

Chinese carbon market based on GARCH-Vine Copula model Risk measurement study

Lu An

Xinjiang Agricultural Vocational Technical University, Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract

Accurate risk measurement is the foundation of risk management system and the guarantee of stable operation of the national unified carbon market. From the point of view of risk management, this paper takes daily yield data of China's regional carbon market as the main research subject, analyzes the correlation structure of China's regional carbon market with GARCH-Vine Copula model, and uses Monte Carlo method to calculate the risk value under different investment methods. The results show that the interdependence between carbon markets in China is weak and risk contagion events are not easy to occur. By comparing the risk values of the three investment methods, we can see that at the same confidence level, the risk value of single market > equal weight risk value > mean-variance model risk value, which confirms the effectiveness of mean-variance model to optimize investment portfolio and the necessity of establishing a unified carbon market in China.

Keywords

Carbon market; GARCH-Vine Copula; risk measurement

基于 GARCH-Vine Copula 模型的中国碳市场风险度量研究

安璐

新疆农业职业技术大学, 中国·新疆 昌吉 831100

摘要

准确度量风险是风险管理体系建立的基础,是全国统一碳市场稳健运行的保障,本文从风险管理角度出发,以我国区域碳市场日收益率数据为研究主体,运用GARCH-Vine Copula模型分析我国区域碳市场间的相关结构,利用蒙特卡洛方法计算不同投资方式下的风险值。研究结果表明:我国碳市场之间的相依性较弱,不易发生风险传染事件。对比三种投资方式的风险值可知,在同一置信水平下,单一市场风险值>等权重风险值>均值-方差模型风险值,证实了均值-方差模型优化投资组合的有效性与我国建立统一的碳市场的必要性。

关键词

碳市场; GARCH-Vine Copula模型; 风险度量

1 引言

气温升高、极端天气出现频繁、动植物灭绝等是目前多国所面临的一个共性问题,究其根本是工业运行产生过量二氧化碳等温室气体,破坏了生态环境。为缓解全球气候问题,实现可持续发展,因此出现了低碳经济的思想。党的二十大报告中也再次提出要以和谐发展的原则发展经济。作为目前全球碳排放总量最大,但累积碳排放量较少的国家,节能减排,发展绿色经济是我国今后经济发展的主要方向^[1]。因此将二氧化碳排放权作为标的物交易以此控制碳排放的碳市场,了解其市场间的相关结构,准确度量风险价值,避免发生市场波动就变得愈加关键。碳市场,作为一个新兴的金融市场,

度量其风险也常用 VaR 方法。宋敏(2020),杨刚强(2024)利用 GARCH-VaR 模型计算区域碳交易所的风险值^[2-3];周欣星(2020)利用熵权法分析我国7个碳市场成熟度后用 VaR 和 CVaR 方法计算风险值,结果表明 CVaR 比 VaR 更适合用来测度碳市场风险^[4]。曾诗鸿(2023)利用 copula-VaR 模型度量我国碳市场的叠加风险,结果表明流动性风险和市场风险之间存在负相关且风险具有区域性^[5]。

本文利用 GARCH-Vine Copula 模型刻画我国区域碳市场之间的相关性,并利用蒙特卡洛模拟计算不同投资方式下的风险值,为投资者提供更多投资思路,为区域和全国碳市场规避风险提供应对措施。

2 模型介绍

2.1 GARCH 模型

GARCH 模型是现今发展最成熟的单变量金融时间序列

【作者简介】安璐(1996-),女,中国河南漯河人,助教,从事数理金融研究。

波动模型，可以较全面地捕捉价格变化，刻画金融时间序列的数据特征，因此本文用 ARMA-GARCH 模型描述我国区域碳市场的收益率的边缘分布。

2.2 Copula 模型

Copula 函数以 Sklar 定理为依据，描述多维随机变量间依赖关系的指标，假设 F 是一个 n 维概率分布函数，其边缘分布为 $F_1, F_2, \dots, F_n$ ， $\forall x \in R^n$ ，则存在一个 Copula 函数满足^[6]：

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = C(F_1(x_1), F_2(x_2), \dots, F_n(x_n)) \quad (1)$$

为避免二元 Copula 函数维数多难计算，多元 Copula 灵活性不足等问题，Joe 等在 1997 年将 Vine 结构和多元 Copula 函数相结合，构建了 Vine Copula 函数。常见的 Vine Copula 为 C-Vine Copula、D-Vine Copula、R-Vine Copula 三类，其中 C-Vine Copula 和 D-Vine Copula 是 R-Vine Copula 的两种特殊形式^[7]。本文是以广东、湖北、上海、深圳四个碳市场的碳价为研究对象，构建 GARCH-Vine Copula 模型刻画我国碳金融市场的依赖关系。GARCH-Vine Copula 模型的具体表达形式：

$$\begin{aligned} r_{nt} &= \mu_{nt} + \varepsilon_{nt}, n=1,2,\dots,N, t=1,2,\dots,T \\ \varepsilon_{nt} &= h_{nt}^{1/2} \xi_{nt} \\ h_{nt} &= w_n + \sum_{i=1}^q \partial_{ni} \varepsilon_{nt-i}^2 + \sum_{i=1}^p \beta_{ni} h_{nt-i}^2 \\ &(\xi_{1t}, \xi_{2t}, \dots, \xi_{nt}) | I_{t-1} C_i(F_1(\xi_{1t}), F_2(\xi_{2t}), \dots, F_N(\xi_{Nt}) | I_{t-1}) \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $C_i(\cdot, \dots, \cdot | \cdot)$ 表示 N 元 Copula 分布， $F_1(\cdot), F_2(\cdot), \dots, F_N(\cdot)$ 表示均值为 0，方差为 1 的标准 t 分布，随机扰动项 $\xi_{1t}, \xi_{2t}, \dots, \xi_{Nt}$ 也是服从均值为 0，方差为 1 的标准 t 分布。

2.3 蒙特卡洛方法计算

VaR 定义：市场正常波动，且持有期、置信水平一定的情况下，金融资产可能遭受的最大损失。数学公式表示为

$$prob(\Delta p \leq -VaR) = c, \Delta p = p_{t+\Delta t} - p_t \quad (3)$$

其中 p_t 是 t 时刻资产价值； Δp 是未来持有期 Δt 内的损失；

本文通过 Vine Copula 模型得到收益率序列联合分布函数，用蒙特卡洛模拟生成投资组合的收益率序列并估计投资组合的 VaR 值。

3 实证分析

3.1 数据选取与统计描述

综合考虑我国碳交易所情况，选取我国区域碳市场中最活跃，数据量较完整的四个碳交易所广东、湖北、上海、深圳在 2020 年 1 月 1 日到 2024 年 1 月 1 日的碳配额每日收盘价数据。为保证样本数据量一致，删除缺失数据和 4 个碳交易所任一不开盘的交易数据后，共包含 964 个交易日。数据来源于 wind 数据库，数据处理及参数估计使用 R 软件。为避免受政策和其他因素的影响，取四个碳交易市场的碳配额收盘价的对数收益率为研究数据 $r_t = (\ln p_t - \ln p_{t-1}) * 100$ ，其中 p_{t-1} 为第 $t-1$ 天的碳配额收盘价， p_t 为第 t 天碳配额收盘价。样本数据的处理后的统计性描述如表 1 所示：

由表 1 可知，碳市场的收益率均值都为正数，在 5% 的显著性水平下，序列都不服从正态分布，但存在自相关和 ARCH 效应。其中广东碳市场均值最大，标准差最小，价格波动平缓，发展最稳定；深圳碳市场均值最小，价格波动陡峭，面临更大的风险。观察偏度和峰度值可知，偏度都在 0 附近且峰度都大于 3，呈现出“尖峰厚尾”特征，说明我国碳市场易发生极端事件。

3.2 GARCH 模型参数估计

本文使用最常用的 ARMA(1,1)-GARCH(1,1)-T 模型来对四组碳价历史收益率数据建模，利用极大似然估计方法来估计 ARMA(1,1)-GARCH(1,1)-T 模型的参数，结果如表 2 所示。

根据表 2 结果可知，由 ARMA(1,1)-GARCH(1,1)-T 模型得到的均值、方差方程参数大部分显著，说明 ARMA(1,1)-GARCH(1,1)-T 模型适合用来刻画收益率序列的价格波动特点。

表 1 收益率序列的统计性描述

	均值	标准差	偏度	峰度	JB 统计量	ADF 检验	B 检验	ARCH 检验
广东	0.089	1.851	-0.067	4.596	857.126	-22.015	60.205	248.35
湖北	0.051	3.355	0.171	5.135	1073.451	-26.718	130.65	175.95
上海	0.046	4.207	0.283	13.298	7167.927	-27.605	106.29	278.77
深圳	0.244	33.066	-0.018	14.908	8990.181	30.528	271.33	265.74

表 2 ARMA(1,1)-GARCH(1,1)-T 模型的参数估计结果

	广东	湖北	上海	深圳
μ	0.067(0.027)	-0.002(0.945)	-0.021(0.812)	-0.115(0.227)
ar1	-0.138(0.256)	0.062(0.516)	0.124(0.429)	0.166(0.042)
ma1	-0.155(0.216)	-0.461(0.000)	-0.324(0.322)	-0.576(0.000)
w	0.265(0.027)	0.628(0.046)	0.073(0.961)	2.824(0.176)
α	0.348(0.000)	0.501(0.000)	0.505(0.280)	0.401(0.000)
β	0.650(0.000)	0.497(0.000)	0.493(0.334)	0.597(0.000)
LLF	-1733.86	-2138.598	-2055.166	-3957.188

3.3 Copula 建模

确定收益率序列的边缘分布后，对其标准化残差序列做概率积分变换，将满足 [0,1] 均匀分布的收益率序列代入 C-Vine 和 D-Vine Copula 模型刻画四个区域碳市场之间的相依关系。通过 R 软件得到 C-Vine 和 D-Vine Copula 的极大似然值和 AIC 值可知应用 D-Vine Copula 模型描述我国区域试点碳市场之间的藤结构。

观察表 3 的参数估计值可知，在第一层树结构中，广东与上海、湖北，湖北与上海碳市场之间存在直接传染效应，各市场之间的相关系数的绝对值均为 0.02，说明当广东碳市场价格下跌时，上海和湖北碳市场受到影响碳价发生下跌的可能性相同，而深圳碳市场出现碳价下跌的可能性较小。第二、三层树结构中，加入其他变量后，各省市碳市场间的条件相依性越来越低。

表 3 D-Vine Copula 模型的参数

tree	edge	copula	Par1	Par2	tau
1	1,3	N	0.04	0.00	0.02
	2,1	Tawn2_180	1.75	0.02	0.02
	4,2	J270	-1.03	0.00	-0.02
2	2,3;1	C90	-0.01	0.00	-0.01
	4,1;2	N	-0.06	0.00	-0.04
3	4,3;2,1	F	0.08	0.00	0.01

3.4 风险度量

按照蒙特卡洛方法模拟产生 5000 组四个碳市场的收益率序列，要求在不同置信水平下，等额资金按照不同投资方式投资到四个碳市场下的值，如表 4 所示。

表 4 不同置信度下风险值

置信水平	广东	湖北	上海	深圳	等权重	均值 - 方差
90%	1.110	1.251	1.084	3.067	1.407	1.020
95%	1.268	1.445	1.257	3.578	1.539	1.118
99%	1.668	1.998	1.810	5.176	1.934	1.339

观察表 4 可知，等额资金投入单一碳市场时，同一置信区间里，深圳碳市场 VaR 值最大，湖北次之，广东与上

海 VaR 值相近，说明深圳、湖北这类以制造业发展为主的城市风险值较大，收益率波动频繁；广东、上海这类以高新技术产业发展为主的城市风险值较小，收益率稳定。在相同置信区间，对比不同投资组合下投入等额资金的 VaR 值可知，均值 - 方差的 VaR 值小于等权重的 VaR 值。

4 小结

本文采用 GARCH-Vine Copula 模型，以我国广东、湖北、上海、深圳碳市场作为研究对象，探究市场间的相关关系，计算不同投资方式下的风险值。实验结果表明：广东与上海、湖北碳市场易发生风险传染现象，因此上海、湖北两地应加强风险预警，避免引起市场动荡；深圳碳市场的风险值最高，广东与上海风险值较低，投资者应在广东、上海市场投放大量的资金，以获取最大收益；在同一置信水平下，投入相同资产，有单一市场风险值 > 等权重风险值 > 均值 - 方差模型风险值，提醒投资者构建有效的投资组合合理投资。

参考文献

[1] 吴定迪. 欧盟碳市场建设对中国碳市场发展的启示[J]. 特区经济, 2021(10):6.

[2] 宋敏, 辛强, 贺易楠. 碳金融交易市场风险的 VaR 度量与防控——基于中国五所碳排放权交易所的分析[J]. 西安财经大学学报, 2020.33(3):9.

[3] 刘红琴, 胡淑慧. 不同情境下中国碳排放权交易市场的风险度量[J]. 中国环境科学, 2022, 42(02):962-970. DOI:10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20211112.009.

[4] 杨刚强. “双碳”背景下我国碳金融交易风险的度量与防控[J]. 福建金融, 2024, (06):43-50.

[5] 周欣星. 中国碳市场成熟度度量与风险管理研究[D]. 广西: 桂林电子科技大学, 2020.

[6] 杨森云. 我国试点碳市场风险识别与管理[D]. 天津: 天津工业大学, 2020.

[7] 陈璐. Copula 函数理论在多变量水文分析计算中的应用研究[M]. 武汉大学出版社, 2013.