欧盟和湖北碳市场量价关系的多重分形特征对比研究

汪文隽 汤丽娟 陈玲玲

（合肥工业大学经济学院，安徽合肥 230601）

【摘 要】已有实证研究证明分形市场理论能够较有效地解释金融市场异象。量价关系是市场分析的切人点.研究其多重分形特征有助于理解市场价格形成过程。基于MF-XDMA方法对比分析欧盟和湖北碳市场在市场成立初期的量价关系.发现均存在多重分形特征，且均来源于波动的厚尾分布和波动的长记忆性，而后者在欧盟碳市场中是造成多甫分形的主要原因。进一步通过滑动窗口技术发现，碳市场上械价关系之间的动态机制在短期内受到外源性事件的冲击较为显著，在长期内则处于“亚稳态”。对比分析发现，同为市场成立初期，湖北碳市场的风险较欧盟碳市场更大。

【关键词】碳市场;碳配额；量价关系；多重分形

【中图分类号】F830.9**【文献标识码】**A

【文章编号】1000—5110(2017)01—0107—08

一、引言

传统的金融市场研究中，量价关系始终是一个热点问题。Karpoff提出，量价关系研究可以深人理解金融市场微观结构和市场信息传导机制。Gallant指出研究量价交互动态比仅仅研究价格可以获得更多市场信息。现有文献中关于各类市场量价关系的研究从线性模型转向非线性模璀，陈浪南等人利用TVP-VAR-GCK模墦研究最价关系的时变特征，但很少有人研究景价关系的长记忆性和多重分形特征，碳市场的量价关系研究也很少。

湖北碳交易所的湖北配额（HubeiAllowance，下称HBA)市场是交易量最大的国内碳市场，但其目前仍处于成立初期.研究其分形特征有利于更深人了解该市场量价关系的不确定性。同时，本文选择欧盟排放权交易体系（EuropeanUnionEmissionTradingScheme，下称EUETS)下的欧盟配额(Eu-ropeanUnionAllowance，下称EUA)市场进行对比分析.主要原因是:EUA市场是全球碳市场中交易量最大的市场，是全球碳配额交易市场的先驱，对HBA与EUA两个市场成立初期的比较分析可以为国内碳市场的风险控制提供借鉴。

本文以EUA和HBA两个市场成立初期的价格和交易量为样本，采用建立在DMA(DetrendmgMovingAverage)框架下的MF-DCCA方法(MultifractalDetrendedCross~correlationAnalysis)，即MF-X-DMA(MuhifractalDetrendingMovingAverageCross~correlationAnalysis)方法，对两个碳市

场上量价关系之间的长记忆性和多重分形行为进行实证研究，并分析两个市场的多重分形来源，检测外源性事件对量价波动的影响，为碳市场的量价关系研究提供新的理论视角。

二、文献综述

Fama 提出有效市场假说(EfficientMarketHypothesis,下称 EMH)，认为价格变化服从随机游走和正态分布。但是 Rozeff 和 Banz 分别发现了“一月效应”和“规模效应”，EMH 理论无法合理解释。Peters 提出分形市场假说(FractalMarketHypothesis，下称 FMH)，认为资本市场是一个复杂的非线性动态系统，具有交互性与自适应性等特征，解释了 EMH 理论无法解释的金融市场异象。

随后，大量文献将量价关系研究的视角转向分形理论。Thompson&Wilson 采用 MF-DFA 方法分析纽约股票交易量价高频数据，也发现多重分形现象。一些学者在运用分形理论对量价关系进行研究时，发现市场存在长记忆性。Ruanetal.也利用 MF-DCCA 方法研究中国黄金市场日度数据的量价关系，他们发现短期内量价关系存在明显波动，而长期内则较为稳定。Dusanetal.使用 MF-DFA 方法、MF-DXA 方法对全球十三个股票市场日度数据的量价关系进行研究.发现不同频率的数据多重分形特征也不相同，这点在 DelHancoetal.对大宗商品市场进行研究时也得到同样的结论，日度数据与月度数据的多重分形行为不同。

目前，碳金融市场上研究量价关系的文献很少，仅有王文婷运用向 M 自回归模型进行实证分析，发现碳期货合约的交易 tt 和价格序列之间存在动态协整关系，交易量变动对价格变动解释力度随时间增长逐渐减弱。近年来，已有学者开始基于分形理论研究碳市场的价格行为，例如刘静利用 MF-DXA 方法对欧盟配额市场和核准减排 M 市场之间的相关性进行研究，发现两个市场之间的关系存在多重分形特征。CaoXu 利用 MF-DCCA 方法研究碳市场和能源市场之间的相关关系。但尚未有文献基于多重分形的视角研究碳市场上的量价关系。MF-X-DMA 方法是建立在 DMA 基础上的一种 MF-DCCA 方法，特点是其使用滑动平均函数来对局部趋势进行拟合，从而提高相关系数估计的准确程度。Zhou 中将 MF-DCCA 系列的两种方法 MF-X-DMA 和 MF-X-DFA(MultifractalDetrendedFluctua-tionCross~correlationAnalysis)进行比较，发现 MF-X-DMA 方法能更准确地描述变量间的非线性依赖关系。因此，本文利用 MF-X-DMA 方法，对 EUA 市场和 HBA 市场上交易量与价格相关关系的多重分形特征进行分析和比较，以理解两个市场上量价间的非线性依赖结构以及影响机制。

三、研究方法

Zhou 提出多重分形消除趋势相关性分析方法（MF-DCCA)，JiangZhou 在 MF-DCCA 的基础之上，提出结合 MF-DMA 方法的一种 MF-DCCA，也就是 MF-X-DMA 方法。该方法的步骤如下：

假设存在两列时间序列 $\{x(i)\}$ 和 Δa，这两个时间序列的长度均为 M。

步骤 1：将两个时间序列以 s 为标准等分为 $M_v=[M/s]$ 份。对于第 v 份，区间范围为 $[l_v+1,l_v+s]$，其中 $l_v=(v-1)*s$，计算两个序列的轮廓值，分别是：

$$X_v(k)=\sum_{j=1}^{k}x(l_v+j) \tag{1}$$

$$Y_v(k)=\sum_{j=1}^{k}y(l_v+j) \tag{2}$$

其中 $k=1,2,\cdots,s$。

步骤 2：其中关于每个部分，我们假设 $\{X_v(k)\}$ 和 $\{Y_v(k)\}$ 的局部趋势函数分别是 $\{\widetilde{X}_v(k)\}$ 和 $\{\widetilde{Y}_v(k)\}$。根据局部趋势函数来求每部分的去趋势协方差：

$$F_v(s)=\frac{1}{s}\sum_{k=1}^{s}[X_v(k)-\widetilde{X}_v(k)][Y_v(k)-\widetilde{Y}_v(k)] \tag{3}$$

其中 $v=1,2,\cdots,M_v$。

局部趋势中所运用的函数是一个滑动平均函数 $\widetilde{Z}(t)$（$Z\in\{X,Y\}$）

$$\widetilde{Z}(t)=\frac{1}{n}\sum_{k=-\lceil(n-1)/2\rceil}^{\lceil(n-1)/2\rceil}Z(t-k) \tag{4}$$

步骤 3：求所有部分去趋势协方差的平均值，得到 q 阶去趋势协方差：

$$F_{xy}(q,s)=\left[\frac{1}{m}\right]\sum_{v=1}^{m}|F_v(s)^{q/2}|^{1/q} \qquad \text{当 } q\neq 0 \tag{5}$$

$$F_{xy}(0,s)=\exp\left[\frac{1}{2m}\sum_{v=1}^{m}\ln|F_v(s)|\right] \qquad \text{当 } q\neq 0 \tag{6}$$

对于当 $q=2$ 时，则可以得到标准的 MFXDMA 过程。不同的 q 值则会对应着不同的函数 $F_{xy}(q,s)$ 与 s 对应关系，改变 q 的取值重复第 2,3,4 三个步骤。

步骤 4：想要获取波动函数的标度行为，需要分析不同 q 值下的 $F_{xy}(q,s)$ 与 s 之间的双对数图。如果 $\{x(i)\}$ 和 $\{y(i)\}$ 长期幂律相关，那么随着 s 的增长，$F_{xy}(q,s)$ 呈现出符合幂律性质的结果。

$$F_{xy}(q,s)\approx s^{h_{xy}(q)} \tag{7}$$

两个时间序列之间的幂律相关性由相关指数 $h_{xy}(q)$ 来表示。水文学家赫斯特曾经在 1951 提到过当 $q=2$ 时的 Hurst 指数可以用于分析时间序列中存在的长记忆性。如果 $h_{xy}(2)>0.5$，意味着 $\{x(i)\}$ 和 $\{y(i)\}$ 两个时间序列彼此间的相关关系存在着长期记忆特征；而如果 $h_{xy}(2)<0.5$，则表明 $\{x(i)\}$ 和 $\{y(i)\}$ 两个时间序列间所处的状态是反持续的状态。

步骤 5：Shadkhoo 和 Jafari[①] 提出多分形标度 $\tau_{xy}(q)$ 和 q 之间的关系：

$$\tau_{xy}(q)=q*h_{xy}(q)-1 \tag{8}$$

如果 $\tau_{xy}(q)$ 与 q 之间存在非线性关系，那么也就意味着 $\{x(i)\}$ 和 $\{y(i)\}$ 两个序列间的相关性存在着多重分形的行为。

步骤 6：经过勒让德转换，得到多重分形谱，即

$$\alpha=h_{xy}(q)+q*h'_{xy}(q) \tag{9}$$

$$f_{xy}(\alpha)=q*(\alpha-h_{xy}(q)+1) \tag{10}$$

多重分形行为分析中，多重分形谱中的 α 值所代表的含义是在某段时间内，被测度对象整体走势的相对强弱大小，$\alpha_{\min}$ 代表低走势位置，而 $\alpha_{\max}$ 代表高走势位置，$\Delta\alpha$ 则是取 $\alpha_{\max}$ 和 $\alpha_{\min}$ 之间差值，描述其多重分形行为，衡量序列整体波动程度。

四、实证研究

（一）数据选取

本文选取 FAJA 市场和 HBA 市场成立初期的日度量价数据作为样本，数据来自 wind 数据库。EUA 数据样本范围为 2005 年 4 月 28 日至 2007 年 6 月 29 日，样本量为 552 个。HBA 数据样本范围为 2014 年 4 月 28 日至 2016 年 6 月 30 样本域为 536 个。两个市场收益率序列和交易量变化率序列的描述性统计见表 1 所示。

表 1　EUA 市场和 HBA 市场收益率和交易量序列的描述性统计

市场	EUA		HBA	
	收益率	交易量变化率	收益率	交易量变化率
均值	−0.008579	0.006975	−0.000708	−0.002364
标准差	0.061508	0.687246	0.028175	1.562846
偏度	−0.516393	−0.014453	0.306001	−0.047025
峰度	16.14091	8.933144	9.806348	9.405204
Jarque-Bera	3996.254＊＊＊	809.6697＊＊＊	1042.987＊＊＊	916.4592＊＊＊
自相关 Q(20)	60.289＊＊＊	84.411＊＊＊	71.371＊＊＊	143.46＊＊＊
长记忆性(H)	0.2499	0.1679	0.2041	0.1546

从表 1 可以看出，EUA 收益率序列标准差大于 HBA 市场，偏离收益率均值的离散程度较大。HBA 交易量序列标准差大于 EUA 市场，偏离交易量均值的离散程度较大。峰度、偏度数据以及 JB 统计值均表明所有序列都呈现尖峰厚尾分布形态。此外，自相关检验发现收益率和交易量序列在交易时间滞后一个月左右时都呈现出显著自相关性。R/S 分析中广义 Hurst 指数表明，所有序列均服从分形布朗运动，属于反持续的状态。

（二）EUA 市场和 HBA 市场量价关系的多重分形行为分析

这一部分将 MF-X-DMA 方法运用到 EUA 和 HBA 两个市场的績价关系中，以研究交易量和价格之间的关系是否存在非线性依赖，并检验量价关系间是否存在多重分形特征及长记忆性特征。图 1(a，b，c，d)是 EUA 市场和 HBA 市场的量价关系多重分形图。

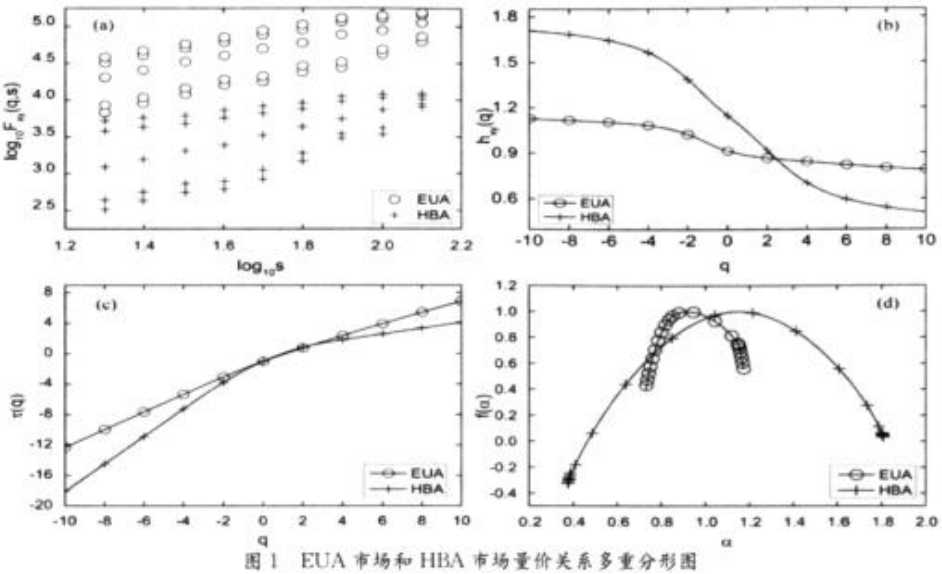

图 1　EUA 市场和 HBA 市场量价关系多重分形图

图 1 中的(a)图是相关系数 F_{xy} 与标准 s 双对数图，通过图像可以看出当 q 取值从－10 到 10 时，s 与 F_{xy} 存在非线性依赖关系，两个市场量价波动函数均符合幂律性质。

图 1 中的(b)图是相关系数指数 $h_{xy}(q)$ 与分阶 q 关系图，当 q 从－10 变化到 10 的过程中，EUA 市场量价相关系数指数 $h_{xy}(q)$ 从 1.1298 递减至 0.7890，HBA 市场则从 1.7082 递减至 0.5105，两个市场中 $h_{xy}(q)$ 均不是常数，存在明显的多重分形现象，因此以往文献中使用的单一分形模型并不适用。当分形阶度为 2 时，EUA 市场和 HBA 市场的相关系数指数分别为 0.8661 和 0.9179，均大于 0.5，根据广义 Hurst 指数的性质，表明两个碳市场的量价关系均存在长记忆性。此外，HBA 市场的变化范围比 EUA 市场大，表明 HBA 市场多重分形行为更明显，风险更大。

图 1 中的(c)图是分形标度 $\tau_{xy}(q)$ 和 q 关系图，可以看出两个市场的 $\tau_{xy}(q)$ 与 q 之间均是非线性，表现为凸的递增函数，也证明了 EUA 市场和 HBA 市场上的量价关系存在着多重分形行为。

图 1 中的(d)图是两个市场量价关系的多重分形谱，其宽度可以衡量多重分形行为的强度。图中可以看出随着 α 的变动，$f(\alpha)$ 也在相应的范围内变化。其中，EUA 市场的 α 值在 0.7290 到 1.1739 之间，HBA 市场在 0.3875 到 1.8017 之间，从 α 值变化范围来看，EUA 市场和 HBA 市场值分别为 0.4449 和 1.4142，可见 HBA 市场量价关系波动的幅度更大，表明其多重分形程度更强，风险较大。

（三）量价关系多重分形特征的来源分析

金融时间序列中多重分形特征主要有两个来源.一是来源于波动的长记忆性，二是来源于波动的厚尾概率分布(KantelhardtZschiegneretal.)。为了研究长记忆性对于多重分形特征的贡献，可以

对数据进行随机重排，重排后的序列与原序列有相同概率分布，但长记忆性被破坏。为了研究厚尾概率分布对于多重分形的贡献.可以对数据进行相位调整，对原序列先进行离散的傅立叶变换.旋转相位角，最后傅立叶逆转换得到新序列，该序列的概率分布与原序列不同，但序列的长记忆性没有改变。

图 2、图 3、图 4 分别为 EUA 市场和 HBA 市场原始序列、相位调整和随机重排后的量价关系多重分形行为图。从图 2、图 3、图 4 可以发现，无论是 EUA 市场还是 HBA 市场，经过相位调整和随机重排两种数据调整方式后，所有序列都具有多重分形特征，量价相关系数指数 hxy(q)以及分形标度的变化范围都显著减小。

原序列、相位调整、随机重排后的量价关系相关系数指数表见表 2,原序列、相位调整、随机重排后的量价关系多重分形谱宽度表见表 3。

当 g=2 时，除了 EUA 市场随机重排后的序列相关系数指数之外，所有的相关系数指数均大于 0.5,说明序列的长记忆性是 EUA 市场和 HBA 市场上量价关系的多重分形特征的原因。

多重分形谱的宽度反映多重分形的强度，从表 3 可以发现,EUA 市场和 HBA 市场的原始序列在相位调整和随机電排处理后，多重分形谱宽度均显著下降，所以波动的长记忆性和波动的厚尾概率分布都是两个市场量价关系多重分形的来源。在 EUA 市场中.随机重排后的多重分形谱宽度比相位调整之后的宽度减少更为显著，因此长记忆性是 EUA 市场量价关系多重分形的主要原因，而对于 HBA 市场，相位调整后与随机重排后的多重分形谱宽度减少幅度大致相同，因此长记忆性和厚尾概率分布均是该市场上量价关系多重分形的主要原因。

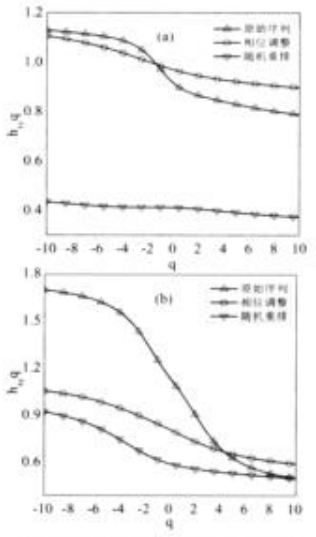

图 2 量价关系相关系数指数图

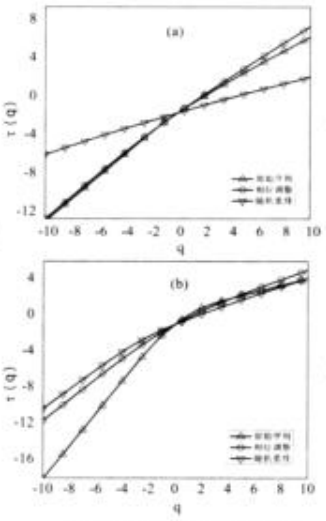

图 3 量价关系分形标度图

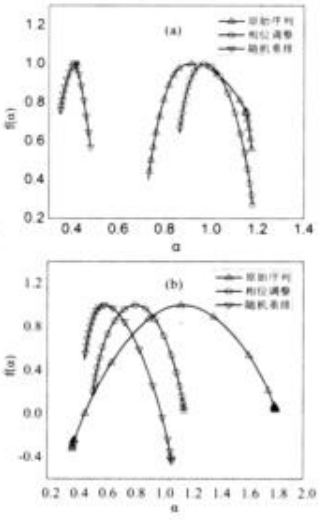

图 4 量价关系多重分形谱

表 2　原序列、相位调整、随机重排后的量价关系相关系数指数 $h_{xy}(q)$ 表

	EUA 市场			HBA 市场		
阶数 q	原始序列	相位调整	随机重排	原始序列	相位调整	随机重排
−10	1.1298	1.1056	0.4349	1.7082	1.0654	0.9323
−8	1.1201	1.0887	0.4261	1.6847	1.0419	0.8967
−6	1.1080	1.0663	0.4182	1.6449	1.0074	0.8409
−4	1.0873	1.0337	0.4136	1.5650	0.9571	0.7578
−2	1.0276	1.0027	0.4129	1.3867	0.8927	0.6654
0	0.9166	0.9701	0.4121	1.1489	0.8206	0.6034
2	0.8661	0.9459	0.4062	0.9179	0.7457	0.5705
4	0.8415	0.9290	0.3968	0.7044	0.6871	0.5500
6	0.8202	0.9161	0.3873	0.5961	0.6482	0.5345
8	0.8027	0.8508	0.3796	0.5418	0.6214	0.5216
10	0.7890	0.8978	0.3736	0.5105	0.6018	0.5107
差值	0.3408	0.2078	0.0613	1.1977	0.7393	0.4216

表 3　原序列、相位调整、随机重排后的量价关系多重分形谱宽度表

		α_{min}	α_{max}	$\Delta\alpha$
EUA 市场	原始序列	1.1739	0.7290	0.4449
	相位调整	1.1787	0.8620	0.3167
	随机重排	0.4783	0.3477	0.1306
HBA 市场	原始序列	1.8017	0.3875	1.4142
	相位调整	1.1627	0.5173	0.6454
	随机重排	1.0756	0.4605	0.6151

为检验 EUA 市场和 HBA 市场上的量价动态交互机制，本部分基于滑动时间窗口对序列进行分析，该方法是金融市场上一种研究交叉关系的常见方法(参见 Grech&Pamula，2008)。该方法的实证结果取决于窗 U 的大小，如果窗口太大，会失去重要信息，如果窗口太小，波动会影响观察到的趋势。本文中选取窗口大小为 250 天，大约为一年的交易日。图 5 是 EUA 市场和 HBA 市场的 Hurst 指数在窗口固定为 250 天的图。

如图 5 所示，在两个市场成立初期，量价间的 Hurst 指数大于 1，市场量价相关关系较弱，随着市场逐渐成熟，Hurst 指数保持在 0 到 1 之间，市场量价关系保持密切相关关系。EUA 市场的 Hurst 指数在 0.92 附近波动，湖北碳市场的 Hurst 指数在 0.8 附近波动，均大于 0.5,这表明两个碳市场的量价关系表现出明显的长记忆性。

与此同时，碳市场的波动不仅仅取决于市场内部的长记忆性和相互影响，同时还会受到外源性事件的冲击。从图 5 可见，EUA 市场在 2006 年第四季度的 Hurst 指数明显下降，这是由于该市场 2006 年底交易量剧烈上升，对市场冲击剧烈，与历史数据的长记忆性逐渐减弱，而随着信息流入市场的透明化，市场长记忆性在 2007 年第一季度有所回升。

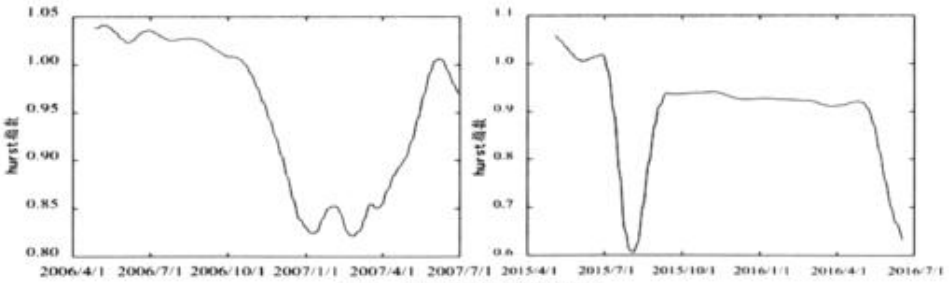

图 5　Hurst 指数滑动窗口图

对于 HBA 市场而言，在 2015 年第三季度以及 2016 年 5 月后 Hurst 相关系数指数剧烈变动。2015 年 6 月，国家外汇管理局正式批复同意合格境外投资者参与湖北碳市场，市场活跃度和流动性增力口，量价关系与历史数据的长记忆性逐渐减弱，但仍保持正向相关关系。随着投资者接受了市场信息，市场逐渐归于平缓，量价关系又恢复了与历史数据的长记忆性。而在 2016 年 5 月，湖北碳市场成为交易量第一个突破亿吨的国内市场，同时凭借 4 月底设立的“全国碳交易能力建设培训中心”，服务体系建设平台逐渐完善，这些都给投资者巨大的信心，市场行情高涨，量价关系与历史数据的长记忆性减弱。

尽管外源性事件可以解释短期内市场上的量价关系相关系数指数的波动行为，但是从长期来看，两个市场的 Hurst 指数大多数在 0.5～1.0 的范围内，呈现为长记忆性，处于一种较为稳定的状态。外源性事件通过信息传导机制来影响价格，而投资者的交易量则反映了投资者对于信息的反馈。也就是说，短期内外源性事件通过价格和交易量间的动态机制对市场造成影响，而长期内量价间仍处于“亚稳态(Metastable)”。

五、结论和启示

本文利用 MF-X-DMA 的方法，对欧盟碳配额市场和湖北碳配额市场上最价间的多重分形特征进行分析和比较，得出结论和启示如下：

(一)EUA 市场和 HBA 市场的收益率序列均具有明显的非正态、自相关、尖峰厚尾的特征。这也验证了很多学者对于有效市场假说的怀疑，在 EUA 市场和 HBA 市场上，基于传统的有效市场理论框架无法刻画出该市场真实的价格行为。

(二)EUA 市场和 HBA 市场的量价关系间存在非线性依赖、多重分形及长记忆性特征。基于此，对于碳市场的研究不能局限于向讀自回归等传统计讀方法，而是需要基于多重分形理论研究其非线性依赖关系，才能准确把捉市场价格形成过程。因此，本文为研究碳金融市场提供了新的理论视角。

(三）同为市场成立初期，HBA 市场多重分形程度比 EUA 市场强，前者市场风险更大。因此，对于湖北碳市场而言，应该健全市场风险体系，需要构建完善的风险评估、风险监控、风险应对一体化的风险防控体系，对突发性风险进行有效处理，保障投资者利益。

（四）EUA 市场量价多重分形的主要原因是不同程度的波动的长记忆性，HBA 市场量价多重分形的原因是波动的长记忆性和波动的厚尾概率分布。鉴于市场上量价关系长记忆特征的存在，分析碳市场行为时需要考虑到时间范围要大于长记忆特征的周期长度，才可以基于独立同分布假设进行实证研究。此外，长记忆性会导致历史数据造成的影响短期内不会消失，因此在记忆周期内，可以对碳市场风险进行预测。

(五)在 EUA 市场和 HBA 市场上，短期内外源性事件通过价格和交易董间的动态交互机制对市场造成影响，而长期内量价关系仍处于“亚稳态(Metastable)”。因此，要加强市场的风险防控能力以应对外源性事件带来的市场波动。一方面政府要对碳市场进行全面、系统的风险防控管理•减少波动带来的影响，另一方面建议政府出台碳市场相关政策时，给市场一定的缓冲时期，以减少外源性事件对市场的冲击。