

基于GARCH类模型的碳中和交易数据的实证分析

秦彬彬, 李彪*

华南农业大学数学与信息学院, 广东 广州

收稿日期: 2022年1月14日; 录用日期: 2022年1月24日; 发布日期: 2022年2月14日

摘要

气候变暖问题日益严峻, 各国以碳中和作为解决气候变暖的关键途径。随着碳金融交易市场规模扩大, 市场风险也随之增加。分析碳交易价格的波动性特点可以有效度量市场风险, 对金融风险的防范具有重要意义。因此, 本文使用条件异方差模型研究碳中和股票交易数据序列的波动性聚集、非对称效应。以华证国网英大碳中和指数以及信能低碳股票价格进行实证分析, 结果表明GARCH类模型对于碳中和交易值波动率和非对称效应的建模具有较好的拟合效果。

关键词

GARCH模型, 碳中和, 波动率聚集, 非对称效应

Empirical Analysis of Carbon Neutrality Trading Data Based on GARCH Type Models

Binbin Qin, Biao Li*

College of Mathematics and Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou Guangdong

Received: Jan. 14th, 2022; accepted: Jan. 24th, 2022; published: Feb. 14th, 2022

Abstract

The problem of climate warming is becoming more and more serious, countries adopt carbon neutrality to deal with climate issues. Market risk increases with the expansion of the carbon financial

*第二作者兼通讯作者。

trading market. Analyzing the volatilities of carbon trading prices can effectively measure market risks, it is great significance to the prevention of financial risks. Therefore, we make use of the conditional heteroscedasticity models to research the volatility clustering and asymmetric effects of carbon neutrality stock return series. Empirical analysis is carried out with the CZH Index and CCIAM Future Energy Limited stock prices. The results show that the GARCH model has a good fitting for the modeling of carbon neutrality stock return volatility and asymmetric effects.

Keywords

GARCH Type Models, Carbon Neutrality, Volatility Clustering, Asymmetric Effect

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

碳中和是碳排放组织测算在一个时期内直接或间接产生的碳排放总量, 通过其他减碳行为, 诸如使用绿色能源、节能减排、植树造林等抵消自身产生的二氧化碳排放量, 达到二氧化碳相对“零排放”。实现碳中和目标也是中国政府现阶段的主要工作之一[1]。碳排放交易是为促进全球温室气体减排、减少全球二氧化碳排放所采用的市场调节机制。1997年《京都议定书》把碳排放交易这种市场机制, 作为解决以二氧化碳为代表的温室气体减排问题的新路径, 即把二氧化碳排放权作为一种商品, 从而形成了二氧化碳排放权的交易, 简称碳交易[2]。中国在碳交易方面处于起步阶段, 故对碳交易股票价格和碳交易指数进行研究, 能够为中国碳金融市场风险的评估和预测起到促进作用, 进而为我国碳中和政策的改进起到积极影响。

Mandelbrot [3]和 Fama [4]曾指出金融时间序列的波动存在着波动聚集特征以及尖峰厚尾特征。为研究资产收益率序列的波动问题, Engle [5]的自回归条件异方差模型(ARCH)和 Bollerslev [6]的广义自回归条件异方差模型(GARCH), 为拟合金融时间序列的波动性提供充分的理论基础。Nelson [7]和 Glosten 等人[8]分别提出指数 GARCH (EGARCH)以及 GJR-GARCH 模型, 这两类模型刻画了金融时间序列波动性的杠杆效应。

作为金融市场的“新成员”, 国内诸多学者研究了碳交易价格和碳交易指数的波动聚集性、尖峰厚尾性以及不对称性等特点。例如高仲芳[9]研究了碳排放交易价格的波动特征、影响因素; 张奇[10]等使用 ARCH 模型族对中小板低碳股票价格波动建模; 胡锐[11]应用 GARCH 模型研究湖北碳交易市场的收益率序列, 结果表明基于 GED 分布的 GARCH 模型能够较好地捕获实际数据中的尖峰厚尾特征, 但并没有进一步探讨收益率的非对称问题; 李小燕[12]等提出信息非对称情形下低碳制造商的减排率下降、产品零售价格上升等问题, 表明在对收益率进行建模过程中, 考虑非对称现象具有重要意义; 李菲菲[13]等人使用了 TGARCH 模型对北京上海等地区的碳排放权交易数据进行建模; 马忠芸[14]通过 Lasso 回归筛选出了影响中国碳排放价格的主要因素; 吕靖焯等人[15]采用了多元回归分析与主成分分析的方法, 对广东省碳交易价格的影响因素进行了研究。部分学者虽使用了非对称模型对收益序列建模, 但未对收益率序列的超额峰度作充分的考虑。

因此本文在当前研究的基础上, 在对碳交易价格波动率建模时, 引入非对称的 GJR-GARCH 模型, 并且研究了不同误差假设下的 GARCH 类模型对于股票价格波动的尖峰厚尾性和波动聚集的模拟效果,

为中国碳交易与碳金融市场的风险管理和预测提供一些参考。

2. 模型介绍

2.1. GARCH 族模型

观测序列 $\{y_t\}$ 为 GARCH 族模型,

$$y_t = \sqrt{h_t} \varepsilon_t + \mu, \quad (1)$$

$$h_t = \text{var}(y_t | F_{t-1}) = f(\Theta, F_{t-1})$$

其中 $f(\Theta, F_{t-1})$ 是参数 Θ 和先前信息 $F_{t-1} = \{y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-n}\}$ 的一个可微函数, 模型(1)包含了一般的条件异方差模型:

1) 如果 $f(\Theta, F_{t-1}) = \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{t-i}^2$, 那么模型(1)是 ARCH 模型, 一种 GARCH 模型的特殊形式[5];

2) 如果 $f(\Theta, F_{t-1}) = \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j h_{t-j}$, 那么模型(1)变为 GARCH 模型的标准形式[6];

3) 如果 $f(\Theta, F_{t-1}) = \omega + \sum_{i=1}^p (\alpha_i + \gamma_i I_i) y_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j h_{t-j}$, 那么模型(1)是 GJR-GARCH 模型[8]。其中, γ_i 表示杠杆项。当 $y_t \leq 0$ 时, 指示函数 I_t 取值为 1, 否则取值为 0。由于存在指示函数, 则模型的持久性取决于所用的条件分布的不对称性;

4) 如果 $f(\Theta, F_{t-1}) = \omega + \alpha_1 y_{t-1}^2 + \beta_1 h_{t-1}$, 那么模型(1)成为 IGARCH(1,1)模型[16];

5) 如果 $\ln f(\Theta, F_{t-1}) = \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_i g(\varepsilon_{t-i}) + \sum_{j=1}^q \beta_j \ln h_{t-j}$, 其中 α_1 为 1, $g(\varepsilon_t) = \theta \varepsilon_t + \gamma [\varepsilon_t | -E(|\varepsilon_t|)]$, 那么模型(1)表示 EGARCH 模型[7];

6) 如果 $[f(\Theta, F_{t-1})]^\delta = \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_{1i} (y_{t-i}^+)^{2\delta} + \sum_{i=1}^p \alpha_{2i} (y_{t-i}^-)^{2\delta} + \sum_{j=1}^q \beta_j h_{t-j}$, 其中 δ 为已知的正数, 则模型(1)表示为 PTTGARCH 模型[17]。

2.2. 模型的误差假设

2.2.1. 学生分布

在实际应用中, 一些数据具有厚尾分布的特征, 因此假定 ε_t 服从标准化 t 分布。可以计算出 GARCH 模型在 t 分布假设下的条件似然函数:

$$l(y_{m+1}, \dots, y_T | \Theta, y_1, \dots, y_m) = \prod_{t=m+1}^T \frac{\Gamma((v+1)/2)}{\Gamma(v/2) \sqrt{(v-2)\pi}} \frac{1}{\sqrt{h_t}} \left(1 + \frac{(y_t - \mu)^2}{(v-2)h_t} \right)^{-(v+1)/2}, \quad (2)$$

其中, $\Gamma(\cdot)$ 是伽马函数。

2.2.2. 广义误差分布

假设 ε_t 服从广义误差分布(Generalized Error Distribution, GED), 那么模型的条件似然函数可写为,

$$l(y_{m+1}, y_{m+2}, \dots, y_T | \Theta, y_1, y_2, \dots, y_m) = \prod_{t=m+1}^T \frac{v \exp\left(-0.5 \left| (y_t - \mu) / \sqrt{h_t} \lambda \right|^v\right)}{\lambda 2^{(1+1/v)} \Gamma(1/v)}. \quad (3)$$

3. 实证分析

本文选取华证国网英大碳中和指数(CZH)以及信能低碳股票价格进行实证分析。其中 CZH 选取从 2018 年 12 月 28 日至 2021 年 12 月 1 日的日收盘价交易数据, 共计 710 个观测值; 信能低碳选取从 2015 年 1 月 5 日至 2018 年 7 月 17 日的日收盘价交易数据, 共计 869 个观测值。对两组数据做如下变换: $r_t = 10(\log P_t - \log P_{t-1})$, 其中 P_t 是每日收盘价。本文实证分析基于 R 包 rugarch。两组数据的描述性统计分析结果如表 1 所示:

Table 1. Descriptive analysis and ARCH test of two return series

表 1. 两组数据对数收益序列的描述性分析和 ARCH 检验

	均值	方差	峰度	偏度	LM 检验
CZH 对数收益序列	0.0156	0.1471	5.1213	-0.3071	29.82 (0.0030)
信能低碳对数收益序列	0.0080	0.8165	16.3828	-1.5350	175.24 (0.0001)

从上表中可知两支股票的对数收益序列的 LM 检验 p 值均小于 0.05, 滞后 12 阶的 LM 检验表明序列方差是非齐性的, 说明残差平方收益序列中存在长期相关关系, 收益序列存在 ARCH 效应, 因而可以进行 GARCH(1,1)和 GJR-GARCH(1,1)模型的拟合。两序列的峰度均大于 3, 表明两组数据都具有尖峰厚尾的特征, 但 CZH 的峰度值为 5.12, 小于信能低碳的峰度值 16.38。信能低碳的偏度较大, 为-1.54, 对两序列进行非对称检验: CZH 不具有非对称性, 信能低碳的非对称性是显著的。

同时作出两组数据的对数收益率序列图(图 1、图 2), 可以看出, 两组碳交易数据具有较为明显不对称的特点。

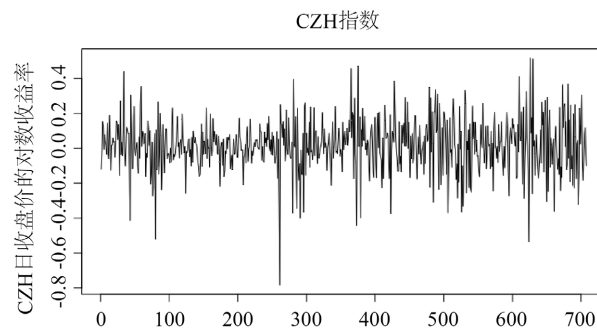


Figure 1. Diagram of the CZH log return time series

图 1. CZH 对数收益率时序图

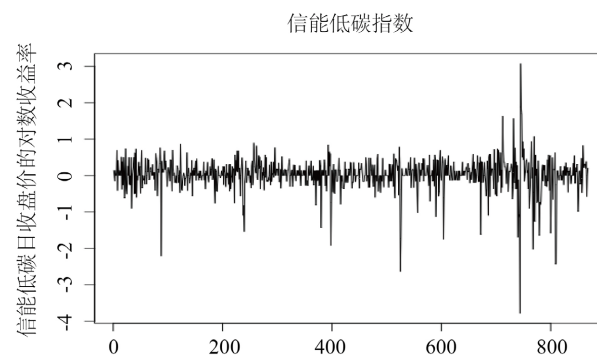


Figure 2. Diagram of the CCIAM log return time series

图 2. 信能低碳对数收益率序列图

根据以上初步分析结果, 使用 GARCH 模型、GJR-GARCH 模型以及 EGARCH 模型对收益序列进行建模分析。误差方面, 使用正态分布(N)、学生分布(t)和广义误差分布(GED)三种不同的误差情形, 结果如下所示:

Table 2. Estimation results for CZH return series

表 2. CZH 的模型系数估计结果

	GARCH -N	GARCH -T	GARCH -GED	GJRGARCH -N	GJRGARCH -T	GJRGARCH -GED	EGARCH -N	EGARCH -T	EGARCH -GED
μ	0.0144 (0.0048)	0.0158 (0.0045)	0.0151 (0.0048)	0.0124 (0.0050)	0.0161 (0.0046)	0.0144 (0.0049)	0.0088 (0.0049)	0.0138 (0.0046)	0.0124 (0.0050)
ω	0.0011 (0.0004)	0.0005 (0.0003)	0.0007 (0.0004)	0.0015 (0.0006)	0.0004 (0.0003)	0.0009 (0.0005)	-0.3375 (0.1183)	-0.1231 (0.0731)	-0.2366 (0.1215)
α_1	0.1339 (0.0301)	0.0889 (0.0273)	0.1060 (0.03125)	0.0976 (0.0332)	0.09031 (0.0280)	0.0941 (0.0335)	-0.0682 (0.0383)	0.0380 (0.0284)	-0.0402 (0.0454)
β_1	0.8235 (0.0380)	0.8971 (0.0324)	0.8679 (0.0383)	0.7914 (0.0526)	0.9094 (0.0469)	0.8470 (0.0523)	0.9100 (0.0302)	0.9681 (0.0186)	0.9396 (0.0308)
γ_1	-	-	-	0.1001 (0.0706)	0.0199 (0.0551)	0.0482 (0.0704)	0.2923 (0.0484)	0.1969 (0.0533)	0.2510 (0.0588)
ν	-	5.5963 (1.2270)	1.2902 (0.0944)	-	5.5118 (1.2147)	1.2992 (0.0963)	-	5.7715 (1.2977)	1.3096 (0.0976)
对数似然	-385.8553	-403.8064	-404.0512	-387.3438	-403.8626	-404.3457	-389.4088	-404.9676	-405.5315

注: 括号内表示各系数的标准差。

Table 3. Estimation results for CCIAM Future Energy Limited return series

表 3. 信能低碳的模型估计结果

	GARCH -N	GARCH -T	GARCH -GED	GJRGARCH -N	GJRGARCH -T	GJRGARCH -GED	EGARCH -N	EGARCH -T	EGARCH -GED
μ	0.0217 (0.0090)	0.0508 (0.0093)	0	0.0430 (0.0099)	0.0569 (0.0095)	0	0.0482 (0.0098)	0.0528 (0.0092)	0.0434 (0.0102)
ω	0.0266 (0.0058)	0.0626 (0.0166)	0.0003 (0.0007)	0.0255 (0.0057)	0.0524 (0.0136)	0.0003 (0.0008)	-0.2309 (0.0763)	-0.5015 (0.1426)	-0.1514 (0.0771)
α_1	0.5707 (0.0755)	0.5231 (0.1379)	0.0750 (0.0090)	0.8402 (0.1223)	0.8967 (0.2507)	0.1094 (0.0222)	0.1742 (0.0415)	0.1280 (0.0595)	0.0948 (0.0383)
β_1	0.4284 (0.0568)	0.2729 (0.1018)	0.9178 (0.0067)	0.4376 (0.0597)	0.2983 (0.0903)	0.9157 (0.0105)	0.8547 (0.0392)	0.7357 (0.0715)	0.8999 (0.0381)
γ_1	-	-	-	-0.5576 (0.1224)	-0.5620 (0.2409)	-0.0611 (0.0319)	0.6714 (0.0806)	0.6465 (0.1042)	0.5408 (0.0856)
ν	-	3.4022 (0.4316)	0.1848 (0.0127)	-	3.5348 (0.4676)	0.2881 (0.0151)	-	3.6736 (0.4990)	1.9714 (0.1890)
对数似然	-386.2755	-312.8241	-153.7837	-372.7565	-309.2308	-220.1517	-366.6481	-306.6762	-366.6419

注: 括号内表示各系数的标准差。

由表 2 结果可知, CZH 收益率序列的 GARCH 模型和 GJR-GARCH 模型除了截距项 ω 和杠杆系数 γ_1 不显著外, 其余系数均显著, 说明该序列不具有非对称效应, 三个模型的 β_1 项估计结果都为显著的, 所以 GARCH 类模型较好的捕获序列的 GARCH 效应; 由表 3 结果可知, 对于信能低碳数据, 使用 GJR-GARCH 模型拟合的各系数均显著, 并且杠杆系数 γ_1 为负数, 说明数据中的正负效应不对称的现象比较明显, 从 EGARCH 估计结果可知, 系数都为显著的, 因此也证明了该序列的非对称性, 系数估计结果与信能低碳的非对称效应检验结果相一致。两组数据的 GARCH 项系数均显著意味着收益率序列与历史收益率显著相关; 各模型中, $\alpha_1 + \beta_1 < 1$ 说明收益率序列为平稳的, 因此股票价格会逐渐收敛到稳定的区间从而有利于分析预测未来的价格走向。

Table 4. Comparison of fitting effects of different error distributions for CZH
表 4. CZH 关于不同误差分布拟合效果对比

	误差分布	AIC	BIC	SIC	HQIC
GARCH	N	-1.0787	-1.0529	-1.0788	-1.0687
	T	-1.1266	-1.0944	-1.1267	-1.1141
	GED	-1.1273	-1.0950	-1.1274	-1.1148
GJR-GARCH	N	-1.0801	-1.0478	-1.0802	-1.0676
	T	-1.1239	-1.0852	-1.1240	-1.1090
	GED	-1.1253	-1.0866	-1.1254	-1.1103
EGARCH	N	-1.0859	-1.0537	-1.0860	-1.0735
	T	-1.1270	-1.0884	-1.1272	-1.1121
	GED	-1.1286	-1.0900	-1.1288	-1.1137

Table 5. Comparison of fitting effects of different error distributions for CCIAM Future Energy Limited
表 5. 信能低碳关于不同误差分布拟合效果对比

	误差分布	AIC	BIC	SIC	HQIC
GARCH	N	0.9034	0.9255	0.9033	0.9119
	T	0.7357	0.7633	0.7356	0.7643
	GED	0.3675	0.3951	0.3674	0.3871
GJR-GARCH	N	0.8744	0.9020	0.8743	0.8850
	T	0.7297	0.7627	0.7296	0.7424
	GED	0.5235	0.5566	0.5234	0.5362
EGARCH	N	0.8603	0.8879	0.8602	0.8708
	T	0.7238	0.7569	0.7237	0.7364
	GED	0.8626	0.8957	0.8625	0.8752

表 4、表 5 描述了 GARCH、GJR-GARCH 和 EGARCH 模型在三中不同分布误差的假设下, 其相应的 AIC、BIC、SIC 和 HQIC 的值, 通过表中的结果可以发现: 对于 CZH 序列, 使用 GARCH 模型的 AIC、BIC、SIC 和 HQIC 值都相应的小于 GJR-GARCH 模型, EGARCH 模型的 AIC、BIC、SIC 和 HQIC 值总体比较大于 GARCH 模型, 因此选用 GARCH 拟合 CZH 数据效果更好; 对于信能低碳数据, 通过比较

AIC、BIC、SIC 和 HQIC 值, 可以知道, 使用 GJR-GARCH 和 EGARCH 模型都有更好的拟合效果, 因为该组数据具有明显的非对称性特征。对于这两组数据, 使用 t 分布和 GED 分布的拟合的效果都比正态分布的结果好, 这一点与实际数据的尖峰厚尾特点接近。根据 GJR-GARCH 和 EGARCH 模型的拟合结果, 对残差序列进行异方差标准化变换, 得到标准化残差平方序列, 同时对该序列进行白噪声检验, 结果如表 6 所示:

Table 6. Standardized residual square sequence white noise test
表 6. 标准化残差平方序列白噪声检验

	模型	滞后	卡方	自由度	p 值
CZH	GJR-GARCH-T	1	0.4621	1	0.4966
		5	0.4668	5	0.7094
		9	1.2772	9	0.7944
信能低碳	GJR-GARCH-T	1	0.2297	1	0.6318
		5	2.1014	5	0.5947
		9	3.8256	9	0.6185
CZH	EGARCH-T	1	3.8120	1	0.0509
		5	4.0401	5	0.2492
		9	4.8362	9	0.4538
信能低碳	EGARCH-T	1	0.4840	1	0.8258
		5	1.4910	5	0.7421
		9	2.9018	9	0.7751

从表 6 结果可以看出, 在 t 分布假设下, 两组数据的 LB 检验量的 p 值均大于 0.05, 意味着 GJR-GARCH(1,1)与 EGARCH(1,1)模型对收益的波动信息提取较为充分, 在正态分布或 GED 分布误差假设情况下, 均得到类似结果, 且 LB 检验统计量的 p 值均大于 0.05, 同时各模型的自相关系数均较小, 证明模型的残差序列是独立的。因此, GJR-GARCH 与 EGARCH 模型对波动信息的提取较为充分, 模型对数据的拟合是有意义的。

4. 结论

本文通过构建三种误差分布的 GARCH 类模型, 研究碳交易数据的波动问题。AIC 等结果表明, 在碳交易的实际数据中, GARCH 模型能够较好地拟合 CZH 序列, 且具有 t 分布和 GED 分布误差的 GARCH 模型相比正态分布误差的 GARCH 模型具有更好的应用效果, 而 GJR-GARCH 和 EGARCH 模型能够较好地拟合信能低碳股票价格数据的非对称效应, 且考虑 t 分布和 GED 分布误差的 GJR-GARCH 与 EGARCH 模型往往比具有正态分布误差的 GJR-GARCH 与 EGARCH 模型有更好的拟合效果, 使用合适的模型能更好捕获碳交易中实际数据中的非对称性。

因此在实际问题中, 使用具有 t 分布或 GED 分布误差项的 GARCH 模型、GJR-GARCH 模型及 EGARCH 模型能够得到更加精准的拟合结果, 本文的实证分析表明 GARCH 类模型对碳排放权价格收益波动的厚尾和非对称性具有良好的拟合效果, 能够为我国碳金融市场的波动性研究提供一定的参考意义。

基金项目

教育部人文社科基金规划项目(编号: 17YJA910002)。

参考文献

- [1] BGG 中国气候与可持续发展中心. 中国碳中和通用指引[M]. 北京: 中信出版集团, 2021: 26-27.
- [2] 百度百科. 碳排放交易的定义[EB/OL]. <https://baike.baidu.com/item/碳排放交易>, 2021-12.
- [3] Mandelbrot, B. (1963) New Method in Statistical Economics. *Journal of Political Economy*, **71**, 421-440. <https://doi.org/10.1086/258792>
- [4] Fama, E.F. (1965) The Behaviour of Stock Market Prices. *Journal of Business*, **38**, 34-105. <https://doi.org/10.1086/294743>
- [5] Engle, R.F. (1982) Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, **50**, 987-1008. <https://doi.org/10.2307/1912773>
- [6] Bollerslev, T. (1986) Generalised Autoregressive Conditional Heteroscedasticity. *Journal of Econometrics*, **31**, 307-327. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(86\)90063-1](https://doi.org/10.1016/0304-4076(86)90063-1)
- [7] Nelson, D.B. (1991) Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach. *Econometrica*, **59**, 347-370. <https://doi.org/10.2307/2938260>
- [8] Glosten, L.R., Jagannathan, R. and Runkle, D.E. (1993) On the Relation between the Expected Value and the Volatility of the Nominal Excess Return on Stocks. *The Journal of Finance*, **48**, 1779-1801. <https://doi.org/10.1080/07474938608800095>
- [9] 高仲芳. 碳排放权交易价格: 波动特征、影响因素及预测分析[D]: [硕士学位论文]. 曲阜: 曲阜师范大学, 2021.
- [10] 张奇, 莫海燕. ARCH 模型族在中小板低碳股市场的实证分析与比较研究[J]. 中国市场, 2011(18): 50-51+56.
- [11] 胡锐. 基于 GARCH-VaR 方法的碳金融交易市场风险研究[J]. 现代营销, 2021(19): 30-31.
- [12] 李小燕, 王道平. 碳交易机制下考虑竞争和信息非对称的供应链协调研究[J]. 运筹与管理, 2021, 30(11): 47-52.
- [13] 李菲菲, 江浩, 许正松. 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[J]. 金陵科技学院学报(社会科学版), 2019, 33(3): 35-40.
- [14] 马忠芸. 碳排放交易价格影响因素分析及预测[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 中南财经政法大学, 2019.
- [15] 吕靖烨, 张超. 低碳背景下我国碳排放权市场价格的影响因素分析[J]. 煤炭经济研究, 2019, 39(5): 31-37.
- [16] Engle, R.F. and Bollerslev, T. (1986) Modelling the Persistence of Conditional Variances. *Econometric Reviews*, **5**, 1-50. <https://doi.org/10.1080/07474938608800095>
- [17] Pan, J., Wang, H. and Tong, H. (2008) Estimation and Tests for Power-Transformed and Threshold GARCH Models. *Journal of Econometrics*, **142**, 352-378. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2007.06.004>