq B_j(t)$$

式中  $b_{ij}(t)$  为第  $i$  部门第  $j$  中污染物排放率 (万吨/万元),  $B_j(t)$  为环境治理费用上限

(4) 目标函数

这是决策方案要达到的主要目标, 在上述的约束条件下, 使经济产值最大或达到一定的目标, 环境保护均达到相应的水平, 一般分为高中低三种方案进行产业结构、生活水平、就业水平、排污水平等决策调整。

$$f(x) = \sum_{i=1}^n x_i(t) \quad \max(\text{产值})$$

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i(t)}{E} \quad \max(\text{环境保护水平})$$

式中  $E$  为区域综合污染指数

## 4 系统结构与模型实现

空间决策支持系统分为数据库管理系统、现状图表趋势分析系统、模型系统、打印输出四大模块 (以怀柔案例为例), 各自独立, 通过 ODBC 进行数据相互通讯, 模型系统留有接口, 以便用户增加外部模型。其中模型分析模块是整个系统的核心部分。如图 3 所示, 虚线箭头表示可以进一步扩充部分。



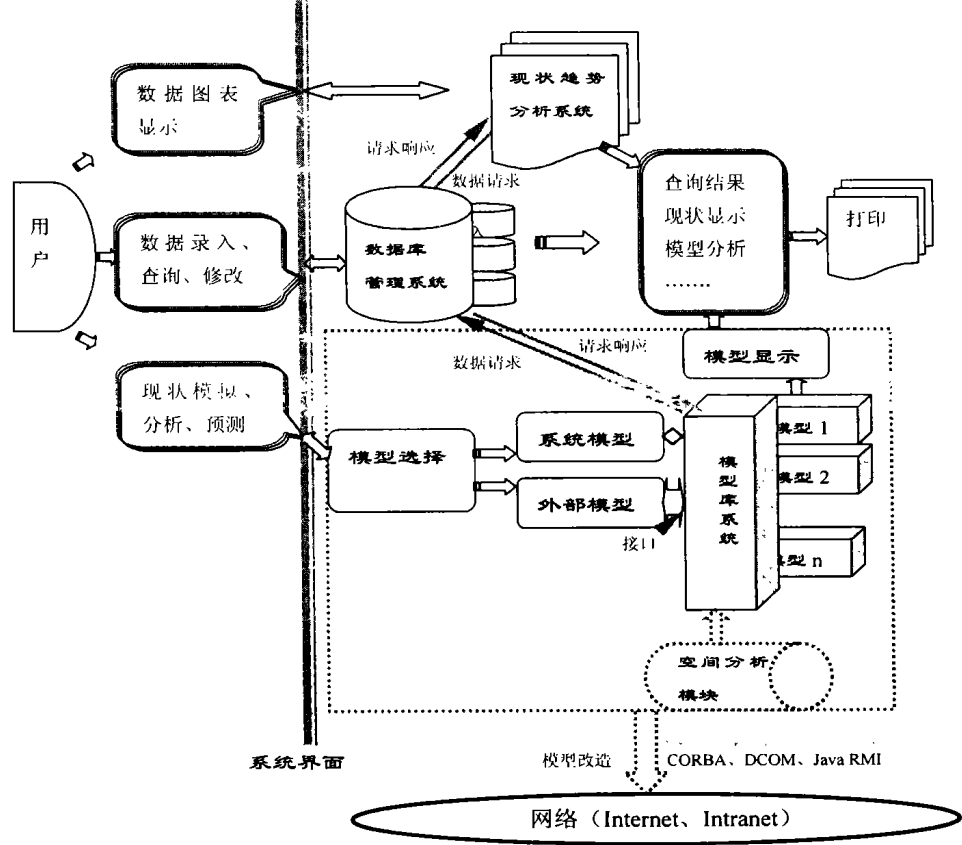


图 3 系统结构

Fig. 3 The system structure

研究过程: 通常说来, 研制 SDSS 有快速实现、分阶段实现和建立完整的 SDSS 解决方案三种基本方法, 由于环境和经济系统的庞大, 分阶段实现比较现实。具体做法是: 制定相对完整的组建计划, 首先研制开发评价与简单分析为主的模型系统, 对所用软件、语言及模型实现方式、标准作初步尝试, 然后进行讨论, 征求意见, 修改完善, 根据已获得的经验与开发技术, 增加专家系统, 进一步增强预警分析功能, 最后进行集成。模型运行过程如图 4 所示。

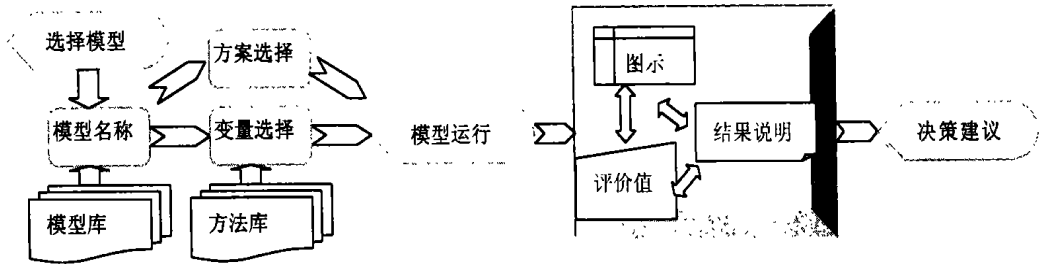


图 4 模型运行过程

Fig. 4 Model display process

## 参考文献:

- [1] Sprague Jr. R H. A Framework for the Development of Decision Support Systems[ M]. MIS Quarterly, 1980.
- [2] Anthony R N. Planning and Control Systems: A Framework for Analysis[ M]. Harvard University, Cambridge, Mass, 1971.
- [3] 曹广忠, 周一星 等. 中国城市经济增长多因素分析[ J]. 经济地理, 1999( 2).
- [4] 崔凤军, 杨永慎. 产业结构对城市生态环境的影响评价[ J]. 中国环境科学, 1998( 2).
- [5] 王桥, 吴纪桃. 空间决策支持系统中的模型标准化问题研究[ J]. 测绘学报, 1999( 2).
- [6] 陈军, 赵仁亮. GIS 空间关系的基本问题与研究进展[ J]. 测绘学报, 1999( 2).
- [7] 费洪平. 中国区域经济发展[ M]. 北京: 科学出版社, 1998.

# The Model Analysis of Decision Support System for Economic Development and Environmental Protection

ZHANG Xiao-dong, CHI Tian-he

(Institute of Geography, Beijing 100101)

**Abstract:** Model system is the most important part of the DSS. The key point of Decision Support System for Economic Development and Environmental Protection is that the change of the environment is caused by the economic development. Analyses show that different policy systems bring different economic state, and different economic states result in different environmental state characters. Firstly, according to the principle, the model system shows the policy classification including object layer, decision layer and state layer. Secondly, the logic model between economic development and environmental protection is introduced. For the more, the main models are put forward on three levels including assessment model, analysis model and decision model. At the end of the paper, the structure of the DSS and the running process of the model are displayed.

**Key words:** Economic development; Environmental protection; Model; Decision making