

# 双碳目标下区域产业结构调整对电力需求的影响机制及预测模型构建

冯胜涛，刘航，马明禹，张彬，冯燕军

国网邯郸供电公司经研所，河北 邯郸 056001

DOI:10.61369/EPTSM.2025070023

**摘要：**本文聚焦双碳目标下区域产业结构调整对电力需求的影响机制及预测模型构建，在影响机制层面，搭建“多因素—多路径—动态化”分析框架，指出双碳目标通过政策引导推动产业向低碳化、高端化、服务化转型，既借结构效应直接改变电力需求总量与结构，又通过技术进步、能源替代、政策引导、消费拉动产生间接影响。在预测模型构建方面，以“系统性整合、动态化反映、区域化适配”为导向，遵循科学、可操作、动态、稳健原则，选取区域电力需求总量为被解释变量，产业结构合理化、高级化、低碳化为核心解释变量，引入技术进步、能源替代等控制变量，采用动态面板数据模型（DPDM）刻画动态互动关系，通过系统 GMM 方法处理内生性问题并完成系列检验，为双碳目标下区域电力需求精准预测与差异化政策制定提供理论与方法支撑。

**关键词：**双碳目标；产业结构调整；电力需求；影响机制

## The Impact Mechanism of Regional Industrial Structure Adjustment on Electricity Demand and the Construction of a Prediction Model under the Dual Carbon Goals

Feng Shengtao, Liu Hang, Ma Mingyu, Zhang Bin, Feng Yanjun

Economic Research Institute, State Grid Handan Power Supply Company, Handan, Hebei 056001

**Abstract :** This paper focuses on the impact mechanism of regional industrial structure adjustment on electricity demand and the construction of a prediction model under the dual carbon goals. At the level of impact mechanism, it establishes an "multi-factor-multi-path-dynamic" analytical framework, pointing out that the dual carbon goals drive industries to transform towards low-carbonization, high-endization, and servitization through policy guidance. This transformation not only directly changes the total amount and structure of electricity demand through structural effects but also exerts indirect influences through technological progress, energy substitution, policy guidance, and consumption stimulation. In terms of prediction model construction, guided by the principles of "systematic integration, dynamic reflection, and regional adaptation," and adhering to the principles of scientificity, operability, dynamism, and robustness, the paper selects the total regional electricity demand as the explained variable, with the rationalization, advancement, and low-carbonization of industrial structure as the core explanatory variables. It introduces control variables such as technological progress and energy substitution, employs a Dynamic Panel Data Model (DPDM) to depict dynamic interactive relationships, and addresses endogeneity issues through the System Generalized Method of Moments (GMM) approach, completing a series of tests. This provides theoretical and methodological support for accurate prediction of regional electricity demand and the formulation of differentiated policies under the dual carbon goals.

**Keywords :** dual carbon goals; industrial structure adjustment; electricity demand; impact mechanism

## 引言

当前我国区域经济发展不平衡、产业基础与资源禀赋差异显著的特征，使得不同地区产业结构调整的方向、节奏与力度各不相同，进而导致电力需求的演变呈现出复杂的区域异质性。在此背景下，若仍沿用传统的、未充分考虑产业结构动态调整的电力需求预测方法，极易导致预测结果与实际需求偏差较大，不仅可能造成电力资源的浪费或短缺，还会制约能源系统低碳转型的步伐，甚至影响双碳目标的如期实现。通过对影响机制的深度剖析与预测模型的科学构建，本文期望为区域电力规划优化、能源系统低碳转型以及双碳政策的差异化实施提供理论支撑与方法参考，助力实现电力需求与经济发展、低碳目标的协同推进。

## 一、双碳目标下产业结构调整对电力需求的影响机制分析

### (一) 总体分析框架构建

众所周知，电力能源具有瞬时性，难以长时间的大量储存，同时，影响电力需求的原因非常复杂，因此，电力短缺和电力过剩的情况时有发生<sup>[1]</sup>。在双碳目标背景下，区域产业结构调整对电力需求的影响是一个多因素、多路径、动态化的复杂过程。为清晰梳理这一影响过程，本文构建了一个分析框架，阐释了双碳目标下产业结构调整对电力需求的影响。该框架认为，双碳目标通过政策引导，驱动区域产业结构向低碳化、高端化和服务化方向调整<sup>[2]</sup>。这种调整一方面通过直接的结构效应改变电力需求的总量与结构，另一方面则通过技术进步、能源结构优化和消费模式转变等间接路径对电力需求产生影响。同时这一影响过程并非一成不变，而是会随着时间推移和双碳政策力度的变化呈现动态演变特征，并因不同区域在资源禀赋、经济水平和产业基础上的差异而表现出明显的区域差异性。

### (二) 直接影响机制

结构效应是产业结构调整影响电力需求的最直接路径，其核心在于不同产业电力消费强度的差异及其在经济中占比的变化<sup>[3]</sup>。通常第二产业（尤其是重工业）的电力消费强度最高，第三产业次之，第一产业最低。在双碳目标推动下，产业结构呈现“第二产业中高耗能行业占比下降、高技术制造业占比上升”以及“第三产业整体占比提升”的趋势。这种变化会直接降低区域整体的电力消费强度，可能导致电力需求总量增速放缓甚至阶段性下降<sup>[4]</sup>。同时电力需求结构也随之改变：工业用电占比下降，而高技术制造业对电能质量提出更高要求；第三产业，特别是交通电气化、商业服务和数据中心等领域的用电需求快速增长，占比显著提升。此外，产业结构调整带动的居民收入增长也会间接增加生活用电，但其影响相对较小。

### (三) 间接影响机制

除直接的结构效应外，产业结构调整还通过技术进步、能源替代、政策引导和消费拉动四条间接路径对电力需求产生深远影响<sup>[5]</sup>。产业结构调整与技术创新相互促进，双碳目标下对节能、低碳技术的投入，一方面能通过高效设备和工艺优化降低产业用电强度，实现产值与用电的脱钩；另一方面，新能源及电力技术的进步会提升清洁电力的供应能力与经济性，可能反过来刺激电力需求增长。能源替代效应显著，产业结构优化伴随着以电代煤、以电代油的能源消费转型，工业、交通、建筑等领域对电力的替代性需求大幅增加，即使在总能耗下降的情况下，电力需求仍可能因其在终端能源消费中占比的提升而保持增长<sup>[6]</sup>。政策引导效应至关重要，政府对低碳产业的扶持政策会直接带动其电力需求，而对高耗能产业的限制则会抑制其用电；同时新能源发展规划和差异化电价政策也深刻影响着电力需求的结构与时间分布。消费拉动效应通过居民端体现，产业结构优化带来收入增长和消费升级，智能家电、电动汽车等高耗能产品的普及，以及城市化进程的加快，都共同推动了居民生活用电和城市公共用电需

求的增长。

### (四) 影响机制的动态性与区域差异性

双碳目标下产业结构调整对电力需求的影响机制具有显著的动态演变特征和区域差异性。从时间维度看，影响机制随双碳目标推进的三个阶段而变化，在初期，以遏制高耗能产业扩张为主，结构效应突出，电力需求增速放缓；进入中期，产业结构深化调整，技术进步和能源替代效应增强，电力在终端能源消费中占比大幅提升，成为拉动需求增长的主要动力，电力需求总量平稳增长；到后期，产业结构基本完成低碳化转型，技术效应和替代效应趋于稳定，电力需求进入低速增长或稳定阶段，结构以三产和居民用电为主<sup>[7]</sup>。此外，外部环境变化也会对各阶段的作用强度和方向产生影响。从空间维度看，影响机制呈现出明显的区域差异，东部发达地区以发展高端制造和现代服务业为主，技术、替代和消费效应共同推动电力需求平稳增长，结构以三产和居民用电为主；中部地区以改造传统工业为重点，结构效应的抑制作用明显，电力需求增速较慢，结构仍以二产用电为主；西部地区则在保障能源安全的同时发展资源加工和新能源产业，结构效应的抑制作用有限，甚至可能因工业化和新能源产业发展而拉动电力需求增长，整体增长潜力较大，结构以二产用电为主。

## 二、考虑产业结构调整的区域电力需求预测模型构建

### (一) 模型构建的总体思路与原则

在双碳目标的战略约束下，构建一个能够精准刻画产业结构调整对电力需求复杂影响的模型，必须以“系统性整合、动态化反映、区域化适配”为核心导向<sup>[8]</sup>。其总体思路在于，超越传统电力需求预测框架，将产业结构调整所引发的结构效应、技术进步效应与能源替代效应等复杂机制，转化为一系列可量化的模型要素，从而构建起从“理论机制”到“变量映射”，再到“模型适配”，最终到“检验优化”的完整闭环。为实现这一目标，模型设计需多维度提取关键因子，以全面、立体地描述产业结构调整的内涵；同时必须为不同区域的异质性特征预留参数调整空间，并巧妙引入政策与时间变量，以动态捕捉二者关系在不同发展阶段下的演变规律<sup>[9]</sup>。在模型构建的具体实践中，应严格遵循四大核心原则，科学性，确保变量选取与模型设定根植于坚实的经济学理论，真实反映产业调整方向；可操作性，优先选用官方权威数据，保障模型从理论走向实践的应用价值；动态性，摒弃静态假设，通过时间变量或动态模型刻画关系的演变过程；稳健性，通过设置扰动项和进行稳健性检验，抵御外部短期冲击，确保预测结果在合理、可信的区间内波动，为决策提供坚实支撑。

### (二) 模型变量的选择与界定

模型的变量体系依据前述影响机制分析，并紧密结合双碳目标要求与数据可得性，划分为被解释变量、核心解释变量与控制变量三大类。被解释变量聚焦于区域电力需求总量，采用经过修正的区域年度全社会用电量进行衡量，旨在更精准地反映本地实际用电需求<sup>[10]</sup>。核心解释变量则从三个关键维度构建产业结构调整的综合指标，产业结构合理化，采用泰尔指数予以量化，指

数值越低，表征资源配置效率越高，产业结构越趋合理；产业结构高级化，以第三产业与第二产业的产值比来衡量，该比值的提升直观反映了经济向服务化、知识化方向的转型；产业结构低碳化，通过高耗能产业产值占工业总产重的比重来体现，该比重的下降直接映射出产业结构的低碳化转型进程。为有效剥离其他因素的干扰，模型引入了五类控制变量，技术进步变量，综合考量了劳动生产率与研发投入占比；能源替代变量，以终端能源消费中电力的占比来表征；政策变量，巧妙结合了反映双碳目标时间节点的虚拟变量与衡量碳减排目标完成率的连续变量；经济增长变量，采用剔除价格因素后的人均GDP；居民消费变量，则以城镇居民人均可支配收入作为代理指标。

### （三）模型的选择与结构设计

为精准刻画产业结构调整与电力需求之间复杂的动态互动关系，研究选用动态面板数据模型（DPDM）作为核心分析框架。该模型通过引入被解释变量的滞后项，不仅能够有效捕捉电力需求在时间维度上的路径依赖特征，还能妥善处理解释变量与被解释变量之间可能存在的内生性问题，这与双碳目标下产业结构与电力需求相互影响、动态演变的现实情境高度契合。在基准模型的设定上，以区域电力需求总量为被解释变量，核心解释变量涵盖了产业结构调整的三个关键维度，合理化（泰尔指数）、高级化（三产/二产产值比）与低碳化（高耗能产业产值占比）。同时模型纳入了技术进步、能源替代、政策冲击、经济增长（人均GDP）及居民消费等一系列控制变量，并对区域固定效应与随机扰动项进行了有效控制，以剥离其他非观测因素的干扰。为深入探究影响的区域异质性，模型进一步创新性地引入了东、中、西三大区域的虚拟变量，并将其与核心解释变量构建交互项。通过细致对比这些交互项的系数符号、大小及显著性，可以直观地揭示不同区域产业结构调整对电力需求影响的强度与方向差异，为制定区域差异化政策提供精细化的实证依据。此外，为检验经济增长与电力需求之间可能存在的非线性关联，模型在设定中加入了人均GDP的平方项。若该平方项的系数在统计上显著为负，则有力地支持了二者之间呈现“倒U型”关系的假说，即验证了“环境库兹涅茨曲线”（EKC）在电力需求领域的适用性，将显著提升模型对现实经济现象的解释深度与预测精度。

### （四）模型的参数估计与检验

针对动态面板模型的内生性问题，本研究采用系统GMM方法进行参数估计，该方法结合水平与差分方程，引入更多工具变量，有效处理内生性并在小样本下保持良好估计效率。工具变量选择包括核心解释变量和部分控制变量的滞后1-2期，优先采用两步系统GMM并结合Windmeijer修正标准误，以提升小样本下估计结果的有效性。模型检验涵盖四个方面：一是序列相关检验，确保扰动项仅存在一阶相关而无不显著二阶相关；二是工具变量有效性检验，以Hansen检验为主，确认工具变量合理；三是模型设定检验，通过对差分与系统GMM结果、加入平方项后的拟合优度变化，验证模型设定正确性；四是多重共线性检验，计算VIF值确保无严重共线性问题。参数估计与检验完成后，需对结果进行经济意义解读，例如高耗能产业占比的系数若显著为正，说明其对电力需求具有正向拉动作用；交互项系数则可揭示不同区域产业结构调整效果的差异，为制定区域差异化政策提供量化依据。

## 三、结束语

本文围绕双碳目标下区域产业结构调整与电力需求的关系展开系统性研究，通过理论剖析与模型构建，形成了对二者内在关联的完整认知框架，为双碳背景下区域电力需求管理与能源转型提供了兼具理论价值与实践意义的研究成果。从实践层面来看，本文的研究成果可为政府部门、电力企业与能源规划机构提供关键决策支撑，对政策制定者而言，可依据不同区域产业结构调整对电力需求的影响差异，制定差异化的双碳政策与电力规划；对电力企业而言，预测模型可辅助其制定精准的电力生产计划与电网建设规划，避免资源浪费或供应短缺；对能源转型而言，研究结论可为电力系统向清洁化、智能化转型提供方向指引，推动电力需求与低碳目标的协同推进。未来随着双碳政策的深化、技术创新的突破与产业结构的进一步优化，需不断完善研究框架与模型体系，为实现经济高质量发展与碳减排目标的双赢提供更坚实的学术支撑。

## 参考文献

- [1] 皮渡洋.长三角地区电力需求预测及保障策略研究 [D].中国矿业大学，中国矿业大学(江苏),2022.
- [2] 戚书豪.云南省际电力足迹转移特征及工业产业结构对其的影响 -- 基于MRIO模型 [D].云南：云南财经大学 ,2024.
- [3] 廖健. 鄂州市郊区电力需求影响因素分析及电力需求预测 [J]. 红水河 ,2014(1):59–64. DOI:10.3969/j.issn.1001-408X.2014.01.016.
- [4] 张进芳. 产业结构调整对电力需求的影响及其模型构建 [D]. 华北电力大学(北京),2016.
- [5] 姚洁. 构建与区域产业发展相适应的电力营销目标 [J]. 黑龙江科技信息 ,2013(15):28. DOI:10.3969/j.issn.1673-1328.2013.15.028.
- [6] 史静, 李虓, 谈健, 等. 基于产业转移背景下江苏典型地区电力需求预测研究 [J]. 电力科技与环保 ,2020,36(5):7–14. DOI:10.3969/j.issn.1674-8069.2020.05.002.
- [7] 胡杰, 张忠华, 章浩. “十二五”东北区域经济及电力需求情况分析 [J]. 吉林电力 ,2017,45(2):1–5. DOI:10.3969/j.issn.1009-5306.2017.02.001.
- [8] 于音波, 陈颖, 杨晓蕾, 等. 上海市产业结构调整对于电力需求的影响 [J]. 能源工程 ,2009(1):1–5.DOI:10.3969/j.issn.1004-3950.2009.01.001.
- [9] 郑军超. 电力需求预测与产业调整关系的协整分析 [D]. 河南：郑州大学 ,2014.
- [10] 袁菲菲. 我国产业结构调整对能源消费影响的研究 [D]. 山东财经大学 ,2012. DOI:10.7666/d.D303440.