

中国能源利用、碳排放与经济增长脱钩关系研究

周倩 蔡灿 杨得彬

西南石油大学，四川成都，610500；

摘要：“双碳”背景下，我国能源消费、碳排放、经济飞速增长，如何实现能源利用、碳排放与经济增长的脱钩成为了我国重要议题。本文以我国七大地理区域 2005–2023 年的相关数据作为样本，进行面板数据的单位根检验、协整检验、格兰杰因果关系检验和 Tapi o 脱钩模型计算。研究结果表明，东北区域的能源利用与碳排放存在格兰杰因果关系，华南、华中、西北碳排放与经济增长脱钩情况较差，我国总体能源利用、碳排放与经济增长脱钩情况不理想。然后，进一步提出了相应的政策建议，为相关政策制定提供了理论依据和决策参考。

关键词：能源利用；碳排放；经济增长；脱钩

DOI：10.69979/3029-2700.25.11.020

引言

进入 21 世纪，以我国为代表的发展中国家经济增长显著，但全球能源消耗剧增，碳排放飙升，能源与环境问题成为可持续发展核心。纵观全球经济发展史，“伦敦大雾”等环境灾难、《斯德哥尔摩人类环境会议》等国际协议都促使全球环保意识逐渐觉醒。根据《中华人民共和国气候变化第一次双年透明度报告》等，2004–2024 年间，我国能源消费总量从 18.46 亿吨标准煤增加到 59.7 亿吨标准煤；当前，我国能源利用产生的二氧化碳排放占二氧化碳排放总量的约 77%。中国作为负责任的发展中大国，积极参与全球气候治理，明确提出碳达峰、碳中和目标。而实现碳达峰碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，关键在于推动能源利用、碳排放与经济增长脱钩。本研究旨在探讨中国能源利用、碳排放与经济增长脱钩的现状、趋势及影响因素，为制定科学合理的政策措施提供理论依据和决策参考，助力中国实现绿色低碳转型和高质量发展。

1 相关研究回顾

1.1 脱钩理论研究

“脱钩”概念最早应用于物理领域。2002 年，经济合作与发展组织 (OECD) 首次将“脱钩”用于衡量经济发展。Petri Tapi o 后来提出了完整的脱钩指标体系，并划分强脱钩、弱脱钩、衰退脱钩等六种类型，推动了脱钩理论的发展 (Petri Tapi o, 2005)^[1]。此后，Tapi o 脱钩模型被广泛应用到国家、区域、省际和城市层面的碳排放与区域经济增长相关关系研究。

1.2 能源利用、碳排放和经济增长脱钩关系研究方

向

从研究方向来看，有学者提出基于现有数据、影响机制、对未来预测数据综合分析，对研究区域提出优化建议将更为可信^[2]；例如，四川能源消耗、碳汇容量和环境承载力在一定程度上影响了四川的低碳发展水平 (Meng Ye and Fumin Deng, 2021)^[3]；还有学者引入政策因素，探讨长三角地区碳排放的驱动因素及其影响程度^[4]。

1.3 能源利用、碳排放和经济增长脱钩关系研究尺度

从研究尺度来看，现有关系评估研究成果主要研究尺度集中在省份层面（赵泽旭，2024；）^[5]。少数学者从其他层面进行研究，例如国家（Sarbapriya Ray, Ishita Aditya and Mihir Kumar Pal, 2023）^[6]、流域（孙阳，2023）^[7]、自划分区域（李晨，2024）^[8]、经济带（江芳，2023）^[9]、市辖区和县辖区（沈旺，2023）^[10]等层面进行探讨。

1.4 国内外研究述评

综上所述，就现有研究来看，国内外学术界对能源消费、碳排放与经济增长之间脱钩关系的研究已取得较为丰富研究成果和富有价值的发现。但从全国层面出发，考虑到不同地理区域的资源禀赋、经济发展、政策差异化、地理气候等区域异质性的影响，进一步对我国的能源利用、碳排放和经济增长的脱钩关系进行分析的研究还并不多见。

2 模型设定和变量说明

2.1 模型设定

协整模型：假定自变量序列为 $\{x_1\}, \{x_2\}, \dots, \{x_k\}$, 相应变量序列为 $\{y_t\}$, 构建回归模型: $y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^k x_{it} + \epsilon_t$, 假定残差序列 $\{\epsilon_t\}$ 平稳, 认为响应序列 $\{y_t\}$ 与自变量序列为 $\{x_1\}, \{x_2\}, \dots, \{x_k\}$ 之间具有协整关系^[11]。

Tapio 脱钩模型:

$$\varepsilon = \frac{\Delta C/C}{\Delta G/G}$$

其中, ε 是指 Tapio 脱钩系数, C 是指碳排放数据, ΔC 是指当期的碳排放减去基期碳排放后得到的差额; G 是指人均 GDP 数据, ΔG 是指当期的人均 GDP 减去基期人均 GDP 后得到的差额。

根据计算结果 $\frac{\Delta C}{C}$ 、 $\frac{\Delta G}{G}$ 和 ε 的值不同, 将 Tapio 脱钩

程度划分为脱钩、负脱钩和连结三大类, 强脱钩等八类。

2.2 数据处理

本研究基础数据来源于 2005–2024 年间国家统计年鉴和机构调研报告等, 汇总整理得到原始数据。(因内蒙古、黑龙江、湖南能源利用数据缺失, 本研究暂时忽略, 仅汇总其他省份数据。) 其中, 能源消费总量简称 En , 碳排放总量简称 Em , 地区人均生产总值简称 GDP , 单位分别为万吨标准煤、万吨、元。由于时间序列数据取对数可以减少变量的相对规模。以减轻异质性的影响, 本文的协整模型中使用的能源消费总量 (En) 和碳排放

总量 (Em) 数据做了对数处理, 将其记为 $\ln En$ 和 $\ln Em$ 。

3 能源消费与碳排放脱钩关系研究

3.1 单位根检验

单位根检验是用来确定一个时间序列是否是平稳的。以东北区域 2005–2021 年的年能源消费总量与碳排放量数据为例。对能源消费总量和碳排放量原序列进行单位根检验, 计算后整理得到 P 值分别为 0.0034、0.0230, 即 $\ln En$ 和 $\ln Em$ 的对数序列的单位根检验 P 值均小于 0.05, 说明序列能源消费总量 (En) 和碳排放量 (Em) 时间序列取对数后平稳。

3.2 协整检验

协整检验用于确定两个或多个非平稳序列是否存在长期的稳定关系。根据上述 $\ln En$ 和 $\ln Em$ 序列, 构建方程, 获得残差 e , 对残差进行单位根检验, 得到 P 值为 0.0010, 小于 0.05, 即 $\ln En$ 与 $\ln Em$ 序列之间存在协整关系。

3.3 格兰杰因果检验

如果变量间存在协整关系, 我们可以构建一个误差修正模型 (ECM) 或进行格兰杰 (Granger) 因果检验来分析变量间的因果关系, 本研究选择用格兰杰因果检验进行因果关系分析, 得到结果如下表 1。

表 1 格兰杰因果检验结果

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
LNEN does not Granger Cause LNEM	14	14201.8	0.0064
LNEM does not Granger Cause LNEN		0.20876	0.9198

格兰杰因果关系并不意味着直接的物理因果关系, 而是指时间序列之间存在统计上的先后关系。具体来说, 结果显示不拒绝“LNEN 不是 LNEM 的格兰杰原因”。据此, 可以认为东北区域的能源利用与碳排放呈现出存在滞后期的同增同减趋势, 二者的脱钩程度并不理想。

4 碳排放与经济增长脱钩关系研究

表 2 我国七大地理区域 Tapio 脱钩情况

脱钩状态	东北	华北	华东	华南	华中	西北	西南
2006	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	扩张脱钩	扩张脱钩	扩张脱钩	扩张脱钩
2007	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	扩张脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩
2008	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩
2009	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	扩张负脱钩	弱脱钩	弱脱钩	扩张脱钩
2010	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩
2011	弱脱钩	弱脱钩	扩张脱钩	扩张负脱钩	扩张脱钩	扩张负脱钩	弱脱钩
2012	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	强负脱钩	强负脱钩	扩张负脱钩	弱脱钩
2013	强负脱钩	弱脱钩	强负脱钩	强负脱钩	强负脱钩	扩张脱钩	强负脱钩
2014	弱脱钩	强负脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	扩张负脱钩	强负脱钩

2015	强负脱钩	强负脱钩	弱脱钩	强负脱钩	强负脱钩	扩张负脱钩	强负脱钩
2016	强负脱钩	弱脱钩	弱脱钩	强负脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩
2017	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	扩张脱钩	强负脱钩	扩张负脱钩	弱脱钩
2018	强负脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	强负脱钩	弱脱钩	强负脱钩
2019	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	强负脱钩	强负脱钩	扩张脱钩	弱脱钩
2020	强负脱钩	强负脱钩	强负脱钩	弱脱钩	衰退性脱钩	扩张负脱钩	弱脱钩
2021	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	扩张负脱钩	弱脱钩	扩张脱钩	弱脱钩

4.2 计算结果分析

根据上述结果，发现东北、华北、华东、西南地区2006—2021年的碳排放与经济增长以弱脱钩为主，出现了少量的强负脱钩与扩张脱钩。由此可见，东北、华北、华东、西南四大区域的碳排放与经济增长情况相对稳定，处于相对良好的情况。而华南、华中、西北三大区域的碳排放与经济增长的脱钩情况较为复杂，出现较多扩张负脱钩和强负脱钩。由此可见，华南、华中、西北三大地区的碳排放与经济增长的脱钩情况相对不稳定，总体处于正常或略差的脱钩状况。

5 未来展望

为实现“双碳”目标，我国应从技术进步、能源转型、政策创新和社会变革等方面着手。

首先，需推广高效能源技术，普及智能电表与能源管理系统，助力用户节能；提升建筑能效，推动改造与鼓励升级；补贴高效设备，促消费与企业更换；发展低碳技术，推广电动汽车、建设充电桩、推广分布式能源系统，降低对传统能源依赖。

其次，加快风、光开发，建风电、光伏项目，推动光伏扶贫；减少化石能源补贴，支持可再生能源，推动市场化改革；推广电动交通，鼓励公共交通电气化，推进轨交和电动巴士建设。

再次，完善碳排放政策，建市场化治理机制；加快碳交易市场建设，强监管；实施绿色税收补贴政策，利用绿色金融支持低碳项目，降低成本。

最后，要通过宣传和教育提升社会环保意识和参与度，实施绿色消费激励措施，建立认证标签制度，支持绿色信贷金融产品，推动全社会低碳消费转型。

参考文献

- [1] Tapiola P. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001 [J]. Transport Policy, 2005, 12 137–151.
- [2] 张永凯, 田雨. 黄河流域城市群碳排放与经济增长

脱钩状态及驱动因素 [J]. 人民黄河, 2023, 45 30–35.

[3] Ye M, Deng F, Yang L, et al. Evaluation of regional low-carbon circular economy development: a case study in Sichuan province, China [J]. International Journal of Climate Change Strategies and Management, 2022, 14 54–77.

[4] 长三角地区碳排放驱动因素及脱钩分析 [J]. 环境科学研究: 1–16.

[5] 赵泽旭. “双碳”背景下数字经济与绿色物流耦合协调关系 [J]. 中国航务周刊, 2024, 58–60.

[6] Ray S, Aditya I, Kumar Pal M. The Influence of Energy Consumption, Economic Growth, Industrialisation and Corruption on Carbon Dioxide Emissions: Evidence from Selected Asian Economies [M]//Kumar Pal M. The Impact of Environmental Emissions and Aggregate Economic Activity on Industry: Theoretical and Empirical Perspectives. Emerald Publishing Limited. 2023: 93–110.

[7] 孙阳, 王喜莲. 流通业绿色发展与低碳经济耦合协调关系研究——以黄河流域沿线省域为例 [J]. 商业经济研究, 2023, 10–14.

[8] 李晨, 李静. 京津冀区域绿色金融与低碳经济发展关系研究 [J]. 商展经济, 2024, 173–176.

[9] 江芳. “双碳”背景下我国汽车行业的发展与绿色经济发展耦合协调关系研究——基于长江经济带11个省市数据的分析 [J]. 中国商论, 2023, 129–132.

[10] 沈旺, 江争红. 双碳政策下碳排放与经济增长脱钩关系研究——基于安徽、江苏和浙江地级市的经验证据 [J]. 煤炭经济研究, 2022, 42 4–12.

[11] 胡珊, 张文专. 贵州省能源消费与经济增长关系的实证分析 [J]. 黑龙江环境通报, 2025, 38 24–26.

作者简介：周倩（2001-），女，汉族，四川资阳人，硕士在读，单位：西南石油大学，研究方向：生产及制造系统工程。

基金项目：南充市科技局项目：“川东北地区能源利用、碳排放和经济增长的脱钩关系研究”（编号：23XNSYSX0060）