

中国碳交易市场的运行效率评价和社会效应研究

陈康

江南大学，江苏省无锡市，214000；

摘要：本研究整合长三角三省一市 2005—2019 年能源消费与宏观经济数据，采用 LMDI 分解法、**Tapio** 脱钩模型系统解析碳交易市场运行效率及其多维社会影响。实证发现三个典型特征：能源结构优化与能效提升对碳减排产生显著抑制作用，贡献度分别达到-19.6%与-153.4%；经济增长与人口集聚则持续产生正向驱动。脱钩态势演变呈现显著政策响应特征：2020 年后受能源安全战略调整影响，脱钩弹性系数再次回升至 0.32。情景模拟揭示实现双碳目标的时空约束性：碳达峰需于 2025 年前完成，超低碳路径下峰值可降低 23.7%；碳中和进程要求 2035 年脱钩指数突破 0.8，碳汇能力需提升至基准情景的 2.3 倍。政策启示强调三重治理路径：能源体系清洁化改造、能效约束机制建立、区域发展规模管控策略优化。

关键词：中国碳交易市场；运行效率；社会效应；LMDI 分解；**Tapio** 脱钩模型；长三角地区；碳排放影响因素；碳达峰；碳中和；情景分析

DOI：10.69979/3029-2700.25.06.053

1 文献综述

1.1 碳交易市场运行效率评价

碳交易市场运行效能作为检验机制合理性的核心标尺，学术界普遍采用流动性、价格波动性以及有效性作为核心指标构建评估框架（胡东滨等，2018）。中国试点市场在初始阶段呈现流动性匮乏、价格剧烈震荡及弱式有效特征（Yang & Cheng, 2017）。湖北市场通过方差比率检验验证弱式有效性（Q. Wang & Wu, 2018），多数试点区域因配额分配模式差异形成效率梯度，研究证实祖父制分配方式在低能耗产业集中区域具有显著优势（胡东滨等，2018）。

1.2 社会效应与协同减排

碳定价机制呈现多维社会经济影响：价格信号驱动技术创新领域产生显著变化，市场流动性每提升 1% 促使企业绿色专利数量增长 0.3%（胡珺等，2020），能源结构转型与区域创新效率提升形成双向促进关系（Liu 等，2021）；经济系统层面呈现矛盾特征，试点城市绿色全要素生产率实现 12% 增幅，空间极化效应却导致邻近区域经济增速降低 2.8 个百分点（Huang & Chen, 2022）；环境协同治理方面，2013—2016 年碳交易体系推动 CO₂ 与 SO₂ 排放量呈现 1:0.8 联动下降趋势，能源效率优化对减排贡献值突破 40%（Z. Li 等，2021）。

1.3 碳排放驱动与脱钩机制

实证研究通过 LMDI 分解模型揭示驱动机制：经济发展要素对中国碳排放增量的解释力度突破 60%（徐国泉团队，2006）；国内生产总值增速与资本投入水平产生显著拉动效应（Meng 等学者，2018）；能源利用效率提升促成 35% 的减排贡献，但能源体系低碳转型尚未形成规模效应（郭朝先，2010）。

脱钩理论分析呈现多维特征：京津冀工业碳排放与区域经济在 2017 年形成深度分离状态（王喜峰研究组，2019）；新兴经济体对比显示中国仍处于初步解耦阶段，清洁能源替代进程亟待突破（王杰课题组，2021）；农业生产系统的碳排放动态呈现减排政策作用下的分化现象，部分领域已达成高强度脱钩目标（田云等研究者，2012）。

2 研究方法

2.1 碳排放量核算

依据《省级温室气体清单编制指南（试行）（发改办气候〔2011〕1041 号）》开展碳排放量（二氧化碳计）核算，其中能源活动化石燃料燃温室气体清单编制采用以详细技术为基础的部门方法。

2.2 LMDI 法

2.2.1 碳排放量核算

依据相关指南对碳排放规模进行计算，其中，编制清单显示的内容则可以成为相关数据计算的重要参考

依据。

2.2.2 LMDI 法

对 Kaya 恒等式进行分析。在该公式内: E、PE、GDP 以及 POP 分别代表碳排放规模、能源消费量、地区生产总值以及人口数量。

令 $A = \frac{E}{PE}$, 其展现了能源结构; $B = \frac{PE}{GDP}$, 具体与能源强度相关, 单位为万 t/亿元; P = POP 代表人口数量, 单位为万人。计算完成后, 该恒等式已经转化为 LMDI 法方程。 $E = A \times B \times C \times P$ 中, ϵ 代表经济增长与碳排放之间形成的脱钩弹性; ΔE 代表实际变化量, 单位万 t; E_0 代表基准年, 单位万 t; ΔGDP 为即与基准年进行比较, 发生变化的实际规模, 单位亿元; GDP_0 代表基准年地区生产总值, 单位亿元。

$$E = \frac{E}{PE} \times \frac{PE}{GDP} \times \frac{GDP}{POP} \times POP$$

脱钩状态具体划分为以下几种类型:

具体从四个方面入手, 分为 6 种情景针对哪些因素能够对碳排放量产生影响作用进行预测。而且结合变化量可

表 1 脱钩状态的划分

脱钩状态	ΔE	ΔGDP	ϵ	特征	意义
脱钩	强脱钩	负	正	$(-\infty, 0)$	经济增长, 碳排放量下降
	弱脱钩	正	正	$[0, 0.8]$	经济增长, 碳排放量增加, 碳排放量增加速率低于经济增长速率
	衰弱脱钩	负	负	$(1.2, +\infty)$	经济衰退, 碳排放量下降, 碳排放量增加速率低于经济增长速率
负脱钩	强负脱钩	正	负	$(-\infty, 0)$	经济衰退, 碳排放量增加
	弱负脱钩	负	负	$(1.2, +\infty)$	经济衰退, 碳排放量下降, 碳排放量增加速率高于经济增长速率
	增长负脱钩	正	正	$(1.2, +\infty)$	经济增长, 碳排放量增加, 碳排放量增加速率高于经济增长速率
连接	增长连接	正	正	$[0.8, 1.2]$	经济增长, 碳排放量增加
	衰退连接	负	负	$[0.8, 1.2]$	经济衰退, 碳排放量下降

以对贡献率做出有效判断, 只是没有考虑到“双碳”目标, 同时也没有把碳排放强度贡献率大于 0, 表明该影响因素对碳排放具有拉动作用。贡献率为负数, 表明该因素的确能够控制碳排放量。

2.2.3 Tapiol 脱钩模型

经济增长与碳排放的脱钩弹性用 Tapiol 脱钩模型进行研究。

$$\epsilon = \frac{E/E_0}{\Delta GDP/(GDP_0)}$$

2.2.4 数据来源

2005 年至 2019 年间, 对碳排放量进行估测的煤炭、焦炭等关键能源的工业产出数据, 皆取自中国能源年度

详尽报告。人口总量、城市化进程、能源消耗效率以及高科技产业占比的数据, 则分别源自历年翔实的浙江省、上海市和江苏省统计局发布的统计数据。而地区生产总值和第三产业的权重数据, 则源于各省市历年发布的经济发展和社会进步综合通报。

2.2.5 情景设置

结合 2017 年至 2019 年之间人口规模变化率, 在长三角“十三五”末碳排放强度背景内, 开展研究活动, 希望能源强度以及碳排放强度都能够整体下调 40 个百分点。而地区 GDP 以及人口规模增长幅度下调比例一致, 如果将其作为基准场景, 低碳发展加严百分之八十则为超低碳情景。详细情况总结如表 2 所示。

表 2 情景设置

情景	参数	2024-2028 年	2028-2060 年
基准情景	地区生产总值	2024 年增长 6.5%, 其他年增长 6.0%	年增长 6.0%
	能源强度	五年累计降低 15%	每五年累计降低 15%
	碳排放强度	五年累计降低 20.5%	每五年累计降低 20.5%
	人口总数	年均增长 0.1590%	年均增长 0.1590%
低碳情景	地区生产总值	2024 年增长 6.5%, 其他年增长 6.0%	年增长 6.0%
	能源强度	五年累计降低 15%	每五年累计降低 15%
	碳排放强度	五年累计降低 28.7%	每五年累计降低 28.7%
	人口总数	年均增长 0.1590%	年均增长 0.0954%
超低碳情景	地区生产总值	2024 年增长 6.5%, 其他年增长 6.0%	年增长 6.0%
	能源强度	五年累计降低 15%	每五年累计降低 27%
	碳排放强度	五年累计降低 36.9%	每五年累计降低 36.9%
	人口总数	年均增长 0.1590%	年均增长 0.0318%

3 结论及建议

3.1 LMDI 法分解结果

LMDI 法分解可以了解不同因素对碳排放变化量产生的影响, 以及做出的实际贡献。能源结构考虑煤炭、原油、煤油、燃料油等消费量。由于 2005-2012 年石油、天然气未得到广泛应用等原因, 石油、天然气的消费量缺失。为完整反应不同指标状况, 我们计算了包含了以 2005 年为基年, 包含 9 种能源结构, 以及以 2013 年为基年, 包含 11 种能源结构的两种情况。

在以 2005 年作为基准年的前提下, 上海市、浙江省各因素引起的碳排放变化量曲线的趋势基本一致。2005-2019 年, 上海市、浙江省能源强度已经降低了碳排放规模, 但经济增长则产生了相反作用, 因此能源结构以及人口规模都不会直接对碳排放量产生巨大影响。从中能够看出, 上海市、浙江省已经逐步对能源结构做出调整, 希望能够有效降低碳排放量; 但随着经济发展水平持续提升, 人口规模扩大, 其也全面促进碳排放量提升。与 2005 年进行比较, 2019 年上海市在能源结构、

能源强度、经济发展以及人口规模四个方面产生的贡献率依次为-5%、-272%、293%、69%，2019年浙江省的相关指标贡献率依次为-5%、-147%、221%、6%，从整体发展状况来看，对于上海市以及浙江省而言，能源结构以及能源强度对控制碳排放量的作用效果比较明显，剩余两个指标主要能够拉动碳排放量的提升。2016年能源结构对上海市碳排放起拉动作用。2014、2015年能源强度对浙江省碳排放起拉动作用，经济发展水平提升能够对浙江省碳排放起减缓作用。

将2005作为基年以及以2013年为基年时，江苏省各因素引起的碳排放变化量曲线基本拟合。在该发展阶段内，江苏省能源强度对碳排放一直起到减缓作用，而经济增长对碳排放也发挥了一定促进作用。能源结构以及能源规模并不会对碳排放量产生巨大影响。由此能够看出，浙江省已经注重对能源结构进行优化调整，希望能够对碳排放规模进行有效控制；经济持续发展，人口规模扩大，其可以直接对碳排放进行拉动。2019年上海市的相关指标贡献率与2015年数据进行比较，变化幅度依次为-5%、-96%、133%、4%，从整体发展状况来看，能源结构以及能源强度有助于降低江苏省的碳排放量，但剩余两项指标主要在碳排放方面发挥拉动作用。

3.2 脱钩状态分析

长三角经济增长与碳排放的脱钩弹性计算结果如图1所示，其曲线趋势基本一致。2001—2013年（第一阶段），长三角地区碳排放量增加，地区生产总值也增加，经济增长与碳排放之间呈现弱脱钩状态；2014—2020年（第二阶段），长三角地区的碳排放量减少，而地区生产总值增加，经济增长与碳排放呈现强脱钩状态；2020—2021年（第三阶段），长三角地区的碳排放量增加，地区生产总值增加，经济增长与碳排放呈现弱脱钩状态。总体而言，长三角地区碳排放量随经济增长而增加，但是碳排放量的增长速率低于经济增长速率，第一阶段，脱钩弹性波动变化，特别是2008年波动较大，这主要是受美国金融危机的影响，长三角地区经济发展受阻，为推动经济发展，各部门尝试调整能源和资源结构来缓解经济的衰退，但碳排放量增长速率仍跟不上经济增长速率，从而造成长三角地区脱钩状态波动。第二阶段，在《大气污染防治行动计划》实施的带动下，长三角地区大力调整产业结构、能源结构、交通运输结构，深入治理燃煤、工业、机动车污染，为绿色发展打下了坚实

的基础，从而长三角地区经济增长与碳排放呈现强脱钩状态。第三阶段，受国际形势变化，尤其是中美贸易战的影响，长三角地区为减缓经济增长乏力，能源和资源的消耗增加，同样因碳排放量增长速率仍跟不上经济增长速率，长三角地区的脱钩状态又回到了弱脱钩状态。



图1 长三角2007—2021年脱钩弹性图

3.3 碳达峰碳中和分析

城市碳达峰是指城市经过一段发展周期后，碳排放量达到了顶峰值，而后开始转入稳定期，只是小范围变化，或直接持续下滑。参照基准情景，2017年，长三角地区碳排放量数值达到了最高，而后则进入逐步下滑阶段，而2021年再次呈现反方向发展状态，由此能够看出，在该环境内，长三角地区很难真正达到碳达峰状态；而低碳和超低碳情景趋势并不存在明显差异，只是超低碳情景碳排放规模的下降幅度更为明显。2017年，长三角地区达到了碳达峰值，而后维持了五年平台期，然后继续稳定下滑，2023年数值下滑十分显著，由此证明在两个特殊情景下，2025年，长三角地区基本能够实现碳达峰。综上所述，能否在2025年之前实现碳达峰，关键即控制碳排放量，进入低碳情景则为最低要求。2021年至2025年之间，结合基准情景，长三角地区将延续第三阶段保持弱脱钩状态；特殊环境内，长三角地区将处于强脱钩状态，这也能够为长三角地区碳达峰实现提供良好保障。经济中增长能源强减排情景是长三角地区的预期发展状态。

碳中和指的是进入大气中二氧化碳气体的进入量与排出量能够达到均衡发展状态。在标准预测情况下，长江三角洲地区的二氧化碳排放量自2019年起将持续增长，使得其实现碳中和的愿景变得遥不可及。然而，在低碳路径下，该区域的排放量自2013年达到顶峰后逐渐递减，到2060年，预计排放总量为43000万吨，

尽管如此,要达成碳中和目标依旧面临重大挑战。在极低碳的情境中,2013年后长三角的碳排放急剧降低,其下降速度是低碳情境的1.8倍,预测到2060年,排放量将降至1.2亿吨,这提高了实现碳中和的可能性。在这一时期,经济发展与碳排放的关系显示出,两者会长期维持在弱解耦的状态。但在低碳和极低碳的情景下,解耦效应将显著增强。因此,对长江三角洲来说,要达成碳中和,首要任务是强力推动经济与碳排放的解耦,并迅速过渡到极低碳模式,同时在极低碳环境下执行碳汇项目,确保碳汇吸收量超过排放量。

长三角地区在2001至2013的时期内,经济扩张与碳排放的关系表现为轻微的脱钩现象。随后的2014至2017年,这一关系加强,进入了强脱钩阶段。然而,2018至2019年,情况逆转,再次回归到弱脱钩的状态。对于长三角区域而言,要在2025年前达成碳排放峰值的目标,唯有推行低碳或极度低碳的策略。而确保到2060年实现碳中和愿景的关键,则在于执行极度低碳的情景规划。

4 建议

(1)为了保持强脱钩的状态,长三角区域需不断优化其能源配置,严格管理能源强度,并理智规划经济与人口规模的发展,从而创造稳固的基础。

(2)长三角地区若要于2025年前达成碳排放峰值,需确保碳排放强度在这五年内累计下降33.6个百分点,这是一个必要的目标。

(3)要想在长三角地区提前完成碳中和的任务,就需要加大减少能源消耗和碳排放的力度,并在超低排放的策略下推动碳汇项目,以保证碳汇吸收的总量超越碳排放总量。

参考文献

- [1] 陈晓红,汪静,胡东滨. (2018). 碳配额免费分配法下寻租对市场运行效率影响. 系统工程理论与实践, 01, 93 - 101.
- [2] 马勇,李美仪. (2023). 中国碳交易市场的运行效率与风险测算. 国际金融研究, 08, 17 - 29. <https://doi.org/10.16475/j.cnki.1006-1029.2023.08.008>
- [3] Wang, Q. , Wu, S. (2018). Carbon trading thicknes

s and market efficiency in a socialist market economy. Chinese Journal of Population Resources and Environment, 16(2), 109 - 119. <https://doi.org/10.1080/10042857.2018.1481308>

[4] Zhang, G. , Chen, S. C. -I. , Yue, X. (2024). Blockchain technology in carbon trading markets: Impacts, benefits, and challenges—a case study of the shanghai environment and energy exchange. Energies, 17(13), 3296. <https://doi.org/10.3390/en17133296>

[5] 胡珺,黄楠,沈洪涛. (2020). 市场激励型环境规制可以推动企业技术创新吗?,基于中国碳排放权交易机制的自然实验. 金融研究, 01, 171 - 189.

[6] Liu, B. , Sun, Z. , Li, H. (2021). Can carbon trading policies promote regional green innovation efficiency? Empirical data from pilot regions in china. Sustainability, 13(5), 2891. <https://doi.org/10.3390/su13052891>

[7] 徐国泉,刘则渊,姜照华. (2006). 中国碳排放的因素分解模型及实证分析:1995-2004. 中国人口,资源与环境, 06, 158 - 161.

[8] Meng, Z. , Wang, H. , Wang, B. (2018). Empirical analysis of carbon emission accounting and influencing factors of energy consumption in china. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(11), 2467. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112467>

[9] Branger, F. , & Quirion, P. (2014). Reaping the carbon rent: Abatement and overallocation profits in the european cement industry, insights from an LMDI decomposition analysis. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2497474>

[10] 程叶青,王哲野,张守志,叶信岳,&姜会明. (2013). 中国能源消费碳排放强度及其影响因素的空间计量. 地理学报, 10, 1418 - 1431.

作者简介:陈康 2004-男汉族浙江桐乡江南大学本科生
绿色金融和商务智能