# 影响中国碳价的能源价格因素灰关联研究

陆 敏<sup>1,2\*</sup>, 苍玉权<sup>1</sup>

(1.南京审计大学统计科学与大数据研究院, 江苏南京 211815; 2.南京大学经济学院, 江苏南京 210093)

【摘要】本文选取中国碳排放价格数据和8种能源价格指数为研究变量,运用灰色关联方法研究了中国能源价格对中国碳价的影响。研究结果发现,化石能源价格对中国碳排放价格的影响较大,特别是煤炭、成品油和基础油价格对碳价的影响最大;低污染能源中,与天然气相比,液化气价格对中国碳排放价格影响明显。研究结果指出了保持碳市场价格稳定、防范价格异常波动的重要性,并从能源价格体系和能源消费结构角度提出了政策建议。

【关键词】 碳排放价格; 能源价格; 灰色关联分析

【中图分类号】F222, C812

【文章编号】1674-6252 (2018) 04-0088-005

【文献标识码】A

[DOI] 10.16868/j.cnki.1674-6252.2018.04.088

#### 1 引言

碳交易市场的建立对于减少二氧化碳排放、降低全球二氧化碳的平均减排成本、传导国家节能减排政策发挥着重要作用。中国的碳交易市场作为一个新兴市场,自 2013 年启动试点以来,碳交易初始阶段试点进度不一,交易冷热不均,经济发达地区交易比较频繁,交易量较大,而湖北和重庆的交易量则相对较少,有时甚至

会零交易。但随着碳交易体系各项 规章制度的逐步完善,中国的碳交 易市场日趋活跃,截至2017年第三 季度,8个碳排放权交易试点省市已 有电力、钢铁等行业近3000家重点 排放单位纳入交易,累计配额成交 量达到 1.97 亿吨二氧化碳当量,成 交额约45亿元人民币。试点范围 内,碳排放总量和强度呈现双降趋 势,碳交易试点成效显著<sup>①</sup>。2017 年12月19日,国家发展和改革委 员会宣布全国性碳交易市场正式启 动。而碳价是碳交易市场的核心指 标, 也是调节供给和需求的关键因 素, 数据显示, 2017年1-12月中 国8个区域碳交易市场均价存在巨 大的地区差异,即使在同一试点区 域内,月度价格的波动也较大(图1),国际成熟碳交易市场的经验发现,碳价波动不仅影响相关企业的正常运营,特别是价格暴跌可能危及企业生存,而且波动对宏观经济的稳定运行有着不可忽视的影响。那么,是什么原因导致碳价的频繁波动?

国内外文献将碳价的主要影响因素大致归为如下四类: ① Mansanet-Bataller 等 [1]、Reilly 等 [2]、Alberola 等 [3]、

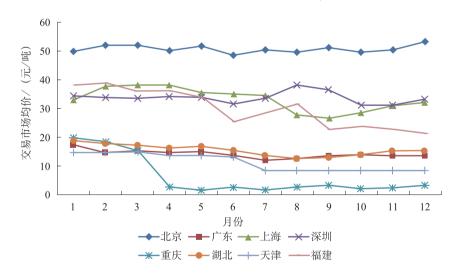


图 1 2017年1—12月中国8个区域碳交易市场均价(元/吨)

数据来源:中国8个区域碳交易市场交易价格。

基金项目: 江苏省哲学社会科学基金项目 "区域碳交易体系的社会福利效应研究(16GLB013)"; 江苏省高校哲学社会科学基金项目 "碳交易机制影响经济增长么?——基于试点省份面板数据的实证分析"(2016SJB630049)。

<sup>\*</sup>作者简介:陆敏(1978—),男,南京审计大学副教授,博士,南京大学经济学院博士后,主要研究方向为环境规制政策和创新,Email:luminm@126.com。

①参见汪泽方.碳市场将现"中国样本".2017-11-21,人民日报。

Frunza<sup>[4]</sup> 等、张 跃 军 和 魏 一 鸣 <sup>[5]</sup>、Hammoudeh 等 <sup>[6]</sup>、Sousa 等 <sup>[7]</sup> 都认为天然气、石油和煤炭等能源价格会对碳价产生重要影响;② Christiansen<sup>[8]</sup>、Mansanet-Bataller 等、Alberola 等、Hintermann<sup>[9]</sup> 提出碳价还会受到温度和极端天气的影响;③也有学者提出宏观经济和金融市场也会影响碳价,如 Oberndorfer<sup>[10]</sup>、Chevallier <sup>[11,12]</sup>、黄明 皓等 <sup>[13]</sup>、Mansanet-Bataller 等 <sup>[14]</sup>、Xu 等 <sup>[15]</sup>、Koch 等 <sup>[16]</sup>;④ 很 多 学 者(Ellerman 和 Buchner <sup>[17]</sup>、Alberola 等、Parsons 等 <sup>[18]</sup>、Alberola 和 Chevallier <sup>[11]</sup>、Chevallier 等)重点研究了欧盟碳交易体系,提出市场体系本身的结构问题(配额分配方式、是否允许跨期储存等)也会导致碳价剧烈波动。

由于中国碳交易市场尚处在建设的初始阶段,国内外学者有关中国碳交易市场价格影响因素问题的研究尚不多见,如洪涓和陈静<sup>[19]</sup>从国际需求、国内供给、国内限价政策和国际市场几个方面定性分析了中国碳交易市场价格的影响因素。

能源消费是造成二氧化碳排放的主要原因,能源价格是影响碳排放价格的重要因素,这是国内外学者的共识。那么,中国的能源价格也会影响碳交易市场价格吗?与以往研究不同的是,本文除了研究高污染化石能源价格相关指标对碳价的影响,还分析了低污染化石能源价格和碳价的关系,并从静态和动态角度研究了二者的关联性。

### 2 变量选取与数据来源

中国的能源价格没有现成的数据可用,也没有能源价格指数这一指标,只能选取替代指标衡量中国能源价格的变化水平。统计数据显示,2013—2015年中国能源消费结构中,煤炭、天然气和原油的消费量分别占能源消费总量的89.8%,88.7%和87.9%,因此,能源价格指

标主要选择这三种一次性能源数据。同时,结合能源消费结构和数据可获得性,本文还选择了成品油、燃料油、基础油、石油焦和液化气价格数据,其中天然气和液化气为低污染化石能源,另外6种为高污染化石能源。

所有能源价格数据均采用价格指数形式,根据《中国流通产业网》和《卓创资讯》每日数据,整理形成2017年12个月8种能源价格指数月度数据值(见表1)。

中国碳排放价格数据主要根据 8 个区域碳交易市场的 2017 年日成交价格整理形成月度价格数据,但 8 个区域碳交易市场价格差异较大(表 2)。有学者根据碳的社会成本(SCC)提出中国过低的碳价并不是最优效率的价格,他们甚至估算了中国碳价有效值为 275 元 [20]。鉴于此,同时为了保证研究结果的稳定性,本文研究时选择了标准差最小的北京市 2017 年 12 个月的价格数据来进行分析。事实上,根据《北京碳市场研究报告(2017)》,北京碳市场价格最为稳定,试点四年期间最高日成交均价为 77 元/吨,最低日成交均价为 32.40 元/吨,年度成交均价基本在 50 元/吨上下浮动,而其他地区成交均价则波动较大(表 3)。

# 3 研究方法和计算过程

由于中国碳排放交易市场尚处在发展的初级阶段,稳定的价格数据涉及的时间较短,统计数据比较有限,而且灰度较大,传统的计量方法在处理这些数据时存在一定的局限性,因此,本文进行影响因素分析时选择了采用灰色关联技术。灰色关联技术基于不同数据序列之间发展趋势的相似或相异程度,来衡量因素间的密切程度。

设  $X_0$  表示中国碳排放价格,  $X_i$  表示中国能源价格,  $X_0$  与  $X_i$  的长度相同,且皆为 1- 时距序列,而  $X_0^0 = (x_0^0(1), x_0^0(2), \cdots, x_0^0(n))$ ,  $X_i^0 = (x_i^0(1), x_i^0(2), \cdots, x_i^0(n))$ 

月份	煤炭	原油	成品油	燃料油	石油焦	基础油	液化气	天然气
1	850.5773	690.6595	899.168	715.8033	775.2067	786.9687	831.0067	842.71
2	837.7172	698.344	867.6283	705.8761	808.095	804.4678	845.1117	846.0972
3	844.0857	652.2787	846.2922	685.6374	840.7961	836.3048	793.3043	898.4713
4	852.7239	670.8245	855.39	673.9094	865.5439	846.025	822.8667	877.4811
5	812.784	638.0583	840.2065	643.4475	874.138	827.315	753.2055	851.8395
6	781.1841	591.3223	815.2586	613.0059	853.4968	813.5741	651.6114	828.5005
7	794.2643	612.2643	813.7924	603.9148	1005.079	820.2286	628.7424	827.3238
8	826.7674	638.0404	848.8752	637.7743	1372.32	831.5522	734.8643	832.077
9	876.4638	673.9914	878.5229	636.0071	1387.013	792.6405	808.0533	872.169
10	905.0565	698.8182	944.7388	645.8476	1244.499	635.5741	917.7718	1130.056
11	861.1641	763.7814	1016.831	714.0295	1290.781	648.58	931.7877	1281.564
12	845.8638	781.8562	998.8667	704.3857	1275.79	648.58	942.3705	1921.697

表 1 2017年8种能源价格指数均值

数据来源:根据中国流通产业网和卓创资讯数据整理。

表2 2017年中国8个区域碳交易市场价格描述性统计

区域	均值 (元 /t )	标准差
北京	50.80699	1.345974
上海	29.27509	9.154985
天津	12.69018	2.904926
广东	13.69463	1.756044
深圳	33.07798	2.666825
湖北	15.81539	1.974929
重庆	13.79602	14.0405
福建	31.50742	5.702853

数据来源:中国8个区域碳交易市场交易价格。

表3 2017年北京碳交易市场月均价 单位,元/t

月份	均价	月份	均价
1	49.93	7	50.48
2	52.18	8	49.63
3	52.22	9	51
4	50.25	10	49.57
5	51.82	11	50.60
6	48.69	12	53.32

数据来源:北京市环境交易所。

分别为 $X_0$ 与 $X_i$ 的始点零化像,设

$$|s_0| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} x_0^0(k) + \frac{1}{2} x_0^0(n) \right|, |s_i| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} x_i^0(k) + \frac{1}{2} x_i^0(n) \right|,$$

$$|s_i - s_0| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} (x_i^0(k) - x_0^0(k)) + \frac{1}{2} (x_i^0(n) - x_0^0(n)) \right|,$$

则称
$$\varepsilon_{0i} = \frac{1+|s_0|+|s_i|}{1+|s_0|+|s_i|+|s_i-s_0|}$$
为 $X_0$ 与 $X_i$ 的灰色绝对关

联度。它反映了折线  $X_0$  与  $X_i$  的相似程度,在本文中体现了中国碳排放价格和化石、非化石能源价格之间的近似程度。

若序列  $X_0$  与  $X_i$  长度相同,且初值皆不等于零, $X_0'$ 、 $X_i'$ 分别为  $X_0$  、  $X_i$  的初值像,则:

$$\begin{split} &|s_0'| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} x_0^{i0}(k) + \frac{1}{2} x_0^{i0}(n) \right| , \qquad |s_i'| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} x_i^{i0}(k) + \frac{1}{2} x_i^{i0}(n) \right| , \\ &|s_i' - s_0'| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} (x_i^{i0}(k) - x_0^{i0}(k)) + \frac{1}{2} (x_i^{i0}(n) - x_0^{i0}(n)) \right| , \quad \text{if } X_0' \end{split}$$

与 $X_i$ '的灰色绝对关联度为:

$$r_{0i} = \frac{1 + |s_0'| + |s_i'|}{1 + |s_0'| + |s_i'| + |s_i'| - s_0'|}$$
,  $r_{0i}$ 又可以称为  $X_0$ 与

 $X_i$ 的灰色相对关联度。灰色相对关联度表征了序列  $X_0$ 与  $X_i$ 相对于初始点的变化速率之间的关系,它能够去除起始状态对序列  $X_0$ 与  $X_i$ 的干扰,动态地去分析中国碳排放价格和高污染、低污染化石能源价格之间的关联程

度。若 $r_{oi}$ 越大,则 $X_0$ 与 $X_i$ 的变化速率越接近,相应的变量之间的关系就越密切;反之,关联程度取值越小,变量之间的关系就越不密切。

若 $r_{ij}$ 、 $r_{ij}$ 为 $X_i$ 、 $X_j$ 的灰色绝对关联度和灰色相对关联度, $\theta \in [0,1]$ ,则称 $\rho_{ij} = \theta \varepsilon_{ij} + (1-\theta)r_{ij}$ 为序列 $X_i$ , $X_j$ 的灰色综合关联度(一般取 $\theta = 0.5$  [21])。灰色综合关联度是绝对关联度和相对关联度的线性组合,不但体现了折线 $X_0$ 与 $X_i$ 的相似程度,而且反映出 $X_0$ 与 $X_i$ 相对于始点的变化速率的接近程度,较为全面地考量序列之间的联系是否紧密,可以综合反映中国碳排放价格和高污染、低污染化石能源价格之间的紧密程度。

接下来,本文运用相关数据指标,首先从静态角度研究中国碳排放价格和高污染、低污染化石能源价格之间的关系,建立对应时间序列数据的灰色绝对关联度,然后给出它们的灰色相对关联度,反映中国碳排放价格和高污染、低污染化石能源价格之间的动态关联程度,最后计算中国碳排放价格和高污染、低污染化石能源价格之间的综合关联度,从整体上系统分析它们的关系。

下面求解中国碳排放价格和中国能源价格指数之间的灰色绝对关联度、灰色相对关联度和灰色综合关联度。首先进行初始化操作,将数据序列整理为等长度 1- 时距序列,计算序列的始点零化像。

中国碳排放价格序列 [1]: 0.0000, 2.2500, 2.2900, 0.3200, 1.8900, -1.2400, 0.5500, -0.3000, 1.0700, -0.3600, 0.6700, 3.3900;

中国能源价格指数序列[2]: 0.0000, -12.8601, -6.4916, 2.1466, -37.7933, -69.3932, -56.3130, -23.8099, 25.8865, 54.4792, 10.5868, -4.7135;

然后计算  $|s_0|$ =8.835, $|s_1|$ =115.91875, $|s_1-s_0|$ =107.08375,代入后得到两者的绝对关联度为 0.5401;再写出序列的初值像。

序列 [1]: 1.0000, 1.0451, 1.0459, 1.0064, 1.0379, 0.9752, 1.0110, 0.9940, 1.0214, 0.9928, 1.0134, 1.0679;

序列[2]: 1.0000, 0.9849, 0.9924, 1.0025, 0.9556, 0.9184, 0.9338, 0.9720, 1.0304, 1.0640, 1.0124, 0.9945;

序列的始点零化像,序列[1]: 0.0000, 0.0451, 0.0459, 0.0064, 0.0379, -0.0248, 0.0110, -0.0060, 0.0214, -0.0072, 0.0134, 0.0679;

序列 [2]: 0.0000, -0.0151, -0.0076, 0.0025, -0.0444, -0.0816, -0.0662, -0.0280, 0.0304, 0.0640, 0.0124, -0.0055;

再次计算得 $|s_0|$ =0.17705, $|s_1|$ =0.13635, $|s_1-s_0|$ =0.0407,于是序列[1]和序列[2]的相对关联度为0.9699;最后求得综合关联度为0.7550。

类似计算,可得到中国碳排放价格和高污染、低污染化石能源价格之间的绝对关联度、相对关联度和综合关联度,结果如表 4 所示。

表4	中国碳排放价格和能源价格指数的关联度
----	--------------------

	绝对关联度	相对关联度	综合关联度	综合排名
煤炭价格指数	0.5401	0.9699	0.7550	1
原油价格指数	0.5209	0.9112	0.7160	4
成品油价格指数	0.5217	0.9586	0.7401	3
燃料油价格指数	0.5077	0.7518	0.6298	6
石油焦价格指数	0.5015	0.5766	0.5390	8
基础油价格指数	0.5562	0.9468	0.7515	2
液化气价格指数	0.5127	0.8595	0.6861	5
天然气价格指数	0.5034	0.6603	0.5819	7

数据来源:北京市环境交易所、《中国流通产业网》和《卓创资讯》。

从表 4 可以发现,静态来看,化石能源价格和中国碳排放价格的关联度整体较高,其中煤炭、基础油与碳排放价格关系最大,这与中国经济增长中巨大的煤炭消耗量是分不开的,2016 年煤炭消费量占能源消费总量的比例达 62%,而能源消费结构中高比例的煤炭消耗恰恰是二氧化碳排放的主要来源;基础油则被广泛用来作为原料生产润滑油,润滑油包括车用油、工业用油,是中国工业生产的重要投入,工业生产基础投入价格必然和碳排放价格存在较大关联。在低污染能源中,液化气价格和碳排放价格的关联度较高,天然气则是一种更清洁的能源。由于灰色绝对关联度受各数据序列初始情况的影响,各变量之间关联度的差距会缩小,因此,8 个关联度整体数值比较集中。

初始因素的干扰被消除后,从相对关联度这一列可以清楚地发现,中国碳排放价格和煤炭、成品油和基础油价格关联度很高,分别达到了0.9699、0.9586和0.9468,说明中国碳排放价格受基础化石能源的影响较为明显;高污染化石能源中石油焦价格和碳排放价格关联度较低,可能的原因是石油焦的使用范围很窄。在低污染能源中,与天然气相比,液化气价格更有可能影响碳排放价格,两者关联度为0.8595。

综合起来可以很明显地发现,化石能源中煤炭、基础油和成品油,它们的价格会影响中国碳排放价格,低污染能源中主要是液化气,中国碳排放价格也会受液化气价格的影响。

## 4 结论与建议

碳排放价格的影响因素很多,但从国外成熟碳市场的研究成果来看,能源价格是影响碳价的一个基本且重要的因素。本文选择从能源价格角度,运用灰色关联方法研究了中国碳排放价格的影响因素。研究发现,在中国碳排放交易市场,化石能源价格依然是影响碳排放价格的重要因素,尤其是煤炭、基础油和成品油价格对碳价的影响最大,以液化气和天然气为代表的低污染能源中,液化气价格会影响中国碳排放价格。

中国统一碳交易市场已经正式开启,虽然前期交易 只纳入电力行业,但碳价的波动性问题不容小觑。进一

步完善碳交易市场,防范价格波动风险,需要我们做到以下几点:

(1)充分认识防范碳交易市场价格剧烈波动的重要性。中国碳交易市场尚处在发展初步阶段,前期区域碳交易试点中存在的一个典型问题就是,不同区域碳价差别巨大,即使在同一个交易体系中,碳价的波动也比较剧烈,碳价的不稳定一方面会给交易企业,尤其是潜在的购买企业带来较差的利益预期,进一步降低碳交易体系的流动性;另一方面也会增加整个交易市场的价格风险,甚至对经济发展形成冲击。作为一个新兴市场,我们更应关注反映市场供求的价格指标,加快形成碳价稳定体系,最大限度地减少来自非市场因素的干扰。

(2)要将碳价纳入中国能源价格体系综合考量,形成中国能源市场和碳市场稳定的内在价格形成机制,抵御碳价和能源价格波动的侵扰。重点关注化石能源价格的波动,特别是煤炭价格波动情况,尽管近年来中国能源消费结构中煤炭消耗占比逐渐降低,但随着中国经济的持续增长,未来一段时间内煤炭依然是重要的能源,煤炭价格的异常除了侵扰经济发展外,还会明显干扰碳

(3)要进一步降低高污染化石能源在能源消费结构中的比例,提高低污染能源占比。上述分析表明,高污染化石能源对碳价的影响整体较高。因此,增加碳价的稳定性和优化中国能源消费结构可以通过增加低污染化石能源消费,特别是通过进一步提高未来中国能源消费结构中天然气消费的比例来促进碳价的稳定。

价的稳定,影响碳交易体系的平稳运行。

#### 参考文献

- [1] MANSANET-BATALLER M, PARDO A, VALOR E. CO<sub>2</sub> prices, energy and weather[J]. The energy journal, 2007, 28(3): 73-92.
- [2] REILLY J, PALTSEV S, FELZER B, et al. Global economic effects of changes in crops, pasture, and forests due to changing climate, carbon dioxide, and ozone[J]. Energy policy, 2007, 35(11): 5370-5383.
- [3] ALBEROLA E, CHEVALLIER J, CHÈZE B. Price drivers and structural breaks in European carbon prices 2005-2007[J]. Energy policy, 2008, 36(2): 787-797.
- [4] FRUNZA M C, GUÉGAN D, LASSOUDIERE A. Statistical evidence of tax fraud on the carbon allowances market[J]. [ 2010-12-10 ] . http://ssrn.com/abstract=1664111.
- [5] 张跃军,魏一鸣. 化石能源市场对国际碳市场的动态影响实证研究[J]. 管理评论,2010,22(6):34-41.
- [6] HAMMOUDEH S, NGUYEN D K, SOUSA R M. What explain the short-term dynamics of the prices of CO<sub>2</sub> emissions?[J]. Energy economics, 2014, 46: 122-135.
- [7] SOUSA R, AGUIAR-CONRARIA L, SOARES M J. Carbon financial markets: a time-frequency analysis of CO<sub>2</sub> prices[J]. Physica A: statistical mechanics and its applications, 2014, 414: 118-127.
- [8] CHRISTIANSEN B. Downward propagation and statistical forecast of the near-surface weather[J]. Journal of geophysical research: atmospheres, 2005, 110(14): D14104.

- [9] HINTERMANN B. Allowance price drivers in the first phase of the EU ETS[J]. Journal of environmental economics and management, 2010, 59(1): 43-56.
- [10] OBERNDORFER U. EU emission allowances and the stock market: evidence from the electricity industry[J]. Ecological economics, 2009, 68(4): 1116-1126.
- [11] ALBEROLA E, CHEVALLIER J, CHÈZE B. Emissions compliances and carbon prices under the EU ETS: a country specific analysis of industrial sectors[J]. Journal of policy modeling, 2009, 31(3): 446-462.
- [12] CHEVALLIER J. A model of carbon price interactions with macroeconomic and energy dynamics[J]. Energy economics, 2011, 33(6): 1295-1312.
- [13] 黄明皓, 李永宁, 肖翔. 国际碳排放交易市场的有效性研究——基于 CER 期货市场的价格发现和联动效应分析 [J]. 财贸经济, 2010(11): 131-137.
- [14] MANSANET-BATALLER M, CHEVALLIER J, HERVÉ-MIGNUCCI M, et al. EUA and sCER phase II price drivers: unveiling the reasons for the existence of the EUA-sCER spread[J]. Energy policy, 2011, 39(3): 1056-1069.
- [15] XU L, DENG S J, THOMAS V M. Carbon emission permit price

- volatility reduction through financial options[J]. Energy economics, 2016, 53: 248-260.
- [16] KOCH N, FUSS S, GROSJEAN G, et al. Causes of the EU ETS price drop: recession, CDM, renewable policies or a bit of everything?—new evidence[J]. Energy policy, 2014, 73: 676-685.
- [17] ELLERMAN A D, BUCHNER B K. Over-allocation or abatement? A preliminary analysis of the EU ETS based on the 2005-06 emissions data[J]. Environmental and resource economics, 2008, 41(2): 267-287.
- [18] PARSONS J E, ELLERMAN A D, FEILHAUER S M. Designing a U.S. market for CO<sub>2</sub>[J]. Journal of applied corporate finance, 2009, 21(1): 79-86.
- [19] 洪涓,陈静. 我国碳交易市场价格影响因素分析 [J]. 价格理论与实践, 2009(12): 65-66.
- [20] GOULDER L H, MORGENSTERN R D, MUNNINGS C, et al. China's national carbon dioxide emission trading system: an introduction[J]. Economics of energy & environmental policy, 2017. 6(2):1-18.
- [21] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用 (第八版)[M]. 北京: 科学出版 社, 2018.

# Grey Correlation Analysis on Energy Prices and Carbon Price in China

LU Min<sup>1,2\*</sup>, CANG Yuquan<sup>1</sup>

( 1.Institute of Statistics and Data Science, Nanjing Audit University, Nanjing 211815, China;

2. Department of economics, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** Based on grey correlation analysis, carbon emissions prices and eight energy price indexes in China were selected as the research variables to explore the impact on carbon prices. The results showed that fossil energy prices, coal, oil and base oil in particular, have a greater influence on Chinese carbon prices. Compared to LNG, LPG price has obvious effects on Chinese carbon prices in the low-pollution energy. The importance of keeping stability and preventing abnormal fluctuations in carbon price was presented in this paper, policy suggestions were also put forward from energy price system and consumption structure perspective.

Keywords: carbon price; energy price; grey relations analysis