

# 北京市供水与用水政策的一般均衡分析

## ——基于水资源 CGE 模型

何维达, 陆平, 邓佩

(北京科技大学东凌经济管理学院, 北京 100083)

**摘要:**北京市严重缺水,地下水超量开采严重,对生态环境造成不利影响。为解决水短缺问题,构建北京市水资源一般均衡模型,比较研究北京市供水与用水政策对当地经济及水资源利用的影响。结果表明,南水北调工程调水有利于北京市经济发展;地下水保护政策有利于当地的水生态环境,但单独实施将对经济造成负向冲击;水价政策实施能够促使生产部门和居民节约用水,对整体经济的影响较小;调控政策组合将在北京市水资源、环境与经济协调发展方面发挥积极作用。

**关键词:**水政策;供水与用水;可计算一般均衡模型(CGE);北京市

**中图分类号:**TV213.9

**文献标志码:**A

**文章编号:**1671-4970(2015)02-0072-05

北京市属于我国严重缺水城市,2013 年人均水资源占有量约为  $119 \text{ m}^3$ ,为我国人均水资源占有量的 5.8%。南水北调中线工程每年将为北京市调水约  $10.5 \text{ 亿 m}^3$ ,按北京市 2 115 万人口数(2013 年末)计算,年人均新增水量不足  $50 \text{ m}^3$ 。随着南水北调工程来水,北京市将逐年减少本地地下水开采量,以北京市年均地下水减采量  $5 \text{ 亿 m}^3$  计算,北京市年人均增加水量将不足  $25 \text{ m}^3$ 。由此可见,南水北调工程调水能够在一定程度上缓解北京市水供需矛盾,但所产生的作用仍然有限。在解决北京市水短缺问题上,还需要进一步重视阶梯水价与差别水价等政策所发挥的节水作用。

对供水与用水政策的研究主要集中于供水量变动、水价、技术创新、虚拟水贸易等方面。刘金华等<sup>[1]</sup>构架了水资源 CGE 模型,研究供水量变动对天津市经济的影响,结果表明水资源对 GDP 的边际贡献率随着供水量的增加而减少。Xia 等<sup>[2]</sup>采用 CGE 模型分析了北京市水价上涨对地区生产总值和部门产出的影响,相比于水价变化,农业部门对水量变化更为敏感,高耗水产业(如造纸业、纺织业等)对水价政策比较敏感,水价政策能促使这些产业采用更有效的节水技术。邓群等<sup>[3]</sup>通过构建水资源 CGE 模型研究了北京市水价变动以及供水量变化对各部

门经济的影响,在水价增加 10% 的冲击下,行业产出和销售量变化呈现不同的特点与变动趋势。技术创新政策主要体现在对水利基础设施和农业灌溉技术的提高上,李昌彦<sup>[4]</sup>建立了包含水资源要素、水的生产与供应业及生产用水补贴的水资源 CGE 模型,比较了水价、生产用水补贴政策、科技创新政策对江西省经济的影响。刘红梅等<sup>[5]</sup>分析了影响农业虚拟水贸易的因素。Llop 等<sup>[6]</sup>比较分析了西班牙加泰罗尼亚地区的供水与用水政策效应。

水资源纳入一般均衡分析框架,通常采用以下方法:①将水资源作为生产要素引入生产函数。夏军等<sup>[7]</sup>将水资源作为要素嵌入 CGE 模型,同时将水污染治理作为一个单独的部门处理,并在扩展的投入产出表中纳入了水资源、水污染治理部门与其他部门之间的关系。Calzadilla 等<sup>[8]</sup>在模型中区分了雨养农业和灌溉农业,将土地资源分为草场、雨养农业用地、灌溉农业用地与灌溉水资源;②将水资源开发和水环境部门作为一个经济部门纳入模型。如 Letsoalo 等<sup>[9]</sup>将水资源作为生产部门纳入模型;③将部门供水作为其产出的约束条件,相当于模型外挂了一个水资源模块。王勇等<sup>[10]</sup>将水资源供给作为生产的约束条件,考查了不同水资源供给情景方案对张掖市部门产出、就业、GDP 等宏观经济因素的

收稿日期:2014-12-17

基金项目:北京市社会科学基金重点项目(14JGA014);国家社会科学基金项目(14ZDA088)

作者简介:何维达(1960—),男,江西新余人,教授,博士,从事产业经济研究。

影响。本文综合了前两种方法,一方面将水资源作为生产要素构成水要素账户,另一方面将水的生产与供应业单独列出来形成一个经济部门,在此基础上将水资源要素区分为地表水、地下水、再生水和外来调水。由于现实中的部分水资源未纳入经济核算,这种设定更符合实际情况。在此基础上,对北京市工程调水、地下水保护与阶梯水价等供水政策进行模拟,比较分析各供水与用水政策在解决北京市水资源供需矛盾问题中所起的作用,为相关决策提供参考和借鉴。

## 一、北京市供用水变化趋势及政策现状

### 1. 北京市供用水情况

根据北京市历年水资源公报,1980—1990年,北京市供水总量由42亿 $m^3$ 降至41亿 $m^3$ ,1990—2000年,大致在40亿 $m^3$ 至43亿 $m^3$ 间波动。2001—2012年,北京市年供水量在35亿 $m^3$ 左右波动。由此可知,虽部分年供水量有所波动,但总体上仍处于下降趋势。北京市供用水结构变化趋势如图1a所示,主要呈现如下特征:①地下水供给量占北京市总供水量比重最大,年平均值约为63%,但呈下降趋势,2012年该比重下降至51%;②地表水供给量占比也呈逐年下降趋势;③再生水供给量占比逐年增大,至2012年再生水供给量约占总供水量20%;④北京市从外地调水量增加,至2012年南水北调工程供水和应急供水共占总供水量16%。

用水结构及其变化大体可按农业、工业、生活与环境用水等方面进行分析。2001—2012年北京市用水结构变化如图1b所示,农业用水、工业用水占总用水量比重进一步减少,而生活用水、环境用水占总用水量比重呈现增长趋势。农业用水持续性下降主要有以下原因:①北京市通过一系列政策引导农业向节水型发展,限制耗水量大、效益低的农作物种植;②鼓励改进农业灌溉技术;③随着城区扩张,部分农业用水转为非农业用水。工业用水持续性减少与北京市产业结构调整政策相关,在工业由劳动资本密集型向技术知识密集型转变过程中,工业用水停止增长甚至出现下降。生活用水包括城镇生活用水和农村生活用水。城镇生活用水由居民用水和公共用水(含服务业、餐饮业、货运邮电业及建筑业等用水)组成,农村生活用水除居民生活用水外还包括牲畜用水。服务业发展、人口增长以及人均生活用水量提高,导致了生活用水持续性增加。

### 2. 北京市水政策现状

在农业水政策方面,北京市从2007年开始,强调了利用价格机制促进节水型农业发展,减少地下

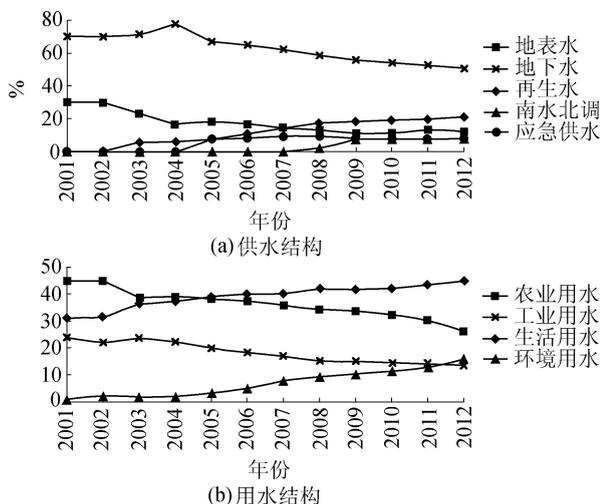


图1 2001—2012年北京市水供需结构变化趋势

水开采,对农业生产超限额用水征收水资源费,农村低保家庭因征收农业用水水资源费增加的支出,可由民政部门通过提高低保标准等进行补偿。2012年《北京市节约用水办法》鼓励发展高效节水型农业,限制耗水量大、效益低的农作物种植面积。

在工业与服务业水政策方面,《北京市节约用水办法》规定了北京市实行行政区域和行业用水总量控制,按照生活用新水适度增长、环境用新水控制增长与农业用新水负增长原则,根据区域功能定位和行业可持续发展的要求,科学配置水资源,逐级分解用水总量指标;对已经超过用水总量指标的区域或行业,不再增加用水指标。为限制高耗水行业发展,北京市还实施了诸如产业用水效率准入制度等政策,对各产业部门定期进行用水效率评估,并根据用水情况制定投资项目指导和限制发展目录。

在居民用水政策方面,北京市采取阶梯水价,促进节约生活用水。例如,2014年《关于北京市居民用水实行阶梯水价的通知》明确规定按年度用水量计算,将居民家庭全年用水量划分为3档,水价分档递增的阶梯水价政策。

## 二、水资源CGE模型

### 1. 模型设定

CGE模型可分为澳大利亚式和美国式,建模技术及应用方向存在一定差异。澳大利亚式CGE模型<sup>[11-12]</sup>采用线性化技术提高了模型求解速度,较适合求解大规模模型,模型闭合程度较低,主要适用于政策模拟分析。美国式CGE模型通常采用水平变量方程,模型闭合程度较高,主要适用于经济理论检验。本文以澳大利亚政策研究中心(CoPS)研发的单区域CGE模型为基础,构建北京市水资源CGE模型。模型主要包括生产投入决策、产出决策、投资

决策、最终需求、市场出清、资本供给和资本形成、要素供给、闭合条件等模块。为了将水资源作为生产要素引入模型,对生产投入、要素供给和闭合条件等模块方程进行了调整。

生产部门在给定的生产技术条件下,最小化生产成本,从而决定与产出水平相适应的投入数量及构成(图2)。假设产业*i*的产出数量为 $X1TOT(i)$ ,中间投入品为 $X1\_S(c,i)$ 、初级要素为 $X1PRIM(i)$ ,其他生产成本为 $X1OCT(i)$ , $A1$ 表示技术系数, $a1$ 为 $A1$ 的变化率。最顶层嵌套采用 $Leontief$ 生产函数,生产部门的最优化方程可表达为:

$$X1TOT(i) \cdot A1TOT(i) = \min \left\{ \frac{X1\_S(c,i)}{A1\_S(c,i)}, \frac{X1PRIM(i)}{A1PRIM(i)}, \frac{X1OCT(i)}{A1OCT(i)} \right\} \quad (1)$$

将方程线性化,可得如下方程:

$$x1\_s(c,i) - [a1\_s(c,i) + a1tot(i)] = x1tot(i) \quad (2)$$

$$x1prim(i) - [a1prim(i) + a1tot(i)] = x1tot(i) \quad (3)$$

$$x1oct(i) - [a1oct(i) + a1tot(i)] = x1tot(i) \quad (4)$$

初级要素嵌套采用不变替代弹性( $CES$ )生产函数,方程如下所示:

$$X1PRIM(i) = CES \left\{ \frac{X1LAB\_O(i)}{A1LAB\_O(i)}, \frac{X1CAP(i)}{A1CAP(i)}, \frac{X1LND(i)}{A1LND(i)}, \frac{X1WTR\_B(i)}{A1WTR\_B(i)} \right\} \quad (5)$$

其中,对水资源要素的线性化需求方程为:

$$x1wtr\_b(i) - a1wtr\_b(i) = x1prim(i) - \sigma_{1PRIM}(i) \cdot [p1wtr\_b(i) + a1wtr\_b(i) - p1prim(i)] \quad (6)$$

各产业部门的水资源要素投入来源于地表水、地下水、再生水与外来调水,采用不变替代生产函数( $CES$ )加总, $WSR$ 集合表示水供给来源集。方程如下所示:

$$X1WTR\_B(i) = CES \{ X1WTR(i,b), b \in WSR \} \quad (7)$$

线性化为如下方程:

$$x1wtr(i,b) = x1wtr\_b(i) - \sigma_{1WTR}(i) \cdot [p1wtr(i,b) - p1wtr\_b(i)] \quad (8)$$

根据经济变量调整时间,在短期闭合条件中,通常设定资本存量、实际工资为外生变量。然而,在保持收益率不变前提下,资本存量可以自由调整,总就业水平一定,实际工资可以调整。可以假设水资源供给总量外生,部门的水资源相对价格内生,水资源在部门间的配置由水资源相对价格决定,这意味着

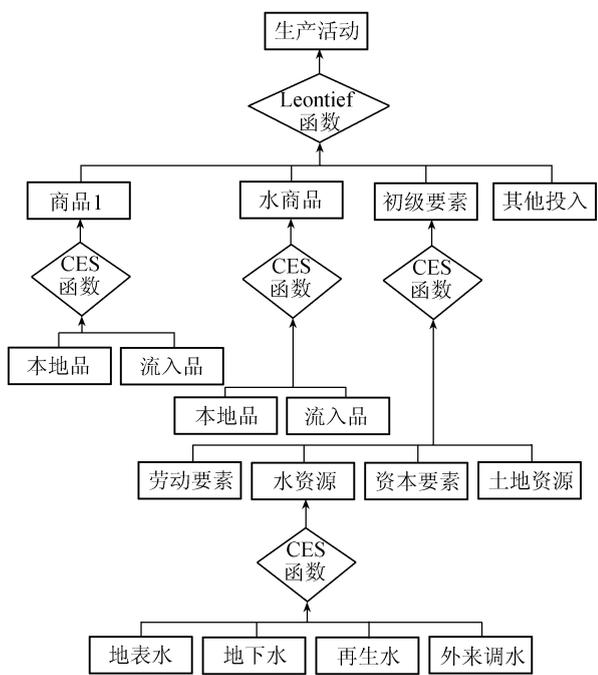


图2 生产投入结构

水资源可以在部门间流动。另一种设定部门间的水资源相对价格是刚性的,外生设定,而水资源供给呈无限弹性,即在设定的水资源价格条件下,水资源供给数量内在地由需求数量决定。本文采取长期闭合条件,设定资本存量、实际工资为内生变量,水资源要素总供给量为外生变量。

### 2. 数据准备

研究数据主要来源于北京市投入产出表、《北京市统计年鉴(2014)》以及北京市水资源公报。利用北京市统计年鉴中的地区生产总值将投入产出表更新至2012年。水的生产与供应业主要包括自来水供给商、污水处理厂等,它们的主要产出是水商品,由于北京市投入产出表中缺乏农业灌溉用水供给及规模以下企业的水供给的相关数据,因此,需要将水资源作为一类生产要素引入投入产出表。首先,从2012年北京市水资源公报中获取水资源的供需实物量;其次,按水的生产与供应业对其他部门的供给比例(供给服务业与最终消费的比例),将服务业用水从生活用水中分离出来;再次,估算水资源要素的影子价格<sup>[13-15]</sup>,进而得出水资源要素价值量;最后,将总的要素价值按比例分解为劳动要素、资本要素以及水资源要素。模型中的生产函数与转换函数的弹性取值参考了PRCGEM模型的参数取值<sup>[16]</sup>,北京市三次产业的水产出弹性值参考了秦昌波<sup>[17]</sup>估算结果。

### 3. 模拟情景设定

情景1是南水北调工程调水情景。根据南水北调项目计划,调水主要用于满足工业用水、服务业用

水与居民生活用水的需要。南水北调中线工程完成后,平均每年将向北京市调水 10.5 亿  $m^3$ , 减去基期已有调水量 2.8 亿  $m^3$ , 新增调水量占基期总供水量 21.4%。因此,模拟情景设定为南水北调工程来水导致北京市总供水量较基期增加 21.4%。

情景 2 是地下水保护政策情景。2001—2012 年,北京市年均水资源量约 26 亿  $m^3$ 。为保障供水安全,不得不超采地下水。据监测,平原区地下水每年超采 5 亿至 6 亿  $m^3$ 。随着南水北调工程来水,北京市将逐年减少本地地下水开采量。设定为减采地下水 5 亿  $m^3$ , 这相当于基期北京市总供水量的 13.9%。

情景 3 是阶梯水价政策情景。根据北京市新出台的阶梯水价政策,在非居民用水方面,水价由平均每立方米约 6 元上涨至约 8 元,涨幅约为 33%。在居民用水方面,水价平均比基期(2012 年)水价上涨 25%。水价政策模拟情景设定为居民用水水价较基期提高 25%,非居民用水水价较基期提高 33%,通过调整水商品间接税来反映北京市水价政策调整。

情景 4 为政策组合情景,综合了北京市工程调水、地下水保护政策与阶梯水价政策。

### 三、实证结果分析

#### 1. 工程调水政策模拟结果

工程调水将增加北京市的供水量,对北京市的经济、社会、环境将产生积极影响。北京市供用水政策对宏观经济影响模拟结果见表 1 情景 1,南水北调工程调水将导致北京市真实地区生产总值增加 3.23%,真实工资上升 5.89%,这主要是因为水资源要素供给增加,导致宏观经济产出成本下降,产出数量增加,从而导致生产部门的劳动需求曲线向上移动。北京市供用水政策对部门产出及用水量影响模拟结果见表 2 情景 1,各部门产出均得到了增加,其中,水利环境和公共设施管理业、住宿和餐饮业、农业的产出量增加幅度较大,分别为 31.52%、12.13%与 11.87%。水利环境和公共设施管理业、农业与邮政业用水量增加最多,分别为 36.41%、26.31%与 25.93%。

#### 2. 地下水保护政策模拟结果

地下水保护政策将减少北京市本地水资源供给量,导致北京市水资源均衡价格上升。水资源均衡价格变动可以视为水资源潜在经济价格变动,模拟结果反映了水资源供给数量减少导致其单位经济价值提高。从宏观角度看,如表 1 情景 2 所示,地下水保护政策将导致北京市真实地区生产总值降低 2.74%,真实工资下降 4.94%。从部门角度看,如

表 2 情景 2 所示,水资源供给量缩减将导致北京市各部门产出降低,对水利环境和公共设施管理业、农业、住宿和餐饮业的产出负向影响较大,分别为 -19.72%、-9.22%与 -8.75%。水利环境和公共设施管理业、邮政业与农业的用水量分别下降 21.69%、17.01%与 16.74%。

#### 3. 水价政策模拟结果分析

从宏观角度,如表 1 情景 3 所示,北京市实施水价政策对真实地区生产总值存在负面冲击 0.03%,真实工资水平下降 0.21%,居民消费价格指数上升 0.10%。从部门经济角度,如表 2 情景 3 所示,水价政策将导致北京市水的生产与供应业的产出下降 2.98%,而对其他部门的产出影响程度较小。该政策缩减了其他部门对水商品的中间需求,以及居民等经济主体对水的最终需求,导致水的生产与供应业产出缩减,该部门将进一步减少对水资源要素的引致需求,最终导致用水量下降 2.94%。

#### 4. 政策组合模拟结果分析

对南水北调工程调水、地下水保护和水价调整的政策组合进行模拟,在宏观经济效应方面,如表 1 情景 4 所示,政策组合导致北京市真实地区生产总值增加 1.22%,真实工资上升 2.05%,居民消费价格指数下降 0.46%。在部门经济效应方面,如表 2 情景 4 所示,水利环境和公共设施管理业、农业、住宿和餐饮业的产出分别增加 10.64%、4.43%与 4.32%,水的生产和供应业产出减少 1.33%,水利环境和公共设施管理业、邮政业、农业用水量分别增加 12.10%、9.22%与 9.09%,这基本反映了地下水保护、工程调水与水价政策综合效应。

表 1 北京市供用水政策对宏观经济影响模拟结果 %

宏观指标	情景 1	情景 2	情景 3	情景 4
真实地区生产总值	3.23	-2.74	-0.03	1.22
真实工资水平	5.89	-4.94	-0.21	2.05
居民消费价格指数	-1.42	1.30	0.10	-0.46
本地商品流出	3.03	-2.53	-0.04	1.12
本地商品流入	2.45	-2.05	-0.04	0.90

### 四、结 论

通过构建北京市水资源一般均衡模型,模拟北京市供水与用水政策对当地经济及水资源利用的影响,得出以下结论:第一,工程调水有利于北京市经济发展,对水利环境和公共设施管理业、住宿和餐饮业、农业的发展促进作用较大;第二,地下水保护政策有利于当地的生态环境和水资源可持续利用,但对当地经济造成负向冲击;第三,水价政策实施能够减少生产部门和居民对水的需求,但对经济的整体影响较小,未来该政策还有进一步实施空间;第四,

表2 北京市供用水政策对部门产出及用水量影响模拟结果

%

部门名称	情景1		情景2		情景3		情景4	
	产出	用水	产出	用水	产出	用水	产出	用水
农业	11.87	25.93	-9.22	-16.74	-0.01	0.02	4.43	9.09
工业	2.75	20.08	-2.39	-13.24	-0.09	-0.02	0.98	7.05
水的生产和供应业	4.54	21.91	-3.60	-14.15	-2.98	-2.94	-1.33	4.50
建筑业	3.12	21.27	-2.59	-13.87	-0.10	-0.06	1.09	7.40
交通运输及仓储业	7.17	23.56	-5.95	-15.43	-0.06	0.00	2.69	8.28
邮政业	9.54	26.31	-7.71	-17.01	-0.04	0.01	3.58	9.22
计算机服务和软件业	1.13	19.41	-1.05	-12.83	0.01	0.07	0.46	6.92
批发和零售业	1.07	19.51	-1.02	-12.93	0.02	0.09	0.45	6.98
住宿和餐饮业	12.13	23.23	-8.75	-14.70	-0.10	-0.06	4.32	8.00
金融业	2.22	20.31	-2.02	-13.45	0.02	0.10	0.90	7.27
房地产业	3.53	18.76	-2.96	-12.37	-0.05	0.01	1.30	6.62
租赁和商务服务业	0.68	20.15	-0.72	-13.36	0.06	0.09	0.34	7.21
研究与试验发展业	3.23	17.04	-2.72	-11.29	0.01	0.03	1.25	6.05
综合技术服务业	1.86	19.90	-1.69	-13.16	0.01	0.06	0.75	7.09
水利环境和公共设施管理业	31.52	36.41	-19.72	-21.69	-0.27	-0.26	10.64	12.10
居民服务和其他服务业	4.64	17.27	-3.78	-11.43	0.00	0.03	1.77	6.13
教育业	6.83	21.17	-5.40	-13.76	0.00	0.04	2.57	7.46
卫生社会保障和社会福利业	3.40	16.75	-2.96	-11.21	0.04	0.07	1.37	6.01
文化体育和娱乐业	6.23	22.07	-5.20	-14.51	0.00	0.03	2.39	7.81
公共管理和社会组织业	3.05	20.30	-2.65	-13.38	0.02	0.06	1.21	7.22

政策组合将在北京市水资源、环境与经济协调发展方面发挥积极作用。当前,生态文明与经济、政治、文化社会建设已成为全面建成小康社会任务的重要组成部分,调整经济结构、改善生态环境成为我国政府重要的政策目标,经济增长等总量目标被弱化。南水北调工程来水不仅对北京市经济带带来积极作用,而且能够弥补生态环境用水缺口,改善北京市水生态环境。因此,应高效利用南水北调来水,进一步完善用水许可制度并设定地下水使用总量目标,减少地下水过度开采,逐步涵养回补地下水。与此同时,要不断完善水资源市场配置机制,发挥市场在水资源配置中的决定性作用。

#### 参考文献:

- [1] 刘金华,倪红珍,汪党献,等. 基于CGE模型的天津市水资源经济效果分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2012, 10(3):192-198.
- [2] XIA J, DENG Q, SUN Y B. Integrated water and CGE model of the impacts of water policy on the Beijing's economy and output[J]. 中国人口·资源与环境:英文版, 2010, 8(2):61-67.
- [3] 邓群,夏军,杨军,等. 水资源经济政策CGE模型及在北京市的应用[J]. 地理科学进展, 2008, 27(3):141-151.
- [4] 李昌彦,王慧敏,佟金萍,等. 基于CGE模型的水资源政策模拟分析:以江西省为例[J]. 资源科学, 2014, 36(1):84-93.
- [5] 刘红梅,李国军,王克强. 中国农业虚拟水国际贸易影响因素研究:基于引力模型的分析[J]. 管理世界, 2010(9):76-87.
- [6] LLOP M, PONCE-ALIFONSO X. A never-ending debate;

- demand versus supply water policies-A CGE analysis for Catalonia [J]. Water Policy, 2012, 14(4):694-708.
- [7] 夏军,黄浩. 海河流域水污染及水资源短缺对经济发展的影响[J]. 资源科学, 2006, 28(2):2-7.
- [8] CALZADILLA A, REHDANZ K, TOL R S. Water scarcity and the impact of improved irrigation management: a computable general equilibrium analysis [J]. Agricultural Economics, 2011, 42(3):305-323.
- [9] LETSOALO A, BLIGNAUT J, WET T D, et al. Triple dividends of water consumption charges in South Africa [J]. Water Resources Research, 2007, 43(5):603-603.
- [10] 王勇,肖洪浪,任娟,等. 基于CGE模型的张掖市水资源利用研究[J]. 干旱区研究, 2008, 25(1):28-34.
- [11] HORRIDGE M. ORANI-G: A aeneral equilibrium model of the Australian economy [R]. Australia: Monash University. Centre of Policy Studies Centre Working Paper, 2000.
- [12] WITTEWER G. Economic modeling of water: the Australian CGE experience[M]. Springer press, 2012.
- [13] 刘秀丽,陈锡康,张红霞,等. 水资源影子价格计算和预测模型研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(2):162-165.
- [14] 姚金海. 论水权运营中市场起决定性作用的实现[J]. 湖南财政经济学院学报, 2014(6):137-142.
- [15] 姜翔程,周迅,宋夏阳. 我国城市水价定价方法研究进展[J]. 河海大学学报:哲学社会科学版, 2013, 15(3):51-55.
- [16] 郑玉歆,樊明太. 中国CGE模型及政策分析[M]. 北京:社会科学文献出版社, 1999.
- [17] 秦昌波. 中国环境经济一般均衡分析系统及其应用[M]. 北京:科学出版社, 2014.