

区域可供水资源优化分配与产业结构调整

——大系统逐级优化序列模型

贺北方

(水利系)

提 本文从区域水资源开发系统的特性出发,提出了大系统逐级优化序列模型。文中建立了以充分利用区域可供水资源为前提,以区域社会经济发展规划指标为目标的多级递阶多目标优化模型。通过对产业结构的调整和区域可供水资源在各子区及各用水部门间的优化分配,可以促进区域社会经济的协调发展。

关键词: 水资源优化分配, 目标规划

1 区域可供水资源优化分配

区域水资源开发系统,系指以经济区为边界的供水系统(或称水资源系统)、用水系统、排水系统、循环系统,(包括冷却循环系统、净化处理系统、输水系统等)的总称。

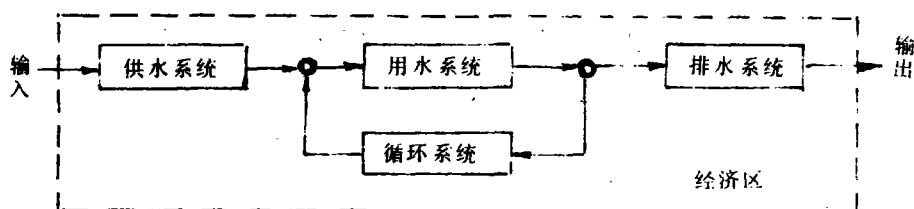


图1 区域水资源开发系统示意图

进行区域水资源开发系统的研究,是为了合理地利用水资源,寻求整个区域的供需水的最佳动态平衡,使区域的社会经济发展处于对水资源的最佳利用状态。

区域水资源量,是指整个区域逐年可以得到更新和恢复的淡水量。包括区域内的地表水、地下水及允许利用的本区内河段的过境水。它是该地区不可替代的、宝贵的自然资源。

区域可供水量(即可供水资源量),系指在不同水平年,不同保证率,考虑可能的需求要求并通过一定的工程设施而提供的水量。

随着区域社会经济的发展,需水量逐年增加,因而要求不同工程设施(蓄、引、提、调、井等)的供水能力相应提高而与之适应。但是,供水能力的提高,往往受到经济、技术、自

然条件等方面的制约,受区域水资源总量的限制。因此,在一些地区供需矛盾日益深化,水资源不足已成为这些地区社会经济发展的制约因素。如何使这宝贵的、有限的、不可替代的水资源得到充分合理地利用,使其能促进区域社会经济的发展,保障社会经济、生态环境的良性循环,是个普遍关注且急待解决的课题。这就是本文所要探讨的区域可供水资源优化分配问题。

区域可供水资源优化分配,应以区域水资源量为前提,以促进区域社会经济的协调发展、获得尽可能大的综合效益为目标,使有限的可供水资源得到充分、合理地利用。具体说,应包括以下内容:

- (1) 使区域社会经济的发展规划目标与区域可供水资源及其它资源(能源、资金、原材料、劳力)等客观条件相适应,以此进行产业结构调整;
- (2) 将区域可供水资源在各子区域间、各用水部门间进行最优分配;
- (3) 使各水源对各用水户的供水,在时程上(年际、年内)处于最佳运行状态;
- (4) 在多种水源联合供水时,寻求各种水源的最优分配比例,达到最优的供需水布局。

2 大系统逐级优化序列模型

区域水资源开发系统,是一个复杂的大系统 其特点是:

2.1 它兼有“条”、“块”特性 如豫西地区(京广线以西的河南省西部地区)有七个经济区,辖九个子区域五十二个县。区域内流域面积为100平方公里以上的河流有241条,其中一万平方公里的河流有9条,分属江、淮、黄、海四大流域。对这样一种区域性水资源系统进行开发利用研究,既要考虑到行政、经济区划,又要考虑不同水系、不同河流的特点,因此必须运用系统科学的理论和方法。

2.2 区域水资源开发系统,是一个递阶控制系统。在结构上具有明显的递阶层次结构:

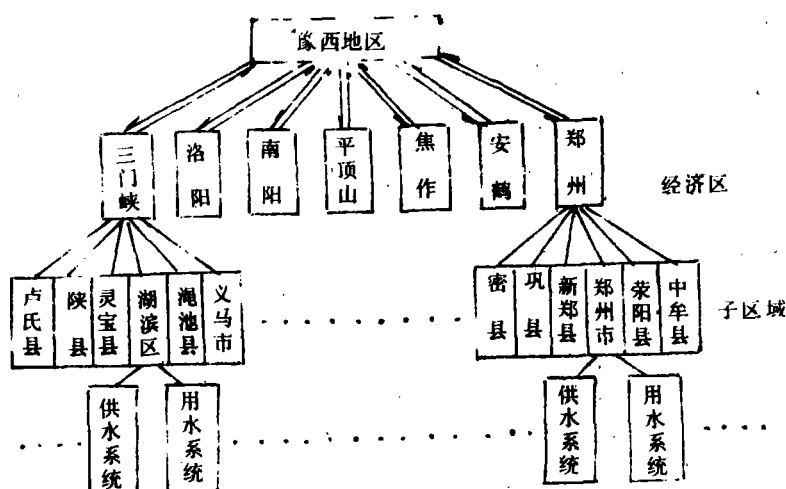


图2 豫西地区水资源开发系统层次结构图

2.3 各水源工程只能通过一定的输水设施与一定范围内的用水户相联系, 绝不能笼统地将某一水源的可供水量随心所欲地向各用水户分配水量。这一点, 与电力系统中电力供需及负荷分配有明显区别。

由上可见, 区域可供水资源优化分配问题, 是时、上和空间上的多维优化问题。具有多层次、多目标、多关联、随机、动态等特点。按照大系统优化理论, 将此问题分解为两个逐级优化序列模型:

第一个模型, 即本文的“区域可供水资源优化分配与产业结构调整”模型。其目的在于把规划水平年(如2000年)区域可供水量在各子区及各用水部门间进行最优分配, 并调整产业结构合理, 使区域社会经济的发展速度和规模与该区域的水资源等客观条件相适应。

第二个模型, 是另文研究的“区域可供水资源月优化调配及供需布局模型”。它是在第一个模型输出的子区可供水量 W_k^* 及经产业结构调整后的各子区的年优化产值(或产量) X_{kj}^* 已知的前提下, 寻求子区内各水源工程向各用水户供水的逐月最优运行过程, 并得到最优供水布局。

两模型间以序列方式进行逐级优化, 既有联系, 又相互独立。这不仅圆满地完成了“优化分配”的四项任务, 而且运用灵活简便。

图3中 $W_k^* = a_k^* + Q_k^*$ 为K子区规划年的可供水量; X_{kj}^* 为K子区第j(j=1, 2, ..., n)个用水部门的规划年的优化产值或产量; u_{Ljn}^t 为K子区第t时段第L水源向第j个用水户供水的供水量; U为决策者根据需要而输入的决策信息。

3 区域可供水资源优化分配与产业结构调整模型

在水资源紧缺地区, 水资源不足已成为社会经济发展的制约因素。因此, 首先应诊断经济区的产业结构及社会经济发展规划目标, 是否与该经济区的可供水资源、资金、能源等客观条件相适应。也就是说, 应以充分利用区域可供水资源为前提, 以经济区有限的资金、能源等为约束, 以经济区发展规划指标为目标, 研究产业结构调整 and 可供水资源的优化分配。

经济区依行政区划分成 $k=1, 2, 3, \dots, K$ 个子区。

各子区规划年的社会经济发展规划已作出, 其工农业总产值、粮食作物产量、人口、各工业部门的发展指标等经预测已知; 各子区规划年不同频率来水时各水源工程的供水能力及可供水量已知; 各子区的用水部门区分为农业用水、工业用水、生活用水及其它用水四类, 其层次结构如图4。

经济区优化模型为:

$$\text{目标函数: } \max z = \sum_{k=1}^K c_k \cdot x_k \quad \text{净产值最大}$$

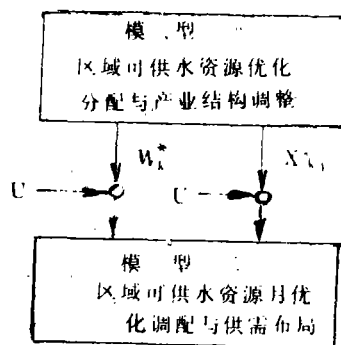


图3 大系统逐级优化序列模型框图

约束条件:

可供水量约束:

$$A_1X_1 + A_2X_2 + \dots + A_kX_k + \dots + A_KX_K = a \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} B_1X_1 &= Q_1 \\ B_2X_2 &= Q_2 \\ &\vdots \\ B_kX_k &= Q_k \\ &\vdots \\ B_KX_K &= Q_K \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

其它资源资金约束:

$$\sum_{k=1}^K p_k \cdot X_k \leq G_i + b_i \quad (4)$$

需水量约束:

$$D_k^u \geq X_k \geq D_k^l \quad (5)$$

其它约束:

$$X_k \in R_k \quad (6)$$

非负约束:

$$X_k \geq 0 \quad (7)$$

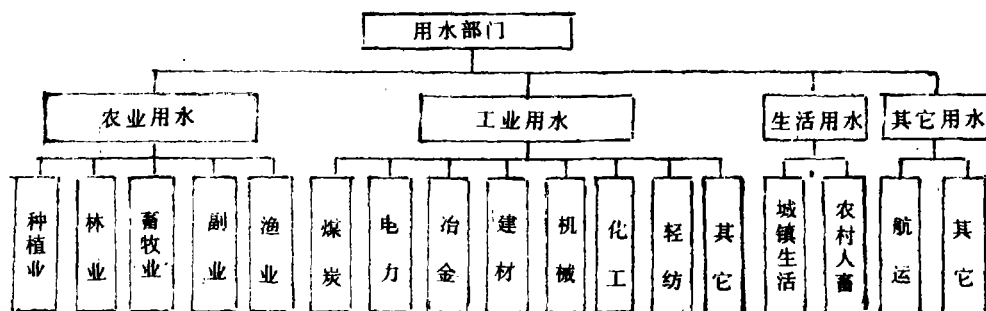


图4 用水部门层次结构图

式中 $C_k = (C_{k1}, C_{k2}, \dots, C_{kn})$ 为 k 子区 n 个用水部门的净产值系数向量, $X_k = (x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn})^T$ 为 k 子区 n 个部门的产值或产量, 为 n 维决策向量; A_k, B_k 分别为 k 子区各用水部门生产单位产品消耗公用水资源量、本区水资源量的系数行向量, 亦即各用水部门的用水定额; a, Q_k 分别为经济区公共可供水资源量及本区可供水资源量; G_i 为经济区第 i ($i = 1, 2, \dots, m$) 种公用资源 (能源、资金、原材料等) 的拥有量; $b_i = \sum_{k=1}^K b_{ki}$, 而 b_{ki} 为 k 子区 i 种资源的可能供给量; D_k^u, D_k^l 分别为 k 子区 n 个部门规划指标的上下限; p_k 为第 k 个子区第 i 个部门生产单位产品需要第 i 种资源量的系数矩阵。即

$$p_k = (g_{ij}^k)_{m \times n}$$

上述经济区的优化模型, 不仅规模较大, 而且由于各子区耦合约束 (式 (2), (4)) 的存在, 使模型求解比较复杂。根据大系统优化的分解协调技术, 建立如下的二级递阶多目标优化模型。

采用模型协调法 (或称可行法)。此法是对耦合约束中的变量进行初步分配, 以便系统分解; 然后再协调分配量, 以实现系统总体最优。

3.1 第一级优化

依行政区划将经济区分成 K 个子区, 作为第一级。该级是在第二级 (协调级) 给定的公

用资源预分值: $\sum_{k=1}^K a_k = a$, $\sum_{k=1}^K C_{ki} = G_i$ 的前提下, 进行各子区优化。采用多目标优化技术中的

目标规划法 (Goal programming)。

第 k 个子区的目标规划模型如下:

$$\text{目标函数: } \min f = p_1(d_{k1}^- + d_{k1}^+) + p_2(d_{k2}^- + d_{k2}^+) + p_3(d_{k3}^- + d_{k3}^+) + p_4[\omega_{k4} \cdot d_{k4}^- + \omega_{k5} \cdot d_{k5}^-] + p_5(\sum_{t=6}^{18} \omega_{kt} \cdot d_{kt}^-)$$

目标约束:

$$\text{可供水资源} \quad \sum_{j=1}^{16} (A_{kj} + B_{kj}) \cdot X_{kj} + d_{k1}^- - d_{k1}^+ = a_k + Q_k \quad (9)$$

$$\text{粮食产量} \quad X_{k1} + d_{k2}^- - d_{k2}^+ = D_{k1} \quad (10)$$

$$\text{生活用水} \quad \frac{1}{\rho_{k15}} \cdot X_{k15} + d_{k3}^- - d_{k3}^+ = D_{k15} \quad (11)$$

$$\text{农业总产值} \quad \sum_{j=1}^2 \rho_{kj} \cdot X_{kj} + \sum_{j=3}^6 X_{kj} + d_{k4}^- - d_{k4}^+ = A_{gk} \quad (12)$$

$$\text{工业总产值} \quad \sum_{j=7}^{14} X_{kj} + d_{k5}^- - d_{k5}^+ = I_{nk} \quad (13)$$

$$\text{其它部门产值} \quad X_{kj} + d_{kt}^- - d_{kt}^+ = D_{kj}^L \quad (j = 2, 3, \dots, 14; t = 6, 7, \dots, 18) \quad (14)$$

系统约束

$$\text{资金及其它资源} \quad \sum_{j=1}^{16} g_{tj} \cdot X_{kj} \leq G_{ti} + b_{ki} \quad (15)$$

$$(i = 1, 2, \dots, m) \quad (16)$$

$$\text{交通及输水能力等约束} \quad X_{kj} \in R_k$$

$$\text{非负约束} \quad X_{kj} \geq 0, (j = 1, 2, \dots, 16) \quad (17)$$

$$d_{kt}^-, d_{kt}^+ \geq 0, (t = 1, 2, \dots, 18)$$

式中 p_N 为各目标的优先级, 按目标相对重要性而划分。

且 $p_N \geq p_{N-1}$ ($N = 1, 2, \dots, L$)。 ω_k 为权重系数。 d_{kt}^- , d_{kt}^+ 为偏差变量, 是目标实际达到值与预定目的值间的差距。 a_k 是经济区公用水资源预分给 K 子区的可供水量。 X_{kj} 是 k 子区 j 部门的产值或产量, 为决策变量。 其中 X_{k1} , X_{k2} 分别为 k 子区的粮食及经济作物产量; $X_{k3} \sim X_{k6}$ 分别为 k 子区林、牧、副、渔业的产值; $X_{k7} \sim X_{k14}$ 分别为工业部门的煤炭、电力、冶金、建材、机械、化工、轻纺、其它工业等部门的产值; X_{k15} , X_{k16} 分别为生活用水、其它用水所获得的效益。 D_{kj} 是 k 子区第 j 个部门的规划目标值。 其中, D_{k1} 是 k 子区粮食作物产量的规划目标值, D_{k15} 是 k 子区规划年生活用水的目标值; D_{kj}^L 为 $j = 2, 3, \dots, 14$ 部门规划目标值的下限; A_{gk} 是 k 子区农业总产值的规划目标值; I_{nk} 为 k 子区工业总产值的规划目标值。 ρ_i ($i = 1, 2, 5$) 为粮食作物、经济作物及生活供水的价格。 G_{ki} 是

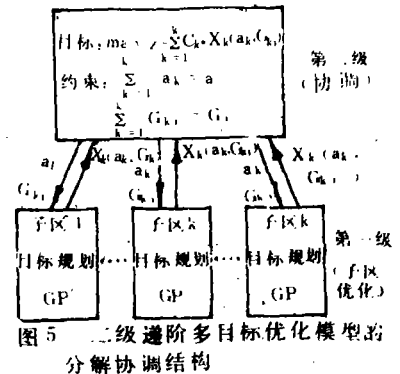


图5 二级递阶多目标优化模型的分解协调结构

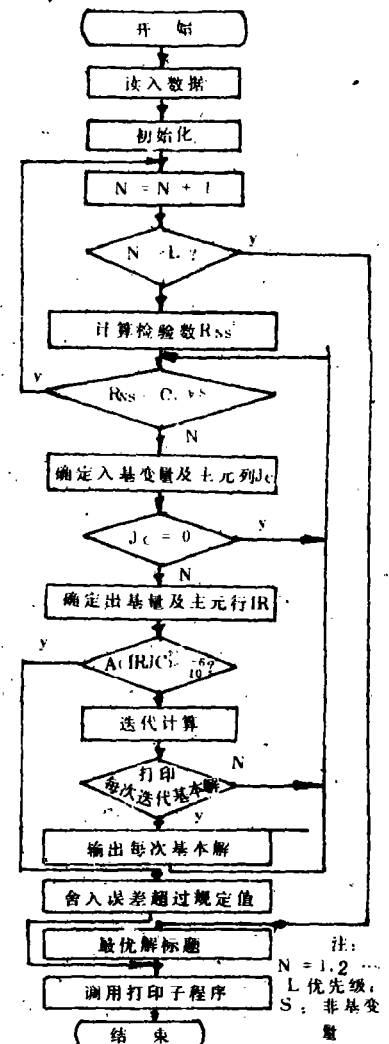


图6 目标规划多阶段算法程序图

经济区公共资源预分给 k 子区的数值; b_{ki} 是 K 子区第 i 种资源的可能供给量。 g_{ij}^k 为 k 子区第 i 部门生产单位产品需要第 j 种资源的数量。

此目标规划模型 (GP), 是在充分利用 K 子区规划年的可供水量 ($Q_k + a_k$)、满足资金、能源等约束条件下, 通过可供水资源在各子区、各部门的优化分配与产业结构调整, 保证粮食产量达到规划目标值; 在节水及控制人口增长的前提下, 保证生活用水的需要; 使工农业总产值达到规划目标值, 其它部门的产值或产量尽可能达到或接近规划目标值。同时, 可根据各目标偏差变量值的信息, 通过调整目标优先级及权系数等办法, 求出不同方案供决策者选择。图 6 即为本文拟用的目标规划多阶段算法的程序框图。其中优先级 P_k 和权系数 ω_{ki} 的确定, 运用了层次分析法 (AHP)。

3.2 第二级协调

第一级各子区求得的局部优化解 X_k , 是公用资源预分值 a_k 、 G_{ki} 的函数, 记为 $X_k(a_k, G_{ki})$ 。这虽然是可行解, 但未必是经济区的最优解。因此, 需将第一级各子区求得的解 $X_k(a_k, G_{ki})$ 反馈到第二级, 进行第二级协调。

第二级协调的任务, 在于求得公共资源在各子区的优化分配。即满足

$$\text{目标函数: } \max Z_k(a_k, G_{ki}) = \sum_{k=1}^K C_k \cdot X_k(a_k, G_{ki}) \quad (18)$$

$$\text{约束条件 } \sum_{k=1}^K a_k = a \quad (19)$$

$$\sum_{k=1}^K G_{ki} = G_i, \quad (i = 1, 2, \dots, m); \quad (20)$$

倘若未达到经济区总体最优, 则不断调整公用资源预分

方案: $\sum_{k=1}^K a_k = a$, $\sum_{k=1}^K a_{ki} = G_i$, 进行第一级各子区的优化。

然后再将 $X_k(a_k, G_{ki})$ 反馈到第二级。这样反复地迭代、寻优、协调, 直至达到经济区总体最优时为止 (满足终止条件)。

该级协调的寻优方法, 可采用线性规划或动态规划法。对于非线性规划问题, 且目标函数可微时亦可采用梯度法。

4 结语

本文以豫西地区的三门峡经济区为对象, 探讨了水资源紧缺地区可供水资源优化分配的建模及求解方法等问题。

运用此模型, 不仅能使区域水资源得到充分合理的利用, 使产业结构合理, 促进经济区社会经济的协调发展及规划目标的实现; 而且能根据各目标偏差变量值的信息, 找出薄弱环节, 明确改进工作的方向和措施。

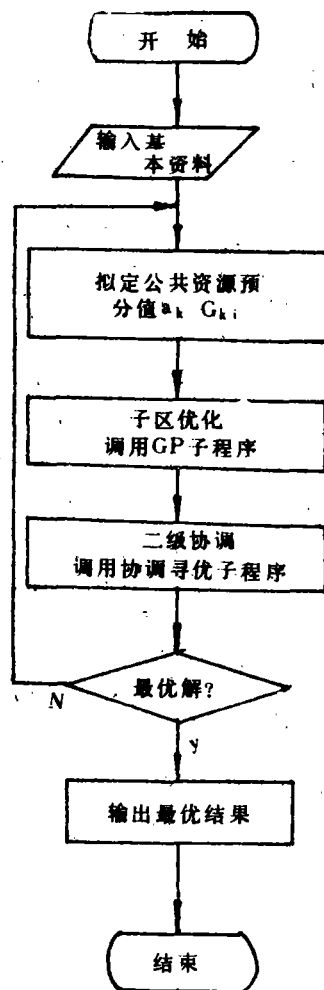


图 7 二级递阶分解协调算法程序框图

参 考 文 献

- [1] 冯尚友, 人系统递阶分析, 武汉水利电力学院, 1980年
- [2] 【美】L. p. 伊格尼齐奥, 单目标和多目标系统线性规划, 闵仲求等译, 同济水
学出版社, 1980年。
- [3] 赵焕鼎等, 层次分析法, 科学出版社, 1980年

Optimum Allocation of Regional Usable Water Resources and Adjustment of Industrial Structure—The Staged Optimum Sequential Model for large Scale Systems

He Beifang

Department of Hydraulic Engineering

Abstract: According to the characteristic of the regional water resource system, in this paper the author put forwards an optimum sequential model stage by stage for a large scale systems and establishes a multiobjective hierarchical optimum model of second stages going on this promise that the regional usable water resources were full used and the objective cor goal is to realize the programming targets of the regional social economic development. The coordinative development of the regional social economy can be realized by means of the adjustment of industrial struture and Optimum allocation of the regional usable water resources among subzone and different user.

Keywords: optimum allocation of water resources; goal programming.