

引用格式: 吴东奇, 甘俊文, 郭经韬, 等. 广东能源与经济发展关系演变的实证分析 [J]. 南方能源建设, 2024, 11(2): 189-197. WU Dongqi, GAN Junwen, GUO Jingtao, et al. Empirical research on the evolution of relationship between energy and economic development in guangdong [J]. Southern energy construction, 2024, 11(2): 189-197. DOI: [10.16516/j.ceec.2024.2.19](https://doi.org/10.16516/j.ceec.2024.2.19).

广东能源与经济发展关系演变的实证分析

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] 改革开放以来, 广东在经济建设、能源发展上取得了显著成就。当前广东省经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段。在当今世界“百年未有之大变局”影响和“双碳”目标与产业转型升级的迫切需求下, 广东省经济发展与能源消费关系的底层逻辑逐步改变。充分理解能源消耗与经济的关系, 是最优化资源配置并利用好“双碳”机遇促进中国能源和经济协同高质量发展不可或缺的理论基础。[方法] 选取有代表性的关键指标数据整合并使用格兰杰因果性检验量化分析广东省改革开放以来各个发展阶段下能源消费与经济增长的关系。[结果] 分析结果显示, 在改革开放至今的整个时间段上能源消费与经济增长间体现了不一致的统计关系方向, 而20世纪90年代进入工业化中后期后, 经济增长是能源消费显著的格兰杰原因。[结论] 改革开放以来, 广东省在不同发展阶段下能源与经济关系出现变化, 工业化中期开始制造业的高速发展带动了能源消费增长, 呈现出明显的需求导向特征。

关键词: 能源规划; 能源经济; 数据科学; 统计学; 格兰杰分析

中图分类号: TK01; F426.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2024)02-0189-09

DOI: [10.16516/j.ceec.2024.2.19](https://doi.org/10.16516/j.ceec.2024.2.19)

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



论文二维码

Empirical Research on the Evolution of Relationship Between Energy and Economic Development in Guangdong

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] Since the initiation of China's "reform and opening up" policy in 1978, Guangdong Province has achieved significant progress in economic growth and energy sector development. The provincial economy has shifted from rapid growth to emphasizing high-quality development. In the face of profound changes unseen in a century around the world and the imminent need to achieve "carbon peak and neutrality" goals, as well as industrial transformation and upgrading, the underlying relationship between energy consumption and economic development has gradually evolved in Guangdong. Therefore, a comprehensive understanding of this new relationship serves as a theoretical grounding for the allotment of resources and utilization of opportunities arising under the "carbon peak and neutrality" goals, which is indispensable to facilitating high-quality and coordinated development in the energy sector and economy development. [Method] A quantitative analysis of the relationship between energy consumption and economic growth in different development stages of Guangzhou since 1987 was presented, using representative energy and economic indicators and through the Granger causality test. [Result] The results reveal that the relationship between energy consumption and economic growth in Guangdong is not statistically consistent throughout the entire period from 1987 until now. However, economic development became a significant Granger cause for the surge in energy consumption after Guangdong entered its middle and later stage of industrialization in the mid-90s. [Conclusion] Guangdong has experienced a changing relationship between energy and economy in its different stages of development since 1987. The rapid growth of the manufacturing sector has stimulated the growth in energy consumption, exhibiting a distinct characteristic of demand-driven growth.

Key words: energy planning; energy economy; data science; statistics; Granger causality analysis

收稿日期: 2023-04-26 修回日期: 2023-06-26

基金项目: 中国能建广东院科技项目“碳达峰碳中和背景下广东省能源与经济发展关系研究”(EVI0981W)

2095-8676 © 2024 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

广东省作为中国改革开放的前沿地区,以其优越的地理位置、开放的市场环境和创新的经济政策,成为了中国经济的重要引擎。2022 年为止,广东省经济总量连续 34 年居全国第一,并与韩国、俄罗斯、加拿大等许多中等发达国家基本相当。广东省经济以制造业为主导,拥有强大的制造业基础和完善的供应链体系,而制造业的快速发展带来了对能源的巨大需求和依赖。能源作为保障广东省经济持续发展的基础支撑,对广东省的经济增长、产业结构调整和社会发展产生了深远的影响。因此,深入探究广东省能源消费与经济发展的关系,对于制定科学的能源政策,推动经济、能源协同高质量发展具有重要现实意义。

文章旨在通过对广东省能源消费与经济发展之间关系的实证分析进一步揭示两者之间底层逻辑的变化规律,为政策制定和产业规划提供启示和参考。文章结构安排如下:首先回顾总结文献中对能源与经济关系的研究成果和相关结论;其次展示研究使用的相关指标数据并结合发展历史和政策、形势背景进行初步分析;之后使用围绕格兰杰因果关系检验的一系列数学统计方法对广东省能源与经济关系进行定量分析;最后提炼总结研究成果并提出促进广东省能源高质量发展的建议。

近年来国内外对于能源消费与经济和工业发展关系的研究主要集中于在宏观层面分析经济指标、能源、电力等因素之间的定性关系与互相作用形式的理论的定性分析与使用数学和统计工具描述各指标变量间的相关性和因果性的定量分析。历史上初次研究能源消费与经济发展关系的概念在 1978 年于美国被 J. Kraft 和 A. Kraft 在一篇影响深远的论文^[1]中提出。在当时,各国工业在快速发展期,能源消费与经济发展的“脱钩”进程尚未开始,世界的主流观点为能源消费导致了经济增长。在此背景下,作者尝试使用当时新近提出的 Granger-Sims 因果性检验验证美国战后近 30 年(1947—1974)间总能量输入(Gross Energy Input),即全部能源消费所释放的总热

值与 GNP 之间的关系,并发现统计学上能源与经济关系的因果性方向与主流观点相反,即 GNP 增长单向导致了能源消费的提高。在国内,中国科学院韩智勇^[2]等使用类似方法首次进行以中国大陆为对象的能源和经济之间的关系研究,并发现 1978 年改革开放后中国能耗和经济存在双向的因果关系。国内外对于能源消费与经济发展间关系的研究成果较为丰富^[3-6],多是基于目标经济体在某段历史时期内的经济和能源相关指标等实证结果反推而来。但由于选用数据集、计量经济学方法论的不同,加上各国家和经济体的能源结构、产业构成、政治和经济特色区别,学术界对于能源的发展、消费与经济的相关性并没有统一的主流理论,而很多的研究成果由于使用方法和数学模型的不同甚至得出相反的结论^[7]。Chen 等^[8]通过研究 10 个高速发展中的亚洲国家和地区发现各国 GDP 和电力消耗间的因果性关系受到各国能源政策、文化和经济结构的影响十分显著。

目前已经有部分以广东省为研究对象的学术成果。钟式玉等^[9]使用 stata 软件对 GDP、出口、消费与用电量的年度数据建立多变量回归模型分析电力消费增长的驱动因素;李猛等^[10]通过对比近年产业与能源数据研究与能源政策与经济和能耗的定性关系;Lü 等^[11]使用 Granger 检验分析了省内装机容量、能耗与 GDP 的关系;Yan 等^[12]研究了 1985—2006 年间一次能源消费与人民银行信贷数据间的协整关系。文献 [13-16] 中使用包括协整性、误差修正模型、Granger 检验等方法对全省能源消费和经济总量进行建模分析。曾乐民等^[17]总结了广东能源与经济的历程和发展阶段。大部分现有研究成果存在以下局限性:(1)仅使用统计年鉴中的年度总量数据,样本量较少,无法充分反映指标间的动态关系,也使定量分析结果置信度不足;(2)大部分文献中由于研究时间较早,数据源多截止到 2012 年,而随着“十二五”以来广东省进入工业化后期经济结构改变并大力推进清洁能源发展,能源与经济关系的底层逻辑已经发生变化,有必要使用近年的最新数据进行再评估并验证之前的结论。

1 广东省经济与能源发展概况

1.1 广东省经济发展历程

改革开放前,广东省经济基础较弱,工业化水平低,农业仍然占据主导地位。1978年广东省第一产业占比近30%,人均GDP仅为370元,低于381元的全国人均水平。改革开放政策的实施为广东省带来了巨大的发展机遇,广东通过一系列的经济体制改革和政策创新,积极引进境外资金和技术,鼓励发展民营经济,并充分利用人力和市场优势推进了本地的工业化进程并建立了完整的工业体系。图1展示了改革开放以来广东省GDP和产业结构的演进趋势。在改革开放初期(1979—1990)年均GDP增长约13%,大大高于新加坡、日本、韩国等新兴亚洲国家发展初期的年均增速。以1992年邓小平南巡为标志的进一步开放和市场化改革带领广东经济进入再次起飞期,GDP总量在2000年首次达到1万亿元,2019年超过10万亿元,历年增速均保持在两位数以上。

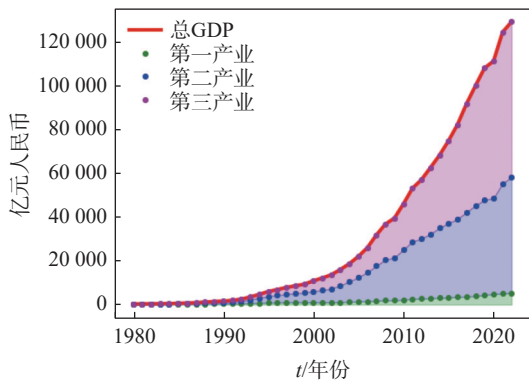


图1 1978—2022年广东省名义GDP与产业结构
Fig. 1 Nominal GDP and industrial structure of Guangdong Province from 1978 to 2022

在经济高速发展的过程中,广东省的产业结构也经历了显著的演进和升级过程,通过引进外资和技术、加强基础设施建设和人才培养等手段,从改革开放前以传统农业和轻工业为主导的经济体系过渡到以电子信息产业、汽车制造、机电装备制造等高新技术高附加值产业为核心的工业化后期阶段。21世纪以来,广东省第三产业也得到迅速发展,逐步形成了以制造业为主,金融、信息、科技创新等现代服务业与制造业并重的产业结构。从图1可以看出,2000年后第二产业增速慢于第三产业增速,2013年

第三产业占比首次超过第二产业,而2020年后第二产业占比又逐渐回升。鉴于广东省以实体经济为本,坚持“制造业当家”的发展规划,未来二产向三产转变的空间不大,而产业结构演进的趋势将以内部的迭代升级为主。

1.2 广东省能源消费概况

广东省既是能源消费大省,又是资源小省,能源消费居全国首位。改革开放以来,能源消费量增长明显,消费结构变化显著。图2中展示了广东省1990—2021年的终端能源消费总量与结构。1990年全省能源消费3936万吨标准煤,到2021年接近3.6亿t,提高近9倍。

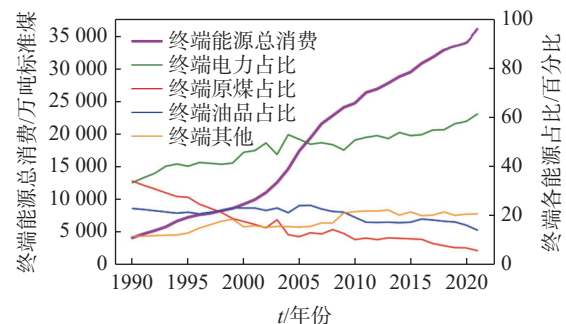


图2 1990—2021年广东省终端能源消费总量与结构
Fig. 2 Total final energy consumption and composition of Guangdong Province from 1990 to 2021

从能源消费量看,1990—2000年基本延续了改革开放初期的稳定增长趋势,年均能源消费增速8.3%。进入21世纪,受亚洲金融危机影响,广东省工业开始“适度重型化”,制造业向外向型转变,高耗能产业快速扩张与产量增大,能源消费量迎来一段快速上升的陡坡期,年均增速达13.7%。2010年后由于工业化体系基本成型,已经过渡到以第三产业为主的经济结构,能源需求增速放缓,2011—2021年均能耗增速下降到3.4%。今后由于广东省众多钢铁、石化等高耗能项目即将投产,预计能源需求仍有较大增长空间,“十五五”后能源消费总量将达4.8亿t标准煤左右。

能源结构方面,1990年原煤、油品、电力分别占总消费量的33.6%、22.4%、33%。2000年前随着电力基础设施建设逐渐完善,终端原煤消费占比稳定下降,2000—2010间的制造业高速发展期有小幅回升并在15%左右波动,2010年后再次下降至2021

年的 5.2%。油品消费总体变化不大,2018 年后随着新能源汽车市占率高速上涨,油品占比下降趋势增快,预计今后将保持下降趋势。到 2021 年,终端电力消费已超 60%,反映了电能替代的推广成果。

1.3 广东省能源与经济关系发展趋势

改革开放以来,广东省经济产业完成了从以农业和手工业为主的工业化起步阶段完成了向服务业、高端制造业不断壮大的工业化中后期的转型。在此过程中,能源消费与经济的关系也经历了数次转变。

图 3 对比了 1990—2021 年能源、电力消费与 GDP 的增速变化。从图中可见,1990—2002 年间,能源消费增速小于 GDP 增速,变化趋势相关性较强;电力消费在 2000 年左右由于电力基建陆续投产,缺电形势得到缓解,短期内增速大幅上升。2002 年前后的制造业扩张期间能源与电力消费增速均超过 GDP 增速,其后又回落到 GDP 增速之下。2020 年由于新冠疫情,各增速均有显著下跌,次年由于疫情控制成功及出口需求增长出现明显反弹。

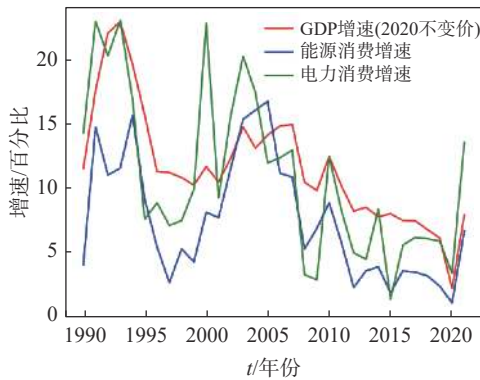


图 3 1990—2021 年广东省 GDP(2020 年不变价折算)与能源、电力消费增速

Fig. 3 Constant-price GDP (2020 equivalent) and energy/electricity consumption growth rate of Guangdong Province from 1990 to 2021

消费强度的变化也反映了能源与经济关系的发展趋势。图 4 展示了广东省 1990—2021 年的能源与电力消费强度,其中包含了与图 2、图 3 类似的发展阶段特征:1990—2002 年间能源强度基本平稳降低,年均下降约 5%,电力消费强度先降后升。2002 年开始能源强度随着高能耗工业大力建设有所回升,直到 2007 年才再次回到 2001 年水平,之后年均下降约 4.5%。2020 年开始,一系列推动制造业的政策

与二产占比回升也造成了能耗强度降速放缓与电耗强度上升。相对于其他地区,广东能效在全国内处于先进水平,2020 年能耗强度不到全国平均水平 2/3;与发达国家相比(以 2020 年折算,美元-人民币汇率按 6.7),约是美国的 1.15 倍,日本的 1.58 倍。鉴于近年省内重大高耗能项目规划增加造成能源需求上升,预计广东总体能耗强度短期下降空间不大,能源转型方向将以能源结构低碳化、用能清洁化为主。

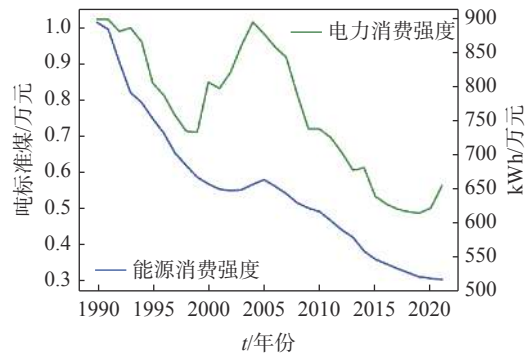


图 4 1990—2021 年广东省能源及电力消费强度
Fig. 4 Energy/electricity consumption intensity of Guangdong Province from 1990 to 2021

2 采用数据与分析方法

2.1 数据

由于统计部门对于不同类型数据的统计周期和公开程度各有不同,而使用数据进行实证分析需要各数据变量的周期、时间跨度和口径保持一致。文章根据数据的可用性,使用程序从广东省统计年鉴和广东省统计局每月发布的统计报告中选择收集了不同颗粒度的数据变量。表 1 总结了文章中使用的数据情况。

表 1 文章中使用的数据
Tab. 1 Data used in this paper

数据名称	来源	周期	单位
广东省总量/人均/产业GDP	开放广东	年	亿元
广东省GDP指数	统计年鉴	年	%
能源消费总量	统计年鉴	年	万吨标准煤
电力消费总量	统计年鉴	年	TWh
单位GDP能源、电力消耗	计算	年	吨标准煤/万元
全社会与工业、制造业用电量	统计局发布	月	TWh
主要行业增加值	统计局发布	月	亿元
规模以上工业增加值	统计局发布	月	亿元

2.2 分析方法与工具

文章使用 Granger 因果性检验和协整检验对广东省能源消费与经济发展相关指标数据进行分析。在分析前首先对数据进行预处理,其中包括将所有经济指标根据历年广东省 GDP 指数统一折算为 2020 年不变价,并对时间序列进行预处理以增强平稳性。之后,对每个变量分别进行增广式迪基-富勒 (Augmented Dickey-Fuller, ADF) 检验以验证各变量的平稳性并根据输出 P 值选择最优差分阶数,再使用 Johansen 协整检验进一步验证变量间是否存在长期均衡关系。根据结果确定各数据平稳性与协整关系后,使用 Granger 检验对时间跨度与周期相同的每一对指标变量间的因果性关系进行逐个分析,根据结果中的各方向 P 值判断各变量间是否存在统计意义上的显著关系并产生结论。

根据上一章中对原始数据的分析结论结合各输入数据的可用性和采样周期,文章将数据分为两组进行分别研究:(1)使用 1990 年进一步改革开放以来的年度能源消费与 GDP 数据分析广东省工业化期间能源消费与经济的关系;(2)使用 2010 年至今的全行业及工业的月度增加值、电力消费数据分析工业化中后期能源与产业快速转型升级期间电力消费与制造业发展的关系。

本研究在 Python 环境中使用 requests、pandas 进行数据收集和预处理,使用 statsmodels 扩展包^[18]进行各种统计学检验和模型参数计算。

3 实验结果

3.1 总 GDP 与总能耗的关系

本节中使用广东省 1978—2022 年的 GDP 及能源数据进行分析,如表 2 所示。其中能源、电力消费来自于各年广东省统计局统计年鉴^[19]的“7-5 分行业能源消费总量和原煤、电力消费量”表格,GDP 数据使用名义 GDP 结合统计年鉴中各年 GDP 指数进行折算。在分析前,首先使用 ADF 检验测试各数据的平稳性并根据结果选择合适的预处理手段。

根据表 2 中检验结果,3 个变量指标均在取自然对数并二阶差分后平稳,故选择采用对所有变量取自然对数并做二阶差分的前处理步骤。下一步对原始变量之间分别做协整检验并验证是否存在长期均衡关系。表 3 中 Johansen 协整检验结果表明各原始

表 2 1978—2022 年度数据平稳性检验结果

Tab. 2 Stationarity test results for annual data from 1978 to 2022

数据名称	前处理	ADF	显著性(5%)	P 值	结论
总GDP	原始数据	-1.19	-2.96	0.670	非平稳
	自然对数	-2.58	-2.94	0.097	非平稳
	对数/一阶差分	-2.30	-2.94	0.170	非平稳
	对数/二阶差分	-7.38	-2.94	1e-5	平稳
能源消费量	原始数据	2.59	-2.95	0.990	非平稳
	自然对数	-1.41	-2.93	0.577	非平稳
	对数/一阶差分	-3.54	-2.93	0.007	平稳
	对数/二阶差分	-9.12	-2.93	1e-5	平稳
电力消费量	原始数据	1.99	-2.95	0.990	非平稳
	自然对数	-1.93	-2.93	0.318	非平稳
	对数/一阶差分	-3.83	-2.93	0.0026	平稳
	对数/二阶差分	-2.88	-2.96	0.047	平稳

表 3 1978—2022 年度数据协整关系检验结果

Tab. 3 Co-integration test results for annual data from 1978 to 2022

虚无假设(H_0)	迹统计量	显著性(5%)	结论
没有协整关系	22.560	24.2761	无法拒绝
至多存在1个协整	9.040	12.3212	无法拒绝
至多存在2个协整	0.059	4.1296	无法拒绝

变量间的协整迹统计量均没有达到 5% 显著性标准,说明根据协整检验能源、电力与 GDP 之间不存在显著的长期均衡关系。

接下来从 Granger 检验的角度分析各变量间的因果性关系。Granger 检验认为,对于目标时间序列变量 Y ,如果引入变量 X 的历史数据对 Y 的预测效果提升显著,则认为变量 X 是 Y 的原因。Granger 检验对每一对变量间的正、反向因果关系进行分析,并对每个可能的因果关系方向计算 P 值。由于变量关系与检验结果指标数量较多,此处将结果整理后以 Granger 因果关系矩阵的形式简化表示。矩阵中每个元素的列名为原因变量,行名为结果变量,如 P 值小于 0.05 则认为存在统计学意义上的因果关系。从表 4 的 P 值中可以看出,对 1978—2022 年数据进行分析的结果表明,此时间段整体能源、电力消费与 GDP 间的统计关系不显著。造成此现象的原因可能为在此期间的不同发展阶段中能源与经济的因果性关系发生过数次转变,以致整体数据无法体现清晰一致的因果性方向。

表 4 1978—2022 年度数据 Granger 因果关系矩阵
Tab. 4 Granger causality matrix for annual data from 1978 to 2022

结果变量	原因变量		
	总GDP	能源消费	电力消费
总GDP	1	0.8810	0.6798
能源消费	0.8552	1	0.2621
电力消费	0.2175	0.4313	1

在广东省发展过程中,能源消费与经济的关系发生了数次变化^[17]。文献 [9-10] 中认为广东省 1995 年开始进入工业化中期,产业调整升级带来能源需求的高速增长。使用包含所有年份的整体数据可能导致整个时间区间内变量间关系不一致而无法提取关键结论。下面针对改革开放深化后 1995—2022 年数据进行分析以研究工业化中后期阶段能源与经济关系。使用上文中方法分别进行平稳性、协整与 Granger 检验分析,结果如表 5 所示。

表 5 1995—2022 年度数据协整关系检验结果

Tab. 5 Co-integration test results for annual data from 1995 to 2022

虚无假设(H_0)	迹统计量	显著性(5%)	结论
没有协整关系	34.1717	24.2761	拒绝
至多存在1个协整	14.0876	12.3212	拒绝
至多存在2个协整	0.2520	4.1296	无法拒绝

表 5 中协整检验结果显示,工业化中后期的能源与经济变量间 5% 显著性水平上至少存在一个长期均衡关系,表明可能存在显著的因果关系。继续使用 Granger 检验进一步分析此关系,见表 6。

表 6 1995—2022 年度数据 Granger 因果关系矩阵

Tab. 6 Granger causality matrix for annual data from 1995 to 2022

结果变量	结果变量		
	总GDP	能源消费	电力消费
总GDP	1	0.1617	0.9067
能源消费	0.0269	1	0.5527
电力消费	0.8784	0.1936	1

结果显示,在 1995—2022 年间,广东省 GDP 与能源消费间存在显著的单向因果关系,即经济发展造成了能源消费的提高。在广东省发展早期,技术、资金、人才等经济发展的制约因素较多,或导致能源

与经济发展的相关性不明显。在工业化中后期,制造业门类与产能迅速扩张,机电设备、石化、钢铁等高耗能重工业规模不断增大,对能源需求增长起到拉动作用。根据协整与 Granger 分析结果,能源与经济关系在本发展阶段呈现明显的需求导向特征。

3.2 工业与电力消费的关系

自 2004 年来,广东省统计局每月发布一次全省主要统计指标公报^[20]和分行业工业增加值报告^[21],其中包含产业增加值与社会及工业、制造业用电量。本节利用主要统计指标中的月度数据中工业的电力消费与增加值关系(图 5)进行分析,对上一节使用年度数据的分析结论进行交叉验证。由于 2012 年以来按国家统计制度规定每年 1 月不单列数据(到 2 月一并公布),图 5 上图中每年年初的峰值实为当年 1—2 月电耗之和。在下文的统计分析中,将电耗数据的 1—2 月总和减半作为一个数据点计算,也对增加值的每年 1—2 月数据进行加算取平均处理以统一口径。

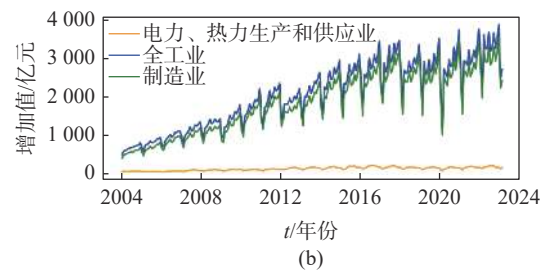
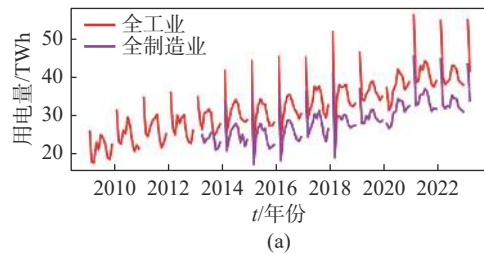


图 5 广东主要统计指标月度数据

Fig. 5 Monthly data from core statistical indices of Guangdong Province

本节选用全工业、全制造业和电力、热力生产和供应业增加值与工业用电量数据分析电力消费与工业增加值的因果性关系方向。由于源数据限制,文章仅选用统计周期与口径相同的 2009—2023 年数据进行分析。

首先使用 ADF 检验测试各变量的平稳性(表 7),结果显示,4 个变量均在取对数并一阶差分后平稳。

表 7 2009—2023 月度数据平稳性检验结果

Tab. 7 Stationarity test results for monthly data from 2009 to 2023

数据名称	前处理	ADF	显著性(5%)	P值	结论
全工业 增加值	原始数据	-1.16	-2.88	0.69	非平稳
	自然对数	-1.62	-2.88	0.46	非平稳
	对数/一阶差分	-3.08	-2.88	0.02	平稳
制造业 增加值	原始数据	-0.77	-2.88	0.83	非平稳
	自然对数	-1.33	-2.88	0.61	非平稳
	对数/一阶差分	-3.01	-2.88	0.03	平稳
电力热力 增加值	原始数据	-1.58	-2.88	0.49	非平稳
	自然对数	-1.60	-2.88	0.48	非平稳
	对数/一阶差分	-3.53	-2.88	0.01	平稳
工业电力 消费	原始数据	-0.94	-2.88	0.77	非平稳
	自然对数	-1.61	-2.88	0.47	非平稳
	对数/一阶差分	-5.56	-2.88	0.00	平稳

对平稳化前的原始变量进行协整关系检验(表 8)发现针对没有协整关系和至多一个协整关系的虚无假设的迹统计量均远大于 5% 的显著性水平,说明变量间很大可能存在两个以上的强相关。

表 8 2009—2023 月度数据协整关系检验结果

Tab. 8 Co-integration test results for monthly data from 2009 to 2023

虚无假设(H_0)	迹统计量	显著性(5%)	结论
没有协整关系	164.3238	40.1749	拒绝
至多存在1个协整	58.8498	24.2761	拒绝
至多存在2个协整	9.9118	12.3212	无法拒绝
至多存在3个协整	0.4952	4.1296	无法拒绝

对数据进行 Granger 检验,表 9 中 P 值表明,对月度数据的分析显示工业和制造业增加值与工业电力消费存在较强的因果关系(P 值仅为 0.01%),与上一节中结论相吻合。此外,对电力消费作为工业和

表 9 2009—2023 月度数据 Granger 因果关系矩阵

Tab. 9 Granger causality matrix for monthly data from 2009 to 2023

结果变量	原因变量			
	工业 增加值	制造业 增加值	电力热力 增加值	工业电力 消费
工业增加值	1	0.0599	0.8172	0.2389
制造业增加值	0.0062	1	0.5960	0.5912
电力热力增加值	0.0001	0.0045	1	0.1191
工业电力消费	0.0001	0.0109	0.1427	1

制造业增加值原因的检验远大于 5%,说明这一阶段产业升级与产能扩大是电力消费上升的驱动原因。

3.3 分析结果讨论

通过上文中分析发现,在改革开放至今的整体时间尺度上,对广东省年度能源与经济历史指标进行分析,其结果没有体现明显的统计关系,而 1995 年进入工业化中期至后期期间,能源消费与经济增长具有统计学上显著的单向因果关系,即经济增长是能源需求增长的驱动因素。对 2009 年后的月度分行业工业增加值与工业电力消费数据进行交叉验证也得到了相同结果。协整分析的结果表明变量间存在长期的均衡关系,即各变量的短期扰动在长时间尺度下仍会回归到均衡状态。此分析结果说明广东省改革开放以来能源消费与经济的关系可能发生过数次改变,在发展早期经济发展受除能源之外其他因素的制约较大,以致对整体数据的研究结果不够显著。进入工业化中期后经济和工业发展对能源、电力消费的单向因果关系意味着,广东省要实现能源低碳转型也应注重优化改善产业结构,以经济产业高质量发展倒逼能源高质量发展,协同打造清洁低碳、经济高效的高质量发展模式。参考文章中分析结论,为广东省能源发展提出如下建议:

- 1)加强工业能效提升,重点关注钢铁、电子信息、石化、造纸等广东省典型高耗能支柱产业,通过提高工艺水平、设备清洁化升级改造、废旧资源回收利用和电能替代等手段提高高耗能产业能源利用效率。
- 2)调整产业结构,推动转型升级,淘汰高耗能、高污染的落后产能,支持科研创新、高端制造业与服务业发展,并根据各地资源特点合理规划产业布局。
- 3)提高清洁能源消纳,建设抽水蓄能、电化学储能项目增强电网支撑能力,大力发展分布式能源、新型储能、氢能技术,在保证工业用能可靠性和充足性的同时使用清洁能源满足经济与工业发展需求。

4 结论

文章使用广东省能源、电力消费与经济数据,利用 Granger 因果关系检验分析了广东省改革开放以来能源需求与经济增长的关系并根据分析结果提出了广东省经济能源协同高质量发展的建议。研究结果表明,在广东省的不同发展阶段能源与经济的因果性关系呈现出不同的统计特征,而进入工业化中

期以来以制造业高速发展为代表的经济指标增长是能源、电力消费增长显著的 Granger 原因。今后研究将基于文章分析结果,选择合适方法对能源消费与经济发展的动态关系进行建模,研究各变量间的定量关系,并使用模型结合政策方向对广东省长期能源需求进行预测。

参考文献:

- [1] KRAFT J, KRAFT A. On the relationship between energy and GNP [J]. *The journal of energy and development*, 1978, 3(2): 401-403.
- [2] 韩智勇,魏一鸣,焦建玲,等. 中国能源消费与经济增长的协整性与因果关系分析 [J]. *系统工程*, 2004, 22(12): 17-21. DOI: 10.3969/j.issn.1001-4098.2004.12.004.
HAN Z Y, WEI Y M, JIAO J L, et al. On the cointegration and causality between Chinese GDP and energy consumption [J]. *Systems engineering*, 2004, 22(12): 17-21. DOI: 10.3969/j.issn.1001-4098.2004.12.004.
- [3] BOZOKLU S, YILANCI V. Energy consumption and economic growth for selected OECD countries: further evidence from the Granger causality test in the frequency domain [J]. *Energy policy*, 2013, 63: 877-881. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.09.037.
- [4] 汪旭晖,刘勇. 中国能源消费与经济增长: 基于协整分析和 Granger 因果检验 [J]. *资源科学*, 2007, 29(5): 57-62. DOI: 10.3321/j.issn:1007-7588.2007.05.009.
WANG X H, LIU Y. China's energy consumption and economic growth: a study based on the cointegration analysis and Granger causality test [J]. *Resources science*, 2007, 29(5): 57-62. DOI: 10.3321/j.issn:1007-7588.2007.05.009.
- [5] YANG H Y. A note on the causal relationship between energy and GDP in Taiwan [J]. *Energy economics*, 2000, 22(3): 309-317. DOI: 10.1016/S0140-9883(99)00044-4.
- [6] LIN X S, WANG B B, XIANG Z M, et al. A review of market power-mitigation mechanisms in electricity markets [J]. *Energy conversion and economics*, 2022, 3(5): 304-318. DOI: 10.1049/enc2.12067.
- [7] 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.
- [8] CHEN S T, KUO H I, CHEN C C. The relationship between GDP and electricity consumption in 10 Asian countries [J]. *Energy policy*, 2007, 35(4): 2611-2621. DOI: 10.1016/j.enpol.2006.10.001.
- [9] 钟式玉,李建华,钟蔚. 1978 年以来广东电力消费增长的经济因素计量分析 [J]. *特区经济*, 2019(5): 136-139.
ZHONG S Y, LI J H, ZHONG W. Analysis of economic influence factors of the electricity consumption growth in Guangdong from 1978 [J]. *Special zone economy*, 2019(5): 136-139.
- [10] 李猛,赵静波,钟式玉,等. 广东省能源消费需求与经济增长关系演变趋势分析 [J]. *节能*, 2021, 40(1): 77-80.
LI M, ZHAO J B, ZHONG S Y, et al. The analysis of evolution tendency between energy consumption demand and economic development in Guangdong Province [J]. *Energy conservation*, 2021, 40(1): 77-80.
- [11] LÜ 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.
- [12] YAN D, ZHANG L J. Financial development and energy consumption: an empirical research based on Guangdong Province [C]//2009 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, Xi'an, China, December 26-27, 2009. Xi'an: IEEE, 2009: 102-105.
- [13] 史浩江. 能源消费与经济增长: 基于广东省的实证分析 [J]. *经济问题*, 2008(8): 119-120,126. DOI: 10.16011/j.cnki.jjw.2008.08.012.
SHI H J. Energy consumption and export: empirical evidence from Guangdong Province [J]. *On economic problems*, 2008(8): 119-120,126. DOI: 10.16011/j.cnki.jjw.2008.08.012.
- [14] 李婷. 广东省能源消费与经济增长关系的实证分析 [J]. *特区经济*, 2010(12): 26-28.
LI T. Guangdong Province energy consuming and economy growth relation's domenstrative analysis [J]. *Special zone economy*, 2010(12): 26-28.
- [15] 郑定成. 广东省经济发展与能源电力消费影响关系分析 [J]. *能源工程*, 2012(4): 31-35. DOI: 10.3969/j.issn.1004-3950.2012.04.008.
ZHENG D C. The relationship analysis on economic development and energy/electricity consumption of Guangdong Province [J]. *Energy engineering*, 2012(4): 31-35. DOI: 10.3969/j.issn.1004-3950.2012.04.008.
- [16] 姜磊. 基于面板协整理论的广东电力消费与经济增长分析 [J]. *能源技术经济*, 2011, 23(1): 31-34,49. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8441.2011.01.007.
JIANG L. Empirical analysis of electricity consumption and economic growth in Guangdong Province based on panel data cointegration [J]. *Electric power technologic economics*, 2011, 23(1): 31-34,49. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8441.2011.01.007.
- [17] 曾乐民,黄何. 广东能源发展现状与态势 [J]. *能源技术*, 2006, 27(4): 151-155. DOI: 10.3969/j.issn.1005-7439.2006.04.003.
ZENG L M, HUANG H. Guangdong energy current situation and development trend [J]. *Energy technology*, 2006, 27(4): 151-155.

DOI: 10.3969/j.issn.1005-7439.2006.04.003.

- [18] SEABOLD S, PERKTOLD J. Statsmodels: econometric and statistical modeling with python [C]//2010 9th Python in Science Conference, Austin, USA, June 28-July 03, 2010. Austin: SciPy, 2010.
- [19] 广东省统计局. 广东统计年鉴 [EB/OL]. (2022-10-25) [2023-05-29]. <http://stats.gd.gov.cn/gdtjnj/>.
Statistics Bureau of Guangdong Province. Guangdong statistical yearbook [EB/OL]. (2022-10-25) [2023-05-29]. <http://stats.gd.gov.cn/gdtjnj/>.
- [20] 广东省统计局. 国民经济主要指标 [EB/OL]. (2023-05-04) [2023-05-29]. <http://stats.gd.gov.cn/gmjzyzb/>.
Statistics Bureau of Guangdong Province. Guangdong main indicators of national economics [EB/OL]. (2023-05-04) [2023-05-29]. <http://stats.gd.gov.cn/gmjzyzb/>.
- [21] 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/zyhygyzjz/>.
Statistics Bureau of Guangdong Province. Added value of main industry sectors [EB/OL]. (2023-05-06) [2023-05-29]. <http://stats.gd.gov.cn/zyhygyzjz/>.

作者简介:



吴东奇

吴东奇(第一作者,通信作者)

1996-,男,美国德克萨斯农工大学电气工程博士,主要从事电力系统规划研究工作(e-mail)wudongqi@gedi.com.cn。

甘俊文

1992-,男,工程师,电气工程专业硕士,主要从事能源规划工作(e-mail)ganjunwen@gedi.com.cn。

郭经韬

1988-,男,工程师,硕士,主要从事电力系统规划工作(e-mail)guojingtiao@gedi.com.cn。

余欣梅

1978-,女,正高级工程师、注册咨询工程师,工学博士,主要从事能源与电力规划咨询研究工作(e-mail)yuxinmei@gedi.com.cn。

廖毅

1973-,男,正高级工程师,副总工程师,主要从事能源与电力规划咨询研究工作(e-mail)liaoyi@gedi.com.cn。

项目简介:

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 项目依托中国能建重点科技项目《“30·60”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 叶筠英)