

基于在险价值的中国碳金融市场风险研究

何晓庆

云南师范大学经济学院, 云南 昆明

收稿日期: 2024年11月19日; 录用日期: 2024年12月9日; 发布日期: 2025年2月21日

摘要

中国作为全球最大的碳排放国, 每年CO₂排放量的总量约占据世界总量的四分之一, 也是世界最大的CDM (清洁发展机制) 市场, 吸引了世界的关注和投资。因此, 分析碳金融市场风险显得十分重要, 本文先通过VaR-GARCH模型计算出碳金融的市场风险, 再建立VAR (向量自回归) 模型来研究煤炭、原油、欧元汇率、上证指数对我国碳金融市场风险是否具有影响并分析其影响程度。实证结果表明, 我国碳金融市场风险波动较大且受自身影响较大, 除此之外, 能源市场对碳金融市场风险也有较大影响。对此本文的建议是: 构建完善的碳金融市风险防控体系、促进碳金融产品创新以及强化对能源供应突发事件的预判。

关键词

碳金融, 市场风险, VaR-GARCH模型, VAR模型

A Study on the Risk of China's Carbon Financial Market Based on Value at Risk

Xiaoqing He

School of Economics, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan

Received: Nov. 19th, 2024; accepted: Dec. 9th, 2024; published: Feb. 21st, 2025

Abstract

As the world's largest carbon emitter, China accounts for about a quarter of the world's total annual CO₂ emissions, and is also the world's largest CDM (Clean Development Mechanism) market, attracting world attention and investment. Therefore, it is very important to analyze the risk of carbon financial market, and this paper first calculates the market risk of carbon finance through the VaR-GARCH model, and then establishes a VAR (vector autoregression) model to study whether coal, crude oil, euro exchange rates and Shanghai Composite Index have an impact on the risk of China's carbon financial market and analyze the degree of its impact. The empirical results show that the

文章引用: 何晓庆. 基于在险价值的中国碳金融市场风险研究[J]. 低碳经济, 2025, 14(1): 71-85.

DOI: 10.12677/jlce.2025.141009

risk of China's carbon financial market fluctuates greatly and is greatly affected by itself; in addition, the energy market also has a greater impact on the risk of the carbon financial market. The suggestions of this paper are: to build a sound risk prevention and control system for the carbon finance market, promote the innovation of carbon finance products, and strengthen the prediction of energy supply emergencies.

Keywords

Carbon Finance, Market Risk, VaR-GARCH Model, VAR Model

Copyright © 2025 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

21 世纪以来,经济的快速增长除了给人们带来物质上的优渥,也给自然环境带来不可忽略的破坏,雾霾、全球气候变暖等极端天气的现象多发,目前,解决环境气候问题迫在眉睫,每个国家都有义务为此做出努力,因此各个国家达成了全球发展低碳经济的共识,碳金融也应运而生。在全球范围内,碳金融是一种新兴的金融工具。更具体地说,碳金融是利用金融资本促进环境改善,以法律手段为支撑,利用资金可以使相关的碳金融产品和衍生品在市场上流通和交易,最终实现可持续发展的目标。国际碳金融市场在不断地发展,我国碳金融市场也紧跟时代步伐,碳排放交易所的交易总量十分巨大,自 2013 年深圳碳交易所成立以来,我国碳金融市场日渐发展,之后其他交易所也相继成立,交易总量在 2021 年达到顶峰,共成交了 42,533,635.12 吨,但是交易方式不明确、信息不对称等导致了一些潜在的风险,举例来说,中国现在向政府机构和第三方核查机构报告碳排放数据和排放控制公司的信息,具体数据报告会影 响公司获得的碳配额金额。在现实生活中,由于企业对自身的状况最为清楚,因此往往会根据自身的利益来考虑对相关数据进行篡改,从而造成碳排放总量偏高,从而影响到碳资产的定价。若出现上述情形,不仅会影响到碳金融交易的正常进行,严重时会造成单笔交易的失败,还会对碳金融市场造成信用风险、流动性风险和市场风险。本文认为在碳金融交易市场的各种风险中,市场风险较为突出,基于此,本文通过提取中国碳金融市场中深圳、天津、广东碳交易所近几年的碳现货交易价格,依据相应的原则将其换算为收益率,之后对收益率建立 VaR-GARCH 模型,并计算 VaR (在险价值)。同时对实证所得的相关数据以规范的数据分析方法进行解析,以此来对国内的碳金融市场风险进行测度。在测出碳金融市场风险后,本文又对碳金融市场风险和四个影响因素建立了 VAR (向量自回归)模型,并以此分析四个影响因素对碳金融市场风险的影响程度。

2. 文献回顾

从碳交易价格的影响因素和碳价波动特征方面来看,Alberola [1]等(2008)以欧盟碳市场中交易的欧盟碳配额(EUA)交易数据为研究对象发现,石油和天然气价格是碳交易价格波动的主要驱动因素,此外极端天气也会对其产生影响。Kijima [2]等(2009)分析了欧洲碳市场的碳交易价格的波动性情况,发现碳价存在突增的情况,碳价变化具有复杂性,加剧了投资风险。Sultan [3]等(2009)应用 GARCH-X 模型对碳市场的最优套期保值比进行研究,发现市场中的复杂对冲交易行为是碳金融市场风险的主要因素。从碳金融市场风险度量方面来看,William Blyth [4] (2011)运用回归分析和蒙特卡洛模拟方法,测算不同碳交易价格下 EUETS 的市场风险和政策风险,并通过对比分析,考察了这两种风险之间的转换。Feng [5]等(2012)

运用 GARCH、EVT 方法计算 EUETS 现货和期货价格的动 VaR，以考察价格波动特点和市场风险状况。Li [6] 等人(2013)运用了 Copula-GARCH-EVT 模型对碳期货的风险价值进行度量发现该模型比其他分布条件下的模型更有效。Reboredo [7] 等(2015)运用 EGARCH，极值理论模型计算了 EUETS 的市场风险值 VaR，用预期短缺量来评估欧盟碳市场的下行风险，还用 Copula 模型分析了碳市场对石油市场、天然气市场之间的依赖性。在碳金融市场发展方面，张瑞琴、张辰西[8] (2011)指出我国目前还缺乏一个推动碳金融市场发展的平台及与之配套的碳交易体系，政府当局需在这方面多下功夫。陈云波[9] (2020)指出在我国当前市场发展阶段，除现有的一级市场、二级市场参与业务以外，金融机构也可以丰富模式，深挖碳金融市场，包括一级市场的项目资金管理、融资租赁、减排收入质押融资/贴现、合同能源融资。孔祥云[10] (2019)指出我国碳金融市场存在法律制度不完善、市场分布过于分散以及市场参与者和参与度不高的问题。钱晶[11] (2017)指出就当前我国碳金融市场发展来看，还处于成长阶段，市场政策、制度设计等方面还存在不足之处，她对当前我国碳金融市场存在的问题进行了深刻的剖析，并提出了加强政府扶持，完善碳金融市场的法律体系，争取在碳金融市场中的定价权，建立完善的中介机构等措施。在碳金融风险度量方面，魏一鸣[12] (2010)采用实证分析的方法对碳金融市场面临的市场风险和流动性风险进行了度量，虽然度量的对象是欧盟碳市场的风险，但可以为我国量化分析碳市场风险提供方法经验。蒋晶晶[13] 等(2015)利用 GARCH-EVT-VAR 模型，对于市场风险进行度量。张晨[14] 等(2015)利用美国洲际交易所数据，通过 COPULA-ARMA-GARCH 模型，对于商业银行碳价风险和汇率风险整合风险进行度量。基于中国碳排放权交易市场的相关数据，王婷婷[15] 等(2016)利用 QAR-GARCH 模型对中国碳金融的市场风险水平进行度量，并指出相较于 CAViaR 族模型，对中国碳金融市场风险水平进行刻画时，QAR-GARCH 模型是一个更为合适的方法。杜莉[16] 等(2014)针对不同类型的碳金融风险提出了不同的度量方法，例如对于碳金融的信用风险，可以采用现代信用分析法进行度量，对于碳金融的市场风险，则可以采用 Jorion (2001)提出的在险价值法(VaR)予以度量。与此相一致，邱谦和郭守前[17] (2017)基于中国碳交易市场的数据，也采用在险价值法(VaR)对碳金融的市场风险进行了度量。杨俊宇[18] (2020)采用了 GARCH 族模型来测算我国碳金融市场的在险价值序列，比较了极值理论下的 GARCH 族模型和普通 GARCH 模型与我国碳金融市场的适配度，分析了我国碳金融市场风险的主要影响因素。张晓[19] (2021)以北京碳交易市场为例，计算其市场风险，发现 GARCH-VaR 模型具有较好的度量效果。

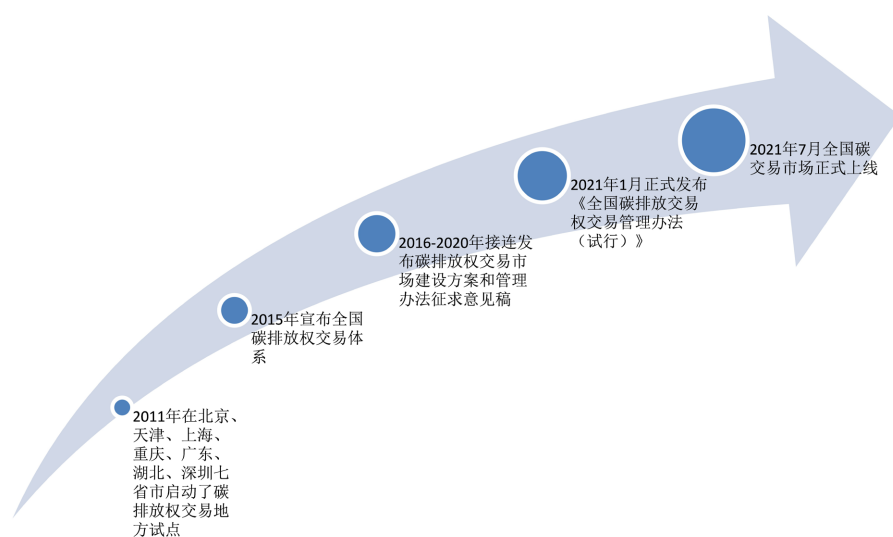


Figure 1. The development process of China's carbon trading market
图 1. 中国碳交易市场发展历程

3. 中国碳金融交易市场发展现状

3.1. 碳金融市场规模逐步扩大

图 1 展示了中国碳交易市场的发展历程，从图 1 可以看出，中国在 2011 年启动了碳排放权交易地方试点，并在 2015 年宣布建立全国碳排放权交易体系，之后更是发布一系列管理办法，终于在 2021 年 7 月全国碳交易市场正式上线。目前，中国已有 8 家碳交易机构，其中 2013 年设立的深圳碳交易所是最早成立的，其后北京、天津、上海、广东、湖北、重庆等地的碳交易机构陆续设立。

图 2 是我国八大碳交易所 2013~2022 年成交量情况，如图 2 显示，在 2013 至 2022 年期间，各交易所的碳金融产品成交量总体上波动较大，碳金融市场较为活跃，可以初步看出其存在着较大的市场风险。北京在 2019 年交易量达到最大值，为 3,111,979 吨，福建在 2019 年交易量达到最大值，为 3,861,436 吨，广东在 2021 年交易量达到最大值，为 26,993,736 吨，湖北在 2017 年交易量达到最大值，为 14,866,305 吨，上海在 2016 年交易量达到最大值，为 414,589 吨，深圳在 2016 年交易量达到最大值，为 10,911,454 吨，天津在 2020 年交易量达到最大值，为 12,052,381 吨，重庆在 2017 年交易量达到最大值，为 7,435,798 吨。

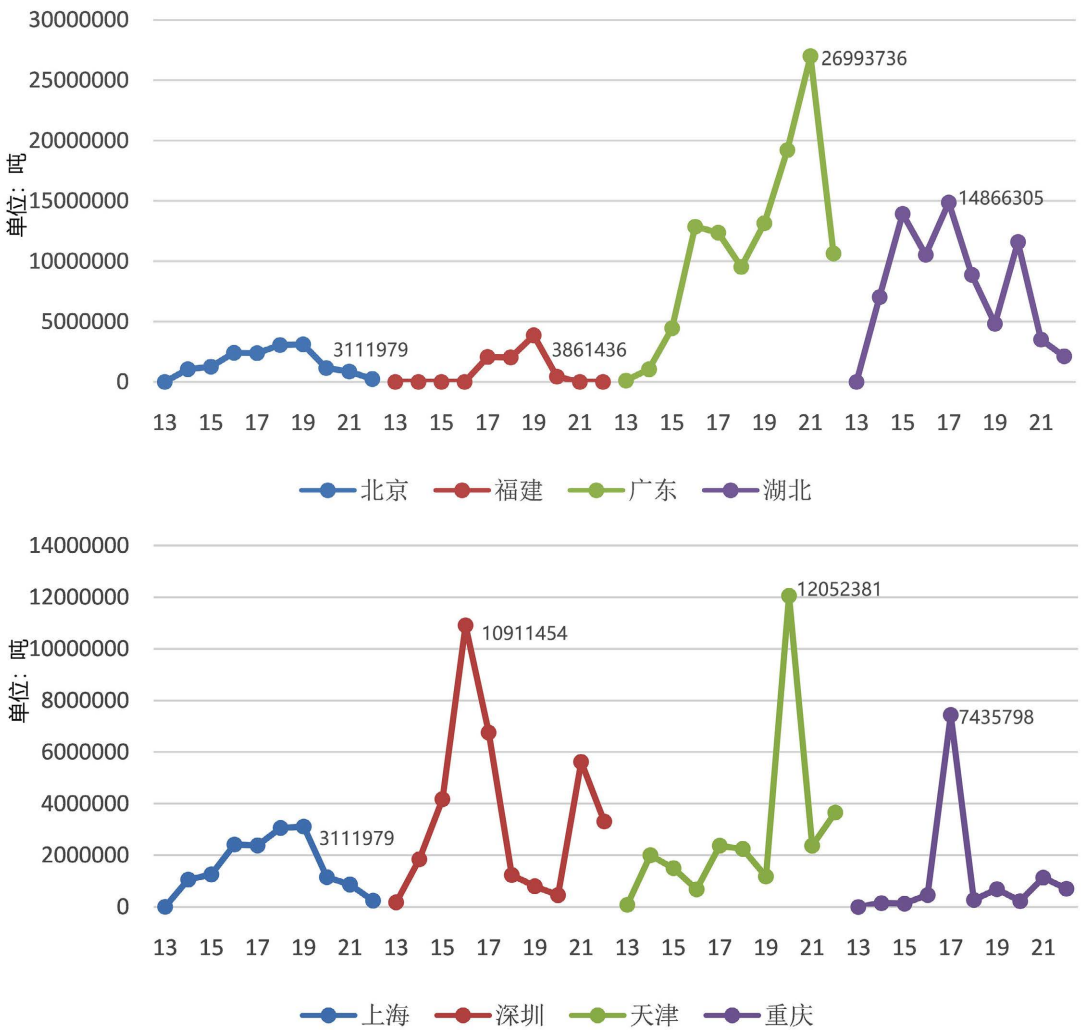


Figure 2. The trading volume of the eight major carbon exchanges from 2013 to 2022
图 2. 八大碳交易所 2013~2022 成交量情况

随着国内碳金融市场的不断发展，其规模也日益扩大，从原来的一级市场向二级市场拓展，为企业和投资者提供更多的投资机会，促进了国内碳金融市场的发展。一级市场的主要参与模式有：信贷模式、中间业务模式、中介商模式、理财产品模式。信贷模式：目前，国内外多数银行均采用以碳减排企业未来收入和固定资产为担保的项目贷款作为实施碳减排项目贷款的主要方式。中间业务模式：商业银行代理客户办理收款、付款和其他委托事项而收取手续费的业务，兴业银行在 2009 年成为了我国首笔以账户管理行身份为自愿减排量交易提供了交易结算和资金存管服务，这是因为兴业银行在这年向国内清洁发展机制开具了国内第一张碳交付保函。中介商模式：商业银行作为碳排放交易双方的中介，为买方和卖方提供联系方式和交流平台，协助交易双方完成更有效率的交易，这些都是商业银行基于自身在国际业务和投资业务以及相关信息方便的优势而做到的。理财产品模式：国内多家银行推出与 CO₂ 排放额期货合约挂钩的资产管理产品。例如，深圳发展银行推出了“联动”的本地外汇理财产品，与“欧盟第二承诺期排放权期货协议”挂钩的资产管理产品，在欧洲气候交易所积极上市交易。在二级市场，碳金融产品可以划分为：金融工具，交易工具，以及支持工具。融资工具包括碳回购、碳质押等。交易工具包括碳远期、碳期权、碳期货等各种金融衍生工具交易工具包括碳远期、碳期权、碳期货等各种金融衍生工具，它们可以用来进行碳减排的交易，以达到减少温室气体排放的目的。碳保险和碳指数是支持工具。

3.2. 碳金融产业链不断延伸

我国碳金融市场不断发展，金融产品也不断创新，在此背景下，碳金融产业链也在逐渐延伸。碳金融产品能根据产业链的延伸程度从低到高分三类：

第一类碳金融产品的延伸程度较低，有直接的投资产品，如：公司将提供一系列的服务，其中包括绿色贷款、低碳产业基金、股权投资基金等，以满足投资者的需求。同时，还可以提供低碳科技融资等风险投资服务，以及专业的投资分析，帮助投资者实现价值最大化；和以其他绿色抵押品作为资产担保的资产证券化，例如 ABS；也有其他的投资手段，像是气候债券，以及不规范的索偿。第二类碳金融产品的延伸程度是中等的，主要是包括对碳资产进行管理，比如发展配额资产，发展经过认证的减排量资产，并进行自己的碳交易。第三类碳金融产品的延伸程度较高，包括碳资产抵押贷款，碳收益担保，碳交易基金的托管和结算等；以及碳市场研究、碳信息资讯服务、碳资产开发和资产管理顾问、碳挂钩的财富管理产品等投资银行服务。

3.3. 政策法规逐渐完善

随着我国金融业的快速发展，市场在金融资源配置中的地位也在不断提高，同时，现代金融制度也在不断健全，金融法制建设也在不断推进，中国在 2020 年 9 月的第 75 届联合国大会上，第一次提出了“碳达峰、碳中和”的目标。近些年我们国家为碳中和产业颁发了许多重点政策规划，这一条条政策法规足以体现我们国家发展碳金融的决心，为碳金融发展提供了完备的政策保障。

4. VaR-GARCH 模型和 VAR 模型的构建原理

本文主要采用 VaR-GARCH 模型和 VAR 模型完成实证，首先，对深圳、天津、广东三个碳交易所的碳交易价格进行处理，处理后对数据进行 VaR-GARCH 建模，用此模型估计出条件波动率 σ 后，代入相对 VaR (在险价值)的计算公式中算出相对 VaR，以此来测算出我国碳金融市场风险，并对碳金融市场风险加以分析。之后，再对相对 VaR 和大庆原油现货价格(OIL)、动力煤指数(COAL)、欧元汇率(EURCNY)以及上证指数(SHZ)建立 VAR (向量自回归)模型来进一步分析这四个因素对碳金融市场风

险的影响。

4.1. VaR-GARCH 模型

VaR 是在一定置信水平下的风险值，也就是一项资产或一种投资组合在一定时期内所承受的最大亏损。它用数学语言表示为：

$$P(L > \text{VaR}) = 1 - \alpha \quad (1)$$

式(1)中， α 为置信水平， L 为资产损失， VaR 表示风险价值。本文采用相对 VaR 作为衡量碳融资市场风险的指标。其计算公式如下：

$$\text{VaR} = v_0 Z_\alpha \sigma \sqrt{\Delta t} \quad (2)$$

v_0 是资产的初始价值， Z 是置信水平 $1 - \alpha$ 下的分位数， σ 是条件波动率， Δt 是持有期。

VaR-GARCH 模型是 ARCH 的推广，它以波动性聚集理论为基础，对金融资产波动性进行分析的重要方法。其表达式可归纳为：

$$\text{均值方程:} \quad r_t = C_1 + C_2 r_{t-1} \quad (3)$$

$$\text{方差方程:} \quad \sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad (4)$$

其中， r_t 为收益率， C_1 和 ω 为常数， σ 为波动率， C_2 、 α 和 β 为模型的系数。

建立 VaR-GARCH 模型对碳金融产品的历史交易数据进行分析，拟合得到方差方程(4)，进而预测出条件波动率 σ ，再根据式(2)算出不同置信水平下的 VaR (在险价值)。

4.2. VAR 模型

VAR (向量自回归模型)主要应用于利用全部当期变量对多个滞后期变量进行回归，常被用来预测相关的时间序列系统，研究随机干扰对变量系统的冲击影响，并解释多种经济冲击对这些经济变量的影响。该模型的公式可以表示为：

$$y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \cdots + \alpha_p y_{t-p} + \beta_0 x_t + \cdots + \beta_r x_{t-r} + \varepsilon_t, \quad t = 1, 2, \cdots, T \quad (5)$$

其中， y_t 指的是 k 维内生变量， y_{t-i} ($i = 1, 2, 3, \cdots, p$) 是滞后内生变量， p 是内生变量的滞后阶数， x_t 是 d 维外生变量， x_{t-i} ($i = 1, 2, 3, \cdots, r$) 代表的是 d 维滞后外生变量， r 代表的是外生变量的滞后阶数， ε_t 代表的是 k 维随机扰动项。

本文所构建的 VAR 模型就是用来刻画这四大要素与相对在险价值的相互关系，并分析它们对在险价值的影响程度。该模型的研究假设是：大庆原油现货价格(OIL)、动力煤指数(COAL)、欧元汇率(EURCNY)以及上证指数(SHZ)这四个影响因素对碳金融市场风险是有影响的。

5. 碳金融市场风险分析

5.1. 碳金融市场风险测度分析

5.1.1. 数据处理及描述性统计

鉴于深圳、天津和广东三大碳交易所成立时间较早，有较多的数据和一定的代表性，本文采用这三大碳交易所的数据，并用加权平均方法对其进行处理，处理后的指标代表我国碳金融产品的交易价格。本文选取的研究时间为 2013 年 12 月 26 日至 2022 年 8 月 16 日。为了使这些数据变得更加平稳，本文将对数据进行取对数处理。计算公式如下：

$$R(t) = \ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right) = \ln P_t - \ln P_{t-1} \quad (6)$$

P_t 为第 t 日碳交易的成交均价, P_{t-1} 为第 $t-1$ 日碳交易的成交均价。取对数处理后, 碳交易成交均价的对数收益率就用来表示碳金融市场的日收益率。

用 Eviews 直接生成对数收益率序列, 并绘制出收益率序列时间趋势图如图 3 所示:

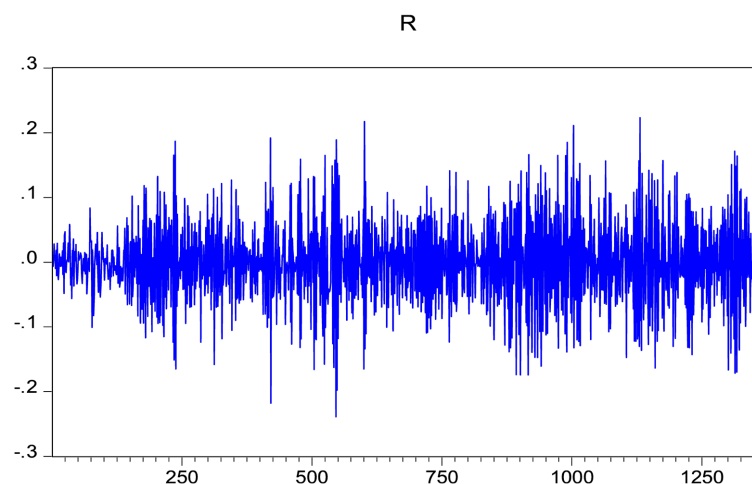


Figure 3. Logarithmic rate of return on carbon trading prices

图 3. 碳交易价格的对数收益率序列

从图 3 可以看出, 我国的碳交易价格收益率有时候会发生很大的变化, 有时候又会保持相对的稳定。在较小(较大)的波动之后, 会跟随着较大(较小)的波动, 也就是说, 存在着明显的波动聚集性。

Table 1. Basic statistical characteristics of carbon trading price yield

表 1. 碳交易价格收益率的基本统计特征

序列	均值	标准差	偏度	峰度	J-B 统计量
R	-0.0003	0.0653	0.0565	3.4137	10.4820*** (0.0053)

注: 括号内是 JB 统计量对应的概率值。***表示在 1%显著性水平统计显著。

由表 1 可以看出, 碳交易价格收益率的均值为 -0.0003, 较小且为负数, 说明碳金融市场还是存在较大风险; 标准差为 0.0653, 较大, 表明碳金融交易价格波动较大, 即所面临的风险也较大; 偏度为 0.0565, 大于 0, 表明收益率右偏; 峰度的值为 3.4137, 大于 3, 说明比正态分布要更加陡峭; J-B 统计量的 P 值为 0.0053, 小于 0.01, 通过了显著性水平为 1%的检验, 说明收益率不服从正态分布。

5.1.2. ADF 检验和 ARCH 效应检验

若要构建 GARCH 模型, 则需要对碳交易的价格收益率进行平稳性检验和 ARCH 效应检验。通过 EViews 可得到, 碳金融价格收益率的 ADF 检验 P 值和 ARCH 效应的 P 值均为 0.0000, 二者都通过了显著性水平为 1%的检验, 拒绝原假设, 表明该序列是平稳的且具有 ARCH 效应, 因此可以对其进行 VaR-GARCH 建模。

5.1.3. VaR-GARCH 模型估计结果

本文用 Eviews 软件进行 GARCH (1, 1)模型估计, 得到的回归结果如表 2 所示:

Table 2. Regression results
表 2. 回归结果

参数	Coefficient	Std.Error	Z-Statistic	Prob
C_1	-0.0006	0.0012	-0.5306	0.5957
C_2	-0.5408	0.0233	-23.1729***	0.0000
ω	0.0002	5.94E-05	3.2028***	0.0014
α	0.1518	0.0295	5.1554***	0.0000
β	0.7874	0.0394	19.9637***	0.0000

注：***表示在 1%显著性水平统计显著。

表 2 是 VaR-GARCH 模型的回归结果，从表 2 可以看出， C_1 是均值方程的截距项，值为-0.0006，它的 Z 统计量为-0.5306，P 值为 0.5957，这表明该截距项并不显著； C_2 是均值方程的系数，值为-0.5408，它的 Z 统计量为-23.1729，P 值为 0.0000，这表明它通过了显著性水平为 1%的检验，结果是显著的； ω 是方差方程的截距项，值为 0.0002，它的 Z 统计量为 3.2028，P 值为 0.0014，这表明它通过了显著性水平为 1%的检验，结果是显著的； α 是方差方程的一个系数，值为 0.1518，它的 Z 统计量为 5.1554，P 值为 0.0000，这表明它通过了显著性水平为 1%的检验，结果是显著的； β 也是方差方程的一个系数，值为 0.7874，它的 Z 统计量为 3.2028，P 值为 0.0014，这表明它通过了显著性水平为 1%的检验，结果是显著的。

由表 2 可以把拟合的方程表达式写出来：

$$r_t = -0.0006 - 0.5408r_{t-1} \quad (7)$$

$$(-0.5306) \quad (-23.1729^{***})$$

$$\sigma_t^2 = 0.0002 + 0.1518\varepsilon_{t-1}^2 + 0.7874\sigma_{t-1}^2 \quad (8)$$

$$(3.2028^{***}) \quad (5.1554^{***}) \quad (19.9637^{***})^1$$

方差方程中，系数估计值 α 为 0.1518，值较大，表明外界条件对碳价波动性影响较大， β 为 0.7874，值也较大，说明历史前期碳价水平对后期碳价波动有显著影响，并且 α 和 β 都通过了显著性水平为 1%的检验，说明 ARCH 项和 GARCH 项结果都是显著的，这表明了碳金融交易价格具有波动聚集性。由方差方程可以看出，条件方差项 GARCH 的系数为 0.7874，为正数，这表示收益与风险之间存在正相关关系，也就是风险越大，回报也就越大，这说明收益具有正的风险溢价。

同时， $\alpha + \beta < 1$ ，这说明本文建立的 VaR-GARCH 模型是稳定的，为下文计算的在险价值的有效性提供了保障。

5.1.4. 基于 GARCH 模型的 VaR 计算

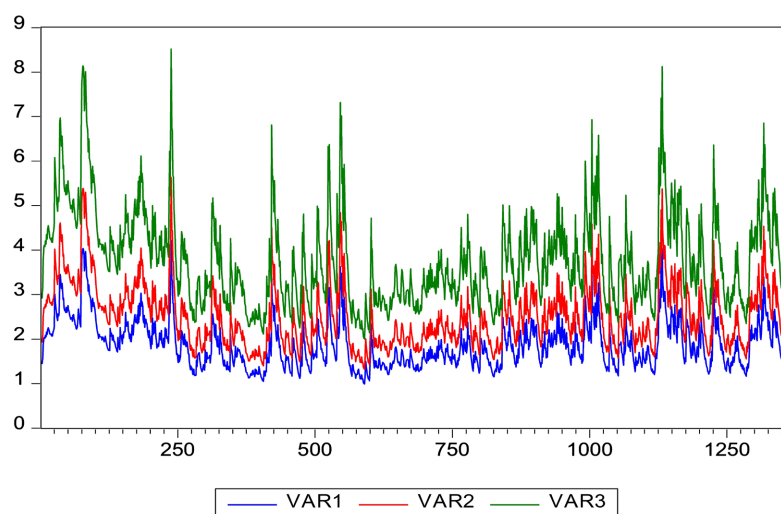
通过 Eviews 估计出的 VaR-GARCH 模型： $\sigma_t^2 = 0.0002 + 0.1518\varepsilon_{t-1}^2 + 0.7874\sigma_{t-1}^2$ 能预测出条件波动率 σ ，然后再根据相对 VaR 的公式，即式(2)，在 Eviews 中得出不同置信水平下的 VaR：

Table 3. VaR at different confidence levels
表 3. 不同置信水平下的 VaR

置信水平	最小值	最大值	天数
90%	0.9923	4.2220	1367
95%	1.3250	5.6373	1367
99%	2.0023	8.5191	1367

¹ 注：括号内是各系数对应的 Z 统计量，***表示在 1%显著性水平统计显著。

根据表 3 可以知道:在置信水平为 90%时,下一个交易日碳金融产品损失超出置信区间(0.9923, 4.2220)的概率不高于 10%;在置信水平为 95%时,下一个交易日碳金融产品损失超出置信区间(1.3250, 5.6373)的概率不高于 5%;在置信水平为 99%时,下一个交易日碳金融产品损失超出置信区间(2.0023, 8.5191)的概率不高于 1%。表 3 显示,碳金融市场的 VaR 会随着置信水平的增加而增加,也就是说极端风险下,碳金融交易价格的波动将会导致未来时期内碳金融市场面临的最大损失增加,对于投资者来说可能会因为碳交易产品价格波动过大而遭受重大投资损失,因此在进行投资时应该谨慎考虑。



注:蓝色线对应的 VaR 表示的是在 90%的置信水平下测算的在险价值。红色线对应的 VaR 表示的是在 95%的置信水平下测算的在险价值。绿色线对应的 VaR 表示的是在 99%的置信水平下测算的在险价值。

Figure 4. VaR at different confidence levels

图 4. 不同置信水平下的 VaR

图 4 展示了不同置信水平下的在险价值,从图 4 可以看出三个置信水平下的 VaR 均大于 0,这表明碳金融市场具有正向风险。此外,从图 4 还可以看出 VaR 波动很剧烈,说明碳金融市场不是很稳定,投资者应该谨慎投资。

5.2. 碳金融市场风险的影响因素分析

本文继续选取相对 VaR(在险价值)作为衡量碳金融市场风险的指标,并选取大庆原油现货价格(OIL)、动力煤指数(COAL)、欧元汇率(EURCNY)以及上证指数(SHZ)作为影响因素指标,其中的因变量是在险价值,自变量为四个影响因素,数据来源于国泰安数据库和前瞻数据库,数据分析软件为 Eviews。

上述四个影响因素的选取理由是:碳市场与石油市场之间有密不可分的关系,石油作为一种能源,它的价格变动将会引起能源市场的变动进而影响碳金融市场风险,本文就以大庆原油现货价格作为影响因素之一;碳金融市场属于能源行业,它与能源行业是相互影响的,本文就以动力煤指数作为能源行业的一个代表来分析对碳金融市场风险的影响;当前中国经济发展与世界紧密联系,会更多的受到欧洲市场的影响,欧元汇率会影响国际资金流动,进而影响国内市场,也就影响了我国碳金融市场风险,因此本文也将欧元汇率作为影响因素来分析;上证指数是由上海证券交易所抽取在上交所上市的全体股票作为样本股而编写的综合指数,它能在很大程度上体现上交所市场的股票大体发展趋势,进而也能反映我国金融市场的大体情况,因此本文也将它作为一个影响因素来分析对碳金融市场风险的影响。

5.2.1. 数据处理及描述性统计

对碳金融市场风险及各个影响因素进行描述性统计，如表 4 所示：

Table 4. Descriptive statistics for individual sequences
表 4. 各个序列的描述性统计

变量	平均值	中位数	最大值	最小值	标准差	偏度	峰度	样本量
VaR	2.5004	2.3804	5.6373	1.3250	0.6907	1.0908	4.5527	1367
OIL	58.2885	53.5000	110.3100	20.0000	21.2842	0.9586	3.2022	1367
COAL	1169.5030	1175.1700	2014.8400	763.9900	211.5586	0.4649	3.7275	1367
EURCNY	7.5826	7.6100	8.5756	6.4852	0.4511	-0.0285	2.7509	1367
SHZ	3016.4090	3078.1200	5166.3500	1991.2500	548.4532	0.4987	4.6549	1367

由表 4 可以看出，VaR(在险价值)的均值为 2.5004，最大值为 5.6373，最小值为 1.3250，也就是说我国碳金融市场的风险损失大小极有可能在这个区间内，标准差为 0.6907，值较大，表明该样本的离散程度较大，偏度为 $1.0908 > 0$ ，该序列右偏，峰度为 $4.5527 > 3$ ，该序列不服从正态分布；OIL(大庆原油现货价格)的均值为 58.2885，它反映了大庆原油现货的价格水平，标准差为 21.2842，值较大，说明价格波动较大，偏度为 0.9586 大于 0，该序列右偏，峰度为 $3.2022 > 3$ ，该序列不服从正态分布；COAL(动力煤指数)的均值为 1169.5030，反映了动力煤市场的一个基本水平，标准差为 211.5586，值较大，说明动力煤市场不太稳定，偏度为 $0.4649 > 0$ ，该序列右偏，峰度为 $3.7275 > 0$ ，该序列不服从正态分布；EURCNY(欧元汇率)的均值为 7.5826，它反映了欧元兑换人民币的价格水平，标准差为 0.4511，值较大，表明这个价格变化是不太稳定的，偏度为 $-0.0285 < 0$ ，该序列左偏，峰度为 $2.7509 < 3$ ，该序列不服从正态分布；SHZ(上证指数)的均值为 3016.4090，它反映了股市的一个基本情况，标准差为 548.4532，值很大，说明股市比较动荡，偏度为 $0.4987 > 0$ ，该序列右偏，峰度 $4.6549 > 3$ ，该序列不服从正态分布。

5.2.2. ADF 平稳性检验

创建 VAR 模型(向量自回归)的前提是数据是平稳的，所以在对上述数据进行取对数处理后做平稳性检验。结果如表 5 所示：

Table 5. Unit root test
表 5. 单位根检验

变量	ADF 检验值	显著水平临界值(1%)	显著水平临界值(5%)	显著水平临界值(10%)	P 值	检验结果
lnVaR	-48.0921	-2.5667	-1.9411	-1.6165	0.0001	平稳
lnOIL	-37.8405	-2.5667	-1.9411	-1.6165	0.0000	平稳
lnCOAL	-35.9391	-2.5667	-1.9411	-1.6165	0.0000	平稳
lnEURCNY	-36.2089	-2.5667	-1.9411	-1.6165	0.0000	平稳
lnSHZ	-35.0758	-2.5667	-1.9411	-1.6165	0.0000	平稳

由表 5 可以看出，lnVaR 的 ADF 检验值为-48.0921，lnOIL 的 ADF 检验值为-37.8405，lnCOAL 的 ADF 检验值为-135.9391，lnEURCNY 的 ADF 检验值为-36.2089，lnSHZ 的 ADF 检验值为-35.0758，它们均通过了显著性水平为 1%的单位根检验，即以上序列都是平稳的。

5.2.3. 滞后阶数的确定与模型稳定性检验

根据 FPE、AIC、SC、HQ 标准对最优滞后阶数进行检验，在 2 阶时结果最为显著，因此根据结果选择最佳滞后阶数为 2 期。通过对向量自回归模型进行稳定性测试，来度量模型的稳定性。用单位圆内的一个圆点来代表 AR 特征根的倒数的模值，并对这个模型做一个 AR 根测试，如图 5 所示：

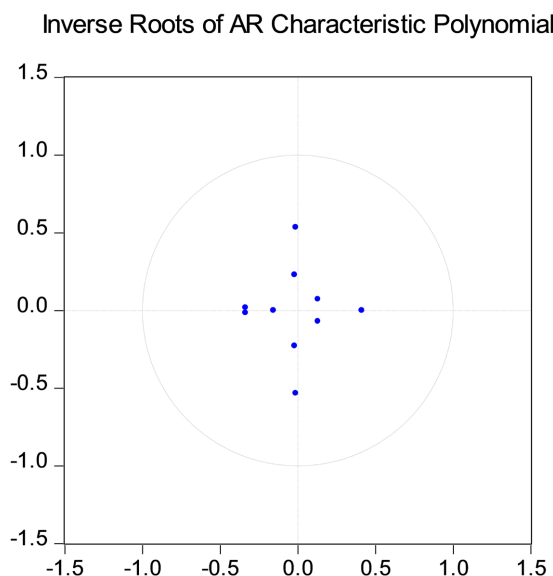


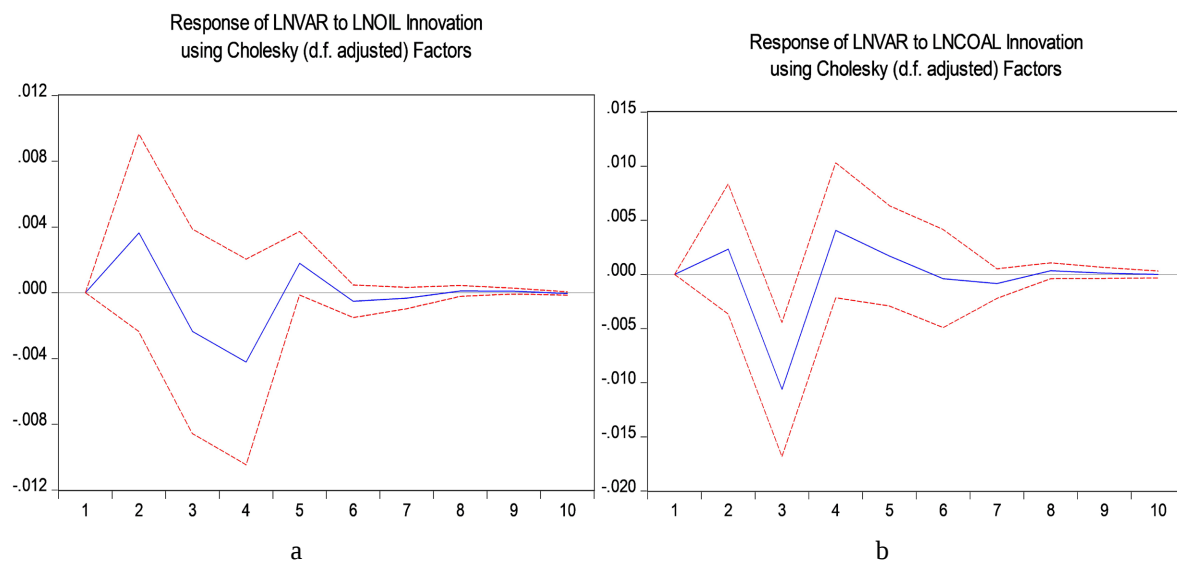
Figure 5. AR image of the VAR model

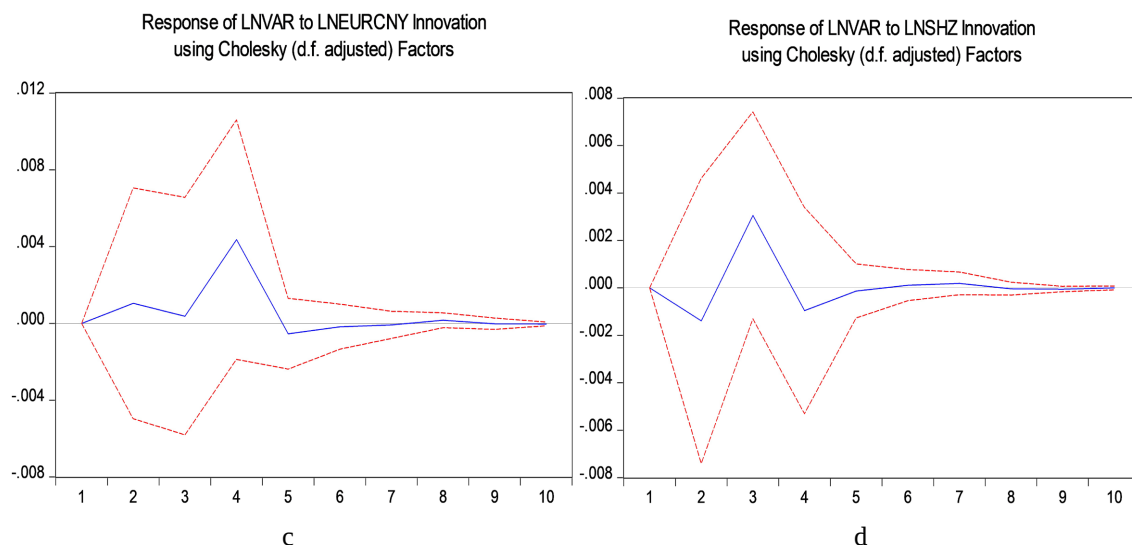
图 5. VAR 模型的 AR 图

从图 5 中可以看到，AR 根的模的倒数都落在了单位圆内，这说明相对 VaR 与四个影响因素之间是相互影响的，说明上述模型是稳定的，具有实际的检验意义。

5.2.4. 脉冲响应分析

为了描述变量之间的精确动态关系，本文使用脉冲响应函数进行分析，得出各因素冲击 VaR 的脉冲响应图，如图 6 所示：





注：图 a 是碳金融市场风险受到大庆原油现货价格变化冲击的脉冲响应图；图 b 是 s 碳金融市场风险受到动力煤指数变化冲击的脉冲响应图；图 c 是碳金融市场风险受到欧元汇率变化冲击的脉冲响应图；图 d 是碳金融市场风险受到上证指数变化冲击的脉冲响应图。

Figure 6. Corresponding diagram of the pulse of each factor impacting VaR

图 6. 各个因素冲击 VaR 的脉冲相应图

图 6 是各个因素冲击相对 VaR 的脉冲响应图，横轴表示冲击的滞后期数，纵轴表示我国碳金融市场风险对于冲击的响应，本文将对 a、b、c、d 图进行逐一分析：

如图 a 所示，大庆原油现货价格变化对碳金融市场风险前期产生正向影响，在第 2 期达到最高，随后迅速下降，在第 4 期达到负向最大值，这说明短期内大庆原油现货价格的上涨会使碳金融市场风险上升，而当价格持续上涨一段时间，就会使碳金融市场风险降低，这是因为大庆原油现货价格短期上涨可能不会使投资者看好，但是当上涨一段时间后，会吸引更多的投资者们，能源市场发展良好，碳金融市场风险也就变小了；图 a 在第 9 期之后就逐渐收敛于 0，说明大庆原油现货价格变化对碳金融市场风险的冲击维持在 9 期左右，冲击持续时间是四个影响因素中最长的。

如图 b 所示，动力煤指数变化前期对碳金融市场风险产生微弱正向影响，之后便急速向负向走去，并在第 3 期达到负向最大值，这说明动力煤指数上升主要会使碳金融市场风险下降，这是因为动力煤指数上升代表着动力煤市场发展良好，那么同为能源市场的碳金融市场也会受到良好影响，碳金融市场风险将会变小；图 b 在第 6 期之后就逐渐收敛于 0，说明动力煤指数变化对碳金融市场风险的冲击维持在 6 期左右，之后便几乎没有影响。

如图 c 所示，欧元汇率变化对碳金融市场风险的冲击几乎都是正向的，并且是上升的，在第 4 期达到正向最大值，这说明欧元兑换人民币价格的上升会导致碳金融市场风险的上升，这是因为欧元汇率上升意味着人民币贬值，我国金融市场发展出现一定问题，也就导致了碳金融市场风险的上升；图 c 在第 8 期之后就逐渐收敛于 0，说明欧元汇率变化对碳金融市场风险的冲击维持在 8 期左右，之后便几乎没有影响。

如图 d 所示，上证指数的变化对碳金融市场风险的冲击短期内一开始是负向的，之后便开始上升，在第 3 期达到正向最大值，这说明上证指数上涨时一开始会使得碳金融市场风险下降，但持续上涨会导致碳金融市场风险上升，这是因为上证指数是衡量股市的重要指标，而股市是经济的晴雨表，当指数上升时，经济运行良好，股市也会有较高的收益，金融市场发展良好，碳金融市场风险也会降低，可是指

数若持续上涨，这可能是由通货膨胀所引起的，市场发展陷入困境，碳金融市场风险将会上升。图 d 在第 5 期之后就逐渐收敛于 0，说明上证指数变化对碳金融市场风险的冲击维持在 5 期左右，冲击持续时间是四个影响因素中最短的。

5.2.5. 方差分析结果

脉冲响应函数仅能反映出各因素在碳金融市场中的正、负、持续的程度，要想更好地理解，还需要对其进行方差分析。

Table 6. ANOVA results

表 6. 方差分析结果

period	LnVaR	lnOIL	lnCOAL	lnEURCNY	lnSHZ
1	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	99.8334	0.1017	0.0417	0.0084	0.0148
3	98.8704	0.1416	0.8937	0.0093	0.0850
4	98.4685	0.2745	1.0134	0.1521	0.0915
5	98.4214	0.2984	1.0343	0.1542	0.0916
6	98.4181	0.3005	1.0354	0.1544	0.0919
7	98.4117	0.3012	1.0407	0.1545	0.0919
8	98.4106	0.3013	1.0415	0.1547	0.0919
9	98.4104	0.3014	1.0416	0.1547	0.0919
10	98.4104	0.3014	1.0416	0.1547	0.0919

从表 6 可以得到以下结果：① 碳金融市场风险受自身波动影响较大，其他影响因素对它的贡献程度较小，这是由于我国碳金融市场不够成熟，不能很好地与其他市场联动所导致的，这表明我们国家的碳金融交易市场效率是较低的，市场还不是很健全。② 从第 1 期之后，各个因素对碳金融市场风险的波动都产生了影响，且其贡献度都随着期数的增加有所上升，这说明各影响因素对碳金融市场风险的影响程度是在递增的。③ 大庆原油现货价格变化对碳金融市场风险的影响在第 9 期达到最大值，之后便不再增加，说明大庆原油现货价格的贡献程度最高达到了 0.3014%；动力煤指数变化对碳金融市场风险的影响在第 9 期达到最大值，之后便不再增加，说明动力煤指数的贡献程度最高达到了 1.0416%；欧元汇率价格变化对碳金融市场风险的影响在第 8 期达到最大值，之后便不再增加，说明欧元汇率的贡献程度最高达到了 0.1547%；上证指数变化对碳金融市场风险的影响在第 6 期达到最大值，之后便不再增加，说明上证指数的贡献程度最高达到了 0.0919%；因此，各个影响因素的解释程度由高到低的排序是：动力煤指数 > 大庆原油现货价格 > 欧元汇率 > 上证指数。

5.3. 实证小结

本文得出的实证小结如下：第一，我国碳金融市场风险波动较大。本文测度了碳金融市场风险，结果表明，我国碳金融交易价格收益率序列呈现出了波动聚集性。且模型的估计结果表明，收益率序列的波动幅度较大，具有一定的持续性。同时，不同置信水平下的 VaR 是有所不同的，不同置信水平下的 VaR 会随着置信水平的增加而增加，也就是说极端风险下，碳金融交易价格的波动将会导致未来时期内碳金融市场的最大损失增加，此外，我们还可以看出相对 VaR 波动很剧烈，说明碳金融市场不是很稳定，投资者在进行投资时应该谨慎考虑。第二，碳金融市场风险受自身影响较大。对碳金融市场风险进行测评

分析后,本文又对碳金融市场风险的主要影响因素进行了分析。根据建立的 VAR 模型,选取了大庆原油现货价格(OIL)、动力煤指数(COAL)、欧元汇率(EURCNY)以及上证指数(SHZ)这四个影响因素,最终发现除碳金融市场风险自身的影响外,动力煤指数影响较大,原因是我国碳金融市场还不够成熟,不能很好地与其他市场联动,例如没有足够丰富的可以用来避险的金融衍生工具,这将会导致碳金融市场风险增大。而碳金融市场和动力煤市场同属于能源市场,相互影响较大。第三,能源市场对碳金融市场风险有较大影响。根据方差分析结果可以看出四个主要影响因素的贡献程度大小是:动力煤指数 > 大庆原油现货价格 > 欧元汇率 > 上证指数,这个结果表明,在大庆原油现货价格、动力煤指数、欧元汇率、上证指数这四个影响因素中,动力煤指数和大庆原油指数这两个代表能源市场的指标对碳金融市场风险的影响是较大的,这符合了能源经济学的基本结论,这两个要素的价格上涨,将会影响我国产业结构和能源结构的调整,势必会给碳金融市场带来市场的不确定性,从而带来市场风险。

6. 结论与对策建议

本文对我国碳金融市场风险进行测量后,发现我国碳金融市场风险波动较大,缺乏完善的碳金融风险防控体系。在研究了四个影响因素对碳金融市场风险的影响程度后,发现除碳金融市场风险自身的影响外,能源市场的影响较大,原因是我国碳金融市场还不够成熟,不能很好地与其他市场联动,而碳金融市场属于能源市场,两个市场相互影响较大。本文根据结论提出的对策建议如下:

6.1. 构建完善的碳金融风险防控体系

中国应该强化对碳金融市场风险的监控,使其可以辨识出各种类型的碳融资风险,并构建出一套行之有效的预警体系;还要重视信息不对称问题,积极搭建信息发布平台,更严格监控市场;发挥信用评级在监管中的作用,对金融碳市场引入严格的碳信用评级制度,客观评估金融主体信用状况,进入良性循环,在一定程度上规避潜在的市场风险。

6.2. 促进碳金融产品创新

目前,我国碳金融市场没有足够的金融衍生品用于套期保值,这将导致碳金融市场风险增加,因此我国应推动碳金融相关金融衍生品的创新。国家可以支持商业银行去设计与之相关的金融产品;开展我国独特的碳金融租赁业务,开展碳排放催收担保,设计碳融资相关基金等。在期货和期权市场中,也可以设计与之相关的碳金融产品。它还可以模仿其他期货和期权产品,实现碳金融产品的对冲交易以及与风险相关的操作,使投资者能够对冲风险,从而进一步降低碳金融市场的风险并提高抵御冲击的能力。

6.3. 强化对能源供应突发事件的预判

能源市场对金融碳市场的风险具有重大影响,我国应加强对能源市场的日常监测,预测能源供应突发事件。我国能源市场更容易发生突发事件,要时刻关注全球能源市场和国际形势,加强对国内外重大突发事件的预警,包括能源市场水平和经济金融水平等,预测能源市场可能引发风险的因素,充分利用金融市场和金融工具做好对冲准备。

参考文献

- [1] Alberola, E., Chevallier, J. and Chèze, B. (2008) Price Drivers and Structural Breaks in European Carbon Prices 2005-2007. *Energy Policy*, **36**, 787-797. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.10.029>
- [2] Kijima, M., Maeda, A. and Nishide, K. (2009) Equilibrium Pricing of Contingent Claims in Tradable Permit Markets. *Journal of Futures Markets*, **30**, 559-589. <https://doi.org/10.1002/fut.20430>
- [3] Sultan, J. (2009) Dynamic Hedging in Carbon Emissions Markets. Bentley University.

-
- [4] Blyth, W. and Bunn, D. (2011) Coevolution of Policy, Market and Technical Price Risks in the EU Ets. *Energy Policy*, **39**, 4578-4593. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.061>
 - [5] Feng, Z., Wei, Y. and Wang, K. (2012) Estimating Risk for the Carbon Market via Extreme Value Theory: An Empirical Analysis of the EU Ets. *Applied Energy*, **99**, 97-108. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.070>
 - [6] Li, T., Zhang, Z.G. and Zhao, L.T. (2013) Estimating the Portfolio Risk with Copula-Garch-Evt Method: Empirical Study of Carbon Market. *Advanced Materials Research*, **791**, 2175-2178. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.791-793.2175>
 - [7] Reboredo, J.C. and Ugando, M. (2015) Downside Risks in EU Carbon and Fossil Fuel Markets. *Mathematics and Computers in Simulation*, **111**, 17-35. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2014.12.001>
 - [8] 张瑞琴, 张辰西. 我国碳金融的发展及国际经验借鉴[J]. 国际经济合作, 2011(5): 79-82.
 - [9] 陈云波. 国内碳排放交易市场现状及碳金融模式初探[J]. 上海节能, 2020(9): 1029-1036.
 - [10] 孔祥云. 我国碳金融市场的现状、问题及对策研究[J]. 农村经济与科技, 2019, 30(4): 97-98.
 - [11] 钱晶. 中国建立碳金融市场的现状、问题及必要性[J]. 市场周刊(理论研究), 2017(5): 97-98.
 - [12] 王恺, 邹乐乐, 魏一鸣. 欧盟碳市场期货价格分布特征分析[J]. 数学的实践与认识, 2010, 40(12): 59-65.
 - [13] 蒋晶晶, 叶斌, 马晓明. 基于 GARCH-EVT-VaR 模型的碳市场风险计量实证研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2015, 51(3): 511-517.
 - [14] 张晨, 杨玉, 张涛. 基于 Copula 模型的商业银行碳金融市场风险整合度量[J]. 中国管理科学, 2015, 23(4): 61-69.
 - [15] 王婷婷, 张亚利, 王淼晗. 中国碳金融市场风险度量研究[J]. 金融论坛, 2016, 21(9): 57-68.
 - [16] 杜莉, 王利, 张云. 碳金融交易风险: 度量与防控[C]//全国高等财经院校《资本论》研究会. 全国高等财经院校《资本论》研究会 2014 年学术研讨会论文汇编(下). 2014: 116-127.
 - [17] 邱谦, 郭守前. 我国区域碳金融交易市场的风险研究[J]. 资源开发与市场, 2017, 33(2): 188-193.
 - [18] 杨俊宇. 我国碳金融市场风险研究[J]. 企业改革与管理, 2020(1): 6-8.
 - [19] 张晓楠, 蒋语然. 碳金融市场风险度量在全国碳市场交易中的应用[J]. 投资与创业, 2021, 32(21): 38-40.