

我国物流碳排放脱钩效应及其驱动因素分析

赵梦凡

同济大学经济与管理学院, 上海

收稿日期: 2024年12月26日; 录用日期: 2025年1月13日; 发布日期: 2025年2月10日

摘要

物流行业是我国三大碳排放源之一, 研究省际物流碳排放的脱钩效应及驱动因素对推动物流业低碳发展具有重要意义。基于Tapio脱钩模型和GDIM因素分解法探究中国物流业的发展与碳排放之间的脱钩效应并对其驱动因素进行分解。结果表明: 2006~2021年, 中国物流业整体脱钩状况以“弱脱钩”为主, 脱钩状态良好。物流业碳排放量呈现出东部高, 中西部低的特点; 其中东部脱钩指数波动较大, 中西部脱钩指数较为稳定。对于驱动因素的贡献度, 物流行业总产值和能源消耗量是阻碍物流业碳排放脱钩的两个主要因素, 物流业发展水平则是实现物流业碳排放脱钩的最大推力。

关键词

物流业, 碳排放脱钩, 驱动因素分析, 广义迪氏指数分解法

Analysis of the Decoupling Effect of Logistics Carbon Emissions and its Driving Factors in China

Mengfan Zhao

School of Economics & Management, Tongji University, Shanghai

Received: Dec. 26th, 2024; accepted: Jan. 13th, 2025; published: Feb. 10th, 2025

Abstract

The logistics industry is one of the three major sources of carbon emissions in China, and the study of the decoupling effect and driving factors of inter-provincial logistics carbon emissions is of great significance in promoting the low-carbon development of the logistics industry. Based on the Tapio decoupling model and the GDIM factor decomposition method, we investigate the decoupling effect between the development of China's logistics industry and carbon emissions and decompose the

driving factors. The results show that from 2006 to 2021, the overall decoupling status of China's logistics industry is mainly "weak decoupling", and the decoupling status is good. Carbon emissions from the logistics industry are high in the east and low in the central and western parts of the country; the decoupling index fluctuates greatly in the east, while the decoupling index in the central and western parts of the country is more stable. In terms of the contribution of driving factors, the gross output value and energy consumption of the logistics industry are the two main factors hindering the decoupling of carbon emissions from the logistics industry, while the level of development of the logistics industry is the biggest push to realize the decoupling of carbon emissions from the logistics industry.

Keywords

Logistics Industry, Carbon Decoupling, Driver Analysis, GDIM Decomposition

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球经济一体化和国内消费升级的双重推动下，物流行业迎来了前所未有的发展机遇。2023 年我国物流总额达到了 3.524×10^{15} 元，同比增长 1.4%。然而，随着物流总额的稳步增长，物流行业作为我国三大碳排放源之一，其碳排放量也在加剧。根据 2023 年中国物流与采购联合会发布的《中国绿色物流发展报告》，我国物流业碳排放占全国碳排放总量的 9%。在全球气候变化应对和我国“双碳”目标的背景下，物流行业和供应链领域的绿色低碳发展具有巨大的潜力和市场空间。由于我国各省、自治区和直辖市在物流业发展水平、经济发展水平和能源结构上存在差异，省际间物流业碳排放也表现出不同的特点。因此，研究我国省际间物流业碳排放的脱钩效应，明确各影响因素对脱钩的驱动机制，并提出相应的碳减排方案，对于推动物流业的绿色低碳发展和实现“双碳”目标具有重要的意义。

当前国内外学者针对物流碳排放问题的研究主要聚焦于碳排放的脱钩效应和驱动因素分析。在碳排放脱钩效应方面，研究多限于特定区域。如付昱铭等[1]学者通过构建 Tapio 脱钩模型，分析全国范围内物流业碳排放与经济增长的脱钩关系；李健[2]和黄国庆[3]等学者则分别研究了京津冀地区和黄河流域的碳排放脱钩情况；刘好等[4]通过 DPSIR 脱钩模型对西藏地区碳排放脱钩效应进行了测度。

在碳排放驱动因素方面，当前学者多采用回归分析[5][6]和指数分解等方法进行研究。其中，由 Ang [7]改进的对数平均迪氏指数分解法(LMDI)因其完全分解、无残差等优势，成为现在研究碳排放驱动因素的主要方法之一，如付昱铭等[1]利用 LMDI 发现城镇化效应是碳排放量增加的关键因素；袁长伟等[8]则运用 LMDI 探讨各驱动因素对公交碳排放量的影响程度。然而，由于各因素间存在关联性，LMDI 无法避免其中的偏差，Vaninsky [9]提出的广义迪氏指数分解法(GDIM)改善了这一问题，并已成功应用于物流业碳排放驱动因素的分析中[10][11]，但主要聚焦于局部区域，在国家层面和省际对比层面尚未得到充分的实践。

鉴于此，本文采用 Tapio 脱钩模型与 GDIM 相结合的方法，将各驱动因素对碳排放和脱钩指数的贡献值量化，丰富碳排放脱钩及因素分析的系统研究框架，对双碳目标的实现有重大意义。

2. 研究区概况及研究方法

2.1. Tapio 脱钩测度模型

起初，学者们常用脱钩理论来研究资源环境状况[12]，后来逐步发展为用其衡量经济发展和环境压力

之间的解耦关系[13]。碳排放脱钩则研究的是行业中 CO₂ 排放量变化与经济增长之间的关系问题。若一段时间内, 在经济增长的同时, CO₂ 排放量增速为负或者小于经济增速即可视为脱钩, 其实质是度量经济增长是否以资源消耗和环境破坏为代价。为精确测量物流业脱钩指数, 本文采用 Tapio 脱钩测度模型, 公式如下:

$$\theta = \frac{\% \Delta C}{\% \Delta GDP_t} = \frac{\Delta C / C}{\Delta GDP_t / GDP_t} \quad (1)$$

式中: θ 为脱钩弹性系数; C 为基期物流业的碳排放量, 吨; GDP_t 为基期物流业产值, 元; ΔC 为与基期相比, 现期物流业碳排放变化量, 吨; ΔGDP_t 为与基期相比, 现期物流业产值变化量, 元。

根据环境库兹涅茨曲线(EKC)假说[14], 经济的增长一般带来环境压力和资源消耗的增大, 但当采取一些有效的政策和新的技术时, 可能会以较低的环境压力和资源消耗换来同样甚至更加快速的经济增长, 这个过程被称为脱钩。脱钩可以进一步划分为弱脱钩、强脱钩和衰退性脱钩等 8 类, 分类标准见表 1。

Table 1. Classification of decoupled carbon emissions

表 1. 碳排放脱钩状态分类标准

脱钩状态		ΔCO_2	ΔGDP_t	θ
脱钩	弱脱钩	> 0	> 0	$0 < \theta < 0.8$
	强脱钩	< 0	> 0	< 0
	衰退脱钩	< 0	< 0	> 1.2
连接	扩张脱钩	> 0	> 0	$0.8 \leq \theta \leq 1.2$
	衰退脱钩	< 0	< 0	$0.8 \leq \theta \leq 1.2$
负脱钩	弱负脱钩	< 0	< 0	$0 < \theta < 0.8$
	强负脱钩	> 0	< 0	< 0
	扩张负脱钩	> 0	> 0	> 1.2

2.2. GDIM 因素分解模型

广义迪氏指数分解法(Generalized Divisia Index Method, GDIM)由 Vaninsky 于 2014 年提出的一种用于分析和量化不同因素对某一目标变量变化值贡献的指数分解方法。它旨在克服传统指数分解方法(如 LMDI)的局限性, 能够同时考虑多个绝对量和相对量因素对目标变量的影响程度, 从而更加全面准确地量化不同因素对碳排放演变的实际贡献。根据 GDIM 的基本原理, 可以将物流业碳排放及相关因素表达为如下公式(1):

$$C = \frac{C}{GDP_t} \times GDP_t = \frac{C}{E} \times E = \frac{C}{POP_t} \times POP_t \quad (2)$$

$$PG = \frac{GDP_t}{POP_t} = \left(\frac{C}{GDP_t} \right) / \left(\frac{C}{POP_t} \right) \quad (3)$$

$$GE = \frac{E}{GDP_t} = \left(\frac{C}{GDP_t} \right) / \left(\frac{C}{E} \right) \quad (4)$$

式中各变量及含义如表 2 所示。

Table 2. Variables and meanings
表 2. 各变量及含义

变量	含义
C	物流业碳排放, t
GDP_t	物流业总产值, 元
E	能源消耗量, t 标煤
POP_t	物流业人口规模
$GC = \frac{C}{GDP_t}$	物流产值碳强度
$EC = \frac{C}{E}$	能源消耗碳强度
$PC = \frac{C}{POP_t}$	人口规模碳强度
$PG = \frac{GDP_t}{POP_t}$	经济发展水平
$GE = \frac{E}{GDP_t}$	物流业单位产值的能耗

进一步可将上述公式变换成以下形式:

$$GDP_t \times \frac{C}{GDP_t} - E \times \frac{C}{E} = 0 \quad (5)$$

$$GDP_t \times \frac{C}{GDP_t} - POP_t \times \frac{C}{POP_t} = 0 \quad (6)$$

$$GDP_t - POP_t \times PG = 0 \quad (7)$$

$$E - GDP_t \times GE = 0 \quad (8)$$

求偏导后, 构造雅可比矩阵 $\Phi(X)$

$$\Phi(X) = \begin{pmatrix} GC & GDP_t & -EC & -E & 0 & 0 & 0 & 0 \\ GC & GDP_t & 0 & 0 & -PC & -POP_t & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -PG & 0 & -POP_t & 0 \\ -C & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -GDP_t \end{pmatrix} \quad (9)$$

设碳排放的变化量为 ΔC , 将其分解为各驱动因素的贡献值之和, 如下:

$$\Delta C[X|\Phi] = \int_l \nabla C^T (I - \Phi_X \Phi_X^+) d_x \quad (10)$$

其中, l 表示 Φ_X 的广义逆矩阵。

若矩阵 $\Phi(X)$ 线性无关, 则

$$\Phi_X^+ = (\Phi_X^T \Phi_X)^{-1} \Phi_X^T \quad (11)$$

由此, 分解出的 8 个驱动因素贡献值为 ΔC_{GDP_t} 、 ΔC_E 、 ΔC_{POP_t} 、 ΔC_{GC} 、 ΔC_{EC} 、 ΔC_{PC} 、 ΔC_{PG} 、 ΔC_{GE} , 将其带入公式(1)可得:

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{\Delta C/C}{\Delta GDP_1} = \frac{\Delta C_{POR_1}/C}{\Delta GDP_1/GDP_1} + \frac{\Delta C_E/C}{\Delta GDP_1/GDP_1} + \frac{\Delta C_{POR_1}/C}{\Delta GDP_1/GDP_1} + \frac{\Delta C_{GC}/C}{\Delta GDP_1/GDP_1} \\ &+ \frac{\Delta C_{EC}/C}{\Delta GDP_1/GDP_1} + \frac{\Delta C_{PC}/C}{\Delta GDP_1/GDP_1} + \frac{\Delta C_{PG}/C}{\Delta GDP_1/GDP_1} + \frac{\Delta C_{GE}/C}{\Delta GDP_1/GDP_1} \\ &= t_{GDR_1} + t_E + t_{POR_1} + t_{GC} + t_{EC} + t_{PC} + t_{PG} + t_{GE}\end{aligned}$$

其中, t_{GDR_1} 、 t_E 、 t_{POR_1} 、 t_{GC} 、 t_{EC} 、 t_{PC} 、 t_{PG} 、 t_{GE} 分别代表各驱动因素的对脱钩指数的贡献值, 当贡献值为正值时, 代表该驱动因素对脱钩起阻碍作用, 反之则反。

3. 分析与结果

3.1. 三大区域物流业碳排放分析

由于中国香港、澳门、台湾和西藏数据缺失较多, 本研究选取了 2005 年至 2021 年中国 30 个省份的数据进行研究, 其中物流业碳排放量数据来源于 CEADs 中国碳核算数据库, 能源消耗量数据来自各年份的《中国能源统计年鉴》, 而物流业产值、增加值、人口规模等数据则源自各省份的统计年鉴。由于当前国民经济行业分类中并未单独列出“物流业”, 且物流业直接统计数据较为缺乏, 依据《中国第三产业统计年鉴》所提供的统计数据, 可以发现“交通运输、仓储和邮政业”在物流业中占据了超过 83% 的比重, 足以在很大程度上体现物流业的发展状况和趋势, 因此本文选用此统计数据来代表物流业[15]。

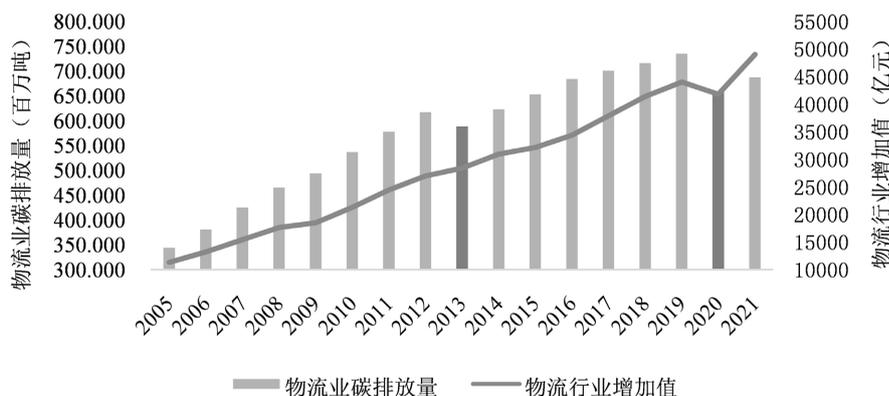


Figure 1. National logistics carbon emissions and sectoral value added, 2005-2021

图 1. 2005 年~2021 年全国物流业碳排放和行业增加值

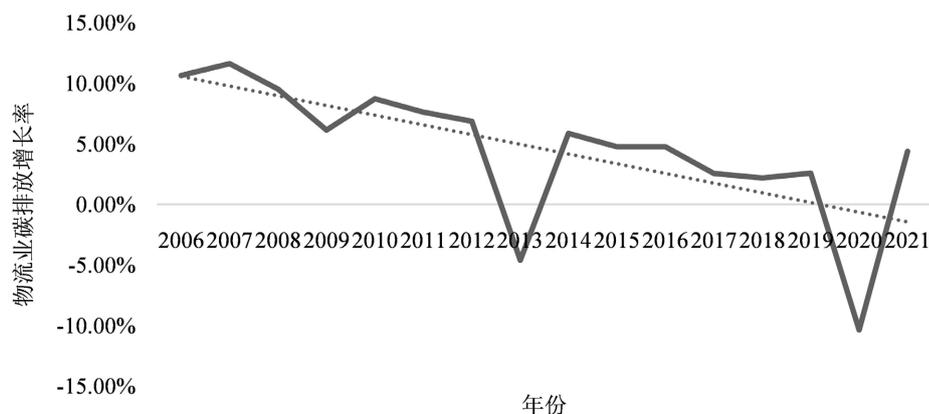


Figure 2. Growth rate of carbon emissions from the national logistics industry, 2006-2021

图 2. 2006 年~2021 年全国物流业碳排放增长率

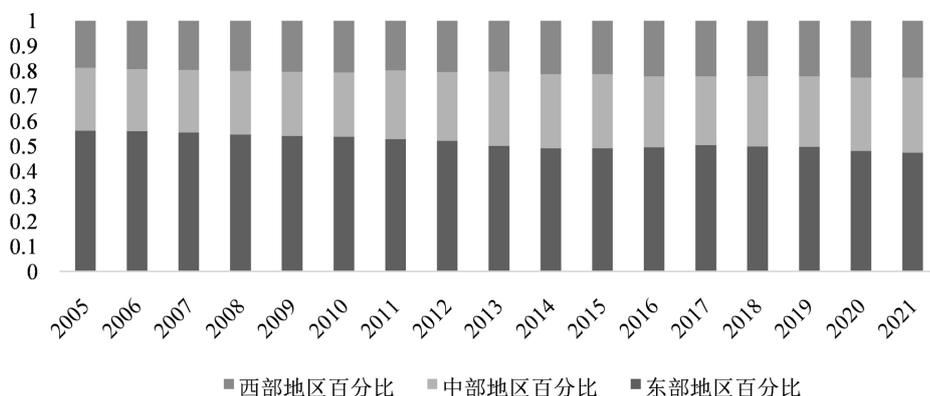


Figure 3. Share of carbon emissions from the logistics sector in the three regions, 2006~2021
图 3. 2006 年~2021 年三大区域物流业碳排放占比

如图 1 所示, 2005 年到 2019 年间, 我国物流业碳排放量与行业增加值趋势基本一致, 总体呈现出以 2013 年和 2020 年为分界线的波动上升趋势, 这可能是由于 2012 年 8 月出台的节能减排“十二五”规划对物流业的碳排放起到了抑制作用。2020 年, 受公共卫生事件影响, 物流行业增加值和碳排放量均有所下降, 随后于 2021 年开始回升。如图 2 所示, 物流业碳排放量增长率在大部分年份为正值, 2013 年和 2020 年除外, 整体上呈现出波动下降趋势, 并且 2013 年到 2019 年期间的增长率普遍低于 2006 年到 2012 年期间, 表明“十二五”规划后, 中国物流业碳排放增速明显放缓。

根据中国“七五”计划, 将中国 30 个省份分为东部、中部和西部三大区域, 各区域的物流业碳排放量占比如图 3 所示。2005 年到 2021 年, 中国三大区域物流业碳排放量呈现出东部高, 西部低的特征, 这与区域经济发展水平基本匹配。其中, 东部地区的比重整体上呈现出下降的趋势, 从 2005 年的 56.1% 下降到 2021 年的 47.3%; 中部地区和西部地区的比重均有所上升, 中部地区从 20.1% 上升到 25%; 西部地区则从 18.8% 上升到 22.7%。这可能是由于东部地区经济发展水平较高, 物流业起步早, 发展成熟, 因此碳排放量基数大。随着国家政策的引导和区域发展战略的实施, 一些高能耗、高排放的产业从东部地区向中西部地区转移, 促进了中西部地区物流业的发展, 进而增加了这些地区的碳排放量比重。

3.2. 三大区域物流业碳排放脱钩效应分析

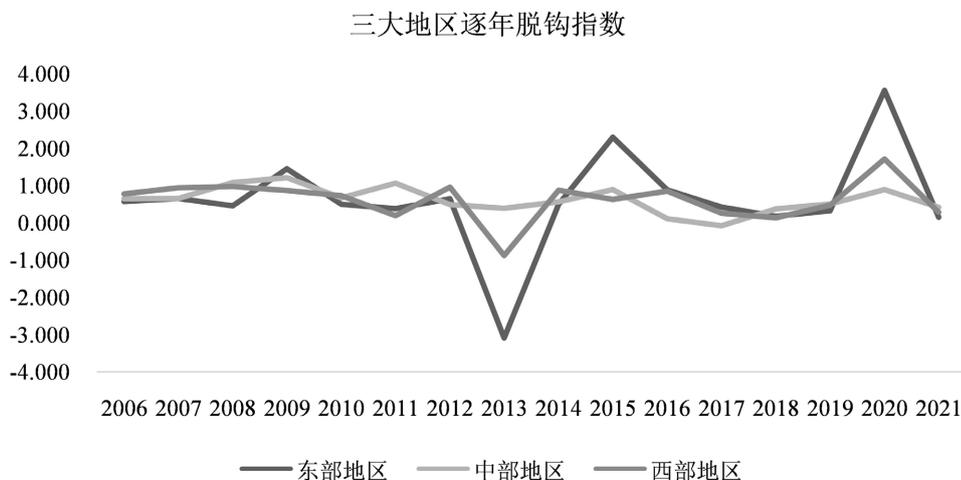


Figure 4. Carbon decoupling indices for the logistics sector in the three regions, 2006~2021
图 4. 2006 年~2021 年三大区域物流业碳排放脱钩指数

从 2006 年至 2021 年的逐年数据来看,我国物流业碳排放与行业经济发展整体以弱脱钩为主,16 年间出现了 12 次。弱脱钩状态下,行业经济发展的增速大于碳排放增速,是物流业绿色低碳发展较理想的状态。其次是扩张负脱钩,分别出现在 2009 年和 2015 年,在此状态下,行业经济发展增速与碳排放增速相近,说明物流业发展对能源碳排放的依赖度相对较高。2013 年,在“十二五”规划的影响下,我国物流业碳排放表现为强脱钩,代表行业增加值增加且碳排放下降,是物流业绿色低碳发展非常理想的状态。2020 年,可能受到公共卫生事件的影响,我国物流业碳排放整体表现为衰退脱钩,并且本年表现为衰退脱钩状态的省份高达 10 个,远远超过其他年份。

由图 4 可知,2006 年到 2021 年,中部和西部地区整体波动较小,指数相对稳定,这可能中部地区物流业的碳排放与经济增长之间的关系较为平衡。相应的,东部地区的波动较大,这或许与东部地区通常经济规模较大,产业结构多样化程度较高有关。其中,2009 年,受制于全球经济危机的影响,与国际市场的联系更为紧密的东部地区产生了明显的上升波动,呈现出扩张负脱钩,随后又在 2013 年的政策影响下产生大幅的下降。2014 年,《物流业发展中长期规划(2014~2020 年)》的实施,强调加快现代物流业的发展,建立和完善现代物流服务体系,提升物流业发展水平,以此推动物流业的转型升级,这或许是 2015 年东中部地区脱钩指数上升的一个重要原因。整体而言,2006 年到 2021 年这 16 年间,三大地区绝大多数时间都呈现出弱脱钩的状态,脱钩指数于 2021 年也均表现良好,情况较为乐观。

3.3. 三大区域物流业碳排放脱钩的驱动因素分解分析

3.3.1. 物流业碳排放驱动因素分解

根据 GDIM 模型,对物流业碳排放脱钩的驱动因素进行分解,以 2005 年为基准,得到物流业总产值、能源消耗量、人口规模、物流产值碳强度、能源消耗碳强度、人口规模碳强度、经济发展水平和物流业单位产值的能耗八个驱动因素对各省份碳排放的贡献率,如表 3 所示。

Table 3. Contribution rate of logistics industry carbon emission drivers by province

表 3. 各省份物流业碳排放驱动因素贡献率

省份	<i>GDP</i>	<i>GC</i>	<i>E</i>	<i>EC</i>	<i>POP</i>	<i>PC</i>	<i>PG</i>	<i>GE</i>
上海	0.46	-0.22	0.41	-0.25	0.14	-0.03	-0.12	-0.01
云南	1.66	-0.22	0.34	-0.01	0.05	0.52	-1.13	-0.02
内蒙古	0.47	-0.21	0.09	-0.05	0.08	-0.06	-0.13	-0.03
北京	0.34	-0.09	0.20	-0.02	0.11	0.09	-0.05	0.00
吉林	0.74	-0.08	0.34	-0.02	0.04	0.65	-0.51	0.01
四川	0.80	-0.14	0.42	-0.02	0.17	0.30	-0.24	0.00
天津	0.60	-0.22	0.15	-0.06	0.07	0.00	-0.22	-0.03
宁夏	0.71	-0.23	0.18	-0.04	0.09	0.01	-0.27	-0.04
安徽	1.54	-0.15	0.59	-0.02	0.13	0.84	-0.83	0.00
山东	0.45	-0.25	0.02	-0.04	0.11	-0.18	-0.09	-0.06
山西	0.77	-0.14	0.30	-0.02	0.02	0.42	-0.42	0.00
广东	0.59	-0.22	0.20	-0.02	0.18	-0.05	-0.12	-0.04
广西	0.91	-0.19	0.23	-0.04	0.02	0.30	-0.55	-0.02
新疆	0.88	-0.21	0.35	-0.03	0.17	0.16	-0.30	-0.02
江苏	0.97	-0.14	0.46	-0.02	0.13	0.48	-0.40	0.00

续表

江西	0.43	-0.13	0.48	-0.03	0.04	0.80	-0.75	0.01
河北	0.53	-0.21	0.08	-0.05	0.03	-0.01	-0.23	-0.03
河南	1.48	-0.12	0.57	0.00	0.09	0.96	-0.86	0.00
浙江	0.61	-0.21	0.29	-0.03	0.25	-0.03	-0.09	-0.03
海南	0.92	-0.23	0.37	-0.01	0.22	0.10	-0.29	-0.03
湖北	1.41	-0.18	0.28	-0.01	0.02	0.73	-1.14	-0.01
湖南	1.10	-0.13	0.48	-0.02	0.09	0.64	-0.54	0.00
甘肃	0.58	-0.15	0.27	-0.05	0.06	0.22	-0.22	0.00
福建	0.96	-0.03	0.63	0.00	0.18	0.70	-0.32	0.00
贵州	1.89	-0.17	0.67	-0.01	0.18	0.97	-1.01	0.00
辽宁	0.45	-0.13	0.15	-0.02	0.03	0.26	-0.26	0.00
重庆	0.99	-0.18	0.47	-0.03	0.20	0.32	-0.34	-0.01
陕西	0.80	-0.23	0.19	-0.05	0.08	0.04	-0.36	-0.03
青海	1.81	0.35	1.48	-0.03	0.32	2.06	-0.70	-0.11
黑龙江	0.28	-0.01	0.24	-0.02	0.05	0.36	-0.15	0.00
东部	0.63	-0.18	0.27	-0.05	0.13	0.12	-0.20	-0.02
中部	0.91	-0.13	0.38	-0.02	0.04	0.59	-0.59	0.00
西部	1.10	-0.14	0.46	-0.03	0.14	0.49	-0.51	-0.03

分析表 3 数据, 2021 年, 物流行业总产值和能源消耗量在所有省份中的贡献率为正值, 对碳排放起到了明显的促进作用, 其中物流行业总产值的影响程度更大。人口规模效应和人口规模碳强度除了个别省份外, 贡献率均为正值, 但整体贡献率数值都较小, 对于碳排放的影响程度比较小。从三大地区的均值来看, 发现在中部和西部, 这四个因素对当地碳排放的促进效果要大于东部地区。其中, 除了人口规模碳强度的影响力是中部大于西部大于东部以外, 其他因素均是西部的贡献率最大。

具体而言, 物流行业总产值是各省促进碳排放最主要的因素, 对西部地区的促进作用最大, 中部地区次之, 对东部地区的促进作用最小。这可能是受到了“西部大开发”和“一带一路”等倡议的影响, 带动了西部地区物流业的快速发展, 且东部地区产业结构调整进一步推动中西部地区承接东部产业转移, 资本大量进入与积累推动了物流行业碳排放的增长。同时, 西部地区地形复杂多样, 交通网络不够完善, 公路、铁路等运输线路密度较低, 物流枢纽和配送中心的建设相对滞后, 无法有效整合物流资源, 提高物流运输的组织化程度, 相同的运输任务需要更长的时间和更多的车辆, 碳排放量随之增加。

能源消耗量是促进碳排放的第二大因素, 这体现出全国各省份目前仍保持着以煤炭为主的能源消耗结构。分地区来看, 能源消耗量对碳排放促进作用的大小与物流行业总产值保持一致, 这表明我国东部地区的能源利用效率总体上最大, 中部次之, 而西部的能源利用效率最低, 东部地区的能源结构已有所改善, 而中西部地区还“任重道远”。这与我国经济发展水平相一致, 中西部地区经济发展水平相比于东部较低, 尤其西部地区基础设施相对滞后, 交通、能源等基础设施不完善, 影响了当地物流业对能源的高效利用。此外, 经济水平导致资金积累有限, 对技术改造和创新的资金投入不足, 能源利用方式较为落后, 能源效率提升空间大。

人口规模效应和人口规模碳强度虽然影响力较小, 但在三大地区均促进碳排放的增长, 这也许是由

于人口会带动能源需求的增加，尤其是在经济发展较快的地区，人口增长带来的碳排放压力更为显著。

对物流业碳排放抑制作用最大的为物流业发展水平，在所有省份的贡献率均为负值，这一方面是由于物流业发展水平是相对量指标，所对应的两个绝对量指标的碳化难以同步，另一方面也意味着物流业的发展给人民带来的福利动力滞后于物流业的发展；除极个别省份外，物流产值碳强度、能源消耗碳强度和物流业单位产值能耗基本均为抑制作用，其中前者的负向驱动作用更强，后两个因素的影响作用更小。从三大地区的角度看，物流业发展水平和物流产值碳强度对碳排放的抑制贡献最大，这离不开各省在政策的影响下纷纷调整了能源结构，使得 GDP 碳化率和能源强度有所下降。

3.3.2. 脱钩驱动因素贡献率分析

根据前文的分析，分别计算了各省份五个时间节点的脱钩驱动因素的贡献率，分别为 2012 年、2013 年、2019 年、2020 年以及 2021 年，表 4 为部分省份情况。

Table 4. Contribution of drivers of decoupling of the logistics sector in selected provinces

表 4. 部分省份物流业脱钩驱动因素贡献率

省份	年份	GDP	GC	E	EC	POP	PC	PG	GE
云南	2021	0.7087	-0.2902	0.1705	-0.3386	0.0287	-0.3488	-0.4235	-0.0140
	2020	1.7852	-0.1800	0.3915	0.1528	0.0671	0.8447	-1.1549	-0.0278
	2019	2.4992	-0.0897	0.5476	0.5224	0.0879	1.8468	-1.6312	-0.0314
	2013	0.1505	-0.1434	0.1440	-0.1452	0.0847	-0.0988	-0.0061	0.0000
	2012	0.1223	-0.0929	0.1713	-0.1318	0.0152	0.0045	-0.0217	-0.0065
吉林	2021	0.3376	-0.2668	0.1587	-0.2787	-0.0217	-0.2201	-0.2219	0.0039
	2020	0.5044	-0.1408	0.2616	-0.1147	-0.0225	0.2763	-0.3071	0.0045
	2019	0.1511	-0.3173	0.0917	-0.3314	-0.0104	-0.3931	-0.0728	0.0015
	2013	0.7707	0.7181	0.6139	0.9112	-0.0206	1.4440	-0.2405	0.0012
	2012	0.1833	-0.2650	0.1320	-0.2736	-0.0214	-0.2362	-0.0985	0.0008
宁夏	2021	0.5504	-0.2630	0.1447	-0.1943	0.0769	-0.1815	-0.2001	-0.0292
	2020	1.2141	-0.0109	0.2053	0.5851	0.1149	0.9529	-0.5040	-0.0486
	2019	0.9854	-0.0842	0.2046	0.3781	0.1164	0.5918	-0.3778	-0.0432
	2013	2.4102	0.5823	0.2936	1.5273	0.2448	2.6661	-0.8520	-0.0637
	2012	0.4907	-0.2611	0.0920	-0.2111	0.0407	-0.2076	-0.2057	-0.0307
山东	2021	0.2999	-0.2840	0.0169	-0.2653	0.0770	-0.3032	-0.0525	-0.0453
	2020	2.3038	2.2788	0.0043	1.9490	0.5866	2.9823	-0.2016	-0.0668
	2019	0.2658	-0.2922	0.0527	-0.2962	0.0772	-0.3115	-0.0405	-0.0293
	2013	2.2297	5.2377	-0.0119	2.9666	1.0477	4.6576	-0.0232	-0.0412
	2012	0.4748	0.1128	0.2829	0.2585	0.1137	0.4671	-0.0773	-0.0037
湖北	2021	0.8232	-0.2453	0.1762	-0.2312	-0.0177	-0.0488	-0.6323	-0.0065
	2020	1.0191	-0.1794	0.2360	0.0144	0.0140	0.4162	-0.6466	-0.0192
	2019	1.6270	-0.1483	0.3754	0.1631	0.0343	0.9639	-1.0955	-0.0204
	2013	0.3351	-0.2331	0.0931	-0.1704	0.0448	-0.1470	-0.0955	-0.0175
	2012	0.2518	-0.2405	0.0829	-0.2332	-0.0243	-0.1761	-0.1349	-0.0019

续表

	2021	0.4209	-0.3158	0.2742	-0.3251	0.0916	-0.2927	-0.1391	0.0010
	2020	2.3844	3.9780	2.6023	4.2778	0.4736	3.4598	-0.1411	-0.0020
福建	2019	0.6898	0.0045	0.6252	-0.0693	0.2198	0.4803	-0.1505	-0.0108
	2013	0.4228	0.0056	0.3834	0.0113	0.2337	0.1859	-0.0265	0.0001
	2012	0.3209	-0.1199	0.2818	-0.1322	0.0759	0.0769	-0.0698	-0.0008
	2021	0.3604	-0.1884	0.1177	-0.1384	-0.0276	0.0256	-0.2038	-0.0030
	2020	0.5229	-0.0184	0.1578	0.1884	-0.0340	0.5371	-0.2687	-0.0095
辽宁	2019	0.5483	-0.0430	0.2079	0.1249	-0.0096	0.4812	-0.2602	-0.0058
	2013	0.6690	0.0319	0.1346	0.4022	0.0455	0.6211	-0.2295	-0.0298
	2012	0.3630	-0.1830	0.1050	-0.1055	-0.0080	0.0215	-0.1676	-0.0089
	2021	0.1033	-0.3560	0.0604	-0.3873	0.0295	-0.4277	-0.0149	-0.0007
	2020	1.2854	0.1363	0.7253	0.4717	0.3006	1.0894	-0.3292	-0.0077
重庆	2019	0.4912	-0.3148	0.2771	-0.3247	0.1353	-0.2872	-0.1330	-0.0003
	2013	0.4623	0.0987	0.4689	0.0796	0.3882	0.1806	-0.0039	-0.0004
	2012	1.7159	5.6321	1.9729	6.0528	0.2333	4.0450	-0.0583	-0.0010
	2021	0.1441	-0.2451	0.1190	-0.2540	-0.0322	-0.1974	-0.0809	-0.0005
	2020	0.3379	0.4989	0.3462	0.5453	-0.0766	0.9349	-0.1200	-0.0013
黑龙江	2019	0.1467	-0.2246	0.1468	-0.2374	-0.0160	-0.1536	-0.0627	-0.0032
	2013	0.3452	-0.0215	0.2845	-0.0225	0.0063	0.3228	-0.1256	0.0001
	2012	0.1225	-0.2985	0.0905	-0.3060	-0.0115	-0.3258	-0.0505	0.0007

从时间的维度上,与2021年类似,物流行业总产值和能源消耗量长期保持抑制脱钩的作用,是物流业碳排放脱钩最大的两个不利因素,这是由于物流业的发展在推动经济增长的同时促进能源消耗的增长,导致碳排放量攀升。人口规模除了东北三省以外,其他地区均稳定表现出对物流业碳排放脱钩的抑制作用,与上文分析较为一致,而东北三省或许是因为人口外流和出生人口的下降,导致人口老龄化严重,进而影响物流业的需求和人力资源配置及运营效率,从而促使物流企业采取更加高效的运营策略以减少对能源的依赖,进而助力当地物流业碳排放脱钩的实现。

物流业发展水平是各省实现物流业碳排放脱钩的最大推力,在所有省份都稳定地促进物流业碳排放脱钩的实现。物流产值碳强度则是促进碳排放脱钩的另一大因素,大多数省份都维持着相对稳定的促进作用,也有部分省份在这些年间表现出了多次抑制状态,如重庆、山东、辽宁、福建和宁夏,说明这些省份的物流产业结构的优化政策仍有进步空间。能源消耗碳强度在大多数省份多表现出促进作用,但部分省份仍在部分年间表现出阻碍作用,如2019年到2020年此因素在湖北和云南均阻碍了物流业碳排放脱钩;辽宁和宁夏则分别在2013年到2020年呈现出抑制状态,此因素在这四个省份都在2021年转为促进作用,体现了四个省份的能源结构也都有所调整和改善。

4. 结论及建议

基于2005年到2021年相关能耗数据,利用Tapio脱钩模型及GDIM法对全国30省份物流业碳排放与物流业发展的脱钩关系及驱动因素进行分解分析,得出以下结论:1)我国物流行业碳排放整体呈现出

以 2012 年和 2020 年为分界线的波动上升趋势, 脱钩状况以“弱脱钩”为主, 展现出较为良好的物流行业绿色发展的状态。2) 东部地区是物流业碳排放的主要来源地, 脱钩指数波动较大; 随着时间的推移, 中西部地区物流业碳排放的比重逐年上升, 但脱钩指数较为稳定; 其中, 中部地区脱钩指数整体呈现降低趋势, 脱钩状态有所优化; 3) 本文研究的八个因素中, 物流行业总产值和能源消耗量是阻碍物流业碳排放脱钩的两个主要因素, 物流业发展水平则是实现物流业碳排放脱钩的最大推力。因此各省物流业应加大物流业能源调整力度, 进行产业结构优化, 提升物流效率, 从而降低单位产值所需能耗, 降低碳排放, 促进强脱钩效应的实现。

基于以上结论, 结合物流业现阶段碳排放与发展状况提出以下建议:

一是加强技术研发和产业结构升级。应加大研发和支持低碳技术的力度, 注重技术进步所带来的经济效率的提升, 优化技术投入, 降低行业技术发展碳强度, 推进各省份物流业进行产业结构调整。东部地区应鼓励企业与高校、科研机构合作, 设立物流技术研发中心, 重点研发智能物流系统、新能源运输车辆等关键技术, 推动物流企业向高端化、智能化、绿色化方向发展, 从传统的运输、仓储等单一服务向综合物流服务提供商转型; 中部地区可结合本地产业特点, 加强物流业与制造业、农业等产业深度融合, 形成产业链上下游协同发展的格局, 提高产品物流效率和附加值, 减少运输过程中的能源浪费; 西部地区则应加强与东部地区的技术合作, 重点研发适应复杂地形和恶劣环境的物流技术设备, 同时结合西部地区的资源优势, 推动物流业与能源、矿产等资源型产业协同发展, 优化资源配置和物流布局, 并鼓励物流企业参与西部地区的基础设施建设, 如交通网络、物流枢纽等, 为物流业的可持续发展提供支撑。

二是持续优化能源结构, 降低物流业能源碳强度。研究表明, 能源结构和产出规模仍是导致碳排放增加和脱钩效应受阻的重要因素。当前, 物流业对化石能源过度依赖, 其发展势必伴随着能源消耗和碳排放增加, 因此, 各省份应根据各地资源条件加强对光能、风能、氢能等清洁能源的利用, 并建立跨区域能源合作, 实现能源资源的优化配置和互补利用, 从而促进物流业能源结构的绿色升级。

三是加强区域间的交流与合作, 实施省际物流业的“协同减排”战略。目前, 各省份物流业的脱钩指数存在较大波动, 且脱钩状态并不稳定。为此, 可以制定有效的区域合作政策, 一方面利用经济较发达地区和碳减排效果显著地区的带动作用, 强化东部和中部地区在碳减排方面的空间外溢效应, 同时促进西部地区在经济发展中借鉴其他地区的减排经验; 另一方面, 对于碳排放量较高的地区, 可以推动跨省的物流业碳减排合作, 实现省际物流业协同减排的规模效应, 优化省际间的分工合作和资源配置, 推动全国物流业实现碳排放与经济增长的脱钩。

参考文献

- [1] 付昱铭, 蒋惠园, 唐勇平. 我国物流业碳排放脱钩状态及影响因素研究[J]. 铁道运输与经济, 2024, 46(11): 62-70.
- [2] 李健, 白子毅, 李柏桐. 双碳背景下京津冀物流业碳排放脱钩及影响因素研究[J]. 城市问题, 2022(5): 69-76.
- [3] 黄国庆, 汪子路, 时朋飞, 周贻. 黄河流域旅游业碳排放脱钩效应测度与空间分异研究[J]. 中国软科学, 2021(4): 82-93
- [4] 刘好, 吴梦羽, 母睿静. 西藏地区交通运输业碳排放驱动因素分解及脱钩效应研究[J]. 西藏大学学报(社会科学版), 2021, 36(1): 126-133.
- [5] 陈艺骋, 李祥龙, 张园园. 责任共担视角下中国省域物流业碳排放时空演变分析[J/OL]. 环境科学: 1-20. <https://doi.org/10.13227/j.hjcx.202405050>, 2024-08-10.
- [6] 何景师, 王术峰, 徐兰. 碳排放约束下我国三大湾区城市群绿色物流效率及影响因素研究[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(8): 30-36.
- [7] Ang, B. W. (2004) Decomposition Analysis for Policymaking in Energy: Which Is the Preferred Method? *Energy Policy*, 9, 1131-1139. [https://doi.org/10.1016/s0301-4215\(03\)00076-4](https://doi.org/10.1016/s0301-4215(03)00076-4)

- [8] 袁长伟, 彭琛. 城市公交碳排放效率评价及驱动因素分析[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2024, 44(4): 139-148.
- [9] Vaninsky, A. (2014) Factorial Decomposition of CO₂ Emissions: A Generalized Divisia Index Approach. *Energy Economics*, **45**, 389-400. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.07.008>
- [10] 戈秋虞, 张兰怡, 邱荣祖, 等. 基于 GDIM 法的福建省交通碳排放驱动因素分析[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2022, 51(1): 131-136.
- [11] 石振武, 李琳, 王金茹. 北方寒冷地区交通碳排放驱动因素分析[J]. 铁道运输与经济, 2024, 46(5): 219-226.
- [12] Dietz, T. and Rosa, E.A. (1994) Rethinking the Environmental Impacts of Population, Affluence and Technology. *Human Ecology Review*, **1**, 277-300.
- [13] Jackson, T. (2009) *Prosperity without Growth: Economics for a Finite Planet*. Routledge.
- [14] Kuznets, S. (1995) Economic Growth and Income Inequality. *American Economic Review*, **45**, 1-28.
- [15] 张立国, 李东, 周德群. 中国物流业二氧化碳排放绩效的动态变化及区域差异——基于省级面板数据的实证分析[J]. 系统工程, 2013, 31(4): 95-102.