

摘要

2020年,我国政府明确提出“碳中和”、“碳达峰”目标,碳金融开始进入大众的视野。2021年全国碳排放交易市场的正式启动宣告我国碳排放权交易市场发展进入了新阶段。建设碳排放权交易市场是推动绿色低碳发展、控制减少温室气体排放的重大制度创新,也是实现双碳目标的重要政策工具。而2022年2月,俄乌之战爆发,三大传统能源价格持续上涨,欧盟碳期货价格却发生断崖式下跌,全球碳减排活动受到冲击。因此,研究极端情况下碳排放权与传统能源交易价格间的相依性能够在全国碳排放权交易市场建立初期及时准确进行风险监测,减少市场间风险传播,维护市场稳定。本文研究逻辑具体如下:

首先,本文介绍了国内外碳排放权交易市场与国内三大传统能源市场发展现状,分析了能源市场间相依性作用机制,基于国内不同碳市场的碳排放权交易价格分别进行四组研究,依据AIC准则分别对每组研究中八个变量选取最优边缘分布模型后提取标准化残差,在验证标准化残差不存在异方差和自相关效应后进行概率积分变换,为后续构建Vine Copula模型做准备。

其次,对概率积分变换后的残差分别拟合三种Vine Copula模型。研究表明:第一,我国碳排放权交易市场与传统能源市场间相依性较弱,仅与国内煤炭市场存在一定相依性。而欧盟碳配额交易市场与原油、煤炭、天然气交易市场间均存在相依性,这与我国碳排放权交易市场起步较晚、发展时间短、活跃程度不够、市场功能不足有关。第二,从国内不同试点市场碳排放权交易市场来看,深圳、广东碳排放权交易市场与动力煤市场之间相关系数为正,而湖北碳排放权交易市场则与动力煤市场间相关系数为负,这表明国内不同试点市场发展状况并不相同。

再次,将总体样本以新冠疫情为分界点划分为两个子样本,以研究外部冲击是否会对碳排放权交易市场与传统能源市场间相依性产生影响以及产生怎样的影响。结果表明,在受到外部冲击后,我国碳排放权交易市场与天然气市场间相依性显著增加,表明天然气市场的波动会加剧碳排放权交易市场的整体波动。主要原因在于受到冲击后的一段时间内,煤炭价格发生了较大幅度的上涨,为了降低价格波动带来的风险,企业选择相对而言价格更加稳定的天然气来替代煤炭,从而增加天然气市场与碳排放权交易市场间的相依性。

最后,本文基于实证分析结果提出了有关碳排放权交易市场与传统能源市场的定

价影响因素，为政策制定者、市场参与者提供参考。

关键词：碳排放权交易;传统能源;相依性;Vine-Copula

Abstract

In 2020, the Chinese government clearly put forward the goals of "carbon neutrality" and "carbon emissions peak", and carbon finance began to enter the public's vision. The official launch of the national carbon emission trading market in 2021 will usher in a new stage of development of China's carbon emission trading market. Building a carbon emission trading market is a major institutional innovation to promote green and low-carbon development, control and reduce greenhouse gas emissions, and is also an important policy tool to achieve the two-carbon goal. However, in February 2022, when the war between Russia and Ukraine broke out and the prices of three traditional energy sources continued to rise, EU carbon futures prices fell off a cliff, impacting global carbon emission reduction activities. Therefore, the study of the correlation between carbon emission permits and traditional energy trading prices under extreme circumstances is enough to timely and accurately monitor the risks in the early stage of the establishment of the national carbon emission permits trading market, reduce risk transmission between markets and maintain market stability.

First of all, this paper introduces the development status of domestic and foreign carbon emission trading markets and the three traditional energy markets in China, analyzes the interdependent mechanism of energy markets, conducts four groups of studies based on carbon emission trading prices in different domestic carbon markets, selects the optimal edge distribution model for eight variables in each group of studies and extracts the standardized residual according to AIC criterion. After verifying that the standardized residuals do not have heteroscedasticity and autocorrelation effect, probability integral transformation is carried out. The preparation for the subsequent construction of Vine Copula model.

Secondly, three Vine Copula models are fitted to the residuals after probability integral transformation. The results show that: first, the correlation between Chinese carbon emission trading market and traditional energy market is weak, only there is a certain correlation with the domestic coal market. However, there is interdependence between the EU carbon quota trading market and the crude oil, coal and natural gas trading markets, which is related to the late start of Chinese carbon emission trading markets, the short development time, the

insufficient degree of activity and the insufficient market functions. Second, from the perspective of carbon emission trading markets in different pilot markets in China, the correlation coefficient between the carbon emission trading markets in Shenzhen and Guangdong and the thermal coal market is positive, while the correlation coefficient between the carbon emission trading markets in Hubei and the thermal coal market is negative, which indicates that the development conditions of different pilot markets in China are different.

Thirdly, the overall sample is divided into two sub-samples with COVID-19 as the cut-off point to study whether and how external shocks will affect the risk dependence between the carbon emission trading market and the traditional energy market. The results show that after external shocks, the interdependence between the carbon emission trading market and the natural gas market increases significantly, indicating that the volatility of the natural gas market will aggravate the overall volatility of the carbon emission trading market. The main reason is that within a period of time after the shock, coal price rose significantly. In order to reduce the risk caused by price fluctuations, enterprises choose natural gas, which has a more stable price, to replace coal, thus increasing the interdependence between the natural gas market and the carbon emission trading market.

Finally, based on the empirical analysis results, this paper puts forward the pricing factors related to the carbon emission trading market and the traditional energy market, so as to provide reference for policy makers and market participants.

Key words: Carbon emission trading; Traditional energy sources; Dependency; Vine-Copula

目录

第 1 章 引言	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	3
1.2 研究思路与方法以及结构安排	4
1.2.1 研究思路	4
1.2.2 研究方法	5
1.3 论文创新点	6
第 2 章 文献综述	7
2.1 碳排放权交易价格与传统能源价格间相依性研究	7
2.1.1 国内外同类传统能源价格间相依性研究	7
2.1.2 三大传统能源价格间相依性研究	7
2.1.3 碳排放权交易价格与三大传统能源价格相依性研究	8
2.2 Copula 函数应用研究	10
2.2.1 二元 Copula 函数应用研究	10
2.2.2 Vine-Copula 函数应用研究	11
2.3 研究评述	12
2.4 本章小结	12
第 3 章 理论机制及模型介绍	14
3.1 碳排放权交易价格与传统能源价格相依关系的理论机制	14
3.1.1 商品化机制	14
3.1.2 金融化机制	15
3.1.3 定价机制	16
3.2 相依关系模型介绍	16
3.2.1 Copula 函数的定义	16
3.2.2 常见二元 Copula 函数	17
3.2.3 Vine Copula 函数	19
3.3 本章小结	21
第 4 章 能源相依性实证检验	22
4.1 变量选择与描述性统计	22
4.2 Vine Copula 实证结果	25

4.2.1 模型构建	25
4.2.2 结果分析	26
4.3 本章小结	39
第5章 外部冲击下能源相依性实证检验	40
5.1 描述性统计	40
5.2 模型构建	42
5.3 结果分析	44
5.4 本章小结	50
第6章 研究结论及相关建议	51
6.1 研究结论	51
6.2 相关建议	52
参考文献	54
附录 A	59
致谢	63

第 1 章 引言

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

2021 年 8 月 9 日, IPCC(联合国政府间气候变化专门委员会)发布第六次报告指出, 全球变暖是由人类燃烧化石燃料进而排放温室气体所造成的, 截止到目前为止, 大气中二氧化碳浓度、升温的速度、海平面大幅度上升。随着 IPCC 第六次报告的发布, 全球将全面进入“碳中和”的时代。

为了解决温室气体减排问题, 1997 年通过的《京都协议书》将二氧化碳排放权作为可交易的商品, 以市场为手段建立二氧化碳排放权交易市场。截至目前, 国际上最主要碳排放权交易市场包括欧盟碳排放交易体系、英国排放交易体系、美国芝加哥气候交易所以及澳大利亚国家信托。

我国作为世界最大的碳排国, 一直坚持走可持续发展道路, 始终主动参与组织节能减排活动。2013 年至 2016 年间七省市陆续开展了碳排放权试点交易¹。截至 2022 年 12 月 31 日, 广东碳排放权交易试点市场居于我国碳排放权交易试点市场中累计成交量首位, 湖北、深圳紧随其后, 三者总量达到我国碳排放权交易试点市场总量的 80%。同样, 广东碳排放权交易试点市场同样位于累计成交额首位。图 1-1 展示了不同碳排放权交易试点市场累计成交量与累计成交额占比情况。

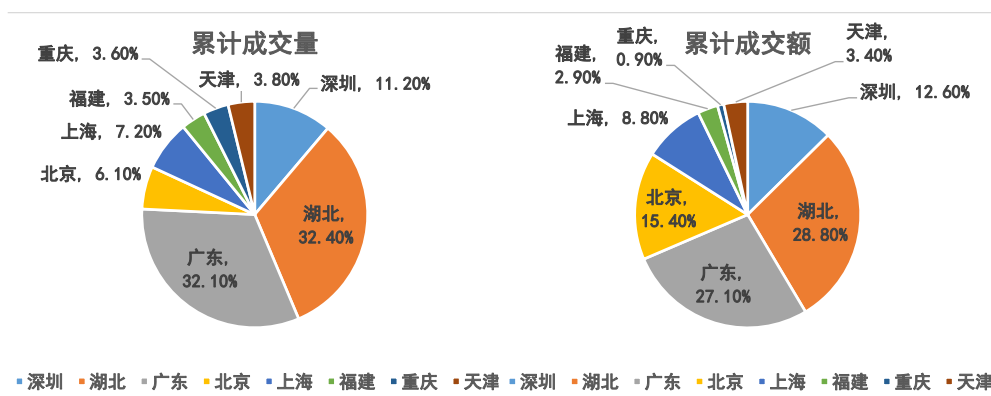


图 1-1 截至 2022 年 12 月 31 日我国不同碳试点市场累计成交量与累计成交额占比情况

附注: 相关数据来自 wind 数据库

¹ 七省市碳排放权试点交易市场包括深圳、上海、北京、广东、湖北、天津、重庆碳排放权交易市场。

受新冠疫情的影响，原定于 2020 年开启的全国碳排放交易市场在 2021 年 7 月 16 日正式上线交易。交易首日，全国碳排放配额（CEA）成交 410 万吨，成交额 2.1 亿元。首个履约期于 2021 年 12 月 31 日正式结束，在此期间，从交易价格来看全国碳排放权交易价格总体于 40~50 元/吨期间内波动，从累计成交量来看，日常交易并不活跃，主要以大宗交易为主，买方存在一定的垄断地位，碳排放权交易市场的竞争性水平在一定程度上受到影响，需进一步激发市场活力。从试点碳排放权交易到全国统一碳交易，我国碳排放权交易市场发展进入新阶段。

该市场的建立既有利于推动管控之下的高排放行业实现能源消费和产业结构的绿色低碳化，着力促进高排放行业率先实现达峰，也能够提供经济激励机制，从而实现资金向减排潜力大的企业倾斜，推动绿色低碳技术创新，同时设立全国碳排放权交易市场抵消机制，促进可再生能源的发展，倡导绿色低碳的生产方式，这也意味着我国距离“双碳”目标的实现更进一步。

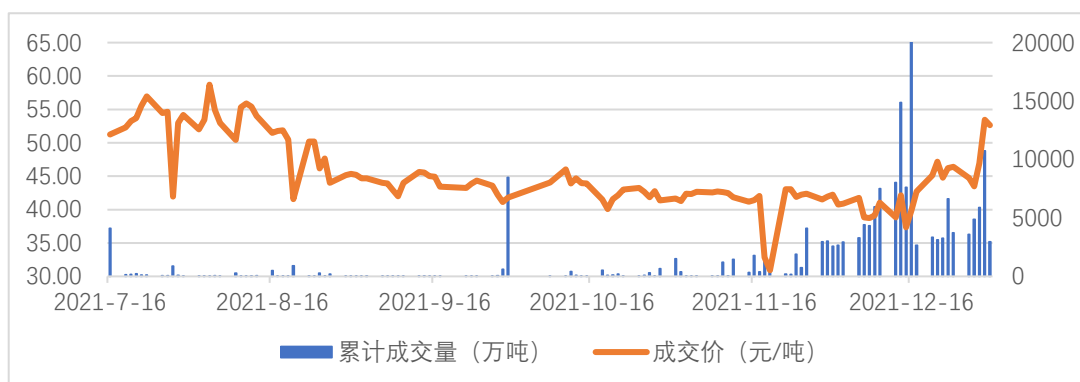


图 1-2 全国碳市场首个履约期累计成交量及成交价格走势

附注：相关数据来自 wind 数据库

三大传统能源与二氧化碳的排放紧密相连，由于碳排放的不断增加，我国致力于推动能源结构转型¹。2022 年 2 月，俄乌之战爆发，欧美国家开启对俄罗斯金融、经济以及能源等各方面的全面制裁。作为能源大国，俄乌冲突持续时间长短、俄罗斯受制裁程度，都会给全球能源市场带来不可预估的影响。

从能源消费结构来看，2012 年以来，我国能源消费总量处于低速增长，如图 1-3 所示，2020 年受新冠疫情影响，我国能源消费增速由 3.3% 下降至 2.22%，2021 年我国能源消费需求逐步回升，全年消费总量上升至 52.4 亿吨标准煤，较上年上升

¹ 能源结构转型：由化石能源为主向非化石能源为主转变。

5.2%。其中，天然气消费总量上升 12.5%，原油消费总量上升 4.1%，煤炭消费总量上升 4.6%。尽管我国煤炭消费总量逐年上升，但其消费占比稳步下降。21 年煤炭消费量占比 56%，较上年相比下降 0.9 个百分点，而天然气等清洁能源占比 25.5%，较上年增加 1.2 个百分点，能源消费结构向清洁低碳加速转变。但总体来看，煤炭始终处于主体地位，天然气及石油对外依存度逐年增高。因此俄乌之战导致的油气煤价格的上涨必然会对我国传统能源价格产生影响，从而导致碳排放权交易价格发生相应的波动，最终间接影响我国“碳中和”目标的实现。

随着金融工具的快速发展和经济全球化的进程，各种市场之间相依性越来越强，外部冲击可能导致一个市场的波动传导到其他市场。因此，研究传统能源价格与碳排放权交易价格之间的关系对经济增长和环境保护具有重要意义。

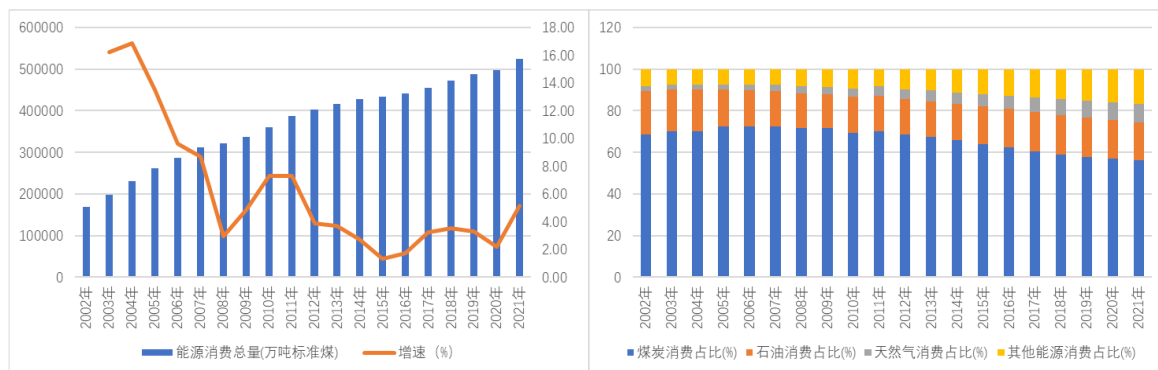


图 1-3 2002-2021 年能源消费总量及增速

附注：相关数据来源于国家统计局

1.1.2 研究意义

(1) 理论意义

尽管我国碳排放权交易市场仍处于起步阶段，但随着我国碳排放权交易市场的不断发展和完善，其金融化程度越发深入，我国碳金融乃至能源金融市场与国际能源金融市场之间的联系愈加紧密，相互关系也会愈加复杂，因此在全国碳排放权交易市场建立初期，研究其与国内外能源市场间的相依性显得尤为重要。政府部门和监管当局可以依此制定相关政策来防范风险。

(2) 现实意义

我国自 2013 年开始建设碳排放权交易试点市场，关于我国碳排放权交易市场及交易价格方面的研究也比较匮乏。本文侧重研究我国碳排放权交易市场与国内外三大传统能源市场间的相依性，从企业层面而言，明确碳排放权交易市场与其他能源市场

之间的关系有助于企业在“双碳”背景下，锁定经营成本，保证企业的利润。

1.2 研究思路与方法以及结构安排

1.2.1 研究思路

本文着眼于研究我国碳排放权交易市场与国内外传统能源市场间的相依关系，主要通过建立 Vine Copula 模型刻画其他能源市场的波动对我国碳排放权交易市场产生怎样影响。

第一章，绪论。明确本文研究方向，以国内外碳排放权交易市场及传统能源市场现状为背景引入本文主题，介绍研究意义、研究方法、论文结构和研究的创新点。

第二章，文献综述。通过对国内和国外的关于能源价格间相依关系以及 Copula 应用文献的阅读，总结并梳理前人所用的数据、模型以及研究成果。首先梳理碳排放权交易价格与传统能源价格间相依性的国内外研究现状，发现由于我国碳排放权交易市场起步较晚且不够完善，有关国内碳排放权交易价格相依性文献较少，因此在此基础上本文运用相关模型研究我国碳排放权交易市场的相依性。之后对 Copula 模型研究现状进行梳理，为开展本文研究打下基础。

第三章，能源价格间相依关系的理论机制以及相关模型介绍。本章首先从金融化机制和定价机制两方面阐述能源价格间的相依关系，其次介绍本文所使用的 Vine Copula 模型，并在此基础上进行下一章的实证研究。

第四章，相依性实证分析。本章对我国碳排放权交易价格与传统能源价格间的尾部相依关系进行实证分析。对所采用的数据进行时间序列平稳性检验、自相关检验以及异方差检验，依据 AIC、BIA 准则选择最优的边缘分布模型，过滤所需要的标准化残差后对其进行概率积分变换，在此基础上进行三种 Vine Copula 模型的拟合，依据 LogLik、AIC 以及 BIC 准则选取最优 Vine Copula 函数。

第五章，外部冲击下相依性实证分析。以新冠疫情为分界点将总样本划分为两个子样本分别构建 Vine Copula 函数，以研究外部冲击对我国碳排放权交易市场与传统能源市场间相依性的影响。

第六章，结论与相关建议。本章对相依关系进行总结和分析，并依据此为政策制定者、市场参与者提出具有参考价值的建议。

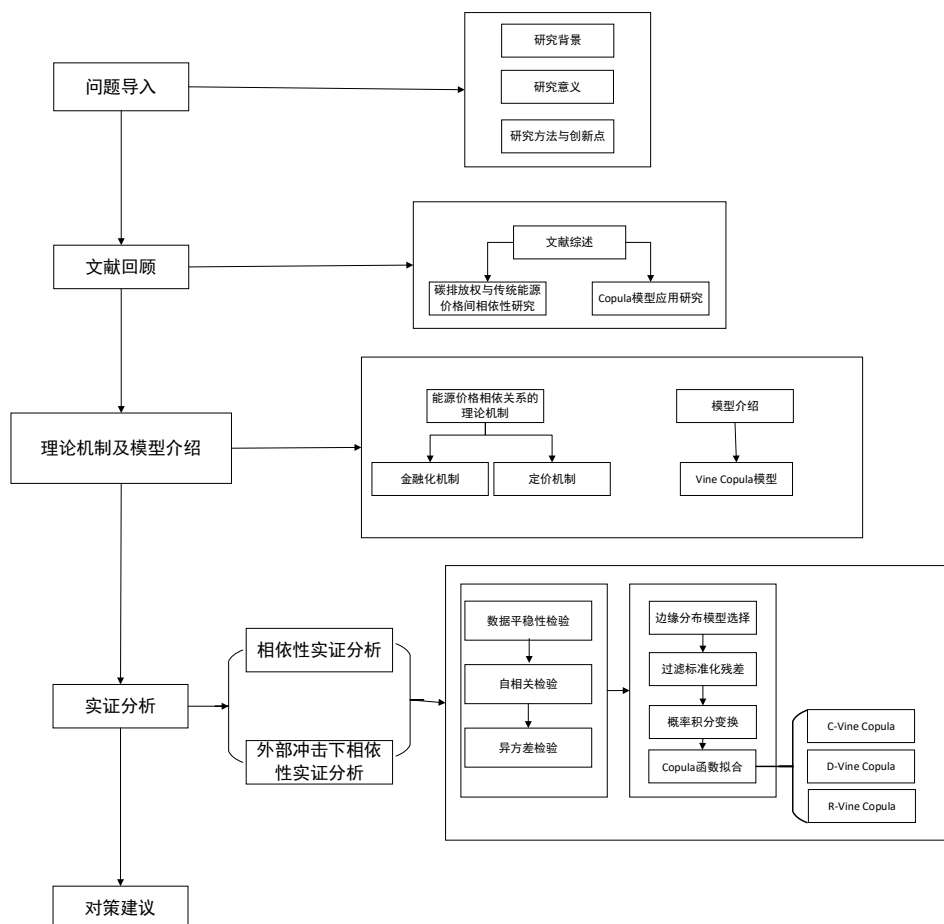


图 1-4 研究结构

1.2.2 研究方法

(1) 文献分析法

本文通过文献研究法,针对碳排放权交易市场与三大传统能源市场间的相依关系进行了学习和分类整理,理清已有文献在研究中数据的选取、模型的采用和相关研究结论,发现现有文献大多选用的是欧盟碳价格来研究欧盟碳市场与其他能源市场间的相依性,而由于我国碳排放权交易市场起步较晚且不够完善,导致研究我国碳排放权交易市场的文献较少且大多集中在研究相关关系,为此本文提出运用 Vine Copula 模型来研究间的相依关系,查看我国碳排放权交易市场与其他能源市场间是否存在相依性,其他能源市场发生价格波动时是否会对我国碳排放权交易市场产生相应的影响,以及产生怎样的影响。

(2) Vine Copula 模型

本文基于三种 Vine Copula 模型对中国碳排放权交易市场与国内外传统能源市场间高维相依关系进行实证研究,以往文献多采用 GARCH 模型,但由于其在数据适用

性上存在着一定的缺陷，而 Vine Copula 函数既能用于高维变量研究，同时又能衡量非线性、非对称相关性，更符合金融变量特性，因此本文选择 Vine Copula 函数加全面探究我国碳排放权交易市场与传统能源市场间的相依关系。

1.3 论文创新点

从研究变量来说，本文选取了深圳、北京、广东、湖北碳排放权交易价格以及欧盟碳排放配额期货来代表国内外碳排放权交易价格。选取上海 INE 原油期货、布伦特原油期货、动力煤期货、鹿特丹煤炭期货、中国天然气出厂价格指数、NYMEX 天然气期货分别代表国内外传统能源价格，分别以国内四个试点碳排放权交易价格进行四组研究，能够较为全面的研究碳排放权交易市场与能源市场间的相依关系。

从研究背景来看，本文的研究数据样本期间从 2018 年 3 月 26 日至 2022 年 12 月 31 日，为日度数据，时间跨度较大，且这个时间段中包换了新冠肺炎疫情、美国总统大选、沙特和俄罗斯价格战、俄乌之战的代表性事件，能够较好地衡量能源价格间的相依关系。

从研究方法来看，研究我国碳排放权交易市场相关文献较少且大部分运用 GARCH 族研究能源价格间的相关关系，但 GARCH 族模型在数据适用性上存在着一定的缺陷，仅依靠 GARCH 族得到的结果无法正确描述数据间的相依性。由于 Vine Copula 模型能够衡量高维变量间的非线性、非对称相关关系，在此基础之上，本文选用 Vine Copula 模型研究能源市场间的相依性。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/818115017003006112>