碳达峰对财政收入的影响

欧阳琴，张颖*

北京林业大学经济管理学院　北京

【摘要】减少温室气体排放以应对气候变化已成为全球共识，碳达峰的实现必将要求降碳减排，从而催生一大批绿色低碳循环新兴产业，形成新的经济增长点，因此有必要研究碳排放达峰与经济间的联系。本文选取具有代表性意义的亚太经合组织成员国的历史数据作为实证数据，结合 EKC 曲线（Environmental Kuznets Curve）和 Tapio 模型的先验理论作为模型构建的理论基础，构建 STIRPAT 模型（Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology）分析碳达峰驱动因素，并采用多元线性回归、因子分析和结构方程模型等方法，探究碳达峰对财政收入的影响。研究结果表明，能源消费因子、经济结构因子和能源强度因子对财政收入具有显著正向影响，路径系数分别为 0.875、0.833 和 0.790。基于熵权法和对比分析，初步预测我国财政收入在碳达峰背景下将呈稳健上升趋势。最后，结合我国现状提出政策建议。

【关键词】EKC 曲线；Tapio 模型；逐步回归；结构方程模型；熵权法；对比分析

【基金项目】华南植物资源研发中心技术推广平台科技创新专项-城市森林生物多样性提升技术研究与示范应用项目

【收稿日期】2026 年 5 月 20 日 【出刊日期】2026 年 6 月 25 日 【DOI】10.12208/j.aee.20260005

The impact of carbon peak on fiscal revenue

*Qin Ouyang, Ying Zhang**

School of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing

【**Abstract**】Reducing greenhouse gas emissions to address climate change has become a global consensus. The achievement of carbon peak will inevitably require carbon reduction, thereby giving rise to a large number of green, low-carbon, and circular emerging industries and forming new economic growth points. Therefore, it is necessary to study the relationship between carbon peak and the economy. This paper selects historical data from representative member countries of the Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC) as empirical data. Based on the prior theories of the Environmental Kuznets Curve (EKC) and the Tapio model as the theoretical foundation for model construction, the STIRPAT model is constructed to analyze the driving factors of carbon peak. Methods such as multiple linear regression, factor analysis, and structural equation modeling are employed to investigate the impact of carbon peak on fiscal revenue. The research results indicate that energy consumption factor, economic structure factor, and energy intensity factor have significant positive effects on fiscal revenue, with path coefficients of 0.875, 0.833, and 0.790, respectively. Based on the entropy weight method and comparative analysis, it is preliminarily predicted that China's fiscal revenue will show a steady upward trend under the carbon peak background. Finally, policy recommendations are proposed considering China's current situation.

【**Keywords**】EKC curve; Tapio model; Stepwise regression; Structural equation model; Entropy weight method; Comparative analysis

作者简介：欧阳琴，女，硕士研究生，主要研究方向：资源环境统计；

*通讯作者：张颖，博士，教授，主要研究方向：资源、生态环境价值评价与核算，区域经济学

1 引言

气候变化是人类面临的全球性问题。经历了 150 多年的工业化发展、大规模砍伐森林以及规模化农业生产之后，大气中的温室气体的含量增长到了 300 万年以来前所未有的水平，随着人口的增长、经济的发展和人类生活水平的提高，人类活动所造成的温室气体排放总量也不断增加，对生命系统形成重大威胁。

碳达峰是指某个地区或行业年度二氧化碳排放量达到历史最高值，然后经历平台期进入持续下降的过程，是二氧化碳排放量由增转降的历史拐点，标志着碳排放与经济发展实现脱钩，达峰目标包括达峰年份和峰值。在这一背景下，世界各国以全球协约的方式减排温室气体，中国由此提出碳达峰和碳中和目标，并于 2021 年发布《2030 年前碳达峰行动方案》。碳达峰的实现可以在一定程度上加快降低碳排放步伐，有利于引导绿色技术创新，提高产业和经济的全球竞争力。对于中国持续推进产业结构和能源结构调整，大力发展可再生能源，在沙漠、戈壁、荒漠地区加快规划建设大型风电光伏基地项目，努力兼顾经济发展和绿色转型同步进行有重大意义。

根据给定的现有评价标准和数据，基于上述背景和数据建立数学模型解决以下问题：

（1）从定性与定量角度探究碳达峰与财政收入之间的关系，并论证碳达峰对财政收入带来的影响。

（2）从理论与实证角度为切入点，分析和度量碳排放达峰对财政收入影响关系、影响程度。

（3）从碳达峰背景下，预测 2022 年-2030 年我国财政收入变化，根据现有的各种指标对碳达峰政策提出建议。

2 问题分析及模型假设

2.1 问题分析

2.1.1 碳达峰与财政收入关系分析

全球气候变化已经成为人类发展的最大挑战之一，减少温室气体排放以应对气候变化已成为全球共识。由于当前已经达到碳排放峰值的国家明显低于三分之一，碳达峰的要求在我国流行的时间较短，因此对搜集碳达峰的相关数据有局限性，为了更加准确探究碳达峰与财政收入之间的关系，可结合具有代表性国家对碳排放达峰的路径经验。结合 Tapio 模型和环境曲线作为本文研究的理论基础，选取亚太经合组织成员国往年的相关数据，多元线性回归模型，论证碳达峰是否对财政收入有影响。

2.1.2 碳达峰对财政收入影响程度

通过问题一的模型构建，可得出碳排放达峰对财政收入有一定的影响，为了进一步分析和度量碳排放达峰对财政收入影响关系、影响程度，先要根据理论分析和已实证的数据结果设定初始理论模型，建立碳达峰对财政收入影响的结构方程模型，通过路径分析观测变量间的相互影响关系，结构方程模型可较好地研究多变量之间的相互关系。

2.1.3 碳达峰目标下中国财政收入变化

根据问题一与问题二的相关研究结果，为及时实现碳达峰，基于问题一、二中构建的碳达峰和财政收入关系、模型设计的具有动态监测功能的配置方案，并结合《2030 年前碳达峰行动方案》提案建议，分析从“十四五”之初至实现碳达峰目标下的财政收入变化情况，并给出优化对策建议。

2.1.4 问题解答流程图

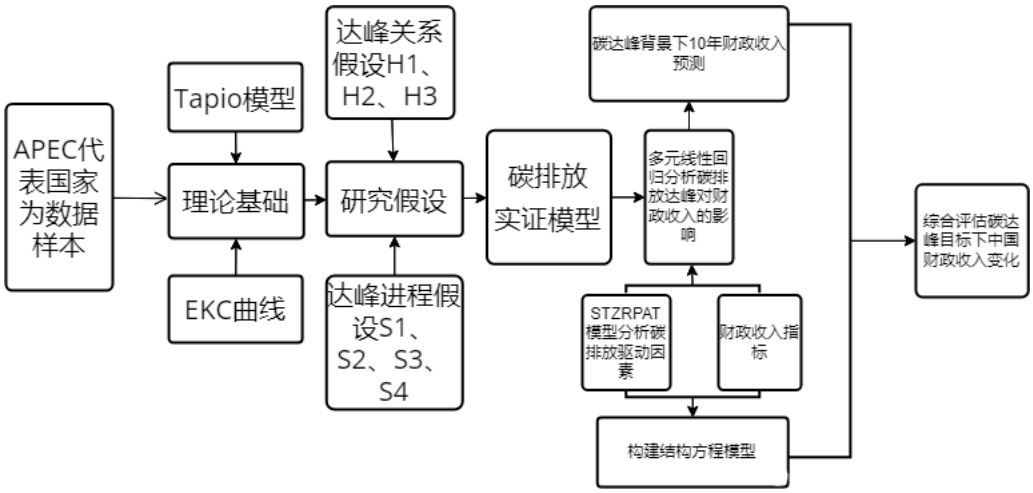


图 1 解答流程图

2.2 模型假设

（1）收集的数据真实有效；

（2）不考虑重大经济危机和自然灾害事件对碳排放的影响；

（3）考虑碳排放和财政收入的主要因素，暂不将次要因素纳入模型。

2.3 符号说明

表 1　符号说明表

符号	符号说明
a	常数项，表示乘数
e	误差项
b、c、d	分别为 P、A、T 对环境影响的弹性
C	碳排放量
GDP	地区生产总值
E	能源消费量
β_0	回归常数
β_1、β_2、...、β_9	回归系数
Y	财政收入
P	人口总规模
H1	假设 1：碳排放与经济增长之间存在倒“U”关系
H2	假设 2：能源强度增加导致碳排放量上升，二者存在正向相关
H3	假设 3：煤炭消费导致碳排放量显著上升，二者存在正向相关
z_{ij}	标准化后的矩阵
p_{ij}	指标权重
e_j	信息熵

3 碳达峰与财政收入关系的模型建立与求解

3.1 碳排放达峰理论基础与研究假设

3.1.1 EKC 曲线和 Tapio 模型

EKC 曲线即“环境库兹涅茨曲线”，由美国经济学家于 1955 年提出，曲线理论随着经济水平的增长，人均收入总体增加，国民经济的收入差距趋势为先扩大后缩小，环境污染也会呈增长模式直到到达“临界点”，人均收入进一步增加，环境污染程度再减小。综上，人均收入与环境发展之间有着长期的相互影响，影响关系最终呈现“倒 U 型”，关系曲线基于经验假说成立。

EKC 曲线属于标准的“绝对脱钩”现象，脱钩是指在特定物理量之间增长关系的分离或转向。“绝对脱钩”的定义为经济增长过程中环境污染跟随趋势呈现停滞或下降，此类情况当且仅当资源生产力增长率高于经济增长率时出现。

在低碳经济的推行下，可以进一步将“低碳”与“经济”联系起来，本文第一题探究碳达峰与财政收入之间的关系，“环境库兹涅茨曲线”满足此类问题研究方向，因此我们将碳达峰定义为环境影响，财政收入定义为经济水平人均收入。

Tapio 模型在“绝对脱钩”的情况下，加入弹性概念，使分析结果解决了固定基期上的困难，从而动态且清晰地反应变量之间的动态关系[1]。

3.1.2 基于国际标准的碳排放达峰进程假设

“碳排放达峰”简称“碳达峰”，指在某一个时间点，二氧化碳排放量到达最高阈值且不再增长，稳定在平台期，并逐步回落的过程。碳达峰是二氧化碳排放量增长转向的重要拐点，标志着碳排放与经济发展实现脱钩，达峰目标包括达峰年份和峰值，达峰进程阶段假设见图 2。

由 IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）将碳中和定义为，一个组织在一年内的二氧化碳排放通过二氧化碳去除技术应用达到平衡，即为碳中和或净零的二氧化碳排放。而在我国，目标规划 2030 年达到碳达峰，2060 年达到碳中和，并以净零为碳中和标准，我国计划到达碳达峰后，通过优化能源结构、产业结构和消费结构，研究开发低碳能源，植树造林等系列措施达到净零平衡。“碳达峰”和“碳中和”并称“双碳”，是中国可持续

发展道路上的重要进程目标[2]。

截至 2022 年 4 月 14 日，全球已有 54 个国家达到碳达峰，占全球碳排放总量近四分之一，全球碳排放前 15 的国家中，俄罗斯、美国等国达到碳达峰。目前达到碳中和的国家仅有苏里南和不丹两个，显示地图如下，本文通过查询收集已达峰国家现今相关因素数据并在此基础上利用相关理论的分析，来确定国际标准下碳达峰影响因素的标准以及碳达峰对财政收入的影响。

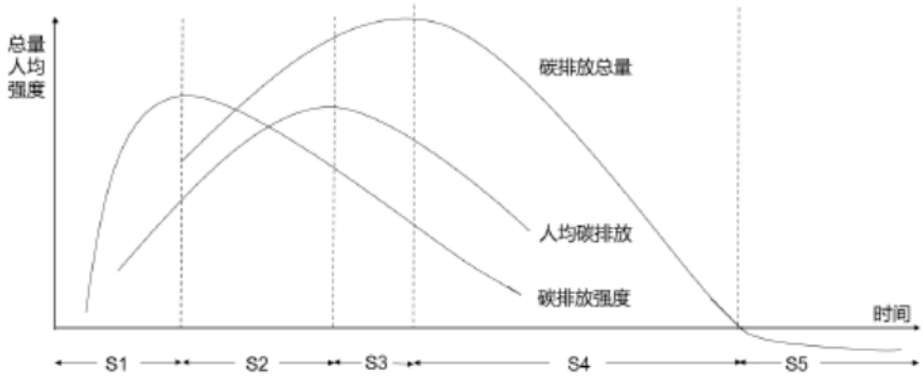


图 2　碳达峰进程阶段假设

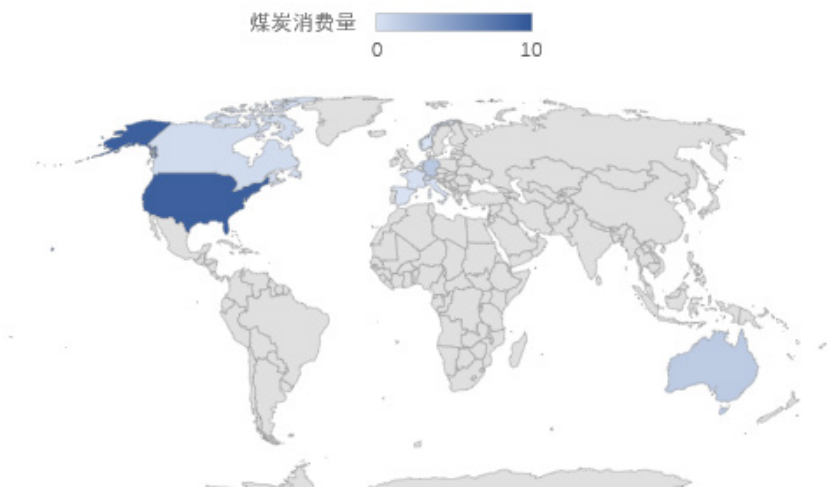


图 3　碳达峰国家区域地图

3.2 碳排放达峰影响因素实证模型

3.2.1 数据收集与处理

由于数据收集的局限性，本文选取 APEC-亚太经合组织成员国的碳排放相关数据和相关经济数据作为实证分析对象。

为提高数据的使用质量，通过数据的整合和数据预处理，找出缺失数据和异常数据，由于缺失的数据量较少，采用均值填补缺失值，并用均值对异常值进行替换，对变量进行标准化，从而取消回归分析中由于量纲不同、自身变异或者数值相差较大所引起的误差。

3.2.2 碳排放达峰影响因素的选取

碳排放总量指的是人类生产活动中排放并散发到大气中二氧化碳的总质量，以碳排放总量作为模型构建中的被解释变量。

选择煤炭消费量、石油消费量、天然气消费量、清洁能源消费量、国内生产总值、第二产业投入、人口密度、人均收入、碳排放总量为研究指标。

3.2.3 基于 STIRPAT 模型分析碳排放驱动因素

在经济活动与能源环境之间的关系的 IPAT 模型中，环境影响因子（I）通常由能源的消耗量和碳排放表示，由人口密度（P）、经济发展程度（A）

和科学技术（T）三个决定。IPAT 模型具有系统性、整体性和简化的特点，不仅可以度量能源环境外，还可反映出能源消耗、经济状态和环境变化的发展。该模型的局限性为：模型的其中一个假设是，能源环境对人口的密度、经济发展程度和科学技术的影响分别为 1。Dietz 和 Rosa 对 IPAT 模型进行扩展，提出了 STIRPAT 模型[3]。

STIRPAT 模型克服了 IPAT 模型的各影响因素单一弹性的局限性，并进一步指出了能源环境影响最重要的驱动力，建立的模型为：

$$Ii = aP_i^b \times A_i^c \times T_i^d \times ei \quad (1)$$

STIRPAT 模型是一个非线性随机回归模型，为了减少模型中数据中存在的异方差性，通常对模型方程两边同时取对数，建立的模型为：

$$ln\,I\,i = ln\,a + b\,ln\,P\,i + c\,ln\,A\,i + d\,ln\,T\,i + ei \quad (2)$$

3.3 基于多元回归模型分析碳达峰对财政收入的影响

3.3.1 数据处理及回归模型的建立

最终选取九个指标，根据碳排放达峰指标变量的设置，且结合实际的意义，建立以下模型：

$$y = \beta 0 + \beta 1x1 + \beta 2x2 + \cdots + \beta 9x9 + \varepsilon \quad (3)$$

由回归结果可以得到，该回归方程可决系数非常高。但是 x4 的符号在经济意义上与预期相反，同时大部分变量在给定的显著性水平下回归系数并不显著进一步计算该模型各变量之间的相关系数，运用 Python 软件得出最小二乘法的参数估计，结果见表 2：

回归系数表见表 3，得到的包含所有自变量的回归模型为：

y=320.641+1.317x1+1.649x2+2.179x3-0.006
x4+1.684x5+0.010x6+0.004x7-19.131x8+50.516x9

由表可知，P 值接近于零，因此多元线性方程是显著的，y 与 x1、x2、...、x9 有着显著的线性关系，R-squared 的值为 0.992，说明线性关系比较显著。

表 2 OLS 检验结果表

OLS Regression Results

Dep. Variable:	y	R-squared:	0.992
Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.989
Method:	Least Squares	F-statistic:	298.9
Date:	Thu, 20 Aug 2020	Prob (F-statistic):	4.21e-20
Time:	10:11:57	Log-Likelihood:	-222.85
No. Observations:	31	AIC:	465.7
Df Residuals:	21	BIC:	480.0
Df Model:	9		
Covariance Type:	nonrobust		

表 3 回归系数表

	coef	std err	t	P>|t|	[0.025	0.975]
const	320.6409	3951.557	0.081	0.936	-7897.071	8538.353
x1	1.3166	0.106	12.400	0.000	1.096	1.537
x2	1.6499	0.301	5.484	0.000	1.024	2.275
x3	2.1787	0.520	4.190	0.000	1.097	3.260
x4	-0.0056	0.477	-0.012	0.991	-0.997	0.985
x5	1.6843	0.214	7.864	0.000	1.239	2.130
x6	0.0103	0.013	0.769	0.451	-0.018	0.038
x7	0.0037	0.011	0.342	0.736	-0.019	0.026
x8	-19.1306	31.970	-0.598	0.556	-85.617	47.355
x9	50.5156	150.212	0.336	0.740	-261.868	362.899

Omnibus:	4.552	Durbin-Watson:	2.334
Prob(Omnibus):	0.103	Jarque-Bera (JB):	3.059
Skew:	-0.717	Prob(JB):	0.217
Kurtosis:	3.559	Cond. No.	3.76e+06

Warnings:
[1] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly specified.
[2] The condition number is large, 3.76e+06. This might indicate that there are
strong multicollinearity or other numerical problems.

3.3.2 多重共线性检验及修正

由回归结果可以得到，该回归方程可决系数非常高。但是符号在经济意义上与预期相反，同时大部分变量在给定的显著性水平下回归系数并不显著。由于 x1 到 x9 这 9 个变量被看作是一个整体，y 与这个整体有显著的线性关系，但不代表 y 与其中的每个自变量都有显著的线性关系，因此要找出与 y 的线性关系不显著的自变量，然后把它们剔除，只留下关系显著的，因此有必要进行 T 检验。进一步计算该模型各变量之间的相关系数[4]。

从而采取逐步回归法进行检验。利用 EViews 的逐步回归功能，最终得到结果如下：

表 4　修正后的回归系数表

	coef	std err	t	P>|t|	[0.025	0.975]
const	-1694.6269	562.977	-3.010	0.006	-2851.843	-537.411
x1	1.3642	0.086	15.844	0.000	1.187	1.541
x2	1.7679	0.201	8.796	0.000	1.355	2.181
x3	2.2894	0.349	6.569	0.000	1.573	3.006
x5	1.7424	0.191	9.111	0.000	1.349	2.136

Omnibus:	3.769	Durbin-Watson:	2.401
Prob(Omnibus):	0.152	Jarque-Bera (JB):	2.493
Skew:	-0.668	Prob(JB):	0.287
Kurtosis:	3.379	Cond. No.	5.74e+04

Warnings:
[1] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly specified.
[2] The condition number is large, 5.74e+04. This might indicate that there are
strong multicollinearity or other numerical problems.

其结果如图表 4 所示。从结果中可以看到最后剩下的有效变量为 x1、x2、x3 和 x5，得到的多元线性模型为：

$$y = -1694.6269 + 1.3642\,x1 + 1.7679\,x2 + 2.2894\,x3 + 1.7424\,x5$$

（1）异方差检验

本文采用 White 检验，构造辅助函数后得到结果如下：

此处在 a=0.05 的显著性水平下，0.894，上限临界值 du=1.828，满足 d<DW=1.404605<4-dy=2.172。因此也不存在正自相关性。Obs*R-squared=16.95325<$\chi^2$0.05(14)=23.68，另一方面，p=0.2587，从而接受原假设，认为该回归模型不存在异方差[5]。

（2）自相关性检验

如表 5，Durbin-Watson 值为 1.404605，此处仍然给定显著性水平为 a=0.05；解释变量个数为 k=9，结合样本量的个数查表知此处下限临界值 dw=0.894，上限临界值 du=1.828，满足 d，<DW=1.404605<4-du=2.172。从而也不存在正自相关性。

（3）拟合优度检验

如表 5，R^2=0.992，说明解释变量的效果较好，各个解释变量对财政收入的解释能力为 99.2%。

表 5　修正后的 OLS 参数估计表

OLS Regression Results

Dep. Variable:	y	R-squared:	0.992
Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.990
Method:	Least Squares	F-statistic:	769.2
Date:	Thu, 20 Aug 2020	Prob (F-statistic):	1.40e-26
Time:	10:31:24	Log-Likelihood:	-224.07
No. Observations:	31	AIC:	458.1
Df Residuals:	26	BIC:	465.3
Df Model:	4		
Covariance Type:	nonrobust		

4 碳达峰对财政收入影响程度的模型建立与求解

4.1 基于因子分析的碳达峰影响因素选取

4.1.1 因子分析法的适应性检验

通过数据集将碳达峰影响因子进行精简浓缩和降维。由 SPSS 软件计算得到 KMO 值（Kaiser-Meyer-Olkin）为 0.772，Bartlett 值为 4988.102，P 值为 0.000，见表 6。

结果验证通过，说明数据总体效度处于较高的可接受范围内，即数据可做因子分析。

4.1.2 碳达峰影响因素公共因子的提取

描述碳达峰影响因素可概括成三个：能源消费因子、经济结构因子、能源强度因子，结果见表 7。

表 6　KMO 和 Bartlett 检验表

巴特利特球形度检验		KMO 检验
近似卡方	显著性	0.772
4988.102	0．000	

4.1.3 各公共因子及综合公共因子得分

我们将 11 项测量建议指标转化为得分均值，以因子载荷为权重，浓缩成 3 个因子影响程度指数，结果见表 8。

表 7　碳达峰影响因素旋转正交因子表

指标	因子			名称
	因子 1	因子 2	因子 3	
煤炭消费量	0.732	-0.171	-0.009	能源消费因子
石油消费量	0.765	-0.189	-0.191	
天然气消费量	0.582	0.308	0.298	
清洁能源消费量	0.421	-0.231	-0.167	
国内生产总值	0.291	0.422	0.194	经济结构因子
第二产业投入	0.301	0.671	-0.282	
人口密度	-0.102	0.844	0.391	
人均收入	0.129	0.703	-0.311	
碳排放总量	0.151	0.384	0.783	能源强度因子
人均碳排放	0.172	0.209	0.762	
碳排放强度	0.355	0.057	0.656	

表 8　碳达峰影响因素指数统计表

指标	因子载荷	权重	综合得分系数	平均综合得分	名称
煤炭消费量	0.732	0.352	0.307	0.8923	能源消费因子
石油消费量	0.765	0.368	0.321		
天然气消费量	0.582	0.280	0.244		
清洁能源消费量	0.229	0.102	0.132		
国内生产总值	0.422	0.160	0.114	0.7126	经济结构因子
第二产业投入	0.671	0.254	0.181		
人口密度	0.844	0.320	0.228		
人均收入	0.703	0.266	0.190		
碳排放总量	0.783	0.356	0.191	0.5353	能源强度因子
人均碳排放	0.762	0.346	0.185		
碳排放强度	0.656	0.298	0.160		

由表 8 可知，煤炭消费量和石油消费量的综合得分系数较高，对碳排放达峰的影响最大，其中清洁能源对碳排放达峰的影响相对其他因子而言程度较小，在三个主成分因子中，能源消耗因子的平均综合得分最高为 0.8923，经济结构因子为 0.7126，两者的得相差不大，能源强度的得分因子较低为 0.5353。

由得分排序可得出相关的优化建议，在碳排放的进程中，能源消耗的结构是影响碳排放的主要影响因素，在能源消耗结构中需要进行优化升级，从而间接影响经济的发展，影响地区的财政收入。

4.2 碳排放达峰影响因素的结构方程模型分析

由于能源消费因子、经济结构因子、能源强度因子及财政收入因素涉及多个方面，且各个因素指标内部之间可能存在多重共线性，将会影响模型的准确性和科学性。由于结构方程模型能够有效地解决以上问题，因此进一步采用结构方程模型进行碳达峰与财政收入影响关系分析。

4.2.1 结构方程模型的假设与建立

（1）结构方程模型变量选取及假设

本文将选取能源消费因子，经济结构因子、能源强度因子及财政收入为潜在变量，各个潜在变量及其定义如表 9 所示。

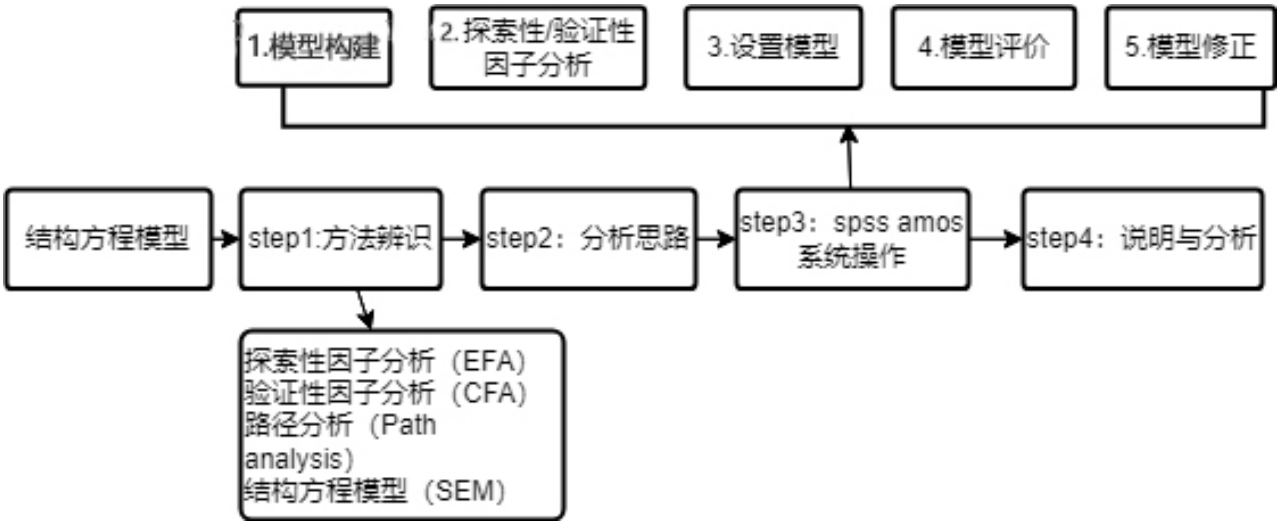


图 4 结构方程模型建立过程图

表 9 模型潜在变量及其定义表

潜变量	潜变量定义	测量变量	编号
能源消费因子	能源消费方面对财政收入的影响关系	煤炭消费量	X_1
		石油消费量	X_2
		天然气消费量	X_3
		清洁能源消费量	X_4
经济结构因子	经济结构方面对财政收入的影响关系	国内生产总值	X_5
		第二产业投入	X_6
		人口密度	X_7
		人均收入	X_8
能源强度因子	能源强度方面对财政收入的影响关系	碳排放总量	X_9
		人均碳排放	X_{10}
		碳排放强度	X_{11}

本文假设结构模型“能源消费因子”、“经济结构因子”、“能源强度因子”及“财政收入”四个潜在变量之间的影响关系如下：

①“经济结构因子”对“能源消费因子”有影响；

②“能源强度因子”对“财政收入”和“能源消费因子”这两个潜在变量有影响；

③“经济结构因子”对“能源强度因子”“能源消费因子”以及“财政收入”这三个潜在变量有影响；

④“能源强度因子”对“能源消费因子”有影响。

（2）碳达峰对财政收入发展影响因素结构方程模型构建

根据上述潜在变量的选取以及四个假设，构建碳达峰对财政收入发展影响因素结构方程理论模

型，如图 5 所示。

在理论模型的基础上，通过增加以下假设对碳达峰对财政收入发展影响因素结构方程模型进行修正，假设条件如下：

①在计算潜在变量线性关系时，假设每一个检测指标都是单一指标；

②内衍变量和观测变量的误差项之间各不相关；

③潜在变量之间的残差项之间相互独立，互不影响；

④潜在变量的残差项与指标测量之间的误差项彼此之间不相关；

⑤假设各个潜在变量不受到外界的干扰。

4.2.2 结构分析的路径分析结果

将经过清洗的数据导入到 SPSS 软件的 AMOS 系统中，构建碳达峰对财政收入发展影响因素的结构方程模型，具体路径图及模拟路径系数如图 6 所示。

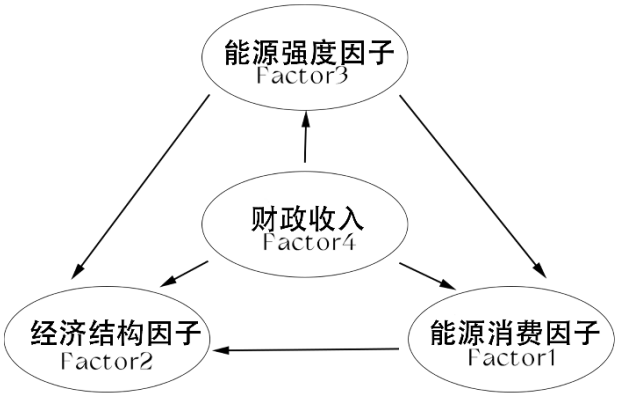


图 5　结构方程理论模型图

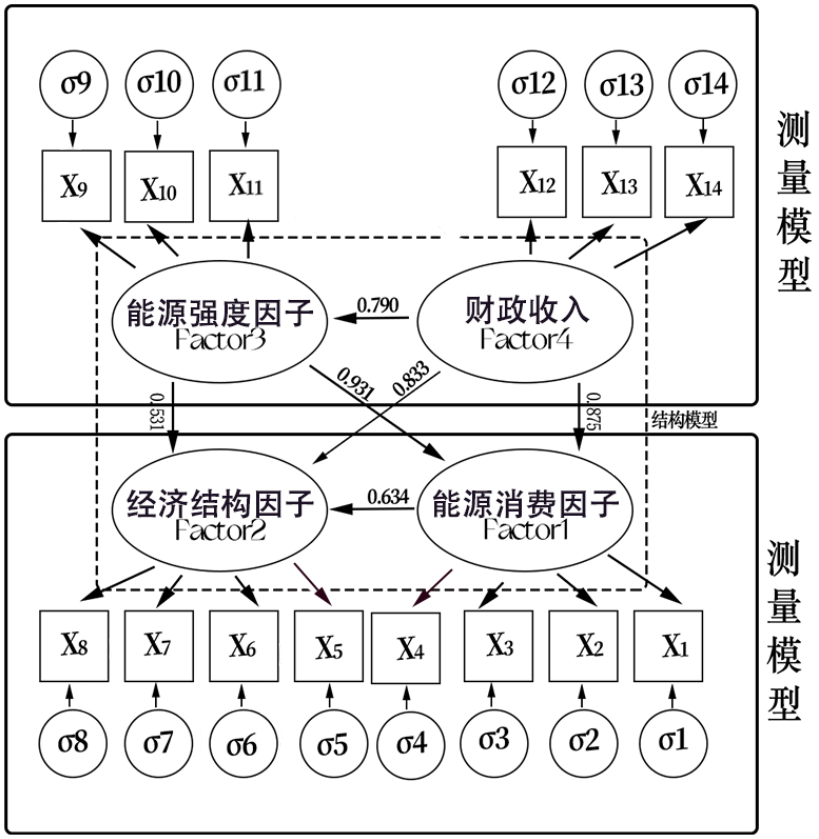


图 6　结构方程模型图

由路径系数表可知，在四个潜在变量中，能源消费因子，经济结构因子和能源强度因子对于财政收入的路径系数分别为 0.875、0.833 和 0.790，能源消耗，经济结构因子和能源强度因子都对财政收入有影响，能源消耗因子对能源强度因子有影响，经济结构因子对能源强度因子有影响，经济结构因子对能源消费因子有影响，结果见表 10。

结合模拟路径系数表可分析得出，能源消耗因子对财政收入的影响关系最强，能源强度因子对财政收入的影响关系较弱。

4.2.3 模型的检验

为了探究结构方程模型的质量是否良好，对其进行模型检验探究模型和数据之间的匹配度并评估数值。结构方程模型可以分成两个子模型，那么结构方程模型的拟合度指标可以分成下面三个部分：模型整体拟合度评估指标、测量模型评估指标和结构模型评估指标。

（1）测量模型评估指标

评估模型测量所采用的是因子分析法，采用探索性因子分析法在 SPSS 中探究测量模型质量并直接导入数据分析，看其和理想模型匹配度。测量模型的评估指标参考因子分析涉及的指标，包括临界比值（CR 值）、组合信度、AVE 值（Average Variance Extracted）和总方差解释率等指标。

（2）结构模型评估指标

通过资料可知结构模型所采用的分析方式近似于路径分析，路径分析相当于多个线性回归模型的组合，因此所以其指标可以使用线性回归模型的指标进行评估，其中包括 R^2、调整 R^2、所有回归系数的 t 检验结果等。

（3）模型整体拟合度评估指标

最终选择卡方自由度比值（NC）、适配度（CFI）、调整适配度（AGFI）、均方根残差（RMR）四个拟合优指标对构建的碳达峰对财政收入影响结构方程模型进行检验。

NC、CFI、AGFI 和 RMR 这四个拟合优度指标均符合适配标准和临界值要求，结果见表 11。

5 碳达峰目标下中国财政收入变化的模型建立与求解

5.1 中国碳排放现状

5.1.1 中国能源消费结构

从 1980 年-2015 年的能源结构数据可知，在能源消耗中，我国煤炭占能源消耗量的一半及以上，而且呈逐年递增的趋势，在 2012 年有稍下降的趋势；占比第二的为原油的消耗量，原油的消费量较原煤的消费量而言，变化趋势较为稳定；天然气消费量和一次电力及其他能源消费量随着年份的增加有明显的增加，说明国家能源的消费结构不再像往年一样单一，呈多元化消费的趋势，这对能源转型有重要意义，能源消费结构件见图 7。

表 10 模拟路径系数表

变量			非标准化估计值	标准化估值	S.E.	C.R.	显著性 P	结论
F1	←	F2	0.892	0.875	0.109	6.940	<0.05	有影响
F2	←	F3	0.882	0.833	0.101	6.584	<0.05	有影响
F3	←	F4	0.685	0.790	0.104	6.289	<0.05	有影响
F4	←	F1	0.802	0.931	0.100	3.298	<0.05	有影响
F3	←	F1	0.490	0.531	0.120	3.189	<0.05	有影响
F4	←	F2	0.578	0.634	0.112	5.201	<0.05	有影响

表 11 模型整体拟合优度检验表

拟合优度指标	检验结果	适配标准
卡方自由度比值（NC）	2.130	1<NC<3
适配度（GFI）	0.958	GFI>0.90
调整适配度（AGFI）	0.940	AGFI>0.90
均方根残差（RMR）	0.042	RMR<0.05

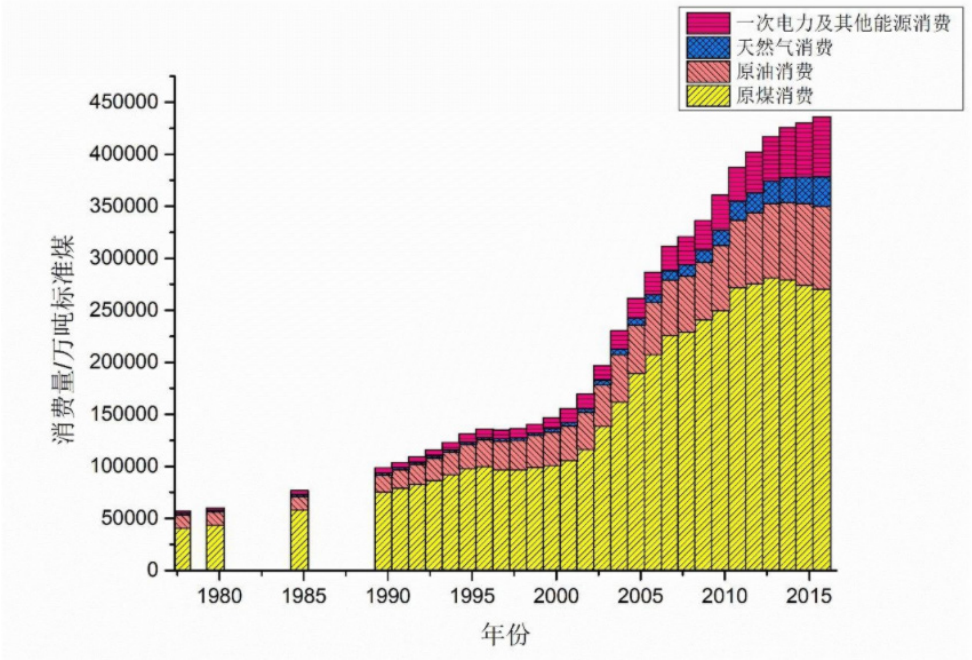


图 7 能源结构图

5.1.2 能源结构对比分析

我国现处于 S2 阶段中的经济体，在能源消费结构调整方面，首先需要抑制碳排放总量增加，主要措施建议为大力控制高碳排放的能源，其中主要包括化石能源的燃烧和使用，并应重点减少煤炭的使用，通过技术变革，开发并使用煤炭清洁能源，在煤炭使用过程中用碳技术进行碳清洁处理，减少由煤炭燃烧排放到大气中的二氧化碳。除此之外，可提升天然气的使用消费占比，加大力度发展可再生能源，这样才能尽可能发挥清洁能源的减排作用，同时可以进一步提高能源的使用效率。在经济方面，应该提高对外开放水平，通过扩大国际贸易，来提高国内生产总值，发展经济。

5.2 基于熵权 TOPSIS 模型对碳排放的决策分析

熵权 TOPSIS 是一种结合了熵值法与 TOPSIS 法的综合评价的方式。熵值法是一种客观的赋值方法，可以减少因为主观因素赋值带来的误差。

熵权法依据指标变化程度的大小来确定客观的权重。如果某一个评价指标体系提供的评价信息熵值越来越偏小，说明该评价指标值的可变化的程度就越来越偏大，提供出来的评价信息量就越丰富，其在综合绩效评估体系中的所能被发挥出来的评价意义也就会越偏大，而其权重自然也就会越偏大，否则其权重就也会越来越少。而 TOPSIS 法是一种常见的多目标决策分析方法，适用于多方案、多对象的对比研究，从中找出最佳方案或竞争力最强的对象。熵权 TOPSIS 法是先由熵权法计算得到指标的客观权重，再利用 TOPSIS 法，对各评价对象进行评价[6]。

5.2.1 模型的构建

首先将 10 个已达碳达峰国家的各项指标数据构建成原始评价矩阵 X：

由于指标属性的不同，为了统一数据，我们将指标进行了正向化，使所有指标转化为极大型。将此类指标转化为极大型的公式如下：

极小型：若所有元素都为小数，即可直接取倒数

$$\mathcal{X}_i = \frac{1}{\mathcal{X}_i} \tag{4}$$

中间型：$\{\mathcal{X}_i\}$是一组中间型的指标序列，设$\mathcal{X}_{\text{best}}$为最佳数值，$\mathcal{X}_{\text{new}}$为正向化后的极大型指标：

$$\mathcal{M} = max\{|\mathcal{X}_i - \mathcal{X}_{\text{best}}|\},\ \mathcal{X}_{\text{new}} = 1 - \frac{|\mathcal{X}_i - \mathcal{X}_{\text{best}}|}{\mathcal{M}} \tag{5}$$

区间型：$\{\mathcal{X}_i\}$是一组区间型的指标序列，设$\mathcal{X}_{\text{best}}$为最佳数值，$\mathcal{X}_{\text{new}}$为正向化后的极大型指标：

$$\mathcal{X}_{\text{new}} = \begin{cases} 1 - \frac{a - \mathcal{X}}{\mathcal{M}}, & \mathcal{X} < a \\ 1, & a \le \mathcal{X} \le \text{b} \\ 1 - \frac{\mathcal{X} - \text{b}}{\mathcal{M}}, & \mathcal{X} > \text{b} \end{cases} \tag{6}$$

其中，第二产业投入、人口密度为极小型数据，煤炭消费量、石油消费量、天然气消费量、清洁能源消费量、碳排放总量、人均碳排放量、碳排放强度为中间型数据。

由于指标单位不同，为了方便计算，我们将所有数据进行了标准化处理，使所有指标统一量纲。

标准化公式如下：将z_{ij}记为标准化后矩阵，z_{ij}标准化公式如下：

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}^2}} \quad (7)$$

由于熵权法的特殊性，我们需要考虑各个指标的变异程度，因此，需要计算每个指标的所占比重（设比重之和为 1）。公式如下：

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}} \quad (8)$$

得到每个指标的所占比重后，据此计算得到各指标的信息熵 e，并将其归一化，公式如下[7]：

$$e_j = -1\ln ni = 1npij\ln pije_j = -\frac{1}{\ln n}\sum_{i=1}^{n} p_{ij}\ln p_{ij},$$

$$(j = 1，2，3\cdots，m) \quad (9)$$

$$d_j = 1 - e_j，\ w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{p} d_j} \quad (10)$$

5.2.2 碳达峰的优化建议

一是推动全国各省能源绿色转型，从而实现“双碳”目标。以广东省为例，规划中要求广东省在“2025 年非化石能源装机比重达到 48%左右；2030 年非化石能源消费比重达到 35%左右，非化石能源装机比重达到 54%左右；2060 年非化石能源消费比重达到 80%以上”。

由于我国现阶段能源对国外依存度较高，能源消费大，能源自给率低，供电结构以煤炭发电为主，能源消费结构优化任务仍然艰巨。

二是产业优化转型，协助实现经济绿色发展。双碳目标的实现需要推动产业结构的优化升级。不同行业需要基于其发展特性实现产业绿色转型。其中农业需加快推进行业固碳增效，发展绿色低碳循环农业；工业领域需要实施节能降碳行动，推进工业领域数字化智能化绿色化转型和低碳工艺革新；服务业需加快商贸流通、信息服务等绿色转型，从而提升低碳发展水平。另一方面，政府需要坚决遏制高耗能高排放项目盲目发展，严控高耗能高排放产业规模。同时，对于绿色低碳产业，需积极扶持此类企业发展，促进发展节能环保、清洁生产、清洁能源产业，加快建设绿色制造体系，打造绿色工厂、绿色园区，推行绿色供应链管理。

三是绿色金融激励企业绿色可持续发展。资本市场通过低碳绿色投资协助企业实现双碳目标。其中，ESG 投资作为主要的绿色投资策略，基于环境、社会责任、公司治理三方面对企业进行综合评价，是助力双碳战略的重要力量。

参考文献

[1] 李律秀,董熙元.基于 EViews 对我国财政收入影响因素的实证分析[J].中国集体经济,2021(16):92-94.

[2] 姚王信,朱玲.合肥市绿色增长对财政收入的影响研究——以环境库兹涅茨曲线拐点为视角[J].合肥学院学报(综合版),2016.

[3] 赵明轩,吕连宏,王深,等.中国碳达峰路径的 Meta 回归分析[J].环境科学研究, 2021, 34(9): 2056-2064.

[4] 张苗,吴萌.土地利用对碳排放影响的作用机制和传导路径分析——基于结构方程模型的实证检验[J].中国土地科学,2022(3):96-103.

[5] 郑培柳.实现碳达峰、碳中和目标的路径探索[J].黑龙江生态工程职业学院学报,2022(3):7-9,14.

[6] 朱海龙,李萍萍.基于岭回归和 LASSO 回归的安徽省财政收入影响因素分析[J]江西理工大学学报.2022(1):59-65.

[7] 赵慈,宋晓聪,刘晓宇,等.基于 STIRPAT 模型的浙江省碳排放峰值预测分析[J].生态经济,2022,38(06): 29-34.

版权声明：©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
OPEN ACCESS