

# 宏观经济水资源规划多目标决策分析方法研究

清华大学 翁文斌 蔡喜明 史慧斌

水利水电科学研究院 王浩

怀俄明大学 米柯森(Ari M. Michelsen)

TAHAL 顾问工程师 巴格(Jona Bargur)

## 一、序 言

宏观经济水资源规划多目标决策分析方法是我国政府与联合国开发计划署(UNDP)合作的“华北水资源管理”研究项目(CPR/88/068)的重要成果之一。该方法的特点是将区域水资源规划纳入到宏观经济/环境系统中,应用多目标技术进行整体研究,变“树木”为“森林”,可使决策者通过宏观经济水资源规划多目标决策分析模型的操作和运行,看到在不同策略下规划问题的全貌。在该方法研究中,笔者完成了这一方法的软件编制和开发工作,实现了决策分析过程的计算机化。

## 二、模型的基本设计思想

1. 在模型中确立了宏观经济—水资源规划整体结构体系。模型中纳入了宏观经济结构子模块,它包括国民经济动态投入产出表,固定资产积累、居民和社会消费、进口与出口等因素,使水资源规划与宏观经济发展形成有机的整体。

2. 在模块中还以各子模块的形式集中描述了经济、环境与水的关系;农业经济、农业结构与水的关系;经济发展、社会与水的关系;经济发展、人口增长与水的关系;经济发展、水投资与供水工程建设的关系。模型集中描述了上述因素相互促进和制约的关系,为决策者提供了一个经济/环境与水的宏观调控策略制订的试验工具。

3. 由于模型中包括了各种复杂的经济、环境、社会与水的关系,以及水资源规划中各种可能的工程措施和非工程措施,对决策者来说,它将提供在给定目标和边界条件下的最佳方案,以及在该方案下经济/环境及水资源系统的各种指标的期望值和各种水资源工程措施、非工程措施的优先序,以回答决策者所关心的“如果……那么怎么办”的问题。这样,宏观经济水资源规划模型将是一个多目标混合整数规划模型。

4. 通过多目标优化技术,模型将各种相互促进和制约的相关因素连成一个有机的整体,即变“树木”为“森林”,使决策者可通过宏观经济水规划多目标决策分析模型的操作、运行结果看到问题的全貌。因此,该模型是整个系统的核心控制模型。

5. 区域水资源规划往往包括许多相对独立的行政区。因此,各子区模块的划分应尽量与行政区划分协调一致。这样,不仅便于决策者协调国家利益和地区利益,也便于建模所需基础数据资料的取得。

## 三、模型的结构和组成

### (一) 多目标的组成

多目标分析的首要问题就是确定所研究问

注:本方法的研究得到陈志恺教授, Ronald North教授的帮助和指导。参加本方法研究的人员还有:Antonie Stam, Jag E. Aronson、孙礼照、李玲跃、叶建圃、方松美、何俊峰、胡冉等。

题的目的 (Goal) 和反映目的的适当目标(objective)。区域水资源开发利用和管理的总目的就是为了满足规划区域国民经济发展、环境质量改善和人民生活水平的提高。目的所要求的结果可以用多种目标来描述。但是,由于区域水资源系统往往是一个多目标、多效益、多矛盾的系统,与系统紧密相关的部门和团体都各自有不同的利益要求和期望目标,而这些要求和目标往往是相互矛盾、相互竞争和不可公度的。考虑到不使模型规模过分庞大,目标个数的选择不可过多,一般以3~4个为宜。因此,对目标的选择应持以谨慎的态度,耐心地听取、研究各方面的意见和要求,并从中抽取共同要求和希望,集成为几个目标。如,在华北宏观经济水资源规划多目标分析模型中,仅选择了国民生产总值(GNP),生物化学需氧量(BOD),粮食总产量,城镇就业率4个目标为系统总目的4个目标追求值。下面将简要介绍这4个目标的选择及其子模块的构成。

### (二) 宏观经济子模块的组成

为了实现国家和地区经济实力增长、人民生活水平提高、生活条件改善这一目的,必须保持国民经济持续、稳定、平衡、高速地发展,选用国民生产总值最大这个国际上常用的宏观经济指标来反映国民经济增长的情况是适宜的。当然,也可选用其他宏观经济指标,例如国民收入最大,来作为反映宏观经济的目标。

与国民生产总值最大这一目标相关的约束条件一般有:

- 国民经济各部门产值与GNP值的关系;
- 国民经济各部门间投入产出结构关系;
- 国民经济各部门最终需求上、下限以及不同时段间的发展变化关系。最终需求一般包括居民消费、社会消费、固定资产积累、流动资本积累、经济出口和进口;
- 投资、费用与政府政策间关系。不同的投资政策将对国民经济各部门的发展有极大的影响;
- 投资、费用与国民生产总值、国民收入、财政收入以及建设总投资等因素间的关系;

·不同地区、不同时段所希望达到的GNP水平;

.....

这些约束条件和目标将构成总模型中宏观经济子模块。

### (三) 环境目标子模块的组成

经济的高速发展与环境质量的改善已成为世界所关心的问题。就区域水资源规划来说,如何处置工业、生活排放的污水,提高水环境质量,防止水污染,已成为人们在发展工农业生产的同时不得不考虑的问题。反映水体被污染程度的指标较多,但与经济发展关系最密切的指标是排放的污水中有机物的浓度,它们有生物化学需氧量(BOD),化学需氧量(COD),总有机碳(TOC)和总需氧量(TOD)。而生物需氧量(BOD)是一项具有普遍意义的水体污染程度的指标。国际上很多国家在进行污染负荷评价时,都把BOD作为一项主要指标。因此,选人均BOD最小为环境目标的具体指标值是适宜的。

与人均BOD负荷量最小这一目标相关的约束条件一般有:

- BOD负荷排放量与各部门工业产值之间的关系;
  - BOD负荷排放量与农业生产之间的关系;
  - BOD负荷排放量与城镇生活用水之间的关系;
  - BOD负荷削减量与污水处理措施及投资之间的关系;
  - 不同时段BOD负荷排放量与削减量的变化关系;
  - 不同地区人均BOD负荷希望达到的水平;
- .....

这些约束条件和目标将构成总模型中环境质量子模块。

### (四) 粮食目标——农业经济结构子模块

粮食生产是我国一个重大的战略问题,它涉及到政治稳定、经济发展、社会保障等许多方面的政策问题。选取人均粮食占有量最大作为总模型的追求目标之一,其意义不仅在于保障

农业经济的稳定发展,而更主要的意义在于社会需求的基本保障,是作为社会福利的目标之一加以考虑。“民以食为天”,尤其在华北地区,是我国粮棉生产的重要基地之一,又是我国人口稠密地区,如果没有足够的粮食保障供给,也就很难保证经济的稳定发展和社会的安定。

与人均粮食产量最大这一目标相关的约束条件一般有:

- 农业结构,即农、林、牧、副、渔产业结构关系的协调。种植业结构又包括水稻、小麦、玉米、蔬菜、经济作物的结构;
- 粮食作物与经济作物结构关系;
- 耕地面积和灌溉面积的变化;
- 各种粮食作物单位产量与价格的变化;
- 不同地区和阶段人均粮食占有量的期望水平;
- 粮食的调入与调出;
- .....

这些约束条件和目标将构成总模型中农业经济结构子模块。

### (五) 就业模块——社会福利子模块

就业是反映保障人民生活和社会安定的重要社会福利指标。在宏观经济学中常把充分就业作为政府努力追求的目标之一。由于我国正处于从计划经济向市场经济的过渡阶段,就业和社会保险的机制还不健全,也缺乏统计数据,因此在近阶段仅考虑城镇就业指标是适宜的。在城镇就业人口中,应包括城镇常住人口,也包括在城镇就业的农村流动人口。

构成就业目标的主要约束条件有:

- 国民经济和部门产值与提供就业机会之间的关系;
- 就业人口的构成关系,包括城镇劳动力和流动的农村劳动力;
- 不同地区和时段的就业目标的期望水平;
- .....

这些约束条件和目标将构成总模型中的社会福利子模块。

### (六) 模块间的有机组合和总模型的构成

上述各个子模块间不是彼此孤立的,在它

们之间存在着相互促进与制约的复杂关系,而这些促进与制约关系又都与水资源相联系,同时还受到水资源系统的控制和约束。水资源系统对各子模块的约束条件一般有:

- 城市供水系统的供需平衡约束;
- 农村供水系统的供需平衡约束;
- 城市和农村供水的调配的约束;
- 污水的处理和利用与城市、农村供水系统容量扩大的关系;
- 径流的不确定性对供水变化的影响;
- 投资与供水工程建设和容量扩大的关系;
- 供水系统中工程措施和非工程措施与系统容量扩大的关系;
- 跨流域调水工程的投资分摊及分水关系;
- .....

通过各子模块所选定的目标和模型有关的约束条件,以及水资源系统的供给和制约关系,建立的宏观经济水资源规划多目标决策分析模型,将宏观经济、环境、社会福利和水资源的开发利用形成有机的整体,以描述或预测未来的

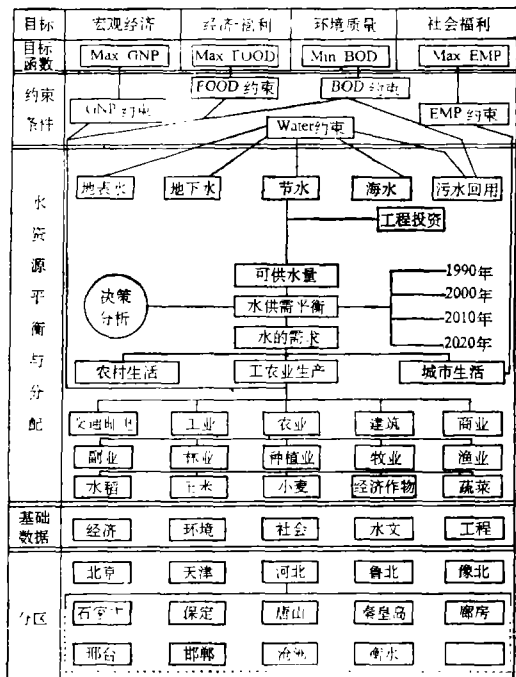


图1 华北水资源规划多目标决策分析模型结构关系

宏观经济/环境与水资源开发利用的期望行为。图1为华北水资源规划多目标决策分析模型的结构关系。

#### 四、模型的切比雪夫 (Tchebycheff) 解法

##### (一) 切比雪夫法的基本方程

切比雪夫多目标求解原理是美国乔治亚大学(The university of Georgia) Steuer教授提出的。它的数学表达式如下:

$$\text{目标函数:} \\ \text{Minimize } \left\{ \alpha + \rho \cdot \sum_{j=1}^k (z_j^{**} - z_j) \right\} \quad (1)$$

$$\text{约束条件:} \\ -z_j + f_j(x) = 0 \quad 1 \leq j \leq k \quad (2)$$

$$x \in S \quad (3)$$

$$\alpha - \lambda_j (z_j^{**} - z_j) \geq 0 \quad 1 \leq j \leq k \quad (4)$$

$$d \geq 0 \quad (5)$$

$$Z_j \text{ 无限制变量} \quad 1 \leq j \leq k \quad (6)$$

式中,  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  为决策变量,  $n$  为决策变量数;  $S \in R^k$  为决策变量的可行空间;  $Z = (Z_1, \dots, Z_k)^T$  为  $K$  个目标函数;  $Z^{**} = (Z_1^{**}, \dots, Z_k^{**})^T$  为“超理想点值”,  $Z_j^{**} = z_j^* + \varepsilon_j$ ;  $z_j^* = (z_1^*, \dots, z_k^*)^T$  为理想点值;  $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_k)^T$  为某一正数,  $\varepsilon \geq 0$ ;  $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_k)^T$  为切比雪夫权重, 即目标权重,  $\sum \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0$ 。

在用切比雪夫法求解上述模型时, 必须首先求“更好理想点值”, 即  $Z_j^{**} = Z_j^* + \varepsilon_j$  值。引入  $\varepsilon_j \geq 0$  为极小量的作用是在目标属性空间中理想点  $Z_j^*$  移动一个很小的  $\{\varepsilon_j\}$  距离, 可以得到一个“超的理想点”  $Z_j^{**}$ , 这样在应用切比雪夫方法时更容易得到满意解。在选择  $\varepsilon_j$  值时, 可采用下列经验准则: (1)  $\varepsilon_j = (1\% \sim 10\%) \cdot Z_j^*$ ; (2)  $\varepsilon_j$  取  $Z$  空间中的  $Z_j$  范围的  $1\% \sim 10\%$ 。

在目标函数(1)式中, 包括两部份:  $\alpha$  是“极小最大”变量, 其意义是  $Z_j$  与  $Z_j^{**}$  差值加权后所有数中的最大者, 而模型是按  $\lambda_j (Z_j^{**} - Z_j)$

最小的基本思路来构造的; 在目标函数中增加另一项  $\rho \cdot \sum_{j=1}^k (Z_j^{**} - Z_j)$  的原因是保证得到协调解,  $\rho$  为综合比例系数,  $\rho$  是一个很小的值, 一般可取  $\rho = 0.001 \sim 0.01$  较为合适。

##### (二) 求解过程及算法

多目标切比雪夫决策分析方法是一种交互式的多目标优化解法, 它通过随机分布理论, 抽取若干组偏好结构下的模型解, 并将隐去权重结构的这几组解提供给决策者挑选, 决策者在权衡目标间的得失关系以后, 从中挑选出决策者“第一次满意解”, 切比雪夫过程将以这个解为核心, 进行离散和抽样, 又给出若干个组新的权重结构下的模型解, 供决策者挑选。这种交互过程是反复进行, 直至求出决策者的满意稳定解, 或者再也不可能产生其它的新解为止, 每经过一次交互, 都将诱导入决策者的判断、意愿和偏好于模型求解过程, 并将搜索满意解的空间逐步缩小, 直到求出决策者的满意稳定解为止。因此, 切比雪夫过程能使决策者有充分的机会参与决策过程, 并有效、完整地表达自己的思想、偏好和意愿。

切比雪夫求解过程参见图2。笔者在“华北水资源管理”研究项目中, 完成了这一算法的软件编制工作和决策过程的计算机化工作。

##### (三) 切比雪夫群决策过程

区域水资源规划涉及范围大, 问题复杂, 因此要求区域水资源规划决策的方案应当尽量满足受它影响地区的公众的愿望和要求。公众的愿望和要求通常是通过他们的代表或管理部门来反映。所以, 区域水资源规划问题不仅是一个多目标问题, 而且是一个群决策问题。

Steuer教授建议的切比雪夫方法只涉及到单个决策者的多目标问题, 而未涉及到群决策者的多目标群决策问题。但对区域水资源规划问题来说, 群决策问题是无法绕过的困难。作者的“华北水资源管理”研究项目中, 应用不满意度原理开发和研制了切比雪夫群决策过程的软件, 并实现了决策过程的计算机化, 详见文献[1]。

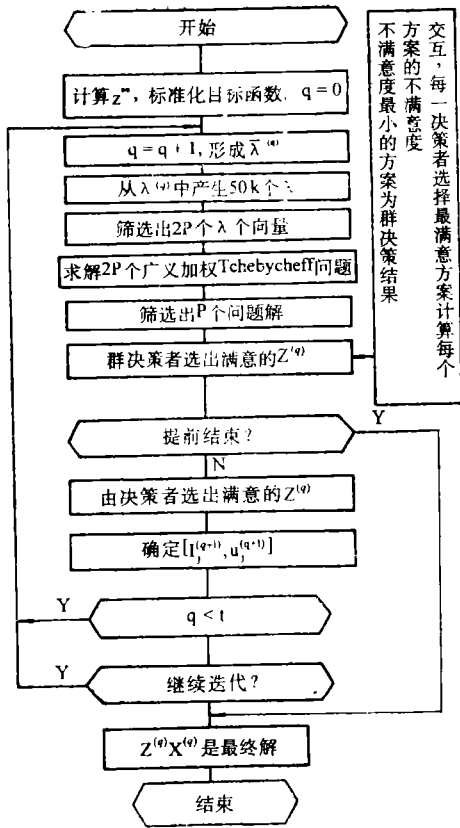


图2 带群决策的交互的切比雪夫决策过程

## 五、宏观经济水资源规划多目标决策分析系统的设计

区域水资源规划涉及到大量经济、环境、社会和资源开发利用等决策问题，这些问题相互关联与影响，是一个复杂的决策过程。宏观经济水资源规划多目标决策分析方法的提出，是依据系统论的观点，从宏观层次上统一考虑水资源开发与区域经济、环境与社会发展的协调关系。它改变了过去水资源区域规划中对经济、社会和环境因素有不同程度的割裂做法。因此，新方法的特点是从系统论的观点出发，建立以宏观经济水资源规划多目标决策分析模型为核心的决策支持系统。它是以区域宏观经济水资源问题为中心，以辅助决策者为宗旨，帮助决策者进行区域水资源规划的科学决策。

### (一) 系统的总体结构

宏观经济水资源规划多目标决策分析系统

为一交互式结构，一般由5个子系统组成，即：

- (1) 决策协商子系统；
- (2) 对话子系统；
- (3) 数据库子系统；
- (4) 模型库子系统；
- (5) 方法库子系统。

图3为华北宏观经济水资源规划多目标决策分析系统总体结构框图。

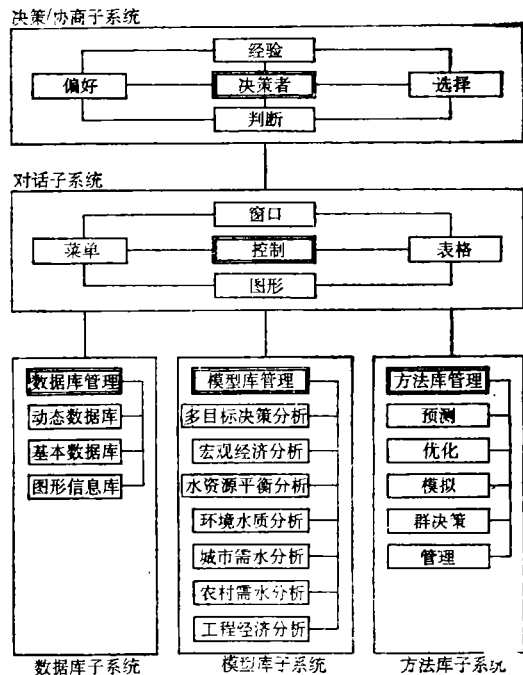


图3 华北水资源规划多目标决策系统总体结构

### (二) 模型库的设计

图3中系统的模型库中共有7个模型，各模型的功能如下：

(1) 多目标决策分析模型MOA——进行区域宏观经济、环境、社会与水资源开发利用协调发展策略分析模型，是系统的核心模型，也是系统中唯一的全局性模型。

(2) 宏观经济模型MEM——配合MOA模型，进行各子区逐年经济发展状况的细部模拟与分析。

(3) 水供需平衡模型WSM——在MOA得到经济发展及水资源开发的优化策略后，WSM模型将配合MOA进行逐时段水的供需平衡模拟，以评估该策略的风险性，

(4) 水质模拟模型WQN——根据MOA模型的全局优化结果，进一步配合MOA进行城

市中水环境容量的细部模拟,以提供更多的指标供决策者参考。

上述4个模型为系统的主要模型,它们以MOA模型为核心,相互间进行有机的配合。而其余3个模型,即工业需水预测模型(IWD)农业需水预测模型(AWD),水利工程经济评价模型(EEA)为系统的辅助模型。

## 六、结 语

本文提出的宏观经济水资源规划多目标决策分析方法和思想是为水资源管理的负责人员与规划人员提供了一套宏观经济水资源规划的新方法和新思路。它将水资源规划和管理问题纳入有关经济/环境系统中进行整体研究,模型包含了政府政策、社会需求、水环境质量需求、经济发展、人口变化、资金需求,以及在地理上与时间上谋求资源供需平衡对策等主要问题,是进行区域水资源宏观规划值得推广的一种方法。

### 参考文献

1. Research Center of North China Water Resource. "Final Report of Water Resources Management in North China", UNDP CPR / 88 / 068, Oct., 1993.
2. Steuer, R.E. "Multiple Criteria Optimization: Theory Computation and Application", Wiley, New York NY, 1986.
3. Young, Robert A. & S. Lee Gray. "Input-output Models, Economic Surplus and the Evaluation of State Regional Water Plans," Water Resources Research, Vol. 21, No. 12, Dec. 1985.
4. Roges Peter, Christopher Hurst and Nagaraja Hanshadeep, "Water Resources Planning in a Strategic Context: Linking the Water sector to the National Economy", Water Resources Research, Vol. 29, No. 7, July 1993.
5. 姚汝祥,翁文斌等,水资源系统规划与分析,水利电力出版社,1989.

# 流域规划是江河开发和治理的灵魂

太湖流域管理局

黄宣伟

## (一) 前言

人类的发生、发展和生存条件离不开江河,因此江河被誉为各民族的母亲,而水被称之为人类的乳汁。自从人类有思维以来,对江河的利用(利)和防范(害)都有所考虑。我国自传说中的夏禹治水以来,历代对治水方略都十分重视,这就是规划。例如太湖流域,在《禹贡》中被称为“下下”之地,以湿下为害(即现称为洪涝灾害)。历史上防洪问题一直是太湖流域掌管者的头等大事。历任苏州太守(或知府),凡有建树者都重视治水规划和治水工程,如苏轼、范仲淹、林则徐等。太湖流域的治水方略在历史上争论了一千多年,建国以来,又争论了二十多年,终于在1985年达成统一的认识,为1991

年大灾后迅速开展治理工程,作了基本的准备,使治理工作进度加快,治理中不再因为规划问题扯皮而误战机。现在太湖治理工程正在进展,人们的精力大部份都集中到设计和施工中去,这是完全必要的,也是规划的目的。在新的阶段,规划工作怎么办?我以为:(1)要总结经验,提高对规划的认识,巩固已批准的规划的法律地位;(2)规划工作要波浪式前进,通过调查发现新的问题,充实、补充、完善原有规划。在当前有必要进一步强调规划工作,以防止重蹈覆辙,轻视规划,一哄而上。

## (二) 不重视规划的种种教训

1. 不做全面的流域规划,急于建设,以简单的选点报告代替流域规划,结果全流域的