

# 降低企业用能成本可以提高能源效率与社会福利吗

——基于交叉补贴视角的分析

刘自敏, 邓明艳, 杨丹, 马源

**[摘要]** 价格扭曲下交叉补贴对能源效率与社会福利影响的理论分析与现实测度,是评估当前降低企业能源成本政策的核心问题。基于对交叉补贴的识别,本文从理论上分析了交叉补贴如何引致能源效率损失并降低社会福利;然后利用中国 100 个样本城市的电力消费价量数据,在碳排放约束下测度了城市层面的绿色能源效率,估计出能源效率的交叉补贴弹性;在此基础上分析已实施的降低企业用能成本政策对效率与福利的影响,进一步对工业电力降费的政策潜力与实施策略进行了研究。结果显示:中国绿色能源效率值总体偏低,电价中存在的交叉补贴显著地降低了能源效率;工业电力降费政策减少了交叉补贴,提升了能源利用效率和社会福利;从降低用能成本与提升社会福利的角度,全国一般工商业降价 10% 的实际执行效果已经超过了政策计划预期;工业电力降费仍具有较大政策潜力,但各地应采取差异化的降价策略,结合可能的典型场景,采取配套措施配合实施工业降费政策。本文为分析交叉补贴引致的效率与福利损失提供了量化证据,为政府建立降低工业用能成本长效机制提供了有益的参考。

**[关键词]** 交叉补贴; 绿色能源效率; 社会福利; 工业电力降费; 潜力估算

**[中图分类号]**F424 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1006-480X(2020)03-0100-19

## 一、引言

随着改革开放 40 年以来经济的快速发展,中国已成为世界上最大的能源生产国和消费国,形成了多种能源相互补充的完善供给体系。但是,当前中国大部分能源产品价格都采用政府定价的方式,尚未有效建立现代能源市场体系。在传统的能源管理体制下,由政府设定的能源产品价格往往难以反映生产者成本和消费者偏好,使得价格结构扭曲,形成某类用户支付的能源价格偏离能源供

**[收稿日期]** 2019-12-05

**[基金项目]** 国家自然科学基金青年项目“递增阶梯定价的政策评估与优化设计研究”(批准号 71603218);国家自然科学基金青年项目“异质性企业视角下环境规制对公平竞争的影响:特征事实、机制分解与政策设计”(批准号 71803101);重庆市人文社会科学重点研究基地重点项目“丘陵山区农村资源型产品的配置效率与定价策略”(批准号 16SKB057)。

**[作者简介]** 刘自敏,西南大学经济管理学院教授,博士生导师,经济学博士;邓明艳,西南大学经济管理学院硕士研究生;杨丹,西南大学经济管理学院教授,博士生导师,管理学博士;马源,国务院发展研究中心企业研究所研究员,经济学博士。通讯作者:杨丹,电子邮箱:zncdyd@163.com。感谢第一届“中国工业经济学会青年杯”(2019 年度)各位评委、匿名评审专家和编辑部的宝贵意见,当然文责自负。

应成本,而由其他用户分担成本的现象,即为交叉补贴。这类交叉补贴现象在中国的诸多能源产品中广泛存在,电力行业交叉补贴通常是指因电力定价造成的一部分用户对另外一部分用户的补贴。电价交叉补贴改革有助于调整电价结构,理顺不同用户群体间的比价关系,有助于降低工业电价。因此,工业用户和居民用户间电价交叉补贴的识别与测度,是优化电力价格形成机制并最终形成反映电力商品属性的合理电价的关键问题。

交叉补贴违背了拉姆齐定价原则,影响中国经济增长中效率目标的实现。自中国电力体制改革2015年9号文<sup>①</sup>发布以来,改革电价形成机制与推进市场化进程成为新一轮改革的核心。中央一系列政策也凸显了政府规制部门解决中国电价交叉补贴问题的决心。降低交叉补贴的本质是让电力价格真实反映电力成本,其中的主要调整方向是降低工业电价、提高居民电价。近年来,中央已多次采取措施积极降低工业用能成本。尤其是在2018年政府工作报告中明确提出,要“降低电网环节收费和输配电价格,一般工商业电价平均降低10%”<sup>②</sup>。此外,在2019年12月的中央经济工作会议上,首次明确表示“要降低企业用电成本”。工商业用能成本下降有助于积极促进工商业用户减负,提高工商业企业的活力,推动中国经济转型。同时,中国电力体制即将进入改革“深水区”阶段,考察居民与工业用户间的交叉补贴及其引致的效率与福利损失,对于优化电力定价机制、促进电力体制改革,应对节能减排、气候变化、实现可持续发展等具有重要的理论与现实意义。

价格是提升资源配置效率的“牛鼻子”,发挥价格杠杆作用能够优化资源要素的配置。电价交叉补贴本质上是一种市场价格信号的扭曲,表现为对不同用户实施的扭曲差别价格行为(Pigou, 1920)。能源行业中不同用户间的交叉补贴则属于三级差别定价(Price Discrimination)。诸多学者分析了垄断市场三级差别定价的福利后果(Schmalensee, 1981; Cowan, 2012),并指出三级差别定价会造成有人受益有人受损的局面,消费者群体间的福利冲突造成社会福利结果具有不确定性。Schmalensee (1981)指出差别定价下社会福利增加的必要条件是产量增加。Chen and Schwartz (2012)分析了存在成本差异的垄断差异化定价。唐要家(2009)指出,不适当的价格管制会降低市场绩效,恶化社会福利。

诸多实证研究分析了价格扭曲对效率的负向影响。Atkinson and Cornwell (1994)、Hsieh and Klenow (2009)分析了价格扭曲引致的资源错配与经济损失。Linn (2008)与陈永伟和胡伟民(2011)的研究认为扭曲的价格引致无效率的能源消费。Shi and Sun (2017)指出中国能源价格相对扭曲可能是造成高耗能产业能源效率下降的重要原因。具体到价格扭曲与生产效率间的定量关系研究上,Burke and Kurniawati (2018)发现减少电力补贴提高了用电效率,并大幅减少了碳排放与无谓损失;谢里和张斐(2017)、王芄和武英涛(2014)、林伯强和杜克锐(2013)指出要素市场扭曲对中国能源效率的提升有显著负面影响。

交叉补贴对宏观经济增速、微观用户福利水平以及社会环境方面具有不利影响。Abouleinein et al. (2009)、Breisinger et al. (2011)研究发现,能源补贴对GDP有负面影响,并影响一国的贫困与不平等状况。Bhattacharyya (2011)指出补贴会给消费者传递错误的价格信号,促使过度且低效率的消费等。Freund and Wallich (1997)将消费者的福利损失严重程度表示为消费者剩余在居民消费性支出所占的比例。谢里和魏大超(2017)认为交叉补贴产生了效率损失,即社会福利净损失。在社会环境问题上,王玉梅等(2016)、冷艳丽和杜思正(2016)分析了能源价格扭曲阻碍碳强度的降低、对

① 中共中央、国务院关于进一步深化电力体制改革的若干意见(中发〔2015〕9号)([http://tgs.ndrc.gov.cn/zywj/201601/t20160129\\_773852.html](http://tgs.ndrc.gov.cn/zywj/201601/t20160129_773852.html))。

② 2019年3月政府工作报告提出,2019年将在2018年的基础上再降低10%。

雾霾污染的影响等。

纵观国内外交叉补贴的研究文献,具体到交叉补贴这一特殊的价格扭曲方式,当前尚未从定量角度具体分析交叉补贴额与交叉补贴率对能源效率的影响方式和大小。同样地,大量的研究分析了交叉补贴对社会总福利的影响,但并未分析交叉补贴如何影响社会福利的结构,即社会总福利构成中的消费者剩余与生产者剩余的变化。在中国积极采取措施降低企业用能成本,从而减少价格扭曲、降低交叉补贴的现实背景下,如何评估 2018 年中国的工业降成本的政策效果,以及在此基础上探索未来的政策发力空间,是中国理论研究界和政策设计机构关注的焦点问题,本文即是对这一问题的有益尝试。

本文可能的贡献在于:①明确了交叉补贴与工业电力降费之间的关系,并实证检验了通过工业电力降费政策实现交叉补贴降低的有效性。②比较分析了事前政策制定与事后实际执行的差异。相对传统“一刀切”政策的评估,其政策制定与实际执行的政策力度高度一致。③在评估工业降电价政策效果的基础上,基于交叉补贴率的变化,通过估算工业降电价的政策潜力,分析了工业降电价政策可能的效率提高与福利提升潜力。④提出了中国电力市场可能面临的典型场景,为政府建立并实施降低工业用能成本的长效机制提供有益参考。

本文的余下结构安排如下:第二部分是交叉补贴对能源效率及社会福利的理论影响;第三部分是本文使用的 100 个城市的数据说明;第四部分是绿色能源效率的测算及其交叉补贴弹性分析;第五部分分析交叉补贴对社会福利总量、结构的影响;第六部分探讨工业电力降费的政策潜力空间及其价格调整实施机制;最后是本文的结论与建议。

## 二、理论模型

### 1. 交叉补贴的估算

假设工业与居民共同的理想价格为  $p_0$ ,  $p_h$  与  $p_i$  分别是现行居民与工业电价,  $x_{1h}$  与  $x_{1i}$  分别是当前居民与工业用电量。那么,对于工业用户而言,单位交叉补贴额为:  $Cross\_Sub = p_h - p_0$ 。同时,由于仅估计工业与居民间的交叉补贴,因此,在分析两两间的交叉补贴时,居民与工业用户间存在着居民所得的受补贴额等于工业用户提供的补贴额这一简单关系。即满足:

$$(p_0 - p_h)x_{1h} = (p_i - p_0)x_{1i} \quad (1)$$

由此,可得不存在交叉补贴时的工业与居民电力价格  $p_0$  为:

$$p_0 = \frac{p_h x_{1h} + p_i x_{1i}}{x_{1h} + x_{1i}} \quad (2)$$

求解  $p_0$  之后,根据价差法的基本公式(Coady et al., 2019),就可以计算出中国电力结构中工业对居民用电的交叉补贴的下限(刘自敏等, 2018)。交叉补贴总额的计算公式为:

$$Cross\_Sub\_all = |\Delta p x| = (p_i - p_0)x_{1i} = (p_0 - p_h)x_{1h} \quad (3)$$

同样地,定义单位交叉补贴额占工业电价的比例为交叉补贴率:

$$Cross\_Sub\_Ratio = Cross\_Sub / p_i \quad (4)$$

其中,  $\Delta p$  表示新场景下工业(居民)电价与现行工业(居民)电价之差,  $x$  表示当前现行电价下工业(居民)终端电力消费量。

### 2. 交叉补贴与能源效率

一般化地,这里以工业用户为例,假设其效用为  $U$ ,所面临的消费组合为  $(x, y)$ ,其中  $x$  为电力

消费品,而  $y$  为除电力之外的其余商品,在此作为一般计价物衡量,价格标准化为 1。在理性消费者效用最大化的条件下,若其面临的生产预算约束为  $w$ ,该企业的理性决策为:

$$\max_{x,y} U_i(x,y) \text{ s.t. } y+p_i x_i \leq w \quad i=1,2,\dots,n \quad (5)$$

其中,  $p_i$  是不同的工业用户面临的电力价格,  $x_i$  为用电量。在一般等价物  $y$  保持不变的条件下,式(5)可以转化为:

$$y+[p_0+(p_i-p_0)]x_i \leq w \quad (6)$$

式(6)中  $(p_i-p_0)$  为价格扭曲,即单位交叉补贴额<sup>①</sup>,  $(p_i-p_0)x_i$  为交叉补贴总额。基于中国的现实背景,即工业电价大于居民电价,有  $p_i > p_0$ 。此时,随着价格扭曲  $p_i-p_0$  的增加,用电量  $x_i$  减少。对于效用函数,存在  $U'_x = \frac{\partial U}{\partial x} > 0$ ,所以随着用电量  $x_i$  的减小,工业用户的产出效用逐渐减少。根据效率的定义,即:单位投入下的产出量,效率  $EF = \frac{U}{w}$ 。在预算约束不变的情况下,此时效率  $EF$  将随着效用  $U$  的减少而减少。可见,价格扭曲  $(p_i-p_0)$  增加将导致效率  $EF = \frac{U}{w}$  损失。

在一个非竞争性市场中,终端消费价格扭曲通过传导机制影响生产者的决策,引致生产者的要素资源在不同用户或产品间进行分配;同时,由于缺乏市场竞争难以通过价格机制进行资源有效配置,最终导致效率损失。借鉴 Hsieh and Klenow(2009)、郝枫和赵慧卿(2010)等对价格扭曲和利用效率间关系的研究,本文比较分析交叉补贴存在与否时产出与能源效率的差异。

图 1(a)显示了存在要素自由流动与市场充分竞争时,不同的相对价格引致的产量(使用量)组合变化,即  $(x_{Ai}, x_{Ah})$  与  $(x_{Bi}, x_{Bh})$ ,其中,曲线 AB 为生产可能性曲线,也是最大的潜在产出曲线。设定  $(x_{Ai}, x_{Ah})$  为居民用电价格较高且无交叉补贴时的电力用量组合,  $(x_{Bi}, x_{Bh})$  为工业用电价格较高且存在交叉补贴时的电力用量组合。由此可以看出,交叉补贴引致工业用电成本上升且用量下降,居民用电成本下降且用量上升。

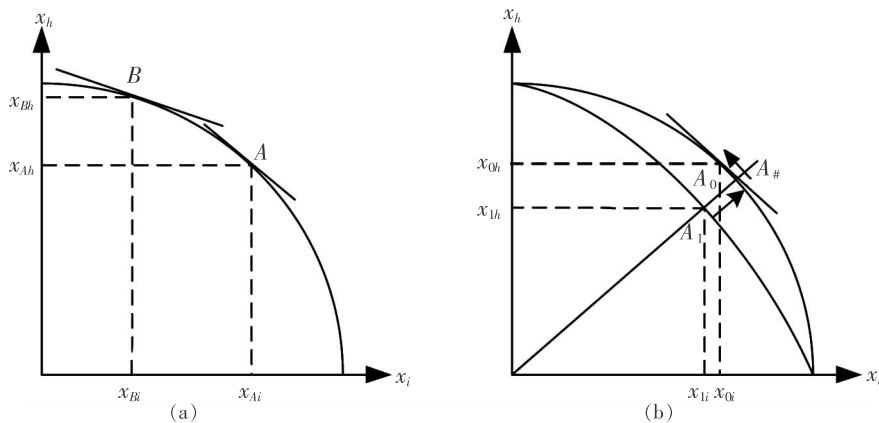


图 1 交叉补贴存在下的效率损失比较

而图 1(b)则展示了当存在交叉补贴引致的价格扭曲时,引致的能源效率损失(或能源使用无效率)。由于竞争不充分,价格工具难以实现资源最优配置,引致生产可能性曲线  $A_0A_#$  内移至  $A_1$  处,此时的产量组合由  $(x_{0i}, x_{0h})$  调整为  $(x_{1i}, x_{1h})$ ,由此引致实际产出均低于最大潜在产出,同样投入下

① 当  $p_i < p_0$  时,以  $|p_i-p_0|$  衡量价格扭曲。

的产出下降,即为效率总损失。具体地,效率损失可分解为两部分:不同生产可能性曲线上的纯技术效率(PTE, Pure Technical Efficiency)损失  $A_1A_{\#}$ , 以及在同一生产可能性曲线上的规模配置效率(SE, Scale Efficiency)损失  $A_{\#}A_0$ 。具体地,结合谢里和张斐(2017)、Restuccia and Rogerson(2007)、李平等(2014)等的研究与本部分的理论分析,交叉补贴引致效率损失可能的机制包括:交叉补贴引致偏向传统能源而非新能源的技术进步导致纯技术效率下降;交叉补贴引致价格扭曲导致无法达到生产最优规模,最终导致规模配置效率下降等。

### 3. 交叉补贴与社会福利

假设市场中存在两类具有不同偏好的消费者: $i$  为工业用户, $h$  为居民用户。两类用户的需求弹性为  $e_i$  与  $e_h$ , 且  $e_i > e_h$ 。当前存在价格扭曲时工业与居民用户的价格为  $p_{li}$  与  $p_{lh}$ , 且  $p_{li} > p_{lh}$ 。工业与居民用户的用电量为  $x_i$  与  $x_h$ , 总用电量  $x = x_i + x_h$ 。由此可得存在交叉补贴时的现实定价时的需求与福利图, 以及转换为无交叉补贴定价时的需求与福利变化图(如图 2 所示)。

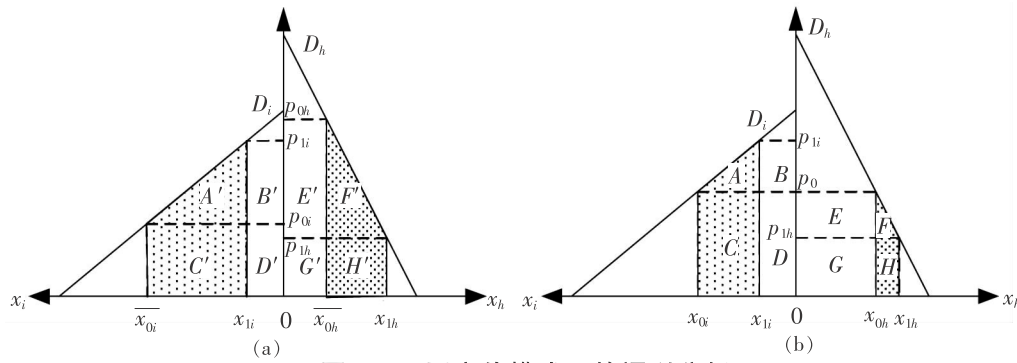


图 2 不同定价模式下的福利分析

图 2(a)中,  $D_i$  与  $D_h$  分别为工业与居民用户的需求曲线。当工业与居民用户由现实定价  $p_{li}$  与  $p_{lh}$  转换为无交叉补贴定价  $p_{oi}$  与  $p_{oh}$  时, 相应的生产者剩余、消费者剩余以及社会总福利的变化情况如表 1 所示:

表 1 不同定价模式下的福利变化

福利变化	生产者剩余 $\Delta PS$	消费者剩余 $\Delta CS$	社会总福利 $\Delta SW$
居民	E-H	-(E+F)	-(F+H)
工业	C-B	A+B	A+C
合计	(C+E)-(B+H)	(A+B)-(E+F)	(A+C)-(F+H)

在图 2(a)的分析中,理想的不存在价格扭曲的工业和居民用电价格分别为  $p_{oi}$  与  $p_{oh}$ 。由电力工业生产特征以及 OECD 国家的居民与工业电价数据可知,工业供电成本低于居民供电成本,并且 OECD 国家的工业电价也确实低于居民电价(杨娟和刘树杰,2018),由此可以推得  $p_{oi} < p_{oh}$ 。但现实中存在规制者难以获取成本数据及其真实性难以被证实,以及成本很难合理分摊等多方面原因,使得规制者难以准确计算出  $p_{oi}$  与  $p_{oh}$ 。同时,无交叉补贴时的价格也是交叉补贴研究中的核心问题。借鉴 Palmer(1992)对交叉补贴中独立成本(Stand-alone Cost)的上限估计思路,本文并不关心何为准确的  $p_{oi}$  与  $p_{oh}$ , 而是假设不存在交叉补贴时居民与工业电价均为  $p_0$ , 此时必然存在着  $p_{lh} > p_0 > p_{li}$  的关系。

此时,社会总福利变化如图 2(b)所示,基于居民与工业用电的价格均为  $p_0$  时所作的社会总福利变化估计  $\Delta SW_{p_0}$ ,是图 2(a)中交叉补贴下社会总福利真实变化  $\Delta SW_{real}$  的下限值<sup>①</sup>。由此,可以得出交叉补贴引致效率下降与福利损失的方向性结论。进一步地,在实证部分将量化交叉补贴对绿色能源效率与社会福利的影响大小。

### 三、数据说明

本文所使用的电价数据来自中国价格信息网,该网站采集了中国大陆地区 31 个省份的 100 个典型城市 2006—2015 年的居民与工业用电月度价格。该数据样本区域分布较为均衡,东中西三部分区域分别包含 36、30、34 个城市,具有较好的代表性。

100 个样本城市的 CO<sub>2</sub> 排放量参照《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》中的方法,借鉴张子龙(2018)对城市化化石能源消费和水泥生产过程中的 CO<sub>2</sub> 排放量进行计算。工业与居民能源与资源(含电力、燃气、用水等各项)消费量、GDP、工资额、人口数、企业数、家用电器等变量均来自历年《中国城市统计年鉴》,气候特征变量来源于中国气象数据网。因为所有控制变量均在年份层面,因此本文将月度电价数据加总平均到年度层面,得到年度电价并和其他变量进行匹配,形成本文分析所使用的完整数据。各主要变量的描述性统计如表 2 所示。

从表 2 可知,平均来看,中国的城市工业电价比居民电价高 0.21 元,平均高 28.61%左右。基于工业用电成本低于居民用电成本,其他国家工业用电价格甚至低于居民用电价格的现实,可以初步判断中国存在严重的工业补贴居民用户的交叉补贴现象。

### 四、绿色能源效率估算及其交叉补贴弹性估计

首先利用城市层面数据在考虑碳排放负产出的情况下,通过比较不同的非参数效率计算方法,利用全局 SBM(Slack Based Model)计算出各城市绿色能源效率。然后,在此基础上估计出交叉补贴额与交叉补贴率对能源效率的弹性。

#### 1. 基于全局 SBM 的绿色能源效率估算

一般来说,总效率、技术效率与配置效率等的测度可由非参数的 DEA(Data Envelopment Analysis)方法、参数的 SFA(Stochastic Frontier Approach)方法或 OP 法、LP 法、ACF 法等结构模型方法来进行实证估计。同时,随着气候变化与环境保护意识的加强,传统效率测度方法由于仅考虑正向产出忽视碳排放等因素而受到批评。本文对绿色能源效率的测度涉及多种投入多种产出,在产出中存在非合意产出,参数与半参数方法较难处理。因此,综合比较多种方法,本文采用非参数的 DEA 方法进行效率测度。

由于传统 DEA 方法隐含径向性假定,且对于污染物等非合意产出难以处理。同时,对于面板数据的 DMU 效率测度,存在跨年前沿面不同,不能直接进行效率比较的困难(Tulkens and Eeckaut, 1995)。因此,基于 Tone(2003)、Oh(2010)的研究,本节在全球 DEA 的框架下,考虑非径向、非角度和非合意产出的基础上,构建全局 SBM 模型测度包含能源投入的绿色能源效率,全局 SBM 模型的方向性距离函数与共同边界如图 3 所示。本文选择如表 3 所示的变量来测度包含能源投入的绿色能源效率。各变量的定义及数据来源如表 3 所示。同时,本文用不同测度方法计算了绿色能源效率值,各方法测度结果的描述性统计分析如表 4 所示。

<sup>①</sup> 在此不展开详细论证,具体内容详见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

表 2 变量描述性统计

	变量	观察值	平均值	标准误	最小值	最大值
电量	工业用电(亿千瓦时)	927	92.6578	121.8285	0.2197	805.7600
	居民用电(亿千瓦时)	925	19.5164	29.1539	0.1184	205.0400
碳排放	工业碳排放(万吨)	927	911.7857	1150.4110	2.3364	6948.4526
电价	工业电价(元)	1000	0.7340	0.1164	0.4439	0.9800
	居民电价(元)	1000	0.5243	0.0569	0.3800	0.7600
交叉补贴	交叉补贴额(元)	925	0.0424	0.0341	0.0000	0.1933
	交叉补贴率	925	0.0544	0.0423	0.0000	0.2510
工业发展	工业总产值(亿元)	947	2787.2331	4656.1227	7.8561	32014.0200
	工业企业数(家)	947	1026.0000	1881.0000	12.0000	18474.0000
	第二产业从业人员(万人)	935	29.0800	39.1100	0.0700	297.6000
	第二产业生产总值(亿元)	946	883.6000	1280.4000	4.1110	8080.0100
	资本存量(亿元)	940	326.1910	475.2770	55.7840	36286.9500
	石油气工业用量(吨)	927	34752.0000	90155.0000	0.0000	771690.0000
	煤气工业用量(亿立方米)	894	5.2556	17.4590	0.0000	195.9895
居民特征	区域面积(平方公里)	942	2605.3320	3326.5520	115.0000	34505.0000
	工资总额(亿元)	935	310.8210	726.0149	4.9669	8223.0000
	总人口(万人)	945	231.1279	271.9388	18.6400	2129.0900
	地区生产总值(亿元)	947	1980.0000	3285.0000	25.1600	24838.3200
	居民储蓄(亿元)	928	1690.2800	3132.1000	33.8900	23914.1900
	家用电器(台)	880	4.7507	1.0610	3.1620	8.0270
	煤气家庭用量(万立方米)	894	12065.0000	30370.0000	1.0000	621483.0000
	居民用水(万吨)	943	11065.0000	17081.0000	126.0000	106738.0000
	石油气家庭用量(吨)	928	32459.0000	60080.0000	4.0000	468499.0000
	气候特征	平均气温(0.1 度)	954	146.7296	49.2572	42.0000
平均湿度(%)		954	64.9780	10.3814	31.0000	85.0000

资料来源:中国价格信息网(www.chinaprice.com.cn)、《2006年 IPCC 国家温室气体清单指南》《中国城市统计年鉴》(2007—2016)、中国气象数据网。

由表 4 可以看出,不同测度方法下的效率值存在差异,传统的不考虑负产出的效率计算方法难以有效衡量中国能源效率的准确变化。同样地,对不同年份的同一城市使用不同的前沿面,使得不同年份的效率值难以直接比较。因此,本文后续部分将采用全局非径向 SBM 模型所得的绿色能源效率进行分析,而用其他效率测度方法进行稳健性检验。

此外,通过将全局非径向 SBM 得到的效率值分解为纯技术效率和规模效率,可以看出:各地区的纯技术效率均小于规模效率,这说明传统的通过提高能源利用企业规模的方式来获取规模经济以提升规模效率,进而提高能源总效率的方式不可持续。各地区能源投入规模偏大、能源利用率偏低的失衡态势明显存在。

## 2. 交叉补贴对能源效率影响的弹性分析

借鉴 IEA(1999),本文采用对数线性的半弹性需求函数形式来估计交叉补贴额(率)对能源效率影响的弹性。具体的估计方程为:

$$\ln Efficiency_u = \alpha + \beta Cross\_Sub_u + \phi Z_u + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_u \quad (7)$$

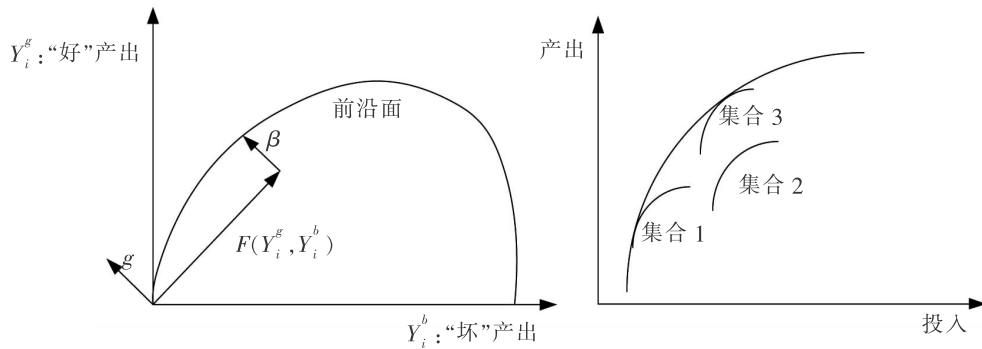


图3 全局SBM模型的方向性距离函数与共同边界

表3 效率测度指标选择

变量		指标	数据来源说明
投入		资本存量 $K$	由柯善咨与向娟(2012)扩展
		劳动力 $L$	《中国城市统计年鉴》中第二产业从业人员
		工业用电量 $E$	《中国城市统计年鉴》中工业用电量
产出	期望产出	第二产业产值	《中国城市统计年鉴》中第二产业产值
	非期望产出	CO <sub>2</sub> 排放量	《中国城市统计年鉴》与电网排放因子计算

注:资本存量作为一项重要的投入变量,主要借鉴柯善咨和向娟(2012)的研究成果,采用永续盘存法,用最新的投资数据进行扩展。其他投入产出变量主要来自于历年《中国城市统计年鉴》,其中第二产业产值以1995年为基期进行了价格平减。

表4 不同测度方法计算的绿色能源效率值

方法	观测值	均值	标准误	最小值	最大值
径向 DEA	940	0.4903	0.1931	0.1087	1.0000
非径向 SBM	940	0.3930	0.1809	0.0809	1.0000
全局径向 DEA	940	0.3760	0.1542	0.1021	1.0000
全局非径向 SBM	940	0.3044	0.1286	0.0804	1.0000
纯技术效率	940	0.3400	0.2000	0.1048	1.0000
规模效率	940	0.8154	0.1857	0.1550	1.0000

$$\ln Efficiency_{it} = \alpha + \beta Cross\_Sub\_Ratio_{it} + \phi Z_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

其中,  $Efficiency_{it}$  为不同城市不同年份的绿色能源效率值,  $Cross\_Sub_{it}$  为对应的交叉补贴额,  $Cross\_Sub\_Ratio_{it}$  为交叉补贴率,  $Z_{it}$  为控制变量。

在此基础上,需进一步分析交叉补贴额、交叉补贴率与能源效率之间的内生性问题。交叉补贴额(率)主要是由电力价格测度的,因此会直接影响到能源效率。但是,居民或工业企业的能源效率很低的时候,政府会出面采取价格或非价格手段进行干预,其中以价格手段为主。因此,能源效率可能会反过来影响居民或工业用户的交叉补贴额(率)。所以本文将基于工具变量(IV)法,来解决交叉补贴和能源效率之间互为因果的问题。

借鉴 Zheng and Ward(2011),本文为工业和居民交叉补贴额(率)寻找的工具变量为:除本市之外的国家能源局省级监管办或省级电网公司管辖内其他城市工业与居民交叉补贴额(率)的平均值。在相关性上,除本市之外的省内城市平均交叉补贴额(率),由于各省份内城市之间的地理位置



相近,供电成本差异不大,且国家发展和改革委员会(以下简称国家发改委)等价格监管部门也会考虑不同城市之间的关联性,对其他城市的电价和本市电价的调整会有关联和同步,相应的交叉补贴额(率)变动也会有关联性和同步性。在排他性上,省份内其他城市的平均交叉补贴额(率),不会直接影响本市能源效率,也难以通过本市的其他因素影响本市的能源效率,只能通过本市交叉补贴额和交叉补贴类型影响能源效率<sup>①</sup>。

本文基于现有数据,采用面板时间与城市双固定效应回归模型,利用普通回归和工具变量法(IV)对式(7)进行实证估计,估计结果如表5所示。

表5 交叉补贴额与绿色能源效率的半弹性估计结果

变量	普通双固定效应模型估计				IV 估计
	(1) ln(DEA)	(2) ln(SBM)	(3) ln(Global DEA)	(4) ln(Global SBM)	(5) ln(Global SBM)
交叉补贴额	-3.1721*** (0.5386)	-3.8540*** (0.5338)	-2.8327*** (0.5401)	-3.4371*** (0.4541)	-4.3260*** (0.9006)
控制变量	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是
常数项	-0.9630*** (0.2105)	-1.2487*** (0.2086)	-0.5000** (0.2111)	-1.2201*** (0.1775)	-1.0735*** (0.1750)
观察值	873	873	873	873	873
城市数	94	94	94	94	94
R <sup>2</sup>	0.2750	0.3782	0.1541	0.2755	0.2594

注:\*,\*\*和\*\*\*分别表示在10%、5%和1%水平上显著,括号内为标准误。以下各表同。

表5中的第(1)—(4)列的结果为普通的双固定效应模型结果,可以看出:用不同的绿色能源效率测度方法都得出了一致的结论。交叉补贴额越大,能源效率越低。而表5的第(5)列是采用工具变量解决内生性问题后的结果,可以看出:排除内生性问题后,交叉补贴额依然会显著降低能源效率,即交叉补贴额越大,能源效率越低。在控制了一系列变量后,交叉补贴额每增加1分钱,能源效率显著下降4.33%。并且可以发现,如果不解决交叉补贴与能源效率之间的内生性问题,可能会低估交叉补贴额对能源效率的影响。

同样地,对式(8)进行实证估计结果如表6所示。由表6中第(6)—(9)列的估计结果可以看出,在不同的效率测算方法下,均有一致的结论:交叉补贴率越大,能源效率越低。并且,从工具变量法(IV),即第(10)列的估计结果可以看出:在处理内生性问题后,依然有一致的结论。如果不解决内生性问题,会高估交叉补贴率对能源效率的影响。在控制了一系列其他影响因素后,交叉补贴率每上升1%,能源效率会下降2.16%。<sup>②</sup>因此,无论从交叉补贴的量还是占电价比率来看,交叉补贴都显著降低了能源效率。

① 工具变量检验结果显示:LM统计量及P值都说明工具变量是可识别的;F统计量均远大于10,拒绝弱工具变量的假设。内生性检验的F统计量和P值表明拒绝交叉补贴额(率)不存在内生性的原假设,即绿色能源效率方程中的交叉补贴额(率)要用工具变量进行估计。

② 此外,本文进行了稳健性检验,详见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

表 6 交叉补贴率与绿色能源效率的半弹性估计结果

变量	普通双固定效应模型估计				IV 估计
	(6) ln(DEA)	(7) ln(SBM)	(8) ln(Global DEA)	(9) ln(Global SBM)	(10) ln(Global SBM)
交叉补贴率	-2.5611*** (0.4265)	-3.0491*** (0.4231)	-2.2324*** (0.4282)	-2.7628*** (0.3695)	-2.1593*** (0.7836)
控制变量	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是
常数项	-0.9912*** (0.2102)	-1.2832*** (0.2086)	-0.5254** (0.2111)	-1.2507*** (0.1772)	-1.2431*** (0.1808)
观察值	873	873	873	873	873
城市数	94	94	94	94	94
R <sup>2</sup>	0.2763	0.3781	0.1537	0.2770	0.2656

## 五、工业电力降费背景下的效率与福利变化

### 1. 工业电力降费对绿色能源效率的影响

降低交叉补贴的主要调整方向就是降低工业电价、提高居民电价。2018 年政府工作报告提出要将一般工商业电价降低 10%，经过国家发改委于 3 月、5 月、7 月、8 月的四次发文<sup>①</sup>，降价目标已经完成。因此，分析降低工业电价引致的交叉补贴降低导致的能源效率提升极其重要。基于降价政策和现实背景，本节将基于交叉补贴对能源效率影响的弹性分析结果，利用国家发改委公布的分省份电价降低水平，估计出交叉补贴减少引致的能源效率变化。本文主要分析以下两种情景下，工业电力降费对能源效率提升和社会福利的影响。

情景一：事前政策规划。分析在全国工商业降价 10% 的目标下，各省份的绿色能源效率提升水平，并对中国不同区域的情况进行比较。

情景二：事后实际执行。根据收集整理的各省份发展和改革委员会公布的实际降价水平，分析各省份的绿色能源效率提升水平，并对中国不同区域的情况进行比较。

工业电力降费，导致交叉补贴减少，从而提高了各省份的绿色能源效率。基于全局 SBM 模型的分析，从产出最大化视角，工业电力降费提高效率将引致 GDP 增加及非期望产出 CO<sub>2</sub> 排放减少。由于降价政策为各省份分别制定，基于对全局 SBM 模型的松弛变量分析，本文得出 2015 年各省份效率提升比例下的潜在工业产值增长、GDP 增速提升比例及 CO<sub>2</sub> 排放减少量（见表 7）。

由表 7 中情景一可以看出，基于全国工商业降价 10% 的目标，可有效达到降低交叉补贴的目的，使得全国绿色能源效率提高 4.19%，工业产值提高 1 万亿元，GDP 增速提高 1.34%，CO<sub>2</sub> 排放量减少 0.94%。降低工业用能成本可有效实现减少交叉补贴的目的，不仅提高了 GDP 增长潜力，还有效地减轻了污染排放。表 7 中情景二全国实际降价程度的数据分析显示，去除新疆、西藏等数据缺失省份，西部地区降价幅度最大，东部地区其次，中部地区最低，但均已达 10% 的基本要求。基于

<sup>①</sup> 四次文件依次为：4 月 19 日《关于降低一般工商业电价有关事项的通知》；5 月 18 日《关于电力行业增值税税率调整相应降低一般工商业电价的通知》；7 月 25 日《关于利用扩大跨省区电力交易规模等措施降低一般工商业电价有关事项的通知》；8 月 20 日《降低一般工商业目录电价有关事项的通知》。

表 7 工业电力降费对能源效率提升的影响

省份	情景一:事前政策规划				情景二:事后实际执行				
	效率提升 (%)	工业产值 (亿元)	GDP 增速 (%)	CO <sub>2</sub> 减少 (%)	降价力度 (%)	效率提升 (%)	工业产值 (亿元)	GDP 增速 (%)	CO <sub>2</sub> 减少 (%)
北京	6.79	283.5733	1.23	1.51	10.59	6.81	294.2114	1.56	1.62
天津	2.31	127.8516	0.77	0.37	11.21	2.67	148.0541	0.90	0.43
河北	1.99	171.2109	0.57	0.27	10.40	2.24	192.7965	0.65	0.30
山西	3.69	140.3079	1.10	0.42	10.56	4.16	157.9958	1.24	0.47
内蒙古	3.03	88.0279	0.49	0.42	11.30	3.64	105.8824	0.59	0.51
辽宁	2.85	232.9177	0.81	0.39	10.74	3.40	277.7515	0.97	0.46
吉林	2.85	201.4112	1.43	0.75	10.35	3.21	226.5666	1.61	0.84
黑龙江	4.46	132.8038	0.88	0.57	10.43	5.13	152.7187	1.01	0.66
上海	3.99	239.1596	0.95	0.65	10.68	4.57	273.6782	1.09	0.75
江苏	2.82	733.9155	1.05	0.70	10.27	3.18	826.4657	1.18	0.79
浙江	2.27	304.3797	0.71	0.39	10.54	2.49	333.7462	0.78	0.43
安徽	3.29	301.7286	1.37	0.65	10.41	3.70	339.3930	1.54	0.73
福建	5.22	458.5491	1.77	1.10	11.31	6.27	550.5451	2.12	1.32
江西	5.64	376.6221	2.25	1.35	10.73	6.59	440.4599	2.63	1.58
山东	4.45	1040.8659	1.65	0.96	10.41	5.00	1169.6499	1.86	1.08
河南	4.06	613.2738	1.66	0.70	10.56	4.40	665.5218	1.80	0.75
湖北	2.90	314.1529	1.06	0.65	10.48	3.26	353.3981	1.20	0.73
湖南	8.69	888.5737	3.07	3.99	10.55	9.85	1006.6127	3.48	4.52
广东	5.26	1404.9915	1.93	1.35	10.53	5.83	1559.7205	2.14	1.50
广西	5.47	347.4421	2.07	1.57	10.29	6.09	386.4770	2.30	1.74
重庆	4.12	248.1190	1.58	0.75	10.54	4.63	279.3727	1.78	0.84
四川	4.52	539.1542	1.79	1.03	10.22	5.63	671.1270	2.23	1.28
贵州	4.57	87.9557	0.84	0.43	10.16	5.46	105.1990	1.00	0.51
云南	4.77	169.8796	1.25	0.85	10.31	5.37	191.0846	1.40	0.96
陕西	10.03	652.2796	3.62	3.97	10.60	11.35	738.1967	4.10	4.49
甘肃	3.58	52.9313	0.78	0.32	10.26	4.02	59.4892	0.88	0.36
青海	2.78	18.6459	0.77	0.15	11.16	3.51	23.5796	0.98	0.18
宁夏	0.83	4.9714	0.17	0.02	10.79	0.95	5.7005	0.20	0.03
东部	3.80	4997.3541	1.14	0.77	10.79	4.04	5531.2431	1.25	0.81
中部	4.45	2968.8413	1.60	1.13	10.57	5.04	3342.6156	1.81	1.29
西部	4.37	2209.3421	1.34	0.95	10.86	5.07	2566.0540	1.55	1.09
全国	4.19	10175.5404	1.34	0.94	10.64	4.69	11439.9166	1.52	1.05

注:海南、新疆、西藏等数据缺失,在此不进行计算,下表同。

交叉补贴对能源效率的弹性分析,全国绿色能源效率提高 4.69%,工业产值提高 1.1 万亿元,GDP 增速提高 1.52%,CO<sub>2</sub> 排放量减少 1.05%。

从不同区域看,基于全国的实际降价数据,西部地区和中部地区的效率提升较大,GDP 增加的绝对量仍然是东部较大,而 GDP 增速上则是中部地区较快,CO<sub>2</sub> 排放量的降低也是中部最明显。可能的原因在于:中部地区 GDP 总量以及 CO<sub>2</sub> 排放量较东部地区低,从而工业电力降费使得 GDP 的增速提高较多并且 CO<sub>2</sub> 排放降低较多;而西部地区虽然降价幅度最大,但由于能源效率较高,基于

松弛变量测算的 GDP 增加量以及 CO<sub>2</sub> 排放减少量均较少,不能迅速将降低成本优势转化为经济增长的真实动力与节能减排的实际功效。

## 2. 交叉补贴引致的社会总福利损失及其分配调整

在工业电价下降 10%而居民电价保持不变的背景下,工业与居民间的单位交叉补贴会减小,本文旨在分析该状态下的社会福利的提升程度。基本分析思路为:基于对全局 SBM 模型中电量投入的松弛变量分析,可得出提高相应的绿色能源效率需要调整的电量投入,由此可计算出电价变化前后的消费者剩余与生产者剩余。居民电价基本保持不变,基于交叉补贴对社会福利影响的理论分析,此时的社会总福利即工业用户的福利变化。同时,作为政策规制者,在关注社会总福利提升的同时,还需要关注其带给生产者与消费者的单位成本和收益,即福利的结构问题。因此,本文进一步分析交叉补贴引致的福利分配调整情况,结果如表 8 所示。

由表 8 中情景二基于全国各省份实际降电价比例的分析可以看出:降低工业用能成本的措施给工业电力用户节约成本约 2500 亿元;生产者电力提供商的福利下降约 2200 亿元;随着价格扭曲的降低,社会总福利提升约 250 亿元。从降低用能成本与提升社会福利的角度看,全国的实际执行效果已经超过了政策计划预期。基于表 8 的分析可以知道,生产者剩余减少,消费者剩余增加,社会总福利增加。因此,交叉补贴降低引致的生产者剩余的变化会导致社会福利下降,而消费者剩余的变化会导致社会福利的提升。

基于事前的政策规划和事后的实际执行效果均可以认为:降低工业电价实现交叉补贴减少是有效的。存在价格扭曲时,降低工业电价可以减少扭曲,达到降低交叉补贴的目的,从而引致社会福利上升。同时,消费者剩余变化与生产者剩余变化的比例  $\Delta CS/\Delta PS > 1$ ,可知单位生产者剩余减少引致的社会福利变化大于单位消费者剩余增加时的效果。从不同区域看,中部地区生产者剩余向消费者剩余转化的效率最高,其次是西部地区,而东部地区最低。不同地区社会福利在生产者与消费者的分配调整上存在差异。同样的降价幅度下,中部地区的工业用户收益最大,原因可能是中部地区的能源效率较高;而西部地区比东部地区高的原因主要在于其降价幅度更高。

# 六、工业电力降费的政策潜力估算与机制设计

## 1. 工业电力降费的政策潜力估算

基于前面的分析,工业电力降费对 GDP 增长的经济效益与节能减排的环境效益作用明显。因此,在未来的经济增长与环境规制过程中,降低用能成本将可能成为政策规制者实现降低交叉补贴的一种重要政策工具。更重要的是,在 2018 年、2019 年两轮一般工商业降价 10%的基础上,工业电价是否有继续下降的空间、下降空间多大,继续降费对效率提升、工业产值增加、GDP 增长以及 CO<sub>2</sub> 的减少作用如何?对这些问题的回答具有重大且紧迫的现实意义和政策价值。

因此,本文需要分析在无交叉补贴时的理想状态下,工业电力降费对能源效率及社会福利提升的影响,以分析未来继续使用该政策可能取得的效果。基于理论分析,可知在无交叉补贴时,工业电价至少可下降至居民电价水平,此为工业电价的理论降价空间下限;对应地,居民电价至少可提升至工业电价水平,此为居民电价的理论上升空间下限。基于第五部分的方法,可以计算出效率提升后各指标的变化,如表 9 所示。

由表 9 可以看出,作为推动实体经济发展的措施,工业电力降费具有很大的潜力空间,理论上,总体降价比例可达 30%以上,且电力市场化程度最高的东部地区降价空间更大。同样,绿色能源效率的提升非常有助于 GDP 总额增长、GDP 增长率提高,以及温室气体排放的减少。因此,政策

表 8 两种场景下社会福利变化

省份	情景一:事前政策规划				情景二:事后实际执行			
	$\Delta PS$ (亿元)	$\Delta CS$ (亿元)	$\Delta SW$ (亿元)	$\Delta CS/\Delta PS$	$\Delta PS$ (亿元)	$\Delta CS$ (亿元)	$\Delta SW$ (亿元)	$\Delta CS/\Delta PS$
北京	-20.6622	24.7641	4.1019	1.1985	-22.5488	25.3478	2.7990	1.1241
天津	-45.6530	49.3487	3.6957	1.0810	-52.0444	56.2926	4.2482	1.0816
河北	-233.3892	245.1449	11.7557	1.0504	-259.5272	272.6827	13.1555	1.0507
山西	-51.8725	55.1932	3.3207	1.0640	-57.6818	61.3925	3.7107	1.0643
内蒙古	-79.7734	84.1177	4.3443	1.0545	-94.0598	99.2307	5.1709	1.0550
辽宁	-95.3495	102.6760	7.3265	1.0768	-111.5545	120.2157	8.6612	1.0776
吉林	-32.5789	35.9886	3.4097	1.1047	-36.1983	40.0070	3.8087	1.1052
黑龙江	-44.7064	48.2966	3.5902	1.0803	-50.6547	54.7574	4.1027	1.0810
上海	-64.6827	72.8747	8.192	1.1266	-72.9686	82.2658	9.2972	1.1274
江苏	-235.1475	254.9300	19.7825	1.0841	-261.4877	283.6289	22.1412	1.0847
浙江	-172.1340	184.4343	12.3003	1.0715	-186.9382	200.3685	13.4303	1.0718
安徽	-62.0270	68.2342	6.2072	1.1001	-68.9097	75.8556	6.9459	1.1008
福建	-59.2800	67.9126	8.6326	1.1456	-69.7753	80.0435	10.2682	1.1472
江西	-29.0533	35.5489	6.4956	1.2236	-33.4093	40.9472	7.5379	1.2256
山东	-121.3765	140.6199	19.2434	1.1585	-134.7238	156.2214	21.4976	1.1596
河南	-180.3883	193.0470	12.6587	1.0702	-194.0898	207.7701	13.6803	1.0705
湖北	-76.4279	84.6948	8.2669	1.1082	-84.9036	94.1565	9.2529	1.1090
湖南	-17.3720	31.7557	14.3837	1.8280	-19.4292	35.6195	16.1903	1.8333
广东	-146.0808	182.7543	36.6735	1.2510	-160.4084	200.9098	40.5014	1.2525
广西	-28.6602	34.4976	5.8374	1.2037	-31.5293	37.9771	6.4478	1.2045
重庆	-38.2391	43.1753	4.9362	1.1291	-42.5175	48.0499	5.5324	1.1301
四川	-44.5196	55.8104	11.2908	1.2536	-54.0808	67.9879	13.9071	1.2572
贵州	-32.8353	34.0682	1.2329	1.0375	-38.5137	39.9693	1.4556	1.0378
云南	-25.3722	26.4535	1.0813	1.0426	-28.1856	29.4088	1.2232	1.0434
陕西	-16.3254	22.4066	6.0812	1.3725	-18.2328	25.0766	6.8438	1.3754
甘肃	-25.1915	26.5783	1.3868	1.0551	-27.9766	29.5195	1.5429	1.0551
青海	-11.8518	12.5786	0.7268	1.0613	-14.6089	15.5097	0.9008	1.0617
宁夏	-23.6150	23.9122	0.2972	1.0126	-26.6805	27.0243	0.3438	1.0129
东部	-1193.7158	1325.4255	131.7097	1.1103	-1324.3066	1470.4451	146.1385	1.1104
中部	-494.3736	552.7162	58.3426	1.1180	-545.2215	610.4530	65.2315	1.1196
西部	-326.342	363.5449	37.2029	1.1140	-376.3317	419.6849	43.3532	1.1152
全国	-2014.4285	2241.6770	227.2485	1.1128	-2245.8598	2500.5830	254.7232	1.1134

注:2018年12月23日国家电网在《国家电网报》中指出,2016年来(国家电网)公司经营区域内年降低用户电费负担达2217亿元。根据南方电网与国家电网的营收估算与工商业用电比例估算,全国范围内年降低用户电费可达2296亿元左右,与本文较为一致。

制定者在取得工业电价下降10%的阶段目标后,应继续采取措施降低工业用能成本。但是,在保持居民电价不变的情况下,降低交叉补贴只能通过降低工业电价一条路径实现,这对电力提供者的收益产生了巨大影响,难以维持电力供应者的收益平衡,并对电力供应市场的稳定性产生巨大冲击。因此,降低工业电价需要其他配套措施配合,以保证同时完成效率提高与福利提升的目标。相应

表9 工业电力降费引致的效率与福利潜力分析

省份	理论降价空间 (%)	效率提升 (%)	工业产值 (亿元)	GDP增速 (%)	CO <sub>2</sub> 减少 (%)	ΔPS (亿元)	ΔCS (亿元)	ΔSW (亿元)
北京	39.51	39.92	1666.7147	7.24	8.87	-81.6283	102.9933	21.3650
天津	44.94	16.95	939.3219	5.68	2.74	-205.1622	227.3209	22.1587
河北	38.10	11.04	948.2228	3.18	1.47	-889.0612	944.5532	55.4920
山西	32.39	15.93	605.0773	4.74	1.79	-168.0469	180.6520	12.6051
内蒙古	20.37	6.97	202.6499	1.14	0.97	-162.4986	171.9516	9.4530
辽宁	40.75	17.90	1462.4494	5.10	2.46	-389.1216	427.8339	38.7123
吉林	42.39	18.90	1333.8525	9.48	4.97	-138.0900	156.7811	18.6911
黑龙江	37.04	23.62	703.0028	4.66	3.03	-165.5614	181.8773	16.3159
上海	31.87	16.79	1006.8012	4.01	2.75	-206.1353	236.6295	30.4942
江苏	37.65	15.34	3988.2228	5.69	3.79	-885.2394	977.1040	91.8646
浙江	35.71	11.36	1521.8763	3.55	1.97	-614.7436	667.9318	53.1882
安徽	35.96	16.60	1524.4652	6.93	3.28	-222.9831	250.0796	27.0965
福建	36.71	27.25	2393.5781	9.21	5.73	-217.6199	256.3304	38.7105
江西	24.05	16.07	1073.3523	6.42	3.86	-69.8671	87.0045	17.1374
山东	31.28	18.27	4264.4411	6.77	3.98	-384.9982	457.5121	72.5139
河南	26.32	13.04	1971.2516	5.33	2.23	-474.6787	511.8889	37.2102
湖北	38.92	16.60	1798.0751	6.08	3.72	-297.0187	336.9912	39.9725
湖南	21.49	20.85	2174.6682	7.52	9.83	-38.0511	69.7140	31.6629
广东	24.80	15.74	4081.5861	5.61	3.98	-370.3153	475.3093	104.9940
广西	42.42	34.88	2291.1966	13.64	10.10	-125.9319	157.7444	31.8125
重庆	28.77	14.96	901.7998	5.74	2.71	-109.9763	126.1735	16.1972
四川	46.26	34.48	4153.9109	13.82	7.84	-204.6160	273.2602	68.6442
贵州	34.29	21.44	412.9915	3.93	2.00	-112.5567	117.5806	5.0239
云南	44.05	35.40	1260.4151	9.25	6.37	-111.4919	117.8913	6.3994
陕西	35.06	48.75	3170.0514	17.59	19.28	-57.2361	82.8801	25.6440
甘肃	35.44	17.68	261.5255	3.85	1.57	-89.3008	95.1990	5.8982
青海	22.73	7.73	51.9280	2.15	0.40	-28.0080	29.8741	1.8661
宁夏	38.36	4.66	27.8279	0.96	0.13	-90.5650	91.9893	1.4243
东部	36.13	19.06	22273.2719	5.60	3.77	-4244.2112	4772.1900	902.5478
中部	32.32	17.70	11183.7189	6.40	4.09	-1574.2010	1776.4501	527.9788
西部	30.37	22.69	12734.2652	7.21	5.14	-1092.0911	1264.4110	202.2491
全国	33.68	19.75	46191.2560	6.24	4.29	-6910.5033	7813.0511	172.3199

的配套措施包括提高居民电价来减少交叉补贴,工业电力降费分阶段实施,加强工业用能企业的技术创新以提高能效等。

## 2. 基于政策目标减少交叉补贴的机制设计与实施策略

基于2018年、2019年两次一般工商业降价政策,本文估算了2020年以后为实现无交叉补贴,工业电价降低及居民电价提升的理论调整空间。

通过收集整理2018年、2019年全国各省份及国家发改委公布的一般工商业降价政策文件,可以得到工业电价降低的实际执行结果,即价格的下降额度。而当年的价格下降额度与上一年的实际电价的比例即为实际降价比例。各城市居民电价虽可能有小幅调整变化,但2018年国家并未出台

大规模的居民电价调整措施,因此居民电价在此无实际提价比例。由此,可以计算出工业与居民电价的理论调整空间,具体如表 10 所示。进一步地,通过所估算的 2020 年以后工业电力降费及居民电价提升的理论空间,提出要以工业电力降价为主,配合居民电力提价的价格调整措施。为达到无交叉补贴的目的,若单方面的降低工业电价或提高居民电价,其政策目标的实现效果有限,但是通过二者相结合,可以在工业与居民侧同时实现效率与社会福利的提升。此外,可根据各省份不同的价格调整空间,实施“差异化”价格策略实现政策目标,如表 10 最后一列所示。

具体地,对于工业电价的降低,可以在工业企业领域逐步实施差异定价,包括对高耗能行业实施差别定价、惩罚性定价和阶梯定价等措施。差异定价在工业企业领域暂未实施,但是中国各省份

表 10 未来调价潜力与机制设计

省份	工业电价			居民电价	价格调整策略
	2018 年实际 降价(%)	2019 年实际 降价(%)	剩余理论降价 空间(%)	理论提价 空间(%)	
北京	10.59	4.77	35.07	54.02	大幅降低工业电价,配合居民电价 适度提升
黑龙江	10.43	4.58	26.78	36.57	
吉林	10.35	7.72	25.09	33.49	
辽宁	10.74	10.34	20.03	25.04	
广西	10.29	10.43	19.93	25.45	适度降低工业电价,配合居民电价 稳定提升
天津	11.21	10.88	18.90	23.31	
贵州	10.16	10.13	18.10	21.87	
江苏	10.27	10.13	17.56	21.30	
重庆	10.54	8.23	15.83	18.81	
四川	10.22	11.76	15.62	18.51	
浙江	10.54	10.50	15.33	18.11	
陕西	10.60	10.61	14.34	16.74	继续实施降价 10% 的政策,配合非 价格调整措施
甘肃	10.26	13.05	12.72	14.57	
湖北	10.48	12.42	12.71	14.57	
福建	11.31	10.45	10.06	11.18	
湖南	10.55	9.42	9.64	10.69	
山东	10.41	8.06	7.86	8.54	稳定降低工业电价,配合居民电价 结构调整
上海	10.68	10.74	6.77	7.26	
宁夏	10.79	14.89	5.92	6.29	
河北	10.40	7.83	3.60	3.73	
安徽	10.41	10.53	3.36	3.47	
山西	10.56	11.78	3.21	3.31	
广东	10.53	10.51	2.01	2.05	
云南	10.31	22.64	0.99	1.00	
江西	10.73	10.24	0.18	0.18	
河南	10.56	10.62	-	-	
内蒙古	11.30	18.11	-	-	
青海	11.16	27.93	-	-	

注:“-”说明到 2020 年已不能通过工业电价下降实现减少交叉补贴的目的。截至 2019 年 7 月国家发改委公布的数据显示,北京、黑龙江、吉林、河北、山东、重庆、湖南暂未实现政策目标。

自2012年以来已经在居民用电领域实施阶梯电价政策,这是差异定价的重要体现。由此,工业领域可以借鉴居民领域的阶梯电价政策。通过对高耗能行业实施较低耗能行业更高的价格水平,可以减少低耗能行业对高耗能行业的补贴,促进社会公平与效率的提升。目前,已有部分省份(如北京、广东、安徽、河南等)实施了一般工商业峰谷电价。

对于居民电价的提升,可以通过改变居民电价的阶梯数量、阶梯价格和阶梯长度等实现。考虑到各地区的实际发展水平和居民的可接受性等,居民电价的上调空间有限,不能在现行的工业电价及居民电价下达到理论价格水平,所以本文考虑在工业电价下降一定的水平后,各省份实施差异化的居民电价阶梯数量政策。基于2012年国家发改委《关于居民生活用电试行阶梯电价的指导意见的通知》,阶梯定价第一档作为基本用电,覆盖80%居民的用电量;第二档作为正常用电,覆盖95%居民的用电量;第三档作为高质量用电,覆盖剩余的5%居民的用电量。但是,多数居民的用电水平并未达到第二档电量。“一刀切”式的3级阶梯价格并非最优,各省份最优阶梯数量存在差异,为2、3个(刘自敏等,2019)。此外,可以实施分档式阶梯电价(黄海涛等,2012),即不同的总用电量使用不同的阶梯定价结构,比如对居民生活用电采用“生命线电价”。

对于通过工业电价下降难以实现减少交叉补贴的省份,可采用其他价格手段,如输配电价改革、降低附加费等方式,并辅助一些非价格手段,如关注电网投资效率、严控低效无效投资等。2019年3月国家发改委发布了《关于电网企业增值税税率调整相应降低一般工商业电价的通知》,提出电网企业增值税税率由16%调整为13%,省级电网企业含税输配电价水平降低的空间全部用于降低一般工商业电价。可见,为达到降低工业企业电价的目的,可以采取多管齐下的价格与非价格手段。对于部分已到达政策目的(无交叉补贴)的省份,由于电力运输、配送成本较高,可考虑从输配电价及电力附加费入手,减少电费附加费的随意性及寻租空间。当然,在实际降电价过程中,应该根据各省份的实际情况采取有针对性的措施。

以上分析假设短期内供电成本基本不变,基于同样的分析思路,可以进一步针对未来更多可能的场景进行分析,以建立实施降低工业用能成本的长效机制。借鉴中国能源和碳排放研究课题组(2009)在《2050中国能源和碳排放报告》中所做出的场景假设,本文提出了未来中国电力市场及电价改革可能面临的几种场景,如表11所示。

表 11 未来降低交叉补贴面临的典型场景

场景类型	基本假设与描述
基准场景	(短期内)供电成本不变,此时,工业电价下降调整,居民电价上升调整。
新能源发展场景	基于《2050中国能源和碳排放报告》的预测,2040年需要开采非常规天然气;2050年太阳能成本为0.39元/kWh,陆上风力田普及;2050年核能发电成本为0.24元/kWh。使用清洁、高效的新能源发电,可以减少供电成本。此时,工业电价可继续下降,且居民电价也可能下降。
低碳约束场景	中国政府提出2020年底建立全国统一碳交易市场。因此,未来的电力市场改革需同时考虑中国碳减排压力。交叉补贴分析必须考虑碳价格,分析两者关系以配合电价交叉补贴的减少。此时,传统能源(煤电等)工业电价下降空间减小,但新能源占比的扩大可拓展工业电价下降空间。
技术进步场景	电力技术进步,能源转换效率提高。2030年先进用能技术得到普遍利用,中国工业用能技术达世界领先水平。技术效率有望得到提升,引致电力总体供应成本降低。此时,工业电价可继续下降,且居民电价也可能下降。

注:在以上不同场景中进行交叉补贴的机制设计,分析思路与本节基于基准场景已做出的量化分析完全一致。



## 七、结论与建议

本文通过构建能源消费交叉补贴对能源效率与社会福利影响的理论模型,分析了交叉补贴对能源效率与社会福利的不利影响。以电力行业为例,利用2006—2015年中国100个城市的工业与居民电力消费数据,结合工业降电价政策,实证测度了工业降电价对绿色能源效率与社会总福利及其结构的影响,并估算了工业电力降费的政策潜力及其可能效果。进一步提出,“差异化”的价格策略可达到交叉补贴减少、降低工业电价的目的。本文的研究结论和政策建议主要包括:

(1)在考虑环境约束的条件下,交叉补贴引致中国的绿色能源效率较低。政府应通过建立竞争性市场机制促使合理的能源价格形成,以减少价格扭曲从而提升能源效率。全国层面上基于全局非径向模型估算出的绿色能源效率仅为0.307,且各地区间存在较大差异。同时,全国的纯技术效率均值为0.340,规模效率均值为0.815。各地区在追求经济增长的同时,需要同时关注环境与气候变化问题,通过产业升级、清洁能源转型等方式,积极采取各类措施减少环境污染物排放。

(2)无论从交叉补贴的量还是占电价比率来看,交叉补贴均降低了绿色能源效率。政府应切实采取措施减少交叉补贴,以提高能源效率,从而在一定投入下,扩大经济产出、减少负产出。并且,虽然各地区的交叉补贴状况与能源效率差异较大,但降电价政策对能源效率的影响效果具有一般性。因此,能源管理应该围绕着提高能效这一核心问题。政府通过统一执行降低工业电价、减少交叉补贴,可以有效提高各地区的能源利用效率。同时,提高居民能源使用价格也是减少交叉补贴,进而提高能效的有效手段。

(3)基于对工业降电价政策的全国实际执行情况分析,工商业降价10%的目标在全国层面上已经完成。从降低用能成本与提升社会福利的角度,全国的事后实际执行效果已经超过了事前政策计划预期。降低工业用能成本对提高工业产值、GDP增速以及降低CO<sub>2</sub>排放量均起到了积极的作用,但由于效率差异,对东、中、西部不同区域的影响效果存在差异。因此,具体到各个省份,应该根据本地的实际情况,比较事前事后的政策效果差异,差异化制定本地区的降价目标,而非当前所采用的全国“一刀切”政策。

(4)政策制定者在取得工业电价下降10%的阶段目标后,应继续采取措施降低工业用能成本。工业电力降费仍具有较大政策潜力,但各地区需要采取配套措施配合实施工业降费政策。全国平均的理论工业降价空间可达33.68%,并对GDP增加额、增长率、CO<sub>2</sub>排放量等产生重要影响,但同时需要不考虑电力提供商预算平衡等约束。因此,政府需要采取配套措施以支持工业电力继续降费,配套措施可包括通过清洁能源技术引导减少供电成本并提高绿色能效、提高居民用能价格以减少交叉补贴等,同时,对不同调价空间的省份实施“差异化”的价格调整机制。

随着中国电力体制改革的进一步深入,尤其是经济增长新旧动能转换期对经济增长、气候变化、环境保护等多重目标的关注,中国能源行业中价格扭曲引致的一系列社会经济问题在理论界和政策界得到了越来越多的关注。基于系统思维和顶层设计的视角,结合未来可能典型场景与政府价格调整策略,以电力价格研究为纽带,通过推动行政降电价政策向市场化改革的转变,围绕电力市场化改革下电力价格如何推动国民经济高质量发展、生态文明建设、能源革命和能源转型、新技术革命等方面展开分析,将是未来一段时间内推进电力体制改革的关键问题,也是石油、天然气、废水与垃圾处理等中国资源能源产品公用事业价格改革理论与经验分析的重要研究内容。

### 〔参考文献〕

〔1〕陈永伟,胡伟民. 价格扭曲、要素错配和效率损失:理论和应用[J]. 经济学(季刊), 2011,(3):1401-1422.

- [2]郝枫,赵慧卿. 中国市场价格扭曲测度:1952—2005[J]. 统计研究, 2010,(6):33-39.
- [3]黄海涛,程瑜,王晓晖. 居民阶梯电价结构的国际经验及启示[J]. 价格理论与实践, 2012,(4):38-39.
- [4]柯善咨,向娟. 1996—2009年中国城市固定资本存量估算[J]. 统计研究, 2012,(7):19-24.
- [5]冷艳丽,杜思正. 能源价格扭曲与雾霾污染——中国的经验证据[J]. 产业经济研究, 2016,(1):71-79.
- [6]李平,季永宝,桑金球. 要素市场扭曲对我国技术进步的影响特征研究[J]. 产业经济研究, 2014,(5):63-71.
- [7]林伯强,杜克锐. 要素市场扭曲对能源效率的影响[J]. 经济研究, 2013,(9):125-136.
- [8]刘自敏,李兴,朱朋虎. 非线性定价中多维数量参数的优化设计:以递增阶梯定价为例[J]. 中央财经大学学报, 2019,(9):73-86.
- [9]刘自敏等. 交叉补贴、工业电力降费与碳价机制设计[R]. 经济学(季刊)“能源经济与政策”专题研讨会, 2018.
- [10]唐要家. 反垄断与政府管制理论与政策研究新进展——“反垄断与政府管制:理论与政策”国际研讨会观点综述[J]. 中国工业经济, 2009,(1):147-154.
- [11]王芃,武英涛. 能源产业市场扭曲与全要素生产率[J]. 经济研究, 2014,(6):142-155.
- [12]王玉梅,芮源,孙欣. 能源要素价格扭曲影响碳强度的传导机制检验——基于能源结构的中介效应分析[J]. 统计与信息论坛, 2016,(9):69-77.
- [13]谢里,张斐. 电价交叉补贴阻碍绿色发展效率吗?来自中国工业的经验证据[J]. 南方经济, 2017,(12):98-118.
- [14]谢里,魏大超. 中国电力价格交叉补贴政策的社会福利效应评估[J]. 经济地理, 2017,(8):37-45.
- [15]杨娟,刘树杰. 有关“降电价”的看法和建议[J]. 价格理论与实践, 2018,(1):15-17.
- [16]张子龙. 欠发达地区资源消耗、环境污染与经济发展耦合关系比较研究——以甘肃中部为例[M]. 甘肃:兰州大学出版社, 2018.
- [17]中国能源和碳排放研究课题组. 2050中国能源和碳排放报告[M]. 北京:科学出版社, 2009.
- [18]Abouleinein, S., H. El. Laithy, and H. K. Al-DIN. The Impact of Phasing Out Subsidies of Petroleum Energy Products in Egypt[R]. ECES Working Paper, 2009.
- [19]Atkinson, S. E., and C. Cornwell. Parametric Estimation of Technical and Allocative Inefficiency with Panel Data[J]. International Economic Review, 1994,35(1):231-243.
- [20]Bhattacharyya, S. C. Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance [M]. London: Springer, 2011.
- [21]Breisinger, C., W. Engelke, and O. Ecker. Petroleum Subsidies in Yemen: Leveraging Reform for Development[R]. World Bank Policy Research Working Paper, 2011.
- [22]Burke, P. J., and S. Kurniawati. Electricity Subsidy Reform in Indonesia: Demand-Side Effects on Electricity Use[J]. Energy Policy, 2018,116(5):410-421.
- [23]Chen, Y., and M. Schwartz. Beyond Price Discrimination: Welfare under Differential Pricing When Costs also Differ[R]. MPRA Working Paper, 2012.
- [24]Coady, D., I. Parry, N. P. Le, and S. Shang. Global Fossil Fuel Subsidies Remain Large: An Update Based on Country-Level Estimates[R]. IMF Working Paper, 2019.
- [25]Cowan, S. Third-Degree Price Discrimination and Consumer Surplus[J]. Journal of Industrial Economics, 2012, 60(2):333-345.
- [26]Freund, C., and C. Wallich. Public-Sector Price Reforms in Transition Economies: Who Gains? Who Loses? The Case of Household Energy Prices in Poland[J]. Economic Development and Cultural Change, 1997,46(1): 35-59.
- [27]Hsieh, C. T., and P. J. Klenow. Misallocation and Manufacturing TFP in China and India[J]. Quarterly Journal of Economics, 2009,124(4):1403-1448.
- [28]IEA. World Energy Outlook Insights, Looking at Energy Subsidies: Getting the Prices Right [M]. Paris: IEA, 1999.

- [29]Linn, J. Energy Prices and the Adoption of Energy-Saving Technology [J]. *Economic Journal*, 2008,118(533): 1986–2012.
- [30]Oh, D. A Global Malmquist–Luenberger Productivity Index [J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2010,34(3): 183–197.
- [31]Palmer, K. A Test for Cross Subsidies in Local Telephone Rates: Do Business Customers Subsidize Residential Customers[J]. *RAND Journal of Economics*, 1992,23(3):415–431.
- [32]Pigou, A. C. *The Economics of Welfare*[M]. London: Macmillan Press, 1920.
- [33]Restuccia, D., and R. Rogerson. Policy Distortions and Aggregate Productivity with Heterogeneous Plants[R]. NBER Working Paper, 2007.
- [34]Schmalensee, R. Output and Welfare Implications of Monopolistic Third-Degree Price Discrimination [J]. *American Economic Review*, 1981,71(1):242–247.
- [35]Shi, X., and S. Sun. Energy Price, Regulatory Price Distortion and Economic Growth: A Case Study of China[J]. *Energy Economics*, 2017,63(3):261–271.
- [36]Tone, K. Dealing with Undesirable Outputs in DEA: A Slacks-Based Measure (SBM) Approach [R]. GRIPS Research Report Series, 2003.
- [37]Tulkens, H., and P. V. Eeckaut. Non-Parametric Efficiency, Progress and Regress Measures for Panel Data: Methodological Aspects[J]. *European Journal of Operational Research*, 1995,80(3):474–499.
- [38]Zheng, S., and M. R. Ward. The Effects of Market Liberalization and Privatization on Chinese Telecommunications[J]. *China Economic Review*, 2011,22(2):210–220.

## Can Reducing the Energy Cost of Enterprises Improve Energy Efficiency and Social Welfare——Analysis from the Perspective of Cross Subsidy

LIU Zi-min<sup>1</sup>, DENG Ming-yan<sup>1</sup>, YANG Dan<sup>1</sup>, MA Yuan<sup>2</sup>

- (1. School of Economics and Management, Southwest University, Chongqing 400716, China;  
2. Enterprise Research Institute, Development Research Center of the State Council, Beijing 100010, China)

**Abstract:** Analyzing the impact of cross-subsidy on energy efficiency and social welfare is the key issue to evaluate the policy of reducing industrial energy costs under price distortion. Based on the identification of cross-subsidy, this paper measures the green energy efficiency under carbon constraints and empirically estimates the impact of cross-subsidy on energy efficiency with the data of 100 Chinese cities. Furthermore, this paper analyzes the impact of reducing industrial energy cost on efficiency and welfare, and studies the policy potential and implementation strategy. Results show that Chinese green energy efficiency is generally low and cross-subsidy can reduce energy efficiency significantly. Reducing industrial electricity price can cut down cross-subsidy and further improve energy efficiency and social welfare. The goal of 10% reduction in industrial electricity price has been implemented at the national level, exceeding the policy expectations. The price reduction still has great potential and different price reduction strategies should be adopted with typical scenarios in different regions. This paper not only provides quantitative evidence to analyze the efficiency and welfare loss caused by cross-subsidy, but also gives a useful reference for the government to establish a long-term mechanism to reduce industrial energy cost.

**Key Words:** cross-subsidy; green energy efficiency; social welfare; industrial electricity price reduction; potential estimation

**JEL Classification:** D24 D61 Q48

[责任编辑:李鹏]