

欧盟碳市场价格走势的情景模拟分析及对中国的启示

易 兰 李朝鹏 杨 历 刘 杰*

摘要:2017年中国即将建立全国性碳市场,碳价作为碳市场发展的风向标,其走势情况是碳市场政策制定的重要依据。本研究通过引入Stock600指数,石油、煤炭、天然气价格等碳价的重要外部影响因素,建立BP神经网络模型对EUA碳价历史数据进行学习,从而模拟各因素对碳价走势的影响机理;通过分别控制经济发展和能源消耗两类变量,设立6种典型情景以模拟碳价未来的可能走势,为全国碳市场是否适宜纳入不同经济发展和能源消耗水平的区域提供理论依据。研究结果表明:①经济中、高速发展情景下,碳价与能源消耗同向变动,且碳价变动幅度及水平基本一致。高能源消耗下的高、中经济情景适宜同时纳入碳市场;②低经济发展情景下,无论能源消耗情景如何,碳市场均难以实现价格发现功能;③即使经济发展类似,高能耗与低能耗情景下的碳价依然存在较大价差。若同时纳入碳市场,低能耗情景将不得不承受由高能耗情景所主导的高碳价。

关键词:BP神经网络模型;情景模拟;全国碳市场

一、引言

中国七大试点碳市场覆盖了2000多家控排单位的约12亿吨碳排放,截至2017年6月底,七大试点二级市场累计成交配额约1.23亿吨,累积成交额超过26.44亿元^①,已成为继欧盟碳

*易兰,陕西师范大学国际商学院,邮政编码:710119,电子邮箱:yilan.china@gmail.com;李朝鹏,陕西师范大学国际商学院,邮政编码:710119,电子邮箱:zhaopengli0201@foxmail.com;杨历,陕西师范大学国际商学院,邮政编码:710119,电子邮箱:578333260@qq.com;刘杰,陕西师范大学国际商学院,邮政编码:710119,电子邮箱:418818354@qq.com。

本文系国家自然科学基金重点项目“我国碳市场成熟度及环境监管政策研究”(14AZD051)、国家自然科学基金“基于智能技术的国际碳市场价格驱动因素研究”(71101133)、教育部新世纪优秀人才支持计划“碳金融创新——国际二氧化碳排放权市场价格形成机制研究”(NCET-11-0725)和陕西师范大学研究生培养创新基金项目“陕西省参与建设全国碳市场的问题研究”(2016CSY028)的阶段性成果。感谢匿名审稿人的建设性意见,文责自负。

①数据为作者根据北京、上海、广东、深圳、重庆、天津以及湖北七大试点交易平台公布的从开市到2017年6月底的相关数据及文件计算所得,四川和福建碳市场由于成立时间较晚,本研究未统计在内。

市场后的全球第二大碳市场。同时,国家发改委气候司在《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》中也表示2017年中国将启动全国性碳排放权交易市场,首批纳入石化、化工、建材、钢铁、有色、造纸、电力、航空等8个重点排放行业的8000余家控排企业,覆盖排放总量在30~40亿吨之间,届时中国碳市场将成为继证券、国债后的第三大市场,全球第一大碳市场。

中国幅员辽阔,区域经济发展水平、产业结构、能源消耗差异较大,因而七大试点在行业覆盖范围、控排主体准入门槛以及核证减排抵消比例等核心要素设计方面也具有较大差异。统一的全国碳市场制度设计则有可能对部分地区的经济社会发展造成影响,进一步加剧区域发展的不平衡性。因此,全国碳市场在制度设计过程中需要对东中西部地区的覆盖行业范围、配额管理、抵消机制等核心要素设计上予以区别对待,以保证经济发展与环境减排的双赢。碳排放权交易价格作为市场优化资源配置以调动控排企业减排的重要手段,是控排主体在给定市场供给结构与宏观外部环境影响相互作用下,选择减排或购买碳排放权以完成履约的重要市场信号。因此,通过探究不同经济发展水平与能源消耗情景下的价格表现,能够帮助把握我国不同区域环境下的碳价走势及对全国碳市场运行的可能影响,对制定具有差异化的市场调控政策也具有重要参考意义。

近年来,国际上诸多国家和地区均期望通过建立碳市场以实现经济发展与温室气体减排的双赢,学术界关于碳市场建设的相关研究也已较为丰富,研究内容主要集中在以欧盟碳市场为代表的国际典型碳市场的碳价波动规律(Convery & Redmond, 2007; Mansanet-Bataller et al., 2007; 吴洁等, 2015)、碳价形成机制(Alberola et al., 2008; Chevallier, 2009; Hintermann, 2009)、配额分配(Ellerman & Buchner, 2006; Grubb, 2006; Cummins, 2013)。相关研究结果表明,EU ETS作为国际上运行时间最长、发育相对成熟的碳市场,其市场运行和价格形成机制均已呈现出明显的规律性特征。同时,随着中国七大试点以及全国碳市场逐步建立,部分学者的研究焦点也开始向中国碳市场转移,如市场运行状况、机制体系设计、碳价波动机理等。相关研究成果表明,由于中国七大试点运行时间较短,市场运行中存在着交易活跃度低、市场信息传导机制不畅通、碳价无法反映减排成本等问题,因而碳价形成机制仍未能显现出规律性特征,市场整体发育水平仍处于初步阶段(郑爽, 2014; 齐绍洲、程思, 2016; 李奇伟, 2015)。同时,随着全国性碳市场即将建立,面对中国各区域经济发展水平与能源消耗差异较大的现状,针对不同区域经济发展水平与能源消耗情景下碳价走势的相关研究仍然较少,类似的研究也主要集中于采用诸如DA-ANN(Mori & Jiang, 2008)、EMD-GA-ANN(高杨、李健, 2014)、VMD-SNN(Sun et al., 2016)等模型来挖掘碳价数据的时间序列特性。因此,为探讨我国区域经济社会发展条件差异较大情景下的碳价走势,本研究在参考Tsai和Kuo(2013)针对国际碳价所建立的价格走势预测系统基础上,拟采用神经网络模型,通过调控宏观经济与能源价格

变量,以模拟碳市场在不同经济发展水平与能源消耗情景下的价格走势,从而达到为全国碳市场差异化的制度设计提供政策建议的目的。

二、BP神经网络模型建立

(一)变量选取

由于目前中国碳市场发育仍处于初级阶段,市场价格无法反映减排成本,因此碳价波动尚未显现出规律性特征。欧盟碳市场作为全球运行时间最长、发育相对成熟的碳市场,参与碳市场的主要行业是能源密集型行业,包括能源工业、电厂、供热、钢铁和水泥、造纸等行业在内的29种活动设施,覆盖了欧盟60%以上的碳排放。同时,一次化石能源仍是欧盟地区的主要能源供给,天然气、石油、煤炭的消耗占比分别为31.9%、30.4%与16.5%^①。虽然在宏观经济、能源结构以及市场机制设计等方面与中国存在一定差异,但其市场运作机理与价格波动规律都是类似的,这也是国内外诸多学者研究欧盟碳价波动机理的重要原因。因此,选择欧盟碳价作为本文的研究对象对中国碳市场的建立具有重要参考意义。

二氧化碳排放伴随着经济生产活动而产生,工业发展指数作为经济发展状况的“晴雨表”,是衡量宏观经济发展状况的重要指标。当宏观经济处于缩减状态,工业发展指数下滑,生产活动减少,碳排放量下降,进而导致碳排放权需求减少、碳价下跌;而当宏观经济处于上涨状态,工业发展指数上涨,生产规模扩张,碳排放量上升,进而导致碳排放权需求增加、碳价上升。同时,经济生产活动往往伴随着能源的消耗,煤炭、石油、天然气作为工业发展最重要的能源原料,是温室气体排放的主要源头。因此,化石能源价格变动与碳价变化之间关系密切,国内外学者普遍认为能源价格上升将推动碳价上涨,能源价格下跌也将导致碳价下滑(Convery & Redmond, 2007; 张跃军、魏一鸣, 2010)。

在变量选取方面,由于欧盟碳市场交易以期货为主,而欧洲气候交易所(ECX)是欧盟碳市场中最主要的EUA期货交易市场,因此本研究选取ECX的EUA期货价格作为碳价代表;宏观经济变量选取的是代表欧盟工业经济发展状况的Stock600指数;石油价格选取的是欧盟石油价格风向标的布伦特石油离岸价;天然气价格选取的是英国天然气期货指数价格;煤炭价格选取的是较有影响力的欧洲能源交易所的三港(阿姆斯特丹、鹿特丹和安特卫普)期货合约价格。其中,天然气价格与石油价格数据来源于欧洲洲际期货交易所(EEX),煤炭价格来源于欧洲能源交易所(ICE),Stock600指数来源于Wind数据库。关键变量的说明见表1。各变量的选取时间节点为2013年1月1日到2015年12月31日,历史价格变化趋势如图1、图2以及图3所示:

^①数据来源:《BP世界能源统计年鉴》第66版。

表1 关键变量说明

变量	标码	含义	单位	数据来源
碳价	EUA	欧洲气候交易所碳期货价格	欧元/吨	ECX
宏观经济	Stock600	欧盟18国工业发展指数	欧元	Wind数据库
石油价格	Brent	布伦特石油离岸价	美元/桶	ICE
煤炭价格	Coal	煤炭期货合约价	美元/吨	EEX
天然气价格	Gas	英国天然气期货指数价格	便士/千卡	ICE

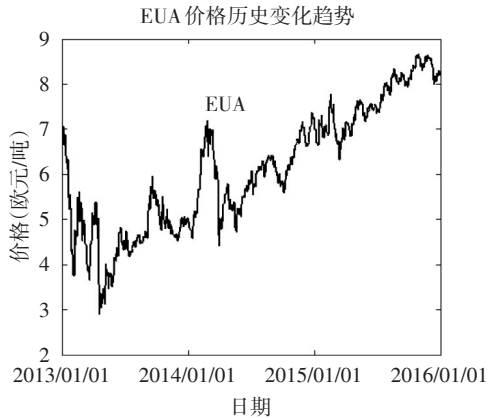


图1 2013-2015年EUA价格

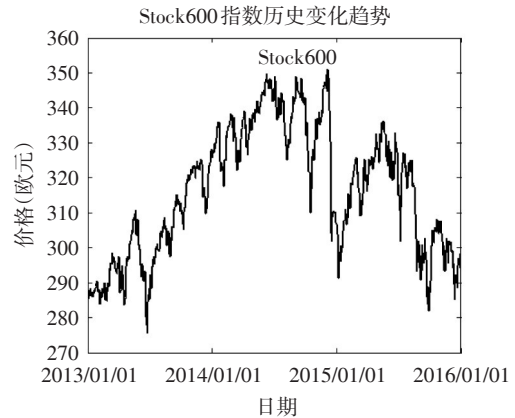


图2 2013-2015年Stock600指数趋势

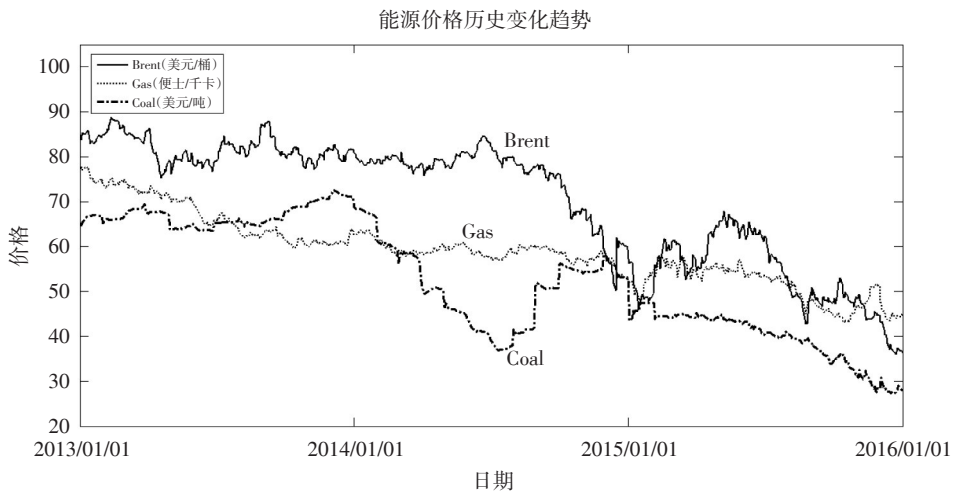


图3 2013-2015年能源价格历史变化趋势

(二)BP神经网络模型

BP神经网络模型是众多神经网络模型中应用最为广泛与成熟的模型之一,研究表明该模型具有强适应性和容错性,允许一定噪声数据输入,能自组织自适应处理数据,经过学习能够建立样本间隐含的复杂关系,只要有足够的隐含层和隐含节点,它可以逼近任意非线性映射关系,且网络中各层节点数及网络学习系数等参数可根据具体情况设定,灵活性强,可以同时兼备数据驱动和数据挖掘模型在价格走势模拟方面的优势。

本文在前期利用BP-MIV神经网络模型计算多种外部变量对EUA价格影响(易兰,2017)的基础上,借助MATLAB 2016a平台完成对EUA价格的情景模拟。神经网络模型的具体构建过程如下:

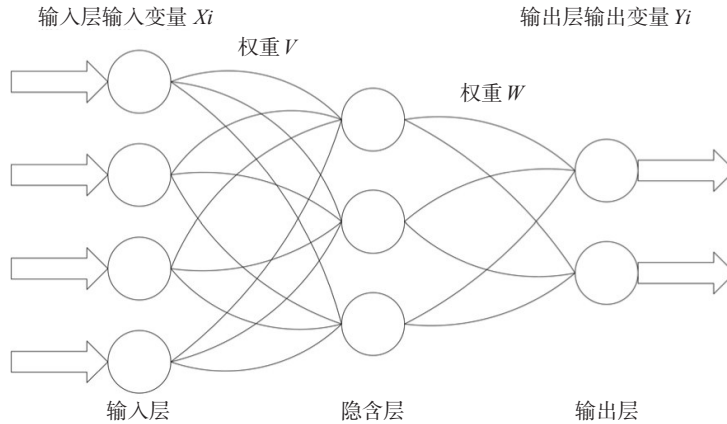


图4 BP神经网络模型结构

1.模型建立

模型的构建分为确定网络层数与每一层节点数两个步骤。模型的输入变量为Brent、Gas、Coal、Stock600四个变量,因此BP神经网络的输入层节点数为4;输出变量为EUA,故输出层节点数为1。隐含层节点数的确认分为两步,首先通过经验公式 $l = n - 1$ 、 $l = \sqrt{(m+n)} + a$ 以及 $l = \log_2 n$ 。(其中 n 为输入层节点数, l 为隐含层节点数, m 为输出层节点数, a 为0~10之间的常数)取交集来确定隐含层节点数范围为3~12,再计算隐含层节点数所对应的网络均方误差值(MSE),通过隐含层节点数和MSE的关系来确定最优隐含层节点数,当MSE值最小时选取其对应的隐含层节点数为最优节点数,经测算后本研究选取的最优隐含层节点数为7。BP神经网络模型的隐含层又可以分为单隐含层和多隐含层。多隐含层由多个单隐含层组成,同单隐含层相比,多隐含层泛化能力强、预测精度高,但是训练时间较长(王小川,2013)。为提高模型预测精准度,本文增加了隐含层层数,将隐含层设置为双隐含层,即[7,7]隐含层,这使得模型的均方根误差(RMSE)与平均绝对误差(MAE)均大幅降低,模型的预测性能相对提升(如表2所示)。

表2 单隐含层与双隐含层下的预测性能对比

隐含层数	RMSE	MAE
一层	0.4076	0.3264
两层	0.2545	0.1861

隐含层的节点传递函数为正切S型传递函数 $\text{ansig}(y = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1)$,输出层的节点传递函

数为线型传递函数 $\text{purelin}(y=x)$ 。

2.模型初始参数设定

模型建立后,本研究采用随机初始权值法对神经网络进行初始化处理,这能够保证模型的有效性 & 预测结果的精准性。模型所选取的训练函数为 Levenberg Marquardt, 算法训练函数为 Trainlm, 学习函数为带动量项的 BP 学习规则 Learnqdm, 性能分析函数选取的是均方根

$$\text{误差函数 } RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - f_i)^2} \text{ 和平均绝对误差函数 } MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - f_i| \text{ (} y_i \text{ 为真实值, } f_i \text{ 为}$$

观测值, n 为观测样本量)。模型相关参数的设定为:最大迭代次数(`net.trainParam.epochs`)为 2000; 训练目标最小误差(`net.trainParam.goal`)为 10^{-6} , 性能函数最小梯度(`net.trainParam.min_grad`)为 10^{-7} ; 最大训练失败次数上限(`net.trainParam.min_fail`)为 50。

通过对数据测试发现 Mapstd 函数归一化后得到数据相较于 Mapminmax 函数处理后的数据更加平稳,因此本文运用 Mapstd 函数来对数据进行预处理,这样也可以消除不同变量间单位不统一所带来的影响。随机选取 80% 的数据作为训练样本集,通过多次训练来构造 BP 神经网络最优模型。其余 20% 作为测试样本,检验测试样本的模拟正确率,即模型泛化能力。EUA 碳价的样本数据总量为 775 组,其中随机选取训练样本数据 620 组(80%),测试样本数据 155 组(20%)。

3.模型训练结果

通过建立好的 BP 神经网络最优模型对 EUA 价格进行模拟,经过重复试验,以 MSE 值最小为判定依据选取最优模型。神经网络训练后训练目标最小误差虽未达到最优设置的 10^{-6} , 但最大训练失败次数上限已达到上限 50,此时迭代次数为 174,训练目标最小误差为 0.139,网络模型收敛。此时从输入层到隐含层的各神经元节点权值矩阵 W_1 及从第一个隐含层到第二个隐含层的各神经元节点权值矩阵 W_2 分别为:

$$W_1 = \begin{pmatrix} -0.13 & 2.14 & -4.26 & -0.54 \\ 3.62 & -1.29 & 0.74 & -1.37 \\ -0.13 & -1.38 & 1.12 & -3.32 \\ 2.85 & 0.51 & 2.23 & 0.33 \\ 1.74 & 0.01 & -0.50 & -3.16 \\ -0.01 & -0.20 & 0.90 & 1.42 \\ -1.03 & -2.78 & 1.38 & 2.96 \end{pmatrix}$$

$$W_2 = \begin{pmatrix} -0.18 & 0.14 & -1.61 & -2.17 & 0.84 & -2.29 & -1.63 \\ -0.52 & -0.13 & 2.75 & 1.52 & -1.67 & 1.02 & -3.07 \\ -0.40 & 0.19 & 2.03 & -0.80 & -1.28 & 1.47 & -0.99 \\ 0.56 & -0.67 & 1.59 & 0.86 & -1.12 & -1.56 & 1.91 \\ 0.57 & -0.36 & 1.91 & -0.60 & -1.37 & -2.91 & 0.19 \\ 0.33 & -0.29 & 1.90 & -0.68 & -1.09 & -0.92 & -1.20 \\ 1.89 & -0.10 & -1.12 & -0.43 & 0.50 & -1.47 & 0.20 \end{pmatrix}$$

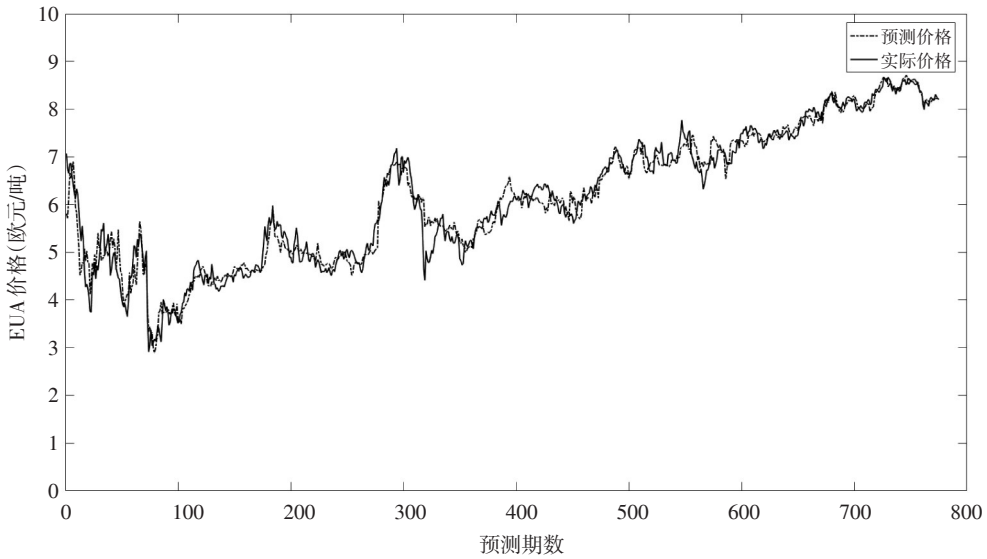


图5 BP神经网络预测价格与实际价格

(三)BP神经网络模型训练结果

图5为本研究所构建的BP神经网络预测模型输出价格与EUA历史价格的拟合对比。相较于ARIMA、ARBFN、RBFN、PNN等模型的预测误差(如表3所示),本研究所建立的BP神经网络模型测试样本模拟值与实际值的RMSE仅为0.2545,MAE为0.1861,预测误差相对更小,精确度更高。这一方面是由于相较于以往研究所使用的欧盟碳市场第一、二期碳价和国际核证减排量价格(Zhu & Wei, 2013;高杨、李健,2014)等数据,本研究所使用的欧盟碳市场第三期运行数据规律性更强;另一方面则是由于BP神经网络所构建的碳价预测系统相较于其他模型,有着更好的预测功能。

表3 不同模型之间预测误差比较

模型	BP	ARIMA	ARBFN	RBFN	PNN
RMSE	0.2545	0.3197	8.37	11.27	14.189
MAE	0.1861	0.24	0.1633	0.1842	0.1921

三、碳市场价格走势的情景模拟

在已建立好的最优BP神经网络模型基础上,本研究控制了经济发展与能源消耗两类变量以模拟碳市场外部发展状况,并设定了6种碳市场外部典型情景来探讨不同经济发展水平与能源消耗情景下的碳价走势。

(一)情景设定

在本文的假设条件中,本文着重强调能源消费量变化对能源价格变化的单向供需影响,

即能源价格的变化是由于能源消费量的相应变化所导致,所以本研究通过能源价格的上升、平稳以及下降来表示能源消费量的变化情况。具体6种情景设定为:①经济快速发展,能源消费旺盛,石油、天然气、煤炭价格均上升;②经济快速发展,能源消费下降,煤炭、石油价格下降,天然气价格平稳;③经济平稳运行,能源消费平稳增长,石油、煤炭价格上升,天然气价格平稳;④经济平稳运行,清洁能源得到大力发展,煤炭、石油价格大幅降低,天然气价格升高;⑤经济发展持续低迷,黑色能源消费旺盛,煤炭、石油价格上升,天然气消费量下降,价格萎靡;⑥经济发展持续低迷,黑色能源消费下降,煤炭、石油价格下降,天然气价格上升。

在进行上述6种碳价走势情景模拟时,Stock600、Brent、Coal、Gas等外部影响变量的价格涨跌幅度取值是根据上述变量在2008年6月13日到2015年12月31日的历史价格的最大值、最小值相较于均值的比值来确定的,各变量历史最大涨跌幅度值如表4所示:

表4 各变量历史涨跌幅度值

变量	Stock600	Brent	Coal	Gas
最大涨幅	27.32%	41.07%	79.79%	66.38%
最大跌幅	42.69%	60.53%	41.99%	56.82%

为匹配6种情景的影响变量取值,本研究针对Stock600、Brent、Coal、Gas等4个变量设定了最大涨幅、较大涨幅、平稳运行、较大跌幅、最大跌幅等5个层级以适应各情景对变量涨跌幅的需求,各变量的5级涨跌幅度参考历史涨跌幅范围进行取值。考虑到欧盟经济在2008年到2015年期间处于后金融危机阶段,经济实力尚未完全恢复,因此本研究将情景模拟中的Stock600指数的涨跌幅取值范围从2008到2015年历史最大涨跌幅(绝对值)的42.69%适当调整到了50%,其他变量的涨跌幅均在历史涨跌幅区间内。各变量的具体涨跌幅度设定如表5所示:

表5 各影响变量5级涨跌幅度

变量	最大涨幅	较大涨幅	平稳情况	较大跌幅	最大跌幅
Stock600	50%	30%	10%	-20%	-30%
Brent	40%	30%	20%	-20%	-40%
Coal	20%	10%	-5%	-20%	-30%
Gas	30%	20%	10%	-10%	-30%

结合上述设定的6种碳市场外部环境及各影响变量的5级涨跌幅度,本研究设定Stock600上涨50%为高经济情景,上涨30%为中经济情景,而下跌30%为低经济发展情景.能源价格的涨跌幅度则根据具体情景描述来选取相应合理范围内的涨跌值。各情景中变量的具体涨跌幅取值情况如表6所示:

表 6 碳市场外部环境情景设定

情景类型	碳市场外部环境	Stock600	Brent	Coal	Gas
“高经济—高能源消费”型	经济快速发展,能源消费旺盛,石油、天然气、煤炭价格均上升;	50%	40%	10%	20%
“高经济—低能源消费”型	经济快速发展,能源消费下降,煤炭、石油价格下降,天然气价格平稳;	50%	-20%	-20%	10%
“中经济—高能源消费”型	经济平稳运行,能源消费平稳增长,石油、煤炭价格上升,天然气价格平稳;	30%	30%	20%	10%
“中经济—低能源消费”型	经济平稳运行,清洁能源得到大力发展,煤炭、石油价格大幅降低,天然气价格升高;	30%	-40%	-30%	30%
“低经济—高能源消费”型	经济发展持续低迷,黑色能源消费旺盛,煤炭、石油价格上升,天然气消费量下降,价格萎靡;	-30%	20%	20%	-10%
“低经济—低能源消费”型	经济发展持续低迷,黑色能源消费下降,煤炭、石油价格下降,天然气价格上升;	-30%	-30%	-20%	30%

设定所搭建的模型跨度时长为 5 年(2016.01.01—2020.12.31),为了接近现实仿真效果,对各个变量进行有条件的随机取数。例如 Stock600 平均变化幅度为 50%,进行模型搭建的数据随机取数时:先将初始值设定为前一年(即 2015 年)的均值 X;再设定数值的上限为 $X(1+2*50\%)$,下限为 $X(1+50\%)$ (若是负增长,则数值上下限对调);随机生成 60 个数值时满足两个条件:① X 与这 60 个随机数值的均值为 $X(1+50\%)$;② X 与这 60 个随机数值构成的折线图与各情景下预期影响因子价格走势基本一致;再将得出的 60 个随机数值作为每月(5 年共 60 个月)最后一天的数值(即月末值),第一个月的值为初始值 X 与第一个月月末值之间的随机数,第 N($1 < N < 60$)月的数值为第 N-1 月末值与第 N 月末值之间的数值,其取值函数为初始值+随机扰动数值。

(二)情景模拟结果及分析

根据上文所建立的 BP 神经网络最优模型,针对上述 6 种典型的碳市场外部环境,以 2015 年碳价均价作为碳价走势模拟的基础价格,情景模拟输出结果如图 6 所示,其中外围纵坐标表示碳市场外部经济发展水平,横坐标表示碳市场内部能源消耗情况。6 种碳价走势情景模拟输出中,纵坐标代表神经网络模拟输出的碳价;横坐标代表本研究模拟的 5 年碳价走势的日期。如图 6 所示,对比 6 种典型情景下的碳价走势后发现:

(1)当能源消耗情景一致时,高、中经济情景下的碳价波动相对较为接近,且高能源消耗下的碳价上涨趋势更加明显。当处于高、中经济情景时,能源消耗上涨时,碳价分别上涨到了 16.4 欧元/吨和 14.6 欧元/吨,碳价走势随着能源消耗的上涨而持续上升;当能源消耗下降,碳价分别下降到了 3.4 欧元/吨与 2.6 欧元/吨,碳价走势随着能源消耗的下降而下降。本文认为:在高、中经济发展情景下,碳价走势会随着能源消耗的变化而同向变化,且高能源消耗情景下的碳价上涨趋势更加明显;当能源消耗情景一致时,中、高经济发展情景下的碳价涨跌幅较为接近,这表明经济发展对碳价的上涨具有较强的推动作用,但这种推动作用会随着经济发展的上涨而逐渐削弱。

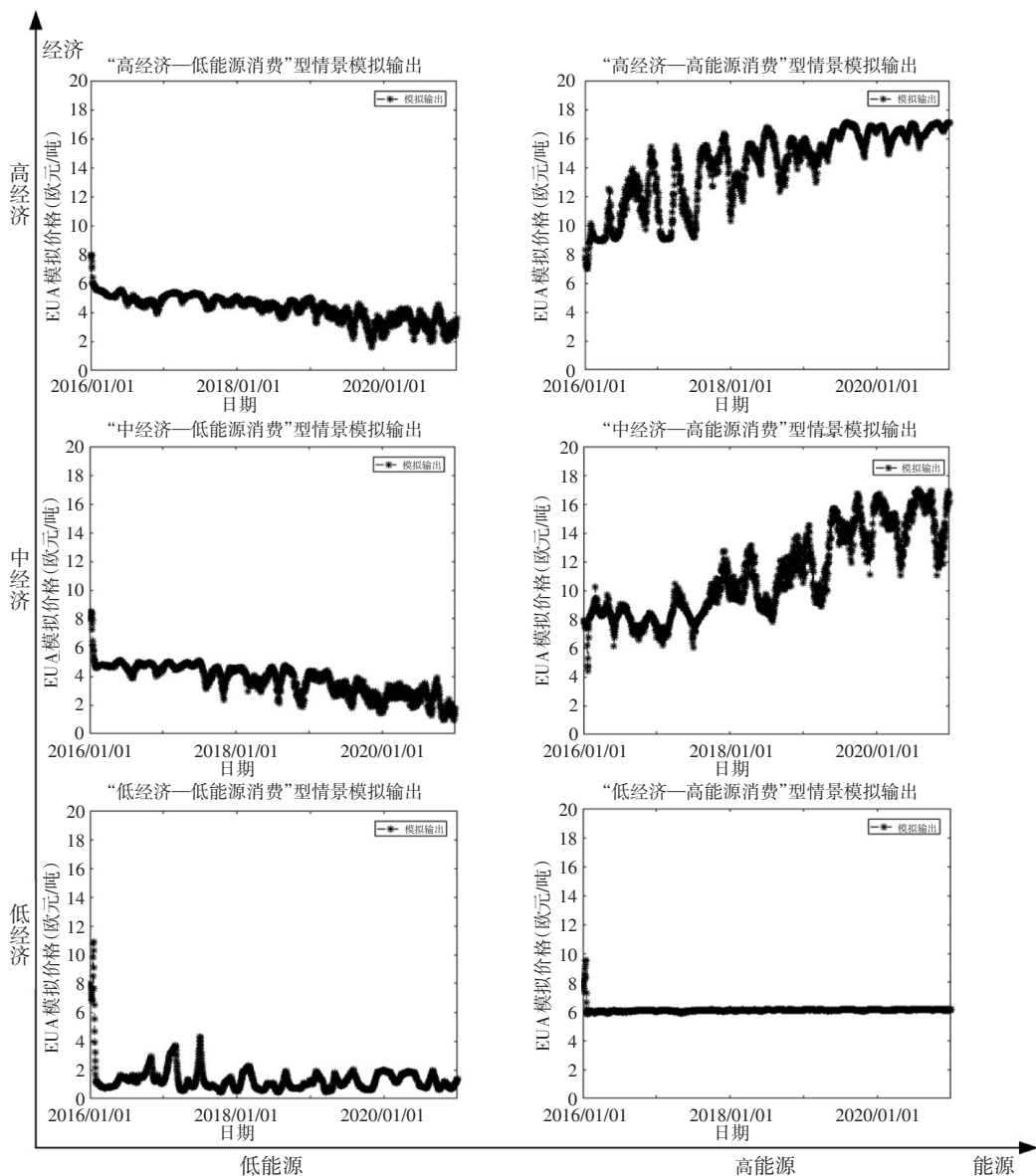


图6 6种典型情景结果输出

由于碳市场减排的本质是利用配额资源的稀缺性来影响企业做出配额购买或减排的决策,因此只有稳健的碳价才能促使控排企业做出能源结构转变与技术改造升级的减排决策。碳市场若纳入低经济发展地区,一方面由于控排企业并不具备减排的动力与能力,此类企业则可能由于承担减排压力带来的负担而影响该地区的经济发展;另一方面,尽管低经济地区控排企业的减排成本可能小于高、中经济发展地区,但无论在何种配额分配方法下,均可能会导致低经济地区的控排企业成为整个市场的配额净输出企业,进而促使碳市场沦为高、中经济地区对低经济地区企业的变相补贴,最终削弱碳市场的整体减排能力。因此,在碳市场建立过程中应首先纳入碳价更加稳健、减排空间更大的高、中经济地区,待市场发育至一定程度

时,再考虑纳入低经济发展地区以降低减排成本。

(2)低经济发展期,无论能源消耗情景如何,碳市场均难以实现价格发现功能。从低经济发展情景来看,当处于低能源消耗时,碳价会出现断崖式下跌,在20期内由期初的8欧元/吨下降至1欧元/吨,之后价格一直围绕在1欧元/吨上下波动;高能源消耗情景下,碳价同样在20期内下降了2欧元,之后则在6欧元/吨上下波动。当处于低经济-低能耗情景时,控排企业既没有减排动力也没有减排潜力,因而碳价基本在0欧元/吨上下波动,碳市场运行基本处于无效状态;低经济-高能耗情景下的碳价虽然在下跌2欧元后长期维持在6欧元/吨,但此时碳市场已失去了利用碳价信息变动来引导控排企业实现减排决策的功能,碳市场运行同样已接近无效状态。因此,从碳市场建立的角度而言,无论能源消耗旺盛与否,低经济发展情景由于无法实现价格发现功能而均不适宜纳入碳市场。

(3)无论经济发展状况如何,低能耗与高能耗情景之间均存在较大价差。从能耗层面来看,高、中、低经济情景下的低能耗碳价与高能耗碳价的价差分别为13欧元、12欧元与5欧元。这表明,即使保持经济发展状况一致,高能耗与低能耗情景下的碳价依然存在较大价差。能耗水平决定控排企业对碳排放权需求与碳减排潜力的大小,当高能耗地区与低能耗地区同时纳入碳市场时,由于低能耗地区的碳排放权需求与减排潜力均相对较低,因而更倾向于购买成本相对更低的配额以完成履约,从而不得不承受由高能耗地区所主导的高碳价。因此,在碳市场建立初期适宜采取“抓大放小”的区域纳入原则,待市场减排成本逐步上升之时再考虑逐步纳入低能耗地区。

(三)情景模拟结果与实际价格对比

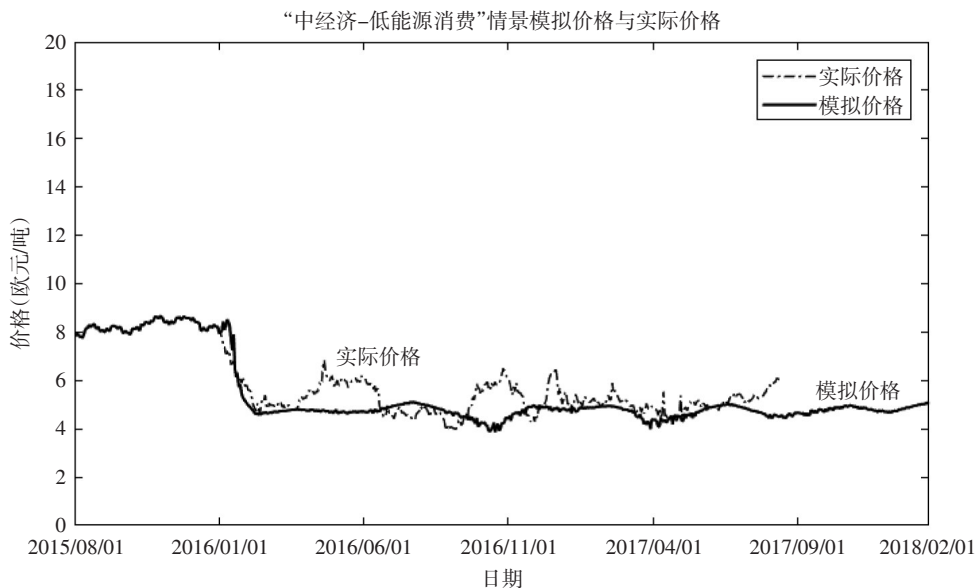


图7 “中经济—低能源消费”情景模拟碳价与实际碳价对比

进一步将2016年1月1日—2017年8月30日的EUA实际价格与本文所做的6种情景预测价格进行对比后发现,当前实际EUA价格的走势与本文“中经济—低能源消费”情景下的预测价格走势大体一致(如图7所示)。欧盟经济在经历了欧债危机之后逐渐复苏,Stock600指数呈现小幅波动上升态势;同时,2017年《BP世界能源统计年鉴》显示,欧盟地区煤炭与石油的消费量均呈现下降趋势,天然气的消费量呈现上升态势。这与本文“中经济—低能源消费”的情景设定也基本一致,在一定程度上也再次证明了本研究所构建BP神经网络模型的预测精准性与研究结论的可靠性。

四、研究结论与启示

(一)研究结论

本研究通过构建具有4个节点输入层、[7,7]节点隐含层、1个节点输出层的BP神经网络模型,针对碳市场发展的6种典型外部环境,对比分析了碳价的不同走势。BP神经网络模型在对碳价走势进行情景模拟时,模拟值与实际值有着较好的拟合度,均方根误差仅为0.2545,平均绝对误差为0.1861,预测误差相对更小,精确度更高。同时,对比分析碳市场在6种典型外部环境下的碳价走势后发现:(1)中、高经济发展情景下,碳价与能源消耗同向变动,且碳价变动幅度及水平基本一致,因而高能耗情景下的高、中经济地区适宜同时纳入碳市场;(2)低经济发展情景下,无论能源消耗情况如何,碳市场均将难以实现价格发现功能,因而低经济发展地区并不适宜纳入碳市场;(3)即使经济发展状况一致,高能耗与低能耗情景下的碳价依然存在较大价差。因此,若低能耗地区与高能耗地区同时纳入碳市场,低能耗地区将不得不承受由高能耗地区所主导的高碳价。

(二)对中国碳市场建设的启示

由于全国碳市场尚未正式启动,我国七大试点碳市场建立时间又相对较短,试点市场价格走势极不平稳且交易中断现象时有发生,尚未与外界市场形成良好互动关系,价格动力学影响机理有待形成(徐佳,2016)。欧盟碳市场在经过三个阶段的运行后,已与电力、能源市场以及宏观经济形成了较为畅通的信息互动机制,因此通过研究市场运行已相对成熟的欧盟碳市场价格形成机制能够对未来全国性碳市场的成功建设起到一定借鉴作用。当然,由于欧盟与我国的国情仍存在一定的差异性,且市场机制建设也不尽相同,因而全国性碳市场的制度建设仍应以七大试点建设经验为主,辅之以参考欧盟碳市场运行经验。根据本文研究结论,结合我国区域经济社会发展的现实,面对即将建立的全国性碳市场,现提出如下政策建议:

(1)全国碳市场配额分配松紧程度从东向西依次下降,以平衡东中西部地区经济发展与能耗差异所造成的碳价差。虽然全国碳市场配额分配的主基调是以基准线法为主,但不同区域之间的基准线系数以及基准线与历史法的适用范围仍可进行差异化设计以平衡碳价差。其

中,东部地区总体经济发展水平较高、产业结构升级导致碳排放需求下降,配额分配时可选择较高的行业基准线系数以收紧配额,保证碳价的稳健;中部地区第二产业比重较高,碳排放权需求旺盛,配额分配时可选择适中的行业基准系数,避免较高的减排压力而影响经济发展;西部地区当前排放需求相对较小但未来经济增长潜力巨大,因此在市场运行前期可选择历史法来分配配额,并根据经济发展实际情况逐步缩紧配额,待市场运行至一定阶段时再转变为基准线法。

(2)全国碳市场前期运行阶段,控排行业与企业的纳入标准上仍应坚持“抓大放小”原则。全国碳市场控排企业前期数据核查过程中,由于无法掌握其他行业控排企业准确的核查数据,因而市场前期只纳入了电力行业,下一步在纳入控排行业的过程中仍应首先考虑高能耗、数据质量高的重点排放行业以保证稳健的碳价水平;同时,全国碳市场年均能耗一万吨标准煤的准入门槛设置方式也不利于部分中小企业接受碳交易。因此,未来全国碳市场在纳入不同东中西部地区的控排企业时准入门槛可适当区别对待。其中,东部地区可适当降低准入门槛,保证高能耗重点排放企业全部纳入,加快产业结构升级;中部地区准入门槛设定以保证主要高能耗企业纳入为根本原则;西部地区则应适当提高准入门槛,保证大型排放企业纳入即可,避免统一的市场准入门槛设定对中西部地区经济发展的阻碍。

参考文献:

- [1] 高杨,李健. 基于 EMD-PSO-SVM 误差校正模型的国际碳金融市场价格预测[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, (6): 163-170.
- [2] 李奇伟. 中国碳排放权交易试点履约期的市场特征与政策启示[J]. 中国科技论坛, 2015, (5): 128-134.
- [3] 齐绍洲,程思. 中国碳排放权交易试点比较研究[A]. 齐晔,张希良. 低碳发展蓝皮书[C]. 北京: 社会科学文献出版社, 2016.
- [4] 王小川. MATLAB 神经网络 43 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013.
- [5] 吴洁, 夏炎, 范英, 刘婧宇. 全国碳市场与区域经济协调发展[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, (10): 11-17.
- [6] 徐佳, 谭秀杰. 碳价格波动的时空异质性研究[J]. 环境经济研究, 2016, 1(2): 107-122.
- [7] 易兰, 杨历, 李朝鹏, 任凤涛. 欧盟碳价影响因素研究及其对中国的启示[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(6): 42-48.
- [8] 张跃军, 魏一鸣. 化石能源市场对国际碳市场的动态影响实证研究[J]. 管理评论, 2010, (6): 34-41.
- [9] 郑爽. 全国七省市碳交易试点调查与研究[M]. 北京: 中国经济出版社, 2014.
- [10] Alberola, E., J. Chevallier and B. Chèze. Price Drivers and Structural Breaks in European Carbon Prices 2005-2007[J]. Energy Policy, 2008, 36(2): 787-797.
- [11] Chevallier, J. Carbon Futures and Macroeconomic Risk Factors: A View from the EU ETS[J]. Energy Economics, 2009, 31(4): 614-625.
- [12] Convery, F. J. and L. Redmond. Market and Price Developments in the European Union Emissions Trading Scheme [J]. Review of Environmental Economics & Policy, 2007, 1(1): 88-111.
- [13] Cummins, M. EU ETS Market Interactions: The Case for Multiple Hypothesis Testing Approaches[J]. Applied Energy, 2013, 111(4): 701-709.

- [14] Ellerman, A. D. and B. K. Buchner. Over-Allocation or Abatement? A Preliminary Analysis of the EU ETS Based on the 2005–06 Emissions Data [J]. *Ssrn Electronic Journal*, 2006, 41(2): 267–287.
- [15] Hintermann, B. Allowance Price Drivers in the First Phase of the EU ETS[J]. *Journal of Environmental Economics & Management*, 2009, 59(1): 43–56.
- [16] Grubb, M. Auctioning of EU ETS Phase II Allowances: How and Why? [J]. *Climate Policy*, 2006, 6(644): 137–160.
- [17] Mansanet-Bataller, M., A. Pardo and E. Valor. CO₂ Prices, Energy and Weather[J]. *The Energy Journal*, 2007: 28(3): 73–92.
- [18] Mori, H. and W. Jiang. A Risk Analysis Method for Carbon Price Prediction with Hybrid Intelligent Model in Consideration of Variable Selection of Graphical Modeling[C]// *IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies*. IEEE, 2008: 1019–1024.
- [19] Sun, G., T. Chen and Z. Wei. A Carbon Price Forecasting Model Based on Variational Mode Decomposition and Spiking Neural Networks[J]. *Energies*, 2016, 9(1): 1–16.
- [20] Tsai, M. T. and Y. T. Kuo. A Forecasting System of Carbon Price in the Carbon Trading Markets Using Artificial Neural Network[J]. *International Journal of Environmental Science & Development*, 2013, 4(2): 163–167.
- [21] Zhu, B. and Y. Wei. Carbon Price Forecasting with a Novel Hybrid ARIMA and Least Squares Support Vector Machines Methodology[J]. *Omega*, 2013, 41(3): 517–524.

The Scenario Simulation Analysis of the EU ETS Carbon Price Trend and the Enlightenment to China

Yi Lan, Li Zhaopeng, Yang Li and Liu Jie

(School of International Business, Shanxi Normal University)

Abstract: China's national carbon trading market is due to be established in 2017 soon. As the best practice to follow, EU ETS, the world's largest carbon market arouses strong academic interests. As an indicator of how the carbon market develops, carbon price which is the reason for the fluctuation, trend analysis and forecasting is particularly important for research. This study aims to simulate the EUA prices by developing a BP Neural Network model to study the EUA historical prices together with external factors such as Euro Stock600, Brent oil, coal and natural gas prices. Fixing either a set of economic development variables or energy consumption variables to set up six typical scenarios to forecast the future EUA prices. The study attempts to provide theoretical basis for judging whether it's appropriate for China to considering different economic development and energy consumption unanimously for national carbon trading market. The results show: When energy consumption is consistent, economically developed areas and economically secondary developed regions are suitable for the carbon market, and the carbon price of high energy consumption is more robust; Economic development in a downturn, the carbon market can not realize the price discovery function; Even if economic growth is similar, the prices of carbon in high-energy and low-energy scenarios still have a big difference and low-energy scenarios always have to endure high carbon price dominated by high-energy scenarios.

Keywords: BP Neural Network Model; Scenario Simulation; National ETS

JEL Classification: Q13, Q56

(责任编辑:卢玲)