

生产用水和工业用水影子价格计算模型和应用

刘秀丽, 陈锡康

(中国科学院数学与系统科学研究院, 北京 100080)

摘要:在中国九大流域片水利投入占用产出表的基础上, 利用投入产出和线性规划相结合的方法, 计算中国九大流域片生产用水和工业用水的影子价格. 对所得结果作相关因素分析, 建立求解生产用水和工业用水影子价格的两个非线性模型. 计算了全国各省生产用水和工业用水的影子价格, 并给出了小于省级行政区域生产用水和工业用水影子价格的计算模型.

关键词:生产用水影子价格; 工业用水影子价格; 线性规划; 非线性模型

中图分类号: F407.9; F224.9

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2003)04-0014-04

影子价格 (shadow price) 是 20 世纪 50 年代荷兰数理经济学家、计量经济学家詹恩·丁伯根 (Jan Tinbergen) 和前苏联经济学家、数学家康托罗维奇 (Kantorovich) 提出的. 从数学意义上讲, 影子价格实际上是最优化的线性拉格朗日函数的拉氏乘子, 即目标函数发生的增值; 从经济学意义上讲, 影子价格不是价格, 是某种资源投入且每增加一个单位所带来的追加效益, 影子价格实际上是资源投入的潜在边际效益^[1]. 影子价格反映了产品的供求状况和资源的稀缺程度, 资源越丰富, 其影子价格越低, 反之亦然, 即资源的数量和产品的价格影响着影子价格的大小, 因此它不能代替资源本身的价值.

从理论上讲, 可以通过求解线性规划来获得水资源影子价格. 但是在实践中困难很大, 主要是由于线性规划中涉及几百种资源、几万种甚至上百万种产品相联系的庞大模型, 水资源只是众多资源中的一种, 很难确定水资源和其它资源的数量经济关系. 正如世界银行经济专家艾德里安·伍德所言: “据我所知, 世界上还没有完全由理论计算得出的影子价格”.

综上所述, 尽管影子价格有关理论为解决水资源价值开拓了一些新的思路, 并在实践中有所验证, 但是由于存在着难以克服的困难, 使影子价格的应用受到了极大的限制. 在中国科学院数学与系统科学研究院、中国水利水电科学研究院编制了 1999 年中国九大流域片水利投入占用产出表后, 上述问题就得以解决.

投入产出表全面反映了国民经济各物质生产部

门和非物质生产部门之间在产品的生产和分配上的经济联系和生产技术联系, 把投入产出模型和数学规划方法结合起来, 就可以编制一个既使国民经济各部门相互平衡, 保持一定比例, 又使某一个目标达到最大的计划, 例如国民收入发展速度最快, 长时期内生产的消费品最多的计划等^[2]. 1999 年中国九大流域片水利投入占用产出表把国民经济各部门的用水量作为一种占用单独列出来, 由该表可以得到水资源与国民经济各部门之间的数量经济关系, 使得原来通过线性规划计算水资源影子价格的困难得以解决.

1 线性规划模型

以 1999 年中国九大流域片水利投入占用产出表为基础, 建立如下线性规划模型:

目标函数:

$$\max Z = \sum_{j=1}^n a_{0j} X_j \quad (j = 1, 2, \dots, 51) \quad (1)$$

$$\text{约束条件: } AX + Y + U - V = X \quad (2)$$

$$X^l \leq X \leq X^h \quad (3)$$

$$\sum a_{wj} X_j \leq W \quad (j = 1, 2, \dots, 51) \quad (4)$$

$$U^h \geq U \geq 0 \quad (5)$$

$$V^h \geq V \geq 0 \quad (6)$$

$$Y \geq Y^l \quad (7)$$

$$\sum U_i - \sum V_i \geq C_i \quad (i = 1, 2, \dots, 51) \quad (8)$$

式中: Z 为国民经济各部门的增加值总量; X 为总产出列向量; X_j 为第 j 部门总产出; X^l 为总产出下界列

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (70131002)

作者简介: 刘秀丽 (1976—), 女, 山东菏泽人, 硕士, 主要从事计量经济模型与经济预测研究.

向量; X^h 为总产出上界列向量; Y 为最终产品列向量; Y^l 为最终产品下界列向量; U 为出口列向量; U_i 为第 i 部门的出口量; V 为进口列向量; V_i 为第 i 部门的进口量; U^h 为出口上界列向量; V^h 为进口上界列向量; A 为投入产出直接消耗系数矩阵; C_i 为第 i 部门净出口下界; a_{vj} 为第 j 部门增加值系数; a_{wj} 为第 j 部门用水系数; W 为可实际使用的水量。

2 模型求解及相关因素分析

求解以上线性规划模型,得到中国九大流域片生产用水影子价格和工业用水影子价格,计算结果列于表 1。从表 1 可知,各个流域片工业用水影子价格远高于生产用水影子价格,而且它们由小到大的排列次序基本相同。

这里先从水资源的供求状况来分析影响影子价格的原因。用水量占水资源量的比例反映了水资源的供求状况,根据 1999 年《中国水资源公报》中的数据计算出各流域片相关指标的数值并列于表 1。用水量占水资源量的比例 b 越大,说明该流域片水资源越紧缺; b 越小,说明该流域片水资源越充沛; $b > 1$ 时,说明水资源供不应求,需要从外部调水。数据分析表明, b 与工业用水影子价格的相关系数是 0.9306,与生产用水影子价格的相关系数是 0.8568。 b 与它们之间的高度相关性说明可以用 b 来解释各流域片生产用水和工业用水影子价格不同的原因。

表 1 1999 年中国九大流域片生产用水和工业用水影子价格及相关因素分析

流域片	用水量占水资源量的比例 b	影子价格/(元·t ⁻¹)	
		工业用水	生产用水
东南诸河	0.1385	0.18	0.02
珠江	0.1907	0.24	0.03
长江	0.1517	0.25	0.03
西南诸河	0.0165	0.18	0.04
淮河	0.4261	0.77	0.33
松辽河	0.4501	1.60	0.57
内陆河	0.3734	2.10	1.12
黄河	0.6443	3.55	2.15
海河	1.5729	5.13	2.34

造成工业用水影子价格远高于生产用水影子价格并且它们在各个流域片互不相同的原因还包括以下几点:

a. 长期以来,人们把水看作取之不尽、用之不竭的可再生资源,缺乏科学、正确的水观念,对节水的重要性、紧迫性和长期性认识不足,没有把节水工作放在突出位置,粗放经营,浪费水、污染水环境的现象十分严重,这是造成工业用水紧张的重要原因之一。

b. 工业水价、水资源费、排污费偏低。根据对 378 个城市的统计,1999 年城市供水工业用水价格为

0.12 ~ 3.50 元/m³,平均为 1.21 元/m³;水资源费 0.02 ~ 1.10 元/m³(1998 年),平均为 0.23 元/m³;污水处理费(或排污费)为 0.08 ~ 1.7 元/m³,平均为 0.46 元/m³。多数企业用水成本占其生产成本的比重不超过 2%,低廉的水价是企业缺乏节水动力的重要原因。

c. 工业布局不合理,结构性矛盾突出。黄淮海和内陆河流域片的 14 个省区的火力发电、纺织、造纸、钢铁、石油石化等 5 个高用水行业在该地区的工业中占有较高的比重。高用水行业过度集中在北方缺水地区,使该地区水资源供需矛盾日益突出,水环境恶化的状况加剧,由此带来地下水位下降、地面沉降和水污染问题日益严重。

d. 工业结构性矛盾突出。企业规模结构、产品结构和原料结构不合理是目前工业用水效率低的重要因素之一。绝大多数企业规模小,生产集中度低,高消耗、粗加工、低附加值、缺乏市场竞争力的产品比重高,降低了产品可实现的价值,这是万元增加值取水量高的重要原因;造纸等行业的原料结构不合理,导致单位产品取水量居高不下。

e. 管理工作薄弱,浪费现象严重。绝大多数企业没有建立节约用水的管理制度,工业用水定额不完善,用水计量不健全,不少企业供水管道和用水设备的“跑冒滴漏”现象严重。除火力发电直流冷却电厂的冷却水外,浪费和漏失的水量达取水量的 15%,个别的达到 50%。

f. 我国目前大部分水资源用于农业,1999 年农业用水(包括灌溉用水及畜牧业、渔业用水)占总用水量的 70.54%。农业部门效益低,农业用水的实际价格非常低。这也使得生产用水影子价格低于工业用水影子价格。

3 一种非线性模型

为了得到用水量占水资源量的比例 b 和生产用水影子价格、工业用水影子价格之间的定量关系,对表 1 中的数据用高斯-牛顿法做非线性模拟,得到用水量占水资源量的比例 b 和生产用水影子价格 y_1 的非线性函数:

$$y_1 = 0.7960 + 2.2114 \ln(b + 0.6024) \quad (9)$$

$$(5.1294) \quad (5.0054) \quad (3.4678)$$

相关指数 $R^2 = 0.8841$, R^2 作为衡量所配曲线效果好坏的指标,越接近于 1,表明所配曲线与实测值吻合越好。

给定显著性水平 $\alpha = 0.05$,自由度 $v_1 = 1, v_2 = 7$,查 F 分布表,得临界点 $F_{0.05}(1, 7) = 5.59$, $F = 25.0538 > F_{0.05}(1, 7)$,说明用水量占水资源量的比例对生产用水影子价格有显著影响。

给定显著性水平 $\alpha = 0.05$, 自由度 $n - 1 = 8$, 查得 $t_{\alpha}(n - 1) = t_{0.05}(n - 1) = 2.306$, $t > 2.306$ 或 $t < -2.306$ 时, 拒绝用水量占水资源量的比例对生产用水影子价格没有影响的零假设, 式(9)括号中的 t 值都大于 2.306, 零假设被拒绝。

R^2 检验、 F 检验与 t 检验都表明式(9)较好地模拟了用水量占水资源量的比例 b 和生产用水影子价格 y_1 的非线性函数关系, 该模型可以接受。

同样对表 1 中的数据用高斯-牛顿法做非线性模拟, 得到工业用水影子价格 y_2 关于用水量占水资源量的比例 b 的非线性函数:

$$y_2 = -0.7592 + 6.2605 \ln(b + 1.0581) \quad (10)$$

$$(-3.0364) \quad (7.4981) \quad (4.6879)$$

$R^2 = 0.9430$ 表明曲线与实测值吻合很好; $F = 56.2269 > F_{0.05}(1, 7)$, 说明用水量占水资源量的比例对工业用水影子价格有显著影响; $t_{0.05}(8) = 2.306$, 式(10)括号中得 t 值都在 $(-2.306, 2.306)$ 之外, 所以用水量占水资源量的比例对工业用水影子价格没有影响的零假设被拒绝。 R^2 检验、 F 检验与 t 检验都表明模型(10)可以接受。

由式(9)和式(10)可以看出, 用水量占水资源量比例的增加, 生产用水和工业用水的影子价格都随着增加, 但工业用水影子价格增加的速度比生产用水影子价格增加的速度快。给定用水量占水资源量的比例, 就可由式(9)和式(10)求出相应的生产用水和工业用水的影子价格。当 $b = 1$ 时, $y_1 = 1.84$, $y_2 = 3.76$, 即用水量与水资源量相等时, 生产用水影子价格是 1.84 元/t, 工业用水影子价格是 3.76 元/t。

4 生产用水和工业用水影子价格的计算

中国地域广阔, 水资源分布及用水情况各不相同, 因此水价格的制定应根据具体情况而定。作为制定水价的依据, 计算全国各省、自治区、直辖市(以下简称各省)的生产用水和工业用水影子价格是非常必要的。根据 1999 年《中国水资源公报》中的数据, 计算得到全国各省用水量占水资源量的比例, 代入式(9)和式(10), 得到 1999 年全国各省生产用水影子价格($SPP1$)和工业用水影子价格($SIP1$)。该方法的优点是反映了各省水资源稀缺程度的具体情况, 但不能很好地反映水资源价值。

从另外一个角度, 根据各省所属流域片的生产用水和工业用水影子价格以及各省属于某流域片的 GDP 占该流域片全部 GDP 的比例来计算各省生产用水和工业用水影子价格, 计算公式如下:

$$SPP2_j = \sum_{i=1}^m PP_{ij} b_{ij} \quad (11)$$

$$SIP2_j = \sum_{i=1}^m IP_{ij} c_{ij} \quad (12)$$

式中: $SPP2_j$ 为第 j 省的生产用水影子价格; $SIP2_j$ 为第 j 省的工业用水影子价格; PP_{ij} 为第 j 省所属的第 i 流域片的生产用水影子价格; IP_{ij} 为第 j 省所属的第 i 流域片的工业用水影子价格; b_{ij} 为第 j 省属于第 i 流域片的 GDP 占第 i 流域片总 GDP 的比例; c_{ij} 为第 j 省属于第 i 流域片的工业 GDP 占第 i 流域片总工业 GDP 的比例。

该方法的优点是反映了水资源的价值因素; 缺点是把各省的情况流域化, 结果过于平均。

综合考虑影响水资源影子价格的两方面因素, 采用公式(13)和(14)计算各省的生产用水影子价格 SPP 和工业用水影子价格 SIP :

$$SPP = 0.5SPP1 + 0.5SPP2 \quad (13)$$

$$SIP = 0.5SIP1 + 0.5SIP2 \quad (14)$$

依据式(9)~(14), 求得全国各省生产用水和工业用水影子价格, 结果见表 2。

表 2 各省生产用水和工业用水影子价格测算结果

省份	用水量 占水资源量 的比例 b	生产用 水影子 价格/ (元·t ⁻¹)	工业用 水影子 价格/ (元·t ⁻¹)	省份	用水量 占水资源量 的比例 b	生产用 水影子 价格/ (元·t ⁻¹)	工业用 水影子 价格/ (元·t ⁻¹)
北 京	2.9373	2.97	6.52	湖 北	0.2440	0.23	0.57
天 津	9.8077	4.16	9.66	湖 南	0.1596	0.11	0.36
河 北	2.0803	2.65	5.76	广 东	0.3026	0.31	0.71
山 西	0.8230	1.90	3.69	广 西	0.1511	0.10	0.34
内 蒙 古	0.3807	1.03	2.03	海 南	0.1346	0.08	0.29
辽 宁	0.7955	1.06	2.35	重 庆	0.0882	0.02	0.18
吉 林	0.3616	0.64	1.52	四 川	0.0787	0.02	0.15
黑 龙 江	0.5490	0.84	1.91	贵 州	0.0727	0.02	0.13
上 海	1.5005	1.24	2.69	云 南	0.0592	0.02	0.12
江 苏	1.0563	1.02	2.15	西 藏	0.0057	0.05	0.15
浙 江	0.1746	0.13	0.37	陕 西	0.3427	1.24	2.19
安 徽	0.1898	0.23	0.56	甘 肃	0.5438	1.44	2.67
福 建	0.1479	0.09	0.30	青 海	0.0411	0.93	1.64
江 西	0.1163	0.05	0.25	宁 夏	10.5348	4.14	9.07
山 东	1.3707	1.54	3.14	新 疆	0.4897	1.06	2.04
河 南	1.1187	1.50	3.08				

表 2 中的计算结果综合考虑了水资源的稀缺程度及水资源的价值两方面的因素, 比较符合各省水资源分布及开发利用情况, 是制定各省生产用水和工业用水价格的重要依据。

5 省级以下行政区域的计算模型

同一个省内水资源的分布与使用状况也是各有千秋, 比如江苏过境水量比较丰沛, 但南北水资源分布不均, 南丰北枯, 丰枯比达 2.5。安徽省水资源分布南多北少, 长江多、淮河少。因此在同一省内进行水资源管理也要根据具体情况制定具体策略, 如何计算省级以下行政区域生产用水和工业用水的影子价格也是必须解决的问题。对表 2 进行相关因素分析, 然后用非线性模拟方法得到省级以下行政区域

生产用水和工业用水的影子价格计算模型.

$$PP = 4.1684 - 0.5902 \ln x_1 + 0.4061b \quad (15)$$

$$(3.2606) \quad (-2.8625) \quad (10.6190)$$

$$R^2 = 0.8990 \quad F = 58.9753$$

式中: PP 为省级以下行政区域生产用水影子价格;
 x_1 为农田亩均灌溉用水量; b 为用水量占水资源量的比例.

$$IP = 4.9430 - 0.8115 \ln x_2 + 0.8396b \quad (16)$$

$$(3.6879) \quad (-2.9152) \quad (10.7724)$$

$$R^2 = 0.9208 \quad F = 78.0000$$

式中: IP 为省级以下行政区域工业用水影子价格;
 x_2 为万元工业产值的用水量.

式(15)和式(16)需求的变量数据易于得到,计算简单,可信度较高,对于省级以下行政区域生产用水和工业用水管理决策的制定有参考价值.

6 结 语

本文依据 1999 年中国九大流域片水利投入占

用产出表,把投入产出和线性规划方法相结合,首次计算了 1999 年中国九大流域片生产用水和工业用水的影子价格.然后对计算结果进行了相关因素分析,发现用水量占水资源量的比例是决定生产用水和工业用水影子价格的主要因素,根据分析结果建立了两个非线性回归模型,降低了计算生产用水和工业用水影子价格的难度.在此基础上计算了全国各省生产用水和工业用水的影子价格,这对于各省制定合理水价,建立水市场有参考价值.最后给出了小于省级行政区划的生产用水和工业用水影子价格的计算模型,解决了计算生产用水和工业用水影子价格的基本问题.

参考文献:

- [1] 张屹山.影子价格的经济含义及其应用[J].吉林大学社会科学学报,1990,10(2):14~18.
- [2] 陈锡康.经济数学方法与模型[M].北京:中国财政经济出版社,1985.6~10.

(收稿日期:2002-12-25 编辑:张志琴)

(上接第 9 页)

在各种因素共同作用下,任一时间的体积变形控制在一定的范围内,从而使混凝土在凝结硬化过程中的收缩应力和膨胀应力得到有效的控制,由此来防止混凝土收缩裂缝的发生.经两种方法比较可知前者实际上是一种应力补偿,而后者才是真正意义上的收缩补偿.由于混凝土在硬化过程中其强度和弹性模量都是随时间变化而增大的函数,所以混凝土早期的膨胀量过大,容易造成混凝土早期胀裂破坏,尤其是在外界气温较低混凝土早期强度发展较慢时,这种现象就更容易发生.此外,由于混凝土早期弹性模量低能够储存在混凝土中的有效补偿应力十分有限,要达到一定的补偿收缩效果就必须加大混凝土的膨胀量,所以用应力补偿来消除收缩裂缝不是最理想的方法.工程实践证明,防止混凝土收缩裂缝比较安全、有效的方法是根据试验的结果确定混凝土在外界和自身因素作用下的收缩变形曲线,然后在混凝土中加入经过改性后的膨胀材料,使混凝土在膨胀时间和膨胀量上与其收缩曲线相吻合,以此来保证混凝土的凝结硬化过程中产生的收缩拉应力和各点的膨胀应力始终小于抗拉强度,从而达到混凝土安全防裂的目的.因此,混凝土的补偿收缩要求整个过程的变形控制.

5 结 语

中国水利水电第十二工程局施工科学研究所经

过多年的试验研究,根据上述补偿收缩混凝土理论已成功地开发了 VF 混凝土防裂剂,VF 防裂剂的特点是其膨胀量和膨胀时间能够根据防裂设计需要人为调节,重视混凝土体积变形和其强度协调发展的变化过程.上述补偿收缩混凝土理论已应用于十几座中、高面板堆石坝的混凝土面板防裂研究实践中,并都取得了理想的防裂效果.1999~2000 年,温州珊溪水库一期和二期面板混凝土防裂研究课题中应用了上述理论成果,经各方多次实地检查,在总面积为 7 万 m^2 的一期和二期面板上未发现任何裂缝,其中一期面板中最大长度达 142.6 m.经专家鉴定该项研究成果达到国际先进水平.2001 年,经中国企业联合会、中国企业家协会确认珊溪水库面板防裂技术创造了中国企业新纪录.一维混凝土结构收缩裂缝的理论研究和工程应用的成功,对今后预防二维板壳结构和三维大体积混凝土的温度收缩裂缝提供了宝贵的经验.

参考文献:

- [1] 鲁电.防止堆石坝面板混凝土收缩裂缝方法的研究[J].水利水电技术,2002,33(2):18~21.
- [2] 吴中伟.补偿收缩混凝土[M].北京:中国建筑工业出版社,1979.

(收稿日期:2002-10-17 编辑:张志琴)