

中国碳排放试点市场碳交易价格分析及预测

彭武元,陈思宇

(中国地质大学(武汉)经济管理学院,武汉 430074)

摘要:对试点市场碳价格分析结果表明:①试点市场碳价格平均水平相差较大,各市场数据均出现尖峰厚尾、波动率集聚、多重分形特征;②试点市场月均价分析过程中,发现新的碳排放市场的建立会对各个碳市场交易价格有提升作用,免费碳排放配额比例的适当调整有利于碳排放配额交易价格下降,碳排放市场核算与核查体系的逐步完善会使碳排放配额交易价格趋于平稳。本文采用马尔科夫转换多重分形模型对碳价格进行预测,得出了准确度较高的结果。

关键词:价格波动;波动率集聚;多重分形;价格预测

中图分类号:F064.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2020)3—0102—09

《中国应对气候变化的政策与行动2019年度报告》于2019年11月27日正式发布,这是我国连续第11年发布这份报告,全面反映了我国从2018年以来在气候变化领域的相关政策和工作,显示了我国政府积极应对气候变化的成效。自2018年以来,我国政府加强推进应对气候变化工作,采取一系列管控温室气体排放的相关政策措施,碳排放强度呈下降趋势。我国政府高度重视并支持清洁能源以及可再生能源的开发,并积极推动能源生产和消费革命,推进符合中国国情的碳排放市场建设,从而让碳排放交易市场平稳运行,发挥市场机制在管控和缩减温室气体排放、压低全社会减排成本方面的作用。党的十九大报告强调“推进绿色发展,构建市场化的绿色技术创新体系,积极发展绿色金融”。碳排放市场是中国绿色金融市场体系及生态文明机制的关键组成部分,也是环境经济相关领域绿色发展政策的成功实践。国家发改委在2017年12月19日发布了《全国碳排放交易市场的建设规划(发电行业)》,标志着我国将正式启动全国统一碳排放市场的建设。中国是世界第二大经济体,温室气体排放量位居世界第一,减排潜力巨大。如果能促进碳摊牌市场的发展,将有助于改善我国在国际碳排放市场上的被动地位。因此,在哥本哈根气候会议上,中国承诺2020年相对于2005年人均GDP的二氧化碳排放量减少40%至50%。对试点碳排放市场价格波动的研究,不仅可以作为今后形成全国统一碳配额价格波动的基础,而且可以满足我国逐步构建绿色金融体系的发展需求,切实地实现生态文明建设和可持续发展的目标。

国内很多学者用ARCH族模型进行分析,对国内的碳价格描述,并提出了相关建议。本文的创新点是引入了MSM模型(马尔科夫转换多重分形模型)对碳市场价格进行分析预测,克服了GARCH模型预测的中不能描述多重分形特征的缺点,并对碳价格进行预测,对政府制定政策和全国碳市场的建立,具有借鉴意义。

一、文献综述

自2005年《东京协定》签署以来,世界上建立了许多大规模的碳排放市场。其中,成熟的欧盟碳排放交易体系在世界上最具影响力、最成熟,它促进了欧盟绿色金融业的发展,为欧盟带来巨大的社会效益和经济效益。欧盟国家大量减少温室气体排放的成熟体系,也使得欧盟国家在参与世界碳排放交易的权利得到大大增强。碳排放交易市场的建设可以获得经济以及社会方面诸多优势,这使得国内外许多专家学者展开了对碳排放交易的研究。

Holtmark和Maestad首先关注政策因素对碳价格的影响^[1]。Daskalakis等^[2]比对了德国碳排放配额的价格,得出碳配额价格存在剧烈波动的结论,投资者在其中不存在套利价格。Keppler和Mansanet^[3]发现了煤炭、天然气、电力市场和碳市场之间的相互作用机制,并认为煤炭价格和天然气价格对碳期货价格有影响。Chevalier^[4]使用方差风险溢价模型核算了欧盟从2008—2011年的碳减排数据。Yu和Mallory^[5]构建了汇率

收稿日期:2020—01—01

作者简介:彭武元(1971—),男,湖北武汉人,博士,中国地质大学(武汉)经济管理学院教授,研究方向:低碳经济、能源经济与气候变化政策;陈思宇(1993—),男,河南商丘人,中国地质大学(武汉)经济管理学院硕士研究生,研究方向:低碳经济、能源经济。

通过能源相对价格和出口贸易需求两个渠道影响碳市场的理论框架,并利用SVAR模型证明了欧元对美元汇率对欧盟排放交易体系碳价格的影响。Segonn等^[6]比较了GARCH、FIGARCH、Markov切换GARCH、Markov切换多重分形等模型对碳价格波动的影响,结果表明,这些模型各有优缺点,但在大多数情况下,MSM表现较好。Calel和Dechezleprêtre^[7]对EUETS(欧盟排放交易体系)的研究表明,EUETS在促进低碳技术创新方面具有重要作用。EUETS至少增加了10%的欧盟低碳技术专利,没有明显的挤出效应。Dutta^[8]研究了碳排放市场价格是否存在异常值和时变跳跃点,分析了油价风险与碳价格波动的关系。结果表明,碳价格对石油市场价格的波动具有高度的敏感性。

国内很多专家学者在2010年碳排放试点市场建立之初,就开始对价格波动和风险预测进行了研究。张婕等^[9]运用ARCH模型簇检验了碳排放市场交易价格的波动特性,分析了导致波动特征差异的政策原因,并指出在建立全国性碳市场时应采取严格的惩罚措施、免收会费、允许个人投资者积极参与等制度。陈诗一^[10]指出,虽然节能减排对于前期技术的进步具有负面影响,但是由于前期技术效率高,后期技术进步会起主导作用,我国工业全要素的生产率在接下来40年中将持续稳定。魏立佳等^[11]指出低排放企业相对于高排放企业在价量联动稳定的碳市场中占据最大优势,在其他稳定机制的碳市场中优势要小得多。宋亚植等^[12]基于脱钩理论,运用随机分析方法从企业视角度量碳成本,构建影响企业碳成本的决定方程,并进一步模拟“企业-政府-市场”与初始碳价格之间的联动关系,得到符合中国碳市场发展规律的初始价格波动区间。徐广月和宋德勇^[13]基于环境库兹涅茨曲线理论,利用1990—2007年间的面板数据,研究了中国碳排放的环境库兹涅茨曲线是否存在。结果显示,中国东部、中部地区人均碳排放量存在环境库兹涅茨曲线,但西部地区不存在曲线。陈伟和宋伟明^[14]分析了国际主要碳市场的价格形成机制和波动情况,并对国际碳市场价格波动的影响因素进行了实证分析。研究发现,碳市场价格将受到配额分配制度、经济环境和政策取向等因素的影响。通过梳理和分析国内外学者对碳排放交易市场的研究成果,发现研究者倾向于关注世界上成熟的碳排放交易市场,如欧洲的碳排放交易体系,或中国某个碳排放交易市场,虽然国外成熟的碳排放交易市场的研究成果可以为我国碳排放交易的发展提供借鉴,但对我国处于发展初期的8个碳排放交易市场缺乏全面的研究,中国碳排放交易市场政策的影响以及价格区间的界定仍有待研究和探讨。

鉴于上述原因,本文重点研究我国8个碳排放交易试点市场的价格波动特征,以期找出8个碳排放交易市场的价格波动是否存在显著差异,利用多重分形模型对8个试点市场价格进行预测,对全国市场的建立具有重要意义。

二、试点碳市场价格波动模型分析

(一)碳排放数据介绍

本文选取了国内8个试点碳排放交易市场从2014年6月19日至2019年10月10日的碳排放配额现货交易数据进行研究。因为重庆碳市场开放时间为2014年6月19日,为了更为直观的观察同时间段碳市场之间的差异,因此设置了相同的数据时间段。由于天津碳排放市场开放时间为2017年1月9日,因此天津试点数据开始日期为2017年1月9日。由于中国碳排放交易市场成立时间比较短,尚无碳排放期货交易等业务交易市场,仅开展碳排放配额交易现货业务,在本文中选取中国8个碳排放交易市场碳排放配额现货日均价作为分析对象。选取情况见表1。

(二)交易主体数量及特征

国内8个试点碳交易市场,其中每个碳排放市场参与企业的数量和特征各有不同,且参与企业的数量会随着年份的变化而有不同程度的变化,见表2。

在深圳碳排放市场中的管控企业中,高新产业及机电产业占据了总体管控企业数量的50%以上,在2018年时总体数量达到758家,在各试点碳排放市场中,总体数量只少于北京碳排放市场同年总体数量,说明深圳碳排放市场企业参与度较高,企业参与意识相对强烈。天津碳排放市场

表1 碳排放数据介绍表

碳市场名称	时间	样本量
深圳碳排放市场	2014.06.19—2019.10.10	1204
天津碳排放市场	2014.06.19—2019.10.10	372
湖北碳排放市场	2014.06.19—2019.10.10	1275
重庆碳排放市场	2014.06.19—2019.10.10	399
福建碳排放市场	2017.01.09—2019.10.10	464
广东碳排放市场	2014.06.19—2019.10.10	1073
北京碳排放市场	2014.06.19—2019.10.10	812
上海碳排放市场	2014.06.19—2019.10.10	750

表2 碳排放管控企业数量表

交易市场名称	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
深圳碳排放市场	21	636	635	783	787	758
天津碳排放市场	114	112	109	109	109	113
湖北碳排放市场	—	138	167	236	344	338
重庆碳排放市场	—	—	105	105	105	105
福建碳排放市场	—	—	275	255	255	255
广东碳排放市场	—	—	186	189	246	249
北京碳排放市场	—	543	551	947	943	903
上海碳排放市场	191	191	191	368	381	381

中整体数量不大,电力、化工类企业较多,占整体企业数量的 60% 以上。湖北碳排放市场的整体管控水平较高,管控企业呈逐年增长趋势,电力、化工类企业居多,在企业总量中占 60% 以上,企业参与度逐年增高。重庆碳排放市场近几年企业参与量变化不大,从整体来看,电力、化工类占比较大。福建碳排放市场虽然成立时间较晚,但是规则程序较为完善,参与的企业中钢铁、陶瓷、水泥相关企业占比较大,约占管控企业总数量的 65%。广东碳排放市场电力、水泥、造纸、化工相关企业较多,约占总体管控企业的 80%。北京碳排放市场参与企业数量较多,参与企业数量居各试点首位,且企业参与度较高,这也导致北京碳排放市场的碳配额平均价格较高的情况。上海碳排放市场钢铁、电力、化工方面的企业较多,约占总体管控企业的 75%,上海碳排放市场的管控企业对于碳排放配额的总体需求量较大,这也间接导致上海碳排放市场碳配额价格的稳步上升。

(三)交易机制对碳价格的影响

各试点市场的交易机制略有不同,但整体方向的把控方面较为一致。在纳入碳排放管理和交易的企业方面,天津、湖北、重庆、福建、广东、北京、上海碳排放市场的标准均为年排放 2 万吨二氧化碳(或年综合能源消费量 1 万吨标准煤)及以上的企业。而深圳碳排放市场的标准为任意一年的碳排放量达到 3000 吨二氧化碳当量以上的企业,大型公共建筑和建筑面积达到 10000 平方米以上的国家机关办公建筑的业主。这样就造成深圳碳排放市场企业参与数量较多的情况。碳排放配额方面,各碳排放市场一般在基准线法、历史强度下降法、历史排放法、标杆法 4 种方法选其中 3 种或者两种相结合,从整体来讲各碳排放市场的配额分配方法差别不大,因此配额分配方法对价格的影响不大。在配额发放方面,深圳碳排放市场、广东碳排放试点市场配额实行部分免费发放和部分有偿发放,其中,电力企业的免费配额比例为 95%,钢铁、石化、水泥、造纸和航空企业的免费配额比例为 97%。福建碳排放市场采用上年度经核查的产量测算配额,并以经测算的配额的 70% 作为本年度预分配配额分配给重点排放单位;本年度实际配额将在本年度核查完成后根据经核查的实际产量进行调整,多退少补。天津碳排放市场配额分配以免费发放为主、以拍卖或固定价格出售等有偿发放为辅。湖北碳排放市场实行预分配配额通过注册登记系统发放给企业,在完成企业碳排放量核查后,根据当年实际生产情况核定其实际应发配额。北京碳排放市场新增设施配额和配额调整量将在各重点排放单位完成上年度排放报告和核查报告报送后,免费发放或回收。其中,新增设施配额需各重点排放单位按要求提出申请,由北京市发改委核算后发放。水泥企业、石化企业、其他服务业企业(单位)和其他行业企业(单位)配额调整量根据实际情况予以收回。供热企业(单位)、燃气及水的生产和发电企业(热电联产)、交通运输企业的移动排放设施配额将根据 2017 年实际生产量或服务量等生产经营数据,按照“多退少补”原则,予以收回或补足。上海碳排放市场则根据企业上年度因含碳能源消耗导致的直接排放占其总排放量的比例,确定其本年度的碳排放直接发放配额数量,通过上海市配额登记注册系统免费向纳管企业发放。因各试点市场目前均为先免费分配相对足额的碳排放配额,然后根据实际产量再进行相应的配额量调整,因此各试点市场的配额规则虽有差异,但从整体碳排放市场的价格方面来说,配额规则对整体价格影响差别不大。从碳排放交易机制方面分析,交易机制对价格的影响是存在的,对试点市场的平均价格的高低有一定影响,但对于市场内某一段时间出现的峰值,影响较小。

(四)日平均交易价格分析

由表 3 可知,深圳市碳排放交易市场日均价格在整体碳排放市场中相对较高,日均价格 30.72826 元。标准差为 11.53206,说明价格波动较大。最高 76.79 元与最低 3.3 元的差价为 73.49 元,这也说明价格波动较大。偏态为 0.3004087,表明日平均价格拒绝正态分布,处于右偏态分布;峰度为 3.75298,表明日平均价格同样拒绝正态分布,为尖峰分布。深圳碳排放市场成立较早,企业对碳排放政策的理解相对深入,企业需求量也比较大,所以日平均价格较高。

表 3 日平均交易价格描述性统计结果

地区	深圳	天津	湖北	重庆	福建	广东	北京	上海
平均值/元	30.72826	22.44538	22.15762	8.008496	23.397	9.17285	55.97351	30.17843
标准差	11.53206	5.060841	6.780548	7.414218	8.265579	17.78857	13.3977	17.63251
最大值/元	76.79	42.41	54.64	39.6	42.28	71.02	87.48	411.09
最小值/元	3.3	7	9.38	1	7.99	1.27	30.32	4.21
偏度	0.300409	-0.239793	0.7502324	1.803593	0.4644046	3.205117	0.996903	13.18549
峰度	3.75298	5.258587	3.736896	6.508426	2.195835	15.42242	3.362256	291.6211
样本量	1204	372	1275	399	464	1073	812	750

天津市碳排放交易市场日均价格低于8个碳排放交易市场平均价格,日均价格22.44538元。标准差5.060841表明价格波动很大。最高42.41元与最低7元的价差也表明,价格波动不大。偏度-0.239793表示日均价格拒绝正态分布,属于左偏态分布,峰度5.258587表示日均价格拒绝正态分布,属于尖峰厚尾分布。2016年10月至2019年7月,天津市场出现大量数据缺失。从数据面看,碳排放市场交易缺乏活力,导致天津碳排放市场交易量相对较小,碳排放市场价格水平以及碳排放政策建设有待于进一步发展。

湖北省碳排放交易市场日均价格在8个碳排放交易市场中处于较低水平,日均价格22.15762元。标准差6.780548表明价格波动较大,最高54.64元与最低9.38元的价差为45.26元,价格波动较大。偏度为0.7502324,表明日均价格拒绝正态分布属于右偏态分布;峰度为3.736896,表明日均价格数据与正态分布相比相对陡峭,出现尖峰厚尾分布。总的来说,湖北省碳排放交易市场体系较为成熟,碳排放交易量相对较大,并已成为国内交易量最大的碳排放市场。

重庆市碳排放交易市场日均价格在8个碳排放交易市场中最低,日均价格为8.008496元。标准差为7.414218,最高39.6元与最低1元相差38.6元,说明碳市场价格波动较大。偏度为1.803593,说明日均价格数据拒绝正态分布属于右偏态分布,峰度为6.508426,出现尖峰厚尾分布。总体而言,重庆市碳排放交易市场建立较晚,但市场发展速度较快,发展趋势较好。

福建省碳排放交易市场日均价格高于8个碳排放交易市场的平均值,日均价格为23.397元。标准差8.265579,最高42.28元与最低7.99元的差异为34.29元,说明价格波动相对较大,偏度0.4644046表明日均价格呈现右偏态分布,且峰度为2.195835,说明同样呈现尖峰分布。一般来说,福建外资合作企业众多,大大增加了碳排放量的需求,因此福建碳排放交易市场发展虽时间不长,但整体良好。

广东省碳排放交易市场日均价格高于8个碳排放交易市场日平均价格,日均价格为9.17285元。标准差17.78857,最高71.02元与最低1.27元的差价为69.75元,说明日均价格波动较大。与正态分布相比,3.205117的偏态为右偏态分布。峰度为15.42242,表明日均价格存在尖峰厚尾分布。广东碳市场政策相对完善,审核体系较为成熟。相比之下,需求相对稳定,日均价格波动较大。

在8个碳排放交易市场中,北京市碳排放交易市场日均价格最高,日均价格为55.97351元。标准差13.3977表明价格波动较大,最高87.48元与最低30.32元的差异为57.16元,也说明价格波动较大。偏态为0.996903,表明日均价格数据与正态分布相比属于右偏态分布;峰度为3.362256,表明日均价格为尖峰厚尾分布。北京市碳排放市场价格最高,一方面是为国家首都,企业众多并且政策法规完善,另一方面,北京的企业对于碳排放市场的运营模式更为熟悉,因此会出现购买量较大及购买价格较高的情况。

上海碳排放交易市场日均价格在8个碳排放交易市场中排名第二,日均价格为30.17843元。标准差为17.63251,最高411.09元与最低4.21元的价差为406.88元,也说明价格波动较大,其中411.09元的价格只出现一次,因此不会过多的影响价格分析。偏度为13.18549,表明日均价格与正态分布相比处于右偏态分布;峰度为291.6211,表明日均价格出现尖峰分布。上海的企业环保意识较为强烈,碳排放市场交易量较大,日均价格处于中间水平。

(五)月平均交易价格分析

为了便于对数据规律的变化进行分析,本文将碳排放价格求出月平均值通过图1展示结果,查找到单个碳排放市场在一定时间段内出现的规和整体碳排放市场的规律,并分析政策对其的影响。

深圳市碳排放市场在2014年6月12日发布《责令补交配额通知书》,其中要求企业更为规范的进行碳配额交易,因此碳市场价格在2014年6月至2014年12月价格出现小幅的下降,价格趋于平均水平。2015年10月发布《深圳业务拓展奖励办法》激励了更多企业进入碳市场,碳市场价格因此出现了小幅的上涨。2016年9月18日《2016年度碳排放权交易工作的通知》发布,在文件中碳排放量的限定标准已经拟定,由于企业对标准理解不透彻,交易行为较为谨慎,因此在2016年9月到2017年1月期间价格一直下降。在2017年6月至2018年6月期间,出现价格相对稳定的状态,由于市场规则逐步完善,企业减排意识大大加强,所以出现了平稳的市场价格。

湖北省碳排放市场在2014年7月18日《湖北省工业企业温室气体排放监测、量化和报告指南》,在2014年8月至2016年6月,由于企业对政策的了解逐步清晰,以及对于企业的碳配额也逐步合理,在碳排放市场的价格则出现了平稳下落。在2016年7月至2017年11月,也是处于相对稳定的状态其中归因于2016年的碳排放政策与2015年的相关政策改变不多,企业已经适应这套方案,对于规则理解透彻,因此会出现稳定的价格市场。在2018年6月4日《湖北碳排放权抵消机制有关事项通知》中规定了碳排放配额的抵消方法,从

而给市场带来了稳定作用。

重庆市碳排放市场和北京市碳排放市场,省份拟定的规则较少,市场价格的波动主要受国家政策的影响以及行业企业对碳市场规则的适应程度和碳配额的合理程度的影响,因此将这两个碳排放市场放在整体规律中进行分析。由于福建碳排放市场建立较晚,市场不够成熟,整体处于价格与市场调整磨合的状态,因此在文中不作具体分析。

广东省碳排放市场在 2014 年 8 月 16 日发布《广东省 2014 年度碳排放配额分配方案》,2014 年度实施部分配额免费发放和部分有偿发放,其中电力企业免费配额比例为 95%,钢铁、石化和水泥企业的免费配额比例为 97%,因此市场上出现了交易价格急剧下降的情况。在 2015 年 8 月 18 日发布《广东省 2016 年度碳排放配额分配方案》,其中规定新建项目必须在新建项目竣工验收前购足有偿配额,因此在 2015 年 8 月至 2016 年 8 月出现了价格的回升。在 2017 年 8 月 28 日发布《广东省 2017 年度碳排放配额分配方案》,此文件规定按照 2016 年度产量计算和发放配额,再根据经核查核定的 2017 年实际产量计算及发放最终核定配额,并与发放的预配额进行比较多返少补,在市场上出现了价格稳定,无较大波动的情况。

天津市碳排放市场在 2015 年 10 月 20 日发布《天津市大气污染防治条例》,其中的政策加强了对空气污染行业的管控力度,因此在碳排放市场对碳配额的需求增大,价格也逐步上升。2016 年 4 月 5 日发布《天津市碳排放权交易管理暂行办法的通知》,其中规定配额发放以免费为主,以拍卖或固定价格等有偿发放为辅。因此导致了企业获得了足量的碳排放配额,从而碳排放市场价格出现跌落。2017 年 3 月 14 日《天津市“十三五”控制温室气体排放工作实施方案通知》,其中强调了要实施能源消费总量和强度的双控,加强重点行业和重点耗能企业的用能管控,这项规定促使耗能企业在市场上购买相应量的碳排放配额以保证生产,因此碳排放价格在小幅上升后趋于稳定。

上海市碳排放市场在 2014 年 5 月 16 日发布《上海市碳排放管理试行办法》,其中规定年度碳排放量与前一年度碳排放量相差 20% 以上则对纳入配额管理的单位进行复查并审定年度碳排放量。企业在规则中消除了对碳排放配额超出部分的顾虑,因此在 2014 年 10 月至 2015 年 6 月出现了碳交易价格的回落。在 2016 年 11 月 10 日发布的《上海市 2016 年碳排放配额分配方案》中,调整了对能源消耗企业的免费发放配额的比例,从而使市场上的企业相继在市场购入少量的碳排放配额,以期达到生产储备的目的。在 2018 年 7 月 12 日发布《上海市碳排放核查工作规则》,其中完善了核查工作程序并对量化方法进行了校正,这使得企业调整了对待碳配额的认知,体现在碳排放交易价格上则是价格相对稳定的状态。

国内 8 个碳排放市场的整体价格趋势在 2014 年 6 月至 2014 年 9 月处于上升状态,在 2014 年 7 月 6 日发布的《大气污染防治重点工业行业清洁生产技术推广方案》,其中要求各地方工业和信息化主管部门要制定实施计划,加强政策支持,强化效果考核,以及新的碳排放市场重庆碳排放市场的建立,给予碳交易市场一定的积极影响,从而整体碳市场价格处于上升状态。在 2015 年 1 月 8 日《新环保法四个配套方法》通报修订,实施对违法排污“零容忍”,严惩不法企业,此办法的发布对企业的发展方向指明了方向,从而促使市场更加规范,体现在碳排放交易价格上则是趋于平稳。2015 年 7 月 3 日国家发改委、环保部、国家能源局三部联合发文控制重点城市煤炭消费管理,政策给予企业一个强烈的信号,企业应该进行技术转型从而从根本上降低碳排放量,因此在 2015 年 7 月至 2015 年 9 月出现了整体碳排放价格的小幅下降。在 2016 年 6 月 29 日发布《关于切实做好全国碳排放权交易市场启动重点工作的通知》,其中强调了全国碳排放权交易市场第一阶段将涵盖石化、化工、建材、钢铁、有色、造纸、电力、航空等重点排放行业,并纳入企业的历史碳排放,并进行核算、报告和核查,因此引发了企业对国家政策有了进一步的理解。切实的减排政策的实施,相关核算规则的完善,使得企业在交易市场价格整体相对稳定,并出现小幅下降。在 2017 年 11 月 5 日发布《中国-加拿大气候变化和清洁增长联合声明》,文件中强调双方将努力创造条件,共享相关政策信息,加强技术研究和开发合作,双方正

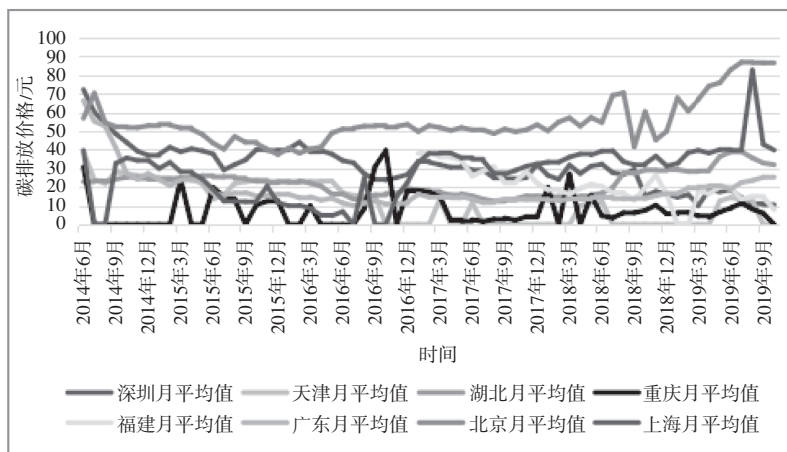


图 1 碳排放价格月平均值图

将促进可持续能源和资源开发。此政策给予企业一定的鼓舞,碳排放价格小幅上升。

三、中国试点碳排放交易市场价格波动相关分析

(一)试点市场收益率序列统计性描述

首先计算出在样本区间的收益率序列,并对收益率进行实证分析。计算样本区间的收益率序列的方法是先对日均价取对数然后进行一次差分:

$$R = \ln p_t - \ln p_{t-1} \quad (1)$$

其中: R 为日对数收益率; p_t 为第 t 日的均价, p_{t-1} 为第 $t-1$ 日的均价。

从表4中可以得出,北京市碳排放交易市场收益率低于8个碳排放交易市场平均价格,平均值为0.0030799。标准差为0.0689579,说明收益率波动处于中等水平。最大值0.1831283与最小值-0.2830551的差异表明波动率处于中等水平。从-0.6294986的偏度和6.556964的峰度可以得出,属于尖峰厚尾分布,并拒绝正态分布。另外7个碳排放交易市场同样拒绝正态分布。天津、广东、重庆和福建碳排放交易市场的平均回报率全部为负值。其余4个市场收益率序列的平均值为正值,但依然都未达到0.01。其中最高平均值是0.005216,说明我国碳排放交易市场收益率的平均水平不高。上海市碳排放市场峰度达到了269.6526是因为在2019年8月28日出现了411.09元的高价,此价位导致了整体峰度数据的突然增大,但是此价格仅出现一次,因此可能为个别企业的行为所导致。标准偏差也相对较小,最大值与最小值之间的差值也较小,表明波动不大。天津市碳排放权交易市场平均收益率为负,偏态为-5.132262,峰度为48.38215,说明收益率曲线具有厚尾分布和尖峰分布。从收益率波动描述性统计显示,我国8个试点碳排放交易市场总体收益率还处于较低水平,仍然有很大的提升空间。

表4 收益率波动描述性统计结果

交易市场名称	平均值	标准差	最大值	最小值	偏度	峰度
深圳碳排放市场	0.0022037	0.2234812	1.963503	-1.705475	0.569869	19.17175
天津碳排放市场	-0.0089871	0.0656653	0.1574397	-0.6931472	-5.132262	48.38215
湖北碳排放市场	0.0005219	0.0391172	0.2900398	-0.2823028	0.0915492	10.69699
重庆碳排放市场	-0.0029163	0.1493858	0.3446561	-0.2964927	0.2305925	1.661201
福建碳排放市场	-0.0010829	0.0863736	0.5747389	-0.5803517	-0.101726	15.06624
广东碳排放市场	-0.001041	0.1950359	2.007539	-2.397179	-0.4931129	47.10018
北京碳排放市场	0.0030799	0.0689579	0.1831283	-0.2830551	-0.6294986	6.556964
上海碳排放市场	0.005216	0.1142541	2.328434	-0.3586452	13.17638	269.6526

(二)单位根检验

在研究中国8个试点碳排放交易市场的收益序列的过程中,需要规避出现伪回归的情况。本文用ADF(扩展的迪克富勒检验)单位根检验的方法对伪回归的存在性进行验证。8个试点碳排放交易市场的ADF单位根检验结果显示,总收益率序列在1%的水平上否定了原假设。因此认为8个试点碳排放交易市场的收益序列全部为稳定序列,可用MSM序列模型进行分析。

(三)自相关性检验

从表3可以得出,8个碳排放交易市场的收益率序列均没有呈现出明显的规律性,而是呈现出集聚波动性。这说明常用的回归方程并不适用于描述8个碳排放交易市场的收益率。为此可以运用MSM系列模型来分析8个碳排放交易市场的收益率序列。本文运用检验残差平方图以确定回归序列是否可以使用MSM模型。试验结果显示,8个碳排放交易市场的收益率序列残差平方均存在自相关关系,因此可以运用MSM模型可进行分析。

四、MSM模型选择及实证结果分析

利用Calvet和Fisher在2001年提出的多重分形MSM波动模型对中国碳市场试点收益率的波动进行建模,MSM模型可以描述突发事件引起的波动机制转换,如宏观政策的变化、自然灾害的发生将导致市场波动发生较大变化的因素,然而,无论状态数如何变化,MSM模型的参数化计算都非常简单。只需估计4个参数,避免了传统转换模型过度拟合的问题。MSM模型可以生成异常值、长记忆和多重分形等特征,将波动率转化为多重衰减率,提高了数据样本外的预测能力。因此,MSM模型在一定程度上克服了传统GARCH波动率模型的缺点。GARCH型不能描述不同时间尺度上样本的不同振幅的波动,MSM模型能够弥补GARCH模型的这一缺陷。

假设 ε_t 表示碳排放市场指数收益率的信息量, μ_t 是条件均值, 则碳排放市场指数收益率 $r_t = \mu_t + \varepsilon_t$ 。MSM 模型用以下随机波动形式对碳排放市场指数收益率的信息量 ε_t 进行建模, 假设信息量 ε_t 服从多频率的随机波动的离散时间马尔可夫过程:

$$\varepsilon_t = \sigma_t Z_t \quad (2)$$

$$\sigma_t = \left(\prod_{i=1}^{\bar{k}} M_{i,t} \right)^{1/2} \quad (3)$$

其中: 随机变量中的 Z_t 是标准化残差, 此随机变量服从标准正态分布中的独立同分布随机序列; σ 是一个常数; $M_{k,t}$ ($K \in \{1, 2, 3, \dots, \bar{k}\}$) 是波动率成分, 具有相关性, 且满足 $M_{k,t} \geq 0$, $E(M_{k,t}) = 1$ 。假设 $\bar{k}$ 个乘子之间相互独立, 波动率成分向量 $M_t = (M_{1,t}, M_{2,t}, \dots, M_{\bar{k},t})$, $m = (m_1, m_2, m_3, \dots, m_{\bar{k}}) \in R^{\bar{k}}$, 设 $g(m) = \prod_{i=1}^{\bar{k}} m_i$, 那么随机波动率 σ_t 可以改写为 $\sigma_t = \sigma \sqrt{g(M_t)}$, 因此, 可以得出波动率成分向量 M_t 决定随机波动率的动态变化。

在实证研究中, 一般将初始向量 t_0 设为一个马尔可夫过程, 每个状态都具有遍历性。将 MSM 波动率模型的似然函数写成以下形式:

$$\ln(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_T; m_0, \sigma, b, \gamma_{\bar{k}}) = \sum_{i=1}^T m_i \ln[\omega(\varepsilon_i)(\tau_{i-1} A)] \quad (4)$$

在一定程度上, 对于 $\bar{k}$, MSM 波动率模型的最大似然函数的参数是一致的。MSM 波动率模型与标准随机波动率模型的区别在于, MSM 波动率模型具有封闭形式的似然函数。与一般的马尔可夫机制转换模型相比, MSM 模型可以通过四个参数捕捉金融时间序列的多种状态。

本文利用 MSM 模型对国内 8 个试点碳排放市场进行蒙特卡洛价格预测, 模拟次数为 10000 次, 无风险利率为 $r=2.7484\%$, 由表 5 及图 2 可看出, 8 个试点市场本次模拟定价与实际价格模拟效果良好, 误差最大为 1.0775%, 最小仅为 0.0394%, 与价格曲线基本重合。

表 5 模拟价格数据对比

深圳市				天津市			湖北省			重庆市		
天数	实际	模拟	误差	实际	模拟	误差	实际	模拟	误差	实际	模拟	误差
1	10.31	10.3343	0.2357	22.93	22.984	0.2358	31	31.0321	0.1035	2.4	2.4085	0.3564
2	10.46	10.4788	0.1793	22.86	22.9129	0.2314	32.64	32.5437	-0.2951	2.88	2.8945	0.5033
3	10.46	10.4813	0.2034	22.89	22.9254	0.2546	32.83	32.8818	0.1578	3.46	3.4876	0.7965
4	10.74	10.7613	0.1986	22.82	22.8889	0.3021	32.3	32.3433	0.1341	4.15	4.1831	0.6543
5	10.21	10.228	0.1763	22.87	22.8542	-0.069	32.96	32.9412	-0.057	3.8	3.8151	0.3982
6	10.21	10.2605	0.4946	22.85	22.9097	0.2613	31.93	31.9327	0.0084	4.44	4.4572	0.3864
7	11.15	11.161	0.0987	22.87	22.8892	0.1714	31.95	31.9553	0.0166	5.33	5.3447	0.2763
8	10.06	10.1684	1.0775	22.85	22.9177	0.2964	32.01	32.0125	0.0078	4.26	4.2757	0.3685
9	10.06	10.0501	-0.0987	22.83	22.8497	0.0864	31.48	31.4843	0.0137	3.41	3.4167	0.1965
10	11.36	11.4188	0.5176	22.87	22.8322	0.1064	32.37	32.5456	0.5425	3	3.2675	0.8917
福建省				广东省			北京市			上海市		
天数	实际	模拟	误差	实际	模拟	误差	实际	模拟	误差	实际	模拟	误差
1	17.48	17.4965	0.0944	24.64	24.8643	0.9103	86.31	86.1327	-0.2054	42.27	42.5043	0.5542
2	15.73	15.7653	0.2244	25.48	25.6442	0.6444	86.58	86.4379	-0.1641	43.19	43.3074	0.2718
3	14.16	14.2484	0.6242	25.25	25.3519	0.4036	86.68	86.8245	0.1667	42.88	42.9924	0.2621
4	12.74	12.6693	-0.5549	24.01	24.1324	0.5097	86.9	87.0045	0.1203	43.01	43.1475	0.3196
5	11.47	11.2873	-0.1592	23.23	23.3331	0.4438	86.4	86.8142	0.4793	43.26	43.0231	-0.5476
6	10.32	10.4657	0.1412	25.99	26.0041	0.0543	86.25	86.5326	0.3277	44.5	44.6032	0.2319
7	9.48	9.5874	0.1133	24.5	24.4298	-0.2865	86.73	86.8436	0.131	40.05	40.1421	0.2301
8	8.53	8.6645	0.1577	26.07	25.9327	-0.5266	87.17	87.3795	0.2403	36.05	36.0642	0.0394
9	9.38	9.3966	0.177	26.58	26.6085	0.1072	87.17	86.8846	-0.3274	39.66	39.6033	-0.1429
10	10.32	10.5032	0.1775	25	25.0461	0.1844	86.5	86.6731	0.2001	43.6	43.7032	0.2367

注: 表格中实际代表实际价格, 模拟代表模拟预测价格, 单位均为元; 误差单位为%。

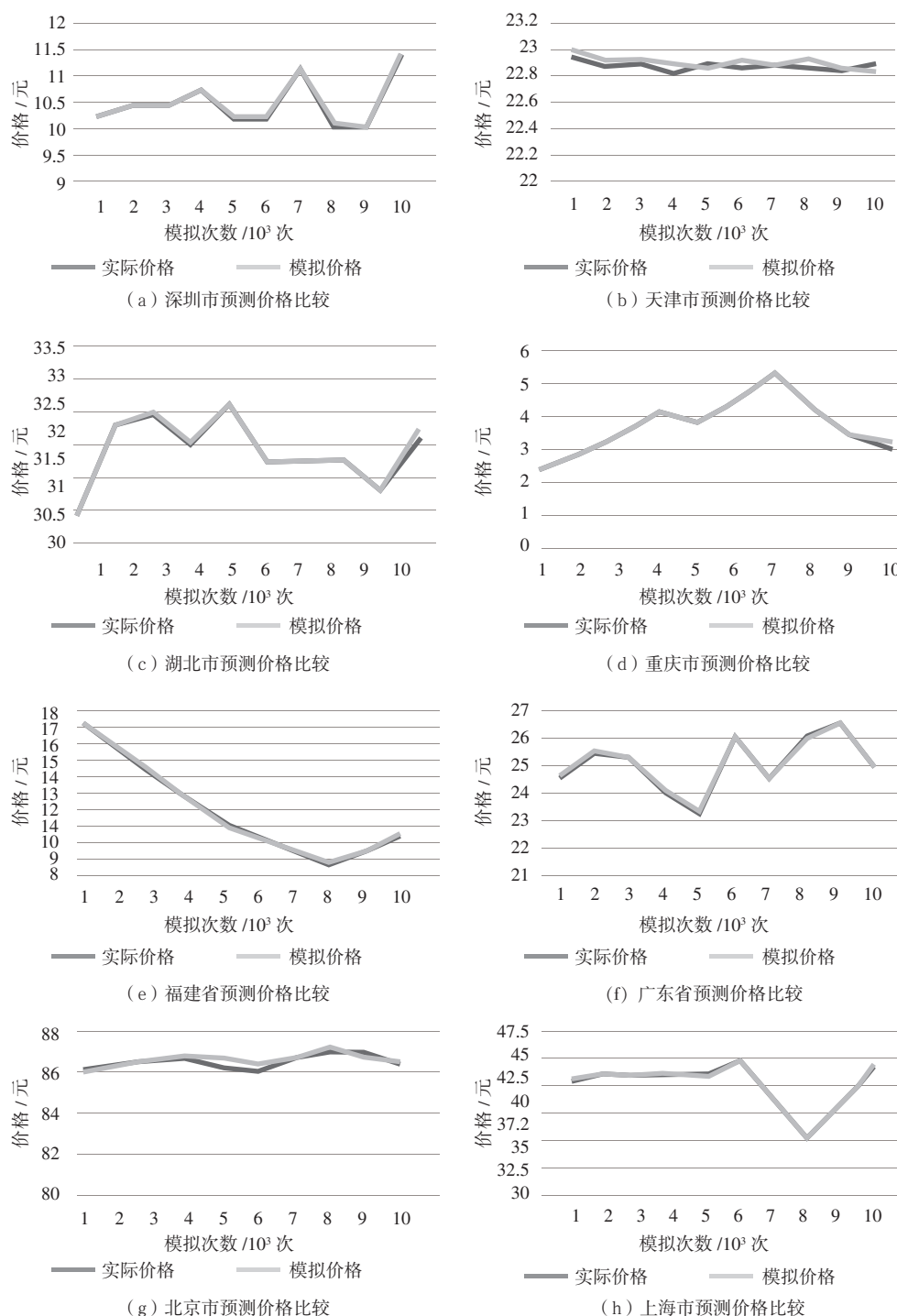


图2 模拟价格对比图

五、结论与建议

本文对中国8家试点碳市场价格以及碳排放市场价格收益率进行了分析,发现各试点市场平均价格差异较大,在对个全国碳月均价分析过程中,发现新的碳排放市场的建立会对各个碳市场交易价格有提升作用,免费碳排放配额比例的适当调整有利于碳排放配额交易价格下降,碳排放市场核算与核查体系的逐步完善会使碳排放配额交易价格趋于平稳。本文引入MSM模型对国内8个碳排放试点市场价格进行预测,结果与真实价格形成良好的拟合效果。

(1)逐步建立全国统一的碳交易市场。一方面,要完善政策制度,如完善相应的立法体系、监管体系等;另一方面,要融入更多的高耗能行业,扩大碳市场在多种行业中的辐射范围。应提供更多的碳金融产品,并

使国家认证的 CCER 尽快进入国家碳市场。

(2)完善法制和政策规范。完善的碳市场法律制度可以引导我国加快可持续发展步伐,促进低碳经济的发展,加快市场机制的顺利运行。在完善法律体系的基础上,构建碳金融产品体系,并及时地防范风险。

(3)建立监管和审核制度。一方面,中国碳排放市场的发展,应该学习欧盟碳市场体系构建方式,另一方面,也要加强外部监管和审核力度。良好的市场机制能够优化碳排放市场的资源配置。

(4)加强企业对碳排放交易相关知识的培训。我国碳市场运行仍处于试点阶段,企业对于国家的相关政策缺乏深度理解。碳排放市场相关机构应当按期对相关企业进行政策解读和知识培训,以此来达到市场平稳运行的目的。

参考文献

- [1] HOLTSMARK B, MASTAD O. Emission trading under the Kyoto Protocol: Effects on fossil fuel markets under alternative regimes[J]. *Energy Policy*, 2002, 30(3): 207-218.
- [2] DASKALAKIS G, PSYCHOYIOUS D, MARKELLOS R N. 2009. Modeling CO₂ emission allowance prices and derivatives: Evidence from the European trading scheme[J]. *Journal of Banking & Finance*, 2009, 33(7): 1230-1241.
- [3] KEPPLER J H, MANSANET B M. Causalities between CO₂, electricity, and other energy variables during phase I and phase II of the EUETS[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(7): 3329-3341.
- [4] CHEVALIER J. Variance risk-premia in CO₂ markets[J]. *Economic Modeling*, 2013(31): 598-605.
- [5] YU J, MALLORY M L. Exchange rate effect on carbon credit price *via* energy markets[J]. *Journal of International Money & Finance*, 2014, 47(3): 145-161.
- [6] SEGNON M, LUX T, GUPTA R. Modeling and forecasting the volatility of carbon dioxide emission allowance prices: A review and comparison of modern volatility models[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2017, 69: 692-704.
- [7] CALEL R, DECHEZLEPRETRE A. Environmental policy and directed technological change: Evidence from the European carbon market[J]. *Review of Economics and Statistics*, 2016, 98: 173-191.
- [8] DUTTA A. Modeling and forecasting the volatility of carbon emission market: The role of outliers, time-varying jumps and oil price risk[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 172: 2773-2781.
- [9] 张 婕, 孙立红, 邢贞成. 中国碳排放交易试点市场的价格波动性研究[J]. *价格理论与实践*, 2018(1): 57-60.
- [10] 陈诗一. 节能减排与中国工业的双赢发展: 2009—2049[J]. *经济研究*, 2010, 45(3): 129-143.
- [11] 魏立佳, 彭妍, 刘潇. 碳市场的稳定机制: 一项实验经济学研究[J]. *中国工业经济*, 2018(4): 174-192.
- [12] 宋亚植, 刘天森, 梁大鹏, 等. 碳市场合理初始价格区间测算[J]. *资源科学*, 2019, 41(8): 1438-1449.
- [13] 许广月, 宋德勇. 中国碳排放环境库兹涅茨曲线的实证研究——基于省域面板数据[J]. *中国工业经济*, 2010(5): 37-47.
- [14] 陈伟, 宋维明. 国际主要碳交易市场价格形成机制及其借鉴[J]. *价格理论与实践*, 2014(1): 115-117.

Analysis and Forecast of Carbon Trading Price in China's Carbon Emission Pilot Market

Peng Wuyuan, Chen Siyu

(School of Economics & Management, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China)

Abstract: The price of the carbon emission market was analyzed. The results show that the average level of carbon price in each pilot market is quite different. The data of each carbon market show the characteristics of peak thick tail distribution, volatility concentration and multifractal. In the process of analyzing the monthly average price of carbon in China, it is found that the establishment of a new carbon emission market will improve the transaction price of each carbon market, and the proper adjustment of the free carbon emission quota proportion will help to reduce the transaction price of carbon emission quota, and the gradual improvement of the accounting and verification system of carbon emission market will make the transaction price of carbon emission quota stable. At present, the GARCH family model commonly used can not reflect multifractal characteristics, which is easy to lead to estimation bias. In this paper, Markov transform multifractal (MSM) model is used to predict the carbon market, and the result with high prediction accuracy is obtained, which is of reference significance for policy-making and the formation of national carbon emission price.

Keywords: price volatility; volatility aggregation; multifractal; price forecasting