

DOI:10.16515/j.cnki.32-1745/c.2019.03.008

我国试点地区碳排放权交易价格波动特征

——基于 GARCH 族模型和在险值 VaR 的分析

李菲菲¹, 江浩¹, 许正松²

(1. 亳州学院经济与管理系, 安徽 亳州 236800; 2. 皖西学院经济与管理系, 安徽 六安 237012)

摘要: 选取北京、上海等碳排放试点地区的碳交易价格周数据, 利用 GARCH 族模型分析讨论试点地区碳交易价格波动和风险特征, 利用在险值 VaR 验证碳价波动风险差异, 提出增强碳市场规模、提高碳交易活跃度、采取可行的方法监测各地碳交易价格波动、有效规避交易风险等建议。

关键词: 碳排放交易价格; GARCH 族模型; 在险值 VaR 验证; 风险特征; 波动特征

中图分类号: F206

文献标识码: A

文章编号: 1673-131X(2019)03-0035-06

Price Fluctuation Characteristics of Carbon Emissions Rights Trading in Pilot Provinces and Cities of China Based on the Analysis of GARCH Family Model and Value at Risk (VaR)

LI Fei-fei¹, JIANG Hao¹, XU Zheng-song²

(1. Bozhou College, Bozhou 236800, China; 2. West Anhui University, Lu'an 237012, China)

Abstract: Choosing the weekly data of carbon emissions rights trading price in pilot areas, Beijing, Shanghai, and so on, GARCH model was used to analyze the price fluctuations of carbon emissions rights trading and risk characteristics. Using the value at risk (VaR) to verify the risk difference of carbon price fluctuation. It is suggested that the scale of carbon market should be further strengthened; the activity level of carbon trading should be enhanced; feasible methods should be adopt to monitor the price fluctuations of carbon trading in different regions; and the trading risks should be effectively avoided.

Key words: the trading price of carbon emission rights; GARCH family model; the verification of value at risk (VaR); risk characteristics; fluctuation characteristics

为应对气候变化和空气污染, 承担起负责任大国的碳减排任务, 我国明确提出建立碳排放交易市场。2013 年 6 月起, 相继在北京、上海、广东、天津、深圳、湖北和重庆启动碳排放交易试点。截至 2018 年初, 试点地区累计二氧化碳排放权成交额已超 47 亿元, 配额成交量超过 2 亿吨二氧化碳当量。碳排放强度和总量均呈下降趋势, 较好地控制了温室气体的排放。目前碳排放试点经验将向全

国推广, 但由于试点地区分布于东、中、西部, 区域污染状况的不同导致各地碳交易价格悬殊大, 价格波动出现明显差异, 而合理有效的碳交易价格是碳市场良好运行的保障。因此, 研究试点地区碳价波动特征对保证碳市场平稳有效运行、帮助企业合理规避碳交易价格风险及政府平抑碳价剧烈波动的政策制定具有重要意义。

收稿日期: 2019-03-28

基金项目: 安徽省高校自然科学重点项目(KJ2018A0817); 安徽省哲学社会科学规划重点项目(AHSKZ2018D06); 安徽高校人文社科重点项目(SK2016A0979)

作者简介: 李菲菲(1986-), 女, 安徽亳州人, 讲师, 硕士, 主要从事计量金融、环境污染研究。

一、文献综述

我国碳价具有季节性和地区差异性特征,不同试点地区碳交易风险及在险值 VaR 的统计特征也不同。秦天程构建 CAPM-GARCH 模型和 VaR 模型发现,碳排放权交易价格是新能源公司股价变动的重要因素,国内新能源股票的系统风险表现出非对称性,利好消息引起的收益率波动比利空消息大。吕勇斌运用 GARCH 族模型研究发现,我国碳排放权交易的收益率波动具有聚集特征,碳价变化呈现地区差异性^[1]。郭白滢通过研究碳交易价格水平及其波动发现,我国各试点地区碳交易价格具有季节性特征,且市场活跃度可通过引入机构和个人投资者提高市场活跃度,且碳交易价格具有季节性特征^[2]。魏素豪运用 R/S 分析法检验我国碳价非线性特征和状态,发现各试点市场的交易风险不同且不存在周期性循环^[3]。杜莉通过 ARCH 族类模型研究发现,不同试点地区碳交易所的风险、价格冲击带来的衰减速度、VaR 的统计特征均有较明显差异^[4]。

因此,本文拟在已有研究的基础上,首先利用 GARCH 族模型分析讨论各试点地区碳价波动的特征,然后利用在险值 VaR 验证波动风险差异。

二、实证研究

(一)GARCH 模型和 TAR 模型

1. GARCH 模型

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \quad (1)$$

其中, u_{t-1}^2 为 ARCH 项, σ_{t-1}^2 为 GARCH 项, σ_t^2 表示 u_t 的条件方差。

2. TAR 模型

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \nu u_{t-1}^2 d_{t-1} + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \quad (2)$$

$$d_t = \begin{cases} 0 & (u_t \geq 0) \\ 1 & (u_t < 0) \end{cases}$$

其中, $u_t > 0$ 表示利好消息, $u_t < 0$ 表示利空消息。模型中,利好和利空消息对条件方差波动的影响分别是 α_1 、 $\alpha_1 + \nu$ 。当 $\nu \neq 0$ 时,条件方差对冲击的反应是非对称的,称为杠杆现象^[5]。

3. 在险价值 VaR

$$P(\Delta p \Delta t \leq VaR) = a \quad (3)$$

其中, P 表示资产价值损失小于可能损失上限的概

率, Δp 表示某一金融资产在一定持有期 Δt 的价值损失额, VaR 表示给定置信水平 α 下的在险价值,即可能的损失上限。 VaR 的计算方法有 3 种:历史模拟方法、分析性的方差-协方差方法、蒙特卡洛方法。本文采用蒙特卡洛方法,借助于 GARCH 方程的估计结果,预测出下一期的均值收益和条件方差,公式为

$$VaR = \text{均值} - \text{置信水平 } \alpha \text{ 下的分位数} \times \text{条件方差} \quad (4)$$

(二)变量及数据说明

由于我国试点地区开始碳排放交易的时间不同,为方便比较,选取最后开放的试点地区开始碳排放交易的时间为起始时点,即统计 2014 年 6 月 27 日至 2018 年 4 月 23 日北京、上海、广东、天津、深圳、湖北的交易日碳交易收盘价格^①,分别用 b_j 、 sh 、 gd 、 tj 、 sz 、 hb 表示。北京碳交易的收益率公式为

$$P_{b_j} = \ln\left(\frac{b_{j_t}}{b_{j_{t-1}}}\right) = \ln(b_{j_t}) - \ln(b_{j_{t-1}}) \quad (5)$$

其他试点地区碳交易的收益率依此公式类推。

(三)试点地区碳交易价格波动特征

1. 碳交易活跃度、交易价格及交易量特征。本文用有交易量的天数占总天数的比例表示市场活跃度。由表 1 可知,湖北碳市场交易最活跃,最不活跃的是天津,其他地区市场活跃程度相差不大。湖北最先引入个人和机构投资者,这对活跃碳市场交易起到推动作用;天津纳入碳排放的企业大部分是国企和央企,对企业是否进入碳市、是否履约缺乏有效约束条件,惩罚力度较轻,碳市场交易处于低迷状态。各试点地区碳价格差异较大,区域性差异显著。由于试点地区所处的地理位置不同,资源与环境禀赋的差异导致碳减排成本存在差别,因此碳交易平均价格也有较大不同。北京和深圳的碳交易平均价格远高于其他市场。上海碳排放交易价格的波动幅度最大,主要是因为上海尚未形成以市场为基础的价格机制,碳价的大幅波动并没有真实反映碳交易市场的供需情况,也无法反映出真正的减排成本。湖北的碳交易量在试点地区中遥遥领先,这是因为其第二产业结构偏重,控排企业多,对碳排放有“刚需”。在交易规则上,增加碳交易种类也在一定程度上增加了湖北的碳交易量。

① 由于重庆碳交易市场在整个研究时段内有交易量的天数过少,本文暂时不研究其价格波动特征。数据来自中国碳排放交易网(<http://www.tanpaifang.com>)。

表 1 碳交易价格与成交量对比

试点地区	有交易量天数占总天数的比例/%	平均交易价格/(元/吨)	标准差	平均交易量/(吨/日)	标准差
北京	58.4	50.013 77	6.695 641	6 683.7970	18 938.670
上海	56.9	24.599 59	12.327 190	9 438.006 0	34 647.470
广东	76.3	18.429 01	9.876 187	34 773.410 0	116 916.200
天津	34.8	17.555 21	6.674 065	2 864.000 0	38 335.700
深圳	49.2	40.776 29	9.129 928	965.928 8	4 640.617
湖北	96.3	19.789 59	4.659 376	44 018.720 0	92 260.910

2. 碳价对数收益率的图形特征。由图 1 可知,试点地区碳价收益率序列均围绕“0”上下波动,收益率波动较大的时期相对集中,呈现“波动聚集”特征。

3. 碳交易对数收益率的正态性检验。由表 2 可知,上海碳价对数收益率序列标准差最大,表明该序列的价格波动最大,风险最高。上海、天津、深

圳和湖北的偏度大于零,说明以上地区碳价的对数收益率序列有长的右拖尾。北京和广东的碳价对数收益率序列具有左拖尾现象。试点地区碳价收益率的峰度均大于 3,说明各序列均具有“尖峰厚尾”的特征,且 J-B 统计量的 P 值都为 0,表明碳价的收益率序列均拒绝服从正态分布。

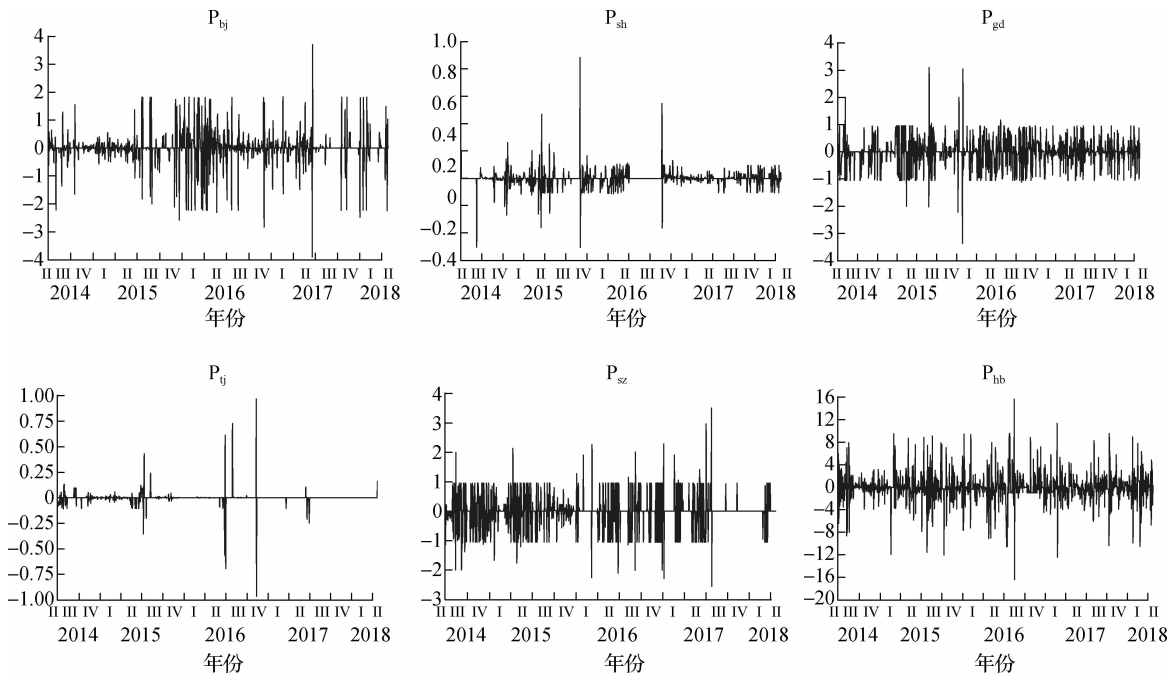


图 1 试点地区碳价对数收益率序列

表 2 碳交易价格对数收益率序列的基本统计特征

试点地区	均值	标准差	偏度	峰度	J-B 量的 P 值
北京	-0.000 242	0.058 853	-0.765 760	12.220 190	0.000 000
上海	-5.16E-06	0.064 080	2.281 040	57.395 290	0.000 000
广东	-0.001 609	0.053 946	-0.112 381	6.888 327	0.000 000
天津	-0.001 299	0.067 931	0.379 381	121.813 000	0.000 000
深圳	-0.000 485	0.061 598	0.073 551	5.787 498	0.000 000
湖北	-0.000 394	0.028 227	0.152 449	8.579 107	0.000 000

4. 碳价对数收益率序列的平稳性、异方差和 ARCH 效应检验。观察试点地区碳价对数收益率序列图发现序列表现出随机游走过程,因此在

ADF 检验时选择既不含趋势项也不含截距项。检验结果显示:试点地区碳价收益率均为平稳序列。异方差 White 检验的原假设是序列的方差相同,

检验 P 值均小于 0.05, 说明不接受原假设即序列存在异方差性。试点地区碳价对数收益率序列存在异方差性表明各地区碳价均有极端价格波动和极端风险, 各地区碳价收益率序列的波动有较大差异。对是否存在 ARCH 效应的检验采取 ARCH-LM 检验方法, F 统计量是对所有残差平方滞后项的联合显著性检验的统计量, F 统计量所对应的 P 值均小于 0.05, 表明试点地区碳价对数收益率序列均存在 ARCH 效应, 可建立 GARCH 模型。

(四) 实证检验结果

1. GARCH 模型和 TAR 模型的估计结果。试点地区碳价对数收益率序列的统计特征表明, 建立 GARCH 模型可更好地描述收益率序列的波动特征。首先, 确定 ARCH(P) 模型的滞后阶数, 根据 AIC 和 SC 最小准则, 经过比较, 选择适合的滞后阶数。然后, 根据拟合效果和简洁性要求, 采用 GARCH(1,1) 模型估计碳价收益率序列。结果显示: 北京碳价收益率序列的 GARCH 项系数最大, 为 0.803 886, 表明碳价的条件方差主要受历史前期条件方差的影响; 天津碳价收益率序列的 ARCH 项系数最大, 为 0.889 366, 表明碳价波动性主要受外部冲击影响; 试点地区碳市场的 GARCH 项系数均显著, 表明收益率序列均与其历

史前期收益率显著相关。此外, 北京、广东、深圳、湖北碳价收益率的方差方程中, $\alpha + \beta$ 的值都比较接近 1, 表明 4 个地区碳市场的收益率是弱平稳的, 波动会逐渐衰减, 属于弱有效市场。按照当前的波动趋势, 碳市场的收益率序列会收敛于其碳价的真实价格, 表现出一定的价格预示作用。

由公式(4)可知 ν 为非对称项系数, 表 4 的估计结果显示: 北京碳价收益率序列的非对称项系数为 -0.079 359, P 值为 0.018, 表明系数是显著的, 说明北京碳价存在负杠杆效应; 其他 5 个地区的非对称项系数均不显著, 但系数不为 0, 表明其碳价收益率序列存在弱杠杆效应。

2. VaR 值估计结果。根据 GARCH 模型参数估计结果, 可根据公式(6)计算各试点地区置信水平分别为 99% 和 95% 的碳交易收益率序列每天的 VaR 结果(表 5)。由于 VaR 值表示一定置信水平和持有期条件下某种资产可能的最大损失, 所以通过 VaR 标准差可以衡量某地区碳价收益率损失的波动幅度。结果显示: 北京碳价收益率 VaR 的标准差最大, 在 95% 置信水平下为 0.051 19, 表明交易期内北京碳价收益率损失的波动幅度最大, 这可以为个人和机构投资者规避市场交易风险提供参考。表 5 的最后一列是实际收益率低于 VaR 值的

表 3 碳价对数收益率 GARCH 模型估计结果

项目	北京	上海	广东	天津	深圳	湖北	
均值 方程	c_1	-0.003 362 (0.012 800)	—	—	—	—	
	ar(1)	-0.241 337 (0)	-0.035 250 (0.548 700)	-0.119 034 (0.003 200)	0.393 387 (0)	-0.150 038 (0)	-0.261 226 (0)
	ar(3)	—	-0.064 928 (0.183 200)	—	—	—	—
	ar(7)	—	0.029 205 (0.306 000)	—	—	—	-0.131 652 (0)
	ar(9)	—	—	—	—	—	—
	ar(10)	—	—	—	—	—	-0.042 891 (0.047 800)
方差 方程	c_2	0.000 228 (0)	0.001 771 (0)	0.000 499 (0)	0.002 569 (0)	0.000 418 (0)	0.000 355 (0)
	α	0.144 840 (0)	0.190 616 (0)	0.366 247 (0)	0.889 366 (0)	0.330 820 (0)	0.408 640 (0)
	β	0.803 886 (0)	0.376 384 (0.000 500)	0.503 305 (0)	-0.031 770 (0.000 100)	0.591 105 (0)	0.151 853 (0.006 300)
	AIC	-3.108 666	-2.828 759	-3.196 199	-3.157 240	-3.064 201	-4.538 782
	SC	-3.084 029	-2.799 052	-3.176 489	-3.137 531	-3.044 491	-4.509 003

注: α 为 ARCH 项系数, β 为 GARCH 项系数。

表4 碳价对数收益率 TARCH 模型估计与 TARCH 模型的方差方程估计结果

参数	北京	上海	广东	天津	深圳	湖北
C_2	0.000 242 (0)	0.001 816 (0)	0.000 486 (0)	0.002 129 (0)	0.000 423 (0)	0.000 354 (0)
α	0.201 038 (0)	0.122 157 (0.002 900)	0.441 542 (0)	0.937 670 (0)	0.359 150 (0)	0.381 282 (0)
ν	0.079 359 (0.018 000)	0.167 133 (0.073 500)	-0.125 361 (0.090 900)	-0.164 102 (0.358 200)	-0.044 553 (0.439 800)	0.045 760 (0.591 900)
β	0.790 653 (0)	0.354 838 (0.003 400)	0.504 258 (0)	-0.016 815 (0.003 000)	0.585 957 (0)	0.155 355 (0.006 100)
AIC	-3.109 785	-2.831 721	-3.197 034	-3.176 131	-3.062 532	-4.536 914
SC	-3.080 221	-2.797 063	-3.172 397	-3.151 494	-3.037 895	-4.502 172

表5 碳交易所每日 VaR 值计算结果

试点地区	置信水平	最小值	最大值	中位数	VaR 均值	VaR 标准差	样本数/个	实际收益低于 VaR 的天数	实际收益低于 VaR 天数的比例/%
北京	99%	-0.401 2	-8.634 E-05	-0.010 4	-0.031 7	0.050 7	996	0	0
	95%	-0.398 1	-5.956 E-05	-0.023 0	-0.007 4	0.051 2	996	0	0
上海	99%	-0.009 5	-0.001 9	-0.009 5	-0.009 5	0.000 3	989	194	19.60
	95%	-0.006 8	-0.003 1	-0.006 8	-0.006 8	0.000 1	989	177	17.90
广东	99%	0.011 7	0.000 5	-0.008 9	-0.008 9	0.000 3	995	275	27.60
	95%	0.008 6	-0.002 6	-0.006 3	-0.006 3	0.000 2	995	287	28.80
天津	99%	-0.042 0	-0.019 5	-0.042 0	-0.041 8	0.001 7	995	39	3.92
	95%	-0.029 8	-0.014 9	-0.029 8	-0.029 6	0.001 1	995	50	5.03
深圳	99%	-0.015 5	-0.002 9	-0.012 5	-0.012 3	0.000 8	995	208	20.90
	95%	-0.016 0	-0.002 0	-0.008 8	-0.008 7	0.000 6	995	213	21.40
湖北	99%	-0.015 8	0.000 7	-0.001 9	0.001 9	0.000 6	986	330	33.50
	95%	-0.015 3	-0.000 1	-0.001 3	-0.001 4	0.000 6	986	345	34.90

天数占整个交易时期的比例,此项数据表明,在99%和95%的置信水平下,GARCH模型中北京和天津碳市场的准确性最高;而上海、深圳、广东和湖北碳市场的准确性不高。原因可归结为,我国部分试点地区的碳排放交易市场目前仍是一个新兴市场,交易规模较小,交易结构和体制尚不够成熟完善。尽管如此,还是可以看出 VaR 的计算结果与 GARCH 模型的估计结果很吻合。

三、结论与建议

(一) 结论

1. 试点碳交易市场中,各地区交易活跃度、交易量和价格均有较大的区域差异。其中,湖北碳交易最为活跃,交易量也排第一;北京碳交易的平均价格最高;上海交易价格波动幅度最大。

2. 北京碳交易价格收益率序列的条件方差受历史前期条件方差影响最大,而天津碳交易价格收

益率序列的波动主要受外部冲击的影响。北京、广东、深圳、湖北碳价收益率序列逐渐衰减,是弱有效市场。同时,北京碳价收益率序列存在杠杆效应,利好消息对碳价的影响超过利空消息。

3. 试点地区 VaR 值估计结果显示,北京碳价收益率损失的波动幅度最大,这与 GARCH 模型的估计结果一致,且 GARCH 模型估计中北京和天津碳市场的准确性最高。

(二) 建议

1. 进一步增强碳市场的规模,提高碳交易的活跃度。由于湖北碳交易最为活跃,交易量也大,因此各地可借鉴湖北碳交易初始配额投放和企业配额事后调节机制,增加实际碳排放权交易量,激发企业交易欲望。一方面要降低企业、机构和个人投资者的准入门槛,配额相应从紧,市场容量也相应扩大,增强市场流动性,进一步发挥碳交易的价格发现功能;另一方面应增加碳产品种类,丰富和多样化交易品种以更好地满足企业投资和规避风险

的需要,提高碳市场活跃度。

2. 监管部门和各碳交易所要采取可行的方法监测各地碳交易的价格波动,有效规避碳价波动风险。北京碳交易价格较高且收益率损失波动幅度较大,反映出其在碳减排方面具有较高的成本,因此应积极调整产业结构,加快工业企业迁入副首都的步伐。上海碳交易价格的大幅波动增加了市场交易风险,因此应建立正规交易平台和监督平台,积极探索提高交易主体参与度的方法,增强各纳入排放范围企业申报数据的透明度,减少因市场信息披露造成的交易主体错误判断,减少外部冲击对价格收益率的影响,降低碳交易价格的波动风险。

参考文献:

- [1] 吕勇斌,邵律博. 我国碳排放权价格波动特征研究——基于 GARCH 族模型的分析[J]. 价格理论与实践, 2015(12):62-64
- [2] 郭白滢,周任远. 我国碳交易市场价格周期及其波动性特征分析[J]. 统计与决策, 2016(21):154-157
- [3] 魏素豪,宗刚. 我国碳排放权市场交易价格波动特征研究[J]. 价格月刊, 2016(3):1-5
- [4] 杜莉,孙兆东,汪蓉. 中国区域碳金融交易价格及市场风险分析[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2015(2):86-93
- [5] 高铁梅. 计量经济分析方法与建模-EViews 应用及实例[M]. 3 版. 北京:清华大学出版社, 2016:212-213

(责任编辑:刘 鑫)

声 明

1. 本刊已许可相关合作单位以数字化方式复制、汇编、发行、通过信息网络传播本刊全文,相关著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。

2. 本刊已加入“中国知网”学术期刊优先数字出版平台。

作者向本刊提交文章发表的行为视为同意我刊上述声明。

本刊编辑部