

经济社会与生态环境竞争用水的水价研究

倪红珍, 王 浩, 汪党献

(中国水利水电科学研究院水资源所, 北京 100044)

摘要 针对我国水资源开发利用不合理造成的生态环境问题, 探讨如何通过水价的市场调节作用, 保障经济社会与生态环境协调发展的总用水效益最优的理论和方法。以用水总效用最大为原则, 以经济社会消费预算、可利用水资源量为约束, 建立水资源需求函数模型; 以供水总效益最大化为目标, 建立考虑经济社会用水全成本代价的水资源供给函数模型, 迭代求解水资源最优配置的供需均衡水价。在考虑基本生活用水价格刚性及经济社会发展水平条件下, 北京市 2000 年总用水 40.4 亿 m^3 , 最优分配方案为经济社会合理用水量 24.76 亿 m^3 和生态环境可用水量 15.64 亿 m^3 , 总效益最优为 440 亿元, 用水综合水价为 8.01 元/ m^3 。研究发现, 如果生态环境基本用水得不到满足, 以现状经济社会承受能力为约束确定的水价, 不能补偿经济社会占用生态用水的外部损失, 无法促进水资源在生态环境与经济社会之间的最优配置。

关键词 经济社会; 生态环境; 竞争用水; 供求均衡; 水价

中图分类号: F407.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2008)03-0073-04

Water pricing model of competitive water use for the economy, society and environment

NI Hong-zhen, WANG Hao, WANG Dang-xian

(Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

Abstract The unreasonable utilization of water resources causes serious ecological problems in our country. The theory and method of water pricing that ensures the maximum benefit across the total range of economic, social and ecological water uses are discussed. With the maximum utilization of water resources as a guiding principle, a function for water demand was established using the social and economic water consumption budget and the available water resource amount as restraints. With the target of maximum total profit, a function for water resources supply that considers the whole cost of social and economic water use was established. By iteratively solving the functions, an ideal water price for optimum allocation of water resources was identified. Considering the price inelasticity of basic domestic water use and the level of economic development in Beijing, a reasonable allocation for the year 2000 of the total water quantity, which was $4.04 \times 10^9 \text{ m}^3$, was $2.476 \times 10^9 \text{ m}^3$ for social and economic use, and $1.564 \times 10^9 \text{ m}^3$ for ecological use. The total benefit was 4.40×10^{10} yuan, and the comprehensive water price was 8.01 yuan/ m^3 . The results indicate that if the basic water demand of the ecological environment cannot be satisfied, the water price determined to be affordable cannot compensate for the extra cost of more social and economic water use, and water resources cannot be reasonably allocated.

Key words economy and society; ecological environment; competitive water use; market equilibrium; water price

社会经济的快速发展, 导致社会经济活动水资源的利用量激增, 超越了水资源的天然承载能力, 挤占了自然生态系统的用水, 打破了自然生物圈的用水平衡, 进而引发了人类生活依存的生态环境的恶化。然而, 伴随经济的增长、物质财富的增加, 人类

对精神的愉悦、生活的舒适追求不断增强, 优美洁净的生活环境和空间是人类高质量生活标准的象征。经济的发展用水与自然环境的稳态运行需水成为有限水资源承载对象的一对矛盾。一方面经济用水规模增大促进经济发展, 经济发展保障科技投资和增

加环境建设 科技进步促进用水效率和改善环境质量 ;另一方面经济用水规模增加 ,废污水排放规模扩大 对自然环境正常运行用水数量和质量构成双重威胁 ,自然环境质量衰变 ,生活质量下降 ,后续经济发展资源供给不足 ,最终制约社会经济发展。为协调社会经济与生态环境用水 ,优化配置水资源 ,市场经济手段是继行政、法律外有效的客观调节机制。利用水价调节水资源的供求是市场调节的核心技术。

随着市场经济的发展 ,许多水源逐步拍卖给一些投资公司 ,成为商品经营的范畴 ,许多地方的生态环境用水相继出现购买商品水才得以满足 ,生态环境用水已有商品的色彩。因此 ,为保障生态环境的合理用水需求 ,把生态环境和经济社会用水同时纳入到一虚拟的市场(实际还未形成) 。应用市场经济局部均衡理论 ,单从水资源的需求与供给而论 ,建立水资源的供需均衡方程 ,研究经济社会与生态环境竞争用水状态下最优配置水资源的水价。

1 基本构想

在市场经济中 ,水价的调节作用主要是对经济社会各部门用水起到抑制或促进的作用。在水资源短缺的情况下 ,常常是通过提高水价抑制经济社会的用水 ,间接起到保障生态环境用水的作用。根据绿色国民经济核算原理 ,考虑经济活动对生态环境的影响 ,综合分析经济与环境资产的变化 ,追求生态国内生产总值(EDP)最大 ,是可持续发展的要求^[1]。水价的科学确定 ,目的是保障水资源的可持续利用 ,使有限的水资源通过水价的调节作用 ,得到最优配置 ,使用水总效用最大。其作用机制可见图 1。水价上升 ,抑制经济社会用水 ,迫使经济部门节约用水 ,可能导致 GDP 的减少 ;然而却使得生态环境用水得到保障 ,生态环境得到改善 ,节约了环保投资 ,减少了经济损失 ,增加了社会净福利。根据水价的作用机制 ,可通过反复迭代试算和综合分析 ,寻求最优配置水资源的价格。

2 理论模型的构建

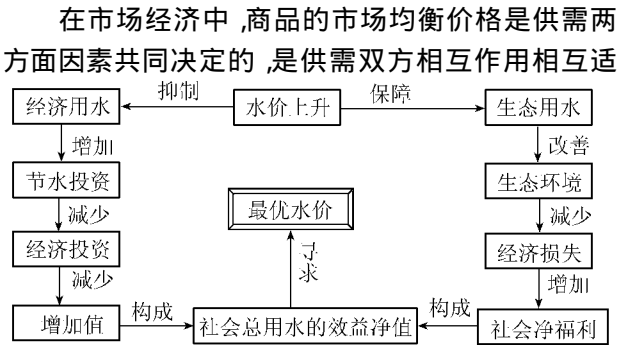


图 1 经济社会与生态环境用水的水价作用耦合机制

应最终使得市场供求平衡时所对应的商品价格。商品的市场需求是受消费者付出的单位货币的购买效用影响的 ,商品的市场供给受单位投入成本的回收利益影响。供求关系通过需求函数与供给函数反映 ,由效用函数和生产函数可分别推求需求函数和供给函数^[2-3]。

水在经济和生态之间的合理配置 ,可以借鉴市场经济的商品价格有效配置资源的理论 ,进行分析和应用研究。有限的资源 ,通过价格对需求的调节作用 ,再结合现实资源供给的约束 ,总可以寻求到社会总效用最佳的配置方案和模式。

2.1 效用极大的水资源需求函数模型

水资源为社会服务的两大目标是社会经济和生态环境 ,类似于市场经济中消费者对两种产品的需求 ,设水资源的需求主要受消费者的收入、水资源价格和水资源可利用总量的限制 ,可建立水资源的效用极大化需求函数模型。

若设水资源服务对象分为两大类 :社会经济用水 $Q_{经}$ 和生态环境用水 $Q_{自}$,这两类用水的最基本需水量分别为 $Q_{经0}$ 与 $Q_{自0}$ 。由于社会对生态环境用水效用的支付意愿难以确定 ,故消费预算约束只以社会整体对水资源消费的预算支出 M (结合恩格尔系数与水资源消费占收入总额比例定)表示 ,设水资源满足两大类服务目标的总效用为 U ,追求效用最大化 ,则构造水资源的需求函数 :

$$\begin{aligned} \max U &= \alpha_1 \ln(Q_{经} - Q_{经0}) + \alpha_2 \ln(Q_{自} - Q_{自0}) \\ \text{s.t.} \quad &p_{经} Q_{经} = M \\ &0 < \alpha_i < 1 \quad \sum_{i=1}^2 \alpha_i \leq 1 \\ &Q_{经} + Q_{自} = Q^0 \\ &Q_{经} > Q_{经0} \\ &Q_{自} > Q_{自0} \end{aligned}$$

式中 : Q^0 为可利用水资源总量 ; $p_{经}$ 为经济用水价格 ; α_i 为偏好系数。

$Q_{经0}$ 为人类对水资源的最低需要量。社会各个方面用水目的各异 ,如饮用、处理或稀释垃圾、制造食品、生产粮食、生产及利用能源等 ,所有这些方面对水的需求 ,都随气候条件、生活方式、文化传统、饮食习惯、技术及贫富的差异而变化 ,1972 年 White 等开拓型的工作就已指出这些。基于近来的研究成果 ,人类“基本需水量”为 50 L/(人·d) ,与联合国“国际饮用水供给和卫生十年”计划及地球首脑会议 21 世纪议程所建议的一致。这个标准能够满足饮用、卫生、洗浴和烹饪 4 种家庭基本需要 ,与气候、技术及文化没有关系^[4]。以此折算 ,人均月基本生活用

水量为 1.5 m^3 ,人均年生活用水量为 18 m^3 。

$Q_{\text{自0}}$ 因地域差异不同。根据文献[5] 2000 年北京市扣除天然降水满足的部分用水需求,河道生态环境基本需水(基流、蒸发、渗漏与冲沙)、城市河湖换水、稀释环境污水以及绿地用水等,年最小城市生态环境需水量为 15.74 亿 m^3 ,扣除天然补给及人工有限的补给量,还需人工补给水量 6.91 亿 m^3 ,其中河道需水 5.20 亿 m^3 ,绿地需水 1.54 亿 m^3 ,河湖需水 0.17 亿 m^3 。

如果知道水资源各服务对象的效用函数,可反映出详细的用水效果信息,有利于更具体地优化配置水资源。

由于生态环境相对人类而言,不具有能动性,基本用水需求不同于经济社会基本需求用水那样,表现出对付出代价的相对刚性,因此为保证函数的有效性,目标函数

$$\max U = \alpha_1 \ln(Q_{\text{经}} - Q_{\text{经0}}) + \alpha_2 \ln(Q_{\text{自}})$$

2.2 目标利润最大化的水资源供给函数

“供给、需求、平衡”是经济学最基本、最核心的6个字。最早瓦尔拉斯给出了关于市场价格的供求平衡方程。

$$D(p_1, p_2, \dots, p_n) - S(p_1, p_2, \dots, p_n) = 0$$

式中: S_i 为产品的供给; D_i 为产品的需求; p_i 为产品价格。

在经济利益的驱动下,水资源的生产者追求生产利润最大化的目标或法则,建立最优生产的供给函数。

生产利润目标为

$$\max \pi_i = p_i Q_i - (K_i + A_i)$$

式中: K_i 运行期内年分摊投资; A_i 为年运行费用。

由水资源供给量与总投入费用 C_i 相关分析可得

$$Q_i = f(C_i)$$

$$C_i = K_i + A_i$$

则目标利润为

$$\max \pi_i = p_i Q_i - C_i$$

以全社会经济环境综合核算为基础,水资源的生产供给者扩充为以国民经济全社会为主体,则全社会为水资源的供给付出的代价 C 为水资源供给的经济成本与生态成本(因经济用水带来的生态破坏损失)之和,水资源供给总效益为生态效益和经济生活效益之和。

2.3 水资源供求市场均衡价格的求解

根据市场均衡理论,当某种产品的总需求与总供给相等时,即边际收益等于边际成本,产品达到最

优生产或资源得到最优配置状态。因此,根据水资源的需求与供给函数模型,设经济社会水供给价格为自变量,通过迭代求解可求得水资源供求平衡的价格,也即为水资源达到最优配置状态时的水价。

3 案例分析

3.1 研究区域基本资料

2000 年北京市国内生产总值为 2478.76 亿元 ,总人口达到 1277.9 万 [6]。根据 2000 年北京市水资源公报 [7],2000 年北京市经济社会用水总量为 40.40 亿 m^3 ,远远超过当年的水资源补给量 16.86 亿 m^3 。较上年地表水资源耗减约为 6.91 亿 m^3 ,地下水资源耗减约为 5.89 亿 m^3 。2000 年污水排放总量为 13.55 亿 m^3 ,其中工业废水为 5.79 亿 m^3 ,生活(包括第三产业)污水为 7.76 亿 m^3 。根据水质状况换算 [8],地表水由年初的综合水质级别 3.58 衰减为 3.62 ,地下水综合水质级别由 3.46 衰减为 3.6 。经水资源的绿色核算 [9],北京市 2000 年生态环境综合用水价值为 10.56 元/m^3 ,经济社会综合用水价值为 14.73 元/m^3 ,因经济社会用水造成的环境经济综合平均损失为 8.11 元/m^3 ;由北京市水资源管理部门的财务分析,按 2000 年价格计算,北京市水资源管理、维护、规划、水源工程等投入的年分摊费用为 0.6 元/m^3 ;自来水的供给量为 7.54 亿 m^3 ,自来水的供给总成本为 12.54 亿元 ;按当年经济社会用水 40.4 亿 m^3 ,对生态环境造成的污染损失为 114.57 亿元 ,用水成本为 2.84 元/m^3 。

3.2 水资源的需求方程

对水资源消费的预算支出 M ,按发展阶段系数 [10] 和国际平均水平标准进行确定。生活用水水费占居民收入的 3% ,工业水费占工业总产值的 5% [11]。

根据北京市 2000 年恩格尔系数 36.3% [6],计算北京市经济发展阶段系数:

$$l = \frac{1}{1 + e^{-\frac{1}{0.363} + 3}} = 0.44$$

则生活用水消费预算支出占收入的比例为 1.32% ,工业水费支出预算占总产值的比例为 2.2% 。2000 年北京市第二产业总产值 3878.35 亿元 [6],对水资源消费的预算支出为 85.324 亿元 ;第三产业按产值的 6.5% (国际研究的有效调节水价的比例)结合发展阶段系数确定为 113.054 亿元 ;居民收入 695.5 亿元 [6],对水资源消费的预算支出为 9.1806 亿元 ;农业按 GDP 的 1.32% (同生活)计为 2.5764 亿元 。全社会合计可承受能力为 210.138 亿元 ,换算成 GDP 的比例 8.5% 。根据经济社会用水与生态环境用水的价值,确定经济用水效用的偏好系数为 0.6 ,生态环境用水效用偏好

系数为 0.4。2000 年用水分析,基于可利用水资源配置的生态环境基本用水不能得到保障,还缺 6.91 亿 m^3 [9]。若按经济社会实际用水量 40.4 亿 m^3 进行水资源配置,保障基本生活用水 2.3 亿 m^3 ,可建立水资源最优配置效用最大化的需求方程

$$\max U = 0.6\ln(Q_{\text{经}} - 2.3) + 0.4\ln(Q_{\text{自}})$$

$$p_{\text{经}} Q_{\text{经}} = M = 0.085\text{GDP} = 210.138$$

$$2.3 \leq Q_{\text{经}} + Q_{\text{自}} \leq 40.4$$

$$Q_{\text{经}}, Q_{\text{自}}, p_{\text{经}} \geq 0$$

3.3 水资源的供给方程

从水资源供给角度分析,借鉴市场经济作用原理,设全社会总水量在经济和生态之间重新分配,以有限水资源服务净效益最大化为目标,站在环境经济综合核算的角度,非单纯的经济分析角度,供给对象(包括经济和生态)的目标函数为

$$\max Z = v_{\text{自}} Q_{\text{自}} + p_{\text{经}} Q_{\text{经}} - C =$$

$$10.56 \times (40.4 - Q_{\text{经}}) + p_{\text{经}} Q_{\text{经}} - C$$

式中 $v_{\text{自}}$ 为生态环境用水的边际价值。

假设把生态环境用水和经济社会用水全纳入到一个虚拟的市场系统中,遵循市场作用规律,则设在水资源配置总量一定的情况下,系统总用水的全成本 C 与经济社会用水量密切相关。生态环境基本用水是否得到满足是计算系统总用水全成本的关键条件,当生态环境基本用水得以满足,即 2000 年生态环境缺水 6.91 亿 m^3 由经济总用量 40.4 亿 m^3 调配得到完全补充,全成本中就不包括生态环境的缺水损失,因此 2000 年经济社会用水量在 33.49 亿 m^3 左右两个不同的用水区间,全成本核算方程是不同的。以经济社会用水的成本核算为基础,设自来水使用量不变,结合北京市自来水公司的财务成本分析资料,2000 年北京市经济社会用水的全成本与用水量的关系为

$$C = 8.11Q_{\text{经}} + 0.6(Q_{\text{经}} - 7.54) + 12.54 \quad Q_{\text{经}} > 33.49$$

$$C = 2.84Q_{\text{经}} + 0.6(Q_{\text{经}} - 7.54) + 12.54 \quad Q_{\text{经}} \leq 33.49$$

3.4 求解结果

联立需求与供给方程,进行迭代计算,需求与供给效用随价格与用水量变化的过程见图 2,效用函数与生产函数未采用同类型函数,基本单位不同。在考虑基本生活用水价格刚性的情况下,对 2000 年经济社会总用水 40.4 亿 m^3 在生态环境与经济社会之间进行重新合理配置,得到用水总效用最大的经济社会用水综合水价为 8.01 元/ m^3 ,经济社会用水量为 24.76 亿 m^3 ,生态环境可用水量为 15.64 亿 m^3 ,环境经济综合最优效益为 440 亿元。通过运算发现,如果生态环境基本用水得不到满足,以经济社会

承受能力为约束,经济社会用水造成的全成本就难以补偿。

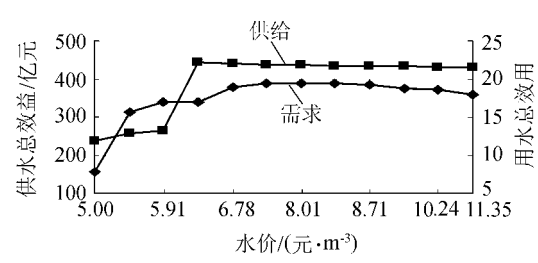


图 2 竞争用水的水价与需求、供给的关系

4 结 论

运用市场经济供需均衡分析理论,进行水资源的供需分析研究,能较合理地分析和推求在竞争用水状态下最优配置水资源的水价。

在考虑基本生活用水价格刚性及经济社会发展水平条件下,北京市 2000 年总供水量在经济与生态之间的合理配置量应分别为 24.76 亿 m^3 与 15.64 亿 m^3 ;生态环境与经济社会用水总效用最大的经济社会用水综合水价应为 8.01 元/ m^3 ,远大于实际水价 2.81 元/ m^3 。北京市现行实际水价不能促进水资源在经济社会与生态环境之间合理配置,不利于水资源的可持续利用。

参考文献:

- [1] 邱东, 蒋萍, 杨仲山. 国民经济核算 [M]. 北京: 经济科学出版社, 2001: 519-556.
- [2] 李子奈. 计量经济学: 方法和应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1992: 181-241.
- [3] 张金水. 经济控制论: 动态经济系统分析方法与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999: 15-28.
- [4] PETER H G. 世界之水 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000: 32-36.
- [5] 水利部. 全国用水定额成果汇编 [R]. 北京: 水利部, 2002.
- [6] 北京市统计局. 2000 年北京市统计年鉴 [M]. 北京: 统计出版社, 2001.
- [7] 北京市水利局. 北京市水资源公报 [R]. 北京: 北京市水利局, 2001.
- [8] 中国水利水电科学研究院. 水利与国民经济协调发展研究项目 [R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2004: 155-156.
- [9] 倪红珍. 基于绿色核算的水资源价值与价格研究 [D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2004.
- [10] 李金昌. 生态价值论 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1999: 95-106.
- [11] 王浩, 阮本清, 沈大军. 面向可持续发展的水价理论与实践 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2003: 38-89.

(收稿日期 2007-03-30 编辑 舒建)