

# 差别化水价对水污染治理的影响

乔晓楠 王一博\*

**摘要:**当前工业用户的用水价格显著高于居民用户,存在着水价交叉补贴现象,关于是否应该调整水价交叉补贴的幅度甚至方向仍存在争论。本文借助CGE模型,对交叉补贴率变动下的经济绩效、用水量以及染物排放量的影响进行了模拟分析,并获得以下结论:工业用户补贴居民用户的方式有助于控制工业部门的用水量,若调整交叉补贴方向则会带来工业用水量较大幅度上升的问题,因此当前的水价交叉补贴策略仍具有合理性;并且,考虑到各个产业污水排放量和其中的污染物排放量比例的差异化特征,对不同的产业实行差别水价有助于减少高污染产业的化学需氧量与氨氮的排放。因此,借鉴惩罚性电价政策,对高污染产业实施惩罚性水价,相较于单独调整补贴率将更有助于结构调整与减排治污。

**关键词:**差别化水价;水价交叉补贴;CGE模型;惩罚性水价

## 一、引言

近日出台的《关于构建现代环境治理体系的指导意见》提出,到2025年,建立健全环境治理的领导责任体系、企业责任体系、全民行动体系、监管体系、市场体系、信用体系、法律法规政策体系,落实各类主体责任,提高市场主体和公众参与的积极性,形成导向清晰、决策科学、执行有力、激励有效、多元参与、良性互动的环境治理体系。其中,在健全环境治理市场体系中明确提及要健全价格收费机制,即按照补偿处理成本并合理盈利原则,完善并落实污水垃圾处理收费政策,综合考虑企业和居民承受能力,完善差别化电价政策。

水污染治理与大气污染治理具有很多相似之处。首先,化学需氧量和二氧化硫都是中国最早纳入生态文明建设指标体系之中的总量控制减排污染物,从“十一五”期间一直延续至

---

\*乔晓楠,南开大学经济学院,中国特色社会主义经济建设协同创新中心,邮政编码:300071,电子邮箱:xiaonan\_qiao@163.com;王一博,南开大学经济学院,邮政编码:300071,电子邮箱:13212129095@163.com。

本文系天津市哲学社会科学一般项目“马克思主义政治经济学的数理方法研究”(TJLJ19-001)与天津市高校习近平新时代中国特色社会主义思想研究联盟的阶段性成果。感谢匿名审稿专家的修改建议,文责自负。

“十三五”期间,并且在未来相当长的时期内也仍将会作为核心污染物加以严格控制。其次,供水与供电均具有明显的自然垄断行业性质,并且在定价机制中普遍运用了交叉补贴策略,进而使价格体系具有差别化价格政策的特点。因此,为了贯彻绿色发展理念,深入推进供给侧结构性改革,打赢污染防治攻坚战,完全可以效法差别化电价政策,充分发挥差别化水价政策在健全现代化环境治理体系中的作用。

通常所讲的“水价”是由四个部分构成的,即供水水价、工程水价、水资源费以及污水处理费。其中,供水水价指取水、净水以及输送的成本与收益构成的水价;工程水价指跨区域、远距离调水的成本所构成的水价;水资源费指在水资源稀缺的条件下以调节用水需求为目的由资源使用成本构成的水价;污水处理费指由处理排水中所含有的污染物涉及的成本与收益所构成的水价,该部分与环境自净能力以及国家或者地区所制定的环境标准有关。中国当前水价相关的政策体系非常复杂,涉及发改委、住建部、水利部、财政部等多个政府部门,内容涵盖资源管理、工程管理、价格管理、成本监审、调价程序、减排治污等多个方面。总体而言,水价的性质伴随着中国的社会主义市场经济体制改革,逐渐从“福利型水价”向“商品型水价”转变,但是伴随着经济社会的发展、用水量的增长以及排放标准的提升,水价存在着成本倒挂现象,特别是在污水处理费方面表现得尤为突出。如果通过提高水价的方式解决诸多问题存在着较大难度,那么基于差别化水价,调整交叉补贴策略就成为一种值得深入探讨的选择。由于用水价格和用水量反向变动,相对较低的价格和补贴会造成居民端用水的浪费,是否应坚持工业用水和服务业用水补贴居民用水的政策是当前围绕水价改革进行讨论的重点。

本文的研究暂不涉及水价内部构成的比例调整,而重点关注差别化水价与交叉补贴策略的探讨。文章通过构建CGE模型,考虑差别化水价以及调整交叉补贴策略的影响,并尝试回答以下问题:第一,是否应该效仿发达国家以居民水价补贴工商业水价的政策及其对经济绩效的影响。第二,针对不同产业的交叉补贴率变动,讨论其用水量的变动情况,进而通过计算其单位污水排放量含有的化学需氧量与氨氮排放量,分析补贴对于其节水减排的影响。第三,分析对于高污染排放产业进行惩罚性水价对于调整其用水量的作用,进而探讨惩罚性水价的可行性。

## 二、文献评述

交叉补贴研究最初由Faulhaber(1975)提出,他分析了生产多种产品的公司产品内部间的交叉补贴效应大小及其福利影响,进而为国家层面、产业层面以及用户层面之下的交叉补贴研究开启了探索空间。例如,乔晓楠(2018)以及乔晓楠和王一博(2018)就针对电价交叉补贴的系统性影响进行了理论方面与经验方面的研究。

关于中国差别水价及其交叉补贴策略的研究长期存在着争论。李太龙和沈满洪(2015)

认为价格杠杆对降低工业用水需求的作用明显,提升工业用水价格可以抑制过量用水,倒逼高耗能产业转型,因此在系统的环境税法颁布实施之前,不建议单纯为了“市场化”而取消水价的交叉补贴。陈优优等(2016)使用2012年全国30个省、直辖市和自治区的数据测算工业用水价格弹性,发现全国工业用水边际收益水平为31.84元/立方米,工业用水弹性在0.019至0.953之间,工业用水对水价富有弹性,且水价低于边际收益,提升工业水价可以控制用水量,促进资源节约。

与之相对也有学者认为水资源交叉补贴存在诸多现实问题(Agthe & Billings,1987;耿六成,2003;马骁威,2008;郑新业等,2012;王谢勇等,2014)。其理由主要包括以下两点:第一,部分地区工业用水价格超过了一些企业的承受能力,而城市居民现行生活用水价格低于完全成本水价。第二,长期以来,中国生活污水排放量非常大,是构成水体污染的重要方面,因此过低的生活用水价格不利于促进居民节约用水并减少污水排放。基于上述理由,此类观点主张当前应提高居民用水价格,进而使其能够反映用水成本,促进节水与减排。

针对差别水价的影响,马训舟、张世秋(2015)使用2013年成都市居民用水随机抽样问卷调查中的数据,划分样本为7个收入群组,发现收入最低的两个群组和最高的群组对价格变动不敏感,其他大多数群组的行为决策并不依赖于边际价格,因此累进阶梯式定价并不能产生预期规制效果。郑新业等(2012)基于2008年的222个地级市的数据,利用联立方程组估计了城市居民用水的价格弹性与收入弹性,认为当前的居民用水价格具有潜在的上升空间,但是也存在自建设施用水替代加剧的风险。

就研究方法而言,部分学者选择投入产出方法与CGE模型开展研究。和夏冰等(2017)以中国2010年24个工业源的氨氮排放数据为基础,使用投入产出模型分析工业源氨氮排放如何在行业间转移,发现氨氮排放量呈现出从下游产业群向上游转移的趋势。闫冰倩等(2017)借助2012年投入产出表发现一些部门如水的生产和供应业利润变化率对政策较为敏感。李昌彦等(2014)利用江西省水资源SAM表,建立了包括水的生产与供应、要素报酬与补贴的CGE模型,发现提高要素价格、缩减补贴与技术进步可以减少用水需求,提高用水效率,但是同时提价和削减补贴会带来更大的负面影响。刘宇等(2016)基于张掖市数据,引入CGE模型测量水价改革的经济效益与节水效益,发现水价改革对节水的影响大于对GDP的影响,节约程度最高的是农业部门地下水的使用,水土资源需求存在从农业部门向非农转移的趋势。袁毅军等(2016)利用CGE模型设置了三种税率下的水污染税征收情形,发现随着污染税的提高,化学需氧量的减排效果越好,但是相应会带来GDP的小幅下降的问题。张宁等(2016)运用可计算的一般均衡模型,以浙江省为例开展研究,并发现提高工农业水资源利用率可以进一步促进地区经济发展,缓解水资源短缺压力,同时也是增加社会福利的最优策略。总体而言,CGE模型较之于单纯企业层面的研究,更容易反映出政策变化对经济整体的影响。就个

体企业而言,如果将利润最大化作为目标函数,并且其中包括用水价格,那么其决策机制就是用水实现生产所带来的边际收益等于其购水所付出的边际成本。如果在此基础上还有其他诸如环境税等政策存在,则还需要将针对污染物的排放所付出的成本内部化。而CGE模型的理论基础为一般均衡理论,所以在市场出清的条件下企业的微观决策还要受到市场整体供需的影响,并且便于刻画结构问题。

通过以上文献梳理可以发现,已有研究并未对中国水价交叉补贴策略及其调整方式形成共识。同时,从研究方法上来看,虽然有学者利用投入产出方法以及CGE模型针对水价问题开展研究,但是较少涉及交叉补贴问题,并且对经济绩效、用水量、污水排放量以及污染物排放量的系统研究还有进一步探索的空间。因此,本文的创新之处主要体现为针对水价交叉补贴进行了模型刻画与影响评估。特别是效仿惩罚性电价,也对实施惩罚性水价进行了分析,进而有利于从打赢污染防治攻坚战与供给侧结构性改革的角度思考差别化水价政策。

### 三、研究设计与模型

#### (一)研究思路

针对水价交叉补贴与水污染治理的问题,本文的研究思路如下:首先,利用价差法计算各类用户的水价交叉补贴率,进而构建可计算一般均衡模型进行模拟分析。其次,重点考察交叉补贴率变动对经济绩效以及各部门用水量的影响,进而结合用水量与污水排放量以及污染物排放量的关系分析调整交叉补贴策略对水污染治理的影响。最后,效仿惩罚性电价,模拟分析如果针对高污染排放产业实施惩罚性水价,那么会对经济绩效与水污染治理产生怎样的影响。此部分的模型设计与后文的模拟思路借鉴了乔晓楠和王一博(2018)针对电价交叉补贴的研究方法,并突出了对化学需氧量和氨氮减排效果的研究。

#### (二)价差法

将不同用户用水的终端价格、参考价格以及二者之间的价差表示为  $PEO$ 、 $PE$  以及  $PEG$ ,以下标  $k$  表示特定的用户类型,可得:

$$PEG_k = PEO_k - PE \quad (1)$$

若  $PEG > 0$  表示该类型用户提供了补贴,反之若  $PEG < 0$  表示该用户是接受补贴的一方, $PEG$  的正负和大小反映了补贴的方向和程度。

将  $ss$  定义为水价交叉补贴率,由公式(1)可得:

$$PE \cdot (1 + ss_k) = PEO_k ; ss_k = PEG_k / PE \quad (2)$$

针对高污染排放产业可以通过惩罚性水价的定价方式促进其转型并推动经济结构优化调整。所谓的惩罚性水价指对某些限制类或者淘汰类的产业收取高于平均水平的水价,进而实现降低其经济产出占比的效果。以  $km$  代表所有的工业部门, $ksm$  指代工业部门中被征收

惩罚性水价的产业部门,其中  $k_{sm} \in km$ 。惩罚性水价就是在原有水价的基础上增加了一个加价幅度  $pun_{k_{sm}}$ ,于是可将公式(2)改写为公式(3)。

$$\begin{aligned} PE \times (1 + ss_{k_{sm}}) &= PEO_{km} \times (1 + pun_{k_{sm}}), km \in k, k_{sm} \in km \\ ss_{k_{sm}} &= (1 + ss_{km}) \times (1 + pun_{k_{sm}}) - 1 \end{aligned} \quad (3)$$

已知不同用户终端价格与参考价格之间的差额,结合其用水量  $QE_k$ ,可以得到全国终端水价交叉补贴费用余额  $PEGBAL$ ,参见公式(4)。

$$PEGBAL = \sum_k PEG_k \times QE_k \quad (4)$$

### (三)CGE 模型

CGE 模型的数据基础为 2012 年的中国社会核算矩阵(SAM),含 27 个产业的活动和商品账户,包括劳动力、资本和水的供应在内的要素以及居民、企业、政府、交叉补贴、国外与投资-储蓄等账户。

模型生产模块为三层嵌套的生产函数,其具体结构如图 1 所示。需要注意的是生产要素与水复合品采用了 Leontief 型生产函数,而没有采用 C-D 型生产函数或者 CES 型生产函数。其原因在于很多产业部门在生产过程之中,其用水需要是明显的刚性要求<sup>①</sup>。换言之,生产技术决定用水需求难以通过资本或者劳动投入的增加以替代水资源的使用。因此,该假设具有很强的现实意义,企业用户对于水价变化的反应主要会体现在调整产量方面。其机制为在供给侧资本和劳动会在不同的产业部门之间流动,而在需求侧会因价格的变化导致需求量发生调整,二者共同作用将推动市场均衡随之变化。

贸易模块采用小国假设,通过 CET 函数反映国内生产产品在国内外的分配情况,国内市场销售产品的分配关系用 CES 函数表示。由于在模型之中需要分别从需求侧和供给侧对国内与国外进行区分,因此模型中用下标  $a$  和  $c$  分别表示本国的产品。从需求侧看,本国生产的产品可以分为“本国生产本国使用的产品”与“本国生产外国使用的产品”。从供给侧看,本国使用的产品可以分为“本国生产本国使用的产品”与“外国生产本国使用的产品”。其中,需求侧“本国生产本国使用的产品”以下标  $a$  表示,供给侧“本国生产本国使用的产品”以下标  $c$  表示。从理论上讲,二者完全相等,这里之所以区分,其原因在于需求侧与供给侧的替代弹性存在差异<sup>②</sup>。这也是公式(5)和(9)中以下标  $a$  和  $c$  区分的原因。同理,参数的上标  $t$  和  $q$  也是

①根据笔者对供水单位以及工业用户的调研,获得的共性信息是在给定技术的条件下,用水量具有较强的刚性。工业用户普遍难以根据供水价格的变化,利用资本或者劳动投入的增加来实现替代,进而降低用水量。其降低成本的方法只能是寻找其他水源,例如提取地表水或者地下水。在监管不够严格的情况下,这样可以降低成本,但其并没有真正降低用水量。或者就是直接通过减产的方式降低用水量,这相当于缩减了生产规模。因此,本文在“生产要素-水复合品”与“中间投入复合品”以及“资本-劳动复合品”与“水”的生产函数形式方面都选择了 Leontief 型的生产函数,进而突出了用水量的刚性。

②在 GAMS 的程序中需求侧与供给侧各自的“本国生产本国使用的产品”二者经过了转置处理。

为了对参数进行区分。

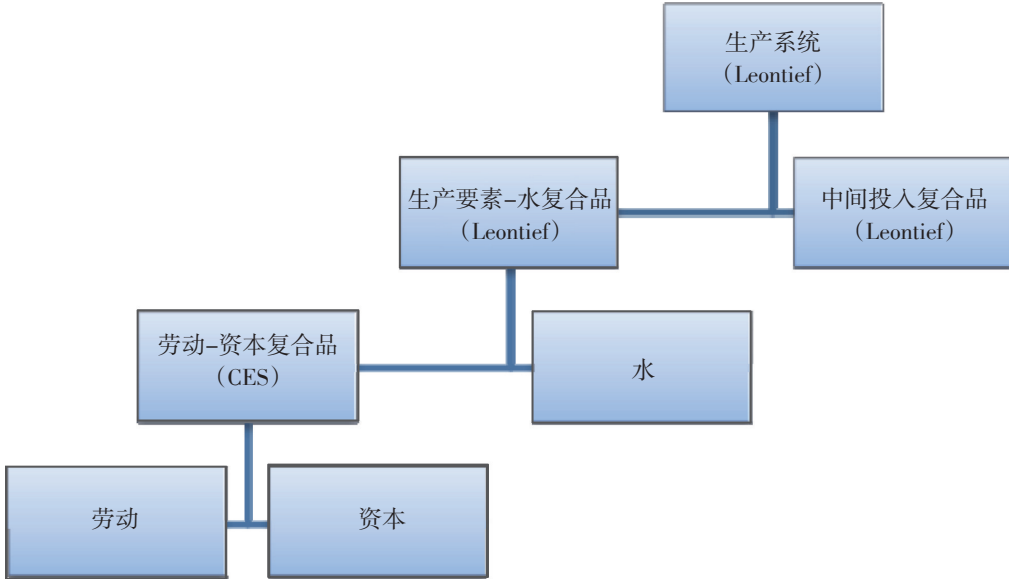


图1 嵌套生产函数结构

国内产出商品  $QA$  可划分为国内销售部分  $QDA$  和出口部分  $QEX$  , 参见公式(5):

$$QA_a = \alpha_a^t [\delta_a^t QDA_a^{\rho_a^t} + (1 - \delta_a^t) QEX_a^{\rho_a^t}]^{\frac{1}{\rho_a^t}}, \rho_a^t > 1 \quad (5)$$

国内生产并在国内销售价格  $PDA$  和出口商品价格  $PEX$  的函数关系参见公式(6)和(7)。

$$\frac{PDA_a}{PEX_a} = \frac{\delta_a^t}{(1 - \delta_a^t)} \left( \frac{QEX_a}{QDA_a} \right)^{1 - \rho_a^t} \quad (6)$$

$$PA_a = PDA_a \cdot \frac{QDA_a}{QA_a} + PEX_a \cdot \frac{QEX_a}{QA_a} \quad (7)$$

出口价格受汇率和国际市场价格的影响, 其中  $te$  为出口税,  $pwe$  是商品离岸价格,  $EXR$  为汇率, 参见公式(8)。

$$PEX_a = pwe_a \cdot (1 - te_a) \cdot EXR \quad (8)$$

国内市场上供给的商品  $QQ$  来自国内自产自销部分  $QDC$  以及进口部分  $QIM$  ,  $QQ$  在国内外商品间的替代关系由阿明顿条件描述, 参见公式(9)。

$$QQ_c = \alpha_c^q [\delta_c^q QDC_c^{\rho_c^q} + (1 - \delta_c^q) QIM_c^{\rho_c^q}]^{\frac{1}{\rho_c^q}}, \rho_c^q < 1 \quad (9)$$

国内生产并在国内销售价格  $PDC$  和进口商品价格  $PIM$  的函数关系参见公式(10)和(11)。

$$\frac{PDC_c}{PIM_c} = \frac{\delta_c^q}{(1 - \delta_c^q)} \left( \frac{QIM_c}{QDC_c} \right)^{1 - \rho_c^q} \quad (10)$$

$$PQ_c = PDC_c \cdot \frac{QDC_c}{QQ_c} + PIM_c \cdot \frac{QIM_c}{QQ_c} \quad (11)$$

进口商品价格由国际市场价格、进口关税和汇率决定。其中  $tm$  为进口关税,  $pwm$  为商品以外币计算的价格, 参见公式(12)。

$$PM_c = pwm_c \cdot (1 + tm_c) \cdot EXR \quad (12)$$

国内市场上的活动与商品账户价格和数量是对应的关系, 参见公式(13)和(14)。其中  $IDENT$  为转换矩阵。

$$QDC_c = \sum_a IDENT_{ac} \cdot QDA_a \quad (13)$$

$$PDC_c = \sum_a IDENT_{ac} \cdot PDA_a \quad (14)$$

在特定价格下, 进出口均衡实现市场出清。

水价模块中假设水价补贴来自政府财政, 也就意味着对不同主体征收了从价税, 税收在居民和企业之间进行转移。根据数据可得供水参考价格高于居民用水价格而低于工业和服务业用水价格, 考虑到农业用水中很大部分灌溉用水并不是来自供水部门提供的自来水, 其价格形成机制与其余部门有较大差别, 因此在模型构建中可以把农业中的灌溉用水价格补贴剔除出去, 并假设农村居民生活用水价格与城镇居民保持一致。

在收支模块中假设居民效用函数为C-D函数, 居民商品支出比例固定。居民向政府缴纳个人所得税, 居民储蓄为居民收入减去居民对于商品的消费额以及居民的税收支出。居民收入来自居民的劳动收入、资本收益、企业和政府对居民的转移支付以及居民在国际市场上的收入。企业支出包括要素支付以及向政府缴纳的税费, 企业储蓄为企业资本收入减去企业支出。政府的收入包括对要素投入征收的生产型增值税, 向居民和企业征收的个人所得税和企业所得税, 国外转移支付以及债务收入, 政府支出中除对于居民和企业的补贴外, 还包括对于国外的支付部分。

宏观均衡模块基于新古典闭合条件, 商品账户平衡, 国内市场上出清的条件参见公式(15)。其中,  $QINT$  为中间投入、 $QH$  表示居民消费、 $QG$  代表政府消费、 $QINV$  表示企业投资,  $QINV$ 、 $QG$  以及此后的  $EXR$  的上划线表示为外生变量<sup>①</sup>。

$$QQ_c = \sum_a QINT_{ca} + \sum_h QH_{ch} + \overline{QINV}_c + \overline{QG}_c \quad (15)$$

国内要素市场出清, 即要素需求等于要素总供给, 参见公式(16)和(17)。

$$\sum_a QLD_a = QLS \quad (16)$$

$$\sum_a QKD_a = QKS \quad (17)$$

<sup>①</sup>当然,  $QINV$  和  $QG$  这两个变量也完全可以内生化处理, 但是一般动态模型之中将其内生化的意义更大, 而在静态模型之中通常采取直接从SAM中取值的方式。

经常账户收支赤字由资本和外汇补偿,表现在SAM表中为国外净储蓄部分,计算国外净储蓄要考虑政府国外收支的差额,国外投资者的投资收益和居民的国外收益差额。以  $INGOV$  表示政府国外转移收入,  $OUGOV$  表示政府对于国外的支付,  $ROWINS$  为国外投资者投资收益,  $HHINS$  为居民的国外收益,则:

$$\sum_c pwm_c \times QIM_c = \sum_a pwe_a \times QEX_c + FSAV + HHINS + INGOV - ROWINS - OUGOV \quad (18)$$

假设采用固定汇率,  $FSAV$  内生,  $EXR$  为外生变量,即  $EXR = \overline{EXR}$ 。

此外,为了刻画居民的福利变化可以设定公式(19)至(21)。以  $U$  表示效用函数,  $QH$  为消费量,以上标0和1分别表示水价调整前后的情况,则不仅可以反映效用变化,而且还可以借助等价变化  $EV$  与补偿变化  $CV$  来刻画居民的福利水平。

$$\Delta U = U(QH^1) - U(QH^0) \quad (19)$$

$$EV = e(P^0, U(QH^1)) - e(P^0, U(QH^0)) \quad (20)$$

$$CV = e(P^1, U(QH^1)) - e(P^1, U(QH^0)) \quad (21)$$

综合以上设定,利用GAMS编写CGE模型程序,并采用MCP(Mixed Complementarity Problems)解算法。此外,以上模型之中,Leontief型函数的参数通过基于投入产出数据校准获得,而CES函数与CET函数涉及到的参数根据GTAP设定,且不同产业的替代弹性存在差异。

#### 四、数据说明

水价交叉补贴率计算中的水价数据来源为2013年的《中国物价年鉴》全国36个大中城市居民生活用水价格情况和工业生产资料月平均价格表,其中包括工业、服务业、居民三类用户的用水价格,水资源参考价格为上述价格的平均数。以  $m$ 、 $s$ 、 $h$  分别表示工业、服务业和居民用户,则  $m, s, h = k$ 。

根据公式(2)结合相关数据可得下表:

用户类型	用水价格(元/立方米)	参考价格(元/立方米)	价差(元/立方米)	补贴率(%)
工业	3.831	3.6147	0.216	0.06
服务业	4.263	3.6147	0.648	0.18
居民	2.75	3.6147	-0.865	-0.24

SAM表数据来源为2012年的《中国投入产出表》年鉴中的42个部门的基本流量表,具体数据来源见表2。为了匹配水污染排放数据我们对服务业的行业数据进行合并,最终合并为27个部门,不同部门的交叉补贴率数据如表3所示。其中,根据模型需要,将投入产出表中的金属制品、机械和设备修理服务部门数据与金属制品部门进行合并,将水的生产与供应看作



是要素投入<sup>①</sup>,共得到27个部门的投入产出数据。要素包括三个层次,最终需求包括居民、企业和政府三个部门,投资-储蓄账户金额来自各个主体的国内外投资与储蓄,国外部分包括资本和商品在国内外流通的价值。

表2 SAM数据来源

项目	数据来源
商品和活动账户	《中国投入产出表(2012)》42部门基本流量表
劳动者报酬	《中国投入产出表(2012)》42部门基本流量表
居民资本收益	《中国统计年鉴》资金流量表(实物交易,2012年)
政府对居民转移支付	《中国财政年鉴》全国预算、决算收支表(2012年)
个人所得税	《中国财政年鉴》全国预算、决算收支表(2012年)
企业缴纳的直接税	《中国财政年鉴》全国预算、决算收支表(2012年)
政府国外转移收入	《中国统计年鉴》国际收支平衡表(2012年)
国外资本投资收益	《中国统计年鉴》国际收支平衡表(2012年)
政府对国外的支付	《中国财政年鉴》全国预算、决算收支表(2012年)
居民储蓄	《中国统计年鉴》资金流量表(实物交易,2012年)
居民的国外收益	《中国统计年鉴》国际收支平衡表(2012年)

表3 分行业水价交叉补贴率测算

用户类型	补贴率(%)	用户类型	补贴率(%)
1 农林牧渔产品和服务	-0.24	16 通用设备	0.06
2 煤炭采选产品	0.06	17 专用设备	0.06
3 石油和天然气开采产品	0.06	18 交通运输设备	0.06
4 金属矿采选产品	0.06	19 电气机械和器材	0.06
5 非金属矿和其他矿采选产品	0.06	20 通信设备、计算机和其他电子设备	0.06
6 食品和烟草	0.06	21 仪器仪表	0.06
7 纺织品	0.06	22 其他制造产品	0.06
8 纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品	0.06	23 废品废料	0.06
9 木材加工品和家具	0.06	24 电力、热力的生产和供应	0.06
10 造纸印刷和文教体育用品	0.06	25 燃气生产和供应	0.06
11 石油、炼焦产品和核燃料加工品	0.06	26 建筑	0.06
12 化学产品	0.06	27 服务业	0.18
13 非金属矿物制品	0.06	居民消费	-0.24
14 金属冶炼和压延加工品	0.06	政府消费	-0.24
15 金属制品	0.06	投资	0.06

①由于本文以水价作为研究对象,因此要突出生产过程之中的用水消耗,所以将“水”从各种中间投入之中提取出来作为生产要素处理,重点研究。此时,在中间投入的部分中已经不再包括水的消耗,因此不涉及重复计入的问题。

水体污染物排放数据来源为2013年的《中国环境统计年鉴》中的各产业的工业废水排放与处理情况以及《全国环境统计公报(2012)》中的相关工业、城镇生活和农业统计数据。由于水污染数据分类中包括的是建筑业以外的工业部门,可以通过使用工业部门废水排放量、化学需氧量和氨氮排放量的总量减去《环境统计年鉴》中的数据得到建筑业的情况。此外,根据《全国环境统计公报(2012)》可以得到社会总体的污染物排放情况、城镇居民污染物排放情况和农村源的污染物排放情况,将全国总体数据减去居民和农业数据以及工业数据得到的是服务业的相关数据。将农业源数据中的农业企业数据减掉可得到农村家庭的生活与生产数据。

## 五、模拟分析

### (一)模拟情境设定

本部分将针对调整水价交叉补贴而带来的一系列影响进行模拟分析。假设给予补贴率  $ss$  一个变动,即  $ss_1 = ss_0 \times n$ 。当  $0 < n < 1$  时为补贴幅度适当缩减,但是补贴方向不变;当  $n = 1$  时维持现有补贴量不变;当  $n > 1$  时即增大补贴幅度;当  $n < 0$  时即为改变补贴方向。模拟分为两步,首先假设服务业  $n$  为0,也就是只针对居民和工业用水进行补贴率调整。其次考虑对所有部门补贴率进行调整。具体的模拟情境设定参见表4。需要注意的是本文为了呈现出水价交叉补贴策略调整的净影响,在模拟设定之中没有考虑节水技术进步以及其他环境政策。

表4 模拟情境设定

用户类型	交叉补贴调整幅度 $n$							
	$n=2$	$n=1.5$	$n=0.5$	$n=0$	$n=-0.5$	$n=-1$	$n=-1.5$	$n=-2$
$k=m, h$	<i>sim11</i>	<i>sim12</i>	<i>sim13</i>	<i>sim14</i>	<i>sim15</i>	<i>sim16</i>	<i>sim17</i>	<i>sim18</i>
$k=m, s, h$	<i>sim21</i>	<i>sim22</i>	<i>sim23</i>	<i>sim24</i>	<i>sim25</i>	<i>sim26</i>	<i>sim27</i>	<i>sim28</i>

### (二)调整水价交叉补贴对经济绩效的影响

表5展示了水价交叉补贴变动对经济绩效的影响。如果只针对居民与工业用户进行调整,则可发现居民用水量随着补贴方向的改变而大幅减少,但是当补贴率达到一定程度时其用水量下降幅度减缓。居民消费部分随着居民面对的补贴率升高而下降,但是其变动幅度较小,因此未在表5中展示。政府支出受到政府收入的影响,随着补贴方向的变动,其支出比例不断上升。居民面对的补贴率上升时居民储蓄与社会总投资变动方向相反,工业补贴居民的幅度越高,居民储蓄升幅越大,社会总投资额降幅越大。从进出口变动来看,随着补贴率调整,工业企业生产负担减少,相对而言进口减少,出口增加;反之当企业生产负担较重时,进口额会相应提升,出口减少。并且,社会总体交叉补贴的余额呈现递减的趋势。随着企业对居民补贴的减少,居民效用呈现递减趋势,当居民补贴企业的幅度过大时,其福利水平有较大幅度的下降。反映居民福利的等价变化  $EV$  和补偿变化  $CV$  同居民效用同方向变动。

表5 调整水价交叉补贴对经济绩效的影响

指标	sim11	sim12	sim13	sim14	sim15	sim16	sim17	sim18
居民用水	0.017	0.014	-0.154	-0.107	-0.676	-0.625	-0.759	-0.612
政府支出	-0.013	-0.009	0.008	0.040	0.061	0.117	0.162	0.140
投资	-0.008	-0.006	0.002	0.028	0.077	0.031	0.070	0.081
进口	0.006	0.004	-0.013	-0.024	-0.098	-0.036	-0.101	-0.376
出口	-0.004	-0.003	0.006	0.006	0.0097	0.020	0.068	0.091
交叉补贴	41.150	20.575	-20.579	-41.176	-61.739	-82.306	-102.892	-123.506
居民储蓄	0.049	0.036	-0.033	-0.059	-0.298	-0.365	-0.416	-0.543
居民效用	0.239	0.142	-0.088	-0.176	-0.192	-0.249	-0.725	-0.738
等价变化	471.64	376.68	-173.93	-489.92	-578.27	-765.08	-1440.52	-1465.12
补偿变化	471.31	376.55	-173.89	-485.17	-578.21	-748.47	-1440.18	-1464.77

注:单位为%,  $k=m, h$ , 等价变化、补偿变化单位为亿元。

### (三)调整水价交叉补贴对不同产业用水量的影响

图2展示了水价交叉补贴变动对不同产业用水量的影响。当企业补贴率下降时,其用水量增幅较为明显。特别是居民补贴工业企业的政策下,工业用水的需求比例上升幅度较大,如金属冶炼和压延加工品产业用水需求量的上升幅度从0.025%增长至4.657%,化学产品产业用水需求量的上升幅度从0.076%增长至2.915%,非金属矿物制品产业用水需求量的上升幅度从0.056%增长至2.010%。需要注意的是用水量大幅提升也将带来相对更高的排污量。

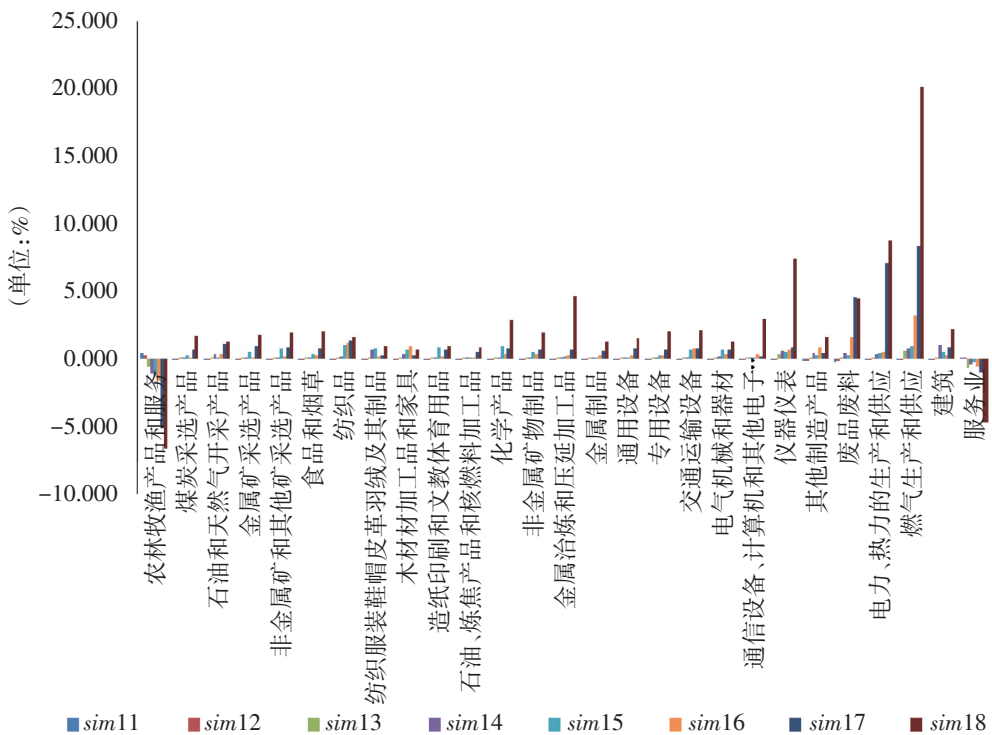


图2 调整水价交叉补贴对不同产业用水量的影响 (k=m, h)

在以下模拟中进一步考虑到增加调整服务业的交叉补贴率,根据图3数据可知,提高企业端交叉补贴幅度时,其对水的需求的降幅较图2中数据更为突出,实际节水效果更好,如对于石油、炼焦产品和核燃料加工品产业来说,在未考虑增加服务业的交叉补贴率之前,其用水量上升幅度从0.048%下降至-0.005%;而在增加之后,其用水量上升幅度从0.022%下降至-0.042%。若采取居民补贴工业的方式,产业部门对水的需求增加远高于提高当前补贴对其需求的减少程度。因此,工业补贴居民的模式总体上效率更高,可以有效控制工业部门用水量的激增,并且居民用水不会受价格影响而大幅变动。但是若提高企业对居民的补贴幅度,会造成污染物排放量的增加,只有当减少补贴规模甚至调整补贴方向时才能使化学需氧量和氨氮排放量总量下降。考虑到居民用水和企业用水总量的情况,当前直接通过居民补贴企业来实现污染物排放量的缩减会带来一些问题,因此适当减少补贴规模是更为可行的选择,但是与此同时产业部门用水量也会相应上升,如何平衡上述矛盾需要进一步思考。

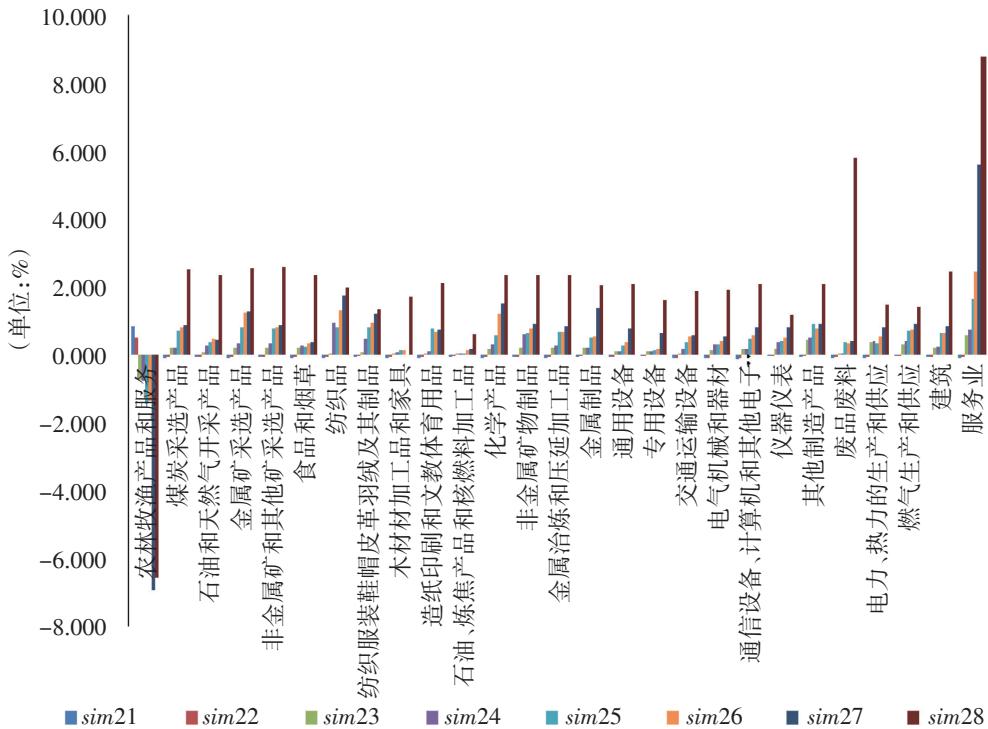


图3 调整水价交叉补贴对不同产业用水量的影响 (  $k = m, h, s$  )

#### (四)调整水价交叉补贴对水污染治理的影响

表6给出了单位用水量导致的污水排放量及其中的化学需氧量(COD)与氨氮含量。本文采用三层嵌套的生产系统设定方式。其中的生产函数的产出均为中间产品或者最终产品,而并不包含污染物。对于污染物的处理方式,则是根据不同用户的用水量与其排水量的比例以及排水量与其特定污染物的比例进行估算。进一步结合用水量的变化,化学需氧量(COD)排放较高的部门有产业2、产业6、产业7、产业10、产业11以及居民等,氨氮排放量较高的部

门有产业7、产业10、产业12和居民等。针对上述部门,当改变现有补贴方向时,其用水量增加比例较大,污水排放量相对较高。

表6 单位用水污水含量和单位污水废弃物含量

产业	单位用水污水排放量	COD含量 (吨/万吨)	氨氮含量 (吨/万吨)	产业	单位用水污水排放量	COD含量 (吨/万吨)	氨氮含量 (吨/万吨)
1	0.026859	21.04190	0.675854	15	0.204626	0.963545	0.080432
2	1.323849	0.860329	0.025861	16	0.043576	1.045477	0.065755
3	0.380785	1.391374	0.090958	17	0.080182	0.836384	0.076253
4	0.453375	0.736529	0.018595	18	0.217271	1.114984	0.074851
5	0.111685	0.977573	0.051279	19	0.052464	0.822035	0.064909
6	0.470252	2.962168	0.135840	20	0.232056	0.695369	0.061072
7	1.451258	1.169377	0.081504	21	0.105053	0.740514	0.057120
8	0.536319	1.790703	0.172311	22	0.046959	1.117138	0.082901
9	0.050764	3.028961	0.099982	23	0.038557	1.444590	0.079407
10	1.951865	1.811005	0.060527	24	0.132319	0.323369	0.021167
11	1.899632	0.919336	0.169433	25	0.099976	1.052466	0.164743
12	0.498803	1.532522	0.253620	26	0.151592	1.012945	0.033719
13	0.070464	1.098913	0.062364	27	0.064634	1.898521	0.119338
14	0.367842	0.765022	0.162606	居民	0.629578	1.970804	0.312202

由于污水排放量与用水量挂钩,因此工业端污水的排放量增幅较大,且补贴幅度越高污水排放量增加比例越大。居民补贴工业的方式从整体上而言扩大了用水需求,不利于节约用水。同样关注取消价格补贴带来的变化,政策对居民用水量和污水排放量的影响幅度不一致,若采取居民补贴工业的模式,居民用水量下降比例相对更高,而取消价格补贴对居民实际节水的影响较采取价格补贴更小,且工业用水需求有一个大幅度提升,综合来看取消水价交叉补贴并非最好的选择。相反,如果保持合理的工业对居民的补贴幅度,可以在居民用水量增加幅度有限的情况下实现工业端用水量的减少,促进水资源节约。

针对污水排放中的化学需氧量和氨氮排放量变动,计算不同模拟情境下的污染物排放变动量,进而可以说明政策调整对于整体排污量的影响程度。由计算结果可知,化学需氧量和氨氮排放量随工业补贴居民的幅度缩减而减少,总化学需氧量从2237.700( $10^4$ 吨)减少至-509.800( $10^4$ 吨),总氨氮排放量从81.869( $10^4$ 吨)减少至-12.286( $10^4$ 吨);但是当补贴方向逆转幅度过大时,污染物排放量的减少幅度放缓,总化学需氧量的减少幅度从补贴方向逆转初始的388.06%下降至-53.21%,总氨氮排放量的减少幅度从补贴方向逆转初始时的502.99%下降至-42.53%,这意味着居民大幅补贴工业和工业大幅补贴居民的政策是不可取的。由于居民用水量和污染物排放总量显著高于工业企业,抑制居民用水可以大幅度缩减排污,但是考虑到居民用水的现实性问题,最好的解决方式是减少当前交叉补贴的同时提高居民用水效率,减少居民端污染物的排放比例。

(五)实施惩罚性水价对经济绩效与水污染治理的影响

根据式(3)对于排污量较高的产业征收惩罚性水价,提高价格会增加对于其他产业的补贴。考虑到当前补贴方向更有助于提高用水效率,但是进一步减少高排放产业对水的需求,能抑制过量用水并调整工业结构,促进结构转型。将煤炭采选产品产业(产业2)、纺织品产业(产业7)、造纸印刷和文教体育用品产业(产业10)、石油炼焦产品和核燃料加工品产业(产业11)以及化学产品产业(产业12)归为限制类产业,分别将其水价提升10%和5%进行模拟,其他部门补贴率保持不变。

表7 征收惩罚性水价对经济绩效的影响

指标	sim31	sim32	指标	sim31	sim32
居民用水	0.008	0.007	交叉补贴	15.420	7.710
政府支出	-0.005	-0.005	居民储蓄	0.012	0.010
投资	-0.03	-0.003	居民效用	0.090	0.108
进口	0.02	0.002	等价变化	178.111	213.184
出口	-0.01	-0.001	补偿变化	177.175	213.017

注:单位为%,  $k=m, h, s$ , 等价变化、补偿变化单位为亿元。

从表7中可得,对于限制类产业施以高水价政策可以提高社会交叉补贴余额,可以在政府支出变动有限的情况下对其他行业进行补贴。但是惩罚性水价意味着出口的减少和投资的减少,不过进口和居民储蓄会相应提高,居民用水的增加幅度相对于提高整体补贴率时更低,政策对于控制居民用水是有效的。居民效用有明显的提升,等价变化  $EV$  和补偿变化  $CV$  也同方向增加。在当前的补贴政策下适当对高耗能、高污染行业征收污染税,提高用水价格有助于产业结构调整。

根据图4可知,限制类行业面对的高水价会很大程度上减少其用水需求,当水价提升10%时,煤炭采选产品产业、纺织品产业、造纸印刷和文教体育用品产业、石油炼焦产品和核燃料加工品产业以及化学产品产业的用水量下降幅度分别为0.059%、0.053%、0.055%、0.039%与0.057%;当水价提升5%时,上述产业的用水量下降幅度分别为0.042%、0.035%、0.037%、0.022%与0.040%。同样对于其他行业用水需求也有抑制的作用,在保持居民用水需求变动量有限的前提下,针对限制类产业施以高水价有助于提高节水效率。根据模拟情景计算可知,在当前的补贴政策下适当对限制性产业施加高水价可以促进其他产业化学需氧量的下降,当水价提升10%时,煤炭采选产品产业、纺织品产业、造纸印刷和文教体育用品产业、石油炼焦产品和核燃料加工品产业以及化学产品产业的化学需氧量下降分别为82.221、249.240、1219.430、54.772与253.525;当水价提升5%时,上述产业的化学需氧量下降分别为58.530、164.790、820.344、30.897与177.912;考虑到居民用水量和排污量的体量较工业和服务业更高,因此氨氮排放量有小幅上升,当水价提升10%时,总的氨氮排放量上升0.1063;当水价提升5%时,总的氨氮排放量上升0.1146。若减少当前的补贴规模会带来产业用水量增加的问题,但是同时施以差别化水价可以减少高排放产业的排污,抑制用水量的激增,还可以有

效降低社会总体污染物排放水平,并抑制居民用水量的增加。

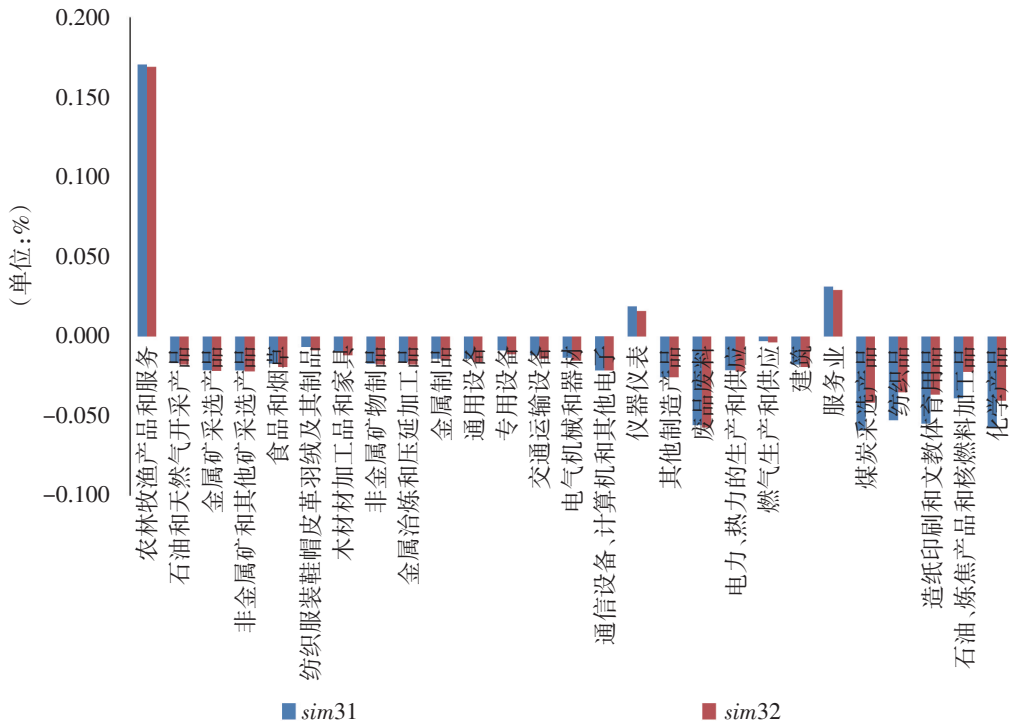


图4 征收惩罚性水价对不同产业用水量的影响 (k=m, h, s)

## 六、总结与启示

本文借助CGE模型,对产业部门用水量和排污量变动进行模拟分析,得出了以下结论:当下工业用水补贴居民用水的政策有一定的合理性,取消用水价格补贴和改变补贴方向会带来企业用水量的大幅度增加,其增加比例高于提高当前价格补贴带来的居民用水量的增幅。考虑到部分高污染企业的减排目标,现阶段不宜采取政策措施调整补贴方向,应在现有制度的基础上制定合理补贴额度,进而实现各部门整体的水资源节约目标。

在当前的补贴现状下对于高污染、高排放产业征收惩罚性水价可以减少限制性行业用水需求,达到减排和优化调整工业结构的目的。而且相对于补贴率的变动,该政策不会带来居民用水量的大幅上升,可以提高居民福利水平,相比改变行业整体交叉补贴率更有助于提高用水效率。在减少交叉补贴的同时施加差别水价,可以遏制产业部门用水量的上升并减少高耗能产业污染物排放,同时可以减少居民端污水排放和总体污染物排放水平。

企业和居民都存在基本的用水需求,居民基本用水需求与居民生活息息相关,在此前提下居民大幅度补贴工业企业的政策是不合理的,这也表现在相关政策不会大幅降低居民用水需求上。企业的基本用水需求表现在提高企业对居民补贴时企业用水量变动幅度随着补贴量变动下降幅度不明显,反映了当前的政策已经一定程度上限制了企业的过量用水,因此增

加惩罚性水价有助于在此基础上进一步调整结构,提高用水效率。

提高产业部门对居民的补贴,可以减少工业企业对水的需求,但是同时会造成居民用水量的上升。虽然居民对水的需求上升幅度有限,但考虑到居民用水总量和排污量体量较大,相关政策会造成社会总体化学需氧量和氨氮排放量的增加,带来一系列环境问题。若改变补贴方向虽然可以减少社会总体污染物排放水平,但会造成企业用水量的激增,同时会造成居民效用的下降,对于减排有较大的负面影响。因此综合来看只有在保持补贴率降低的同时对高污染、高耗能企业施以惩罚性水价,通过差别水价政策调整工业企业用水量,虽然补贴幅度降低会促进企业用水,但是差别水价会降低高污染企业需水量,同时作用于其他产业用水量,相对而言会带来政策的平衡。与此同时,由于减少补贴幅度会降低居民福利水平,而差别水价会相应提高居民福利水平,因此居民效用的牺牲是有限的。在此基础上,可以促进居民用水量的下降同时减少社会总体污染物排放水平,特别是对于高耗能、高污染企业的减排行为有很好的促进作用,很大程度上能够帮助高排放产业减少水体污染物排放水平,促进产业结构调整,这对于新常态下的经济结构转型升级有很大的帮助。

综上,当前工业和服务业用水补贴居民用水的政策存在合理性,但是为了减少水体污染物排放水平,应在一定程度上降低补贴规模,同时引入差别水价以及惩罚性水价,促进整体污染物的减排。

本文仅在给定技术的条件下进行了模拟分析,未来可以进一步考虑全要素生产率的提升或者节水型技术进步的影响。由于差别化水价之下交叉补贴的调整势必会影响供水企业的收支变化以及其背后的财政状况,因此未来也可以将该影响纳入模拟的约束条件加以分析。此外,现实中的企业用水情况多种多样,各地区、各产业都有其特定的实际情况,单纯依靠CGE模型难以进行更为细致地刻画,因此针对特定地区或者城市开展典型案例分析也具有重要的政策价值。

## 参考文献:

- [1] 陈优优,李太龙,鲍抄抄,李会奋,江俊达. 中国工业用水价格弹性测算——基于边际生产力模型[J]. 浙江理工大学学报,2016,(03):232-237.
- [2] 耿六成. 工业水价承受能力分析方法探讨[J]. 南水北调与水利科技,2003,(06):28-29.
- [3] 和夏冰,殷培红,王媛. 基于投入产出模型的工业源氨氮行业转移研究[J]. 环境污染与防治,2017,(04):439-443.
- [4] 李昌彦,王慧敏,佟金萍,刘尚. 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,(01):84-93.
- [5] 李太龙,沈满洪. 促进工业节水的水价调控战略研究[J]. 河海大学学报,2015,(04):82-88.
- [6] 刘宇,王宇,周梅芳,邓祥征. 张掖市水价改革的定量研究——基于引入水土账户的CGE模型[J]. 资源科学,2016,(10):1901-1912.
- [7] 马骁威. 阶梯式水价方案的定价策略研究[J]. 科学技术与工程,2008,(24):6546-6552.
- [8] 马训舟,张世秋. 累进阶梯式水价下居民用水价格感知方式与选择分析[J]. 中国人口·资源与环境,



2015, (11): 128–135.

[9] 乔晓楠. 碳峰值约束与碳配置策略: 一个电力交叉补贴定价模型[J]. 城市与环境研究, 2018, (01): 21–37.

[10] 乔晓楠, 王一博. 差别电价的交叉补贴策略对产业结构调整的影响[J]. 环境经济研究, 2018, (04): 86–109.

[11] 王谢勇, 宋彦丽, 孙鹏, 师建鹏. 城市居民生活用水阶梯水价补偿机制研究——基于 logistic 模型的分析[J]. 经济与管理, 2014, (03): 74–78.

[12] 闫冰倩, 乔晗, 汪寿阳. 碳交易机制对中国国民经济各部门产品价格及收益的影响研究[J]. 中国管理科学, 2017, (07): 1–10.

[13] 袁毅军, 苗颖, 谢荣辉. 基于环境 CGE 模型的水污染税政策绩效评估[J]. 科技与管理, 2016, (03): 6–11.

[14] 张宁, 时宁宁, 卢靖, 刘聪. 浙江省水资源政策对经济影响的模拟分析——基于 CGE 模型[J]. 华东经济管理, 2016, (5): 26–32.

[15] 郑新业, 李芳华, 李夕璐, 郭琏. 水价提升是有效的政策工具吗? [J]. 管理世界, 2012, (04): 47–69.

[16] Agthe, D. and R. Billings. Equity Price Elasticity and Household Income Under Increasing Block Rates for Water[J]. American Journal of Economics and Sociology, 1987, (03): 273–286.

[17] Faulhaber, G. R. Cross-Subsidization: Pricing in Public Enterprises[J]. The American Economic Review, 1975, (05): 966–977.

## Differential Water Price and Its Impact on Water Pollution Control

Qiao Xiaonan<sup>a,b</sup> and Wang Yibo<sup>a</sup>

(a: Economics School of Nankai University; b: Collaborative Innovation Center for China Economy)

**Abstract:** The current water prices of industrial users is significantly higher than that of resident users, and there is a phenomenon of cross-subsidization of water prices. Whether the range and direction of the cross-subsidy should be adjusted is still controversial. This paper simulates and analyzes the economic performance, water consumption and pollutant emission under the circumstance of changing subsidy rates using a CGE model, and the conclusions are as follows. The cross-subsidization policy can help to control the water consumption of the industrial sector. If the direction of cross-subsidization is adjusted, the industrial water consumption will increase significantly. Therefore, the current cross-subsidization strategy of water price is still reasonable. In addition, considering the rate of sewage emissions and pollutant emissions are different among different sectors, it is efficient to set a differential water price to reduce the emissions of sewage, ammonia nitrogen and chemical oxygen demand. Therefore, using punitive electricity prices policy for reference, the implementation of punitive water prices for high pollution industries will be more conducive to structural adjustment and emission reduction and pollution control than adjusting the subsidy rate alone.

**Keywords:** Differential Water Prices; Cross-Subsidization of Water Prices; CGE Model; Punitive Water Prices

**JEL Classification:** Q41, Q48, C68

(责任编辑:朱静静)