

区域水资源合理配置的多目标博弈决策研究

罗利民¹, 谢能刚², 仲 跃³, 包家汉²

(1. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098 ; 2. 安徽工业大学力学系, 安徽 马鞍山 243002 ;
3. 盐城市水利局, 江苏 盐城 224002)

摘要 :以区域经济发展与水环境保护相协调为目标 ,建立了水资源多目标配置模型 ,并提出了一种基于博弈分析思想的模型求解方法 .求解时将多目标决策设计问题转化为博弈决策问题 ,并采用灵敏度指标及模糊聚类方法将整体设计变量集合分解为各博弈方拥有的战略集 ,建立多目标问题博弈分析的技术路线和计算步骤 ,同时采用了协同进化算法 .盐城市水资源配置决策应用结果表明 ,该方法是可行和合理的 .

关键词 水资源配置 ;多目标 博弈 ;协同进化

中图分类号 :TV211.1 文献标识码 :A 文章编号 :1000-198X(2007)01-0072-05

水既是一种自然资源 ,又是一种环境 .作为一种资源 ,它是可持续发展的基础支持系统要素之一 ,作为一种环境 ,它是可持续发展的容量支持系统要素之一 .随着社会的不断进步和经济的不断发展 ,人们对水的质量和数量的需求也会越来越高 ,而自然界所能提供的可用水资源量是有限度的^[1-3] .因此 ,为了保持经济的可持续发展 ,保障水环境的可持续利用^[4] ,就必须对水资源进行优化配置 .

水资源优化配置^[5-6]是以区域经济发展与水环境保护相协调为目标 ,以环境经济学思想为基础 ,按照最优污染和经济发展水平的观点 ,在公平性和可持续性的基础上 ,对区域中的水资源进行科学配置 .本文在水资源优化配置的过程中将兼顾经济发展与环境保护 ,考虑不同用水经济部门的水资源利用效益、治污水平、节水能力和水价系统等众多的复杂和相互作用的因素 ,在社会、经济、生态三维空间上建立宏观决策系统 .

1 基于经济与环境的多目标水资源配置模型

以 3 个社会产业经济系统的用水量和节水系数作为设计变量 ,以整个社会经济系统的产出和整个水环境系统的废水浓度作为目标函数 ,建立多目标配置模型 ,在模型中考虑污水处理系统和节水调节系统的控制作用 ,相应的数学模型为^[7] :

求设计变量 $Q_i \quad (i = 1, 2, 3)$

使得
$$Z = \sum_{i=1}^3 \left[\frac{Q_i a_i}{q_i} (1 - p_i c_i) - Q_i b_i - Q_i (a_i - 1) k_i \right] \rightarrow \max \quad (a_i > 1) \tag{1}$$

$$J = \frac{Q_{生活} d + \sum_{i=1}^3 \frac{Q_i a_i}{q_i} p_i (1 - f_i)}{Q_{生态}} \rightarrow \min \tag{2}$$

式中 : Q ——各产业经济系统、生活和生态从水环境系统的可调配水资源中分得的用水总量 ,亿 m^3 ; a ——节水系数 ; Z ——经济型目标函数 ; J ——环保型目标函数 ; $i = 1, 2, 3$ ——工业、农业和第三产业经济系统 ; q ——亿元产出需水量 ,万 m^3 /亿元 ; p ——亿元产出污水量 ,万 m^3 /亿元 ; c ——水污染税 ,亿元/万 m^3 ; b ——水费 ,亿元/万 m^3 ; k ——节水处理费用 ,亿元/万 m^3 ; d ——生活废水比例 ; f_i ——污水净化系数 $f_i < 1$.

同时 ,式(1) (2)还必须满足以下约束条件 :

a. 总用水量约束(水环境系统的资源约束)

$$Q_{\text{生活}} + Q_1 + Q_2 + Q_3 - \sum_{i=1}^3 \frac{Q_i a_i}{q_i} p_i f_i \leq [Q_{\text{总}}] \tag{3}$$

$$Q_2 \geq [Q_2] \tag{4}$$

式中 $[Q_{\text{总}}]$ ——从水环境系统中扣除生态用水量后的可调配水资源总量 $[Q_2]$ ——农业产业系统必须保障的最低用水量。

b. 水资源管理系统的投入-收益平衡约束

$$Q_{\text{生活}} b_{\text{生活}} + \sum_{i=1}^3 \left(\frac{Q_i a_i}{q_i} p_i c_i + Q_i b_i \right) \geq G \tag{5}$$

式中 G 为水资源管理系统的整体投资,包括对水环境系统保护、开发和管理的投入,对污水处理系统的建设投资以及对节水调节系统的引导性投资等。

c. 农业产业系统产值约束

$$O_{\text{GDP}_2} \geq \frac{PF_p F_c}{O_f / O_a} \tag{6}$$

式中 O_{GDP_2} ——农业产业经济系统产值; P ——总人口; F_p ——人均粮食; F_c ——粮食单价; O_f ——粮食产值; O_a ——农业总产值。

2 多目标博弈决策分析

2.1 多目标博弈方法

博弈问题的标准式表述包括^[8] (a) 博弈方 (b) 每一个博弈方可供选择的战略集 (c) 针对所有博弈方可选择的战略组合,每一个博弈方的得益。

从博弈观点来看,多目标问题具有以下特点 (a) 多目标决策设计问题的本质类同于博弈决策问题; (b) m 个设计目标可视为博弈问题的参加者即 m 个博弈方 (c) 设计变量集合 X 可视为所有博弈方的战略集组合 S ,设计变量的可行域可视为战略组合的可行空间,利用一定的技术手段将设计变量集合 X 分解为各博弈方拥有的战略集 $S_1, \dots, S_m$ (d) m 个目标函数的响应值可视为相应博弈方在博弈中的得益 (e) 多目标问题中约束条件可视为博弈问题的约束条件。因此,多目标设计问题的博弈描述为

$$G = \{S_1, \dots, S_m; F_1, \dots, F_m\} \tag{7}$$

$$S_1 = \{x_i, \dots, x_j\}, \dots, S_m = \{x_k, \dots, x_l\}$$

式中 $S_1, \dots, S_m$ —— m 个博弈方的战略集,并满足

$$S_1 \cup \dots \cup S_m = X \quad S_a \cap S_b = \emptyset \quad (a, b = 1, \dots, m; a \neq b)$$

基于博弈论的多目标博弈决策方法与基于数学规划理论的多目标优化方法之间的技术区别如图 1 所示。

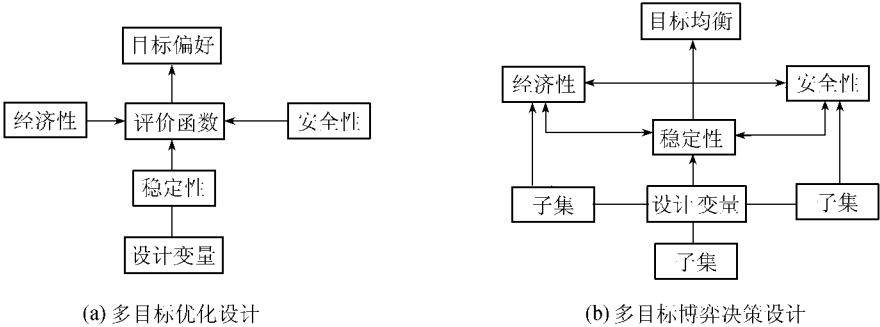


图 1 技术区别

Fig.1 Technique difference

2.2 博弈方战略集的计算

如何将多目标问题转化为博弈问题进行分析,关键技术在于将设计变量集合 X 分解为各博弈方拥有的战略集 $S_1, \dots, S_m$. 本文采用的方法是分别计算 m 个博弈方对各设计变量 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 的灵敏度,并对灵

表 1 盐城市 2010 年有关参数预测

Table 1 Predicted data for Yancheng City in 2010

项目	亿元产出 需水量/万 m ³	亿元产出 污水量/万 m ³	水费/ (元·m ⁻³)	水污染税/ (元·m ⁻³)	节水处理 费用/(元·m ⁻³)	污水净化 系数
农业	1943.2	132.8	0.03		0.007	
工业	112.6	64.7	1.45	0.54	1.17	0.21
三产	115.6	55.6	1.80	0.43	1.42	0.26

3.2 计算结果

协同进化计算结果见图 3.表 2 列出了有关 Nash 均衡解的计算成果.

从博弈结果可以看出,按照 Nash 均衡解 1 的决策,2010 年盐城市工业、农业和三产总用水量将达到 29.201 亿 m³,经济目标函数值为 914.186 亿元,环保目标函数值为 0.781 86,产业结构比例达到 12.8:43.2:44.0.按照 Nash 均衡解 2 的决策,2010 年盐城市工业、农业和三产总用水量将达到 30.771 亿 m³,经济目标函数值为 891.634 亿元,环保目标函数值为 0.772 98,产业结构比例达到 15.3:25.8:58.9.因此,2 个决策都是较小水资源用量的发展规划,但对产业结构的调整要求高,第三产业的发展是重点.

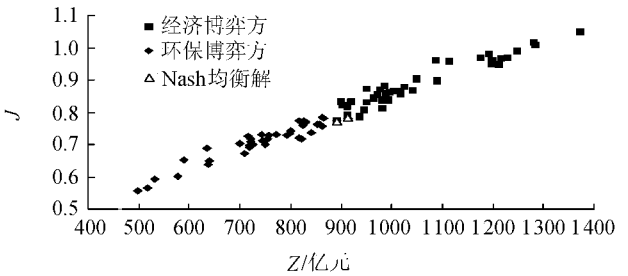


图 3 协同进化计算结果

Fig.3 Calculated results of co-evolution

表 2 Nash 均衡解对应的设计变量及有关产值

Table 2 Corresponding production values and design variables by Nash equilibrium

Nash 均衡解	农业			工业			三产		
	Q_1 /亿 m ³	产值/亿元	a_1	Q_2 /亿 m ³	产值/亿元	a_2	Q_3 /亿 m ³	产值/亿元	a_3
1	21.186	116.738	1.077	3.767	395.382	1.205	4.248	402.066	1.120
2	23.075	136.791	1.158	2.375	229.709	1.111	5.331	525.134	1.165

4 小 结

2005~2010 年期间将是盐城市经济快速发展时期,经济发展必然带动用水量和排污量的增加,但从盐城市的现有水资源总量和水生态环境看,仍难以适应盐城市社会经济可持续发展的要求,因此应按以下要求进行水资源优化配置:(a)必须保证生态用水量不低于水资源总量的 15%;(b)加强产业结构调整,大力发展第三产业;(c)依靠科技进步,加强节水技术设施的建设,推广应用节水新技术、新设备、新工艺;(d)进一步提高工业和第三产业的治污水平.

参考文献:

[1] 杨奎.优化水资源配置 为经济社会发展提供支撑和保障[J].中国水利,2006(11):14.
[2] 矫勇.关于水资源配置与节水型社会建设[J].中国水利,2005(13):21-22.
[3] 王浩,汪林.水资源配置理论与方法探讨[J].水利规划与设计,2004(3):50-56.
[4] 钱正英.中国水资源战略研究中几个问题的认识[J].河海大学学报:自然科学版,2001,29(3):1-7.
[5] 王济干,张婕,董增川,等.水资源配置的和谐性分析[J].河海大学学报:自然科学版,2003,31(6):702-705.
[6] 钟平安,王会容,刘静楠,等.深圳市水资源系统优化调度模型研究[J].河海大学学报:自然科学版,2003,31(6):616-620.
[7] 王西琴.水环境保护与经济发展决策模型的研究[J].自然资源学报,2001,16(3):269-274.
[8] 谢识予.经济博弈论[M].上海:复旦大学出版社,2002:18-22.
[9] 陈琪锋,李晓斌,戴金海,等.导弹总体参数优化设计的合作协同进化 MDO 算法[J].国防科技大学学报,2001,23(5):9-12.
[10] 盐城市人民政府.2001 年盐城年鉴[M].北京:方志出版社,2001.
[11] 盐城市水利局.盐城市水利发展“十五”计划和到 2010 年规划报告[R].盐城:盐城市水利局,2000.
[12] 盐城市水利局.盐城市城市水资源规划报告[R].盐城:盐城市水利局,2003.
[13] 盐城市水利局.盐城市水稻高产节水灌溉技术总结报告[R].盐城:盐城市水利局,2001.

[14] 江苏省地质环境监测总站. 盐城市地下水资源调查评价报告[R]. 盐城: 盐城市水利局, 1997.

Multi-objective game decision-making for rational allocation of regional water resources

LUO Li-min¹, XIE Neng-gang², ZHONG Yue³, BAO Jia-han²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. School of Mechanical Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan 243002, China;

3. Yancheng Water Conservancy Bureau, Yancheng 224002, China)

Abstract: With the coordination between local economic development and water environment protection taken as an objective, a multi-objective water resources allocation model was developed, and a solving method based on the game theory was proposed. In this method, the problem of multi-objective decision-making for model design was converted into that of game-based decision-making, and the integral design variable set was decomposed into the strategic set of each game player in terms of the sensitivity index and the fuzzy cluster method. Furthermore, the technical route and calculating steps for game analysis of multi-objective problems were established by using the arithmetic of co-evolution. The feasibility and reasonability of the present method were verified by its application to decision-making for water resources allocation of Yancheng City.

Key words: water resources allocation; multi-objective; game; co-evolution

欢迎订阅 2007 年《水资源保护》

全国中文核心期刊 中国科技核心期刊

《水资源保护》是河海大学和环境水利研究会主办的科学技术期刊. 本刊 1985 年创刊, 统一刊号: CN32-1356/TV, 现为全国中文核心期刊、中国科技核心期刊和江苏省一级期刊, 国内外公开发行.

《水资源保护》主要刊登与水资源保护有关的基础研究、应用技术、工程措施、综合述评、专题讲座、国外动态、书刊评介、科技简讯、水资源管理、评价、监测、优化配置、节水技术、水环境污染控制等方面的文章. 近年来, 本刊重点关注与水有关的生态环境领域中的研究方向, 新增设相关的基础研究、防治技术、城市水环境治理等内容.

主要读者对象: 全国从事与水资源保护工作有关的工程技术人员、科研人员、管理干部以及大专院校的师生.

《水资源保护》邮发代号 28-298, 双月刊, 8 元/期, 全年 48 元, 每逢单月 30 日出版. 欲订购者, 请向当地邮局订购. 若无法从邮局订阅, 亦可与编辑部联系索取征订单.

地址 210098 南京市西康路 1 号 河海大学《水资源保护》编辑部

电话 (025) 83786642 传真 (025) 83786642

电子信箱 bh@hhu.edu.cn