

中国的电价改革与 二氧化碳排放

——来自市级层面的实证研究与政策启示

周亚敏 冯永晟

摘要 电力行业是二氧化碳排放的主要来源之一。作者研究了电力价格对电力需求引致型二氧化碳排放的影响，以及不同电价改革策略对二氧化碳排放水平的影响，强调了理顺电价结构与碳排放定价机制的重要关系。工业电价和居民电价对相应二氧化碳排放的影响程度不同，因而旨在理顺电价结构的改革政策将会导致二氧化碳排放水平的净增加，这与控制碳排放和应对气候变化的目标并不一致。因此，要顺利推进电力体制改革，必须有相应的碳定价政策配合，同时碳定价政策的潜在效果也有赖于电价机制的理顺。本文为推进电力价格改革、协调电力市场化改革和应对气候变化政策提供了理论依据。

关键词 二氧化碳排放 电价改革 碳定价

[中图分类号] F062.9 [文献标识码] A [文章编号] 2095-851X (2016) 04-0085-15

一、引言

《中国应对气候变化的政策与行动 2015 年度报告》提出到 2030 年左右中国二氧化碳排放达到峰值，并争取使 2030 年的碳强度在 2005 年基础上降低 60%~65%，非化石能源占一次能源比重达到 20% 左右。实现这一峰值目标将主要依靠节能和提高能源利用效率，而能源领域的市场化改革将发挥主要作用。2015 年 3 月，新一轮电

【基金项目】 国家自然科学基金青年项目“通过结构重组、接入监管与定价机制改革构建中国售电侧市场的理论与实证研究”（批准号：71403288）；国家社会科学基金重大项目“中国与周边国家电力互联互通战略研究”（批准号：13&ZD168）。

【作者简介】 周亚敏（1984-），中国社会科学院亚太与全球战略研究院助理研究员，邮政编码：100007；冯永晟（1981-），中国社会科学院财经战略研究院、中国社会科学院经济政策研究中心副研究员，邮政编码：100028。

力体制改革启动,其中推进市场化进程、改革电价形成机制成为改革重点。传统的电力定价由政府严格管制,定价水平既不反映生产成本也不反映用电偏好,电价结构严重扭曲,交叉补贴严重,难以促进节能和提高能效。新一轮电力体制改革的目标之一就是理顺定价机制、形成真实反映电力社会价值的价格水平,其中要重点解决的一个难题是逐步改变工业电价与居民电价之间的交叉补贴。电力价格对电力消费引致的二氧化碳排放存在重要影响,因此考察电力价格改革对二氧化碳排放的影响特征对于协调电力体制改革和应对气候变化具有重要意义。

目前国内对二氧化碳排放的研究重点在推进碳排放交易机制和碳税的设计上,部分研究强调了电力行业在控制二氧化碳排放中的主体对象地位。然而,二氧化碳排放的控制机制与电力体制之间的关系仍未得到深入研究。在全面深化改革的背景下,如何协调不同领域的改革政策仍缺乏稳健依据。电价改革是否有利于二氧化碳排放的控制,理顺定价结构、消除工业电价与居民电价间的交叉补贴能否带来二氧化碳排放的减少,都是亟待解决的难题。本文利用2006~2014年间位于30个省级行政区内、同时具有工业和居民电价采样点的36个地级市的数据,研究了两种电价对二氧化碳排放的影响作用及其区域差异特征,并结合当前电力体制改革的内容,分析了不同的价格调整策略对二氧化碳排放的影响,对相关政策建议作了讨论。

论文结构安排如下:第二部分介绍理论问题和实证研究的设计;第三部分介绍实证结果和基本结论,并针对不同电价改革政策的可能效果进行模拟分析;第四部分是针对电价改革和碳定价相关的政策讨论;最后一部分总结全文。

二、理论问题与研究设计

(一) 电力价格与二氧化碳排放

电力行业是产生二氧化碳排放的主要行业之一。作为将一次能源转化为二次能源的行业,电力行业的燃料利用和能量转换过程会排放大量二氧化碳。同时,电力行业是整个国民经济和社会生活的上游基础性行业,二氧化碳定价给电力行业带来的成本将会通过电力价格转移给电力用户。二氧化碳排放的价格是否能传递到终端电力价格中取决于许多制度因素。这些制度因素除碳排放定价政策本身外,还包括电力市场和电力规制机制等。因此,对电力行业而言,控制二氧化碳排放的政策根本上取决于电力定价政策。中国的电价改革政策将对二氧化碳排放控制产生至关重要的影响。

近年来国内研究者日益重视电力行业与二氧化碳排放之间的关系研究。一方面,学界均认可电力行业是二氧化碳排放的主要贡献者,与电力相关的许多因素都会深刻影响二氧化碳排放量。例如,侯建朝和史丹(2014)从电力产业链的角度,综合考虑发电、输配电、国际贸易、终端消费等环节活动对电力行业碳排放变化的影响;王常凯和谢宏佐(2015)研究了影响中国电力碳排放动态特征的10个主要因素,其中包括了电力结构、转换效率、输配损耗、电力强度等直接与电力行业相关的因素。

另一方面，一些学者则考虑了碳排放定价机制对电力市场的影响。王建林（2014）介绍了碳排放控制和中国电价体制的背景，分析了碳排放影响电力企业的三种途径，即总量控制、配额分配和碳价波动，提出了发电企业应对碳排放交易的策略；张晓龙等（2015）则利用考虑碳排放价格的电力市场发电成本模型和古诺竞争模型分析了碳价对电力市场均衡的影响；刘思东和朱帮助（2015）研究了在碳排放总量管制和排放交易机制下发电商的应对策略，提出了考虑碳排放权交易和电价风险的发电商优化调度模型。

以上研究表明近年来国内研究者越来越重视电力行业与二氧化碳排放之间的相互关系。不过，目前的研究仍未考虑电价改革对碳排放的可能影响，特别是传统电价结构的变化对二氧化碳排放的结构性影响，也缺乏相应的政策讨论。

在发达国家，由于碳排放定价机制实施较早，碳排放价格与电力价格之间的关系一直是理论研究和政策研究的重点。Chernyavs'ka 和 Francesco（2007）在理论上指出，影响碳成本转嫁的因素包括市场集中度、容量充裕度、电源结构、配额价格水平和电力需求水平等；Sijm 等（2006）对德国和荷兰的研究表明，2005 年上半年有 39% ~ 73% 的碳排放成本转移至终端电力价格中，而 2005 年全年则有 60% ~ 80% 的成本转移，而且这种转移比例持续上升；Ahmada 和 Kirat（2012）研究了碳排放价格对电力价格的非线性影响，发现德法两国的非线性影响存在国别差异；Hintermann（2016）发现德国发电企业至少有 84% 的碳成本甚至是超额碳成本（104%）会通过电价转嫁给消费者；O'Gorman 和 Jotzo（2014）发现澳大利亚在碳价政策实施两年后居民电价上升了 10%，工业电价上升了 15%，现货批发价格则上升了 59%。

上述研究表明针对电力行业产生的二氧化碳排放的控制最终是通过电力价格来实现的。总体而言，这种作用一是通过降低电力需求进而降低对一次能源的消耗来实现，二是通过能源替代（比如利用天然气替代煤炭、利用清洁能源替代化石能源）来实现。因此，通过价格控制二氧化碳排放，电力市场和电价机制是关键，而绝非仅仅是碳排放的定价机制。换言之，碳排放定价机制的作用必须以电力定价机制为制度前提才能发挥作用。

在二氧化碳排放价格能够比较顺利地传递至电力价格的基础上，碳排放定价制度设计或者定价的准确性才更具有显著意义。所以作者看到，尽管仍存在争论，但二氧化碳排放定价制度的选择和设计在国外一直是研究热点，相关研究也非常丰富（Christiansen et al. , 2005；Kanen, 2006；Convery and Redmond, 2007；Paul et al. , 2013）。

需要强调的是，国外的研究是以比较成熟的竞争性电力市场为背景的，其研究的侧重点在于二氧化碳排放价格向电力价格的转移或传递程度，以及碳排放定价制度的合理性。对中国而言，由于电力行业的市场化改革进程一直比较缓慢，竞争性的市场交易机制和相配套的规制机制长期以来未能有效建立，电力价格无法真实反映电力供给的成本特征和电力需求的偏好特征。同时，碳排放交易机制建设仍处于起步阶段，

尽管国家发展改革委气候司(2015)确定了建设全国碳排放权交易市场的思路,但全国性碳排放交易市场仍未建成,碳排放价格的合理性本身仍是一个问题。因此,电价调整尚无法行之有效地发挥控制电力行业二氧化碳排放的作用。

目前,中国正在推进新一轮电力体制改革,其中一项重要任务就是要改革电力定价机制,还原电力的商品属性。这就意味着电价必须朝着准确反映供给成本的方向调整。然而,中国传统电价结构中存在的交叉补贴问题已经成为电价改革的棘手难题。中国长期以来实行电价交叉补贴的政策,工商业电价承担了补贴居民电价的重任。电价改革的目标就是要改变这种扭曲的交叉补贴结构。

电价结构的调整会对当前的碳排放控制产生重要影响。理论上,电价作为经济活动和人民生活的基础投入,其变化必然会带来工商业用电和居民用电活动的变化,从而带来碳排放水平的变化。不过电价结构调整会产生更为复杂的影响。虽然居民电价的上升会抑制居民用电的碳排放水平,但是工商业电价的下降会降低工商业的成本,从而会刺激产出和二氧化碳排放。同时,中国的电力消费结构中,居民用电仅占13%左右,其余绝大部分为工商业用电。这就意味着在不考虑其他二氧化碳排放控制政策的条件下,单纯的理顺电价结构的改革可能会带来二氧化碳排放的增加,这也是本文实证部分所要量化验证的。这种电价改革对二氧化碳排放的影响程度,对于推进电力体制改革、制定碳排放控制政策、协调两大领域的改革具有直接而现实的指导意义。实证研究电价改革政策的二氧化碳排放效应,并讨论电价改革与碳排放政策的协调构成了本文所要研究的核心内容。

(二) 模型设定与数据说明

在现有技术水平下,由于电力无法经济地大规模存储,电力的生产和消费需同时完成。电力供求必须保持实时平衡,发电产生的二氧化碳排放实际上也正是用电产生的二氧化碳排放,因而可以称其为电力需求引致型二氧化碳排放。这种定义方式首先能够利用来自发电侧的必要信息计算二氧化碳排放,其次可以将二氧化碳排放与电力需求行为和电力价格联系起来,从而可以研究电力价格与碳排放水平之间的相应关系,更进一步,可以考察电价水平和结构的变化所产生的二氧化碳排放影响。

1. 模型设定

假设电力需求 $Q = f(p, Z)$, 其中 p 表示电价, Z 表示需求位移变量。不失一般性,暂不区分居民和工业用户。本文关心的是二氧化碳排放量 CO_2 与 p 之间的关系,假设 CO_2 与电力需求 Q 之间存在 $CO_2 = g(Q)$, 那么就有 $CO_2 = g(f(p, Z)) = \phi(p, Z)$ 。为方便实证化处理,简单变形得到 $\ln CO_2 = \phi(\ln p, Z)$ 。

根据以上分析,为考察电价对二氧化碳排放的影响,进行一阶 Taylor 展开,建立二氧化碳排放的一般性实证模型:

$$\ln CO_{2i} = \alpha_i + \beta_i \ln p_i + \gamma_i Z_i + u_{li} + \mu_{li} + \varepsilon_{li} \quad (1)$$

在此一般性设定中， $l=1、2$ ，分别代表工业和居民， p 表示电力销售价格， Z 代表了控制变量集，下标 i 和 t 分别表示样本城市和年份， u 和 μ 分别表示城市和年份固定效应， ε_{it} 是随机扰动项。

之所以将电力需求区分为工业与居民需求，是因为两者的主要影响因素差异明显。除了两类用户分别适用工业电价和居民电价外，在控制变量 Z 的选取上，工业电力需求与居民电力需求引致型二氧化碳排放具有不同的选择。对工业而言，生产经营活动是影响二氧化碳排放的主要因素，因此加入控制生产经营活动的变量就十分重要。反映生产经营活动需要从“数量”和“结构”两个角度考虑，即需考虑生产的规模效应和结构效应，因此加入工业生产总值来表示生产经营活动的规模效应，而加入产业结构变量来表示生产经营活动的结构效应。对居民而言，预算能力和能源选择数量至关重要，家庭的收入和综合用能情况则是影响排放的主要因素，因此加入了家庭收入水平和人均的其他能源消费。对于其他难以直接观测到的影响因素，将其归入固定效应项中。

一般认为，在涉及电力需求时，天气应作为重要影响变量进入实证模型，针对这一点需要特别说明。天气对包括电力消费的重要影响主要反映在相对短期内的负荷曲线的形状上。在这里，只有相对短期内的气温波动才有意义，比如，某天（周、月）内的温度过高，会导致用电负荷过大，而对年度数据而言，年度平均气温无法反映年内温度波动特性，各年间的平均气温差异非常小，进入模型反而会增加多重共线性的风险。实际上，使用年度数据意味着，年内气温波动的影响已经体现在其他主要控制变量中。

本文关心的主要对象之一是电价，因此必须要考虑电价形成机制对分析方法可能产生的影响。实际上，中国的规制电价政策对模型设定和估计策略产生了重要影响。一方面，电价不随电力供求变化，使得电价成为解释电力需求引致型二氧化碳排放的严格外生变量，这就避免了电价与电力需求之间进而与二氧化碳排放之间的内生性问题，从而在很大程度上便利了本研究的实证工作。但是另一方面也要注意，电价主管部门长期以来的定价策略使得居民电价与工业电价之间产生了某种内在关联。由于电价主管部门长期采取工业电价补贴居民电价的定价策略，居民电价低在某种程度上就决定了工业电价必然要高。这种内在关联产生的影响必须要体现在分析方法中，否则可能导致设定的偏误。不过这种关联虽然可以得到直观验证，但却无法直接观测或准确度量，因此会同时存在于工业和居民两个方程中的随机扰动项中。这就意味着，工业方程与居民方程必须通过联立方程模型才能得到准确有效的估计参数。因此，本文的实证模型采用如下的联立方程系统：

$$\begin{cases} \ln CO_2_1 = \alpha_1 + \beta_1 \ln p_1 + \gamma_{10} \ln y_1 + \gamma_{11} \ln ind_1 + \gamma_{12} \ln ind_2 + \gamma_1 \bar{Z}_1 + u_{1i} + \mu_{1t} + \varepsilon_{1it} \\ \ln CO_2_2 = \alpha_2 + \beta_2 \ln p_2 + \gamma_{20} \ln y_2 + \gamma_{21} \ln ene_1 + \gamma_{22} \ln ene_2 + \gamma_2 \bar{Z}_2 + u_{2i} + \mu_{2t} + \varepsilon_{2it} \end{cases} \quad (2)$$

其中， y_1 代表工业生产总值， y_2 代表家庭收入， ind 代表产业结构， ene 代表家庭替代

能源, Z 代表其他控制变量。总之, 在中国特殊的电价结构下, 单独分析工业或单独分析居民排放问题都会带来一些偏误, 必须通过结构模型才能准确反映电价的真实影响。

2. 数据说明

价格数据来自中国价格信息网提供的采价城市 2006 ~ 2014 年的月度数据, 其中工业电价的采价城市有 36 个, 居民电价的采价城市有 100 个。将两组数据进行匹配, 得到了同时具备工业电价和居民电价的 36 个样本城市的集合。利用月度数据按算术平均法计算出各城市的年度电价。各城市的二氧化碳排放量根据工业和居民用电量、城市所在省份电源结构, 以及所在区域电网的排放因子得到, 其中火电排放因子取自国家发展改革委应对气候变化司的《2010 中国低碳技术化石燃料并网发电项目区域电网基准线排放因子》。用电量及其他控制变量来自 2007 ~ 2015 年的《中国城市统计年鉴》。各主要变量的基本统计信息如表 1 所示。

表 1 基本统计量表

变量	含义	描述	平均值	标准差	最小值	最大值
lnem_in	人均工业排放量	万吨, 对数	0.8746	0.6848	-1.2961	2.6626
lnem_re	人均居民排放量	万吨, 对数	-0.4088	0.4841	-1.9143	1.0680
lnp_in	工业电价	元/万千瓦时, 对数	8.8781	0.1649	8.3894	9.1378
lnp_re	居民电价	元/万千瓦时, 对数	8.5527	0.1131	8.2428	8.8247
lnyper_in	工业生产总产值	亿元, 对数	1.8863	1.6503	-9.2239	4.3342
lnsalary_av	平均工资	元, 对数	10.6302	0.3569	9.8213	11.5566
induratio_c	二产比重	%	42.3498	8.8659	12.4000	60.4900
lngashome_c	人均家庭用气量	立方米/人, 对数	9.3868	1.4123	1.3863	13.3399
lngasoilhome_c	人均家庭煤气量	千克/人, 对数	10.4616	1.1257	5.8861	13.0162
lnpopuintensity_c	人口密度	人/平方公里, 对数	6.7275	0.8456	3.0325	9.3457

三、实证结果与模拟分析

(一) 实证结果与稳健性

1. 基本估计结果

表 2 展示了基于单一方程估计法得到的有限信息估计结果。所谓有限信息是指工业用电二氧化碳排放方程的估计不考虑居民用电二氧化碳排放方程所能提供的信息, 反之亦然。作为分析的起点, 单一方程的估计结果仍能提供重要的参考价值。其中, 考虑到扰动项中可能包括一些同时影响排放和经济活动水平的变量, 还需要考虑因加入经济活动变量而产生的内生性问题。

表 2 有限信息估计结果

解释变量	最小二乘法		二阶段最小二乘法考虑内生性	
	工业	居民	工业	居民
<i>lnp_in</i>	-1.165 *** (0.324)		-1.779 *** (0.509)	
<i>lnyper_in</i>	0.0667 ** (0.0276)		0.508 *** (0.158)	
<i>induratio_c</i>	0.0314 *** (0.00518)		0.0172 * (0.00888)	
<i>lnp_re</i>		-0.495 * (0.267)		-0.495 * (0.267)
<i>lnsalary_av</i>		0.611 *** (0.148)		0.610 *** (0.150)
<i>lngashome_c</i>		0.0114 (0.0276)		0.0114 (0.0278)
<i>lngasoilhome_c</i>		0.203 *** (0.0234)		0.203 *** (0.0234)
<i>lnpopuintensity_c</i>		0.130 *** (0.0379)		0.130 *** (0.0380)
东部	0.315 *** (0.110)	0.0178 (0.0716)	-0.329 (0.273)	0.0182 (0.0724)
中部	-0.307 *** (0.111)	0.0303 (0.0708)	-0.620 *** (0.192)	0.0304 (0.0710)
年份效应	控制	控制	控制	控制
常数项	9.897 *** (2.792)	-6.061 ** (2.563)	15.27 *** (4.398)	-6.061 ** (2.563)
观测值	259	259	259	259
R ²	0.263	0.496	-0.499	0.495

注：***表示 $p < 0.01$ ，**表示 $p < 0.05$ ，*表示 $p < 0.1$ ；括号内为标准差。

根据表 2，两组设计下的电价均对二氧化碳排放产生反向作用，即电价水平越高，二氧化碳排放量越少，反之则越多。工业产出水平和工业占比对工业二氧化碳排放具有显著的正向作用；居民收入水平对居民二氧化碳排放也具有显著的正向作用。同时，居民家庭替代能源使用量也会促进二氧化碳排放的增加。此外，考虑内生性问题后，工业电价对二氧化碳排放的响应程度明显增强。

为了进一步考虑交叉补贴带来的工业电价与居民电价之间的内在联系，通过系统估计法重新估计方程。完备信息估计结果（见表 3）的大致特征与基于单方程估计法的结果基本近似，同时也存在两个明显差异：工业电价对二氧化碳排放的影响程度有

所提升,而居民电价对二氧化碳排放的影响有所下降。这恰是由交叉补贴所造成。交叉补贴给工业电力用户带来了额外的负担,假设不存在这种负担而估计方程,将低估用户对电价的敏感性,而如果控制或剔除这种负担造成的影响,那么价格敏感性则会相应提升,这与理论预期完全一致。通过一个简单的线性需求方程可以证明,当电价包括对其他用户的交叉补贴后,面对此价格的用户的供给价格弹性将会下降,而享受价格补贴的用户的需求价格弹性将会上升。在单方程估计下,由于未控制这种影响,造成两类用户的价格弹性偏离真实值,而系统估计则校正了这种偏离。因此,基于系统估计法得到的结果代表了真实的影响关系,这也构成了下面进行政策模拟的基础。

表3 完备信息估计结果

解释变量	三阶段最小二乘法不考虑内生性		三阶段最小二乘法考虑内生性	
	工业	居民	工业	居民
<i>lnp_in</i>	-1.274 *** (0.306)		-1.812 *** (0.494)	
<i>lnyper_in</i>	0.0448 * (0.0259)		0.504 *** (0.153)	
<i>induratio_c</i>	0.0289 *** (0.00485)		0.0164 * (0.00861)	
<i>lnp_re</i>		-0.443 * (0.251)		-0.461 * (0.259)
<i>lnsalary_av</i>		0.517 *** (0.141)		0.610 *** (0.146)
<i>lngashome_c</i>		0.000170 (0.0260)		0.0100 (0.0269)
<i>lngasoilhome_c</i>		0.174 *** (0.0220)		0.201 *** (0.0227)
<i>lnpopuintensity_c</i>		0.0966 *** (0.0355)		0.124 *** (0.0368)
东部	0.375 *** (0.106)	0.0412 (0.0695)	-0.315 (0.265)	0.0183 (0.0702)
中部	-0.256 ** (0.108)	0.0188 (0.0686)	-0.607 *** (0.186)	0.0293 (0.0689)
年份效应	控制	控制	控制	控制
常数项	10.98 *** (2.637)	-6.486 *** (2.415)	15.60 *** (4.264)	-6.274 ** (2.485)
观测值	259	259	259	259
R ²	0.259	0.488	-0.486	0.495

注:***表示 $p < 0.01$, **表示 $p < 0.05$, *表示 $p < 0.1$; 括号内为标准差。

2. 稳健性检验

之前的分析是基于人均变量估计的模式，为了考察这些关键变量之间的关系是否稳健，作者采用总量变量来重新估计方程，得到了基本一致的估计结果（见表4）。综合比较来看，虽然估计有所变化，但核心变量之间的影响关系总体比较稳健，并未对实证结论造成明显影响。这就允许作者可以根据以上实证结果进行进一步政策模拟与讨论。

表4 稳健性检验

解释变量	三阶段最小二乘法不考虑内生性		三阶段最小二乘法考虑内生性	
	工业	居民	工业	居民
$\ln p_in$	-1.153 *** (0.351)		-1.393 ** (0.657)	
$\ln y_in$	0.139 *** (0.0273)		0.780 *** (0.105)	
$induratio_c$	0.0207 *** (0.00537)		0.00554 (0.00928)	
$\ln p_re$		-0.3977 * (0.330)		-0.400 * (0.252)
$\ln salary_av$		0.632 *** (0.202)		0.845 *** (0.217)
$\ln gas$		0.193 *** (0.0257)		0.270 *** (0.0275)
$\ln gasoil$		0.203 *** (0.0316)		0.251 *** (0.0337)
$\ln popu intensity_c$		0.109 ** (0.0446)		0.185 *** (0.0480)
东部	0.505 *** (0.123)	0.352 *** (0.0888)	-0.637 *** (0.233)	0.273 *** (0.0895)
中部	-0.213 * (0.126)	0.154 * (0.0900)	-0.795 *** (0.199)	0.157 * (0.0890)
年份效应	控制	控制	控制	控制
常数项	15.94 *** (2.991)	-3.110 (3.373)	20.25 *** (5.387)	-4.022 (3.593)
观测值	288	288	288	288
R ²	0.372	0.664	-0.377	0.691

注：***表示 $p < 0.01$ ，**表示 $p < 0.05$ ，*表示 $p < 0.1$ ；括号内为标准差。

(二) 政策模拟分析

在假设其他条件不变的情况下，本文专门考察不同电价政策对电力需求引致型二氧化碳排放的影响。设计了三种可能的电价改革策略：1. 工业电价下降，居民电价保持

不变；2. 工业电价与居民电价同比反向调整，从而形成一种增量平衡策略，即增量无交叉补贴；3. 工业电价下降，居民电价上涨至无补贴水平，即存量无交叉补贴。

三种电价改革策略的设计是基于中国当前电力改革的现实状况。2015年底的中央经济工作会议确定了通过降低电价和推进市场化改革为企业减轻负担的方针，并明确指出了指导性的目标，即平均电价降低3分。2017年政府工作报告提出要深入推进“三去一降一补”，其中降电价仍是主要内容之一。降电价主要针对工商业，而市场化改革则旨在理顺定价机制和价格结构。短期来看，工业电价下降有众多政策手段，而居民电价则难以调整，特别是自2012年阶梯电价全国推广以后，居民电价调整只是缓慢进行。中期来看，为了缓解工业电价下调带来的交叉补贴负担的增加，有可能会适度提高居民电价。长期来看，随着电力市场化改革的深入，交叉补贴需要彻底消除。

模拟结果表明，在不考虑其他政策的效果时，单纯的电价改革将会带来二氧化碳排放水平的提高，这种增加主要来自工业电力需求引致型二氧化碳排放（见表5）。如果居民电价不变，工业电价下降1%，那么相应的市均二氧化碳排在2006年会增加12.75万吨，在2014年则会增加20.10万吨。在这种情况下，单纯依靠提高居民电价将无法弥补这一排放缺口。如果居民电价与工业电价同比反向调整，那么居民电价提升产生的二氧化碳减排量不到工业电价调整产生的增排量的10%。而如果令居民电价上升至完全消除交叉补贴，产生的减排效果也仍远远不够。第三种电价改革策略的模拟结果表明，即便完全消除补贴、理顺定价结构，2014年仍然会产生14.68万吨的市均二氧化碳排放净增量。

表5 三种改革策略下的市均二氧化碳排放水平变化模拟结果

单位：万吨

年份	工业电价降1% 居民电价不变			工业电价降1% 居民电价涨1%			工业电价降1% 居民电价涨至无交叉补贴		
	增加量	减少量	净增量	增加量	减少量	净增量	增加量	减少量	净增量
2006年	12.75	—	12.75	12.75	0.87	11.88	12.75	3.66	9.09
2007年	14.15	—	14.15	14.15	0.95	13.20	14.15	4.06	10.09
2008年	15.09	—	15.09	15.09	1.00	14.09	15.09	4.33	10.76
2009年	15.19	—	15.19	15.19	1.18	14.01	15.19	4.36	10.83
2010年	17.28	—	17.28	17.28	1.27	16.02	17.28	4.96	12.32
2011年	18.53	—	18.53	18.53	1.37	17.16	18.53	5.32	13.21
2012年	19.22	—	19.22	19.22	1.54	17.68	19.22	5.52	13.70
2013年	19.81	—	19.81	19.81	1.63	18.18	19.81	5.69	14.12
2014年	20.10	—	20.10	20.10	1.67	18.92	20.10	5.91	14.68

注：增加量表示工业电力需求引致型二氧化碳排放的增加量；减少量表示居民电力需求引致型二氧化碳排放的减少量；净增量表示电价改革策略的综合效果。

值得注意的是，随着时间的推延，电价改革所产生的二氧化碳排放的净增量也会不断增加，如图 1 所示。这种变化主要受经济增长、居民收入水平等因素的影响。这也反映出电价改革的现实迫切性，电价改革进度越慢，所面临的减排压力也会越大。

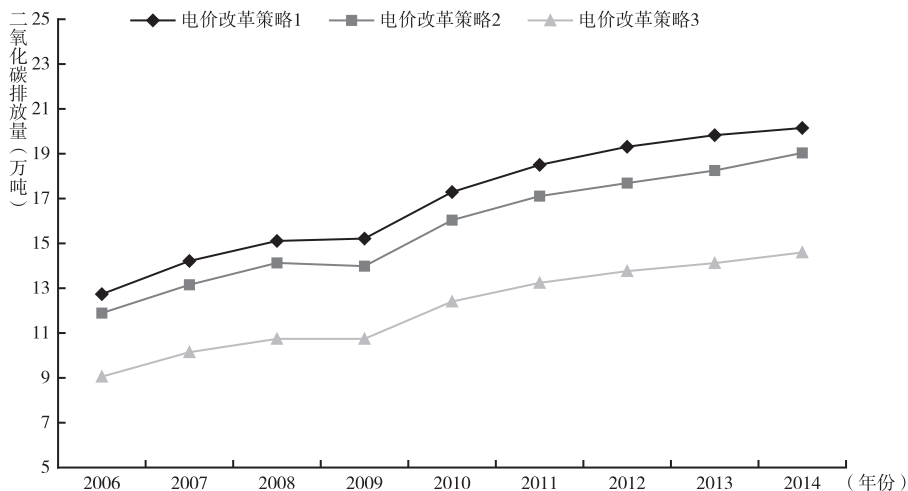


图 1 不同电价改革政策对二氧化碳排放的影响

如果要令电价改革能够保持二氧化碳排放中性，即降低工业电价带来的二氧化碳增排量等于提高居民电价带来的二氧化碳减排量，那么居民电价需要相应地提高多少呢？本文仍以工业电价下降 1% 为例，模拟了这种情形的结果（见表 6）。

表 6 碳排放中性前提下的居民电价变化模拟结果

年份	居民电价提高比重(%)
2006 年	7.1823
2007 年	6.8549
2008 年	7.2482
2009 年	5.5140
2010 年	5.7419
2011 年	5.9556
2012 年	5.4661
2013 年	5.2365
2014 年	5.1568
平均	6.0458

注：以工业电价下降 1% 为例。

表6表明,要保持碳排放中性,居民电价需要进行较大幅度的调整。从整体样本来看,工业电价下降1%,居民电价需提高约6%;从2014年的数据来看,需提高5.16%。如果工业电价下降10%,那么居民电价需要上涨一半以上才能保证电价改革不带来二氧化碳排放的净增,这显然是一项比较艰巨的任务。2012年全国推行居民用电的递增阶梯定价,但是这项政策的特点是基本电量覆盖了80%到90%的用电量,与阶梯定价的理论性质存在明显差距。实际上,电价主管部门对居民电价的调整长期以来都采取了保守策略,导致居民电价很难在短期内实现大幅度调整,这就决定了单纯依靠电价政策难以中和由其导致的二氧化碳排放净增量。综上,在不考虑其他政策工具的条件下,旨在理顺电价结构的改革客观上必然会造成二氧化碳排放控制的压力。

四、政策讨论

根据上述实证分析和政策模拟结果,可以探讨电价政策与碳排放政策的一些问题,并找出协调推进两大领域改革的权衡之策。

电力行业是二氧化碳排放的主要来源之一,电价在控制二氧化碳排放中将发挥关键性作用。由于电力的物理特性及电力行业在国民经济和生活中的基础性地位,控制电力需求引致型的二氧化碳排放,必须以还原电力商品属性、合理确定电力价格、理顺电价结构为根本前提。扭曲的电价结构无法发挥出其控制碳排放与应对气候变化的功能。

中国的电价改革目前承担着为企业减负的重担,又处于控制碳排放和应对气候变化的背景之下。实证研究表明,理顺电价结构将会带来更大的碳排放增量,这就意味着单纯依靠解决现有的电价交叉补贴问题,并不能有效应对气候变化压力。根据政策模拟结果,若不考虑碳排放成本,可行的电价调整政策将无法降低碳排放水平;而能够控制碳排放的电价改革政策又不具有可行性。这就意味着,电价改革的内容必须更为丰富,或者说,令电力价格反映碳排放成本需要成为电价改革的基本内容之一。对中国而言,电价改革不仅包括校正已有的价格扭曲,消除工商业电价对居民电价的补贴,更要让电价构成更为合理以反映应对气候变化的机会成本。认清电价改革的双重任务,对于中国明确电力体制改革和碳排放交易机制改革均具有重要意义。因此,中国的电力体制改革和碳定价制度建设必须协调推进。

在协调推进的策略上,中国需要创新思路,把引入碳成本作为理顺电价结构的必要步骤。利用电力价格改革的契机引入碳成本,很大程度上有助于电价改革的推进。中国的工商业电价虽然较高,但这是以未纳入碳成本为前提的。消除交叉补贴将降低工商业电价,而引入碳成本将提高工商业电价,最终的改革效果取决于两种价格变化的比较。也就是说,目前相对较高的工商业电价实际上为碳成本的引入预留了价格空间。这部分价格空间的用途将从交叉补贴转移到支付碳成本。对于居民电价而言,消

除交叉补贴需要提高电价，引入碳成本也需要提高电价，但从改革现实难度上讲，以消除交叉补贴的名义提高居民电价将面临较大社会阻力（冯永晟，2014），而引入碳成本则能提供合理的依据。

当然，利用消除交叉补贴的空间和契机引入碳排放成本，并不足以理顺电价结构。电价结构的理顺根本上取决于系统的电力体制改革，其中包括市场机制的构建与规制机制的改革。新一轮电力体制改革的着力点在于构建竞争性电力市场，但作者也注意到，电力体制改革试点与已经推进的碳排放权交易市场试点并未实现有效衔接。许多电力市场改革试点着力于降低工商业电价，以应对宏观经济与电力行业的下行压力，缺乏统筹电力市场建设与碳排放权交易市场建设的动力。而就碳排放权交易市场建设本身的机制探索而言，在全国统一碳排放市场建设方面也面临重重阻力，制约着合理的碳排放交易价格的形成。

尽管仍存在众多亟待解决的问题，但在全面深化改革的背景下，创新性地合力推进电力体制改革和碳排放权交易机制改革仍存在可能性和可行性。2016年，在举行杭州 G20 峰会之际，中国和美国率先批准《巴黎气候变化协定》，这标志着中国将在全球碳减排中承担更加重要的责任。尽管美国新一届政府在气候变化的态度上出现了急剧转变，但这对绿色低碳转型的影响有限，更不会动摇中国在应对气候变化方向上的态度与决心，反而使中国更有担当。

通过价格信号引导全社会的用能行为和碳排放行为，将是顺应全面深化改革的根本方向。在当前许多进行区域电力市场改革的试点中，令碳成本进入电价并传递给电力用户的机制改革也已经有一定基础。比如在京津冀、广东和重庆这些双试点地区，完全有条件将电力体制改革政策与已有碳排放权交易机制结合起来。对于有可能推进电力现货市场建设的区域，协调推进电力交易机制和碳排放交易机制的协调运行，更是改革本身所应考虑的基本内容之一。当然，作者也要注意，在当前的宏观经济和电力行业形势下，各试点地区面临较大的保增长压力，从而使决策者更倾向于采取有利于降低电价而非提高电价的政策。针对这种情况，必须要正确把握短期增长效果与长期增长机制的权衡关系。引入碳成本是电价改革的基本内容，理顺电价结构才能发挥碳定价机制的作用，并有效地引导电力资源配置，这种机制的完善恰恰能为经济增长注入长期活力。

五、结论

本文利用 2006 ~ 2014 年的市级数据，通过实证考察工业电价和居民电价对相应电力需求引致型二氧化碳排放的影响，分析了不同电价改革政策对碳排放的影响及电价改革在应对气候变化中所面临的问题，强调了协调推进电力体制改革与构建碳排放交易机制的重要性。

顺利实现二氧化碳总量控制和达峰，履行中国在《巴黎气候变化协定》中的承

诺,会受到电力价格改革的深刻影响。这也反映出,应对气候变化与支撑能源转型的体制机制改革是紧密相关的,而电价改革则是其中的重要环节。中国电价结构长期存在居民用户与工业用户之间严重的交叉补贴,导致电价信号扭曲,因此减少或消除价格补贴是电价改革的目标之一。由于工业电力需求和居民电力需求引致的二氧化碳排放对价格的敏感度不同,这就导致单纯的电价改革未必有利于二氧化碳的排放控制。本文的实证结果表明,在缺乏碳定价机制配合的条件下单纯理顺电价结构,将会带来二氧化碳净排放增加。因此,政策制定必须重视两方面的因素:一方面,电价调整决策需要考虑对二氧化碳排放的影响,理顺电价结构需要碳价政策的配合;另一方面,碳价政策的潜在效果必须以理顺的电价机制为制度前提。这本质上既反映了提升电力资源配置效率与追求低碳发展目标之间的困难权衡,也凸显了协调推进能源转型与碳排放改革之间关系的重要性。在当前形势下,电价改革客观上为在电价中引入碳成本提供了契机和空间,尽管面临困难,但这是未来改革的方向,探索协调推进电价改革与碳交易权市场建设的路径应成为未来改革工作的重点。

参考文献

- 冯永晟(2014):《非线性定价组合与电力需求——基于中国居民微观数据的实证研究》,《中国工业经济》第2期,第45~57页。
- 国家发展改革委气候司(2015):《关于推动建立全国碳排放权交易市场的基本情况和工作思路》,《中国经贸导刊》第1期,第15页。
- 侯建朝、史丹(2014):《中国电力行业碳排放变化的驱动因素研究》,《中国工业经济》第6期,第44~56页。
- 刘思东、朱帮助(2015):《考虑碳排放权交易和电价风险的发电商优化调度》,《系统工程理论与实践》第8期,第2054~2063页。
- 王常凯、谢宏佐(2015):《中国电力碳排放动态特征及影响因素研究》,《中国人口·资源与环境》第4期,第21~27页。
- 王建林(2014):《电价约束下碳排放交易对中国电力行业的影响》,《产业组织评论》第3期,第94~106页。
- 张晓龙、杜松怀等(2015):《考虑碳排放价格的电力市场均衡分析》,《智能电网》第9期,第818~822页。
- Ahamada I. and D. Kirat (2012), "Evidence of a Nonlinear Effect of the EU ETS on the Electricity-generation Sector", *CES Working Paper*, pp. 18 - 26.
- Chernyavs'ka L. and G. Francesco (2007), "Interaction of Carbon and Electricity Prices under Imperfect Competition", *IEFE Working Paper No. 2*, pp. 36 - 46.
- Christiansen A., A. Arvanitakis, K. Tangen and H. Hasselknippe (2005), "Price Determinants in the EU Emissions Trading Scheme", *Climate Policy*, 5, pp. 15 - 30.
- Convery F. and L. Redmond (2007), "Market and Price Developments in the European Union Emissions Trading Scheme", *Review of Environmental Economics and Policy*, 1, pp. 88 - 111.
- Hintermann, B. (2016), "Pass-through of CO₂ Emission Costs to Hourly Electricity Prices in

Germany”, *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4(3), pp. 857 – 891.

Kanen J. L. M. (2006), *Carbon Trading and Pricing*, London: Environmental Finance Publication, pp. 33 – 68.

O’Gorman M. and F. Jotzo (2014), “Impact of the Carbon Price on Australia’s Electricity Demand, Supply and Emissions”, *CCEP Working Paper* 1411, pp. 45 – 49.

Paul, A., B. Beasley and K. Palmer (2013), “Taxing Electricity Sector Carbon Emissions at Social Cost”, *Resources for the Future Discussion Paper* 13 – 23 – REV, <http://www.rff.org/files/sharepoint/WorkImages/Download/RFF-DP-13-23-REV.pdf>[2016-11-25].

Sijm J., K. Neuhoff and Y. Chen (2006), “CO₂ Cost Pass Through and Windfall Profits in the Power Sector”, *Climate Policy*, 6(1), pp. 49 – 72.

Electricity Pricing Reform and Carbon Dioxide Emission in China: Empirical Research and Policy Implications from the Municipal Level

ZHOU Ya-min¹, FENG Yong-sheng^{2,3}

(1. National Institute of International Strategy, Chinese Academy
of Social Science, Beijing 100007, China;

2. National Academy of Economic Strategy, Chinese Academy of Social Science, Beijing 100028, China;

3. Research Centre for Economic Policy, Chinese Academy of Social Science, Beijing 100028, China)

Abstract: The power industry is one of the major sources of carbon dioxide emissions. This paper studies the impacts of electric power price on CO₂ emission induced by electric demand. We analyze the impacts of different reform strategies of electricity price on CO₂ emission level, and emphasize the important relationship to rationalize the electric price structure and carbon emissions pricing mechanism. The industrial and residential electric power prices influence corresponding CO₂ emission in different degree, which means that the reform policy to rationalize the electric power structure will lead to an increase of the net emission of CO₂. Such result is not consistent with carbon emission control and addressing climate change. Therefore, in order to promote electric system reform, we must coordinate corresponding carbon pricing policy rightly. On the other side, the potential effects of carbon pricing policy also depend on better balance of electric power price mechanism. This paper provides theoretical and policy basis for promoting electrical power price reform and coordinating electrical power market reform with climate change policy.

Key Words: CO₂ emission; electrical power price reform; carbon pricing

责任编辑：丛晓男