

# 碳排放预测及其对我国金融政策的影响

孙琦

(集美大学诚毅学院 经济系, 福建 厦门 361021)

[摘要] 碳排放与金融关系是当下中国面临的重要问题之一, 基于《能源统计年鉴》及国家统计局数据, 建立 PCA 模型, 采用广义回归神经网络方法, 实现我国未来几年碳排放量的预测。研究发现: 我国将持续减排, 煤炭能源结构占比逐渐减少; 2024—2028 年碳排放持续上升, 2028 年增速“由正变负”; 2030 年碳达峰目标提前完成, 清洁能源取代煤炭。面对此现象, 我国应该追踪“双碳”目标, 建立绿色金融体系, 进一步开发清洁能源, 调整产业结构, 定向绿色融资, 坚持“节能减排”。同时, 国家金融政策需要持续创新, 推动全社会能源结构调整: (1) 继续完善绿色金融顶层设计, 建立切实可行的激励机制。(2) 扩大碳交易市场, 加强对碳金融市场的监管。(3) 构建绿色供应链金融生态系统。

[关键词] 碳排放量; 主成分分析; 广义回归神经网络; 金融政策

[中图分类号] F 832.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1008-889X (2023) 06-0048-11

## 一、引言

世界资源研究所 (WRI) 数据平台 Climate Watch 显示: 2018 年全球的温室气体排放总量已达到 490 亿吨二氧化碳当量<sup>[1]</sup>, 其中, 化石能源燃烧排放量占排放总量的 3/4。我国碳排放量在全球碳排放总量中占比约为 28%, 其中各种化石能源燃烧所产生的碳排放量占我国碳排放总量的 85%, 能源燃烧产物中 92% 是二氧化碳<sup>[2]</sup>。碳排放系数是根据各类能源燃烧和使用中单位能源产生的碳排放量所定义的。由以上数据可见, 我国碳排放总量较高, 影响着我国经济的生产和发展。金融已经渗透到社会经济的各个方面, 经济活动对金融的依赖性也日益提高, 因此, 碳排放与金融的关系也成为当下中国面临的重要问题之一。2020 年, 中国国家主席习近平在《继往开来, 开启全球应对气候变化新征程》的重要讲话中提到: “采取更有力的政策和措施, 力争 2030 年二氧化碳排放达到峰值, 努力争取 2060 年前实现碳中和” (以下简称“双碳”目标)。“双碳”目标对我国金融政策、标准和市场实践等产生较大影响, 探索金融体系如何支持实体经

济绿色发展, 有效促进金融转型, 特别是帮助“双碳”目标中那些高污染、高排放企业在绿色转型升级趋势下实现减污降碳“软着陆”具有时代意义<sup>[3-4]</sup>。2022 年 1 月 24 日, 习近平总书记在中共中央政治局第三十六次集体学习时强调, 要充分发挥市场机制作用, 完善碳定价机制, 加强碳排放权交易。因此, 预测我国未来碳排放对金融政策的影响, 对完善我国金融体系、促进我国经济绿色发展有着重要意义。

## 二、文献回顾

杨颖使用全要素非径向方向距离函数和共同前沿 (Meta-frontier) 非径向 Malmquist 指数测算方法, 测算了中国地级市层面 2006—2019 年的经济低碳转型水平和动态碳排放表现指数, 分别从绿色金融政策和绿色金融市场的角度研究了绿色金融发展对区域经济低碳转型的影响<sup>[3]</sup>。张煜晖认为我国当前绿色金融发展的顶层设计已经日益完善。中国的绿色信贷和绿色债券规模不断扩大, 但仍面临绿色金融发展的激励和约束机制不完善、绿色金融的风险管理市场不足、碳交易市场金融化水平较低等一系列亟待解决的问

题,需要进一步强化政策引导,充分发挥绿色金融的资源配置、风险管理、市场定价功能,从而助力我国“双碳”目标的实现<sup>[5]</sup>。李云燕等在对2008—2019年中国省域碳排放与绿色金融的时空演化、重心迁移与离散趋势深入考察的基础上,运用静态与动态空间杜宾模型对绿色金融影响碳排放的空间效应、作用机制及异质性展开探讨。绿色金融可通过促进产业高级化抑制碳排放,但抑制效果存在区域差异<sup>[6]</sup>。以上学者都围绕着碳排放与金融的关系进行探讨,但是研究均未对中国碳排放进行预测,也未探讨中国未来碳排放对金融政策的影响。建立金融与绿色低碳经济之间的紧密联系是构建绿色金融体系的重要组成部分。因此,本研究基于《能源统计年鉴》及国家统计局数据,依据广义回归神经网络(GRNN)原理,建立PCA(主成分分析)模型等研究方法,实现我国碳排放量的未来预测,希冀为我国金融政策制定和转型提供良好建议,推动全社会能源结构调整。

### 三、数据来源与指标选取

#### (一) 碳排放量的历史数据

由于不同种类能源效率不同,为方便不同能源比较、计算能源结构以及能源强度等,通常采用标准煤折算系数。基于《2006年IPCC国家温室气体清单指南》,本研究选取8种主要排放碳的能源作为统计对象,为统一计算,方便历年数据比较,后续能源相关数据均已转化为标准煤计算(见表1)<sup>[7]</sup>。

依据《能源统计年鉴》,统计2005—2022年的各产业煤炭实物消费量(见图1)、焦炭消费量、原油消费量、汽油消费排放量(见图2)、煤油消费排放量、柴油消费排放量、燃料油消费排放量、天然气消费排放量,并对各行业能源消耗进行分析统计。

表1 各类能源碳排放系数及标准煤折算系数

能源	煤炭	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气
碳排放系数	0.755 9	0.855 0	0.585 7	0.553 8	0.571 4	0.592 1	0.618 5	0.448 3
标准煤折算系数	0.714 3	0.971 4	1.428 6	1.471 4	1.471 4	1.457 1	1.428 6	1.330 0

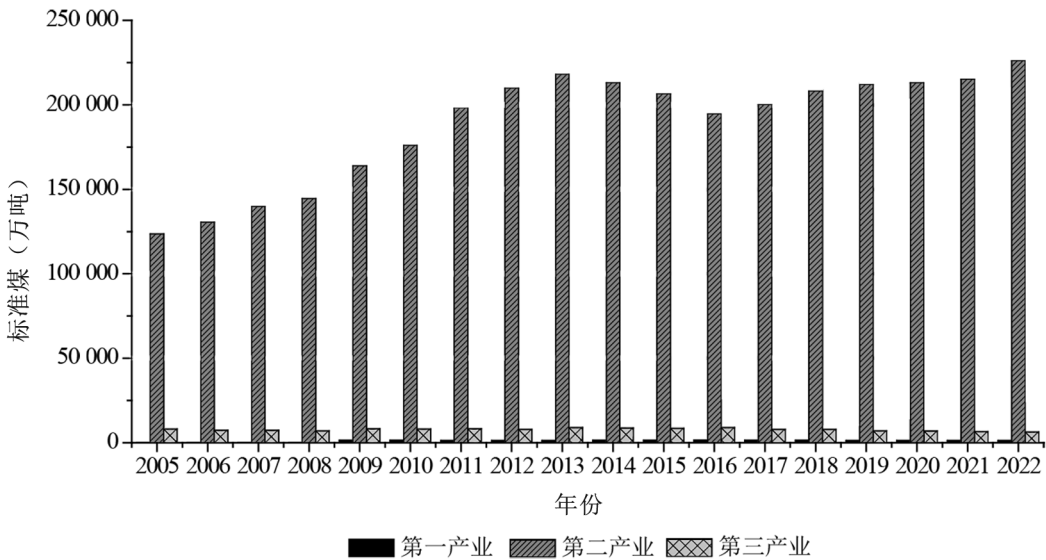


图1 2005—2022年各产业煤炭消费量

如图 1 所示,经统计分析可以发现,只有 5% 的煤炭量被第一、第三产业消费,剩下的消费量全在第二产业。2005—2022 年,煤炭在中国能源消费总量中的份额均未低于 65%,因此,在节能减排的大环境下,煤炭行业转型显得至关重要。在新能源技术的发展和政策的支持下,随着核电、风力发电和光伏发电等新能源行业的发展,发电成本不断下降,新能源竞争力不断加强,给煤炭行业的发展带来极大冲击。焦炭消费量 99% 来自于第二产业,第一和第三产业的使用量几乎可以

忽略不计,其中第二产业中钢铁行业使用了国内 80% 以上的焦炭。由于焦炭生产能力已经逐渐达到我国焦炭产能的极限,在环保与减排的大环境下,焦炭产能减少,消费增速放缓,未来焦炭消费量将缓慢增加。对于原油的消费量,第一和第三产业几乎为 0,原油消费主要集中在第二产业,其中制造业占据了 99% 的消费量,主要集中在石油加工业和化学原料及用品制造业上。可见我国原油消费结构单一,随着国内原油产量的逐步回升,原油消费量会逐步上升。

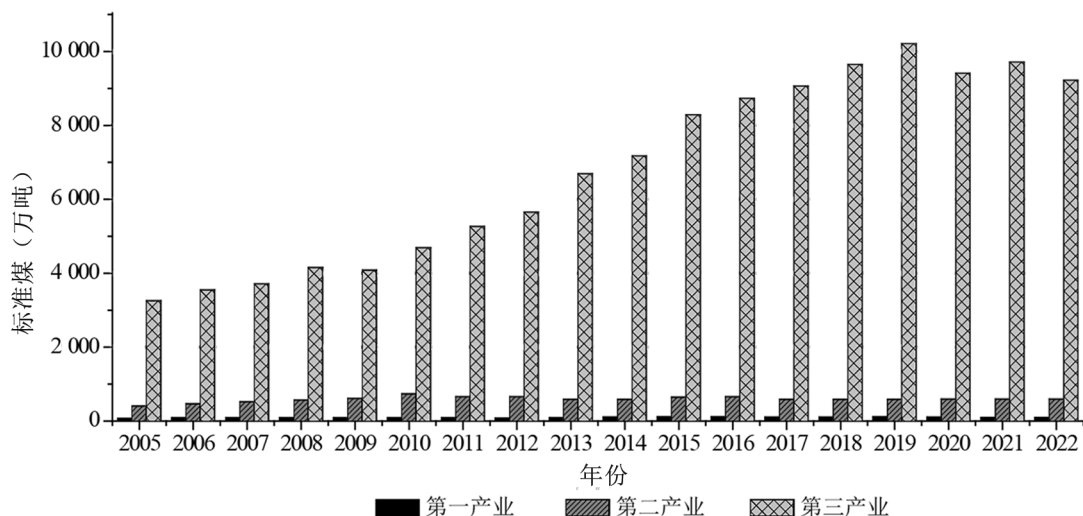


图 2 2005—2022 年各产业汽油消费量

我国汽油消费主要用于第三产业的相关行业,占据了消费总量的 85% 以上,剩余的被工业生产制造过程所消耗。从图 2 中各产业汽油实物消费量整体来看,汽油消费量呈现“降速不失速”的发展趋势,增速虽然进一步放缓,但总量仍保持增长。汽油消费增长率自 2015 年的高点后总体呈现下降趋势。之后随着公共交通的日益便利、汽油的消费成本提升、储能技术的发展、电池能量密度的提升及新能源汽车销量的进一步发展,汽油消费量呈现缓慢增加的态势。从 2019 年开始,汽油消耗量下降明显,进一步降低交通燃料消耗水平。煤油消费排放量主要集中在第三产业中的交通运输、仓储和邮政业,占据了煤油消费总量的 90% 以上,其中,交通运输中的航空煤油占该份额的 95% 左右。近年来虽然煤油消费量呈持续增长的趋势,但消费增速明

显放缓,这是因为民用航空运输业市场增速放缓、节能减排目标取得较大进展。第三产业的柴油消费量占据柴油消费总量的 80% 左右,日常的交通以及物流仓储运输相关行业消费了大部分的柴油。柴油消费量在经济发展的作用下高速增长了一段时间后,在达到峰值几年后呈连续下行态势。随着中国经济总体增速减慢,国家开始着力调整先前的产业结构,柴油消费增速同步放缓,电动化成为大势所趋,未来数年柴油消费量将逐年降低。燃料油消费量主要集中在第二产业和第三产业,2015 年后燃料油整体消费量开始慢慢走下坡路。首先,由于快速的经济的发展,使得炼油厂主动提升企业的深加工水平导致燃料油产量下降;其次,日益严格的环保要求、不断深化的节能减排意识及燃料油替代品的加速出现,使其消费量逐渐下滑。近年来天然气使用量稳步

上升，但增速放缓，工业燃料用气和城镇燃气基本持平。天然气在我国能源结构中发展潜力巨大，虽然我国能源结构中煤炭一直占据主导地位，但天然气作为清洁能源，未来的提升空间十分巨大。在如今风能、光伏、太阳能等非化石燃料还处于无法完全替代煤炭的初期阶段，天然气是这一阶段支撑能源转型的代替能源。《中国天然气发展报告（2021）》指出，要向绿色低碳的方向转型，有序地在工业、建筑、交通、电力等多行业各领域扩大天然气使用规模，淋漓尽致地发挥天然气发电效率高、启动速度快、建设周期短、占地面积少等优点，将天然气作为未来新型电力系统的重要能源组成，天然气消费的增加是助力能源碳早日达峰的关键因素<sup>[8]</sup>。

（二）各产业能源强度和结构变化

以《能源统计年鉴》与国家统计局数据为

对象，采用能源强度的相关公式可以求出历年来我国的能源强度。由图 3 可见，我国能源强度整体呈下降的趋势，首先，国家开始调整经济结构，第二产业开始衰减，第三产业开始腾飞；其次，由于各企业开始优化能耗比例，推行减排节能。

如图 4 所示，第一产业的份额持续缓慢下跌，第二产业的份额先下降后上升再下降波动发展，第三产业份额持续增加。我国的产业结构于 2012 年由“二三一”转变为“三二一”，第三产业成功超过第二产业，成为支撑起国民经济的支柱型产业。党的十八大提出经济发展迈入了发展的新阶段后，加快经济结构战略性调整和转型现代化的步伐，到 2019 年，我国的三大产业比例已经调整为 7.1:39.0:53.9，2021 年比例结构变为 7.7:37.8:54.5。

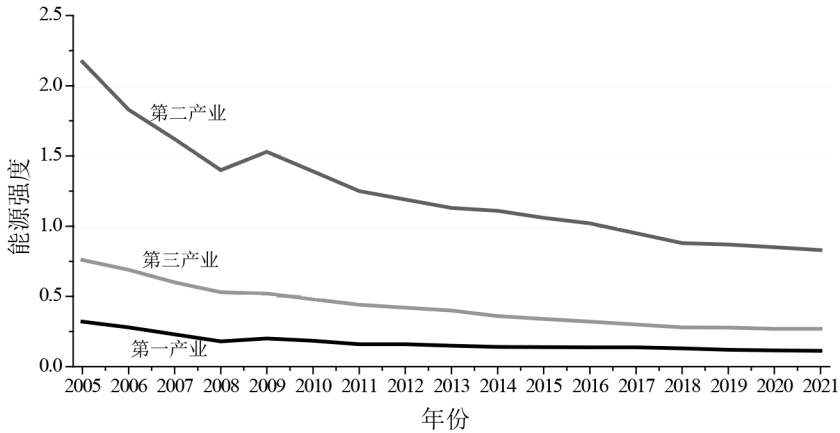


图 3 我国 2005—2021 年各产业的能源强度变化

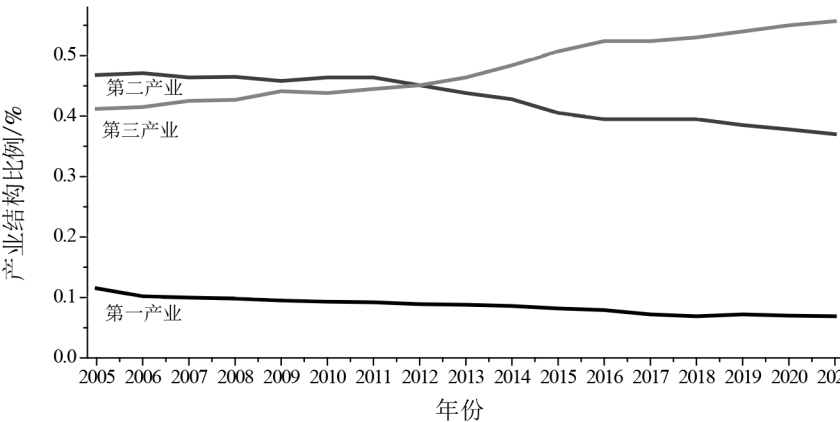


图 4 2005—2021 年中国产业结构变化趋势



在产业结构总体升级的同时,三大产业内部也在积极主动地优化先前不合理的部分:(1)农业日益稳固在经济中的根本地位,综合生产能力不断提升,农业经济、农业生态与农村社会协调发展,同时,与农业相关的法律法规逐步完善,为现代化农业体系的建成提供保障。(2)工业整体向着更高的水平提升,加快了工业现代化的步伐,工业体系从简单原始的劳动密集型向种类繁多的资本技术密集型调整优化。(3)服务业规模日益壮大,质量效益稳步提升,涌现出大批新业态和新模式,以“互联网+”为标志的新兴服务业与现代信息技术快速融合。

我国经济发展计划已由高速发展转变为高质量发展,新一代科技与高端产业的变革为工业转型提供了全新的机遇,创新驱动发展的战略从计划方向上支撑着工业的转型,近几年新冠疫情的蔓延导致经济下滑,反而倒逼本土工业加快转型升级和高质量发展的步伐。服务业已成长为支撑国民经济的重要产业,人民物质生活水平的提高带来更多全新的工种,国际上相关产业发展也为国内服务业提供了相对明确的发展方向,国内庞大的市场基础培育着国内服务行业蓬勃发展。

## 四、研究方法与研究结果

### (一) Kaya 恒等式测算

Kaya 恒等式表示碳排放量与经济、人口、政策等因素的联系<sup>[11]</sup>。

$$C = \frac{C_1}{P_1} \cdot \frac{P_1}{G_1} \cdot \frac{G_1}{P_2} \cdot P_2 \quad (1)$$

$C$  为所求的碳排放总量;  $P_1$  是一次能源的实物消费总计;  $G_1$  是当前年度的国内生产总值;  $P_2$  为当前年度人口总和。但由于其涉及的因素数目相对有限,根据其所研究的碳排放结果有一定的狭隘性<sup>[12]</sup>,只能体现二氧化碳排放量与能源实物消费量、全国人口总数及国家财政经济在广义上的数量关系。随着近年对碳排放量研究的深入,更多的影响因素被发现和证实,三大产业的能源结构和能源强度差异性、各产业结构效应与产出规模效应相互影响的结果也与碳排放量有着比较紧密的联系。因此,引入能够表征不同行

业的能源结构、不同种类能源的能源效率等因素的变量,对先前的 Kaya 恒等式进行了准确且适当的扩展,得到如下等式:

$$C = \sum_i \sum_j \left( \frac{C_{ij}}{P_{1ij}} \cdot \frac{P_{1ij}}{P_{1i}} \cdot \frac{P_{1i}}{G_{1i}} \cdot \frac{G_{1i}}{G_1} \cdot \frac{G_1}{P_2} \cdot P_2 \right) \quad (2)$$

该表达式中的  $G_1$  与  $P_2$  含义与最初的 Kaya 恒等式中的含义相同。 $C$  为碳排放总量;  $i$  代表第一产业到第三产业的序号;  $j$  是不同的能源类型的序号;  $C_{ij}$  为第  $i$  种产业中的第  $j$  种一次能源化学反应产生的热值对应的碳排放量;  $P_{1ij}$  为第  $i$  种产业中第  $j$  种一次能源的实物消费总计;  $P_{1i}$  为第  $i$  种产业所有种类一次能源实物消费总计;  $G_{1i}$  为第  $i$  种产业该年度国内生产总值的贡献力度。将表达式 (2) 各项因素进行分解:

$$f_{ij} = \frac{C_{ij}}{P_{1ij}}, \quad m_{ij} = \frac{P_{1ij}}{P_{1i}}, \quad t_i = \frac{P_{1i}}{G_{1i}}, \quad s_i = \frac{G_{1i}}{G_1}, \\ g = \frac{G_1}{P_2}, \quad p = P_2$$

从而可得:

$$C = \sum_i \sum_j (f_{ij} \cdot m_{ij} \cdot t_i \cdot s_i \cdot g \cdot p) \quad (3)$$

该模型表达式中,  $f_{ij}$  为不同类型单位能源化学反应生成热值所对应的二氧化碳量,即碳排放系数;  $m_{ij}$  为第  $j$  种能源在第  $i$  种产业实物能源消费中所占的比重,即该产业的能源结构;  $t_i$  为第  $i$  种产业能源消费对应的  $G_1$  值,即该产业的能源强度;  $s_i$  为第  $i$  种产业生产值在  $G_1$  总量中的贡献力度;  $g$  是人均  $G_1$ ;  $p$  为年末人口总和。

### (二) PCA (主成分分析) 模型的建立

PCA 是针对多维度的数据进行降维的算法<sup>[13]</sup>。基于先前的  $n$  维数据特征构建出  $k$  维数据结构,主要用于消除数据的冗赘项,让数据更加直接的展现出来。假设给定的原始数据是 2 个维度的,也就是说每个数据由对应的横纵坐标共同组成,所以每个值都有它本身对应的坐标值,图 5 中  $U_1$  就是主成分特征对应的方向,  $U_2$  的方向是在二维空间与  $U_1$  正交垂直的。可以直观地看出这  $n$  个数据在  $U_1$  轴的方向上有着最大的离散度,  $U_1$  上的投影已经包含了原始数据的绝大多数特征,即便把  $U_2$  方向上的特征忽略掉,也没有丢失什么重要信息。而且定义中  $U_1$  与  $U_2$  相

互垂直也就是两者不相关，所以当只考虑  $U_1$  方向的变化时，就完成了原来数据降维的目的。

实际上只要得出给定数据的协方差矩阵，就可以计算出相应的特征值以及特征向量。选择  $n$  个特征所对应的最大特征向量组成的矩阵，也就完成了矩阵的空间转换，就可完成给定数据的降维。计算特征值特征向量通常有 2 种方法：特征值分解（EVD）协方差矩阵、奇异值分解（SVD）协方差矩阵，所以 PCA 算法有 2 种实现方法：基于 EVD 分解协方差矩阵和基于 SVD 分解协方差矩阵实现 PCA 算法，本研究只介绍基于 EVD 分解协方差矩阵实现 PCA 算法。

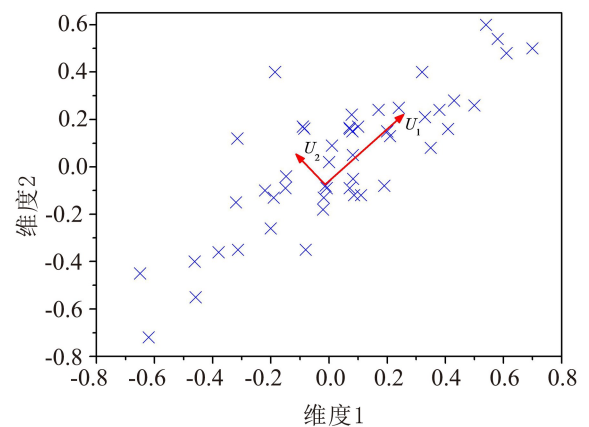


图 5 二维数据的分布模型

样本均值：

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N x_i \tag{4}$$

样本方差：

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \tag{5}$$

样本  $X$  和样本  $Y$  的协方差：

$$\begin{aligned} \text{Cov}(X,Y) &= E[(X - E(X))(Y - E(Y))] = \\ &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \end{aligned} \tag{6}$$

由公式（4）～（6）可以得出：只有同一特征不同样本的取值才能求出对应的方差；而只有具有二维及以上特征的数据才能计算协方差；换言之，协方差是一种普遍情况，而方差只是特殊情形。

基于特征值分解协方差矩阵实现 PCA 算法：

输入：数据集  $X = \{x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n\}$ ，需要降到  $k$  维。

- 1) 去平均值：样本各特征减去样本均值。
- 2) 计算协方差矩阵  $\frac{1}{n}XX^T$ 。
- 3) 用特征值分解方法求协方差矩阵  $\frac{1}{n}XX^T$  的特征值与特征向量。
- 4) 将特征值进行降序处理，找出里面最大的  $k$  个特征向量，作为特征向量矩阵  $P$  的行向量。
- 5) 将矩阵转换成  $k$  个特征向量构造的空间中，即  $Y = PX$ 。

依据优化 Kaya 恒等式，统计 2015—2021 年各种能源以及 GDP、人口相关数据进行 PCA 降维处理（见图 6），得到各影响因素相关系数矩阵（见表 2）。

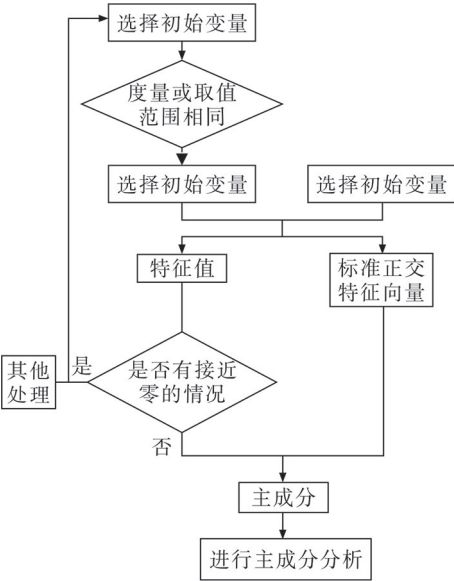


图 6 PCA 的 Python 程序核心流程图

经 PCA 降维后，得出第一种成分的累计贡献率达到 99.26%，满足作为主成分的条件，因此选取第一个成分作为主成分，并将主成分作为碳排放预测模型的输入层变量，由原来的 10 维因子减少为 1 维因子，消除影响因子间的相关性，缩减神经网络输入变量，提高神经网络计算速度，降低所建立的碳排放预测模型的规模。

（三）广义回归神经网络（GRNN）原理

GRNN 是一个前向传播的网络，不需要反向传播求模型参数<sup>[11]</sup>。它由 4 层构成，分别为输

入层、模式层、求和层和输出层。对应网络输入  $y_n]^T$  (见图 7)。  
 $X = [x_1, x_2, \cdots, x_n]^T$ ，其输出为  $Y = [y_1, y_2, \cdots,$

表 2 Kaya 恒等式各因素相关系数矩阵

因素	煤炭	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气	人口	GDP
煤炭	1	0.989	0.831	0.792	0.738	0.959	0.303	0.800	0.846	0.822
焦炭	0.989	1	0.867	0.832	0.782	0.943	0.393	0.835	0.879	0.855
原油	0.831	0.867	1	0.991	0.987	0.766	0.600	0.992	0.994	0.997
汽油	0.792	0.832	0.991	1	0.986	0.751	0.656	0.984	0.992	0.991
煤油	0.738	0.782	0.987	0.986	1	0.667	0.650	0.990	0.976	0.989
柴油	0.959	0.943	0.766	0.751	0.667	1	0.291	0.721	0.806	0.757
燃料油	0.303	0.393	0.600	0.656	0.650	0.291	1	0.602	0.594	0.595
天然气	0.800	0.835	0.992	0.984	0.990	0.721	0.602	1	0.985	0.997
人口	0.846	0.879	0.994	0.992	0.976	0.806	0.594	0.985	1	0.994
GDP	0.822	0.855	0.997	0.991	0.989	0.757	0.595	0.997	0.994	1

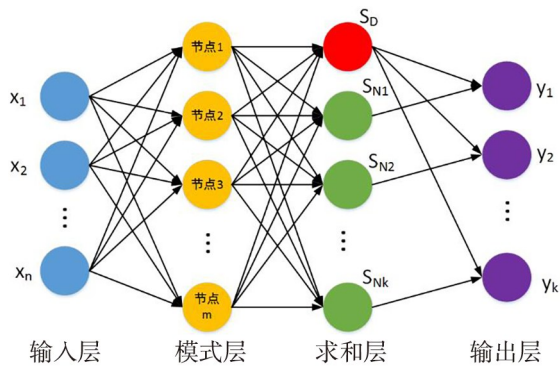


图 7 GRNN 原理图

1. 输入层。输入层神经元有着和样本向量相同的数量，学习样本的输入变量传递到模式层需要各神经元的传递。
2. 模式层。模式层神经元与学习样本有着相同的数目，各神经元与样本一一匹配，模式层神经元传递函数为：
$$p_i = \exp\left[-\frac{(X - X_i)^T(X - X_i)}{2\sigma^2}\right], i = 1, 2, \cdots, n$$
(7)
- 神经元  $i$  的输出为输入变量与其对应的样本  $X$

之间 Euclid 距离的平方  $D_i^2 = (X - X_i)^T(X - X_i)$  的指数形式。式中， $X$  为网络输入变量； $X_i$  为第  $i$  个神经元对应的学习样本。

3. 求和层。神经元计算公式为：
$$\sum_{i=1}^n \exp\left[-\frac{(X - X_i)^T(X - X_i)}{2\sigma^2}\right]$$
(8)

它对所有模式层神经元的输出进行算术求和，其模式层与各神经元的连接权值为 1，传递函数为：

$$S_D = \sum_{i=1}^n P_i$$

(9)

4. 输出层。输出层神经元数量与样本输出向量的维数  $k$  保持一致，各神经元除去上一层的结果，神经元  $j$  的输出对应估计结果第  $j$  个元素，即

$$y_j = \frac{S_{N_j}}{S_D}, j = 1, 2, \cdots, k$$

(10)

(四) 神经网络输出表达

假设 GRNN 中存在 2 个随机变量  $x$  和  $y$ ，可以得出这 2 个变量对应的联合概率密度函数为  $f(x, y)$ ，假定  $x$  的观测样本为  $X$ ，即条件均值为：

$$\bar{Y} = E(y|X) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} yf(X,y)dy}{\int_{-\infty}^{+\infty} f(X,y)dy} \tag{11}$$

如果概率密度函数 $f(x, y)$  还是未知状态, 就要通过 2 个变量的非参数估计求出:

$$\begin{aligned} \hat{f}(X,Y) &= \frac{1}{2\pi\left(\frac{p+1}{2}\right)\sigma^{p+1}} \times \\ &\sum_{i=1}^n \exp\left[-\frac{(X-X_i)^T(X-X_i)}{2\sigma^2}\right] \exp\left[-\frac{(Y-Y_i)}{2\sigma^2}\right] \end{aligned} \tag{12}$$

式 12 中,  $X_i$ 和  $Y_i$ 表示随机变量  $x$  和  $y$  的观测值;  $\sigma$  表示光滑因子;  $n$  表示样本数目;  $p$  表示随机变量  $x$  的维数。

根据式 (11)、式 (12) 可以得到:

$$\begin{aligned} \hat{f}(X,Y) &= \frac{1}{2\pi\left(\frac{p+1}{2}\right)\sigma^{p+1}} \times \\ &\sum_{i=1}^n \exp\left[-\frac{(X-X_i)^T(X-X_i)}{2\sigma^2}\right] \exp\left[-\frac{(Y-Y_i)}{2\sigma^2}\right] \end{aligned} \tag{13}$$

简化后可得:

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \exp\left[-\frac{(X-X_i)^T(X-X_i)}{2\sigma^2}\right]}{\sum_{i=1}^n \exp\left[-\frac{(X-X_i)^T(X-X_i)}{2\sigma^2}\right]} \tag{14}$$

式 14 即神经网络的最终输出表达式。通过公式可知光滑因子影响输出数据和训练样本的误差。因此, GRNN 的性能精度可以由光滑因子值决定, 选用不同的光滑因子取值得出不同的性能, 得到最优平滑因子就可以得到最佳性能。

五、结论与政策建议

(一) 结论

根据已知的 2005—2019 年我国碳排放数据, 用样本值相应的年份为编号, 作为模型的输入数据, 利用电脑演算出最佳光滑因子值为 0.387 4。展示了基于 PCA - GRNN 模型的预测步骤的示意图 (见图 8)。步骤 1 将调查数据与文献数据相结合; 步骤 2 为主要影响因素赋值并进行标准化和无量纲处理; 步骤 3 使用 PCA 处理曲线拟合

数据分析; 步骤 4 使用上述优化指标数据进行 GRNN 循环训练, 结合已知的调查数据来测试训练模型的预测结果, 并用最优平滑因子确定误差; 步骤 5 应用优化的 PCA - GRNN 模型来预测未来每年的碳排放量。和其他经典模型相比, 支持向量机 (SVM) 在高维空间具有优势, 但不能直接提供概率估计; 随机森林 (Random Forest) 虽然在处理高维度数据准确率较高, 但训练时所需的空间和时间很大; Lasso 回归 (Least absolute shrinkage and selection operator, 最小绝对收缩和选择算法) 限制模型正规化系数选择较困难, 可能导致模型欠拟合; LSTM (长短期记忆网络) 结构虽然改善了 RNN (循环神经网络) 中存在的长期依赖问题, 但在并行处理上存在劣势, 需要引入更多变体解决依赖问题。

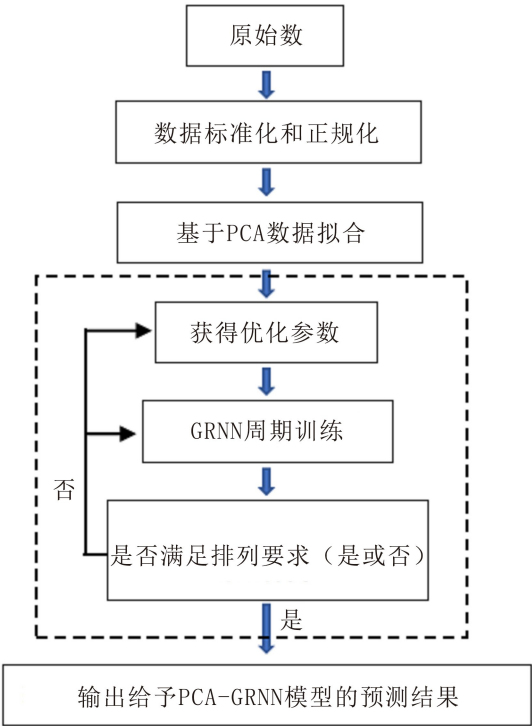


图 8 PCA - GRNN 模型处理流程图

从 2019—2022 年, 碳排放量还在继续增大, 但增长率较 2018 年逐渐减少, 这和真实的我国报道的数值相接近<sup>[10-12]</sup>, 说明了本研究建立的模型具有较好的实际应用性 (见图 9)。我们可以得到如下结论:

- 1. 未来我国持续减排, 煤炭能源结构占比逐



渐减少。煤炭在总排放量中的占比由 2016 年的 62% 减少到 2019 年的 60%，预计未来我国将继续推行减排，以减少煤炭在能源结构中的比例。

2. 2024—2028 年碳排放量持续上升，2028 年增速“由正变负”。根据预测，2024 年煤炭的排放量将达到峰值，这一年煤炭预测值占总排放量的 58.6%。根据预测碳消费的排放总量将在 2025 年突破 40 亿吨标准煤，这一年煤炭占比

57.4%。预计 2028 年碳排放总量达到峰值 40.9 亿吨标准煤，该年煤炭占比 53%，在峰值后碳排放总量开始呈下降趋势，增速开始。

3. 2030 年碳达峰目标提前完成，清洁能源取代煤炭。根据 CRNN 预测，我国在 2030 年前可以提前完成碳达峰的目标，煤炭在能源结构的基础地位也会逐渐被天然气以及清洁的非化石能源逐渐代替。

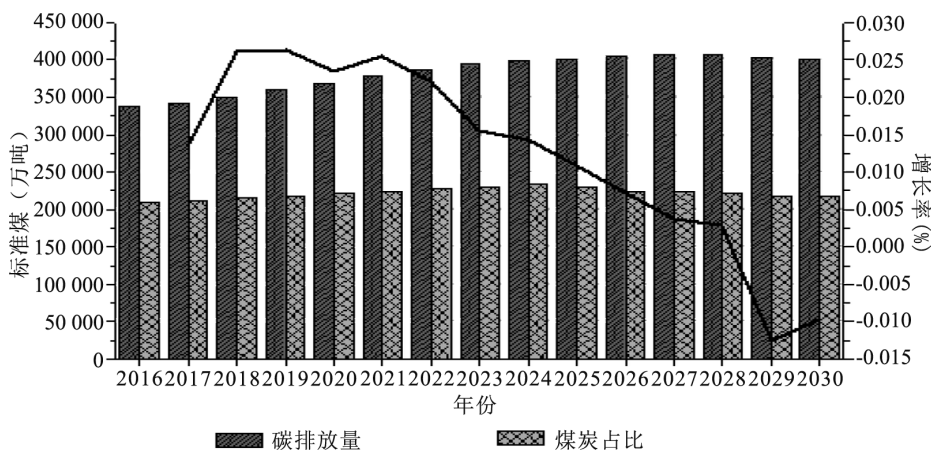


图 9 未来我国碳排放量预测

## (二) 政策建议

在“双碳”目标下，绿色发展已经成为社会共识，绿色生产、绿色生活方式为金融服务模式变革提供了经济社会基础。严格落实绿色低碳发展，不仅是中国高质量发展的内在要求，也是全球战略新格局对中国的严峻考验。2016 年 8 月，中国人民银行等七部委印发的《关于构建绿色金融体系的指导意见》将“绿色金融”定义为支持环境改善、应对气候变化和资源节约高效利用的经济活动，即对环保、节能、清洁能源、绿色交通、绿色建筑等领域的项目投融资、项目运营、风险管理等所提供的金融服务<sup>[13]</sup>。2016 年 9 月，《G20 绿色金融综合报告》将“绿色金融”定义为能够产生环境效益以支持可持续发展的投融资活动<sup>[14]</sup>。银保监会的数据显示，2021 年年末国内 21 家主要银行绿色信贷余额达 15.1 万亿元，同年 7 月全国碳市场上线交易正式启动。数据显示，截止 2022 年三季度末，“我国本外币绿色贷款余额已经超过 20 万亿元，同比增长超过 40%；其中，大概 2/3 的资金投向了具有直接和间接

碳减排效益项目”<sup>[12]</sup>。同期，国内绿色债券的存量规模共计 2.36 万亿元。绿色债券不但在规模上得到了快速的发展，其细分种类也变得越来越多样化，2021 年 2 月 8 日，全国首批 6 只“碳中和债”在银行债券市场成功发行，募集的资金全部用于碳减排效应的绿色项目。2020 年 7 月，国家绿色发展基金股份有限公司在上海市揭牌运营，首期募资规模 885 亿元，重点投资污染治理、生态修复和国土空间绿化、能源资源节约利用、绿色交通和清洁能源等领域。据统计，在 2021 年度中，与绿色投资有关的主题基金的发行数量达到了 50 只。可见，发展绿色金融已经成为中国一项重要的国家战略，也是金融业发展的必然趋势。为进一步利用中国碳排放预测推动我国金融政策绿色化改革，助推我国经济高质量发展，建议如下：

1. 继续完善绿色金融顶层设计，建立切实可行的激励机制。近年来，我国绿色金融顶层设计不断完善，与银行业有关的绿色金融标准体系建设也不断推进。2019 年底，中国人民

银行修订了《绿色贷款专项统计制度》，为完善绿色信贷认定标准与统计制度实施奠定基础；2020年12月，财政部发布《商业银行绩效评价办法》，将绿色信贷列入商业银行绩效考核之一，激励商业银行更加有效响应国家宏观政策；2021年4月，中国人民银行、国家发改委、证监会联合发布《绿色债券支持项目目录（2021年版）》，首次统一了绿色债券相关管理部门对绿色项目的界定标准；2021年6月，中国人民银行发布《银行业务金融机构绿色金融评价方案》，将绿色信贷、绿色债券正式纳入商业银行业务评价体系，并将评价结果纳入央行金融机构评级等人民银行政策和审慎管理工具中，鼓励人民银行分支机构、监管机构、各类市场参与者积极探索和依法依规拓展绿色金融评价结果的应用场景。虽然我国绿色金融标准体系发展迅速，但在环境保护方面与金融监管机构制定的相关法律法规并没有达到统一，对同一种绿色金融产品，不同部门发布的绿色金融标准对于绿色项目的认定口径和风险衡量存在差异；我国绿色金融标准与国际主流标准对绿色项目的认定同样存在不尽一致<sup>[14-15]</sup>。短期来看，绿色项目认定口径的不一致会对绿色金融的业务开展产生负面影响，导致在实际操作中出现对绿色项目甄别和信息披露的不确定性，增加监管难度；从长期来看，不利于绿色金融标准体系的外延与拓展，影响绿色投融资业务的国际化进程。

因此，建议我国建立政府指定负责机构牵头，由金融机构、环保部门以及其他相关机构和专家，研讨制定一个通用的绿色项目目录，所有支持绿色项目的金融产品都以此通用目录为标准，并随着实践推广和绿色金融市场的发展定期对其筛查、补充和更新。“双碳”目标下，我国政府应当在货币、信用、财政、产业等各方面进行布局，立足中国国情，通过政策联动机制引导社会资本进入绿色项目，出台具体的措施，对实现节能环保的低碳排放企业给予更多的信贷优惠政策、税收政策、利息减免等，将激励要素分散在信贷、财税、担保等业务的各个环节。加大对企业展开定向绿色融资，运用金融政策与金融工具持续开展帮扶低

碳科技研究和技术创新企业，优化其资源配置，针对实行低碳排放企业，采取经济补偿政策，鼓励企业从结构上实现低碳转型。对于持续高碳排名企业，则从融资条件上给予抑制，推动企业从高碳排放逐步向低碳排名转型。同时，应当尊重各环节利益方的经营目标，对于完成并加大绿色信贷指标的金融机构实施正向激励机制，以此调动各方积极性，实现对资金的优化配置，共同推动绿色金融服务的发展。

2. 扩大碳交易市场，加强对碳金融市场监管。国内碳能源产能逐步减少，新型高科技行业蒸蒸日上，人们追求更为低碳环保的生活方式，这些无形中都增加了碳排放的成本，倒逼行业实现“脱碳”任务<sup>[16]</sup>。实体企业的低碳发展趋势促使生产过程中的碳排放配额成为实际意义上的“第六大生产要素”。2021年7月全国碳排放权交易市场启动上线交易，1年多来，全国碳交易市场运行总体平稳有序。数据统计，截止2023年4月，全国碳市场碳排放配额累计成交超106亿元，大幅超过欧盟、韩国等国际碳市场<sup>[17]</sup>，促进我国企业减排及低碳转型效应初步显现。微观层面上，目前我国碳市场交易主体数量相对较少，覆盖行业不全，碳交易金融产品也相对单一，对于碳回购、碳远期等金融衍生品以及碳基金、碳质押、碳信托等碳资产管理产品由于缺乏顶层设计，其业务规模化与市场化都有待提高。在宏观层面上，碳排放权交易作为市场化工具，其法律上归属类别、会计处理制度以及相关配套政策法规、操作流程的统一标准，风险识别与衡量指标尚不明确。建议我国进一步深化全国碳交易市场发展，构建全国性与区域性碳交易市场，形成多层次市场结构互补，市场交易主体多样化、交易品种与交易模式多样化的碳交易市场体系，建议构建并完善多层次碳金融专项监督管理框架，通过设立碳金融监督管理委员会，在国务院金融稳定发展委员会的统筹下，协调证监会、国家金融监督总局，依照独立审慎原则、动态资本监管原则、风险预警原则以及碳金融自律规范，实现对碳金融及其衍生品进行专项监督管理。

3. 构建绿色供应链金融生态系统。制造

业是我国国民经济的主体,是促进我国经济高质量发展的关键。我国制造业发展迅猛,结合图1可知制造业在改善国民经济发展水平的同时,成为我国碳排放的主要供给端,带来了大量能源消耗和污染物排放。资源环境的严峻形势制约我国制造业可持续性发展。通过绿色融资优惠、技术改革等措施促进企业尤其是中小企业实现绿色转型,实现高质量发展。供应链金融是一种针对中小企业的新型融资模式。绿色供应链金融是绿色金融、供应链金融和绿色供应链的有机组合,金融机构对供应链中的中小企业与核心企业的交易关系、绿色绩效和信用级别进行评估,立体获取商流、物流、信息流、资金流,把单个中小企业的不可控风险转变为供应链企业整体可控风险,以此为企业提供资金,满足企业绿色环保生产的资金需求。绿色供应链金融生态系统指在实现绿色可持续发展目标下,供应链金融实施过程中,各供应链金融利益相关方、参与主体的角色和结构关系,结合宏观、政治以及技术环境的关系构建的共生关系。建议随着金融科技的发展,政府或监管部门牵头、政银企共同合作,运用物联网、区块链、大数据等技术手段搭建供应链网络信息服务平台,对接多类金融机构和监督、服务机构以及产业供应链中各企业端,共享数据信息,丰富融资渠道,将供应链生态圈中各方主体资源进行有效整合、优化,解决供应链中小企业在环保信息获取渠道相对狭窄,绿色技术研究资金、绿色转型资金方面的融资难、融资贵的问题。达到绿色供应链金融生态中各方主体互联互通、合作共赢。

因此,在“双碳”目标下,我国应建立高效绿色金融服务体系,使用多种有效金融工具,特别针对实现节能环保的低碳排放企业,给予更为丰富多样的金融优惠政策,开通企业绿色风险管理平台,提高金融部门服务绿色低碳经济的能力与成效,提升我国经济可持续发展水平。

#### [参考文献]

- [1] World resources institute[DB/OL]. (2023-10-25) [2023-11-30]. <https://wri.org.cn/data>.

- [2] 王中颖,彭可欣.绿色金融发展路径探究[J].华东科技,2022(7):45-47.
- [3] 杨颖.绿色金融对区域经济低碳转型的影响研究[D].兰州:兰州大学,2022.
- [4] 黄阳平,刘妍璇.产业结构调整中“结构负利”规避和经济高质量发展[J].东南学术,2020(5):117-125.
- [5] 张煜晖.“双碳”目标下中国绿色金融发展的困境与对策分析[J].现代商贸工业,2023,44(10):12-14.
- [6] 李云燕,张硕,张玉泽.绿色金融视角下中国省域碳排放的时空演变及减排研究[J].软科学,2023(1):1-15.
- [7] 中国能源统计年鉴各种能源折标准煤参考系数.(2020数据)[DB/OL].(2022-01-31)[2022-10-01].<https://wenku.baidu.com/view/897e4af450ea551810a6f524ccbff121dc36c50b.html>.
- [8] 国务院发展研究中心,资源与环境政策研究所,自然资源部油气资源战略研究中心.中国天然气发展报告(2021)[R].北京:石油工业出版社,2021.
- [9] 刁修睦.基于广义回归网络的传感器非线性校正[J].重庆工学院学报(自然科学版),2008(10):166-169.
- [10] 陈星星.中国碳排放权交易市场:成效、现实与策略[J].东南学术,2022(4):167-177.
- [11] 闫玉洁,施芊芸.国际贸易视角下的中国碳排放责任探究[J].品牌研究,2022(5):130-132.
- [12] 钱狄鑫,周轩宇.中国碳排放变化的因素分解与减排途径分析[J].能源与节能,2022(2):67-68.
- [13] 关于构建绿色金融体系的指导意见[DB/OL].(2022-11-02)[2022-11-30].<https://wenku.baidu.com/view/11d6d31651ea551810a6f524ccbff121dd36c5b0.html>.
- [14] 中国金融学会绿色金融专业委员会.中国绿色金融[DB/OL].(2016-09-05)[2022-10-01].[recef.cufe.edu.cn/Green\\_Finance\\_in\\_China\\_03.pdf](http://www.recef.cufe.edu.cn/Green_Finance_in_China_03.pdf).
- [15] 李冰倩.我国绿色金融发函探究[J].合作经济与科技,2022(2):70-71.
- [16] 马梅若.“碳”寻未来金融何为[N].金融时报,2023-03-31(5).
- [17] 中国碳排放权注册登记结算有限责任公司.2023年4月11日全国碳排放权交易市场清结算信息日报[EB/OL].(2023-04-11)[2023-10-01].<https://www.chinacrc.net.cn/view/2635.html>.

(下转第79页)



A Restudy of the Historical Materials of Novels in Local Chronicles  
of the Ming and Qing Dynasties:  
Taking Wanli Fuzhou Local Chronicles as an Example

LIN Guangzhao

( College of Chinese Language and Literature, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** Exploring the related situation of local chronicles novels can provide material support for the study of ancient literature. Among them, *Wanli Fuzhou Local Chronicles* is a typical one. In *Wanli Fuzhou Local Chronicles*, there are about 62 novels, which are found in the chronicles of *Yudizhi*, *Sidianzhi*, *Renwenzhi* and *Zashizhi*. Most of these novels come from literary notes, which are selected and edited according to the criteria of region, authenticity and morality. Local chronicles novels have unique values in history, literature and regional culture.

**Key words:** local chronicles novels; *Wanli Fuzhou Local Chronicles*; region; morality

(责任编辑 张永汀)

(上接第 58 页)

Predicting China’s Carbon Emissions and Its Impact on the  
Financial Policy Based on PCA-GRNN

SUN Qi

( Chengyi College, Jimei University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** The relationship between carbon emissions and finance is one of the important issues facing China at present. This article adopts the principle of generalized regression neural network (GRNN) to establish a principal component analysis (PCA) model to achieve future prediction of China’s carbon emissions based on the Energy Statistical Yearbook and the data from the National Bureau of Statistics. It is discovered: in the future, China will continue to reduce carbon emissions, and the proportion of coal energy structure will gradually decrease; carbon emissions continue to rise from year 2024 to 2028, and the growth rate in 2028 will change from positive to negative; the carbon peak target will be achieved ahead of 2030, and the clean energy will replace coal. In the face of this phenomenon, our country should track the “double carbon” goal and establish a green finance system, support the development and utilization of clean energy and further adjust the industrial structure, innovate financial institutions and policy, vector green financing to assist “energy conservation and emission reduction”. To promote the adjustment of the energy structure of the entire society, China’s finance should take the following approaches: firstly, continue to improve the top – level design of green finance and establish a practical incentive mechanism; secondly, expand the carbon trading market and strengthen regulation of the carbon finance market; thirdly, build a green supply chain financial ecosystem.

**Key words:** carbon emissions; PCA; GRNN; financing policy

(责任编辑 陈蒙腰)