

阶梯电价改革对我国居民电力消费的影响

——基于固定电表月度面板数据的研究

俞秀梅 王 敏*

摘 要 利用国家电网及南方电网所统计的 2009—2015 年 4 个省市县区层面、22 个省市省级层面的家庭月度电力消费数据以及断点回归方法,本文研究了 2012 年 7 月份的阶梯电价改革对居民用电量的影响。区县数据(省级数据)的研究结果表明,阶梯电价改革平均提升居民电价 4.4% (5.6%),并使每月户均用电量下降约 6.5 度(10 度),约占改革前一年每月户均用电量的 6.1% (7.5%)。此外,政策改革强度越强(二、三档用户覆盖率越高或平均电价上升越多),居民用电量下降得越多。

关键词 阶梯电价, 电力消费, 节能减排

DOI: 10.13821/j.cnki.ceq.2020.01.16

一、引 言

从全球范围来看,由于居民用电的电压及负荷率均低于工商业用电从而形成较高的供电成本,居民用电价格一般而言是要高于工商业用电价格的,而我国的电价情况却恰恰相反。我国的销售电价主要由各地政府制定,但长期以来,我国政府对居民生活用电实行远低于工商业用电价格水平的单一电价,导致了工商电力用户对居民电力用户的高额补贴。根据国家能源局的统计,2015 年全国一般工商业及其他用电平均销售电价为 0.83 元/千瓦时,而居民用电平均电价仅为 0.55 元/千瓦时。¹2018 年以来,为应对经济下行压力,我国政府出台各项政策努力降低工商企业用电成本。截至 2019 年 7 月,不满 1 千伏电压等级下全国一般工商业用电的平均销售电价约为 0.62 元/千瓦时。²但是由于没有进一步改革居民销售电价,工商业用电对居民用电的交叉补贴

* 俞秀梅,中南财经政法大学财政税务学院;王敏,北京大学国家发展研究院。通信作者及地址:王敏,北京大学国家发展研究院,100871;电话:(010) 62758907;E-mail:wangmin@nsd.pku.edu.cn。

¹ 数据来源: http://zfxgk.nea.gov.cn/auto92/201611/t20161101_2312.htm, 访问日期: 2019 年 12 月 1 日。

² 数据来源: <https://mp.weixin.qq.com/s/8YkWtU4rZDszUoVXI7jOYg>, 访问日期: 2019 年 12 月 1 日。

依然存在,且成为工商电价中政策性负担最重的部分,并对进一步降低工商业电价提出挑战。

经济规律表明,市场上所有的消费和生产行为都要对价格做出反应。不合理的电价交叉补贴在迫使工商电力价格定价过高的同时,也通过低价刺激居民电力的过度消费,导致稀缺的能源资源在居民消费端无法得到节约和高效使用。而过高的工商电价则直接抬高我国产业(尤其是加工制造业)的生产成本,对我国加工制造业在全球范围内的竞争力形成挑战。更为麻烦的是,实施电力价格交叉补贴的初衷是出于社会公平和保障低收入人群民生的考量,但是客观上由于收入越高群体的用电量越大从而能享受更多补贴,该政策事实上是加剧了社会不公平。根据林伯强等(2009)的估计,2007年中国对居民电力消费的交叉补贴达到了2098亿元,约占当年国民生产总值的0.84%。但是,占总人口22%的低收入群体,只享受了10.1%的补贴;而占总人口9%的高收入群体,却享受到了总补贴的18.6%。最后,交叉补贴看似补贴了居民,但是因为抬高了企业用电成本,最终会将补贴成本传导到产品端以及社会零售产品价格上。部分的居民电价补贴成本最终还是要由消费者买单。这进一步带来公平问题的挑战,因为收入越高的家庭,消费占收入比重越低。这就意味着,零售产品价格上涨,低收入家庭的负担更重。虽然我国当前居民用电量占比只有15%,但是其增长率始终高于工商业用电量。随着时间的推移,居民用电占比将不断提升,交叉补贴所带来的价格扭曲以及其所造成的效率和公平损失问题也将愈来愈严重。

事实上,我国政府已经较早地意识到上述这些问题。为逐步减少电价交叉补贴,引导居民合理、节约用电,我国自2012年7月1日起,在除新疆、西藏以及港澳台外的29个省(区、市)全面推行了阶梯电价。阶梯电价改革将居民的用电量以月度或年度为周期划分成三档,其中一档电价维持在原先的价格水平,二档和三档用电的价格在一档电价的基础上进行提价。累进的阶梯电价在提高居民电价平均水平的同时,又照顾了低收入家庭的基本用电需求,兼顾了效率与公平,与之前的单一电价相比具有诸多优势。虽然阶梯电价尚不能完全还原居民电力的商品属性并实现市场化定价的原则,但客观上还是通过提升边际消费价格,实现了我国居民电力定价机制的渐进式改革。

文献中也有不少研究表明阶梯电价机制存在一定的合理性。Sun and Lin (2013)发现居民电力的价格弹性与收入成反比,低收入群体的价格弹性更大,对价格更敏感。因此,累进的阶梯电价改革也满足拉姆齐定价(Ramsey Pricing)法则,即价格加成与需求的价格弹性成反比。这就能在保证发电企业不亏损的条件下,使社会福利最大化。Qi *et al.* (2008)也估计了居民及工商业电力消费的价格弹性,并按拉姆齐定价法计算理论价格,发现理论确定的居民电价远高于现行电价,而工商业电价低于现行电价。从这个意义上说,阶梯电价改革也降低了居民电价与工商业电价之间的价格扭曲,促进社会福

利的改善。Lin and Liu (2013) 还发现累进的阶梯电价能够降低能源效率的反弹效应, 促进节能减排。此外, 阶梯电价也能通过其他渠道促进社会公平。比如 Lin and Jiang (2012) 认为阶梯电价能增加电网公司收入, 可用于贫困地区的电网建设等。Borenstein (2012) 发现美国加州的阶梯电价政策能在一定程度上引导财富从富人到穷人的再分配。

尽管理论上阶梯电价有诸多优点, 但是电价改革触及居民的基本生活, 很可能不被公众所理解 (Wang *et al.*, 2012), 因此研究阶梯电价对居民用电需求的真实效果就更加重要。电价改革是否真的能够引导居民更合理、节约地用电? Du *et al.* (2015) 及 Sun (2015) 利用中国家庭能源消费调查的数据研究, 分别发现有 32.3% 与 40.7% 的受访家庭表示在阶梯电价改革后有采取措施来节约用电。Zhang and Lin (2018) 通过对广西 12 个城市的家庭问卷调查, 发现有 52.8% 的户表示阶梯电价改革促进自己更节约用电了。但现有文献并没有基于实际电力消费数据, 实证研究阶梯电价改革究竟对居民的用电行为产生了什么样的影响。另外, 考虑到我国在 2012 年的阶梯电价改革中所设置的一档用户覆盖率较高, 二档电价加价较低, 政策效果有限, 客观上存在进一步改革居民阶梯电价的必要性。理解和测算 2012 年改革对居民用电行为的影响, 对于未来进一步完善阶梯电价具有重要参考意义。基于独特的家庭电力消费数据, 本文尝试在弥补文献中研究空白的同时, 也为未来政策制定提供依据。

本文先使用国家电网和南方电网所统计的吉林、宁夏、天津及广西四个省市 2009—2015 年区县级层面固定电表的月度家庭电力消费数据, 研究始于 2012 年 7 月的阶梯电价改革对居民用电量的影响。在研究方法上, 本文参考了相关的限行政策与国庆期间高速公路免费政策对空气质量影响的文献 (Davis, 2008; 曹静等, 2014; Viard and Fu, 2015; Fu and Gu, 2017), 利用断点回归的方法来避免与时间趋势相关的不可观测变量所带来的内生性问题。回归结果表明, 阶梯电价改革使得每户的月均用电量下降约 6.5 度, 约占阶梯电价执行前一年每月户均用电量的 6.1%, 并且二、三档用户占比越高或者平均电价上涨得越多的地区居民用电量就下降得越快。此外, 为进一步验证回归结果的可靠性, 本文也尝试进行了安慰剂检验, 即在阶梯电价政策实施前及实施后选取虚假的政策断点进行回归分析。该检验结果表明, 虚假的政策断点并没有形成居民用电量显著下降的局面, 从而佐证了用电量的下降确实是由真实的阶梯电价改革所带来的。最后, 考虑到样本的代表性问题, 本文使用 2009—2015 年 22 个省份的 (非固定电表) 月度家庭电力消费面板数据进行相同的回归分析, 结论基本一致。

本文利用电网统计数据直接研究了阶梯电价改革对居民电力消费的影响, 具有重要的政策意义。首先, 本文的研究表明, 居民的平均用电量确实随着阶梯电价改革的实施而下降。由于阶梯电价实施后, 对一档用户维持原来的

电价水平不变,因此平均用电量下降主要由用电量较多的二、三档用户的节约用电导致。这说明累进的阶梯电价在保证居民基本用电的前提下,确实能引导居民节约用电。其次,研究发现政策强度越大的地区,居民用电量下降得越多。这说明政策强度具有调节居民用电量的潜力,可以成为政府未来进一步完善阶梯电价,引导居民合理、节约用电的有力工具。

本文余下章节的结构安排如下:第二部分介绍了我国阶梯电价改革的实施情况,第三部分对使用的数据及实证方法进行了说明,第四部分利用区县面板及省级面板数据研究了阶梯电价改革对居民用电量的影响,第五部分是结论。

二、阶梯电价改革政策

从2004年开始,我国先后在浙江、福建、四川三省试行阶梯电价。这三个省份都以月度为周期将居民的用电量划分成若干档,一档的用电价格维持原水平不变,其他档的电价依次递增,但各省在用电量的分档以及各档用电价格的提升幅度上有所差异。为进一步在全国范围内推行阶梯电价,2011年国家发改委发布了《关于居民生活用电试行阶梯电价的指导意见》(以下简称《意见》),为各地制定居民阶梯电价实施方案提供了总体框架。《意见》建议“将居民每月用电量按照满足基本用电需求、正常合理用电需求和较高生活质量用电需求划分为三档,电价实行分档递增”。其中一档原则上覆盖80%的用户,起步阶段电价维持较低水平;二档建议覆盖95%的用户,起步阶段比一档的提价标准不低于5分钱每千瓦时;三档电价在考虑电力企业的合理成本和收益后,再适当体现资源及环境成本,比二档提价0.3元每千瓦时左右。在《意见》的基础上,各省可根据自身的经济发展、资源结构以及地理位置特征等,制定符合地方实际的阶梯电价实施方案。

在《意见》的指导下,2012年7月1日起全国除新疆、西藏以及港澳台外的29个省份全面试行阶梯电价改革。各省均将用电量按月度或年度为周期划分成三档,其中一档的用电价格维持原水平不变,二档与三档的电价依次递增。各省的用电量划分标准见表1。可以看到,云南、青海、甘肃等14个省份按月为周期执行阶梯电价,其中一档与二档用电量分界线最低的是云南枯水期(仅为120千瓦时),最高的是广东的夏季(为260千瓦时);二档与三档用电量的分界线也在230—600千瓦时之间不等。宁夏、黑龙江、吉林等15个省份按年为周期执行阶梯电价,其中一档与二档用电量分界线在2040—3120千瓦时之间变动,二档与三档用电量分界线在3120—4800千瓦时之间变动。由此可见,各省的用电量档次划分标准存在显著差异,这与各地的经济发展、资源状况等是紧密相关的。

此外,阶梯电价改革还有几个值得注意的地方。首先,不少按月为周期来执行阶梯电价的省份考虑了用电供给或需求的季节性变动,其用电量划分

标准也随季节而变化。比如云南省只在枯水期执行阶梯电价，广西、海南、贵州、湖南、广东等五省的用电量划分标准均随季节而变动。其次，除云南、四川外，各省的二档电价均在一档电价的基准上提高 0.05 元/千瓦时，三档电价在一档电价的基准上提高 0.3 元/千瓦时。³最后，不少在起步阶段按月为周期执行阶梯电价的省份，随后都改成了以年为周期执行阶梯电价。比如贵州、湖北、广西、重庆分别于 2014 年 1 月、2015 年 4 月、2015 年 7 月、2016 年 1 月将执行周期由月改为年，每月的分档用电量仍维持原先水平不变。

从全国居民电力消费情况来看，2012 年阶梯电价改革后，我国居民电力消费的增速仍在快速上升。根据《中国统计年鉴》数据，2011 年全国居民电力消费为 5 620 亿千瓦时，较 2010 年增加 9.67%，其增长速度较 2010 年的 5.18% 上涨 4.49 个百分点。2012 年我国居民电力消费为 6 219 亿千瓦时，较 2011 年增加 10.66%。除了电价政策，收入和气温等其他因素的变化都会对居民电力消费产生重要影响。因此，仅从这些全国电力消费数据，我们难以直观地看出阶梯电价改革对居民电力消费的影响，并可能误以为阶梯电价改革对居民电力消费行为并没有产生任何影响。通过控制气温和湿度等气象变量、地区人均 GDP 以及每个地区随时间变化的趋势，下文的回归分析将把阶梯电价改革对居民电力消费的影响从众多因素的影响中剥离出来。

表 1 各省阶梯电价用电量划分⁴

执行周期	省份	各档用电区间（千瓦时）			
		一档	二档	三档	
按月 执行	云南（枯水期）	120 及以下	120—250	250 以上	
	青海	150 及以下	150—230	230 以上	
	甘肃	160 及以下	160—240	240 以上	
	山西、内蒙古	170 及以下	170—260	260 以上	
	湖北	180 及以下	180—400	400 以上	
	四川	180 及以下	180—280	280 以上	
	福建、重庆	200 及以下	200—400	400 以上	
	广西	非高峰月	150 及以下	150—250	250 以上
		高峰月	190 及以下	190—290	290 以上
	海南	冬季	160 及以下	160—290	290 以上
		夏季	220 及以下	220—360	360 以上

³ 云南省三档电价较首档加价 0.35 元/千瓦时，四川省二档电价较首档加价 0.1 元/千瓦时。

⁴ 该表展示了各省在 2012 年 7 月起步阶段时的阶梯电价政策，部分省份后来的政策在此基础上有所调整。

(续表)

执行周期	省份	各档用电区间(千瓦时)			
		一档	二档	三档	
按月 执行	贵州	4—11月	170及以下	170—310	310以上
		1—3月、12月	210及以下	210—380	380以上
	湖南	春秋	180及以下	180—350	350以上
		冬夏	180及以下	180—450	450以上
	广东	非夏季	200及以下	200—400	400以上
		夏季	260及以下	260—600	600以上
按年 执行	宁夏、黑龙江、吉林		2 040及以下	2 040—3 120	3 120以上
	河南		2 160及以下	2 160—3 120	3 120以上
	河北、辽宁		2 160及以下	2 160—3 360	3 360以上
	安徽、陕西、江西		2 160及以下	2 160—4 200	4 200以上
	山东		2 520及以下	2 520—4 800	4 800以上
	天津		2 640及以下	2 640—4 800	4 800以上
	浙江、江苏		2 760及以下	2 760—4 800	4 800以上
	北京		2 880及以下	2 880—4 800	4 800以上
	上海		3 120及以下	3 120—4 800	4 800以上

三、数据与实证方法

(一) 数据来源

本研究主要使用的居民电力消费数据是由国家电网和南方电网所统计的2009—2015年吉林、宁夏、天津及广西四个省市的区县级层面月度的家庭电力消费数据。为了控制家户样本变动带来的影响,在统计区县级层面加总的家庭电力消费数据时,本文只统计2009年1月1日有电表编号,且电表编号持续到2015年12月31日的用户。该做法保证了各区县在统计期间内的用户样本是固定的,从而形成固定电表的月度追踪面板数据。另外,这样的数据统计也保证了这些电表用户经历了整个样本期从而受到阶梯电价改革完整的影响,同时也避免了因为搬进新建住宅或者因房屋拆迁而注销电表的住户可能存在的电力消费习惯差异对回归结果的影响。⁵最后,考虑到有些家庭有房不住的情况,在总样本户数基础上,本文又进一步剔除了年用电量10度以下

⁵ 虽然存在由于二手房买卖或者房子出租导致使用电表的用户主体发生变化的可能,但是房屋面积是不变的,而且这些事件相对比较随机且跟电价改革无关,不会影响我们的回归结果。

和连续6个月以上无用电量的异常用户⁶。

本文使用的区县层面固定电表的月度追踪面板数据来自吉林、宁夏、天津、广西四个省市，分别来自我国东北、西北、华北及华南，在地理区域上有一定的代表性。此外，本文还用省级层面的非固定电表的面板数据进行了补充。全国除新疆、西藏以及港澳台外的29个省份都在2012年7月以后全面推行了阶梯电价改革。去除掉三个在此之前就试行了阶梯电价的试点省份，以及四个未获取到阶梯电价改革前用电量数据的省份，我们一共有22个省份的月度面板数据。各省的数据均由各自的电网统计并上报，由于涉及的省份更多，省级数据在质量控制上没有区县层面的好。在剔除异常用户时，不少省份只将异常用户的用电量在异常月份剔除，而没有将其从整个样本期间内剔除。这就导致统计期间的用户样本是变动的，而不是不变的。但是，这种因统计操作误差导致的用户变动与阶梯电价改革的实施不相关，因此该数据生成误差对回归结果影响不大。另外，省级数据的统计单位也比区县层面的大。因此，本文的回归分析主要以区县层面的固定电表数据为主，但将省级面板数据回归作为补充。

（二）描述性统计

接下来先以区县层面的数据为例来介绍数据情况，再简单地对省级面板数据进行描述性统计。区县数据分省的描述性统计见表2。其中天津、广西的数据以区县为统计单位，而吉林、宁夏以各供电分公司或客服中心为统计单位。由于供电分公司和客服中心与区县基本一致，甚至比区县划分得更细，本文均以“区县”表述。可以看到，本文样本共包括了162个区县，覆盖了1143.5万户家庭⁷。由于样本所覆盖的家庭数足够大，实证结果更能体现阶梯电价改革对全社会居民用电量的平均影响。另外，不同地区所覆盖的总用户量差异较大，因此本文的分析除特殊说明外，均以各区县的用户数进行加权。这样相当于是在家庭层面而不是区县层面进行分析，做出来的结果是对代表性家庭而言的，更有解释意义。

由于经济发展程度、气候条件等不同，不同省市之间户均用电量差异较大。比如，天津市平均每个家庭每月的用电量为139度，而宁夏只有84度。为了初步探讨阶梯电价改革的影响，我们分别计算了阶梯电价政策实施前一年，以及后一年的用电量增长率。可以看到，政策实施后，各省份用电量增长率都有所下降，并且吉林、宁夏、广西三省在5%水平上增长率有显著下降。值得注意的是，这并不能说明用电量下降就是由阶梯电价改革带来的。

⁶ 如果6个月以上无用电量，本文便认为该用户6个月以上没有居住在当地，从而根据统计局的定义被认定为非本地常住人口。

⁷ 由于有的用户在样本期间内换了电表不满足本文的筛选条件，样本内的总用户量会少于各省的实际用户量。

因为有可能随着时间的推移,用电量基数增加,从而导致增长率下降,也即并没有排除时间趋势带来的内生性问题。

表2 四省市区县固定电表面板数据情况

省份	区县数	用户量 (万)	户均用电量 (千瓦时)	政策前一年用电量 增长率(%)	政策后一年用电量 增长率(%)	T检验 P值	政策 强度I	政策 强度II
吉林	81	417.39	106.09	5.30	3.05	0.000	14.12	4.20
宁夏	26	14.50	84.01	10.41	4.50	0.003	5.80	2.96
天津	10	311.12	139.11	3.87	2.53	0.176	14.08	3.24
广西	45	400.45	87.19	15.27	5.59	0.000	9.38	5.41
四省合计	162	1 143.46	108.09	8.48	3.82	0.000	12.35	4.35

注:(1)户均用电量,用电量增长率,T检验以及政策强度均以各地区的用户数进行加权。(2)T检验的原假设为“政策前一年与政策后一年的用电量增长率相同”,备择假设为“政策前一年用电量增长率大于政策后一年用电量增长率”。(3)政策强度I是阶梯电价下二、三档用户的覆盖率,政策强度II指阶梯电价下平均电价上升的百分比。

虽然各省二档及三档电价较首档电价的加价水平基本是一样的,但档次的划分是由各省自主设定的。而即使是在同一个省,虽然电价政策相同,但不同区县由于用电量不同,居民用电的平均价格变化是有差异的。也就是说,阶梯电价改革的提价强度在区县间是有差别的。本文以两个指标来衡量政策强度,并将进一步考察政策强度对居民用电量的影响。其中“政策强度I”是指根据2012年阶梯电价改革方案,在各区县内所统计的用户中,2011年用电量进入2012年所划定的第二和第三档用户的比例。政策强度I越高表示在阶梯电价政策下一档所覆盖的用户占比越少,因此提价强度越高。“政策强度II”指各区县内所统计的用户如果在2011年采用改革后的阶梯电价,则电费比2011年实际电费增加的百分比。该变量衡量的是阶梯电价改革后居民平均电价上涨的水平。我们在构造这两个政策强度指标时,是用事后的电价政策来测算2011年没有实施阶梯电价时居民电力消费所对应的分档用户比例和价格水平,剔除了政策变化本身所带来的对居民电力消费的影响,从而外生于居民电力消费行为的变化。从表2可以看出,从二、三档用户比例来看,吉林和天津的阶梯电价政策强度最高,广西、宁夏的较低。但是从平均电价上涨的幅度来看,广西与吉林的政策强度最高。

为了剔除时间趋势,进一步考察在2012年7月前后居民的用电量是否有显著下降,我们分别对阶梯电价前后的观测都以时间的二次多项式进行拟合,结果见图1。具体来说,我们先将各区县每一期的用电量减去该区各年在相应月份用电量的平均值,来去除月份因素。然后将去除月份因素后的区县层面的用电量数据以当地的用户数为权重做加权平均,得到总样本的平均用电量。接着再对平均用电量在阶梯电价前后分别用二次多项式进行拟合。结果

发现平均用电量在2012年7月有一个明显的跳点，其拟合值发生了明显的下降。这说明阶梯电价改革很可能导致了居民用电量的下降，在引导居民合理、节约用电上确实有效果。

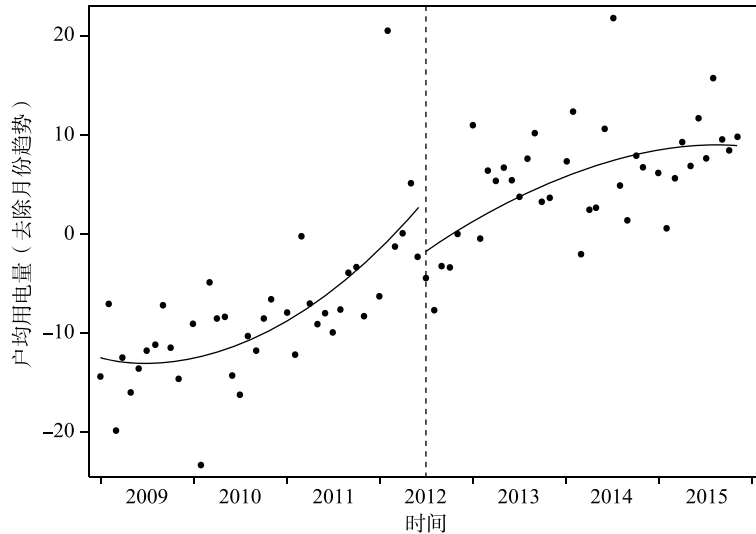


图1 区县面板数据户均用电量散点图（去除月份趋势）⁸

注：本图先将各区县的户均用电量去除月份趋势，然后通过各区县的用户数加权得到平均用电量，接着对平均用电量在阶梯电价政策实施前后都进行二次多项式拟合。图中实线为利用时间二次多项式拟合的结果，垂直虚线表示2012年7月，即推行阶梯电价的时间。

省级面板数据所包含的变量与区县数据类似，其变量描述性统计见表3。省级面板数据共涉及22个省份约1.1亿用户，其中每户的月均用电量平均值为135.22千瓦时。在阶梯电价政策实施前一年户均用电量的增长率为6.99%，实施后一年户均用电量的增长率为0.56%，阶梯电价政策实施后用电量增长率下降了6.43个百分点。⁹从政策强度I来看，平均而言，二、三档用户占比为11.27%，二、三档用户占比最低的省份其二、三档用户覆盖率只有2.44%，最高的省份高达36.56%，说明各省的政策强度有显著差异。¹⁰从政策强度II指标来看，阶梯电价政策实施后平均电价上涨了5.59%，并且各省电价上涨程度也有显著差异，这为识别政策强度对居民用电量的影响提供

⁸ 图1中个别月份的用电量看起来似乎存在异常值，这主要是由气温的年度波动引起的。比如图中2012年2月的户均用电量明显偏离周围值，这说明2012年2月份的户均用电量远高于其他年份在2月份的用电量，这与气温观测是相一致的：2012年2月份，样本内区县的平均气温为3.1摄氏度，而其他年份该月的平均气温在4.6—8.8摄氏度之间，都高于2012年2月份的气温。

⁹ 用电量增长率与前文提到的宏观数据中居民电力消费的增长率有所差异，一方面是因为这里使用的是户均用电量而不是总用电量。此外，统计口径也有所差异。本文统计的用户范围是从2009年就有电表并且电表编号持续到2015年的用户，并且只有22个省份。

¹⁰ 由于本文所统计的用户是电表编号从2009年持续到2015年的用户，且对用电量异常的观测进行了剔除，因此数据中出现的二、三档用户占比偏小或偏大的现象与《意见》建议的一档原则上覆盖80%居民并不矛盾。

了基础。

表3 省级面板数据描述性统计

变量	观测数	均值	标准差	最小值	最大值
户均用电量(千瓦时)	1 816	135.22	138.71	15.00	1 977.21
政策前一年用电量增长率(%)	22	6.99	5.62	-7.58	17.77
政策后一年用电量增长率(%)	22	0.56	7.77	-24.36	9.11
政策强度 I	21	11.27	6.81	2.44	36.56
政策强度 II	21	5.59	4.90	0.62	37.97

注：描述性统计时以各省的用户数为权重进行加权。政策前一年（或后一年）用电量增长率以及政策强度是不随省份变化的，因此观测数等于省份个数（有1个省份的数据在阶梯电价政策实施前没有对用户进行分档，从而无法根据政策实施前一年各档的用户数及用电量来计算政策强度，因此政策强度的观测数只有21个）。

（三）实证方法

为研究阶梯电价改革对居民电力消费的影响，有三种可选择的方法。第一种是单差法，即简单比较政策前后居民的用电量，但这很难剥离时间趋势的影响。第二种是倍差法，选取未实施阶梯电价的地区作为对照组。但是阶梯电价于2012年7月在除新疆、西藏以及港澳台外的省份全面推行，而新疆、西藏以及港澳台由于自身的特殊性，很难作为其他省份的对照组。第三种就是断点回归方法，即假设除阶梯电价外，其他影响用电量的因素都是连续变化的，将政策前的观测作为政策之后的对照组。断点回归方法在研究类似的政策效果时经常被使用。在本文中，样本区间是2009—2015年，样本期相对来说较短，可以认为影响用电量的其他因素没有发生突变。在样本省份中，阶梯电价政策都是于2012年7月开始推行的，相当于是一个突然改变的冲击，因此适用于断点回归。

以区县面板数据的使用为例，本文估计的回归方程如下：

$$y_{ct} = \alpha_0 + \alpha_1 I_t(\text{blocktariff}) + f_c(t) + \lambda X_{ct} + \gamma_{cm} + u_{ct}, \quad (1)$$

其中 y_{ct} 表示区县 c 在第 t 期的户均用电量。¹¹在被解释变量的选取上，阶梯电价改革既可能影响一、二、三档用户的比例，也可能影响各档用户的平均用电量。由于多数省份的阶梯电价执行周期都为年，因此各档用户比例的统计频率为年。如果选取各档用户比例作为被解释变量，就会导致数据的观测值太少，难以排除时间趋势的影响。而若分别考察各档用户户均用电量的影响，又存在每档内的用户数量是随时间变化，从而导致该变量内生于阶梯电价改革的问题。因此，本文选择各区县内全部用户的平均用电量作为被解释变量，

¹¹ t 以月份来计，也即2009年1月 $t=1$ ，接下来每推后一个月 t 增加1，比如2010年1月 $t=13$ 。

这就相当于考察了阶梯电价改革对全社会居民用电量的平均影响。 I_t (*block-tariff*) 是代表是否执行阶梯电价的哑变量, 当时间位于 2012 年 7 月及以后时, I_t (*blocktariff*) 为 1, 否则为 0。回归系数 α_1 则表示阶梯电价改革对用电量的影响, 是本文最关心的结果。

$f_c(t)$ 是区县 c 的时间多项式, 用来控制每个区县不可观测的随时间连续变化的因素。由于用电量的变化趋势往往与一个地区的经济发展水平等相关, 不同区县用电量增长很可能有不同的趋势。从表 2 也可以看到, 在阶梯电价政策实施前一年, 用电量增长率最慢的省份平均增长率只有 3.87%, 而增长最快的省份平均增长率达到了 15.27%。因此, 我们允许不同区县的用电量变化有不同的时间趋势, 也即多项式的回归系数是随区县而变化的。这样, $f_c(t)$ 在很大程度上控制了各个区县所有随时间变化的因素, 例如收入增长、电器和电力消费增长以及平均气温上升等。在多项式的选择上, 不少文献会选用高阶的多项式, 比如 Lee and Lemieux (2010) 推荐将多项式次数尝试到 N 次, 再用 AIC (Akaike information criterion) 方法选出最优的次数。Davis (2008), Auffhammer and Kellogg (2011) 与 Bento *et al.* (2014) 等均用了 7 阶以上多项式。但是 Gelman and Zelner (2015) 通过对两篇已发表文献的讨论, 发现在断点回归中使用高阶多项式有可能会对模型设定很敏感。Gelman and Imbens (2019) 提出了三条理由来说明在断点回归中使用高阶多项式并不合适。近期发表的众多利用断点回归的文献中均采用了一阶或二阶多项式的方法 (如 Dell, 2015; Deshpande, 2016; Card and Giuliano, 2016; Isen *et al.*, 2017; Dell *et al.*, 2018)。结合以上文献, 本文首先使用 1—5 次多项式进行回归, 这样可以考察使用不同阶数多项式对结果有何影响。随后, 将样本缩小到 2011—2013 年并采用目前流行的一阶或二阶多项式方法进行局部回归。

X_{it} 是控制变量。我们在回归分析中控制了区县年度人均 GDP (及其二次项) 来控制经济发展因素带来的影响。此外, 我们还控制了区县月平均气温 (及其二次项) 和月平均相对湿度 (及其二次项) 这两个对用电行为影响最大的气象变量。人均 GDP 数据来自国家统计局, 气象数据来自中国气象数据网。我们首先利用地理信息系统 (GIS) 计算出每个区县中心位置的经纬度坐标, 然后基于这些经纬度坐标寻找距离最近的气象站, 再把距离最近的气象站的数据跟区县层面的电力消费数据进行匹配。此外, 我们还控制了区县固定效应与月份固定效应的交叉项 (γ_{cm}) 来控制区县随月份变化的季节性趋势。

本文以各区县总用户数为权重, 用加权最小二乘法来估计方程 (1)。这样回归相当于是在家庭层面而不是在区县层面进行, 做出来的结果是对于代表性家庭而言的, 更有解释意义。最后, 考虑到各区县每个月度的标准误在不同年之间可能存在相关性, 回归的标准误在区县乘以月份层面进行了聚类。

与使用区县面板数据的方法类似,使用省级面板数据时以各省的总用户数为权重,用加权最小二乘法来估计以下方程:

$$y_{pt} = \beta_0 + \beta_1 I_t(\text{blocktariff}) + f_p(t) + \rho X_{pt} + \delta_{pm} + v_{pt}, \quad (2)$$

其中 y_{pt} 是省份 p 在第 t 期的户均用电量。 $I_t(\text{blocktariff})$ 为代表是否执行阶梯电价的虚拟变量。 $f_p(t)$ 是回归系数随省份变动的多项式。 X_{pt} 是包括各省年度人均 GDP (及其二次项), 月度平均气温 (及其二次项) 以及月度平均相对湿度 (及其二次项) 的控制变量。 δ_{pm} 表示省份固定效应与月份固定效应的交叉项。 v_{pt} 是回归的标准误, 在省份乘以月份层面聚类。

四、回归结果

下面我们先利用四省市区县层面固定电表追踪数据, 分别讨论阶梯电价改革以及改革的政策强度对居民用电量的影响; 再利用 22 省市省级层面居民用电量的数据, 做同样的分析和讨论。

(一) 阶梯电价改革对四省市区县居民用电量的影响

1. 基准回归

基于四省市数据以及公式 (1) 断点回归的结果见表 4。其中, 每一列所用的多项式次数依次递增。从第 (1) 列回归结果可以看出, 当不控制时间趋势时, 阶梯电价改革的回归系数在统计学意义上显著为正。这体现了居民用电量随时间上升的趋势, 是社会经济不断发展的结果。第 (2) 列加入了时间的一次多项式, 即假设用电量随时间变化的趋势是呈线性的, 此时阶梯电价的回归系数为负但在统计学意义上不显著。第 (3) 列在第 (2) 列基础上加入了时间的二次项, 此时阶梯电价的回归系数在统计学意义上显著为负。说明在控制了二次项的时间趋势之后, 居民用电量在 2012 年 7 月出现了突然下降。而在这期间, 并没有发生其他会引起用电量发生突变的事件, 因此可以认为用电量的突然下降就是由阶梯电价改革导致的。第 (4) — (6) 列依次增加了多项式的阶数, 阶梯电价改革的回归系数依然在统计学意义上显著为负, 并且阶梯电价改革效果的大小随着多项式阶数的增加而增加。

表 4 阶梯电价改革对四省市区县居民用电量的影响

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
阶梯电价	11.420*** (0.664)	-1.087 (0.741)	-2.301*** (0.806)	-3.698*** (1.155)	-5.370*** (1.287)	-7.804*** (1.481)
人均 GDP	0.478*** (0.081)	0.507*** (0.102)	-0.089 (0.169)	0.034 (0.155)	-0.135 (0.215)	-0.112 (0.221)

(续表)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
人均 GDP 平方	-0.002*** (0.000)	-0.002*** (0.000)	0.000 (0.001)	-0.000 (0.001)	0.000 (0.001)	0.000 (0.001)
平均气温	-0.757*** (0.157)	-1.088*** (0.143)	-1.012*** (0.142)	-1.050*** (0.154)	-0.987*** (0.150)	-1.088*** (0.152)
平均气温平方	0.037*** (0.006)	0.022*** (0.006)	0.019*** (0.006)	0.019*** (0.006)	0.018*** (0.006)	0.017*** (0.005)
平均相对湿度	-0.841*** (0.223)	0.020 (0.206)	-0.011 (0.204)	-0.138 (0.207)	-0.337 (0.210)	-0.251 (0.208)
平均相对湿度平方	0.008*** (0.002)	-0.000 (0.001)	-0.000 (0.001)	0.001 (0.001)	0.002 (0.001)	0.001 (0.001)
多项式阶次	0	1	2	3	4	5
观测数	12 528	12 528	12 528	12 528	12 528	12 528
R 方	0.226	0.416	0.436	0.448	0.457	0.474

注：回归所用样本区间为 2009—2015 年。所有列都包括区县固定效应×月份固定效应以及常数项，并利用各区县的用户数进行加权回归。括号中为在区县×月份层面聚类的标准误。*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ 。

接下来简单地看控制变量的回归结果。可以看到随着多项式阶数的增加，人均 GDP 和平均相对湿度的回归系数在统计学意义上变得不显著。直觉上，居民的用电量应该随着人均 GDP 的增加而增加。但由于人均 GDP 是年度数据且随时间平滑增长，因此一旦回归方程控制高阶项时间趋势项后，人均 GDP 对用电量的影响基本被多项式所拟合的时间趋势所吸收，而变得不再显著。而无论多项式的阶数大小，平均气温及其平方项的回归系数都在统计学意义上显著。这说明气温是影响居民用电量的一个重要因素。表 4 的回归结果表明，居民会在低温或高温天气增加用电量。以加入二阶时间多项式的回归为例，当气温在 26.6℃ 附近时，居民的用电量最低。当气温高于 26.6℃ 时，居民的用电量会随着气温的升高而升高。当气温低于 26.6℃ 时，居民的用电量会随着气温的升高而下降。这与常识以及文献研究都是一致的，即在低温或高温情况下，居民会增加能源消耗来适应极端气温 (Deschênes and Greenstone, 2011; Barreca, 2012; Yu *et al.*, 2019)。

总结来说，从表 4 的回归中可以看出，当使用二阶以上的时间多项式时，阶梯电价改革对居民用电量的影响都显著为负，但是效果的大小与多项式的阶数选择有关。而使用线性的时间趋势时，阶梯电价政策的效果不显著，这有可能是我们的样本期较长，线性函数并不能完全刻画时间趋势所导致。为了避免多项式阶次选择带来的结果不确定性问题，本文接下来选用更短的时

间窗口,并用线性时间趋势(或二阶多项式)来进行回归。具体的,我们将样本缩小到2011—2013年三年的样本,包含了阶梯电价实施前及实施后各一年半的样本。这样的时间窗口选取有以下几个考量。首先,由于回归中控制了区县乘以月份的固定效应,三年是能够识别出阶梯电价效果的最短样本长度,若只用两年的样本则由于完全共线性问题无法识别出阶梯电价改革的效果。其次,用三年的样本进行回归也允许我们在阶梯电价改革前及改革后分别再选三年的样本,人为假设断点来进行安慰剂检验。此外,从数据来看,有的省份由于营销系统变更,早期观测存在缺失的情况。而在2011—2013年间,数据基本没有缺失,因此数据质量更好。在多项式阶数选择上,我们用最新文献常采用的一阶多项式或二阶多项式方法,发现二者的回归结果差异非常小。因此本文仅报告一阶多项式的回归结果,相当于采用了局部线性回归方法来进行研究,这也是文献中经常使用的(Card and Guiliano, 2016; Deshpande, 2016; Dell *et al.*, 2018)。

表5的第(1)列将时间窗口缩小为2011—2013年,采用局部线性回归法来检验用电量在2012年7月是否仍然有显著下降。从表5第(1)列的结果来看,阶梯电价改革对居民用电量的效果仍然在统计学意义上显著为负。具体来说,阶梯电价改革导致每个家庭的月均用电量下降约6.5千瓦时¹²。考虑到阶梯电价政策实施前一年,每个家庭的月均用电量为106千瓦时,阶梯电价政策的实施约使居民用电量下降了6.1%。

表5 阶梯电价改革对四省市区县居民用电量的影响:局部线性回归

	2011—2013年	2009—2011年	2013—2015年
	(1)	(2)	(3)
阶梯电价	-6.454*** (1.346)		
2010年7月及以后		1.077 (0.965)	
2014年7月及以后			0.071 (1.687)
人均GDP	-0.204 (0.498)	2.464*** (0.681)	-0.037 (0.332)

¹² 若将线性时间趋势换成时间的二次多项式,回归结果几乎无变化;第(1)列阶梯电价的回归系数变为-6.4,且依然在1%的水平上显著;第(2)列与第(3)列的安慰剂检验中,假想的政策改革时点用电量的变动均不显著。此外,后文所有采用局部线性回归方法的地方,若将线性时间趋势换成时间的二次多项式均对结果基本无影响,因此本文只报告线性回归结果。若需要二次多项式的回归结果,可向作者索取。

(续表)

	2011—2013 年	2009—2011 年	2013—2015 年
	(1)	(2)	(3)
人均 GDP 平方	-0.002 (0.002)	-0.028*** (0.007)	0.000 (0.001)
平均气温	-1.197*** (0.208)	-0.061 (0.123)	-0.897*** (0.225)
平均气温平方	0.059*** (0.010)	-0.002 (0.004)	0.035*** (0.011)
平均相对湿度	-0.830** (0.325)	0.664** (0.332)	0.154 (0.286)
平均相对湿度平方	0.006** (0.002)	-0.006** (0.002)	-0.001 (0.002)
观测数	5 811	4 777	5 812
R 方	0.330	0.290	0.168

注：所有列都包括 1 阶时间多项式、区县固定效应×月份固定效应以及常数项，并利用各区县的用户数进行加权回归。括号中为在区县×月份层面聚类的标准误。*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ 。

为了检验 2012 年 7 月用电量的突然下降是否是由阶梯电价改革造成的，以及有没有可能是其他因素导致了用电量的下降，本文分别检验在阶梯电价前后是否也有类似的断点。假如在其他时间也有用电量变化的断点，则有可能是其他因素或者模型设定有误从而导致了用电量下降，也就意味着我们的回归分析无法证明 2012 年 7 月用电量的下降是由阶梯电价改革引起的。表 5 中的第 (2) 和第 (3) 列是分别采用不同假想（而非真实）的政策改革时点进行回归分析的安慰剂检验结果。阶梯电价改革的真实时点是 2012 年 7 月，我们选择其他年份的 7 月作为虚假的改革时点。第 (2) 列利用阶梯电价前 2009—2011 年三年的样本，检验在 2010 年 7 月用电量是否有断点；第 (3) 列利用阶梯电价后 2013—2015 年三年的样本，检验 2014 年 7 月是否存在断点。选择 2009—2011 年和 2013—2015 年是为了让这两个样本期都避开阶梯电价改革的真实时间点，从而可以避免真实改革时点处在样本期内干扰安慰剂检验的结果。回归结果表明，如果阶梯电价改革发生在本文选取的这两个虚假的时间点，居民用电量的变化不显著。这进一步从侧面验证了 2012 年 7 月用电量的下降是由阶梯电价改革所导致的。

2. 稳健性检验

除了多项式阶次的选择外，回归模型的其他设定也可能会影响到回归结果。表 6 是以表 5 中第 (1) 列为基准回归进行的稳健性检验。在基准回归

中,允许不同区县的居民用电量有不同的时间趋势,也有文献对不同地区使用相同的时间趋势(如曹静等,2014;Fu and Gu,2017)。表6的第(1)列使各区县的时间趋势相同,得到的回归结果与基准回归非常接近。阶梯电价改革的回归系数无论是大小还是显著性上基本都没发生变化。

表6第(2)列回归方程与基准回归相同,但估计时采用了简单最小二乘法,而没有用各区县的总用户数进行加权。可以看到,阶梯电价改革的影响仍然在统计学意义上显著为负,但其绝对值有所下降。加权回归时阶梯电价的效果比简单回归的要大,说明用户数越多的地区受阶梯电价改革的影响越大。这有可能是由于用户数多的地区社会与经济发展水平更高,因此初始的户均用电量越多,在累进的阶梯电价下这些地区平均电价上涨得更多,从而受阶梯电价改革的影响也更大。因为本文想考察的是阶梯电价改革对每户居民用电量的影响,因此前文加权回归的结果更为合理。

表6第(3)列在基准回归的基础上对户均用电量取了对数。结果表明,实施阶梯电价改革后,家庭的月均用电量显著下降,并且平均而言下降了4.8%。这与基准回归计算出来的百分比变动在数值上也较为相近,进一步说明了基准回归的可靠性。

由于在阶梯电价政策下,属于不同档次的用电量的价格上涨是不一样的。在区县样本的四个省市中,一档用电量维持原来单一电价时的水平不变,二档用电量较一档加价0.05元/千瓦时,三档用电量较一档加价0.3元/千瓦时。因此实施阶梯电价后,很可能三档用户的用电量下降得更快。在第(4) — (6)列中,以各档用户的月均用电量作为被解释变量进行回归,发现阶梯电价改革后一、二、三档用户的月均用电量分别下降了2.9度、16.0度和45.6度。阶梯电价改革前一年,各档用户的月均用电量分别约为84度、194度和383度,因此阶梯电价导致各档用户用电量下降的百分比分别为3.4%、8.2%和11.9%。无论从绝对值还是变动百分比上,都是三档用户的用电量下降得更快。值得注意的是,在划分用户的分档时,是以用户在某个统计周期内的用电量来划分的,这就导致同一个用户在不同的时期可能会属于不同的档次,致使各档次所包含的用户是随时间而变化的。比如随着经济的发展,居民用电量上升,有些原本属于一档的用户可能因为用电量增加被划分到二档。或者阶梯电价改革后,有的原本用电量达到二档的用户,通过更节约的用电将用电量下降到一档。这些都会导致回归结果可能存在偏误,同时也能解释为什么在一档电价维持原水平不变情况下,一档用户的用电量却显著下降了。这也是本文在基准回归中使用所有用户的平均用电量,而不是各档次用户的平均用电量来作为被解释变量的原因。因此,表6中第(4) — (6)列的结果仅供参考。

表 6 阶梯电价改革对四省市区县居民用电量的影响：局部线性回归稳健性检验

	相同时间趋势	OLS	用电量取 log	各档用户户均用电量		
				一档	二档	三档
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
阶梯电价	-6.413*** (1.329)	-4.358*** (0.776)	-0.048*** (0.009)	-2.870*** (1.057)	-15.951*** (2.601)	-45.598*** (8.958)
人均 GDP	-0.612*** (0.216)	0.440 (0.322)	0.001 (0.003)	-0.033 (0.314)	-0.190 (0.912)	1.336 (3.778)
人均 GDP 平方	0.001 (0.001)	-0.004** (0.002)	-0.000 (0.000)	-0.000 (0.001)	-0.000 (0.005)	-0.005 (0.012)
平均气温	-1.174*** (0.202)	-1.154*** (0.171)	-0.010*** (0.002)	-0.708*** (0.191)	-1.601*** (0.308)	-1.562** (0.788)
平均气温平方	0.058*** (0.010)	0.042*** (0.005)	0.000*** (0.000)	0.038*** (0.008)	0.075*** (0.017)	0.149*** (0.049)
平均相对湿度	-0.438 (0.316)	-0.000 (0.250)	-0.006** (0.002)	-0.089 (0.282)	-0.704 (0.706)	-4.269** (2.012)
平均相对湿度平方	0.003 (0.002)	-0.001 (0.002)	0.000** (0.000)	0.000 (0.002)	0.005 (0.005)	0.034** (0.015)
观测数	5 811	5 811	5 811	5 811	5 811	5 810
R 方	0.259	0.236	0.422	0.235	0.108	0.125

注：回归所用样本区间为 2011—2013 年。所有列都包括 1 阶时间多项式、区县固定效应×月份固定效应以及常数项，除第 (2) 列外都用各区县的用户数进行加权回归。括号中为在区县×月份层面聚类的标准误。*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$ 。

(二) 阶梯电价改革强度对四省市区县居民用电量的影响

虽然各省二档及三档电价较首档电价的加价幅度是一样的，但每个省用电量的档次划分不同，且原始电价也不一样。此外，同一省的不同区县由于原始用电量不同，在阶梯电价下，平均电价的提升程度也不同。因此，阶梯电价改革对于不同区县而言存在不同的强度。如前文第三部分所述，本文构造了“政策强度 I”（衡量二、三档用户的比例）及“政策强度 II”（衡量阶梯电价改革所导致的平均电价上涨幅度）两个指标来衡量阶梯电价政策的强度，并通过下述回归来考察政策强度越强是否会导致居民用电量下降得越快：

$$y_{ct} = \theta_0 + \theta_1 I_t(\text{blocktariff}) \times \text{policyintensity}_c + f_c(t) + \pi X_{ct} + \varphi_{cm} + \tau_{ct}. \quad (3)$$

式 (3) 在式 (1) 的基础上加入了阶梯电价改革哑变量与政策强度

(policy intensity) 的交叉项。这就相当于认为, 阶梯电价改革前的政策强度为 0, 阶梯电价改革后政策强度为正值。回归系数 θ_1 也就是改革强度对居民用电量的影响。回归结果见表 7, 表 7 第 (1) — (6) 列所使用的多项式阶数依次递增, A 部分表示用政策强度 I 回归的结果, B 部分表示用政策强度 II 回归的结果。可以看到, 使用两个政策强度指标的回归结果非常相近。当使用的多项式阶数高于一阶时, 阶梯电价与政策强度交叉项的回归结果均在统计学意义上显著为负, 说明政策强度越强, 居民用电量下降得越快。

表 7 阶梯电价改革强度对四省市区县居民用电量的影响

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
A. 政策强度 I						
阶梯电价×政策强度 I	0.380*** (0.060)	-0.086 (0.059)	-0.158** (0.061)	-0.266*** (0.094)	-0.361*** (0.101)	-0.562*** (0.119)
多项式阶次	0	1	2	3	4	5
观测数	12 528	12 528	12 528	12 528	12 528	12 528
R 方	0.154	0.416	0.436	0.448	0.457	0.474
B. 政策强度 II						
阶梯电价×政策强度 II	2.124*** (0.135)	-0.323** (0.132)	-0.597*** (0.143)	-0.803*** (0.200)	-1.064*** (0.224)	-1.430*** (0.257)
多项式阶次	0	1	2	3	4	5
观测数	12 528	12 528	12 528	12 528	12 528	12 528
R 方	0.208	0.416	0.437	0.448	0.457	0.472

注: 回归所用样本区间为 2009—2015 年。所有列都包括人均 GDP、平均气温、平均相对湿度等控制变量和它们的平方项, 区县固定效应×月份固定效应以及常数项, 并利用各区县的用户数进行加权回归。括号中为在区县×月份层面聚类的标准误。*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$ 。

首先, 看政策强度 I 的回归结果。当多项式的次数为 0 时, 也即不控制时间趋势时, 阶梯电价改革与政策强度 I 的交叉项回归系数为正。这表明若不控制时间趋势, 阶梯电价改革后平均用电量上升了, 体现了居民用电量随时间上涨的规律。但一旦加入时间的多项式后, 交叉项的回归系数为负, 并且当多项式的次数大于或等于 2 阶时, 回归系数在统计学意义上显著。这表明在阶梯电价政策下, 二、三档的覆盖比例越高, 则居民用电量下降得越快。这与直觉是相符合的: 二、三档的用户比例越高, 受累进的阶梯电价影响的居民就越多, 因此平均用电量下降得越快。政策强度 II 的回归结果也非常类似, 并且当多项式的阶数大于或等于 1 阶时, 交叉项的回归系数都在统计学意义上显著为负。以加入 2 阶多项式的回归结果为例, 结果表明当平均电价每增加 1 个百分点时, 居民用电量下降约 0.6 度, 相当于居民用电量下降了

约 0.57%。需要注意的是，我们并不能由此得出中国居民电力消费的价格弹性等于 0.57 的结论。因为这里的电价上涨并不是单一费率下价格的直接上升导致的，而是根据阶梯电价政策计算出来的平均电费的增加。

为了避免多项式阶次选择带来的结果不确定性问题，我们同样选用较短的时间窗口进行局部线性回归，并且选取不同的时间窗口来进行安慰剂检验。回归结果见表 8。表 8 的第 (1) — (3) 列使用的改革强度指标为政策强度 I，第 (4) — (6) 列使用的改革强度指标为政策强度 II。第 (1) 列与第 (4) 列用 2011—2013 年的样本进行回归，发现交叉项都在统计学意义上显著为负，说明政策强度越大，居民用电量下降得越快。第 (1) 列的结果表明二、三档用户比例每增加 1 个百分点，家庭的月均用电量下降 0.472 度。由于在阶梯电价政策下，二、三档用户占比平均为 12.35%。因此，阶梯电价改革约使家庭的月均用电量下降 5.8 度。从第 (4) 列的结果来看，平均电价每增长 1 个百分点，家庭的月均用电量下降 1.244 度。由于在阶梯电价政策下，平均电价约增加 4.35%，因此阶梯电价改革约使每户的月均用电量下降 5.4 度。这样计算出来的阶梯电价改革对居民用电量影响的大小与表 5 中直接利用断点回归所得到的 6.5 度结果非常接近。

表 8 阶梯电价改革强度对四省市区县居民用电量的影响：局部线性回归

	2011—2013	2009—2011	2013—2015	2011—2013	2009—2011	2013—2015
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
阶梯电价 ×政策强度	-0.472*** (0.110)			-1.244*** (0.245)		
2010 年 7 月及以后 ×政策强度		0.066 (0.077)			0.132 (0.180)	
2014 年 7 月及以后 ×政策强度			0.012 (0.146)			0.009 (0.291)
观测数	5 811	4 777	5 812	5 811	4 777	5 812
R 方	0.331	0.289	0.168	0.327	0.289	0.168

注：所有列都包括 1 阶时间多项式，人均 GDP、平均气温、平均相对湿度等控制变量和它们的平方项，区县固定效应×月份固定效应以及常数项，并利用各区县的用户数进行加权回归。括号中为在区县×月份层面聚类的标准误。*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ 。

表 8 第 (2) 列与第 (5) 列都使用阶梯电价改革前 2009—2011 年三年的样本，解释变量为 2010 年 7 月及以后的哑变量与政策强度的交叉项。这相当

于人为地在2010年7月制造一个虚假的政策冲击,并假设在2010年7月之前政策强度为0,而在2010年7月之后政策强度为正值,以此来检验是否在2010年7月也存在居民用电量下降的效果。如果回归结果表明在人为制造的虚假政策冲击下,交叉项的系数也显著为负,说明模型的识别存在问题,前文估计的用电量下降并不一定就是由阶梯电价改革所导致的。第(2)与第(5)列交叉项的回归系数都为正,且在统计学意义上都不显著,这恰恰从侧面印证了2012年7月用电量的下降确实是由真实的阶梯电价改革导致的。类似的,第(3)列与第(6)列使用阶梯电价改革实施后2013—2015年三年的样本,检验在2014年7月是否有断点。回归结果同样表明在2014年7月用电量没有断点。

(三) 阶梯电价改革对22个省居民用电量的影响

本文使用的区县面板数据以区县为统计单位,由于涉及的省份少、质量控制较好,数据准确性较高,在回归中又能通过区县与月份的固定效应来较好控制不随地区变化的因素。但由于省份少,该回归结果在样本代表性上有一定的局限性。因此,本文还用22个在2012年7月才开始实施阶梯电价改革且同时在阶梯电价改革前后都有用电量数据的省市进行稳健性检验。应该说,该22个省市样本具有很好的全国代表性。

表9是利用2009—2015年省级面板数据的回归结果,其中第(1)—(6)列所使用的多项式次数依次增加。A部分是基本的断点回归,考察每户的月均用电量在2012年7月是否存在显著下降。第(1)列没有控制时间趋势,可以看到在实施阶梯电价改革后,居民的用电量发生了显著下降。平均每户的月均用电量下降了4.9度。第(2)列加入了线性的时间趋势,阶梯电价改革的回归系数仍然在统计学意义上显著为负且绝对值变大。这说明控制了时间趋势之后,用电量下降的效果更明显了。第(4)—(6)列的结果也表明,不管加入的多项式次数为多少,阶梯电价改革的回归系数均在统计学意义上始终显著为负,但回归系数的大小会随着多项式次数的大小而略有变化。

表9B和C部分均考察了不同阶梯电价改革强度对用电量的影响。主要解释变量为阶梯电价改革哑变量与政策强度的交叉项。其中,B部分和C部分分别使用政策强度I指标和政策强度II指标。表中结果表明,当加入代表时间趋势的多项式后,各列回归结果中交叉项的回归系数均在统计学意义上显著为负。这说明阶梯电价下二、三档用户比例越高,或者阶梯电价改革下平均电价上涨得越多,居民用电量下降得越多。

表 9 阶梯电价改革对 22 个省居民用电量的影响

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
A. 基本断点回归						
阶梯电价	-4.858**	-5.226***	-5.985***	-5.667**	-5.925**	-7.388***
	(1.931)	(1.657)	(1.581)	(2.356)	(2.288)	(2.644)
多项式阶次	0	1	2	3	4	5
观测数	1 816	1 816	1 816	1 816	1 816	1 816
R 方	0.231	0.502	0.558	0.591	0.601	0.623
B. 政策强度 I						
阶梯电价×政策强度 I	-0.697	-0.606**	-0.689***	-0.680**	-0.709**	-0.764***
	(0.434)	(0.232)	(0.241)	(0.256)	(0.270)	(0.259)
多项式阶次	0	1	2	3	4	5
观测数	1 732	1 732	1 732	1 732	1 732	1 732
R 方	0.271	0.551	0.607	0.639	0.650	0.669
C. 政策强度 II						
阶梯电价×政策强度 II	-0.853	-1.151**	-1.301***	-1.319***	-1.351***	-1.397***
	(0.782)	(0.410)	(0.398)	(0.370)	(0.374)	(0.346)
多项式阶次	0	1	2	3	4	5
观测数	1 732	1 732	1 732	1 732	1 732	1 732
R 方	0.259	0.553	0.608	0.640	0.651	0.669

注：回归所用样本区间为 2009—2015 年，被解释变量为各省份每月户均用电量。所有列都包括各省年度人均 GDP、月平均气温、月平均相对湿度等控制变量和它们的平方项，省份固定效应×月份固定效应以及常数项，并利用各省的用户数进行加权回归。括号中为在省份×月份层面聚类标准误。*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ 。

对省级面板数据同样也可以采用较小的时间窗口来进行局部线性回归，结果见表 10。其中，第（1）列所使用的样本区间为 2011—2013 年，各包含阶梯电价政策实施前的一年半及政策实施后的一年半时间。第（2）列使用阶梯电价政策实施前 2009—2011 年三年的样本，第（3）列使用阶梯电价政策实施后 2013—2015 年三年的样本。各列除了基本的控制变量外，还加入了线性的时间趋势。

A 部分为基本断点回归。可以看到居民的每户月均用电量在阶梯电价政策实施后发生了显著下降，平均下降约 10.4 度，高于利用区县面板数据得到的 6.5 度。通过省级面板数据可计算出，在阶梯电价改革前一年，平均每户月均用电量为 139 度。这就相当于阶梯电价改革使居民用电量下降了 7.5%，与利用区县面板数据得到的结果 6.1% 较为相近。第（2）列及第（3）列分别

利用阶梯电价改革前后的样本进行安慰剂检验。该回归结果表明,居民的用电量在2010年7月以及2014年7月均没有断点。这说明模型的设定较为可靠,侧面验证了2012年7月居民用电量的断点确实是由阶梯电价改革导致的。

表10 阶梯电价改革对22个省居民用电量的影响:局部线性回归

	2011—2013年	2009—2011年	2013—2015年
	(1)	(2)	(3)
A. 基本断点回归			
阶梯电价	-10.368*** (2.998)		
2010年7月及以后		2.355 (1.799)	
2014年7月及以后			-3.363 (2.397)
观测数	792	760	792
R方	0.395	0.614	0.290
B. 政策强度 I			
阶梯电价×政策强度 I	-0.944*** (0.242)		
2010年7月及以后×政策强度 I		0.113 (0.108)	
2014年7月及以后×政策强度 I			-0.169 (0.155)
观测数	756	724	756
R方	0.427	0.721	0.305
C. 政策强度 II			
阶梯电价×政策强度 II	-1.740*** (0.470)		
2010年7月及以后×政策强度 II		0.241 (0.206)	
2014年7月及以后×政策强度 II			-0.296 (0.284)
观测数	756	724	756
R方	0.431	0.722	0.305

注:被解释变量为各省份每月户均用电量。所有列都包括1阶的时间多项式,各省年度人均GDP、月平均气温、月平均相对湿度等控制变量和它们的平方项,省份固定效应×月份固定效应以及常数项,并利用各省的用户数进行加权回归。括号中为在省份×月份层面聚类的标准误。*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$ 。

B部分以二、三档用户比例为强度指标考察了阶梯电价改革强度对居民

用电量下降的影响。第(1)列的回归结果表明二、三档比例每增加1个百分点,居民每户月均用电量下降0.944度。由于省级面板数据中,各省的二、三档比例平均为11.27%,因此相当于阶梯电价改革平均使居民每户月均用电量下降约10.64度,与A部分基本断点回归得到的结果非常接近。第(2)及第(3)列的回归表明政策强度I的结果也通过了安慰剂检验。

C部分以平均电价上涨百分比为强度指标考察了阶梯电价政策强度对居民用电量的影响。第(1)列回归结果表明平均电价每上升1个百分点,居民每户月均用电量约下降1.740度。省级面板数据中电价上升的平均值为5.59%,因此相当于阶梯电价平均使居民每户月均用电量下降9.73度。第(2)列及第(3)列分别在2010年7月以及2014年7月设断点进行了安慰剂检验,回归结果表明居民用电量在这两个时间没有断点。

总体而言,当用省级面板数据进行回归时,无论是用2009—2015年的样本并依次增加多项式的阶数,还是利用2011—2013年的样本进行局部线性回归,均发现阶梯电价改革使居民用电量在统计学意义上显著下降,并且政策强度越强,居民用电量下降得越多。当在2010年7月以及2014年7月设断点进行安慰剂检验时,也都发现居民用电量在这两个节点没有断点,侧面证明了居民用电量在2012年7月的下降是由阶梯电价政策带来的。因此省级面板数据得到的结果与用区县面板数据得到的基本结论是一致的,但是在阶梯电价政策的效果大小上略有差异,这有可能是不同省份阶梯电价政策强度不同以及各省社会经济发展水平不同所带来的。

五、结 论

本文利用国家电网与南方电网统计的各区县居民的用电量数据,以及断点回归方法,考察了阶梯电价改革对居民电力消费的影响,并以22个省的面板数据进行了补充。主要有以下两点发现。首先,阶梯电价改革导致居民用电量在统计学意义上显著下降,区县面板数据的回归表明阶梯电价改革使居民每户月均用电量下降6.5度,约为阶梯电价政策实施前一年居民每户月均用电量的6.1%。根据2015年1%全国人口变动抽样调查的结果(抽样比为1.55%),所抽样本中全国共有635.59万家庭户,可估算全国约有4.1亿家庭户。按阶梯电价政策使每户月均用电量下降6.5度计算,则全国居民一年用电量下降319.8亿千瓦时,占2015年居民生活消费用电(7565亿千瓦时)的4.23%。因此,阶梯电价改革对居民用电量下降的影响较为显著,确实能够实现引导居民合理、节约用电的初衷。其次,阶梯电价政策下,政策强度越强(二、三档用户比例越高或平均电价上升得越多),居民用电量就下降得越快,因此政策强度可以作为调节居民用电量的有力手段,这为未来阶梯电价政策的进一步完善提供了参考。

不过由于没有考虑到电价上涨情况下,居民可能会减小用电量而使用其他替代性能源,本文的结果有可能会高估阶梯电价改革对节能减排的影响。为了更全面考察阶梯电价改革对节能减排的影响,可将阶梯电价改革对其他能源使用量的影响作为未来进一步的研究方向。

参考文献

- [1] Auffhammer, M., and R. Kellogg, "Clearing the Air? The Effects of Gasoline Content Regulation on Air Quality", *American Economic Review*, 2011, 101 (6), 2687-2722.
- [2] Barreca, A. I., "Climate Change, Humidity, and Mortality in the United States", *Journal of Environmental Economics and Management*, 2012, 63 (1), 19-34.
- [3] Bento, A., D. Kaffine, K. Roth, and M. Zaragoza-Watkins, "The Effects of Regulation in the Presence of Multiple Unpriced Externalities: Evidence from the Transportation Sector", *American Economic Journal: Economic Policy*, 2014, 6 (3), 1-29.
- [4] Borenstein, S., "The Redistributive Impact of Nonlinear Electricity Pricing", *American Economic Journal: Economic Policy*, 2012, 4 (3), 56-90.
- [5] Card, D., and L. Giuliano, "Can Tracking Raise the Test Scores of High-Ability Minority Students?", *American Economic Review*, 2016, 106 (10), 2783-2816.
- [6] 曹静, 王鑫, 钟笑寒, "限制政策是否改善了北京市的空气质量", 《经济学》(季刊), 2014年第13卷第3期, 第1091—1126页。
- [7] Davis, L. W., "The Effect of Driving Restrictions on Air Quality in Mexico City", *Journal of Political Economy*, 2008, 116 (1), 38-81.
- [8] Dell, M., "Trafficking Networks and the Mexican Drug War", *American Economic Review*, 2015, 105 (6), 1738-79.
- [9] Dell, M., N. Lane, and P. Querubin, "The Historical State, Local Collective Action, and Economic Development in Vietnam", *Econometrica*, 2018, 86 (6), 2083-2121.
- [10] Deschênes, O., and M. Greenstone, "Climate Change, Mortality, and Adaptation: Evidence from Annual Fluctuations in Weather in the US", *American Economic Journal: Applied Economics*, 2011, 3 (4), 152-185.
- [11] Deshpande, M., "Does Welfare Inhibit Success? The Long-Term Effects of Removing Low-Income Youth from the Disability Rolls", *American Economic Review*, 2016, 106 (11), 3300-3330.
- [12] Du, G., W. Lin, C. Sun, and D. Zhang, "Residential Electricity Consumption after the Reform of Tiered Pricing for Household Electricity in China", *Applied Energy*, 2015, 157, 276-283.
- [13] Fu, S., and Y. Gu, "Highway Toll and Air Pollution: Evidence from Chinese Cities", *Journal of Environmental Economics and Management*, 2017, 83, 32-49.
- [14] Gelman, A., and G. Imbens, "Why High-Order Polynomials Should Not Be Used in Regression Discontinuity Designs", *Journal of Business & Economic Statistics*, 2019, 37 (3), 447-456.
- [15] Gelman, A., and A. Zelizer, "Evidence on the Deleterious Impact of Sustained Use of Polynomial Regression on Causal Inference", *Research & Politics*, 2015, 2 (1), 2053168015569830.
- [16] Isen, A., M. Rossin-Slater, and W. R. Walker, "Every Breath You Take Every Dollar You Make: The Long-Term Consequences of the Clean Air Act of 1970", *Journal of Political Economy*, 2017, 125 (3), 848-902.

- [17] Lee, D. S., and T. Lemieux, “Regression Discontinuity Designs in Economics”, *Journal of Economic Literature*, 2010, 48 (2), 281-355.
- [18] Lin, B., and Z. Jiang, “Designation and Influence of Household Increasing Block Electricity Tariffs in China”, *Energy Policy*, 2012, 42, 164-173.
- [19] Lin, B., and X. Liu, “Electricity Tariff Reform and Rebound Effect of Residential Electricity Consumption in China”, *Energy*, 2013, 59, 240-247.
- [20] 林伯强, 蒋竺均, 林静, “有目标的电价补贴有助于能源公平和效率”, 《金融研究》, 2009 年第 11 期, 第 1—18 页。
- [21] Qi, F., L. Zhang, B. Wei, and G. Que, “An Application of Ramsey Pricing in Solving the Cross-Subsidies in Chinese Electricity Tariffs”, In 2008 Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (pp. 442-447), IEEE, 2008.
- [22] Sun, C., “An Empirical Case Study about the Reform of Tiered Pricing for Household Electricity in China”, *Applied Energy*, 2015, 160, 383-389.
- [23] Sun, C., and B. Lin, “Reforming Residential Electricity Tariff in China: Block Tariffs Pricing Approach”, *Energy Policy*, 2013, 60, 741-752.
- [24] Viard, V. B., and S. Fu, “The Effect of Beijing’s Driving Restrictions on Pollution and Economic Activity”, *Journal of Public Economics*, 2015, 125, 98-115.
- [25] Wang, Z., B. Zhang, and Y. Zhang, “Determinants of Public Acceptance of Tiered Electricity Price Reform in China: Evidence from Four Urban Cities”, *Applied Energy*, 2012, 91 (1), 235-244.
- [26] Yu, X., X. Lei, and M. Wang, “Temperature Effects on Mortality and Household Adaptation: Evidence from China”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 2019, 96, 195-212.
- [27] Zhang, S., and B. Lin, “Impact of Tiered Pricing System on China’s Urban Residential Electricity Consumption: Survey Evidences from 14 Cities in Guangxi Province”, *Journal of Cleaner Production*, 2018, 170, 1404-1412.

The Impact of Tiered Pricing Reform on China’s Residential Electricity Consumption

XIUMEI YU

(*Zhongnan University of Economics and Law*)

MIN WANG*

(*Peking University*)

Abstract Based on a county-level panel dataset from four provinces and a province-level panel dataset from 22 provinces from 2009 to 2015, we analyze the impact of the tired pricing

* Corresponding Author: Min Wang, National School of Development, Peking University, Beijing, 100871, China; Tel: 86-10-62758907; E-mail: wangmin@nsd.pku.edu.cn.

reform on residential electricity consumption in China, by applying “Regression Discontinuity” (RD) method. The county panel (province panel) shows that the tiered pricing reform has raised the average electricity price by 4.4% (5.6%), and reduced the monthly household electricity consumption by 6.5KWH (10 KWH), accounting for 6.1% (7.5%) of the monthly household electricity consumption. Moreover, counties with a stricter reform have shown a bigger decrease in residential electricity consumption.

Key Words tiered electricity pricing, residential electricity consumption, energy saving

JEL Classification D12, Q41, Q48