

# 用机会成本法计算生态环境供水经济效益

陈 宁<sup>1</sup> 张 健<sup>2</sup> 谭浩瑜<sup>3</sup>

(1.江苏沙河抽水蓄能发电有限公司,江苏 溧阳 213333;2.河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098;  
3.黄河勘测规划设计有限公司,河南 郑州 450003)

**摘要** 针对生态环境供水的特点,采用机会成本法分析生态环境供水经济效益并计算其影子价格;并根据河流下游各用水部门供水保证程度,提出借助农业灌溉经济效益计算生态环境供水经济效益的方法.最后以某河口地区为例,计算了该地区生态环境供水的经济效益.

**关键词** 机会成本 影子价格 线性规划 生态环境 灌溉效益

**中图分类号** F416.9 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2006)05-0583-04

由于生态系统属于环境资源,而环境资源为非市场商品,无法进入市场,因而难以由价格机制对生态系统价值做出准确评价,只能通过间接的方法进行估测.通常对环境资源价值的实证评估方法可分为两类.(a)直接评估法:通过被调查者对环境偏好的陈述来直接显示其对环境质量的偏好,常用的方法有意愿评估法、偏好陈述法等.(b)间接评估法:经济学家通过观察被调查者在相关市场中的行为,来估计个体对于环境质量的评价,常用的方法有旅行成本模型法、享乐主义定价模型法、剂量-反应法、转移支出法等<sup>[1]</sup>.

生态环境价值往往表现出不完全市场、外部性、非排他性、不对称信息等市场失灵的特征.这些特征的存在使得实证评估方法不易准确定量其经济价值,因此经常引入偏好、效用和消费者剩余等带有主观色彩的概念来度量生态环境的经济价值,而带来价值度量的较大偏差.采用河流下游断流生态环境经济效益(损失)评估的方法,虽可直接计算生态环境供水经济效益,但可操作性较差.

本文针对具有多种用途的河流下游水资源,在工业、农业、生态环境用户之间存在相互挤占的情况下,借鉴机会成本概念,研究了生态环境供水经济效益.

## 1 影子价格分析方法

### 1.1 影子价格的一般概念

资源优化配置的线性规划中存在对偶规划.一旦实现了资源的最优化配置,各种资源的最优价格就是影子价格.当社会处于某种状态时,影子价格能更好地反映资源的价值、市场的供求状况以及资源的稀缺程度,使资源配置向优化方向发展.

在完善的市场条件下,市场价格取决于供求状态,当供求均衡时,价格趋于稳定.此时,需求者为多购买单位货物所支付的价格——边际产品价格,恰好等于供给者多生产单位货物的生产成本——边际生产成本.该均衡状态下的市场价格,即为线性规划所求的影子价格.由此看来,排除市场价格不合理因素后采用的计算价格,已不同于线性规划所描述的影子价格.从这个含义出发,机会成本、市场价格等具有影子价格的作用,可列为影子价格的范畴<sup>[2]</sup>.

### 1.2 影子价格计算的基本方法

影子价格的基本计算方法大致可分为两类,即总体均衡分析法和局部均衡分析法.总体均衡分析法虽然理论上比较严密,但应用比较困难;局部均衡分析法则需要根据分析对象的特点和所处的供需环境来具体确定影子价格.

机会成本法属于局部均衡分析方法.机会成本又称广义的影子价格,是指具有多种用途的有限资源,当

各用户之间存在相互挤占——局部均衡,甲项用途改为乙项用途,甲项用途所放弃的效益,就是乙项使用的机会成本。水资源具有区域性和随机性的特点,因此水资源的机会成本常因经济环境、使用目的和被挤占对象的不同而有不同的计算方法和结果。在运用机会成本分析影子价格时,其前提是确定经济环境、使用目的和被挤占的用户。当较易合理确定被挤占用户放弃的效益时,可直接采用被挤占用户放弃的边际效益(损失),或以新项目增加资源供给量的边际费用作为机会成本;也可以综合边际效益与边际费用后确定机会成本。

## 2 生态环境供水机会成本的计算方法

在机会成本基本概念的基础上,考虑2种测算机会成本的途径(a)将河流河口生态环境用水的影子价格作为生态环境用水的投入物来测算(b)以河流河口生态环境用水作为河流下游供水系统的产出物进行测算,具体方法如下。

a. 首先分别进行满足、不满足生态环境用水要求2种方案的水资源优化配置,找到挤占生态环境用水最可能的用水部门,并计算其经济效益,或者分析满足、不满足生态环境用水要求2种方案的经济效益并将其差值作为生态环境的经济效益。生态环境经济效益的计算是将生态环境供水量作为河流下游水量调配供水系统的产出物,其测算目的是为了正确估价供水生态环境的国民经济效益。分析目前河流下游供水兴利部门的资料可知,挤占生态环境用水最可能是农业灌溉。

b. 当生态环境水量用在其他部门或需要由其他水源供水满足生态环境用水的情况下,优化分析找出满足生态环境用水量费用最小的替代水源方案,分析其投资费用,并将其折算为年金值。本文将河流下游可供水量作为生态环境用水兴利的投入物测算其机会成本,可以正确估算生态环境用水量的投资费用,或者优化分析找出生态环境供水的最佳水源。目前,生态环境供水的替代水源有投资建设的河口地区节水系统、跨流域调水工程等。

c. 一般来说,以上2种方案得到的计算结果可以看作影子价格的上、下限。若补充水源投资年折算费用小于生态环境水量用于其他部门所取得的经济效益,则机会成本应选择补充水源的投资费用;若补充水源投资年折算费用大于生态环境水量用于其他部门所取得的经济效益,则机会成本应按照兴利部门获得的经济效益计算。若边际经济效益或边际投资费用中某一项难以计算其数值时,可以简化处理,直接采用可计算的数值作为生态环境用水的机会成本。

## 3 生态环境供水经济效益计算的线性规划模型

分析河流下游各用水部门的供水特点,一般优先保证工业及生活供水,所以挤占有限河流下游水资源的只能是生态环境和农业灌溉<sup>[3]</sup>。为此,首先要分析不同供水条件下的农业灌溉经济效益,进而对比分析河口地区生态环境供水经济效益<sup>[4-11]</sup>。

一个有一定规模的灌区通常都由几个子灌区组成,每个子灌区都要种植不同的作物,如小麦、玉米、水稻、棉花等。各种作物都有各自的灌水方案。分析试验或统计资料,可以建立不同灌水方案相应的增产效益函数。灌溉经济效益计算的任务是对可能供给的灌溉水量在满足约束条件的前提下,在不同作物间及同种作物不同灌水方案间进行合理分配,使灌区总产值或净效益最大。

对多个灌水方案进行两层次优化,第一层次优化:保持完整的不同灌水方案,进行灌溉水量在不同作物及同种作物不同灌水方案间的优化分配。第二层优化:以不同作物每次灌水的灌溉面积作为决策变量,将第一层次分配后有多余水量的时段进行余水量的二次分配。

### 3.1 优化模型 I(灌溉水量在不同作物间及同种作物不同灌水方案间的优化分配)

保持完整的不同灌水方案,进行第一层次灌溉水量在不同作物间及同种作物不同灌水方案间的优化分配,即以各种作物不同灌水方案的灌溉面积作为决策变量,并采用完整灌水方案相应的生产效益函数。

#### 3.1.1 决策变量和目标函数

以不同子灌区内不同作物不同灌水方案的灌溉面积作为决策变量,用 $x_{nk}^i$ 表示。 $n$ 表示子灌区的序数( $n=1, 2, \dots, N$ ); $k$ 表示第 $k$ 种作物; $i$ 表示不同的灌水方案。选用灌区灌溉净效益最大为优化目标,采用扣除农业生产费用法计算灌溉经济效益,表达式为

$$Z_1 = \max \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^{K_n} \sum_{i=1}^{M_{nk}} [(y_{nk}^i \cdot P_{nk} - C_{nk}^i) \cdot x_{nk}^i]$$

式中： $N$ ——子灌区数， $n = 1, 2, \dots, N$ ； $K_n$ ——第  $n$  子灌区的作物种类数， $k = 1, 2, \dots, K_n$ ； $M_{nk}$ ——第  $n$  子灌区第  $k$  种作物的灌水方案数； $y_{nk}^i$ ——第  $n$  子灌区第  $k$  种作物第  $i$  灌水方案的单位面积增产效益系数； $P_{nk}$ ——第  $n$  子灌区第  $k$  种作物的影子价格； $C_{nk}^i$ ——第  $n$  子灌区第  $k$  种作物第  $i$  灌水方案的单位面积增加农业生产费用系数； $x_{nk}^i$ ——第  $n$  子灌区第  $k$  种作物第  $i$  灌水方案的灌溉面积。

3.1.2 约束条件

约束条件主要包括灌溉面积约束、灌溉水量平衡约束、渠道的输水能力约束、政策性约束、综合利用要求和特殊情况约束等。

3.2 优化模型 II(第一次优化后对有余水的时段进行余水量的二次分配)

以不同作物每次灌水的灌溉面积作为决策变量，将第一层次分配后有多余水量的时段进行余水量的二次分配。计算灌溉增产效益时仍采用优化模型 I 的生产效益函数。因只涉及多余水量分配的效益计算，所以，由此引起的误差不会有太大的影响。

3.2.1 决策变量及目标函数

选择各种作物每次灌水的灌溉面积  $x_{nk}^j$  (第  $n$  子灌区、第  $k$  种作物第  $j$  次灌水的灌溉面积) 作为决策变量。目标函数与优化模型 I 的目标函数形式相同，即灌区的灌溉净效益最大，其表达式为

$$Z_2 = \max \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^{K_n} \sum_{j=1}^{J_{nk}} [(y_{nk}^j \cdot P_{nk} - C_{nk}^j) x_{nk}^j]$$

式中  $j$  表示灌水的次数(第 1 次、第 2 次、...、第  $J_{nk}$  次)。

3.2.2 约束条件

优化模型 II 的约束条件应考虑优化模型 I 优化分配后的情况。约束条件主要有灌溉面积约束、时段水量约束、干渠节点水量平衡约束、支渠的输水能力约束、其他约束等。

4 河口地区生态环境供水经济效益计算

汛期河流河口地区生态环境用水一般都能得到满足，而非汛期存在国民经济用水挤占生态环境用水的情况。生态环境供水经济效益可按缺水对河口地区国民经济和生态环境造成的影响进行分析得出，但是由于生态环境供水的价值往往是潜在的，损失值的确定十分困难，下面应用本文提出的机会成本法进行计算。

计算情景 1：农业灌溉的节水量和跨流域调水工程的一部分供水量供给生态环境，以需要增加的节水投资费用和水源工程费用作为生态环境供水效益。计算情景 2：将由河口地区生态环境用水量用于发展农业灌溉，获得的农业灌溉效益作为生态环境供水效益。一般来说，应取 2 种情景的较小者，但考虑生态环境缺水后造成的损失较大，使得可直接定量计算的生态环境供水经济效益值偏小，故也可取计算情景 1 和计算情景 2 的较大值作为生态环境供水经济效益的估算值。

4.1 计算情景 1

某大型跨流域调水工程为解决某流域及相关流域的水资源短缺问题，根据有关规划，工程投资 45 亿元，增供水量扣除水量损失并考虑供水保证率后折算水量为 19 亿  $m^3$ 。采用动态折算的方法，得到工程增供水边际费用为 0.362 元/ $m^3$ 。

根据有关分析研究，采取水资源配套工程和节水措施后，可使引水量减少 6.4 亿  $m^3$ 。根据规划的投资估算结果，工程总投资为 140 000 万元，采用动态折算的方法，分析计算得到节水的边际费用为 0.375 元/ $m^3$ 。

按照河口地区某断面满足生态环境要求的最小流量 50  $m^3/s$ ，则非汛期 8 个月生态环境供水的最小边际费用为 5.85 亿元。

4.2 计算情景 2

将河口地区的生态环境用水量用于发展农业灌溉，将由此获得的农业灌溉效益作为生态环境供水效益。将增供的水量和原灌溉供水量作为新的灌溉供水量，经优化配置计算得出灌溉经济效益，减去原灌溉经济效益，即为生态环境供水经济效益。应用优化模型 I 与优化模型 II，按照生态环境用水分别向某灌区增加供水，计算得到河口地区生态环境供水的边际经济效益 6.58 亿元。

## 5 结 语

随着对生态环境价值的认识及重视,人们对其进行支付的意愿也随社会经济的不断发展而加大.由于水资源的稀缺性表现得更为突出,河流河口生态环境供水的经济价值也将越来越大,因此,对河流河口生态环境供水经济效益的测算也需随着不断变化的社会经济条件和生态环境而变化,其价值应是一个动态的、相对的概念.本文针对河流下游生态环境效益计算的特点,提出了采用机会成本法的研究思路,并根据下游农业灌溉与河口地区生态环境部门互相挤占有限水资源的现状,采用将灌溉经济效益作为分析河口地区环境供水经济效益的方法,分析得到了某河流河口地区的生态环境供水经济效益,为生态环境价值的计算提供了新的思路.

### 参考文献:

- [1] 姚志勇.环境经济学[M].北京:中国发展出版社,2002:142-176.
- [2] 温善章,石春先,安增美,等.河流可供水资源影子价格研究[J].人民黄河,1993(7):10-13.
- [3] 蒋水心.农村水利水电经济运行[M].北京:水利电力出版社,1995:37-52.
- [4] 陈功.宁夏扬黄新灌区生态环境变化及效益评估[J].宁夏农林科技,1994(3):9-13.
- [5] 李云玲,谢永刚,谢悦波.生态环境用水权的界定和分配[J].河海大学学报:自然科学版,2004,32(2):229-232.
- [6] 姜翠玲,范晓秋.城市生态环境需水量的计算方法[J].河海大学学报:自然科学版,2004,32(1):14-17.
- [7] 吴泽宁,索丽生,王海政.水利水电项目经济风险的模糊分析方法[J].河海大学学报:自然科学版,2003,31(3):276-280.
- [8] 李景宗,王海政.黄河中游干流骨干工程开发次序初步研究[J].水利水电科技进展,2001,21(5):24-27.
- [9] 鹿翠.投资项目中的生态环境效益分析[J].生产力研究,2002(6):125-126.
- [10] 刘涵,黄强,夏忠.南水北调西线一期调水时黄河上游水力发电的补偿效益[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(4):399-403.
- [11] 陶晓燕,朱九龙,王世军.论西部大开发中的生态环境保护与可持续发展[J].河海大学学报:哲学社会科学版,2005,7(1):39-41.

## Calculation of economic benefit of ecological environment water supply with opportunity cost method

CHEN Ning<sup>1</sup>, ZHANG Jian<sup>2</sup>, TAN Hao-yu<sup>3</sup>

- (1. Shahe Pumped Storage Power Generating Co., Ltd., Liyang 213333, China;
2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
3. Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China)

**Abstract:** In consideration of the characteristics of ecological environment water supply, the opportunity cost method is adopted to calculate its shadow price, and a method is put forward for calculating the economic benefit of ecological environment water supply on the basis of the economic benefit from agricultural irrigation based on the level of guarantee of water supply to water consumption departments on the lower reaches of rivers. As a case study, the economic benefit of ecological environment water supply is calculated for an estuarine region.

**Key words:** opportunity cost; shadow price; linear programming; ecological environment; benefit of irrigation