

广东省机电产业出口贸易隐含碳达峰研究

文欢, 王少瑜

广州软件学院, 广东 广州 510000

摘要: 本文首先测算了2010至2020年广东省机电产业出口贸易隐含碳排放情况, 再利用 Tapio 脱钩模型分析了机电产业各部门的脱钩状态。结果表明, 尽管广东省机电产业出口贸易额增长, 但出口贸易隐含碳排放量与出口贸易额之间的关系呈现从强脱钩到弱脱钩的转变, 显示出增长与出口贸易隐含碳排放的脱钩趋势。运输设备部门显示出碳排放达峰迹象, 而金属制品和通用及专用设备等部门仍处于平台期。为促进广东省机电产业的可持续发展, 建议继续推动产业结构优化, 加强技术创新和节能减排措施。

关键词: 机电产业; 出口贸易隐含碳; 碳达峰; Tapio 脱钩模型

Research on the Peak of Embodied Carbon in Export Trade of Guangdong Province's Mechanical and Electrical Industry

Wen Huan, Wang Shaoyu

Software Engineering Institute of Guangzhou, Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract: This study initially estimated the embodied carbon emissions from the export trade of Guangdong Province's mechanical and electrical industry from 2010 to 2020 and subsequently employed the Tapio decoupling model to analyze the decoupling status across various sectors. The findings indicate that while export trade value increased, the relationship between embodied carbon emissions and export trade value shifted from strong to weak decoupling, reflecting a trend of decoupling between growth and carbon emissions. The transportation equipment sector showed signs of carbon emission peaking, whereas the metal products and general and specialized equipment sectors remained in a plateau phase. To foster sustainable development of Guangdong Province's mechanical and electrical industry, it is recommended to continue promoting industrial structure optimization, enhance technological innovation, and strengthen energy-saving and emission reduction measures.

Keywords: mechanical and electrical industry; embodied carbon in export trade; carbon peak; Tapio decoupling model

引言

在当今全球气候变化和环境问题的大背景下, 广东省作为中国的经济大省, 其机电产业的出口贸易与隐含碳排放问题不断受到重视。近年来, 广东省机电产品的出口额持续增长, 2023年, 广东出口机电产品3.56万亿元, 同比增长0.9%, 占出口总值的65.4%; 其中, 家用电器出口增长8%, 锂离子蓄电池、太阳能电池、电动载人汽车等“新三样”出口合计增长33.7%。这一增长不仅体现了广东省在全球贸易中的重要地位, 也暗示了其在全球碳排放格局中的影响力。然而, 随着全球对碳排放问题的关注日益增加^[1], 广东省机电产业的出口贸易隐含碳排放问题也变得尤为突出。通过应用 Tapio 脱钩模型, 可以更准确地评估广东省机电产业出口贸易中的碳排放脱钩状态, 从而为制定有效的环境政策和贸易策略提供科学依据。本文不仅关注了广东省机电产业的出口贸易增长, 而且深入探讨了这一增长背后的环境成本。通过分析广东省机电产业出口贸易隐含碳达峰的问题, 可以更好地理解经济增长与环境保护之间的平衡, 为广东省机电产业实现可持续发展提供数据支持。

一、广东省机电产业出口贸易隐含碳测算

计算公式为:

$$EC=TC \times EX=[(E-A_d)^{-1}-E] \times DC \times EC$$

(一) 出口隐含碳测算模型

测算出口贸易隐含碳量采用 Leontief 提出的投入产出模型,

出口隐含碳排放量 EC 为完全碳排放系数 TC 乘以出口额

EX, E 代表 n 阶单位矩阵, A_d 为实际直接碳排放系数矩阵, DC

本文系: 广州软件学院校级课题: 基于 Tapio 脱钩模型的广东省机电产业出口贸易隐含碳达峰研究, 课题编号: KY202323 的研究成果。

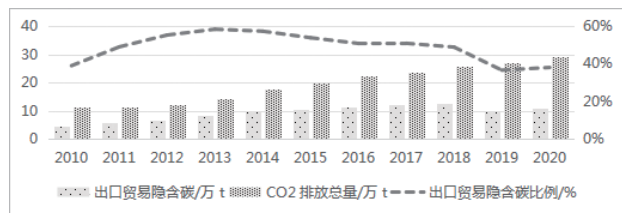
代表部门生产单位价值产品所产生的直接碳排放量。

文中所用到的投入产出表数据、能源消费数据和出口贸易额数据来自于不同的统计方法，在产业部门划分上存在较大差异，为了统一产业部门划分，参考张明志，余东华^[11]的做法，结合《国民经济行业分类》进行了产业部门的调整。为简化下文的表述，金属制品部门为1部门，通用和专用设备为2部门，运输设备部门为3部门，电气设备和机械为4部门，电子和电信设备为5部门，仪器仪表，文化和办公机械为6部门。

(二) 测算结果

本文数据来自于国家统计局《能源统计年鉴》和2016至2020年的中国区域间非竞争型投入产出表。根据上文测算模型，测算结果如图1所示。

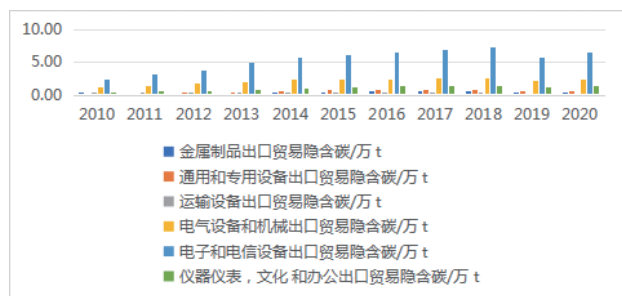
图1 2010—2020年广东省机电产业二氧化碳总排放和出口贸易隐含碳(/万t)



在2010至2020年期间，广东省机电产业的二氧化碳总排放和出口贸易隐含碳呈现出较为复杂的变化趋势。就二氧化碳总排放而言，整体呈上升态势，从2010年的11.598万t增长至2020年的29.286万t。2010—2015年增长相对平缓，2015年后增速有所加快。而出口贸易隐含碳在2010—2018年呈上升趋势，从4.572万t增至12.594万t，2019年明显下降至9.9万t，2020年又有所回升至11.148万t。出口贸易隐含碳占二氧化碳排放总量的比例在2010—2013年快速上升，2013—2019年在50%左右波动，2019年降至37%，2020年回升至38%。

广东省机电产业二氧化碳总排放上升是由于国内外市场对广东省机电产品需求持续增长，使得碳排放难以得到有效控制^[8]。其次，出口贸易隐含碳上升主要是因为出口需求增长，广东省作为重要制造业基地和外贸大省，机电产品出口量持续增加，且在全球产业链中处于中低端环节，生产过程相对耗能高碳^[10]。而2019年出口贸易隐含碳下降及2020年回升，是受贸易摩擦影响导致出口量下降以及产业结构调整促使能源利用效率提高，并且广东省生态环境部门下达了企业碳排放核查任务，推动了企业采取减排措施，这可能对减少单位产值的碳排放起到了积极作用，2020年又因全球经济复苏需求和政策刺激作用使得出口量增加。

图2 广东省机电产业各部门出口贸易隐含碳排放情况(/万t)



在2010至2020年期间，广东省机电产业各个部门的出口贸易隐含碳呈现出不同的变化趋势。总体来看，金属制品出口贸易隐含碳从2010年的0.19万t增长至2020年的0.51万t，总体呈上升态势；通用和专用设备出口贸易隐含碳由2010年的0.24万t上升到2020年的0.69万t，同样呈现上升趋势；电气设备和机械出口贸易隐含碳在2010年为1.26万t，2018年达到2.64万t，虽有波动但整体也呈上升趋势；电子和电信设备出口贸易隐含碳增长幅度较大，从2010年的2.46万t增长至2020年的6.56万t，且在各部门中占比较高；仪器仪表、文化和办公出口贸易隐含碳从2010年的0.43万t增长至2020年的1.32万t，也呈上升趋势。而运输设备出口贸易隐含碳在2010年至2018年在0.35万t至0.40万t之间波动，变化幅度较小，2019年和2020年略有下降但仍处于相对稳定区间。

这种变化趋势背后存在多方面原因。一方面，经济增长带来国内外对机电产品需求的不断增加，广东省机电产业持续进行产业升级与规模扩张^[5]。电子和电信设备在全球市场具有较强竞争力，企业规模扩大及产量和出口量上升，导致其出口贸易隐含碳持续增加。另一方面，部分部门波动原因各异。运输设备出口贸易隐含碳相对稳定是由于市场需求稳定且技术进步和节能减排措施抵消了产量增长带来的碳排放增加^[14]。电气设备和机械的波动可能受市场需求变化、技术创新及政策调整影响。而电子和电信设备出口贸易隐含碳持续上升主要是因为该领域技术更新换代快、市场需求旺盛，广东省在该产业具有集群优势，企业扩大生产规模满足全球市场需求，且电子设备生产过程复杂、能源消耗大。

二、广东省机电产业出口贸易隐含碳达峰分析

(一) 碳达峰判断方法

Tapio 脱钩模型由于其不依赖于基准期的选择以及统计数据的维度，成为了当前广泛使用的脱钩分析工具。该模型能够清晰地展示出出口贸易额与其中所蕴含的碳排放量之间的动态变化关系^[3]。测算公式如下：

$$O = \frac{\frac{\Delta EC}{EC}}{\frac{\Delta EX}{EX}}$$

其中，O为出口贸易隐含碳与出口贸易额之间的脱钩弹性系数，EC为出口贸易隐含碳，EX为出口贸易额， ΔEC 为当期与上一期的出口贸易隐含碳的差值， ΔEX 为当期与上一期的出口贸易额的差值。根据出口贸易隐含碳差值与出口贸易额差值的正负以及脱钩系数数值的不同，可以将出口贸易隐含碳与出口贸易额之间的关系即脱钩系数分为以下八种类型，见表2。

表2 Tapio 脱钩状态分类

分类	状态	ΔEC	ΔEX	脱钩系数 O
连接	1. 衰退连接	<0	<0	(0.8, 1.2)
	2. 增长连接	>0	>0	(0.8, 1.2)

分类	状态	ΔEC	ΔEX	脱钩系数 O
脱钩	3. 衰退脱钩	<0	<0	$(1.2, +\infty)$
	4. 强脱钩	<0	>0	$(-\infty, 0)$
	5. 弱脱钩	>0	>0	$(0, 0.8)$
负脱钩	6. 弱负脱钩	<0	<0	$(0, 0.8)$
	7. 强负脱钩	>0	<0	$(-\infty, 0)$
	8. 增长负脱钩	>0	>0	$(1.2, +\infty)$

本文借鉴了蒋含颖、段伟然^[12]等人的研究,将出口贸易隐含碳的峰值状况分为三个阶段:已实现峰值、峰值前的平台期、尚未达到峰值。通过结合脱钩系数与出口贸易隐含碳排放强度的变化,本文定义出口贸易隐含碳达峰的标准如下:如果脱钩状态属于前六种类型,并且在隐含碳强度达到最高点之后,在随后的五年或更长时间内,出口贸易隐含碳排放强度持续下降并保持在峰值以下,则可认定为已实现出口贸易隐含碳达峰。如果某一行业或地区的出口贸易隐含碳不符合上述标准,则认为其仍处于平台期。而对于处于第七、第八种脱钩状态的行业或地区,无论其出口贸易隐含碳强度如何变动,均被视为未实现达峰。

(二) 机电产业部门脱钩状态分析

表3 广东省机电产业各部门脱钩系数及状态

部门	指标	2010-2013	2014-2017	2018-2020	2010-2020
1	ΔEC	0.06	0.02	0.18	-0.02
	ΔEX	0.14	-0.20	0.11	0.28
	O	0.40	-0.16	1.95	-0.01
	状态	弱脱钩	强负脱钩	增长负脱钩	强脱钩
2	ΔEC	0.13	-0.04	0.09	0.03
	ΔEX	0.24	0.42	0.04	0.11
	O	0.53	-0.09	2.97	0.16
	状态	弱脱钩	强脱钩	增长负脱钩	弱脱钩
3	ΔEC	-0.06	0.00	-0.10	0.17
	ΔEX	0.09	-0.13	0.17	0.62
	O	-1.01	-0.04	-0.72	0.27
	状态	强脱钩	强负脱钩	强脱钩	弱脱钩
4	ΔEC	0.17	0.82	1.41	0.59
	ΔEX	0.19	-0.05	0.31	0.04
	O	1.07	-15.78	4.77	13.92
	状态	增长连接	强负脱钩	增长负脱钩	增长负脱钩
5	ΔEC	0.15	-0.05	0.15	0.08
	ΔEX	0.17	0.02	0.13	0.12
	O	0.98	-7.55	1.26	0.52
	状态	增长连接	强脱钩	增长连接	弱脱钩
6	ΔEC	0.12	-0.03	0.32	0.06
	ΔEX	0.26	-0.08	-0.01	0.10
	O	0.48	0.34	-25.65	0.64
	状态	弱脱钩	弱负脱钩	强负脱钩	弱脱钩

广东省机电产业各部门在2010-2020年间的脱钩状态分析显示,该时期内各部门的经济增长与碳排放之间的关系经历了显著变化^[13]。金属制品部门在2010-2013年呈现弱脱钩状态,表明出口隐含碳排放增长速度低于经济增长速度,但在2014-2017年转变为强负脱钩,意味着碳排放增长速度超过了经济增长速度。通用和专用设备部门在大部分时间段内呈现弱脱钩状态,但在2018-2020年出现了强脱钩。运输设备部门的脱钩状态在不同时间段内波动较大,从2010-2013年的强脱钩到2014-2017年的强负脱钩,再到2017-2020年的强脱钩。电气设备和机械部门在大部分时间段内呈现强负脱钩状态,但在2017-2020年出现了增长负脱钩。电子和电信设备部门在2014-2017年呈现强脱钩状态,但在2018-2020年转变为增长连接,这反映了该部门在这一时期内碳排放与经济增长之间的关联性增强。仪器仪表、文化和办公部门在大部分时间段内呈现强脱钩状态,但在2014-2016年出现了弱负脱钩,最后在2017-2019年又回到了强负脱钩。

(三) 机电产业部门达峰分析

表格4 广东省机电产业各部门达峰情况

部门	脱钩状态	隐含碳强度是否出现峰值后总体下降	达峰阶段
1	强脱钩	否	平台期
2	弱脱钩	否	平台期
3	弱脱钩	是	达峰
4	增长负脱钩	否	未达峰
5	弱脱钩	否	平台期
6	弱脱钩	否	平台期

广东省机电产业各部门的碳达峰状态分析揭示了不同部门在碳排放与经济增长关系上的差异性^[6]。在2010至2020年间,金属制品部门和通用及专用设备部门经历了从强脱钩到弱脱钩的转变,表明经济增长对碳排放的推动作用有所减弱,但隐含碳强度未出现峰值后下降,意味着碳排放强度的改善并不明显,这些部门仍处于平台期。运输设备部门则表现出强脱钩状态,并且隐含碳强度出现峰值后总体下降,这反映了该部门在提高能效和采用清洁能源方面的积极进展,已经达到碳排放的峰值并开始下降。而电器设备和机械部门处于增长负脱钩状态,尚未达到碳排放的峰值,这可能指示该部门的碳排放增长速度快于经济增长,需要进一步的减排措施^[4]。

三、结论

广东省机电产业在2010至2020年间的出口贸易隐含碳排放量整体呈上升趋势,但增长速度有所波动。通过应用Tapio脱钩模型,研究发现广东省机电产业的出口贸易额与出口贸易隐含碳排放量之间的关系经历了从强脱钩到弱脱钩的转变,表明经济增长对碳排放的推动作用有所减弱。尽管如此,部分部门如金属制品和通用及专用设备部门的隐含碳强度尚未出现峰值后下降的趋势,仍处于平台期。而运输设备部门则表现出强脱钩状态,隐含碳强度出现峰值后总体下降,已达到碳排放的峰值并开始下降。

综上所述,广东省机电产业的碳达峰状态存在差异,运输设

备部门已实现达峰，而其他部门则处于平台期或未达峰状态。为实现碳达峰和碳减排目标，广东省应继续推动产业结构优化升级^[9]，加强技术创新和推广，实施有效的节能减排措施^[11]，并关注全球贸易趋势以确保机电产业的全球竞争力和可持续发展^[12]。

参考文献

- [1] 樊星, 李路, 秦圆, 等. 主要发达经济体从碳达峰到碳中和的路径及启示 [J]. 气候变化研究进展, 2023, 19(1): 102-115.
- [2] 何永晴, 豆晓飞, 赵宗虎, 等. 西宁市碳达峰碳中和的关键因素及其对策建议 [J]. 青海科技, 2022, 29(1): 41-47.
- [3] 王红平, 刘凯. 福建省造纸工业碳排放的灰色关联度, Tapio 脱钩分析及情景预测 [J]. 中国造纸学报, 2024, 39(1): 13-20.
- [4] 杨明珍. 关于碳达峰碳中和目标的实现路径探索 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(2): 178-179.
- [5] 尤毅. 我国碳交易机制与政策建议 [J]. 海南金融, 2023(3): 39-46.
- [6] 刘顺翔, 李松青. 湖南省农业碳排放脱钩弹性及驱动因素——基于 Tapio 脱钩模型与 LMDI 分析 [J]. 四川农业大学学报, 2023, 41(5): 952-960.
- [7] 胡跃东. 鄂尔多斯市实现“碳达峰”路径研究 [J]. 北方经济, 2022(6): 22-24.
- [8] 赵守国, 徐仪嘉. 我国西北地区碳达峰碳中和实现路径研究 [J]. 西北大学学报 (哲学社会科学版), 2022, 52(4): 87-97.
- [9] 周雯雯. 碳达峰、碳中和实现路径分析 [J]. 科技创新与生产力, 2022(7): 54-56.
- [10] 县炜, 豆晓飞, 县永平. 碳排放碳达峰碳中和的逻辑要素与分析策略: 以西宁市为例 [J]. 生产力研究, 2022(8): 39-44+135.
- [11] 张明志, 余东华. 中国制造业隐含碳分布及绩效评价——兼论“供给侧改革”的绿色理念 [J]. 统计与信息论坛, 2017, 32(09): 46-54.
- [12] 蒋含颖, 段伟然, 张哲, 曹丽斌, 徐少东, 张立, 蔡博峰. 基于统计学的中国典型大城市 CO₂ 排放达峰研究 [J]. 气候变化研究进展, 2021, 17(02): 131-139.
- [13] Hossain, M. S., Fang, Y. R., Ma, T., Huang, C., & Dai, H. (2023). The role of electric vehicles in decarbonizing India's road passenger toward carbon neutrality and clean air: A state-level analysis. *Energy*, **273**, 127218.
- [14] Zhong, S., Goh, T., & Su, B. (2022). Patterns and drivers of embodied carbon intensity in international exports: The role of trade and environmental policies. *Energy Economics*, **114**, 106313.
- [15] Ma, Y., Li, Y. P., & Huang, G. H. (2023). Planning China's non-deterministic energy system (2021-2060) to achieve carbon neutrality. *Applied energy*, **334**, 120673.