

基于“金融-技术-能源”耦合协调度的长江经济带碳达峰路径研究

张甜, 徐小雅, 李翰芳*

湖北工业大学 理学院, 湖北 武汉 430068

DOI:10.61369/ASDS.2025050009

摘要 : 以长江经济带作为研究对象, 首先通过耦合协调度模型研究碳排放与金融、技术、能源各个系统的整体与内部关系, 考虑到 11 个省市的现有协调程度差异较大, 故根据耦合协调度利用 K-means 聚类对长江经济带进行了分类, 依据各类别现有的协调发展水平设定相对应的政策干预情景。随后将灰色预测模型和二元回归模型相结合作为碳排放的预测模型, 以此来预测在基准情景和政策干预两种情景下的长江经济带 11 个省市各自的碳达峰情况。实证结果表明: 从政策干预的效果来看, 相较于基准情景, 政策干预下的二氧化碳排放量均得到较好的控制。从达峰情况来看, 本文将 11 个省市的达峰情况分成了四类, 其中第四类(两种情景下均无法在 2035 年碳达峰)城市政府应该出台更加严格的绿色金融转型、技术改革和能源产业优化的政策。

关键词 : 碳达峰; 耦合协调度模型; 灰色预测模型; 情景分析

Research on the Carbon Peak Path of the Yangtze River Economic Belt Based on "Finance -Technology -Energy"

Zhang Tian, Xu Xiaoya, Li Hanfang*

Hubei University of Technology, School of Science, Wuhan, Hubei 430068

Abstract : This article takes the Yangtze River Economic Belt as the research object. Firstly, the coupling coordination degree model is used to study the overall and internal relationship between carbon emissions and various systems of finance, technology, and energy. Considering the significant differences in the existing coordination degree among 11 provinces and cities, K-means clustering is used to classify the Yangtze River Economic Belt based on the coupling coordination degree, and corresponding policy intervention scenarios are set according to the existing coordinated development level of each category. Subsequently, the grey prediction model and binary regression model were combined to form a carbon emission prediction model, in order to predict the carbon peak situation of the 11 provinces and cities in the Yangtze River Economic Belt under both baseline and policy intervention scenarios. The empirical results indicate that, in terms of the effectiveness of policy intervention, compared to the baseline scenario, the carbon dioxide emissions under policy intervention have been well controlled. From the peak situation, this article divides the peak situations of 11 provinces and cities into four categories. Among them, the fourth category (both scenarios cannot achieve carbon peak by 2035) requires city governments to introduce stricter policies for green finance transformation, technological reform, and energy industry optimization.

Keywords : carbon peak; coupling coordination model; grey prediction model; scenario analysis

引言

在“中国国家自主贡献”文件中, 中国宣布到 2030 年, 单位国内生产总值的二氧化碳排放量将比 2005 年下降 60%–65%, 非化石能源消费比重上升到 20% 左右^[1-2]。习近平总书记对长江经济带发展多次明确指出, 要把修复长江生态环境摆在压倒性位置, 在保护的前提下发展, 实现经济发展与资源环境相适应^[3]。

基金项目: 国家社科基金项目(24BTJ068); 湖北省教育厅人文社科一般项目(22Y059)。

作者简介:

张甜(2000-), 女, 湖北黄冈人, 硕士研究生, 研究方向: 应用统计。邮箱: 230365625@qq.com;

徐小雅(1998-), 女, 湖北宜昌人, 硕士研究生, 研究方向: 应用统计。

通讯作者: 李翰芳(1979-), 湖北麻城人, 博士, 讲师, 研究方向: 经济统计, 资源环境统计。邮箱: lifang05@sina.com。

针对碳达峰预测的研究方法主要使用情景分析法。余碧莹等（2021）^[4]根据不同情景分析得出全国碳排放量有望于2025年实现达峰，最晚于2030年达峰。张保留等（2021）^[5]从能源消费结构调整的角度，设定不同情景，分析农村居民生活的碳排放达峰路径，并提出助力达峰的对策建议。王雪同等（2025）^[6]运用 STIRPAT 扩展模型预测了中国制造业碳排放未来发展趋势。梁力军等（2025）^[7]采用岭回归方法优化参数估计，并构建7种多情景组合预测碳排放。杨青等（2025）^[8]设置低碳、基准和高碳3种情景方案，运用 CNN - LSTM - Attention 对交通运输业碳排放进行预测。

当前国内外学者对长江经济带碳排放与金融、技术、能源三者之间的问题研究较少。李庆（2020）^[9]表明长江经济带蕴藏着丰富的空间异质性。李在军（2022）^[10]针对长三角地区从经济增长与碳排放的时空关联进行了研究，表明长三角地区经济增长与碳排放具有正向关联，关联强度总体呈“V”型波动变化。邹秀清等（2025）^[11]采用 GTWR 模型全面揭示其影响因素。刘合林等（2025）^[12]基于 kaya 恒等式方法，设定3种情景对碳达峰进行预测。

一、长江经济带“金融 - 技术 - 能源”协调发展分析

（一）长江经济带碳排放核算

根据碳排放的测算方法计算出长江经济带11个省市2011-2020年的二氧化碳排放量，测算结果如表1.1所示。

表1.1 长江经济带11个省市2011-2020年二氧化碳排放量（万吨）

年份	上海	江苏	浙江	安徽	江西	湖北	湖南	重庆	四川	贵州	云南
2011	27781	77527	45569	34148	23670	41146	32755	17946	34904	25705	24755
2012	27389	79158	44210	35239	19209	41172	32265	17713	36347	28128	25707
2013	29051	81395	45474	38272	20697	35835	31382	15342	37329	29204	25436
2014	26455	80822	44953	39541	21081	36282	30471	16442	38653	28206	22872
2015	26564	83707	45584	39620	21970	34444	30349	14420	33106	28229	20711
2016	26471	87125	45243	39553	22260	34258	31037	14862	32553	29571	20486
2017	26968	86307	47384	40938	22729	35062	31338	15322	31964	29741	21761
2018	26550	85538	46476	42505	23759	36458	32037	15423	31171	27410	24186
2019	27406	87373	47477	42779	24267	38711	31947	15565	33463	28084	25297
2020	22169	77845	44123	37980	21263	29859	29979	15330	26292	26324	20488

（二）“金融 - 技术 - 能源”指标体系建立

本节旨在全面的了解长江经济带2011-2020年社会经济绿色发展历程与现状，进而系统地评价长江经济带的协调发展程度，因此采用层次分析法分别构建金融系统（表1.2）、技术系统（表1.3）和能源系统（表1.4）的协调度评价指标体系。

表1.2 金融系统评价指标体系表

目标层	准则层	方案层	指标属性	
金融	绿色信贷	高耗能产业利息支出占比 (X_1)	-	
	绿色证券	高耗能产业市值占比 (X_2)	-	
	绿色保险	农业保险保费收入占比 (X_3)	-	
	绿色投资	节能环保公共支出占比 (X_4)		-
		农林水事务公共支出占比 (X_5)		+
		环保投资占比 (X_6)		-
	碳金融	碳排放贷款强度 (X_7)	+	
	数字金融	覆盖广度 (X_8)		+
		使用深度 (X_9)		+
		数字支持服务程度 (X_{10})		+

金融系统可以分为绿色金融和数字金融两个部分，其中绿色金融由绿色信贷、绿色证券、绿色保险、绿色投资和碳金融构成。

表1.3 技术系统评价指标体系表

目标层	准则层	方案层	指标属性
技术	技术研发投入	研究与试验发展 (R&D) 人员全时当量 (Y_1)	+

技术	技术研发投入	研究与试验发展 (R&D) 经费内部支出 (Y_2)	+
		有 R&D 活动单位数 (Y_3)	+
		科学技术财政支出 / 地方财政一般预算支出 (Y_4)	+
		新产品开发经费支出 / 地方财政一般预算支出 (Y_5)	+
		教育支出财政支出 / 地方财政一般预算支出 (Y_6)	+
		规上工业企业引进技术经费支出 (Y_7)	-
		规上工业企业购买境内技术经费支出 (Y_8)	-
		规上工业企业技术改造经费支出 (Y_9)	+
		国外技术引进合同金额 (Y_{10})	-
		外商直接投资实到金额 (Y_{11})	+
		技术研发产出	专利申请授权量 (Y_{12})
	技术市场成交额占 gdp (Y_{13})		+
	技术研发环境	高新技术企业利润总额 / 工业利润总额 (Y_{14})	+
		高新技术企业营业收入 / 工业营业收入 (Y_{15})	-
		每十万人高等学校平均在校生数 (Y_{16})	+
		高等院校校数 (Y_{17})	+
		授予学位数 (Y_{18})	+

技术系统由技术研发投入、技术研发产出和技术研发环境三个方面来衡量。

表 1.4 能源系统评价指标体系表

目标层	准则层	方案层	指标属性
能源	能源总量	人均能源生产总量 (Z_1)	-
		人均能源消费总量 / 标准煤 (Z_2)	+
		人均液化石油气用量 (Z_3)	+
		人均天然气用量 (Z_4)	+
		能源工业投资 (Z_5)	+
	能源结构	一次清洁能源产量占比 (Z_6)	+
		水电发电量占比 (Z_7)	+
		原煤生产量占比 (Z_8)	-
		化石燃料生产占比 (Z_9)	-
		煤炭消费量占比 (Z_{10})	-
		化石燃料消耗占比 (Z_{11})	-
		电力消费占比 (Z_{12})	+
		热力消费占比 (Z_{13})	+
	能源速度	能源生产弹性系数 (Z_{14})	+
		电力生产弹性系数 (Z_{15})	+
		能源消费弹性系数 (Z_{16})	-
		电力消费弹性系数 (Z_{17})	+
	能源效率	单位 GDP 能耗 (Z_{18})	-
		工业增加值碳排放强度 (Z_{19})	-
	社会环境	人均公园绿地面积 (Z_{20})	+
		建成区绿化覆盖率 (Z_{21})	+

能源系统从能源总量、能源结构、能源速度、能源效率和社会环境5个方面来评价。

(三) “金融 - 技术 - 能源” 综合发展水平

本文采用主成分分析法计算系统内各指标的权重。由于原始数据样本指标中存在不同维度的计量单位, 需要先对原数据指标采用极差法进行标准化处理以消除样本量纲对模型计算结果的影响, 获得合理、正确的计算结果。然后使用 R 软件对金融系统、技术系统、能源系统分别进行主成分分析计算系统指标权重, 结果如表 1.5 所示。

表 1.5 金融系统方差解释表

成份	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差百分比 %	累积 %	合计	方差百分比 %	累积 %
1	4.51	45.103	45.103	4.51	45.103	45.103
2	1.968	19.684	64.787	1.968	19.684	64.787
3	1.061	10.609	75.395	1.061	10.609	75.395
4	0.824	8.242	83.638			
5	0.623	6.227	89.865			
6	0.488	4.882	94.747			
7	0.24	2.401	97.148			
8	0.172	1.724	98.873			
9	0.086	0.861	99.734			
10	0.027	0.266	100			

由表 1.5 知, 其中 3 个成分的特征值大于 1 且累积贡献率达到 75.395%, 这说明这 3 个成分能够大致解释经济子系统中的所有信息, 其特征值分别为 4.51、1.968、1.061。根据计算结果绘制了 2011-2020 年长江经济带金融、技术、能源综合得分的时间演变图 (如图 1.1 所示)。

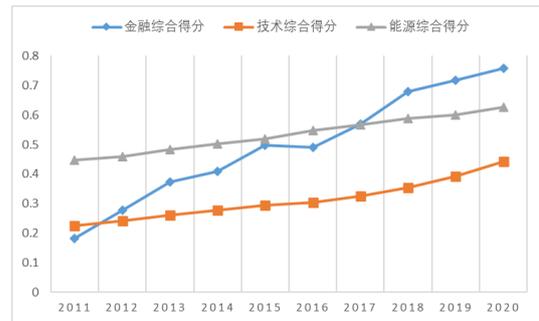


图 1.1 2011-2020 年长江经济带金融、技术、能源综合得分时间演变图

长江经济带整体的金融、技术和能源的综合得分均呈上升趋势, 且趋势较为明显。在研究的初始时期, 三项指标的排序为能源 > 技术 > 金融, 而在研究的末期, 三项指标的排序为金融 > 能源 > 技术, 金融、技术和能源系统综合发展呈趋近的状态。

(四) “金融 - 技术 - 能源 - 碳排放” 系统内部耦合协调度

对 2011-2020 年的碳排放子系统与金融子系统、技术子系统和能源子系统分别进行耦合协调度计算, 结果如下表 1.6 所示:

表 1.6 2011-2020 年长江经济带 11 个省市系统内部耦合协调度结果

	年份	上海	江苏	浙江	安徽	江西	湖北	湖南	重庆	四川	贵州	云南
碳排放 - 金融	2011	0.6126	0.6750	0.6782	0.6700	0.6659	0.6624	0.7135	0.6856	0.7099	0.4860	0.6425
	2012	0.6823	0.7268	0.7482	0.7253	0.7426	0.7270	0.7638	0.7442	0.7512	0.5413	0.7022
	2013	0.7259	0.7587	0.7841	0.7656	0.7955	0.7887	0.8098	0.8046	0.7872	0.6128	0.7537
	2014	0.7687	0.7683	0.7959	0.7858	0.8068	0.7936	0.8170	0.7943	0.7944	0.6709	0.7854
	2015	0.7852	0.7919	0.8171	0.8066	0.8355	0.8322	0.8495	0.8459	0.8390	0.7149	0.8208
	2016	0.7758	0.7906	0.8237	0.8346	0.8424	0.8475	0.8498	0.8457	0.8419	0.7286	0.8256
	2017	0.7946	0.8058	0.8310	0.8243	0.8571	0.8519	0.8647	0.8622	0.8588	0.7456	0.8196
	2018	0.7979	0.8073	0.8366	0.8404	0.8605	0.8458	0.8555	0.8475	0.8503	0.7726	0.8243
	2019	0.8125	0.8165	0.8454	0.8651	0.8691	0.8536	0.8667	0.8548	0.8565	0.7848	0.8402
	2020	0.8396	0.8412	0.8596	0.8684	0.8837	0.8680	0.8761	0.8657	0.8667	0.8136	0.8637

碳排放-技术	2011	0.8178	0.8325	0.9036	0.6692	0.8654	0.8263	0.8905	0.8698	0.9062	0.5461	0.8562
	2012	0.8284	0.8322	0.8749	0.7449	0.8998	0.8455	0.8830	0.8390	0.9394	0.6187	0.8682
	2013	0.8490	0.8282	0.8163	0.8025	0.9131	0.8564	0.8823	0.9094	0.9390	0.6590	0.8504
	2014	0.8755	0.8546	0.8775	0.7984	0.9401	0.8611	0.8950	0.9280	0.8987	0.7081	0.8116
	2015	0.8371	0.8620	0.8998	0.8016	0.9386	0.8749	0.9149	0.9514	0.8470	0.7402	0.8793
	2016	0.7708	0.8726	0.9151	0.8203	0.8922	0.8938	0.9399	0.9352	0.9042	0.7565	0.9095
	2017	0.8216	0.8261	0.8945	0.8221	0.8203	0.9217	0.9450	0.9401	0.9378	0.7777	0.9181
	2018	0.8588	0.7334	0.9027	0.8399	0.8797	0.9245	0.8828	0.9427	0.9502	0.8323	0.8951
	2019	0.8638	0.7831	0.9028	0.8851	0.9085	0.8621	0.8045	0.9443	0.9319	0.8385	0.8971
	2020	0.8809	0.8616	0.9247	0.8922	0.9321	0.7764	0.8585	0.9758	0.9464	0.8137	0.9230
碳排放-能源	2011	0.7032	0.7335	0.7443	0.7286	0.7871	0.7474	0.7791	0.7713	0.8030	0.4646	0.7091
	2012	0.7056	0.7369	0.7546	0.7367	0.8127	0.7664	0.7893	0.7929	0.8083	0.5149	0.7326
	2013	0.7127	0.7412	0.7661	0.7350	0.8195	0.7960	0.7953	0.8204	0.8178	0.5568	0.7533
	2014	0.7242	0.7481	0.7725	0.7368	0.8156	0.8047	0.8149	0.8210	0.8280	0.6172	0.7939
	2015	0.7406	0.7496	0.7853	0.7393	0.8184	0.8137	0.8233	0.8333	0.8442	0.6485	0.7965
	2016	0.7502	0.7550	0.8040	0.7583	0.8251	0.8272	0.8327	0.8365	0.8576	0.6608	0.8085
	2017	0.7497	0.7660	0.8056	0.7646	0.8278	0.8351	0.8360	0.8347	0.8662	0.6821	0.8179
	2018	0.7428	0.7713	0.8194	0.7681	0.8299	0.8369	0.8375	0.8454	0.8778	0.7259	0.8215
	2019	0.7382	0.7699	0.8289	0.7765	0.8345	0.8359	0.8494	0.8417	0.8804	0.7403	0.8327
	2020	0.7870	0.7981	0.8522	0.7877	0.8485	0.8570	0.8602	0.8530	0.9043	0.7697	0.8637

二、碳排放协调发展聚类分析

在碳达峰的目标下，若长江经济带碳减排工作想要顺利开展，需要对各个省市实施对应的减排政策，故本文根据聚类分析来分析长江经济带11个省市碳排放的协调发展情况，并划分为了四类，其结果如图2.1和表2.1所示：

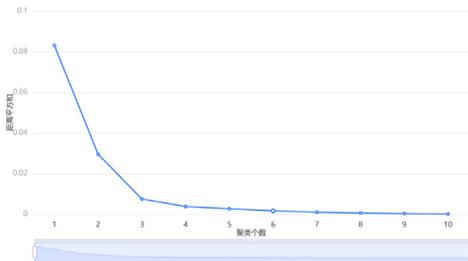


图2.1 长江经济带11个省市协调度聚类数对比图（肘部法则）

表2.1 聚类中心坐标点

聚类种类	中心值_碳排放-金融	中心值_碳排放-技术	中心值_碳排放-能源
1	0.81829	0.908073	0.829371
2	0.778768	0.825535	0.74852
3	0.687099	0.729091	0.638089
4	0.798952	0.878776	0.799432

根据方差分析的结果（表2.2）显示，“碳排放-金融”、“碳排放-技术”和“碳排放-能源”的P值均为0，在1%的显著性水平上显著，说明“碳排放-金融”、“碳排放-技术”和“碳排放-能源”在聚类分析划分的类别之间存在显著性差异。

表2.2 聚类结果差异性分析表

	聚类类别（平均值 ± 标准差）				F	P
	类别 1(n=4)	类别 2(n=3)	类别 4(n=3)	类别 3(n=1)		
碳排放-金融	0.818 ± 0.006	0.779 ± 0.02	0.799 ± 0.01	0.687 ± nan	31.799	0.000***
碳排放-技术	0.908 ± 0.016	0.826 ± 0.017	0.879 ± 0.014	0.729 ± nan	41.88	0.000***
碳排放-能源	0.829 ± 0.013	0.749 ± 0.012	0.799 ± 0.011	0.638 ± nan	78.372	0.000***

根据聚类中心坐标点和各类省市的共性特征分为四类，如表2.3所示。第一类概括为“高度协调型”，包含江西、湖南、重庆和四川；第二类概括为“协调潜力型”，包含上海、江苏和安徽；

第三类概括为“中度协调型”，包含浙江、湖北和云南；第四类概括为“协调攻坚型”，包含贵州。

表2.3 长江经济带11个省市聚类结果

类别 / 个数	类别名称	所含省市
第一类 / 4个	高度协调型	江西、湖南、重庆和、四川
第二类 / 3个	协调潜力型	上海、江苏、安徽
第三类 / 3个	中度协调型	浙江、湖北、云南
第四类 / 1个	协调攻坚型	贵州

三、碳排放政策干预路径设置

为了直观的展示长江经济带碳减排工作的工作重心，本文根据四类省市的类别特征，对四类省市的金融、技术和能源发展做了情景设定，如表3.1所示。如：“高度协调型”省市的“碳排放-金融”、“碳排放-技术”和“碳排放-能源”分别处于高度协调阶段、优质协调阶段和高度协调阶段。

表3.1 金融、技术、能源发展速度设定表

省市类别	金融	技术	能源
高度协调型	高速	基准	高速
协调潜力型	中速	高速	中速
中度协调型	高速	基准	中速
协调攻坚型	低速	中速	低速

根据各系统的发展速度，本文定义了金融系统、技术系统、能源系统的发展权重，如表3.2所示。将基准情景的权重设定为1，此后每提升一档权重增加0.5。

表3.2 系统发展权重表

发展速度	基准	低速	中速	高速
权重	1	1.5	2	2.5

四、碳达峰路径预测分析

(一) 碳排放预测模型构建

基于探究长江经济带11个省市金融系统、技术系统和能源系统的发展水平对未来二氧化碳排放量的影响，故本文采用二次回归模型对未来二氧化碳排放量进行预测。模型如下所示：

$$CO_{2it} = a_i + b_i U_{it} + c_i U_{it}^2 + \varepsilon_{it}$$

其中

$$U_{it} = \alpha_i T_{Ait} + \beta_i T_{Bit} + \gamma_i T_{Cit}$$

式中： CO_2 为二氧化碳排放量（万吨）；U为金融系统、技术系统的能源系统综合发展水平； i 代表省市， t 代表年份； a_i 、 b_i 、 c_i 分别为对应变量的回归系数； ε_{it} 为随机误差； T_A 、 T_B 、 T_C 为金融系统、技术系统、能源系统的发展水平； α_i 、 β_i 、 γ_i 分别为金融系统、技术系统、能源系统的设定发展权重。其中金融系统、技术系统、能源系统的发展水平采用灰色预测模型GM(1, 1)进行预测。

(二) 碳排放预测可行性分析

本节以重庆为例详细说明基于构建的预测模型对碳排放进行预测的可行性。首先根据系统发展权重表，按照基准情形，计算出重庆2011-2020年金融系统、技术系统的能源系统综合发展水平U，同时为了消除二氧化碳排放量的异质性，对其进行了对数处理，得到如下结果：

$$CO_2 = 9.912 + 0.649U - 0.146U^2$$

表4.1 回归结果

ANOVA					
	平方和	df	均方	F	Sig.
回归	0.037	2	0.019	14.201	0.003
残差	0.009	7	0.001		
总计	0.046	9			
模型汇总					
R	R 方	调整 R 方	估计值的标误		
0.896	0.802	0.746	0.036		
自变量为 U。					

根据表4.1的结果显示，回归方程的拟合优度为0.802，表明该模型对二氧化碳排放量的变化有较强的解释力度。将重庆2011-2020年的综合发展水平U的数据代入模型，得到模型的拟合值，模拟结果如表4.2所示。从表中可以看出大部分年份的误差率（误差值与真实值之比）的绝对值在3%以内，个别年份的误差率绝对值为5%左右，整体误差率在合理的范围内，确保了该预测模型的准确性。

表4.2 2011-2020年重庆碳排放实际值与模拟值对比

年份	真实值	模拟值	误差值	误差率
2011	17945.75	17630.6	-315.149	-1.76%
2012	17713.05	17998.45	285.401	1.61%
2013	15341.73	15775.18	433.4537	2.83%
2014	16441.9	15524.55	-917.349	-5.58%
2015	14420.45	15206.4	785.9495	5.45%
2016	14862.15	15343.25	481.1007	3.24%
2017	15321.75	15218.7	-103.049	-0.67%
2018	15422.78	15237.81	-184.969	-1.19%
2019	15565.27	15251.2	-314.06	-2.01%
2020	15330	15167.35	-162.646	-1.06%

(三) 长江经济带11个省市碳达峰路径预测结果分析

基于政策干预情景的参数设定，本文计算出了2021-2035年长江经济带11个省市在基准情景和政策干预情景下金融系统、技术系统的能源系统综合发展水平U。然后通过碳排放预测模型预测了2021-2035年长江经济带11个省市各自在基准情景和政策干预情景下的二氧化碳排放量，预测结果按长江经济下游地区（图4.1）、中游地区（图4.2）、上游地区（图4.3）分别展示如下：

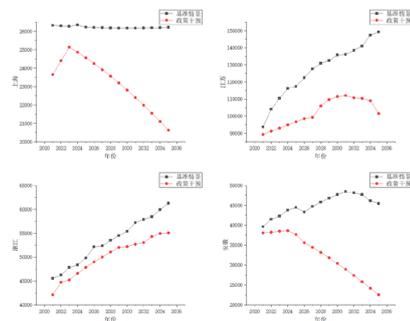


图4.1 2021-2035年长江经济带下游地区在不同情景下的碳排放预测结果

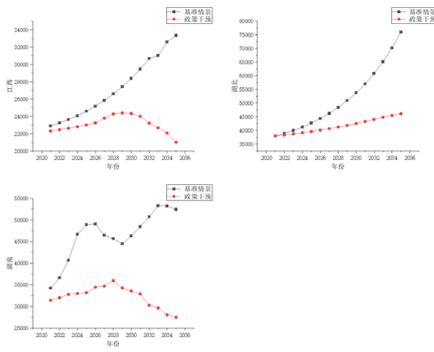


图 4.2 2021-2035 年长江经济带中游地区在不同情景下的碳排放预测结果

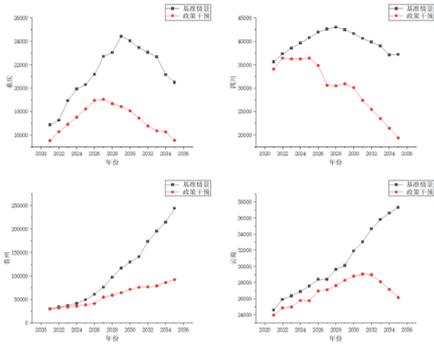


图 4.3 2021-2035 年长江经济带上游地区在不同情景下的碳排放预测结果

从政策干预的效果来看，可以发现相较于基准情景，政策干预下的二氧化碳排放量均得到较好的控制。从达峰情况来看，本文将 11 个省市的达峰情况分成了四类：

1. 在两种情景下均能在 2030 年碳达峰的省市：上海、四川、重庆。

上海在基准情景下二氧化碳排放量的变化幅度很小，在 2024 年出现了峰值；而在政策干预的情景下，达到峰值的年限提前了 1 年。四川在基准情景下在 2028 年二氧化碳排放量达到峰值 42971 万吨，而通过政策干预二氧化碳达峰的年份得到了提前，在 2026 年就达到了峰值。重庆在基准情景下到 2029 年可以实现碳达峰，峰值为 24412 万吨；在政策干预情景下，碳达峰的年份提前了两年，且峰值也有所降低，为 19046 万吨。

2. 仅在政策干预情景下能在 2030 年碳达峰的省市：安徽、湖南、江西。

安徽在基准情景下二氧化碳排放量先上升后下降，能在 2031 年实现碳达峰。而在政策干预的情景下，安徽能提前在 2024 年实现碳达峰。湖南在基准情景下到 2026 年出现了峰值，但是后

来先下降后增长，2033 年再次达到新高峰。从政策干预情景可以看出，若是提升金融和能源水平，湖南将在 2028 年实现碳达峰。江西在基准情景下二氧化碳排放量呈上升趋势，在 2021-2035 年期间未出现峰值。通过政策干预，二氧化碳排放量的增长能够放缓，且在 2029 年二氧化碳排放量达到峰值。

3. 两种情景下均无法在 2030 年碳达峰的省市，但在 2035 年能达峰的省市：江苏、云南。

江苏在基准情景下二氧化碳排放量呈不断上升的趋势，说明若是按照现有水平继续发展，无法实现碳达峰。但是在政策干预的情景下，二氧化碳排放量在 2031 年出现了峰值。云南在基准情景下二氧化碳排放量呈现不断上涨的趋势，虽然后几年有放缓的趋势，但是在预测期内未能出现峰值。而在政策干预情景下，二氧化碳排放量先升后降，在 2031 年出现了峰值，达到了 29049 万吨。

4. 两种情景下均无法在 2035 年碳达峰省市：浙江、湖北、贵州。

浙江在基准情景下二氧化碳排放量为缓慢上升的趋势，但无法实现 2030 年碳达峰的目标，而在给予政策干预下到 2035 年碳排放虽然稍有下降，却仍未能实现碳达峰。湖北在基准情景下二氧化碳排放量不断上升，在预测期内未能出现峰值。在政策干预的情景下，仍然未出现峰值，但是从后三年增长幅度明显放缓。贵州在基准情景和政策干预两种情景下均无法实现碳达峰。在基准情景下，二氧化碳排放量上涨，未出现放缓的趋势。

五、结论

通过系统的研究，本文最终得出如下结论：

基于耦合协调度利用 K-means 聚类将长江经济带 11 个省市分为了四类，根据各类别特征设定了相应的政策干预情景。利用碳排放预测回归模型分别预测了长江经济带 11 个省市 2021-2035 年在基准情景和政策干预两种情景下碳排放的发展趋势。从政策干预的效果来看，可以发现相较于基准情景，政策干预下的二氧化碳排放量均得到较好的控制。

从达峰情况来看，本文将 11 个省市的达峰情况分成了四类：在两种情景下均能在 2030 年碳达峰、仅在政策干预情景下能在 2030 年碳达峰、两种情景下均无法在 2030 年碳达峰，但在 2035 年能达峰和两种情景下均无法在 2035 年碳达峰。针对第四类省市特别是贵州，政府应该出台更加严格的绿色金融转型、技术改革和能源产业优化的政策，力争实现碳达峰的目标，实现高质量协同发展。

参考文献

[1] International Energy Agency (IEA). Energy Balance flows and the 2006 IPCC Guidelines.
 [2] 中华人民共和国国务院. 强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献 [EB/OL].
 [3] 李培林. 2018 年中国社会形势分析与预测 [N]. 中国社会科学院院报, 2018-01-22(001).
 [4] 余碧莹, 赵光普, 安润颖等. 碳中和目标下中国碳排放路径研究 [J]. 北京理工大学学报 (社会科学版), 2021(2): 17-24.
 [5] 张保留, 吕连宏, 吴静等. 农村居民生活碳达峰路径及对策 [J]. 环境科学研究, 2021(5): 1-14.
 [6] 王雪同, 鲁根涛, 姚宏, 等. 中国制造业碳排放影响因素分析及碳达峰预测研究 [J]. 生态经济, 2025, 41(06): 34-40+53.
 [7] 梁力军, 马梦泽, 冯江林. 基于 STIRPAT 模型的山地城市碳达峰预测与实证: 以重庆市数据为例 [J/OL]. 环境科学, 1-14.
 [8] 杨青, 江宇航, 吴婵媛, 等. 基于 CNN-LSTM-Attention 的中国省域交通运输业碳达峰预测研究 [J/OL]. 安全与环境学报, 1-12.
 [9] 王诚, 王晓娟. 长江经济带碳排放效率: 测度与分析 [J]. 统计与决策, 2022, 38(17): 82-85.
 [10] 李在军, 尹上岗, 姜友雪等. 长三角经济增长与碳排放异速关系及形成机制 [J]. 自然资源学报, 2022, 37(06): 1507-1523.
 [11] 邹秀清, 杨林茵, 孙学成, 等. 长三角城市群碳达峰水平测度、时空演变及影响因素研究 [J/OL]. 软科学, 1-14.
 [12] 刘合林, 徐颖, 唐永伟, 等. 长江经济带省级行政单元碳达峰的多情景预测 [J]. 长江流域资源与环境, 2025, 34(03): 467-478.