网络出版时间:2013-05-02　10:56
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130502.1056.036.html

基于博弈论的水资源保护补偿机制研究

黄俊铭[1],解建仓[1],张建龙[2]

(1 西安理工大学 教育部西北水资源与环境生态重点实验室,陕西 西安 710048;
2 山西省水利建设开发中心,山西 太原 030002)

[摘　要]　【目的】建立基于博弈论的水资源保护补偿机制,为制定科学的补偿政策提供支持。【方法】运用博弈理论,建立基于政府参与协商调节的流域水资源保护补偿博弈模型,利用遗传算法对模型进行求解,并以泉州市晋江流域为例,对模型进行验证。【结果】该模型的建立及应用,晋江上游地区可获得 5.418 亿元的经济补偿,用于保护水资源;下游地区可解决 2.8 亿 m^3 的缺水,创造 52.674 亿元的经济效益。【结论】所建立的流域水资源保护补偿博弈模型有效解决了流域上下游补偿中的利益冲突,调动了上游地区保护水资源的积极性,实现了整个流域利益的最大化,可为合理制定补偿政策提供一定的指导。

[关键词]　水资源保护;补偿机制;博弈论;遗传算法

[中图分类号]　TV213.4　　[文献标志码]　A　　[文章编号]　1671-9387(2013)05-0196-05

Game theory based protection and compensation mechanism for water resources

HUANG Jun-ming[1], XIE Jian-cang[1], ZHANG Jian-long[2]

(1 *Northwest Key Laboratory of Water Resources and Environment Ecology, Ministry of Education, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi* 710048, *China*; 2 *Water Conservancy Construction and Development Center of Shanxi Province, Taiyuan, Shanxi* 030002, *China*)

Abstract:【Objective】This study aimed to establish a reasonable mechanism of protection and compensation for water resources and make scientific policy based on game theory.【Method】Game model of water resources protection and compensation in river basin was built based on participation of government in consultation and regulation. In this paper, we used the improved genetic algorithm to solve the model. At last the Jinjiang river in Quanzhou was selected to validate the model.【Result】Based on the model, the upstream region of Jinjiang river could obtain economic compensation of 541.8 million yuan for the protection of water resources. At the same time, the downstream areas could reduce water shortages by 280 m^3 and create economic benefits of about 5.2674 billion yuan.【Conclusion】The results showed that the game model of water resources protection solved the conflict of interests on the upstream and downstream compensation effectively, mobilized the enthusiasm of the upstream basin to protect water resources, and maximized the interests of the entire river basin.

Key words: water resources protection; compensation mechanism; game theory; genetic algorithm

---

[收稿日期]　2012-08-21
[基金项目]　国家自然科学基金项目(51079120,51109177,51209170);教育部人文社科研究项目(10XJCZH002);陕西省科学技术研究发展计划项目(2012JQ5014);西安理工大学博士启动基金项目(118-211103)
[作者简介]　黄俊铭(1983－),男,福建泉州人,在读博士,主要从事区域经济与水资源管理、水利信息化研究。E-mail:secretaa@163.com
[通信作者]　解建仓(1963－),男,陕西眉县人,教授,博士生导师,主要从事水资源系统工程研究。E-mail:jcx@xaut.edu.cn

水作为基础性自然资源，在经济社会发展和生态环境的稳定中起着决定性作用，然而长期以来，由于水资源的外部性使得无偿占有使用水资源，甚至造成水环境污染而缺乏任何补偿的现象在全国以及全世界都普遍存在。因此，如何有效地对水资源保护进行补偿，提高上游地区水资源保护的积极性并巩固其建设成果，不少学者对该问题进行了有益的探索，张春玲[1]从水资源恢复的角度进行了补偿分析；李怀恩等[2]根据环境库兹涅茨曲线，分析了污染防治所需的投入与限制产业发展的变化趋势，提出了水资源保护补偿的必要性；王钰佳[3]则从可持续发展的视角，对水资源的保护补偿进行了研究。然而，以上研究成果并不能很好地解决流域上下游地区关于水资源保护补偿中涉及的利益冲突。鉴于此，在前人研究的基础上，本研究考虑了上下游水资源保护补偿在实际决策时往往表现出信息不对称与有限理性[4]等特点，利用博弈理论建立了政府参与调节的上下游水资源保护补偿的博弈模型，通过遗传算法[5]对博弈模型进行求解，并结合具体算例验证了博弈模型的可行性，旨在为水资源保护补偿机制的研究与实践提供参考。

1　上下游水资源保护补偿的博弈分析

博弈论又称为对策论，是研究不同决策主体在“策略相互依存”情形下行为发生冲突时的决策和均衡问题以及谋求解决这种决策均衡问题的方法论[6]。一个完全的博弈模型需要包括参与方、策略集合和收益等基本要素，博弈的基本表达式为 $G=\{P,S,V\}$，其中 P 表示参与方，S 表示策略集，V 表示收益。

1.1　博弈模型的基本原理及假设

在流域上下游水资源保护补偿的博弈分析中，需要做出合理假设来确定模型和所解决问题的边界，因此对博弈情景的具体设定如下[7-8]。

(1)参与方。参与方是指在博弈中有利害关系的决策主体，博弈分析中要求参与方都是理性的。本研究主要针对上游供水户、下游用水户及政府之间进行博弈分析，参与方的集合为 $P=\{1,2,\cdots,n\}$。

(2)策略集合。策略集合指所有参与方在博弈中可能使用策略的集合，其表达式为 $S=\{S_1,S_2,\cdots,S_n\}$，要求每个策略集合中应该包含 2 种或 2 种以上的策略，否则策略集无效，如式(1)所示：

$$S=\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} S_{ik}(i=1,2;k=1,2)。\quad (1)$$

式中：S 为策略集合；S_{ik} 为第 i 个参与方所做出的第 k 个策略，其中 S_{11}＝保护，S_{12}＝不保护，S_{21}＝补偿，S_{22}＝不补偿。

(3)收益。当所有的参与方采用的策略确定以后，就可计算参与方各自会得到的收益，收益集合表示为 $V=\{V_1,V_2,\cdots,V_n\}$，其中 V_i 为第 i 个参与方采用 S_i 策略所获得的收益。采用不同的策略会导致不同的收益结果。

1.2　政府参与协商调节的博弈模型的建立

根据《水法》的规定，水资源属于国家所有，水资源必须经过政府的许可才能获得用益物权，所以在通常情况下，政府水资源管理部门对全流域的水资源进行管理，政府的参与使流域上下游水资源保护补偿形式多种多样，因此不能用传统的博弈进行建模分析。限于文章篇幅，本研究仅针对上下游水资源保护补偿使得整个流域的社会经济效益最大化这种最简单的情况加以分析建模[9]。

在水资源保护补偿博弈中，完全可能存在这样的情况：因为成本收益的不同，面对同样的补偿策略，这个供水户会选择，而另一个供水户不会选择。同时，流域水资源的分配也是年年都进行的，上游供水户、下游用水户以及政府之间的博弈长期存在，而且是不停重复的博弈。流域各博弈参与方在了解、熟悉其他参与方用水策略的基础上，选择出自己的最优策略。在政府参与调节的博弈中，从总体上看，各个参与方都会对自己的行为进行核算，因此各参与方满足理性假设，他们清楚地了解自己的目标和利益所在，即在博弈中总是采用最优策略来最大化自己的利益。

本研究对模型[10]假设如下：假设下游地区的总需水量为 Q，调水补偿量为 e。

上游地区：假设上游共有 n 个供水户，记为 P_i^u $(i=1,2,\cdots,n)$，$q_i^u(i=1,2,\cdots,n)$为上游地区第 i 个用水户可节约出来的供水量，上游各用水户节约出来的水量供给下游后造成的自身损失记为 $S_i(q_i{}^u)$ $(i=1,2,\cdots,n)$，假设水资源费率为 T_1，则其收益 V_i^u 为：$V_i^u=P_i^u(Q)\times q_i^u-S_i^u(q_i^u)-T_1\times q_i^u$，则上游用水户接受补偿后的总收益 $\sum_{i=1}^{n}V_i$ 为：

$$\sum_{i=1}^{n}V_i=\sum_{i=1}^{n}(e\times q_i^u-S_i(q_i^u))\ 。$$

下游地区：假设下游有 m 个用水户，$q_j^d(j=1,2,\cdots,m)$为下游地区第 j 个用水户的用水量，下游地区水资源费率为 T_2，则下游地区用水户收益 V_j^d 为：$V_j^d=e\times q_j^d-T_2\times q_j^d$，用水户补偿上游用水户的

金额为$\sum_{i=1}^{m} e \times q_j^u$。

由于政府参与调节的目的是使整个流域的社会经济效益最大化,所以保证利益最大化时要使流域内的总体收益(Z)和V_i分别对q_i^u和q_j^d的一阶导数为0,即由式(2)可以求利益最大时q_i^u、q_j^d的值。

$$\begin{cases} \dfrac{\partial Z}{\partial q_i^u} = F' - \sum_{i=1}^{n} S_i(q_i^u) - T_1 = 0, \\ \dfrac{\partial V_i}{\partial q_j^d} = F' - T_2 = 0, \\ Q = \sum_{i=1}^{n} q_i^u + \sum_{j=1}^{m} q_j^d。 \end{cases} \tag{2}$$

式中:F'为下游地区收益函数。流域总收益计算公式为:

$$Z = F(Q) + \sum_{i=1}^{m} V_j^d - (\sum_{i=1}^{n} e \times q_i^u + \sum_{i=1}^{m} e \times q_j^d)。 \tag{3}$$

1.3 博弈论模型的求解

通过建立博弈模型,政府参与博弈的上下游水资源保护补偿问题被转化为一个非线性方程组的求解问题[11]。通常在流域内,上游地区用水户数量较少,而下游地区用水户数量较多。遗传算法是一种通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法,在水资源保护补偿的博弈中,通过反复博弈,不好的补偿策略将被淘汰,而效益好的补偿策略将被保留和改进,实际上是一种优胜劣汰的博弈。因此,本研究综合博弈论与遗传算法的特点,利用遗传算法来实现水资源保护补偿博弈模型的求解,具体步骤如下[12]。

Step1:首先将流域内的各个用水户用偏导方程表示,将政府参与调节的博弈模型转化为遗传算法空间,如式(4)。

$$\begin{cases} N_i(q_1^u, q_2^u, \cdots, q_n^u, q_1^d, q_2^d, \cdots, q_m^d) = 0, \\ M_j(q_1^u, q_2^u, \cdots, q_n^u, q_1^d, q_2^d, \cdots, q_m^d) = 0。 \end{cases} \tag{4}$$

式中:N_i为上游n个供水户的偏导方程,M_j为下游m个用水户的偏导方程。

构建目标函数$\lambda_i(q_1^u, q_2^u, \cdots, q_n^u, q_1^d, q_2^d, \cdots, q_m^d) = \sum_{i=1}^{n} |N_i| + \sum_{i=1}^{m} |M_j|$,将式(4)的模型转化为函数优化问题,如式(5)所示:

$$\begin{cases} \min \lambda_i(q_1^u, q_2^u, \cdots, q_n^u, q_1^d, q_2^d, \cdots, q_m^d), \\ (q_1^u, q_2^u, \cdots, q_n^u, q_1^d, q_2^d, \cdots, q_m^d) \in U, \\ U = \{\lambda_i(q_1^u, q_2^u, \cdots, q_n^u, q_1^d, q_2^d, \cdots, q_m^d) \mid 0 \leqslant q_i^u \leqslant W_i^u, 0 \leqslant q_j^d \leqslant W_j^d\}。 \end{cases} \tag{5}$$

式中:W_i为上游地区最大可供水量,W_j为下游地区最大可获得水量。

Step2:对q_i^u、q_j^d进行编码,编码长度记为L。

Step3:在上下游水资源保护补偿过程中,其主要目标是充分利用水资源,减少上游地区的用水量,为下游地区的经济建设提供充足的水资源,并尽可能多地给上游以经济补偿,达到整个流域经济利益最大化的目的。因此,在适应度函数中适当调节q_j^d的比重,逐渐淘汰适应性差的用水户。对N_i使用适应度$\sum_{i=1}^{n} |N_i|$进行评价,对M_j使用$\sum_{i=1}^{m} |\pi q_j^{下} M_j|$进行评价。本研究定义适应度函数$H$为:

$$\begin{cases} H = \sum_{i=1}^{n} |N_i| + \sum_{i=1}^{m} |\pi q_j^{下} M_j|, \\ \pi = \max(W_j^d) + 1/\max(W_j^d)。 \end{cases} \tag{6}$$

Step4:在遗传算法中,参与博弈的用水户数量为P时,若个体P'的适应度函数满足式(6),则该个体在遗传过程中被选择的概率C_k如式(7)所示,并且为了提高遗传算法的搜索能力,本研究采用单点交叉对上游用水户q_i^u进行搜索,用对点交叉对下游用水户q_j^d进行搜索运算,以确保上、下游用水户之间不产生冗余的交叉。

$$C_k = \frac{1}{2}(H_k / \sum_{k=1}^{n} H_k + \sum_{j=1}^{m} q_{jk}^d / \sum_{k=1}^{P} \sum_{j=1}^{m} q_{jk}^d),$$

$$k = 1, 2, \cdots, P。 \tag{7}$$

Step5:在变异算子的选择上,本研究采用的变异算子Q'可由式(8)计算:

$$Q' = Q \pm \sigma W_j^d。 \tag{8}$$

式中:$\sigma = \sum \alpha(j)/2^j$,当$\alpha(j) = 1/\eta$概率时,$\sigma$取值1;当$\alpha(j) = 1 - 1/\eta$概率时,$\sigma$取值0,一般$\eta = 20$。

2 博弈论模型在晋江流域水资源保护补偿中的应用

为了验证本研究所建博弈模型的实用性,现以在2008年被列入全国第三批节水型社会试点城市的泉州市为例,对其晋江流域上下游水资源保护补偿进行研究。晋江流域是泉州市的2条主要河流之一,上游地区的南安市(上游部分)、安溪县、永春县以及德化县4个地区受多种因素影响,经济发展相对滞后,该地区经济来源主要以政府财政补贴和农业为主。上游地区牺牲经济发展来保护水资源生态环境,为下游地区提供了优质充足的水资源,促进了下游地区的经济发展,但是造成的经济损失全都由上游地区来承担,这显然是不公平的。因此作为下游受益的晋江市、石狮市、惠安县、南安市(下游部分)、鲤城、丰泽、洛江等地区则需要对上游地区进行经济补偿。2010年在完成初始水权分配后,下游地

区由于市场供需的变化，预计还有 2.8 亿 m^3 水的缺口，但上游地区除满足基本用水外，预计只有 2 亿 m^3 的余量。经调查研究，上游地区如果通过节水改造和涵养水源，对水生态环境进行保护，每年可以节约 1.2 亿 m^3 的水量。限于文章篇幅，下面仅列出泉州市各县（市、区）的总水量信息，详见表 1。

表 1　泉州市晋江流域各县（市、区）的水量信息

Table 1　Water resources information of Jinjiang river in Quanzhou　　亿 m^3

水量 Water	鲤城 Licheng	丰泽 Fengze	洛江 Luojiang	泉港 Quangang	惠安 Huian	晋江 Jinjiang	石狮 Shishi	南安 Nan'an	安溪 Anxi	永春 Yongchun	德化 Dehua
水资源总量 Total water resources	0.85	1.02	0.63	1.14	2.27	2.46	0.63	8.72	15.18	8.01	13.83
用水总量 Total water use	1.07	1.83	0.60	1.46	3.17	5.65	2.12	4.59	3.52	2.27	1.93

综上，本研究根据上游各县（市、区）每次对下游供水时，所供水量与对应的经济损失进行计算，并对结果进行拟合分析，得到上游安溪县、德化县、永春县以及南安市（上游部分）4 县（市）的成本损失函数分别为 $S_1(q_1^u)$，$S_2(q_2^u)$，$S_3(q_3^u)$，$S_4(q_4^u)$，如式（8）所示。上游 4 县（市）具体补偿对象分为森林、草地、农田、水体、裸地、建设用地等。

$$\begin{cases} S_1(q_1^u)=0.018{q_1^u}^2+0.488q_1^u+0.095, \\ S_2(q_2^u)=0.012{q_2^u}^2+0.438q_2^u+0.053, \\ S_3(q_3^u)=0.018{q_3^u}^2+0.477q_3^u+0.087, \\ S_4(q_4^u)=0.012{q_4^u}^2+0.423q_4^u+0.049。 \end{cases} \tag{8}$$

下游地区收益拟合函数 $F(Q)$，如式（9）所示。

$$F(Q)=32.211Q^2-133.2Q+173.1。 \tag{9}$$

在政府参与调节的补偿博弈模型中，以晋江流域多年水文数据以及水量分配方案为数据源，随机挑选 2 000 个数据源为原始种群，假设 $T_1=T_2=0.030$，经过计算机迭代 29 280 次，最终求解误差小于 1.00×10^{-7} 时得 $q_1^u=0.950$ 亿 m^3，补偿单价 1.700 元/m^3；$q_2^u=0.670$ 亿 m^3，补偿单价为 1.670 元/m^3；$q_3^u=0.920$ 亿 m^3，补偿单价为 1.690 元/m^3；$q_4^u=0.660$亿 m^3，补偿单价为 1.710 元/m^3。下游地区能够获得效益约为 52.674 亿元，上游供水的安溪县、德化县、永春县以及南安市（上游部分）4 县（市）分别可获得 1.615 亿元、1.119 亿元、1.555 亿元和 1.129 亿元的经济补偿。由于篇幅所限，下面仅列出上游安溪县（表 2）及下游（表 3）水资源保护补偿的计算结果。

表 2　泉州市晋江流域上游安溪县水资源保护补偿计算结果

Table 2　Compensation results of upstream water resources protection for some water users in Quanzhou

项目 Item	补偿量/亿 m^3 Compensation quantity	单价/（元·m^{-3}） Unit price	损失金额/亿元 Amount of loss	增加收益/亿元 Increase income
森林 Forest	0.021	1.700	0.013	0.023
草地 Lawn	0.122	1.700	0.074	0.133
农田 Farmland	0.450	1.700	0.272	0.493
水体 Waters	0.083	1.700	0.050	0.091
裸地 Bare soil	0.016	1.700	0.010	0.017
建设用地 Construction lsoil	0.154	1.700	0.093	0.169
其他 Others	0.104	1.700	0.063	0.114
合计 Total	0.950	—	0.575	1.040

表 3　泉州市晋江流域下游水资源保护补偿计算结果

Table 3　Compensation results of downstream water resources protection for some water users in Quanzhou

县市区 Counties	收益/亿元 Benefit	补偿金额/亿元 Amount of compensation	增加收益/亿元 Increase income	县市区 Counties	收益/亿元 Benefit	补偿金额/亿元 Amount of compensation	增加收益/亿元 Increase income
晋江市 Jinjiang	17.093	1.758	15.335	洛江区 Luojiang	2.265	0.233	2.032
石狮市 Shishi	13.169	1.355	11.814	泉港区 Quangang	2.581	0.265	2.316
鲤城区 Licheng	4.530	0.466	4.064	惠安县 Huian	5.083	0.523	4.560
丰泽区 Fengze	4.582	0.471	4.111	南安市（下游部分） Nan'an(Down)	3.371	0.347	3.024

因此，通过水资源保护补偿，上游地区可获得经济补偿，解决了当地财政问题，提高了农民收入，保护了水生态环境；而下游地区则因上游地区保护水源、节约用水而得到充足的水量，大力发展了工业，使得整个区域内的整体收益得到显著提高。

为了便于水资源保护补偿的调节计算，协调上

下游关系,调动上游地区保护水资源的积极性,本研究采用AAF框架,结合Web开发工具和MS SQL 2008在水利数字地球进行平台开发,并采用实时监测统计数据进行分析,将博弈模型进行组件化封装[13-15],建立了晋江流域下游地区对上游水资源的保护补偿系统。在系统开发过程中,充分考虑了系统的先进性和实用性,使系统具有良好的人机界面,整个计算过程都在服务器后台自动完成。政府部门可以根据计算机的计算结果进行论证,来最终确定该流域的水资源保护补偿方案。

3 结 论

本研究结合国内外水资源保护补偿的研究成果,利用博弈理论对流域水资源保护补偿进行博弈分析,利用博弈理论建立模型,采用遗传算法实现了政府参与调节的博弈模型的求解,并以泉州市晋江流域为研究区域,对模型进行了验证,建立了水资源保护补偿系统,结果表明,该博弈模型在解决水资源紧缺地区的供水矛盾和水资源保护方面效果显著。

由于水资源保护补偿涉及的因素较多,所建模型在实际应用中,还有许多需要进一步完善的地方。首先,上下游水资源保护补偿还受到政治、文化、气候等诸多因素影响,在模型的完善中应该加以考虑;其次,对于流域内上下游用水量较大的地区,上游供水的成本和损失及下游的收益和补偿金额因地而异,在今后的工作中还需要进一步的研究。

[参考文献]

[1] 张春玲. 水资源恢复的补偿机制研究 [D]. 北京:中国水利水电科学研究院,2003.
Zhang C L. A study on compensation mechanism for water resources restoration [D]. Beijing: China Institute of Watet Resources and Hydropower Reserch, 2003. (in Chinese)

[2] 李怀恩,肖 燕,党志良. 水资源保护的发展机会损失评价 [J]. 西北大学学报:自然科学版,2010,38(2):339-342.
Li H E, Xiao Y, Dang Z L. Evaluation on the loss of development opportunity for water resources protection [J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2010, 38(2): 339-342. (in Chinese)

[3] 王钰佳. 可持续发展视角下水资源补偿机制研究 [D]. 天津:天津商业学院,2010.
Wang Y J. Research of compensation mechanism for sustainable development [D]. Tianjin: Tian Jin University of Commerce, 2010. (in Chinese)

[4] 王艳芳,刘亚相. 食品供应链中产品安全投入的博弈分析 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2010,38(3):155-159.
Wang Y F, Liu Y X. Game analysis on product safety input of food supply chain [J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2010, 38(3): 155-159. (in Chinese)

[5] 吴养会,王乃信,刘瀛洲. 多种群竞争遗传算法及其性能分析 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2005,33(4):154-156.
Wu Y H, Wang N X, Liu Y Z. Several populations competed genetic algorithm and its property analysis [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2005, 33(4): 154-156. (in Chinese)

[6] 赵国杰,段贵恒,李文慧. 冲突管理的博弈分析 [J]. 西北农林科技大学学报:社会科学版,2008,8(6):68-71.
Zhao G J, Duan G H, Li W H. Conflict management of the game theory analysis [J]. Journal of Northwest A&F University: Social Science Edition, 2008, 8(6): 68-71. (in Chinese)

[7] Taylor P D, Konker L B. Evolutionarily stable strategies and game dynamics [J]. Mathematical Bioscience, 1978, 40(7): 146-155.

[8] 谢识予. 经济博弈论 [M]. 上海:复旦大学出版社,2007:209-213.
Xie S Y. Economy game theory [M]. Shanghai: Fudan University Press, 2007: 209-213. (in Chinese)

[9] 甘治国,蒋云钟,鲁 帆,等. 北京市水资源配置模拟模型研究 [J]. 水利学报,2008,39(1):91-102.
Gan Z G, Jiang Y Z, Lu F, et al. Water resources deployment model for Beijing city [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(1): 91-102. (in Chinese)

[10] 肖志娟,解建仓,孔 珂,等. 应急调水效益补偿的博弈分析 [J]. 水科学进展,2005,16(11):817-821.
Xiao Z J, Xie J C, Kong K, et al. Game analysis for emergent water dispatch compensation [J]. Advances in Water Science, 2005, 16(11): 817-821. (in Chinese)

[11] 李 镜,张丹丹,陈秀兰,等. 岷江上游生态补偿的博弈论 [J]. 生态学报,2008,28(6):2792-2798.
Li J, Zhang D D, Chen X L, et al. Game theory on the ecological compensation of the upper reaches of Minjiang river [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(6): 2792-2798. (in Chinese)

[12] Riechmann T. Genetic algorithm learning and evolutionary games [J]. Journal of Economic Dynamics & Control, 2001, 25(6): 1019-1037.

[13] 徐建新,白雪梅,沈 晋,等. 灌区水资源实时优化调配决策软件研制 [J]. 水科学进展,2003,14(2):178-183.
Xu J X, Bai X M, Shen J, et al. Decision-making software for real-time optimal allocation of water resources in irrigation area [J]. Advances in Water Science, 2003, 14(2): 178-183. (in Chinese)

[14] Wellington L S. JSP and tag libraries for Web development [M]. Indianapolis Indiana: New Riders Publishing, 2005.

[15] 李建勋,张永进,解建仓,等. 基于OSGi的AAF应用框架研究 [J]. 武汉理工大学学报,2008,30(6):135-139.
Li J X, Zhang Y J, Xie J C, et al. Research on AAF application framework based on OSGi [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2008, 30(6): 135-139. (in Chinese)