

工业化后期广东省能源行业发展的经济贡献测算

吴东奇[✉], 甘俊文, 郭经韬, 余欣梅, 廖毅

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东广州 510663)

摘要: [目的] 能源是工业的粮食和国民经济的命脉。改革开放以来, 广东经济建设取得的巨大成就离不开能源行业发展提供的支持和后勤保障。广东作为能源消费大省和资源小省, 能源自给率较低, 一直面临能源匮乏的挑战。经过多年发展与转型, 广东能源行业正逐渐形成传统火电、核电、海上风电、光伏发电等多元能源组合的新型能源体系, 能源行业也从经济生产的制约因素之一转变为省内高新技术制造产业链的有机组成部分。从宏观经济角度分析能源行业发展的经济贡献, 对制定科学的能源产业发展规划, 推动广东能源与经济协同高质量发展具有现实意义。[方法] 首先整合代表广东能源行业与经济数据的指标数据建立研究数据集, 然后分别使用向量自回归模型与 Feder 两部门生产函数模型对广东能源行业的整体经济贡献与溢出效应进行定量分析。[结果] 分析结果表明, 工业化后期阶段下广东能源行业与整体经济发展间存在相互促进的关系, 能源行业生产对经济增长的整体贡献与溢出效应均较为显著, 但能源投资的经济拉动作用相对较低。[结论] 研究从实证角度测算了广东能源行业的经济贡献, 根据结果提出了广东能源行业高质量发展的建议, 可为广东能源发展规划与政策制定提供参考。

关键词: 能源规划; 能源政策; 能源经济; 数据科学; 统计分析

中图分类号: TK01; F426

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2024)

OA: <https://www.energychina.press/>

Economic Contribution Measurement of Energy Sector Development During Late Industrialization Period in Guangdong Province

WU Dongqi[✉], GAN Junwen, GUO Jingtao, YU Xinmei, LIAO Yi

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China)

Abstract: [Introduction] Energy is widely considered the fuel of industry and the lifeline of the national economy. The impressive economic and development achievement of Guangdong after reform and opening up relied heavily on the support and logistical backing from the development of its energy industry. Being a major energy consumer with limited resources and thus featuring low self-sufficiency in energy, Guangdong has always faced the threat of energy scarcity. After decades of development and transition, its energy sector is gradually evolving into a diversified new energy system composed of traditional thermal power, nuclear power, offshore wind power, and photovoltaic power generation. It has shifted from being a limiting factor in economic production to becoming an integral component of the province's high-tech manufacturing industry chain. Analyzing the economic contribution of energy sector from a macroeconomic perspective holds practical significance for formulating scientific energy industry development plans and promoting high-quality, coordinated development of energy and economy in Guangdong. [Method] Firstly, a research dataset was established by integrating the indicator data that represent the development of the energy sector and economy in Guangdong. Subsequently, both the vector autoregression model and the Feder two-sector production function model were employed to conduct a quantitative analysis of the overall economic contribution and spillover effects of Guangdong's energy sector. [Result] The analysis indicates that, during the late industrialization phase, a mutually reinforcing relationship existed between the energy sector and economic development in Guangdong. The production of the energy sector makes a significant overall contribution to economic growth, with notable spillover effects. However, the economic stimulus effect of energy investments is comparatively low. [Conclusion] The study empirically estimates the economic contribution of energy sector in Guangdong and based on the findings, suggests recommendations for high-quality development of

收稿日期: 2024-03-04 修回日期: 2024-03-26

基金项目: 中国能建重点科技项目“碳达峰碳中和背景下广东省能源与经济发展关系研究”(EV10981W)

Guangdong's energy sector. These can serve as references for the development planning and policy-making of Guangdong's energy development.

Key words: energy planning; energy policy; energy economic; data science; statistical analysis

0 引言

广东是我国改革开放的排头兵、先行地、实验区,在对外开放、科技创新、产业多元化等方面均走在全国前列。能源产业作为现代经济社会发展的重要支柱,直接影响着国民经济的各个方面。首先,能源作为基础生产要素,为工业部门与居民提供动力、电力和工业原料,是各行业高质量发展的坚实保障。另一方面,能源产业也作为制造业产业体系的关键环节和有机组成带动了上下游产业链发展。广东光伏及风电设备、电力电子器件、锂电池等新能源制造业达到国际领先水平,成为了广东高端制造业的重要新动能。《广东省培育新能源战略性新兴产业集群行动计划》提出了到“十四五”末期,广东新能源产业营收超 1 万亿元、增加值超过 2 000 亿元的目标^[1]。在推进产业转型与落实“双碳”目标的迫切需求下,研究能源行业的经济贡献对于推动能源、经济协同高质量发展具有重要现实意义。

通过分析广东工业化后期能源行业发展与经济增长的数据,从经济统计学量化分析的角度研究广东省能源行业对经济增长的贡献,为广东能源产业布局和发展规划提供参考。文章结构如下:首先调查并总结文献中对产业发展的经济贡献的研究方法与结论;其次对能源与经济发展的相关数据进行初步分析;然后分别利用向量自回归模型(Vector Autoregression, VAR)与 Feder 两部门生产函数模型研究广东能源行业对经济增长的整体贡献与溢出效应;最后基于分析结果对广东能源行业高质量发展提出参考建议。

能源行业与经济发展间有密切的相互作用关系。从经济生产的角度,能源是必不可少的生产要素,各种资源和技术与劳动力结合的工业生产过程都需要通过消耗能源来生产产品与提供服务。因此,能源的供给水平和效率直接影响着生产的规模和速度。从技术进步与创新的角度,能源行业的发展需要大量的资金投入和科技创新支持。在这一过程中,能源行业的发展促进了相关产业的投资和创新,为整个经济体系带来了技术进步和产业升级。在可持续

发展方面,政策的导向作用与环境保护意识提高导致可再生能源与清洁能源的需求增加,能源行业的转型和升级不仅能够减少环境污染和资源浪费,还能够创造新的经济增长点,推动经济向更加可持续的方向发展。现有文献中研究产业经济贡献的计量经济学分析方法主要分为 3 类:(1)围绕 VAR 模型或 VECM(Vector Error-Correction Model)模型的动态关系分析。此类方法建立产业发展指标与经济发展指标间的线性动态模型,并使用特征值、冲激响应等线性系统分析工具研究指标间的关系,是能源经济学研究中应用最为广泛的方法^[2]。Mbarek 等^[3]使用 VECM 模型研究了核工业对法国经济增长的短期与长期贡献;Gabriel 与 Ribeiro^[4]利用 Hirschman-Rasmussen 指数结合面板 VAR 模型研究了 29 个发展中国家制造业的经济贡献;Lee^[5]使用协整分析了外资对 G20 国家碳排放、可再生能源与经济增长的贡献;徐勇^[6]综合运用包括协整与 VAR 模型的计量方法研究了旅游业发展对我国经济的贡献;(2)建立描述生产要素投入与经济产出间数学关系的生产函数,并基于拟合后的生产函数分析各要素的边际效益。Oryani 等^[7]使用 Cobb-Douglas 生产函数研究了伊朗能源行业与碳排放对当地经济增长的贡献;Tugcu 等^[8]使用经典与增广式生产函数分析了 G7 国家可再生与化石能源的经济贡献;焦兵与张文彬^[9]基于 Feder 模型测算了陕西能源产业投资对经济增长的拉动效应及溢出效应;(3)应用投入产出法分析能源行业对国民经济各主要部门的影响。Faturay 等^[10]使用多区域投入产出模型测算了美国风电建设的区域效应与溢出效应;Lee 等^[11]利用投入产出表分析了韩国可再生能源发展的经济溢出效应。崔维军和李博然^[12]利用江苏省投入产出表从直接贡献和间接贡献两个方面对江苏省制造业对区域经济增长的贡献进行了分析。文献中对于广东省的相关成果较少,且主要以“十二五”之前工业化中期发展阶段为研究对象。郭贤明和钟式玉^[13]使用投入产出法研究了广东新能源产业发展初期对经济增长的贡献与拉动效应。Lv 等^[14]使用 Granger 因果性检验研究了广东改革开放到 2010 年间电力消费与经济增长的关系。

匡耀求^[15]使用趋势情景分析法预测了广东能源消费与碳排放的发展趋势。已有成果主要存在如下局限性: (1) 大多数研究仅使用统计频率低的年度数据, 样本量与颗粒度小, 不足以在较高的置信度下准确揭示变量之间的动态关系。(2) 随着我国“十三五”以来新能源产业迅猛发展, 能源产业对经济的影响已从单纯的生产要素演化为制造业增长的驱动因素。文献中以工业化前中期为样本的研究结论无法有效反映新发展阶段下能源行业与国民经济的相互作用, 应利用最新数据进行重新评估。文章收集了分行业按月、季统计的广东省最新能源与经济发展指标数据, 分别利用 VAR 模型与 Feder 生产函数测算并交叉验证了广东省能源行业发展对经济增长的贡献, 解决了现有研究中置信度与时效性不足的问题。

1 研究数据与初步分析

权威、可靠、全面的数据是定性与定量分析的基础。由于目前文献中并无可靠的广东各类能源与经济指标数据集, 首先需使用数据挖掘方法收集整理相关指标数据为后续开展量化分析提供条件。

广东省官方统计数据主要由广东省统计局发布, 包括各年底发布至其前一年为止各种统计数据的广东省统计年鉴^[16]和与在广东省统计信息网^[17]发布, 包含部分部门月度、季度数据的各种统计报告。综合考虑数据可用性与相关文献, 选取表 1 中指标进行量化分析, 并编写程序从对应原始数据发布页中收集整理。其中, 广东工业分行业增加值^[18]包括了精确到 41 个工业门类的月度数据。

根据国民经济行业分类(GB/T 4574—2017), 能源行业由包括煤炭开采和洗选业、石油和天然气开采业的能源开采业, 由包括石油、煤炭及其他燃料加工业、电力、热力生产和供应业、燃气生产和供应业的能源加工业组成。分析中的能源行业增加值、能源行业投资由上述分行业数据加总计算。

2000 年以来, 广东省能源行业总增加值持续增长(图 1), 从 21 世纪初的 689 亿元增长到 2021 年的 3 593 亿元, 累计增长 4.2 倍, 年均增速 9.6%。分阶段看, 2000 年至 2013 年能源行业增加值增速快速攀升后震荡回落, 总体增速保持在较高水平, 年均增速 12.6%; 2013 年后增速总体呈缓慢下降趋势, 2021、2022 年由于煤炭、天然气等大宗能源商品价格大幅

表 1 量化分析中使用的数据

Tab. 1 Data used in quantitative analysis

数据名称	时间范围	周期	单位
广东省地区生产总值	2004—2023	年/季	亿元
广东省工业分行业增加值	2002—2023	年/月	亿元
广东省总固定资产投资	2006—2023	年/月	亿元
广东省能源行业投资	2006—2023	年/月	亿元
广东省总就业	2014—2022	年/季	万人

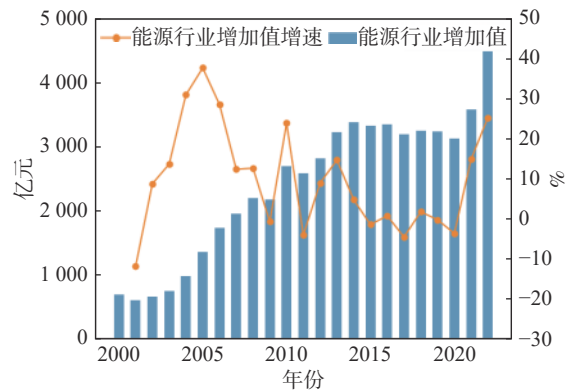


图 1 2000—2022 年广东省能源行业增加值及其增速

Fig. 1 Energy sector added-value and growth rate of Guangdong from 2000 to 2022

上涨, 增速明显回升。

从能源行业增加值的构成(见图 2)看, 电力热力生产和供应业一直是广东能源行业的支柱, 占比最高达 70%, 近年来占比有所下降, 但仍在 50% 左右。煤炭开采与洗选业自 2005 年广东退出煤炭生产后占比极低。随着 2000 年以来广东一批石化项目陆续投产、达产和天然气消费的快速增长, 石油煤炭及其他燃料加工业、燃气生产和供应业的占比总体呈上升趋势, 至 2023 年分别提升至约 25%、10%。

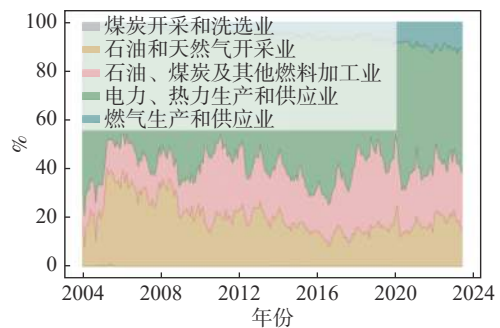


图 2 2004—2023 年广东省能源行业增加值构成(月度)

Fig. 2 Structure of energy sector added-value in Guangdong from 2004 to 2023 (Monthly)

能源产业的发展与国民经济整体结构有密切的关系。Simon Kuznets 基于产业结构的划分标准^[19]与 Chenery 的一般标准工业化模型中以人均 GDP 的判断标准^[20]均表明,广东省在 2012 年前后进入工业化后期。从能源行业增加值占当年工业增加值、当年地区生产总值的比重变化趋势来看(见图 3),2012 年前能源行业占比呈震荡上升趋势,同期广东的电力供应较为紧张。2013 年后随着经济进入新常态,能源需求增速降低,能源基础设施建设进度放缓,能源行业增加值占比也逐渐下降。“十四五”后期,“双碳”目标推动能源结构转型速度加快,海上风电、光伏与清洁煤电建设加快,加上同期高耗能产业投资大幅上升^[17],拉动了能源行业增加值占比再次上涨。

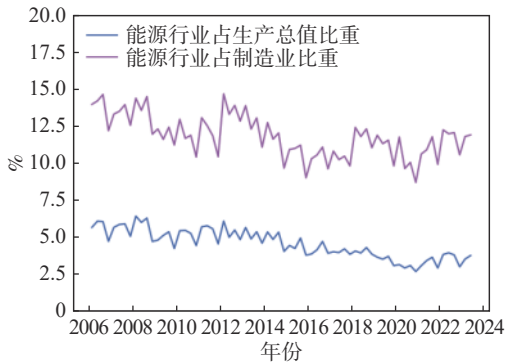


图 3 2006—2023 年广东省能源行业增加值占生产总值与全制造专业增加值比重(月度)

Fig. 3 Share of energy sector added-value in total regional production and manufacturing added-value from 2006 to 2023 (Monthly)

2 分析方法

本节利用广东省 2014—2023 年能源行业发展与经济增长指标数据,通过限制 VAR 模型与 Feder 生产函数对工业化后期阶段广东能源行业的经济贡献进一步展开定量分析。首先对文中采用的理论、方法及研究步骤进行简单介绍。

2.1 原始数据前处理与检验

由于原始数据均为时间序列,在进行分析前需要使各数据变量的统计频率、时间范围和统计口径全部一致。在广东公布的官方数据中,整体 GDP 数据按季度公布,工业部门的增加值、电力消费、投资等数据却精确到月度,各指标变量的统计周期间存

在较大差异。为保持一致,将月度数据均按对应季节加总后形成季度数据。由于广东省没有发布精确到能源或电力行业的价格指数,所有经济变量均保留现价计算方式。由于 2018 年后不再公布各部门固定资产投资绝对值,2018—2023 年的固投数据均按公布的增速推算。

进行回归模型的拟合之前,一般需要通过平稳性检验来判断变量时间序列的平稳性,避免出现“伪回归”,即由于变量随着时间变化的不平稳成分在拟合结果中占据权重过大,出现虽然拟合优度和显著性指标足够好,但实际无法真实反映变量间均衡关系的现象,造成结论可靠性较低。首先使用较为通用的增广式迪基-富勒(Augmented Dickey-Fuller, ADF)单位根检验测试各变量的平稳性,根据结果对变量统一进行差分、去除线性分量、取对数等平稳化处理。

协整检验是一种通过分析时间序列间协方差和相关系数来描述时间序列间长期相关性和稳定性的关系的统计工具。在分析中协整检验具有两方面的作用:(1)通过验证变量间长期稳定均衡关系的数量,为 Granger 因果性检验结果提供支撑,从而明确限制 VAR 模型中的约束项;(2)作为生产函数动态模型中建立误差修正项的参考^[21]。本研究中由于同一面板内变量数量较多,选择使用更适合用于存在多对长期关系的情况下的 Johansen 迹检验。

2.2 限制向量自回归 (VAR) 模型

VAR 模型是一个多变量随机过程,用于概括多个随时间变化的量之间的线性相关关系^[22]。在 VAR 模型中,每个变量的状态变化由模型中所有变量最大 n 期的滞后值和固定截距项决定。模型的阶数通常根据不同可能滞后值的多次试算得出的赤池信息准则(Akaike Information Criteria, AIC)选择。阶数为 n 的 VAR 模型的一般形式如式(1)所示,其中 X 是所有变量的状态向量, C 和 A_i 分别是时不变的截距与各阶迟滞的系数矩阵, e_t 是回归误差。确定 VAR 模型的参数需要计算所有系数矩阵 A_i 与截距矩阵 C ,可以等同于一个超定的线性系统参数识别问题,并使用回归方法求解。

$$X_t = C + \sum_{i=1}^n A_i X_{t-i} + e_t \quad (1)$$

限制向量自回归模型(Restricted-VAR)是 VAR

模型的一种特殊情况^[23]。通过在参数回归过程中加入约束, 可以间接规定系数矩阵 C 和 A 中指定元素的符号与大小, 从而提高回归模型的现实意义。一般使用 Granger 因果性检验结果判断各变量间关系的显著性, 并对 VAR 模型中对应不显著关系的系数施加零约束, 使 Granger 检验判定不存在因果关系的变量间系数为 0。

完成了 VAR 模型的参数计算后, 可以使用冲激响应函数分析 (Impulse Response Function, IRF) 研究 VAR 模型的动态特性。在经典系统与控制理论中, 一个线性系统的冲激响应函数是该系统的输入变量为单位冲激函数时, 整个系统输出的经时间衰减的自然响应。由于 VAR 模型也属于线性系统, 可以使用类似理论通过冲激响应对 VAR 模型进行研究^[24]。通过对代表能源行业发展的指标施加冲激函数并观察经济增长指标的动态表现, 可以定量分析能源行业与经济增长间的相互作用关系。

预测误差方差分解 (Forecast Error Variance Decomposition, FEVD) 是一种常用于分析时间序列模型中各变量对未来波动的贡献程度的技术。通过计算并比较 VAR 模型预测结果中的方差中来源于各输入的贡献, 可以得出模型中各自变量对因变量影响力程度的相对大小^[25]。

2.3 Feder 两部门生产函数模型

Feder 模型是一种同等技术水平下生产要素的投入和产出间的数量关系进行定量分析的方法。该方法首次由世界银行的经济学家 Gershon Feder 于 1982 年提出^[26], 用于测算并对比各发展中国家 10 年间出口产业的经济贡献。Feder 两部门模型理论将出口产业对各国整体经济的贡献分为直接贡献和间接贡献, 将一国或地区的所有国民经济部门根据部门产品是否对外出口划分为出口与非出口两大部门, 将国民经济领域的生产活动全部划分在这两个经济部门之一中进行。

基于 Feder 两部门模型构建生产函数, 将整体经济产出分为能源和非能源部门, 能源行业的产出作为非能源行业的生产要素建模, 分析能源部门增长对整体经济增长的间接贡献。根据 Feder 两部门分析思想, 建立如下生产函数:

$$Y = f(K_N, L_N, E) + g(K_E, L_E) \quad (2)$$

其中 Y 代表整体经济产出, 由代表全部非能源部门 (下标 N) 的生产函数 f 和代表能源部门 (下标 E) 的生产函数 g 组成。能源部门的产出由能源部门投资 K_E 和劳动力 L_E 决定, 而能源部门的产出 E 作为非能源部门的生产要素, 与非能源部门的投资和劳动力决定整体经济产出。由于各指标数据单位不一、数量级相差较大, 将原始数据归一化并统一化为百分比增速, 根据式 (2) 中生产函数并参考 Feder 理论^[21] 建立如下线性回归模型:

$$\frac{\Delta Y}{Y} = C + \alpha \frac{\Delta K}{K} + \beta \frac{\Delta L}{L} + \gamma \frac{\Delta E}{Y} + \delta \frac{\Delta E}{E} + \varphi ECM + \varepsilon \quad (3)$$

其中, 整体经济指标 Y 由地区生产总值代表; 总资本投入 K 由广东省固定资产完成情况月报中总投资额代表; 劳动力指标 L 由总就业人口代表; 能源部门产出 E 由各能源部门增加值总和代表。在变量间存在协整关系时, 使用原始数据回归试算得出残差的一阶滞后序列建立误差修正模型 (Error Correction Model, ECM) 加入模型中以增强短期动态回归精度。模型系数 α 、 β 分别代表资本、劳动力的边际生产弹性, γ 可用于计算能源与非能源部门边际生产率的差异, δ 代表了能源部门对整体经济产出的溢出效应。

3 实验结果

3.1 协整、平稳性检验与前处理

首先对未平稳化的原始数据进行 Johansen 协整检验验证各指标间的长期均衡关系。判定各指标间存在协整关系, 可以支撑 VAR 模型建立前进行 Granger 因果性检验的结论。协整关系检验结果也可用于在生产函数回归中建立误差修正项, 利用变量间的长期均衡关系根据预测误差动态修正每一期的回归与预测结果, 从而提高模型的优度。

表 2 总结了对进行协整检验的结果。在 5% 显著性水平下, 最多可以拒绝协整秩为 0~3 的零假设, 表明数据横截面中的 5 个变量之间存在 4 个长期均衡关系。

对原始数据及其一阶差分进行平稳性检验 (表 3), 发现除能源投资外的 4 个变量均在 5% 显著性水平下与一阶差分后平稳。由于此 4 个变量达到平稳所需要的差分阶数相同, 均为一阶单整, 支持了协整性存在的结论。在后续建模分析中, 由于 VAR 模型与

表 2 量化分析中原始数据间协整关系检验结果

Tab. 2 Johansen cointegration test results for raw data panel used in quantitative analysis

虚无假设(H_0)	迹统计量	显著性(5%)	结论
没有协整关系	136.901	69.063	拒绝
不大于1个协整	75.467	40.175	拒绝
不大于2个协整	37.280	24.276	拒绝
不大于3个协整	13.531	12.321	拒绝
不大于4个协整	2.9878	4.129	无法拒绝

生产函数模型的性质不同,在 VAR 模型中,对全部数据同时取对数处理以平稳化;在 Feder 模型拟合中,由于式(3)中的生产要素不包括能源行业投资,而其余变量均已平稳,故采用一阶差分的原始数据结合 ECM 进行生产函数拟合。

表 3 量化分析数据单位根检验结果

Tab. 3 Unit root test results for data used in quantitative analysis

数据名称	前处理	ADF	显著性(5%)	P值	结论
地区生产总值	原始数据	0.066	-2.964	0.964	非平稳
	一阶差分	-4.294		0.005	平稳
总固定资产投资	原始数据	-1.882	-2.954	0.340	非平稳
	一阶差分	-3.078		0.028	平稳
总就业	原始数据	-1.232	-2.949	0.660	非平稳
	一阶差分	-5.492		0.000	平稳
能源行业增加值	原始数据	0.943	-2.964	0.966	非平稳
	一阶差分	-3.117		0.025	平稳
能源行业投资	原始数据	-0.404	-2.968	0.909	非平稳
	一阶差分	-1.638		0.463	非平稳

3.2 基于限制向量自回归模型的整体贡献分析

为确定 VAR 模型中非零参数的数量与位置,首先对平稳化后的数据进行 Granger 因果关系检验。每次检验的虚无假设都是:原因变量的过去值对结果变量的未来值没有显著影响。表 4 中整理了各指标变量间的 Granger 检验结果,检验结果以矩阵的形式呈现,其中每个元素的行名和列名分别对应 Granger 因果关系的原因与结果,每个元素的值为拒绝虚无假设的 p 值。

检验结果表明数据横截面中存在多对 Granger 因果关系。除能源行业投资外,地区生产总值与其他变量的检验均在高显著性水平下通过,说明了此发展阶段下能源行业发展与整体经济发展间的互相

表 4 限制 VAR 模型中数据 Granger 因果关系

Tab. 4 Granger causality matrix for data used in restricted VAR model

结果变量	原因变量				
	生产总值	总投资	能源投资	能源增加值	总就业
生产总值	1	0.005 4	0.091 7	0	0
总投资	0	1	0.011 9	0	0
能源投资	0.012 8	0.057 3	1	0	0
能源增加值	0.001 1	0.002 4	0	1	0.141 4
总就业	0.016 9	0.031 5	0.010 3	0.174 0	1

注: p -值小于0.01%时记为0。

促进关系。能源增加值与除就业以外的指标间都存在双向的 Granger 关系,说明能源行业与国民经济间关联较为明显。此数据横截面反映了广东经济结构持续升级和改革的过程中,不断提高的工业生产力创造了日益增长的能源需求,并刺激了能源基础设施的发展,这反过来又促成了对可靠和低成本能源供应具有强烈依赖性的高科技产业的建立。从长远来看,由于广东省政府制定了以实体经济为导向的发展战略,目前区域发展规划中包括了多个超超临界燃煤电厂和能源密集型计算中心与石化、化工项目,省内能源需求在“十五五”可能将持续增长。为了在满足能源需求的同时实现减排目标,未来的能源政策应重点推进清洁能源一体化和节能技术。

表 5 中 Granger 检验的结论被用来建立限制 VAR 模型。结果显示,能源投资到生产总值、总投资到能源投资和能源增加值与总就业之间的因果关系在 5% 的水平上不显著,因此在 VAR 模型中剔除相应项,通过在回归过程中加入零约束,强制其对应的系数为零。完成回归后,使用单位根检验模型的

表 5 VAR 模型中生产总值预测误差方差分解结果

Tab. 5 FEVD result for total regional production in VAR model

期数	生产总值	总投资	能源投资	能源增加值	总就业
1	0.553	0.190	0.042	0.155	0.058
2	0.435	0.238	0.036	0.200	0.089
3	0.389	0.255	0.032	0.219	0.104
4	0.370	0.262	0.029	0.228	0.111
5	0.359	0.265	0.028	0.232	0.115
6	0.354	0.267	0.027	0.234	0.117
7	0.351	0.268	0.026	0.235	0.118
8	0.349	0.268	0.026	0.236	0.118

数值稳定性, 即系数矩阵 A_1 的特征值全部位于复平面的单位圆内。

接下来使用冲激响应分析参数确定后 VAR 模型中关键变量间的动态表现。图 4 中展示了对各个自变量施加单位冲激后生产总值的短期累积动态响应。在每幅图中, 蓝色实线代表各自变量施加冲击后 10 期内生产总值的累计变化, 黑色实线是 10 期间的平均值。

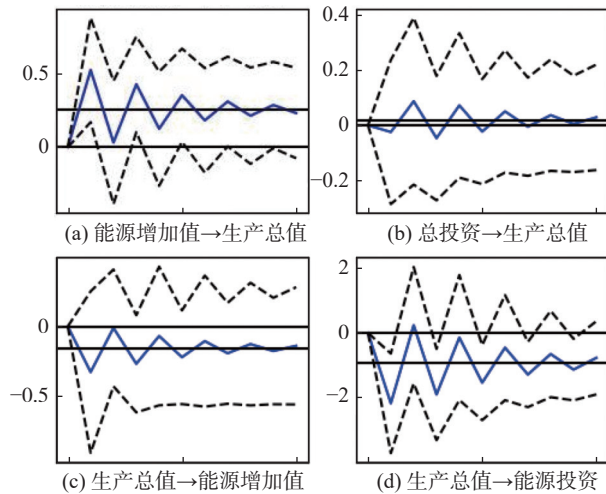


图 4 VAR 模型中相关自变量与生产总值间的冲激响应
Fig. 4 Impulse response plot between related independent variables and total regional production

从图 4 中可以看出, 能源增加值的单位冲激对生产总值产生较为明显的正向影响, 冲激发生后 10 期内收敛至约 0.255 个单位。表明如下一季度能源行业增长 1 个单位, 会在之后数月内对整体经济产生相当于当季生产总值 0.255 个单位的累积影响。投资对生产总值的拉动效应则较不明显。从经济增长对能源行业的影响看, 生产总值对能源投资、能源增加值的累积影响均小于 0, 在一定程度上侧面印证了广东能源消费与经济脱钩趋势。在数据横截面的时间范围上, 广东正处于能源消费与 GDP 增长脱钩的过程中。同期, 越来越多的经济增长来自于第三产业的扩张, 而第三产业的能源强度较低, 并不会引起能源需求的剧烈增长。

最后对 VAR 模型进行 FEVD 分析研究各因素对经济增长指标变化的相对影响力。表 6 中展示了对最多 8 期生产总值对于各变量 FEVD 分析的结果。从表中看出, 生产总值的演变动态在短期主要来源于自回归项, 受其他变量影响相对较小。在各影响

因素中, 总投资与能源增加值变化对生产总值变化的解释率较明显, 分别达到 25% 与 22% 左右。总就业对于生产总值的影响在初期较小, 但 4 期后即上升至 10% 以上。

表 6 Feder 生产函数模型回归参数

Tab. 6 Regression parameters of Feder production function

回归模型指标	数值	
R^2	0.869	
F-统计量	13.23	
P值	0.000 385	
AIC	-65.86	
变量	系数	显著性(P值)
固定资产投资	0.437 9	0.017
总就业	-0.935 7	0.087
能源增长/生产总值	-2.079 7	0.651
溢出效应系数	0.387 1	0.05
误差修正项	-0.878 0	0.005

3.3 基于生产函数模型的溢出效应分析

将历史数据代入(3)式中建立的 Feder 生产函数回归模型, 使用生产总值、总投资、总就业、能源行业增加值的增长率以及能源增加值增长与生产总值的比值等变量进行直接回归并计算残差。所用变量均为一阶单整且存在协整关系, 需要将残差的一阶滞后作为额外误差修正变量进行重新拟合并使用包含误差修正项的结果作为分析参考。

使用最小二乘法回归计算各项参数并列于表 6 中。观察各模型指标可以发现, 反映拟合优度的 R^2 指标为 0.869, 说明几个自变量指标的变化可以解释 86.9% 生产总值的变化; P 值为 0.000385, 说明模型的置信度在 0.0385% 水平, 优于一般经验的 5% 标准。分析模型中各项参数, 其中代表总就业的系数显著性较低, 对整体经济影响较为不明显, 支持了表 5 中对 VAR 模型的方差分解分析结论。总投资、能源行业溢出效应指标与误差修正项系数显著性超过 5% 水平, 能源行业溢出效应的系数 δ 为 0.3871, 说明在其他条件不变的情况下, 能源产业增加值增长 1 个单位, 可以通过溢出效应促进非能源部门产出增长 0.387 个单位。与文献中类似结论^[27]对比发现, 此结果稍高, 推测可能由于广东省外电、一次能源输入占比较高, 而这部分能源的增加值未纳入广东省

统计数据,导致能源行业的对应系数偏高。最后,误差修正项参数(即调整系数)小于0并在0.5%水平显著,说明短期波动偏离均衡时,以87.8%的速率将因变量拉回均衡状态,从回归角度印证了各变量间长期均衡关系的存在。

图5使用回归后的模型代入各自变量数据计算生产总值(红色虚线)并与真值(蓝色圆点)进行比较。观察模型与真值对比结果,可以发现此次回归精确度较高,较为有效的预测了因变量的变化趋势,对几个波动较大的数据点预测较为精准,侧面说明使用能源增加值对生产总值建模估算有较明显的作用。

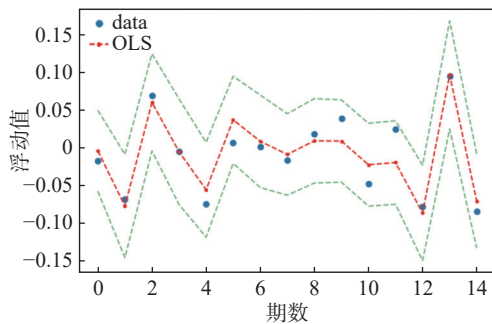


图5 Feder模型生产总值预测值与真值对比

Fig. 5 Comparison between Feder model prediction and real values

4 结论与建议

文章以广东省工业化后期阶段为对象,分别使用VAR模型与Feder生产函数从实证角度定量分析了此阶段能源行业发展对国民经济增长的贡献。整体来看,进入工业化后期后,工业基础设施建设基本完善,受经济结构转型升级与制造业高端化趋势影响,能源行业与总体经济发展间体现了相互促进的关系。根据Granger因果关系检验与VAR模型分析,能源行业增加值对经济增长的贡献较为明显,而能源投资的经济带动作用相对不足。Feder两部门生产函数分析结果量化了能源行业增长对国民经济其他部门的溢出效应,也反映了能源行业作为经济发展的“晴雨表”作用。综合文中分析结果与广东发展实际,为助力广东能源行业高质量发展提出如下建议:

1)适度超前布局能源基础设施建设。Granger检验与VAR模型的分析结果均表明,能源行业投资对经济的拉动作用较低。从带动经济发展的角度看,

投资更适合投向电子信息、通信等回报率更高、溢出效应更强的产业。但在“以实体经济为本,坚持制造业当家”的发展方针下,预计广东的能源与电力需求将保持上升趋势。能源基础设施既是制造业高端化转型的重要支撑,也能为长期更大规模新能源接入并网预留裕度。建议适度超前建设能源与电力基础设施,在满足规划内用能需求的基础上,将资源优先投向经济带动作用更明显的产业。

2)重视碳达峰碳中和下能源相关行业的新机遇。随着能源结构进入深刻调整期,广东省内风电设备、光伏组件、电池等能源相关产业的技术与经济溢出效应更为明显^[28-29]。建议结合新能源大规模投资建设、消费侧能源需求转型的大趋势,为市场空间大、科技创新含量高、拉动能力强的产业部门提供政策支持,推动战略性新兴产业融合集群发展,加快形成新质生产力。

参考文献:

- [1] 广东省能源局.《广东省培育新能源战略性新兴产业集群行动计划(2023-2025年)》[EB/OL].(2024-01-22)[2024-03-04].
<https://www.163.com/dy/article/IPA0FIRK0519BMQA.html>.
Guangdong Provincial Energy Bureau. Guangdong bureau of energy, action plans for the cultivation of new energy strategic industrial clusters in Guangdong [EB/OL]. (2024-01-22) [2024-03-04]. <https://www.163.com/dy/article/IPA0FIRK0519BMQA.html>.
- [2] OZTURK I. A literature survey on energy-growth nexus [J]. *Energy policy*, 2010, 38(1): 340-349. DOI: 10.1016/j.enpol.2009.09.024.
- [3] MBAREK M B, NASREEN S, FEKI R. The contribution of nuclear energy to economic growth in France: short and long run [J]. *Quality & quantity*, 2017, 51(1): 219-138. DOI: 10.1007/s11135-015-0302-1.
- [4] GABRIEL L F, DE SANTANA RIBEIRO L C. Economic growth and manufacturing: an analysis using panel VAR and intersectoral linkages [J]. *Structural change and economic dynamics*, 2019, 49: 43-61. DOI: 10.1016/j.strueco.2019.03.008.
- [5] LEE J W. The contribution of foreign direct investment to clean energy use, carbon emissions and economic growth [J]. *Energy policy*, 2013, 55: 483-489. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.12.039.
- [6] 徐勇. 中国国内旅游业发展及其与经济增长关系的计量分析 [D]. 大连: 东北财经大学, 2012.
XU Y. Econometric analysis of the development of China's domestic tourism industry and the relationship between economic growth and the development of China's domestic tourism industry

- [D]. Dalian: Dongbei University of Finance and Economics, 2012.
- [7] ORYANI B, KOO Y, REZANIA S, et al. Investigating the asymmetric impact of energy consumption on reshaping future energy policy and economic growth in Iran using extended cobb-Douglas production function [J]. *Energy*, 2021, 216: 119187. DOI: [10.1016/j.energy.2020.119187](https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119187).
- [8] TUGCU C T, OZTURK I, ASLAN A. Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth relationship revisited: evidence from G7 countries [J]. *Energy economics*, 2012, 34(6): 1942-1950. DOI: [10.1016/j.eneco.2012.08.021](https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.08.021).
- [9] 焦兵, 张文彬. 陕西省能源产业投资对经济增长贡献的实证研究——基于菲德模型的计量检验 [J]. *统计与信息论坛*, 2010, 25(11): 67-70. DOI: [10.3969/j.issn.1007-3116.2010.11.014](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-3116.2010.11.014).
JIAO B, ZHANG W B. The empirical research on the relationship between the energy investment and the economical growth in Shaanxi province: based on the feder model [J]. *Statistics & information forum*, 2010, 25(11): 67-70. DOI: [10.3969/j.issn.1007-3116.2010.11.014](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-3116.2010.11.014).
- [10] FATURAY F, VUNNAVA V S G, LENZEN M, et al. Using a new USA multi-region input output (MRIO) model for assessing economic and energy impacts of wind energy expansion in USA [J]. *Applied energy*, 2020, 261: 114141. DOI: [10.1016/j.apenergy.2019.114141](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114141).
- [11] LEE I, JANG S, CHUNG Y, et al. Economic spillover from renewable energy industries: an input-output analysis [J]. *International journal of green energy*, 2022, 19(8): 809-817. DOI: [10.1080/15435075.2021.1963258](https://doi.org/10.1080/15435075.2021.1963258).
- [12] 崔维军, 李博然. 制造业对区域经济增长的贡献: 基于江苏省投入产出表的实证分析 [J]. *统计与决策*, 2009(14): 117-119.
CUI W J, LI B R. Contribution of manufacturing sector to regional economic growth: empirical analysis based on Jiangsu input-output table [J]. *Statistics and decision*, 2009(14): 117-119.
- [13] 郭贤明, 钟式玉. 广东新能源产业对经济发展的作用与潜力 [J]. *电力与能源*, 2015, 36(5): 653-657. DOI: [10.11973/dlyny201505011](https://doi.org/10.11973/dlyny201505011).
GUO X M, ZHONG S Y. Effect and potential of new energy industry on economic development in Guangdong [J]. *Power & energy*, 2015, 36(5): 653-657. DOI: [10.11973/dlyny201505011](https://doi.org/10.11973/dlyny201505011).
- [14] LV L H, LUO H, ZHANG B L. Relationship between electricity consumption and economic growth of Guangdong province in China [J]. *Frontiers in energy*, 2012, 6(4): 351-355. DOI: [10.1007/s11708-012-0209-7](https://doi.org/10.1007/s11708-012-0209-7).
- [15] 匡耀求. 广东能源消费碳排放趋势与前景展望 [J]. *南方能源建设*, 2015, 2(1): 1-10. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.01.001](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.01.001).
KUANG Y Q. Trend and outlook of carbon emission from energy consumption in Guangdong province, China [J]. *Southern energy construction*, 2015, 2(1): 1-10. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.01.001](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.01.001).
- [16] 广东省统计局. 广东统计年鉴 [EB/OL]. (2023-10-31) [2024-02-29]. <http://stats.gd.gov.cn/gdtjnj/>.
Statistics Bureau of Guangdong Province. Guangdong statistical yearbook [EB/OL]. (2023-10-31) [2024-02-29]. <http://stats.gd.gov.cn/gdtjnj/>.
- [17] 广东省统计局. 广东统计信息网统计数据 [EB/OL]. (2024-01-31) [2024-02-29]. <http://stats.gd.gov.cn/tjsj186/>.
Statistics Bureau of Guangdong Province. Guangdong statistical informationsite [EB/OL]. (2024-01-31) [2024-02-29]. <http://stats.gd.gov.cn/tjsj186/>.
- [18] 广东省统计局. 主要行业工业增加值 [EB/OL]. (2023-05-06) [2023-05-29]. <http://stats.gd.gov.cn/zyhygyzj/>.
Statistics Bureau of Guangdong Province. Added value of main industrysectors [EB/OL]. (2023-05-06) [2023-05-29]. <http://stats.gd.gov.cn/zyhygyzj/>.
- [19] KUZNETS S. Economic growth of nations: total output and production structure [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1971.
- [20] CHENERY H B. Industrialization and growth: alternative views of east Asia [M]. Cambridge University Press, 1986.
- [21] LÜTKEPOHL H. New introduction to multiple time series analysis [M]. Berlin: Springer, 2005. DOI: [10.1007/978-3-540-27752-1](https://doi.org/10.1007/978-3-540-27752-1).
- [22] TODA H Y, PHILLIPS P C B. Vector autoregression and causality: a theoretical overview and simulation study [R]. New Haven: Cowles Foundation, 1991.
- [23] FRY R, PAGAN A. Sign restrictions in structural vector autoregressions: a critical review [J]. *Journal of economic literature*, 2011, 49(4): 938-960. DOI: [10.1257/jel.49.4.938](https://doi.org/10.1257/jel.49.4.938).
- [24] KOOP G, PESARAN M H, POTTER S M. Impulse response analysis in nonlinear multivariate models [J]. *Journal of econometrics*, 1996, 74(1): 119-147. DOI: [10.1016/0304-4076\(95\)01753-4](https://doi.org/10.1016/0304-4076(95)01753-4).
- [25] LÜTKEPOHL H. Asymptotic distributions of impulse response functions and forecast error variance decompositions of vector autoregressive models [J]. *The review of economics and statistics*, 1990, 72(1): 116-125. DOI: [10.2307/2109746](https://doi.org/10.2307/2109746).
- [26] FEDER G. On exports and economic growth [J]. *Journal of development economics*, 1983, 12(1/2): 59-73. DOI: [10.1016/0304-3878\(83\)90031-7](https://doi.org/10.1016/0304-3878(83)90031-7).
- [27] 张文彬. 陕西省能源产业经济溢出效应分析 [D]. 西安: 西安财经学院, 2012.
ZHANG W B. The economic spillover effects of energy industry in Shannxi [D]. Xi'an: Xi'an University of Finance and Economics, 2012.
- [28] 袁威. 低碳经济背景下新能源行业发展现状分析 [J]. *储能科*

学与技术, 2023, 12(11): 3589-3590.

YUAN W. Analysis on the current situation of new energy industry under the background of low-carbon economy [J]. Energy storage science and technology, 2023, 12(11): 3589-3590.

- [29] 刘雅琴, 余谦. 新能源汽车产业技术创新网络的时空演化与创新集聚 [J]. 大连理工大学学报 (社会科学版), 2020, 41(6): 36-44. DOI: [10.19525/j.issn1008-407x.2020.06.005](https://doi.org/10.19525/j.issn1008-407x.2020.06.005).

LIU Y Q, YU Q. Temporal-spatial evolution and innovation agglomeration of technological innovation network in new energy vehicle industry [J]. Journal of Dalian university of technology (social sciences), 2020, 41(6): 36-44. DOI: [10.19525/j.issn1008-407x.2020.06.005](https://doi.org/10.19525/j.issn1008-407x.2020.06.005).

作者简介:



吴东奇

吴东奇 (通信作者)

男, 博士, 美国德克萨斯农工大学电气工程专业毕业, 工程师, 主要从事电力系统规划及运行研究工作 (e-mail) wudongqi@gedi.com.cn。

项目名称 碳达峰碳中和背景下广东省能源与经济发展关系研究 (EV10981W)

承担单位 中国能建广东院

项目概述 本项目依托中国能建重点科技项目《“项目依托中国碳达峰碳中和系统解决方案研究”, 以广东省为分析对象, 立足广东省情与发展实际, 结合利用宏观经济政治环境、战略政策规划对发展趋势进行预测的定性分析与基于大量经济与能源发展指标数据使用计量经济学与统计方法的定量分析, 探究总结广东省能源消费与经济发展之间的关系变化和发展趋势, 为未来政策制定和产业规划提供启示和参考。

主要创新点 本课题利用涵盖能源经济运行各方面的高频详细数据建立数据集, 对广东不同发展阶段下能源与经济的进行全面研究。研究中综合考虑了新发展阶段下能源产业作为生产要素与制造业成分两个方面分析了能源行业的经济贡献。

(编辑 徐嘉铨)