

文章编号: 1007-6301 (2000) 01-0009-08

区域发展和水资源利用透明交互决策系统

王劲峰¹, 陈红焱², 王智勇¹, 时培中¹, 武继磊¹

(1. 中国科学院地理研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 北京大学城市与环境科学系, 北京 100837)

摘要: 区域发展与水资源是密切相关的, 本文提出以时空运筹模型为核心的决策判断过程透明和分层交互的决策系统, 简称透明交互决策系统。用户可以使用此系统找到研究区社会经济发展与水资源协调的方案。

关键词: 区域发展; 水资源利用; 时空运筹模型; 透明; 交互; 决策系统

中图分类号: p231.5 **文献标识码:** A

1 引言

由于没有统一严格的水资源利用规划, 造成了自本世纪 70 年代以来黄河几乎逐年断流; 天然水资源可供水量和人类水资源需求量之间在时空的严重不匹配, 产生了南水北调的需求; 而人类水资源需求量的强烈增加, 发生了城市严重缺水问题。水资源的短缺, 严重制约了经济社会发展, 也造成严重的生态环境问题。

所有这些问题的解决都归结为社会经济生态环境与水资源协调发展的问题, 关键是如何合理地分配水资源。

这一决策过程需要考虑不同的分水原则、水资源供需的时空变化、不同用水部门的水资源利用边际效益、水价系统等等众多的复杂和相互作用的因素。因此, 决策难以一锤定音, 亦无绝对的最优解, 在社会、经济、生态三维目标空间上各种决策必有得有失, 需要在各备选方案之间的反复比较和试验。为此, 有必要建立可视化的决策支持系统, 这可以利用地理信息系统和时空运筹学来实现。

该系统使用对象是水资源管理和区域决策部门、水资源研究专家和教育工作者。

其目标定位于: ① 提供水资源供需区域的自然地理特征、资源环境状况、工程地质、社会经济状况等资讯服务; ② 进行水资源开发利用方案模拟计算, 为水资源最优利用和区域发展方案提供决策支持; ③ 水资源分配决策支持系统还可以作为水资源日常管理信息系统的功能接模块, 在必要时使用。

收稿日期: 1999-12; 修订日期: 2000-01

基金项目: 中国科学院“九五”重大项目资助 (KZ951-A 1-203, KZ951-A 1-302) 和特别支持项目资助 (KZ95T-03)

作者简介: 王劲峰 (1965-), 男, 博士, 研究员。从事地理信息系统和空间分析研究, 在 Transactions in GIS, International Journal of Remote Sensing, 中国科学、科学通报、自然科学进展等刊物发表论文 40 余篇, 由科学出版社和中国科技出版社出版 (合) 著 5 部。

本文首先回顾分析了已有资源环境决策支持系统的基本功能、特点, 提出建立以时空运筹模型为核心的水资源分配决策支持系统的必要性。然后探讨了水资源分配的影响因素、相互之间的系统动力学关系, 时空运筹学原理, 研建相应的模型。接着, 提出该系统基于时空运筹模型信息流的可视化解决方案, 设计对应的人机交互界面。结论部分进行了总结, 提出了进一步的理论和实践工作、展望了应用前景。

2 回顾

水资源管理、规划和决策已成为世界各地行政当局日常事务性工作, 建立一个计算机辅助的决策支持系统是必要的。

目前基于地理信息系统的空间问题决策支持系统较为典型的有两个: 一是梁怡系统 (Yee Leung and K Wong Sak Leung, 1993), 其结构方面由几个模块组成: 知识库、推理机、输入输出界面等, 结构完整, 适用面广; 用于决策的理论依据可归结为模糊聚类。二是林晖系统 (Hui Lin, et al., 1997), 基于多因子模糊加权平均的决策理论; 在系统方面, 采用 internet 网络服务, 用户在因子和权重选择上可以方便地交互。两系统的决策理论依据可归结为因子分析, 属于单向线性决策过程。

本文论述的决策支持系统在理论方面依据决策因素之间的动力学关系, 系统方面以 GIS 为操作平台, 用于数据的输入、管理、决策过程表达和结果输出, 集中论述决策过程的实现, 决策判断过程透明的实现和用户在系统不同层次可交互性, 构成透明交互决策系统。本文论述淡化了技术成熟的数据查询检索模块。

3 决策支持系统建立的原则、特点

水资源利用决策涉及多因素复杂关系, 因事、因地和因时侧重点不同, 各地在多年的实践过程中积累了丰富的经验。决策支持系统的建立以这些经验和决策过程为依据, 从系统动力学角度将它们连接为具有反馈回路和调控能力的决策系统。该系统具有以下特点:

- (1) 核心: 时空运筹理论;
- (2) 用最新的可视化技术表达出来, 将关系虚拟出来, 用户可交互, 过程分层透明;
- (3) 系统开放式: 内容可充实、结构可扩展。

4 水资源配置时空运筹学原理

水资源优化配置的目的是为区域实现其社会经济发展目标而提供水资源的有效保证。这一目的的实现依赖于水资源供给量与区域社会经济发展目标所对应的水资源需求量之间在总量和时空配置方面的平衡, 构成一个时空运筹和决策系统 (见图 1)。该系统包括三大互相关联模块: 区域社会经济发展目标模块、水资源供给模块、总量时空优化模块。各模块再由一些子模块组成, 并且可再细分解。

下文开始前, 定义一个将要用到的新量: 图谱, 它是一个总量+ 时间分布+ 空间分布三位一体的量。作为比较, 标量表示大小; 矢量含大小和方向; 张量包括大小和多个方向。

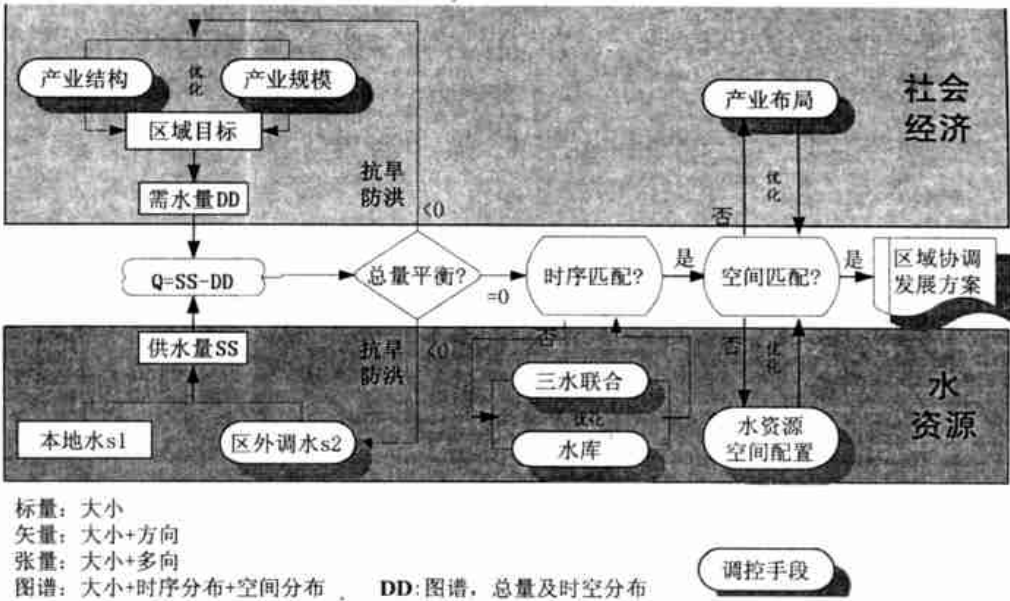


图 1 区域水资源利用时空运筹模型

Fig. 1 Operation of regional water resources in space and time

4.1 区域社会经济发展目标模块

区域社会经济发展目标 (G) 可选择: 文化政治城市、工业城市、商贸城市、高科技产业城市、生态旅游城市、农业基地、混合型或其他类型等之一, 并且确定发展规模。换言之, 区域社会经济发展目标可选择社会经济总量 (S) 及其内部结构比例 (R), 构成一个矩阵乘:

$$G = S \times R$$

对应区域需水图谱 DD (W):

$DD(\text{吨}) = \text{社会经济总量}(\$) \times \text{社会经济结构}(\$ / \$) \times \text{社会经济单位耗水量}(\text{吨} / \$)$
这里 $\$$ 指人民币, 社会经济结构粗分为生活、工业、农业、生态和其他等五个部门, 以各部门生产量 ($\$$) 占社会总生产量 ($\$$) 的比例计, 为书写方便, 将生活和生态按用水量核算成人民币。

由于不同产业的用水特点不同, 区域总用水量在时间和空间分布上是不均匀的。

4.2 水资源供给模块

水资源供给图谱 (SS) 包括本地水和区外调水, 本地水里包括地表水、地下水和大气降水。各类水的时间空间运动规律不同, 造成区域水资源总量在时序和空间分布上是不均匀的。

4.3 水资源利用的决策过程模块

水资源供给图谱 (SS) 减去需求图谱 (DD) 得到水资源差额图谱 (Q), 包括总量上的差异、时需上的差异和空间上的差异, 参见图1。找出这些差异后, 可以采取不同的策略使 Q 调整为差异 0 图谱, 即 SS 和 DD 互相之间在总量和时空完全上匹配, 保证区域社会经济与水资源协调发展。

假设：节水技术、污水处理回用、海水利用等水资源提效优化技术均已实施。图 1 中各量均指长期平均值。

第一步，判断供水量 SS 和需水量 DD 总量规模之间是否平衡：① 如果平衡，则转入第二步。② 如果 $Q < 0$ ，即区域长期缺水，这时可以通过改变区域产业结构和发展规模来减低区域需水量 DD ，这将迫使区域发展目标的漂移；也可以通过跨区域调水来补充水资源总量缺口。反复计算这两种手段直至水资源总量平衡，然后转入第三步。③ 如果 $Q > 0$ ，即区域长期富水，则实施②法，但方向相反。

第二步，比较水资源的供给和需求在时序上是否一致：① 如果一致，则转入第三步；② 如果不一致，则可利用水库调节或地表水、地下水和大气降水联合调配利用（刘昌明，1992），反复计算调整直至水资源供需在时序上达到一致，然后转入第三步。

第三步，比较水资源的供给和需求在空间上是否一致：① 如果一致，则区域发展和水资源利用方案敲定，提供给决策首长实施；② 如果不一致，则可进行区域内部产业布局调整或水资源空间优化配置，反复计算调整直至水资源供需在空间上达到一致，转入①。

实际上，第二步和第三步是耦合的，既区域内每个位置的水资源供需历时曲线都一致时，才能认为全区域水资源供需是真正的时空协调。而本文先检验各时段供需总量一致性，再检验空间各点供需总量一致性，与真正的供需总量时空协调尚有差距。这时，在满足了时序一致性后，需要在区内进行水资源空间再调配，但这相对于区际调水是小阶量，因此，这一分步判断过程被用来近似时空协调过程，且具有数学处理的可操作性。

4. 4 调控手段

图 1 中的区域社会经济和水资源协调发展的调控手段可归结为表 1，水资源体和社会经济体在空间和时间维上均可以移动或保持不动，以实现相互匹配，达到区域社会经济与水资源协调发展的目的。表 1 中人泛指社会经济，包括城市生活、工业、农业、生态环境等需水部门。

表 1 水资源与社会经济发展的协调匹配调控手段

Tab. 1 Tools for coordinating water resources and region development

匹配	水						
	空间			动	动	不动	不动
		时间		动	不动	动	不动
人	动	动	行动手段	区际调水	区内分水	水库蓄调水	水定格
	动	不动	区际移民	人水互动			人就水
	不动	动	区内布局				
	不动	不动	产业结构				
	不动	不动	人定格		水就人		维持现状

例如，水资源体在空间时间上都动表示在空间上的移动和在时间上区域水资源总量发生变化，即区际调水；水资源体在空间动时间不动表示在区域内部空间上发生了移动但水资源总量不变，即区内空间分水；水资源体在空间上不动但在时间上动表示水库调节的作用，即水库调水；而水资源在时空上都不动，即水定格，社会经济发展依水而就。

又如，社会经济体在空间时间上都动表示在空间布局调整和在时间上区域社会经济总量结构发生变化，即区际移民；社会经济体在空间动时间不动表示在在区域内部空间上发

生了移动但其总量不变，即区内空间布局调整；社会经济体在空间上不动但在时间上动表示用水结构，即产业结构进行调整或节水技术和生产工艺的改进，简记作产业结构；而社会经济体在时空上都不动，即人定格，水资源规划依社会经济发展目标为根据，水就人。

两个极端情形是水资源和社会经济均保持现状不变，和社会经济和水资源规划互相根据调整，人水互动，利用各种可用手段。

以上各种手段实现的方式可以是：① 上级行政干预；② 区域自行调整；③ 国家调整水价系统，会引导区域自行调整，产生原动力和积极性。

图 1 各模块由更小的子模块组成，随数据的可获得性和随着认识的深入不断细化。

5 透明交互决策系统

决策人在进行决策时，有一套决策流程图，计算机决策支持系统应当符合这一习惯，实现这一流程，同时将决策各模块节点和关系连线信息流程以及系统层次转换路径都明确地在计算机屏幕上显现出来，将计算机黑箱操作透明化，使决策者在使用系统时清楚地掌握决策的每一步骤和方向，每个模型，以及在总体中所处的位置，使用户可以沿着透明的决策过程进行操作。据此，可以根据数据掌握程度，选择计算模型或直接输入已经掌握的数据集作为使用决策系统的切入点，而系统输入不必从头推算。

系统的用户可交互性是决策支持系统设计的重要方面，交互程度即可修改性（不同与可选择性，后者的系统实现是简单的）有三个层次：① 数据参数层次；② 变量层次；③ 模型结构层次。在系统完备的前提下，高或底的可交互程度各有利弊：可交互深，则系统灵活，可选项多，适用面广；可交互浅，则系统稳健，使用门槛低，专业化强。

图 2 是利用透明交互的思想来实现以图 1 所示的区域水资源利用时空运筹模型为核心的决策支持系统。系统包括总量平衡、时序匹配、空间匹配和时空耦合等 4 个优化层次，由区域发展、水资源需求、水资源供给、时间运筹、空间运筹等 5 个子系统组成，每个子系统由更细致的模块生成。各子系统在同一个用户界面上共存，而各子系统还可逐层深入，这样在一个用户界面上，各子系统可进入不同的深浅层次，在每个层次上，用户都可以直接输入数据文件，或者选择计算更细致的模型来获得本层的系统输入。

首先，输入或计算区域水资源供需总量，获得供需总量差，可以目视或统计检验来判断匹配情况。如果匹配，则可完成决策并输出结果，或进一步判断水资源在时间序列上的供需匹配情况；如果不匹配，则通过本地水资源开发、区外调水、产业结构和产业规模调整来调整水资源供需量，这时，可以直接输入数据文件或使用模型计算给出水资源和社会经济目标调节量，然后返回水资源供需总量总进行匹配再判断。

进入时序模块。输入或计算区域水资源供需时间序列，获得供需时序差，如果匹配，则可完成决策并输出结果，或进一步判断水资源在空间分布上的供需匹配情况；如果不匹配，则通过地表地下和大气降水联合利用，和水库功能来调整水资源时序差，这时，可以直接输入数据文件或使用模型计算，然后返回水资源供给时序进行匹配再判断。

类似的过程对于空间分布和时空耦合部分。

不同层次的优化输出区域社会经济发展与水资源协调不同程度的优化方案，内容包括：经过协调后的区域社会经济发展图谱、区域水资源需求图谱和区域水资源供给图谱。区域

经社发展图谱包括区域目标、产业规模、产业结构、产业布局、人口图谱；水资源需求图谱是由区域经社发展图谱对应计算获得的；水资源供给图谱包括本地水和区外调水，可进一步细化。

6 结论

本文提出了区域发展与水资源利用关系协调的总体概念设计，以及建立过程透明分层交互的决策系统构想，下一步的工作是建立有关模型和利用区域数据建立这一决策系统。

区域发展和水资源利用决策系统的核心是水资源利用时空运筹理论，由多个子模型组成，其中的时空分水优化配置模型已在另文建立（王劲峰 刘昌明等，2000）。

更多的因素需要考虑（吴季松，1999），系统中已有因素需要进一步细化，这都要求系统具有开放性，这一要求涉及到决策问题本身的理论体系结构和开放系统实现的技术，值得进一步细致考虑。

参考文献：

[1] Yee Leung, K Wong Sak Leung. An intelligent expert system shell for knowledge – based Geographical Information System: 1. The tools[J]. *Int. J. GIS*, 1993, 7(3): 189 ~ 199.

[2] Hui Lin et al. GIS– based multicriteria evaluation for investment environment[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1997, 24: 403 ~ 414.

[3] 刘昌明. 黄河下游平原农业水资源联合利用[A]. 见：许越先, 刘昌明, 沙和伟 主编. 农业用水有效性研究[C]. 北京：科学出版社, 1992. 1 ~ 8.

[4] 王劲峰. 区域经济分析的模型方法[M]. 北京：科学出版社, 1993.

[5] 王劲峰, 刘昌明, 于静洁 等. 区际调水时空优化配置理论模型探讨[J]. 中国科学, 2000(待刊).

[6] 吴季松. 为可持续发展提供水资源保证[D]. 科技日报, 1999-3-30.

Decision Support System for Regional Development and Water Resources Coordination

WANG Jin-feng¹, CHEN Hong-yan²,
WANG Zhi-yong¹, SHI Pei-zhong¹, WU Ji-lei¹

(1.LREIS, Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101;

2.Department of Urban and Environment Sciences, Peking University, Beijing 100871)

Abstract: Regional development is linked closely with water resources in many regions, many factors interact in a coordinating and decision making process.

Currently, there are two typical spatial decision support system based on GIS: one is Leung’s system (Yee Leung and Wong, 1993): consisting with several subsystems: knowledge base, inference engine, input and output interface, etc. The system’s infrastructure is completed and widely used, the decision is based on fuzzy clustering algorithm; another is Lin’s (Lin. et al, 1997): the decision depends on fuzzy weighting and scoring, the system is designed on internet base, the users could interact with the

system easily through internet. The decision theory for the both system could be grouped as factor analysis, a one way linear decision process.

In fact, many decisions is a repetition and comparative process, there are feedback and dynamic mechanisms inside. The decision support system based on the feedback dynamic mechanism should be more close to the real world than the one with one way linear decision.

In the paper, a decision making system based on a spatial-temporal operation theory is suggested. In technical aspect, we have designed a transparent and interactive multi-layer decision interface to realize the theory and for practice use.

Key words: Regional development; Water resources; Coordinating in space and time; Transparent and interactive; Decision process