

中国碳配额交易市场效率测算研究

张跃军^{1,2}, 姚 婷^{1,2}, 林岳鹏³

- (1. 湖南大学 工商管理学院, 湖南 长沙 410082;
2. 湖南大学 资源与环境管理研究中心, 湖南 长沙 410082;
3. 厦门大学 王亚南经济研究院, 福建 厦门 361001)

摘 要:碳配额交易是国际社会应对气候变化的有效工具, 中国政府 2011 年推出了 7 个碳交易市场试点, 取得了重要成就。2017 年中国将建立全国性碳交易市场, 而探索试点碳市场的效率及其运行机制对于建设全国碳市场具有重要价值。为此, 我们运用消除趋势波动分析方法测算了 2013—2016 年试点碳交易市场的单一标度和多重标度的 Hurst 指数, 并运用滚动窗口技术探讨了 Hurst 指数的动态变化情况。实证结果表明: 一方面, 样本区间内我国试点碳交易市场的有效性整体上还较低, 市场暂时难以发挥价格发现作用; 另一方面, 在考察的试点碳市场中, 投资者交易活跃的时间往往集中在履约期附近, 而平常交易较为冷清。

关键词:碳交易; 市场效率; 消除趋势波动分析(DFA); Hurst 指数

中图分类号:F426.21 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-2129(2016)02-0001-09

自 2005 年《京都协议书》实施以来, 全球碳排放交易实现了快速增长。^[1]根据世界银行的数据, 2005 年国际碳交易市场交易总额为 108 亿美元, 到 2009 年已达到 1437 亿美元, 5 年时间增长了 13.3 倍。^[2]受到《京都协议书》第二承诺期等政策不确定性以及金融危机的影响, 2011 年国际碳市场交易量到达顶点后开始出现大幅下降, 交易量从 2012 年的 107 亿吨下降至 2013 年的 92 亿吨, 2014 年有小幅上涨, 达到 96 亿吨。^[3]相较欧洲市场的低迷, 亚洲市场近几年表现颇为亮眼。2015 年 1 月 12 日, 韩国碳交易市场在釜山韩国证券交易所正式启动; 同时, 我国也在试点基础上逐步加快推进建设全国统一的碳交易市场进程, 中国与韩国有望成为全球主要的碳市场^[4]。

一、中国碳交易发展及其研究综述

中国已成为全球最大的温室气体排放国, 碳排放交易市场的发展对中国节能减排具有重大意义。相比发展 10 余年的国际碳交易市场, 中国碳交易市场才刚刚起步。2009 年 11 月, 国务院确定 2020 年

单位 GDP 的碳排放量(即碳排放强度)要在 2005 年基础上降低 40%—45% 的减排目标; 2011 年, 中国“十二五”规划明确指出, 未来五年(2011—2015)要逐步建立碳排放交易市场^[5]。在此背景下, 2011 年 10 月 29 日, 中国国家发展和改革委员会印发了《关于开展碳排放权交易试点工作的通知》, 确定深圳、北京、上海、重庆、天津、广东和湖北 7 省(市)作为碳排放交易试点省(市), 并要求各试点省(市)研究制定碳排放权交易试点管理办法。2014 年 6 月 19 日, 重庆市碳排放权交易中心宣布开市, 至此, 北京、上海、天津、湖北、广东、深圳、重庆 7 个碳排放权交易试点省(市)已全部开始实际交易。7 个碳交易试点省(市)共纳入排放企业 2000 多家, 总碳排放配额量超过 12 亿吨^[6]。截至 2015 年 12 月, 中国碳市场累计碳排放交易量超过 4000 万吨, 累计成交金额突破了 10 亿元, 二氧化碳市场价格在 12—130 元/吨间波动。然而, 近几年中国碳市场的发展也暴露出一些问题, 如流动性较差, 成交量和成交额较低等, 严重影响了碳市场的效率。因此, 研究碳市场的有效性不仅可以为中国构建全国统一碳市场提供理论与数据支持, 更有助于丰富碳资产的定价理论^[7]。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(7127308); 国家自然科学基金资助项目(71322103)。

收稿日期: 2016-04-13

作者简介: 张跃军, 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为能源经济复杂系统建模。

目前,已有一些文献分析中国碳市场的机制,讨论中国建设碳市场的进展。例如,Tang 等采用多主体模型探索了中国的碳交易机制^[8]。结果表明,碳交易能有效减少碳排放,但是对经济有负面影响;在碳配额分配上,采用溯往原则比较温和,而杠杆原则风险较大;碳价格在 40 元/吨左右可以达到最佳减排效果;而赔偿率的设定应起到平衡经济发展增速与减速的作用。Liu 等分析了中国在国际碳市场上的地位,考察了中国政府推出碳市场的因素,并追溯强制性碳排放交易和自愿减排交易的发展,认为中国的碳交易市场面临着新的挑战,如配额分配不准确,不完善的交易机制,以及立法滞后等。^[9] Zhang 和 Hao 构建多维指标体系,讨论了中国各省份 2020 年之前的碳排放配额分配问题^[10];而 Zhang 等在考虑区域协同减排的视域下,采用 Shapley 值方法进一步修正了碳配额分配结果。^[11]

然而,我们发现现有相关文献还很少考虑中国碳交易市场的效率问题,这可能与之前中国碳市场交易数据比较有限有关系。实际上,交易效率是市场运行的重要支撑,因此,研究碳交易市场效率是讨论碳市场机制、规范碳市场建设的关键方面。但是,我们看到目前对碳交易市场有效性进行实证检验的文献并不多,且主要集中于对 EU ETS 市场有效性的研究。例如,Zhang 和 Wei 从运行机制和经济效益两方面对 EU ETS 碳市场实证研究的主要观点进行了梳理并提出了若干重要研究方向。^[12] Milunovich 和 Joyeux 采用持有成本模型检验了 EUA 期货市场的效率,发现 2005 年 6 月 24 日至 2006 年 11 月 27 日期间不同到期日的期货合约均不符合持有成本定价模型,在现货和期货市场之间存在双向信息传递和波动性溢出。^[13] Daskalakis 和 Markellos 利用欧洲气候交易所 2006 年以前的数据对 EUA 现货和期货的弱式有效性进行了检验,发现 EUA 市场尚未达到弱式有效。^[14] Seifert 等通过随机均衡模型对欧盟碳市场进行检验,结果表明碳价格是非平稳的,欧盟碳市场是信息充分有效的。^[15] 此外,Alberto Montagnoli 等采用方差比率法对欧盟碳市场的有效性进行检验,认为欧盟第二阶段市场弱式有效,并建立了一个基于市场效率的碳交易市场模型,测算了欧盟碳交易体系的市场效率^[16],但是没有比较不同交易方式下市场效率的大小。张跃军和魏一鸣引入均值回归理论、GED-GARCH 模型和 VaR 方法,考察 EU ETS 碳期货市场的运行特征,实证结果发现,不论是在 2006 年的配额事件发生之前还是发生之后,EU ETS 的碳交易期货市场

的价格、市场波动、收益以及市场风险的变化均不服从均值回归过程,即它们的运动具有发散性,暂时不具可预测的特征。^[17] Zhang 和 Huang 采用经验模态分解(EMD)模型分析了 EUA 和 sCER 期货市场价格的多频相关性,实证结果表明,EUA 和 sCER 期货市场价格受市场短期、中期和长期因素影响,其中长期因素影响较大,而且 EUA 期货价格的长期影响与 sCER 价格的短期影响不相关。^[18] 目前还很少有文献专门讨论中国碳市场的效率问题,从而缺乏从市场效率角度对中国碳市场的分析。

在市场效率研究方法方面,现有相关文献较多,但主要是通过对资产期货价格与现货价格的对比分析以及对分形市场假说的探讨。例如,Charles 等基于持有成本(cost-and-carry)假设,研究了欧盟碳市场期货价格与现货价格的关系,据此探讨市场有效程度。^[19] Wang 和 Liu 采用基于多重消除趋势波动分析的滚动窗口技术考察了 WTI 原油市场的效率,实证结果表明,市场短期、中期以及长期行为逐渐变得有效。^[20] Zhang 等利用 MF-DFA 和广义 Hurst 指数评价法,评价了中国十大重要行业指数的有效程度,同时利用动态滚动窗口方法研究了中国股票市场的效率,实证结果发现中国股票市场存在不同程度的多重分形。^[21] 这些研究为本文探讨中国碳交易市场的效率测算及其变化提供了重要思路。

二、模型方法

Hurst 在分析尼罗河水位时提出了重标极差分析方法(R/S)^[22],并作为检测长期记忆性的方法而被广泛使用。Lo 发现 R/S 方法对短期记忆非常敏感,容易对长记忆产生有偏估计,因此提出了修正的 R/S 方法。^[23] 然而,R/S 方法及其修正方法只适用于检验平稳时间序列的长程相关性。而 Peng 等在研究脱氧核糖核酸(DNA)分子链的相互关系时,提出了消除趋势波动分析(DFA)。^[24] 这种方法可以克服 R/S 方法及其修正方法的缺陷,计算步骤如下:

第一步,对于长度为 N 的时间序列 $\{x_k, k=1, 2, \dots, N\}$,构造去均值的和序列:

$$Y(i) = \sum_{k=1}^i (x_k - \bar{x}), i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

式中 $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k$ 。

第二步,将新序列 $Y(i)$ 划分为长度为 s 的 N_s 个不相交的区间(即改变时间尺度),其中 $N_s = \text{int}$

(N/s)。为了保证序列 $Y(i)$ 的信息在划分过程中不至于丢失,对 $Y(i)$ 按照 i 由小到大和由大到小各划分一次,这样,共得到 $2N_s$ 个区间。

第三步,对每个区间 $v(v=1,2,\dots,2N_s)$ 内的 s 个点,用最小二乘法进行 k 阶多项式拟合,得到方程 (2):

$$y_v(i) = a_1 i^k + a_2 i^{k-1} + \dots + a_k i + a_{k+1} \quad (2)$$

$i = 1, 2, \dots, s; \quad k = 1, 2, \dots$

第四步,计算均方误差 $F^2(s, v)$:

当 $v=1, 2, \dots, N_s$ 时,

$$F^2(s, v) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{Y[(v-1)s + i] - y_v(i)\}^2 \quad (3)$$

当 $v=N_s+1, N_s+2, \dots, 2N_s$ 时,

$$F^2(s, v) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{Y[N - (v - N_s)s + i] - y_v(i)\}^2 \quad (4)$$

对于 $2N_s$ 个区间,求 $F^2(s, v)$ 的均值,得到波动函数 $F(s)$ 如方程 (5) 所示:

$$F(s) = \sqrt{\frac{1}{2N_s} \sum_{v=1}^{2N_s} F^2(s, v)} \quad (5)$$

$F(s)$ 是关于数据长度 s 的函数,随着 s 的增大, $F(s)$ 呈幂律关系增加,即:

$$F(s) \propto s^H \quad (6)$$

其中 H 称为 Hurst 指数。然后,我们根据 H 值判断碳交易价格的长程记忆性:

当 $H=0.5$ 时,表示碳价序列中不存在任何相关关系,即碳价序列是随机游走的,现在的碳价走势不会对其未来造成影响,市场处于弱有效状态。

当 $0 < H < 0.5$ 时,时间序列具有反持续性的长程幂律相关,即如果一个时序在前一个时期存在向上(下)趋势,则它在后一个时期很可能存在向下(上)的趋势,这种反持续性行为的强度随 H 的减小而增强。

当 $0.5 < H < 1$ 时,意味着时间序列具有持续性的长程幂律相关,即如果一个时序在前一个时期存在向上(下)趋势,则它在后一个时期很可能仍然存在向上(下)的趋势,这种持续性行为的强度随 H 的增大而增强。

三、数据说明

由于重庆和湖北碳交易市场数据无法获取,本文只选取北京、上海、广东、深圳、天津 5 个碳交易市

场的数据,时间跨度为 2013 年 6 月 18 日到 2016 年 4 月 7 日。同时,在本文研究中,剔除了交易价格为 0 的样本,数据来源于 5 个碳交易所的官网。

1. 碳交易价格基本分析

5 个市场的价格进行描述统计分析,结果如表 1 所示。我们发现:①过去几年 5 个碳市场之间的价格差异较大,碳价格均值最小的天津碳市场只有 26 元/吨,而碳价格均值最大的深圳碳市场达到了 58 元/吨。不同碳市场的价格差异为我国建设全国统一的碳市场增加了难度。②各个试点碳市场的价格波动情况也不一致,其中天津碳市场的价格波动相对最小,标准差只有 5.64,北京和上海次之,碳价波动也较为平缓,而广东和深圳碳交易市场的价格波动比较剧烈,例如,深圳碳市场价格最大值和最小值之间的振幅达到了 103 元/吨。

表 1 碳市场价格描述统计

	样本量	最小值	最大值	均值	标准差	偏度	峰度
北京	401	16.50	77.00	49.61	8.43	-0.35	5.50
上海	443	5.13	44.91	26.72	10.02	-0.37	1.86
广东	335	11.80	77.00	31.28	19.48	0.94	2.24
深圳	502	27.54	130.90	57.60	17.88	0.57	2.64
天津	406	11.20	50.11	26.14	5.64	1.14	5.68

归结起来,碳交易价格是碳市场与碳减排有关的所有经济活动的信号,合理的碳价格可以促进我国经济的低碳转型,也有利于优化社会激励机制,反之,可能放大经济发展和碳减排之间的矛盾。目前,我国试点碳市场均没有形成完全市场化的碳价格形成机制,碳价波动不能反映能源价格、减排技术水平、减排成本和碳配额真实供需情况。另外,与碳交易市场紧密相关的能源市场机制和环境保护市场机制也尚不完善。创新碳市场环境,完善碳交易机制,促使碳价反映碳配额的稀缺性和实际价值,是未来碳价改革的重要目标。

2. 碳交易量基本分析

我国 5 个碳交易试点的交易量描述统计如表 2 所示,从中我们看到:①5 个碳交易市场成交量的最大值和最小值差别都很大,这说明开市以来,各个碳市场的交易量都不稳定,市场行情波动较大。②上海碳市场的成交量与其他 4 个碳市场的差别较大,其日均值达到了 103 万吨,而其他市场交易量最大的均值也仅有 62 万吨。实际上,上海是我国唯一连续两年 100% 按时完成履约的试点地区,参与碳交易的企事业单位相对较为积极。

表 2 碳市场交易量描述统计

	样本量	最小值 (吨)	最大值 (吨)	均值 (吨)	标准差	偏度	峰度
北京	401	46.70	5754369.40	326617.89	687524.58	3.81	20.80
上海	443	9.80	12612324.00	1026872.42	2423339.91	3.05	11.36
广东	335	21.46	27972000.00	616079.76	2140347.19	7.79	86.36
深圳	502	31.50	9172598.79	264959.97	993210.78	6.96	54.32
天津	406	249.00	11206984.00	85887.43	705522.39	12.69	178.01

四、实证结果分析

我们首先计算各个碳市场的对数收益率。若 P_t 表示第 t 天碳市场的交易价格, 则其对数收益率可用方程(7)表示:

$$R_t = \log(P_t) - \log(P_{t-1}) \quad (7)$$

1. 单一标度 Hurst 指数分析

不同阶数的 DFA 方法消除趋势的能力会不同。如果不能正确消除时间序列中存在的强烈趋势, 则 DFA 结果就可能会产生虚假的突变点。因此, 在进行 DFA 分析之前, 应该先确定 DFA 的阶

数。我们采用不同阶数拟合的 DFA 方法对数据进行分析, 结果发现碳价波动特征并没有显著不同。因此, 为了讨论方便, 本文采用线性拟合的 DFA 方法, 即一阶 DFA 方法。根据 Peng 等^[24]的建议, 我们设定各碳市场横坐标时间标度 s 为 $1 < s < 2$ 。图 1 表示北京、上海、广东、深圳、天津 5 个碳交易市场波动函数 $F(s)$ 与时间标度 s 的双对数图; 表 3 是 5 个市场的 Hurst 指数。我们发现: ①上海和深圳的 Hurst 指数分别为 0.4981 和 0.5143, 接近 0.5, 表明样本区间内, 上海和深圳碳交易市场的价格接近随机游走, 市场比较有效。②北京和广东的 Hurst 指数分别为 0.1402 和 0.4666, 均小于 0.5, 说明这两个碳市场的收益率时间序列呈现了反持续性的行为, 即如果碳价在前一个时期是向上(下)的, 则它在后一个时期很可能存在向下(上)的趋势。③天津的 Hurst 指数为 0.6093, 大于 0.5, 说明天津碳交易市场收益率序列具有持续性特征, 即如果碳价在前一个时期是向上(下)的, 则它在后一个时期也很可能存在向上(下)的变化趋势。

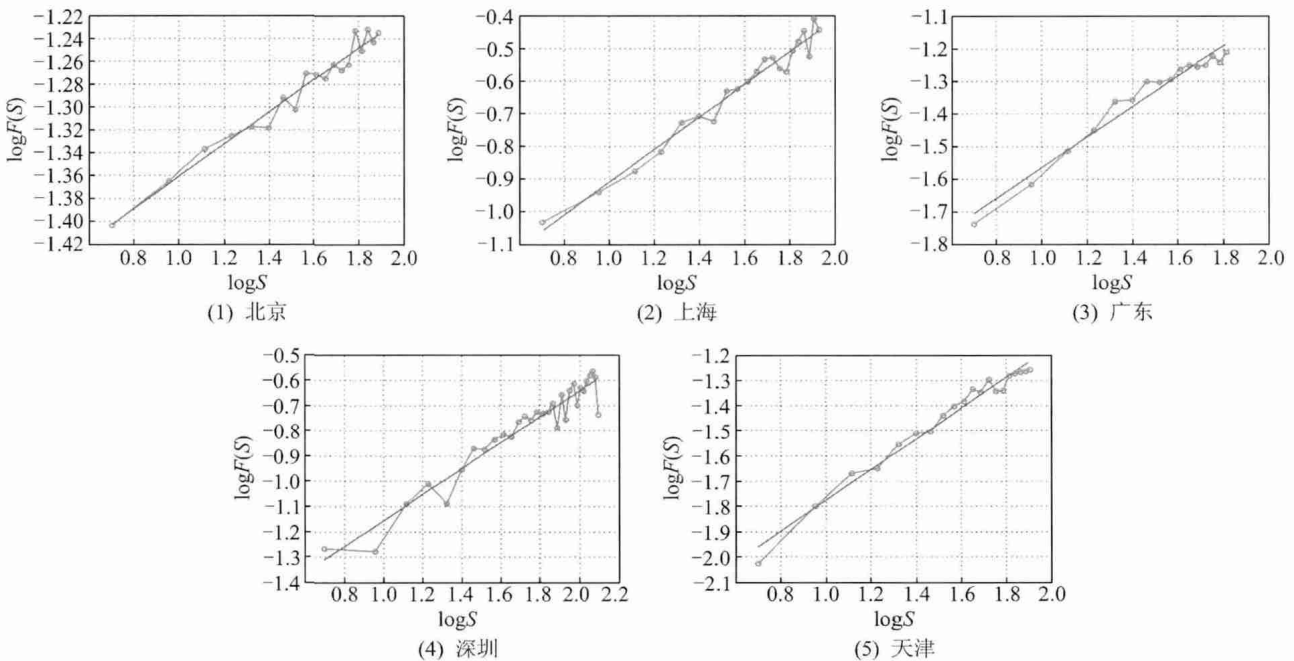


图 1 碳交易市场收益率的波动函数与时间标度的双对数图

表 3 单一标度 Hurst 指数

碳交易市场	Hurst 指数	碳交易市场	Hurst 指数
北京	0.1402	深圳	0.5143
上海	0.4981	天津	0.6093
广东	0.4666		

2. 多重标度 Hurst 指数分析

上述 DFA 方法能够从平均意义上刻画我国 5

个试点碳交易市场的分形特征, 然而从图 1 中我们看到波动函数 $F(s)$ 的斜率也在不断变化, 即存在标度依赖性。因此, 为了对碳市场效率进行更细致的分析, 我们将整个标度区间分为长度为 0.2 的子区间, 并计算每个区间的 Hurst 指数(如图 2)。

从图 2 中我们可以看出, 随着时间标度的变化, 其对应的局部 Hurst 指数也在变化, 但是 5 个碳市

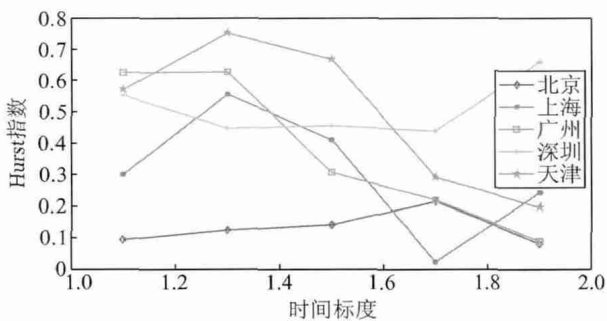


图 2 局部 Hurst 指数

场的变化趋势并不一致,主要表现如下:①上海与深圳碳市场在中短时间间隔($1.2 < \log(s) < 1.6$)内 Hurst 指数均接近 0.5,市场比较有效。②北京碳交易市场在整个时间间隔内的 Hurst 指数都在 0.5 以下,碳市场价格有很强的反持续性。③在长期($1.8 < \log(s) < 2$)内,天津碳交易市场的 Hurst 指数大于 0.5,市场价格表现出较强的持续性,而北京、上海、广东和深圳碳交易市场的 Hurst 指数均小于 0.5,市场价格表现出较强的反持续性。

3. 时变 Hurst 指数分析

为了反映碳市场 Hurst 指数变化的动态规律,我们采用滚动窗口的 DFA 方法分别对 5 个碳市场进行分析,得到时变 Hurst 指数。具体而言,我们将窗口长度设置为 120 天(大约半年),两个窗口之间的时间差为 1 天,即第一个窗口表示从第 1 个交易日到第 120 个交易日,第二个窗口的时间段表示从第 2 个交易日到第 121 个交易日。本节各个 Hurst 指数图中,估计某交易日的 Hurst 指数时,对应的时间窗口是该日期往过去算 120 天(含该日)。

(1)北京碳交易市场动态分析。北京碳交易市场自 2013 年 11 月 28 日开始交易,我们首先分析其 Hurst 指数随时间变化的情况,结果如图 3 所示。而且为了探讨碳市场效率变化的原因,我们也做出了北京碳交易市场交易量、交易价格以及收益率的变化图(如图 4 和图 5 所示)。

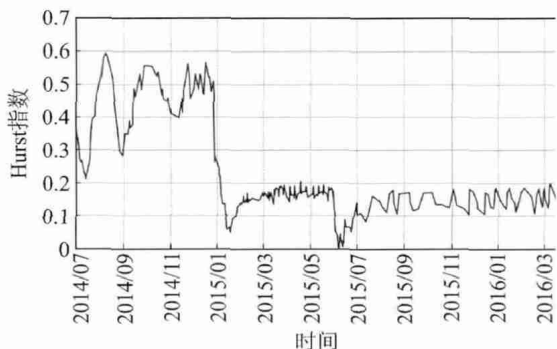


图 3 北京碳市场时变 Hurst 指数

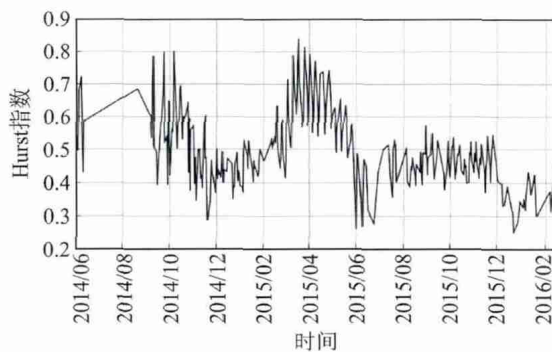


图 4 上海碳市场时变 Hurst 指数

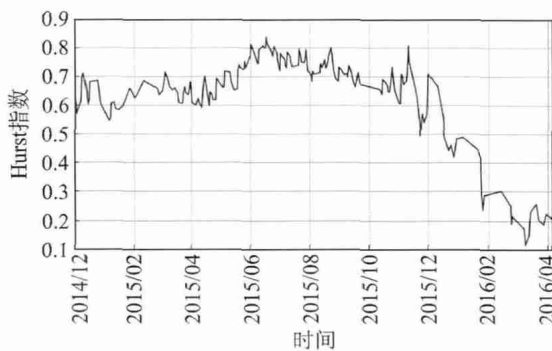


图 5 广东碳市场时变 Hurst 指数

①北京碳交易市场效率较低。从图 3 可以看出,北京碳市场交易的 Hurst 指数绝大部分时期都小于 0.5,说明自交易以来北京碳市场并不是有效的,碳价波动具有很强的持续性。实际上,在起步阶段的 2013 年,北京碳交易市场的成交量比较松散,除开市当天以外,仅仅达成 7 笔交易,交易量均低于 300 吨/天。2014 年后,虽然市场成交量开始逐渐上升,但仍然比较缓慢。截至 2014 年 4 月底,北京碳排放权线上交易一共仅产生 77 笔,成交均价在 53.17 元/吨,总量为 59950 吨,成交额仅为 322 万元左右。②到期履约时间对北京碳市场影响不大。在履约期,北京碳市场并不是有效的。历史数据表明,履约期前后,北京碳交易的交易价格和交易量都发生了较大波动,而 Hurst 指数虽然有波动却并未受到显著影响,依然在 0.5 以下低位波动,市场呈现出很强的持续性。履约期前后北京碳市场交易量出现爆炸式增长主要和政府的一系列动作以及企业履约到期时间临近有关。在政府方面,2014 年 3 月 7 日,北京市发改委发布《关于做好 2014 年碳排放报告报送核查及有关工作的通知》,从 3 月 10 日起正式启动 2013 年度碳配额调整、碳排放报告报送及核查及新增设施配额核发等工作。此外,2014 年度北

京市要求一般排放单位报送 2013 年度碳排放报告,并于 4 月 24 日对未按要求报送的 439 家一般排放单位公开“点名”催报。5 月 6 日,北京市发改委下发《关于规范碳排放权交易行政处罚自由裁量权的规定》,依此规定对碳排放权交易违法行为实施行政处罚。在企业方面,碳市场开市初期,控排企业不知道如何参与碳市场交易,对碳交易的认知程度有所欠缺,直接影响了企业快速决策,导致观望态度。履约期临近,部分企业的碳配额需求可能增加,也有部分企业剩余的碳配额急于变现,结果导致碳市场成交量陡增。

(2)上海碳交易市场动态分析。上海碳交易市场自 2013 年 11 月 26 日开始交易。根据上述方法我们得到其时变 Hurst 指数如图 4 所示,主要特征如下:①上海碳交易市场效率低。从图 4 中我们看到,上海碳市场收益率 Hurst 指数自上市以来呈现出先降后增再下降的态势。在上市前期大于 0.5,市场价格表现为持续性;然后逐渐回落到 0.5 左右;接着又经历了一轮上升和下跌,再次回到略低于 0.5 的水平,反映出碳市场价格的反持续性。实际上,经过过去几年尝试,上海尽管构建了较为完善的碳市场法律法规体系,初步建立了一套统一的碳排放核算、报告和核查体系,但仍然面临企业经营状况、碳配额分配、交易规则、碳泄漏风险和低碳技术发展等方面的不确定性,进而直接影响到控排企事业单位的碳减排率、减排成本以及分摊负担,进而影响碳市场效率^[25]。②履约期对上海碳市场效率有较大影响。履约期内,上海碳市场并不是有效市场。图 4 显示,2015 年 6—7 月份,上海碳市场收益率的 Hurst 指数经历了大幅下跌然后逐渐回升的过程,但 Hurst 值始终处于 0.5 以下。实际上,2015 年上海碳市场交易从 2 月到 5 月,碳配额价格和成交量都达到了高峰,而进入履约清缴的 6 月和 7 月后,由于碳配额供需状况变得明朗,碳价反转下跌。碳市场交易量和收益率出现急剧变化,这与 Hurst 指数震荡的时间点是一致的。履约期过后,Hurst 指数继续在略小于 0.5 的水平附近小幅震荡,碳市场表现出一定的反持续性。

(3)广东碳交易市场动态分析。广东碳交易市场自 2013 年 12 月 19 日正式启动,是目前全球仅次于欧盟、韩国的第三大碳市场。我们计算得到其 Hurst 指数随时间变化的情况如图 5 所示。结果发

现:①广东碳市场前期呈现高度持续性而近期转向反持续性。从图 5 中我们可以看出,在 2015 年 12 月以前,广东碳市场的 Hurst 指数始终大于 0.5,表明市场并不是有效的,碳配额价格表现出持续性特征。此后,Hurst 指数稳步下挫,直至小于 0.5,碳价波动转向反持续性。实际上,这种无序变化背后对应着广东碳市场的价格持续下挫,成交长期低迷。②履约期与 Hurst 指数变化相关。虽然广东碳市场的 Hurst 指数动态变化中并没有一段时间是在 0.5 左右,但是我们发现 Hurst 指数在 2015 年 6—7 月份比较稳定,维持在较高水平,而这段时间正是即将履约的时期,在履约月,碳配额需求增加,碳市场交易量明显上升,但是履约期过后,碳市场行情继续大幅下降,Hurst 指数又开始剧烈波动。

(4)深圳碳交易市场动态分析。深圳碳交易市场自 2013 年 6 月 18 日开始交易,是我国最早上市的试点碳市场。根据上述方法计算得到其时变 Hurst 指数如图 6 所示,结果显示:

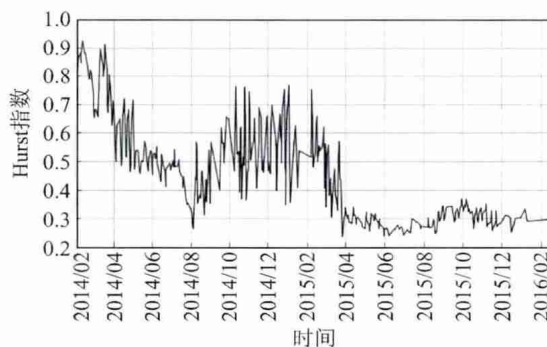


图 6 深圳碳市场时变 Hurst 指数

①深圳碳市场绝大部分时期的交易都较为活跃。统计数据表明,在我国七大试点碳交易市场中,深圳碳市场相对而言更为活跃,碳价和成交量的波动都很明显。②履约时期深圳碳市场效率并无显著提高。如图 6 所示,深圳碳市场的 Hurst 指数呈现先降后增再下降的整体态势。其中,在上市之初,深圳碳市场的 Hurst 指数大于 0.5,碳价表现出持续性特征,然后 Hurst 指数逐渐回落,趋近于 0.5,并且在 0.5 左右窄幅波动,表明市场逐渐接近有效。随后,由于碳市场行情变化,Hurst 指数持续下挫至小于 0.5,并维持低位震荡,碳配额价格呈现出反持续性特征。

与其他试点不同的是,虽然深圳碳市场大部分时期的成交较为活跃,流动性表现较好,但在履约期

来临时并没有出现预期中的成交量陡增,甚至出现了下降情况。出现这种状况可能是由于碳市场上市初期市场活跃时控排企业就基本上完成了交易需求。Hurst 指数在 2014 年 1—6 月维持在 0.5 左右,但在履约时期即 6 月份后,Hurst 指数骤降。2015 年的履约月对 Hurst 指数的影响较小,2015 年 4—12 月,深圳碳市场 Hurst 指数始终小于 0.5,维持在 0.3 左右。碳市场的效率与市场流动性密切相关,而供需关系又是影响市场流动性的重要因素。就单个控排企业而言,如果发放的碳配额能够与企业自身的排放量相匹配甚至有富余,企业的购买意愿就会降低,而且不愿意增加技术创新投入以达到节能减排效果;同时,对于个人和机构投资者而言,如果市场供大于求,则不会轻易进入碳市场。因此,碳排放配额分配的科学性对政府来说是一大考验^[26]。

(5)天津碳交易市场动态分析。天津碳交易市场自 2013 年 12 月 26 日开始交易,其时变 Hurst 指数如图 7 所示,可以看到:①天津碳市场价格呈现很强的持续性。由图 7 可以看出,天津碳市场自上市以来绝大部分时期的 Hurst 指数都大于 0.5,长期保持高位震荡,表明碳价波动呈现出很强的持续性。②履约期内天津碳市场的效率并未得到提高。2015 年履约期 6—7 月份期间,天津碳市场的 Hurst 指数增大,但从 7 月中旬开始,Hurst 指数又开始下降。履约期内 Hurst 指数有较大波动,但天津碳市场效率并未得到提高,碳价仍然有很强的持续性。

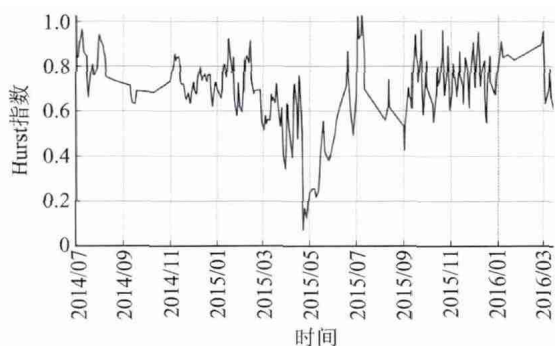


图 7 天津碳市场时变 Hurst 指数

造成上述结果的原因可能主要包括两个方面:一是天津碳市场参与企业相对较少,碳市场交易量相对较低;二是企业参与度较低。例如,天津碳市场纳入的控排企业仅有 110 余家;同时,协议转让交易占据主导比例,碳交易的“非市场化”特征明显。

五、结论与建议

本文首先运用了 DFA 方法分析了我国试点碳交易市场 2013—2016 年碳价收益率系列的分形特征,然后基于试点碳市场价格波动的标度依赖性,采用不同的时间标度进行了分析,并运用滚动时间窗口技术计算了试点碳交易市场的时变 Hurst 指数变化情况。通过以上分析,我们发现目前我国试点碳市场的效率仍然较低,市场暂时无法发挥价格发现的作用。本文考察的 5 个碳市场的单一标度 Hurst 指数均偏离 0.5,碳市场价格不符合随机游走状态,呈现出较强的持续性或反持续性。另外,投资者交易的时间比较集中,在正式启动交易后的一段时期,各试点碳市场的交易量基本上较为冷清,但在履约到期时间前 1—2 个月,市场参与主体往往迅速增多,交易量呈现爆炸式增长。随着履约清算结束,投资者纷纷离场,交易量开始下降,市场重新归于平静。

基于上述研究结论,我们也尝试为碳市场主管部门提出若干建议。首先,积极推动碳市场与金融业相结合,大力发展碳金融业务。目前试点碳市场控排企业参与交易的积极性较差,主要是由于企业履约所承担的成本较高,导致碳市场交易普遍低迷。而专业化的碳金融产品可以提高碳资产的吸引力,锁定碳价格风险,进而有效降低相关企业的履约成本、激活碳交易二级市场的活跃性。其次,尽快出台碳交易相关法律法规,增强碳交易的约束力。虽然试点省市已制定相关地方性法规保障碳交易运行,但其法律效力较弱,对企业的约束能力较差。建议国家碳交易主管部门推动全国人大层级的碳交易立法,提高碳交易制度的约束力,确保碳交易的可持续发展。第三,推动碳交易信息公开,提高公众参与度。建议在借鉴国外经验的基础上,推动试点省市逐步实现碳交易信息的公开透明,并设计相关机制吸引公众参与到碳交易的监督中来,从而有效提升社会公众的节能减排意识,为建设全国碳交易市场提供关键基础。

应该指出,本文的研究结果具有一定的不确定性。例如,由于中国碳交易市场起步较晚,碳市场交易数据较少,有可能造成实证结果的偏差。此外,本文只运用了 DFA 方法测算市场的效率,没有引入更多其他方法进行比较分析,未来有待进一步拓展。

参考文献:

- [1] 刘慧, 唐健.《京都议定书》以来碳市场的发展及问题[J]. 国际研究参考, 2014, 27(3):12-17.
- [2] G DASKALAKIS. On the efficiency of the European carbon market: New evidence from Phase II[J]. Energy policy, 2013,54(3): 369-375.
- [3] 高莹, 郭琨. 全球碳交易市场格局及其价格特征——以欧洲气候交易体系为例[J]. 国际金融研究, 2012, 29(12):82-88.
- [4] H PARK, W K HONG. Korea's emission trading scheme and policy design issues to achieve market-efficiency and abatement targets[J]. Energy policy, 2014, 75(12):73-83.
- [5] J F LI, Y X ZHANG, X WANG, et al. Policy implications for Carbon trading market establishment in China in the 12th Five-Year period[J]. Advances in climate change research, 2012, 3 (3): 163-173.
- [6] D ZHANG, V J KARPLUS, C CASSISA, et al. Emissions trading in China: progress and prospects[J]. Energy policy, 2014, 75 (12) :9-16.
- [7] H N LI, H L MU, M ZHANG, et al. Analysis of regional difference on impact factors of China's energy related CO₂ emissions[J]. Energy, 2013, 39 (1):319-326.
- [8] L TANG, J Q WU, L A YU. Carbon emissions trading scheme exploration in China: A multi-agent-based model[J]. Energy policy, 2015, 81 (6) :152-169.
- [9] L W LIU, C X CHEN, Y F ZHAO, et al. China's carbon-emissions trading: overview, challenges and future[J]. Renew sust energ rev, 2015, 49 (12):254-266.
- [10] Y J ZHANG, J F HAO. The allocation of carbon emission intensity reduction target by 2020 among provinces in China[J]. Nat hazards, 2015, 79(2):921-937.
- [11] Y J ZHANG, A D WANG, Y B DA. Regional allocation of carbon emission quotas in China: evidence from the shapley value method [J]. Energy policy, 2014, (74):454-464.
- [12] Y J ZHANG, Y M WEI. An overview of current research on EU ETS: evidence from its operating mechanism and economic effect[J]. Appl energy, 2010, 87 (6): 1804-1814.
- [13] G MILUNOVICH, R JOYEUX. Testing market efficiency and price discovery in European Carbon Market [C]// Research Papers 0701. Macquarie University, Department of Economics, 2007:35-41.
- [14] G DASKALAKIS, R MARKELOS. Are the European carbon markets efficient? [J]. Review of futures markets, 2008, 17(2) :103-128.
- [15] J SEIFERT, M UHRIG-HOMBURG, M WAGNER. Dynamic behavior of spot prices [J]. Environ econ manage, 2008, 56 (2) : 180-194.
- [16] A MONTAGNOLI, F P DE VRIES. Carbon trading thickness and market efficiency [J]. Energy econ, 2010, 32 (6) :1331-1336.
- [17] 张跃军, 魏一鸣. 国际碳期货价格的均值回归: 基于 EU ETS 的实证分析[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(2) : 214-220.
- [18] Y J ZHANG, Y S HUANG. The Multi-frequency correlation between EUA and CER futures prices: evidence from the EMD approach [J]. Fractals, 2015, 23 (2) : 1550020.
- [19] A CHARLES, O DARNÉ, J FOUILLOUX. Market efficiency in the European carbon markets[J]. Energy policy, 2013, 60 (12):785-792.
- [20] Y WANG, L LIU. Is WTI crude oil market becoming weakly efficient over time? new evidence from multi-scale analysis based on detrended fluctuation analysis [J]. Energy econ, 2010, 32 (5) : 987-992.
- [21] X Y ZHUANG, Y WEI, F MA. Multifractality, efficiency analysis of chinese stock market and its cross-correlation with WTI crude oil price[J]. Physical A, 2015, 430 (13) : 101-113.
- [22] H E HURST. Long-term storage capacity of reservoirs[J]. Transactions of the american society of civil engineers, 1951, 116(2):770-808.
- [23] A W LO. Long-term memory in stock market prices [J]. Econometrical, 1991, 59 (2) : 1279-1313.
- [24] C K PENG, S V BULDYREV, S HAVLIN, et al. Mosaic organization of DNA nucleotides[J]. Phys Rev E, 1994, 49(3):1685-1689.
- [25] L WU, H QUIAN, J LI. Advancing the experiment to reality: perspectives on Shanghai pilot carbon emissions trading scheme[J]. Energy policy, 2014, 75 (12) : 22-30.
- [26] C D PERTHUIS, R TROTIGNON. Governance of CO₂ markets: lessons from the EU ETS[J]. Energy policy, 2014, 75 (12):100-106.

Efficiency Measurement of China's Carbon Quota Trading Markets

ZHANG Yue-jun, YAO Ting, LIN Yue-peng

(1. *School of Business, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China;*

2. *Center for Resource and Environmental Management, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China;*

3. *The Wang Yanan Institute for studies in Economics, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361001, China)*

Abstract: Carbon quota trading is an effective tool for international society to address global climate change, and China has established 7 pilot carbon trading markets since 2011, with great achievements up to now. Meanwhile, China has decided to set up the national carbon trading market in 2017. The exploration for carbon market efficiency and related operating mechanisms is crucial for the establishment of national carbon market. For this reason, we employed the detrended fluctuation analysis (DFA) method to measure the single and multiple scaled Hurst exponents during 2013-2016, and we also examined the dynamic Hurst exponent for each pilot carbon market using the rolling window approach. The empirical results indicated that, for one thing, China's carbon market efficiency was still relatively lower and temporarily unable to exert the effect of price discovery during the sample period; for another, among the pilot carbon markets concerned, the active trading time was fairly concentrated during their expired periods of carbon quotas, while in other trading time, most carbon markets seemed relatively stagnant.

Key words: carbon trading; market efficiency; DFA; Hurst exponent