

长江经济带物流业 CO₂ 减排效率测度 与根源分解¹

程云鹤¹；程嘉雨²

(1. 安徽理工大学经济与管理学院，安徽淮南 232001；

2. 蚌埠学院，蚌埠，233030)

【摘要】提高物流业的 CO₂ 减排效率是实现长江经济带生态优先绿色低碳发展的重要途径。本文运用非参数松弛测度与共同前沿方法，测算了 2004-2016 年长江经济带物流业 CO₂ 减排效率和上中下游段间的 CO₂ 减排技术差距，分析经济带上中下游段间的差异性与演变趋势，并对 CO₂ 减排无效率进行分解，以探寻长江经济带各省市物流业 CO₂ 排放无效率的根源。结果显示：考察期内长江经济带物流业 CO₂ 减排效率不高，且呈下降趋势，带内差异明显，下游物流业的 CO₂ 减排效率与减排技术水平平均高于中上游；减排技术差距存在及扩大是大部分省市物流业 CO₂ 减排无效率的主要因素，少数省市管理无效率阻碍了 CO₂ 减排效率提升。不同省份应根据省情因地制宜地实施重点发展策略。

【关键词】长江经济带；物流业 CO₂ 排放；SBM 模型；MetaFrontier

一、引言

随着 2020 年的到来，世界各国携手合作应对全球气候变化进入了《巴黎气候变化协定》时代。中国承诺到 2030 年实现“碳达峰”和 2060 年“碳中和”，如此伟大目标必然要落实到国民经济中各产业去实现。物流业作为经济社会发展的先导性和服务性产业，其能源消耗和 CO₂ 排放是仅次于工业的第二大能耗和 CO₂ 排放产业，降耗减排任务艰巨。当前，长江经济带作为经济新常态下三大发展战略之一，是国家重点打造的生态文明建设先行示范带。长江经济带战略的实施要求物流业在建设绿色低碳等综合立体交通走廊方面发挥战略性和先导性产业作用。因此，长江经济带物流业能否率先实现绿色低碳发展对于区域生态文明建设和物流业自身转型升级均具有重要的理论意义和现实价值。本文从全要素视角对长江经济带各省市的物流业 CO₂ 减排效率进行测度，并探索其时空发展规律及无效率根源，以期相关部门在制定长江经济带物流业的绿色低碳发展政策提供咨询和参考。

二、相关文献综述

由于物流业在经济社会发展中的重要作用，物流业效率是社会各界关注的热点问题。物流业效率测度主要包括物流业效率评价指标体系构建和效率评价方法选择两个方面。在指标体系构建方面，早期研究多是基于经济维度聚焦于物流业的成本与收

¹**基金项目：**国家社科基金（14BJL105）；中国工程科技发展战略安徽研究院 2018 年重大咨询项目；安徽省能源产业发展战略研究（2018-02）；安徽省教育厅人文社会科学研究重大项目（SK2017ZD07）。

作者简介：程云鹤（1972-），男，安徽肥东人，博士、副教授，研究方向：低碳发展、资源与环境经济研究；程嘉雨（2001-），女，安徽肥东人，蚌埠学院英语专业学生，研究方向：资源环境经济。

益等指标, 指标的选择主要包括投入要素资本、劳动力与“期望”的产出要素包括物流业增加值、货运周转量和货运量等。研究方法主要包括随机前沿分析法(Stochastic Frontier Approach, SFA)^[1-2]和数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)等效率评价方法^[3]。其中, 由于DEA方法无需事先设定函数形式且模型众多, 受到广泛青睐, 如模糊DEA(Fuzzy-DEA)模型^[4]、DEA-Malmquist模型^[5]、虚拟前沿网络SBM模型^[6]、基于松弛(Slacks-based measure, SBM)的DEA超效率(Super-efficiency)模型等^[7]。近年来, 随着全球气候变化、生态等环境问题日益显现, 物流业的高能耗、高排放(物流业贡献了全球22%的CO₂排放量和大约19%的黑碳排放)加剧了环境矛盾^[8], 因而环境友好型物流成为当前最大诉求^[9]。低碳物流^[10]、绿色物流^{[11][12]}、物流业能源效率^[13]等概念相继产生, 物流业发展评价指标也从单要素指标^[14]向经济、社会与环境等综合评价指标拓展, 能源、非期望产出(如CO₂、噪声、污水等)指标相继被纳入物流业发展评价框架内, 形成了在能源-经济-环境(3E)系统下分析物流业的绿色低碳、可持续发展研究范式^[15-16]。DEA方法由于在处理非期望产出方法具有独特优势而被广泛运用于宏观、微观物流业发展的评价。宏观层面探讨低碳约束对物流效率的影响^{[17][18]}, 物流业全要素生产率的变化^[19]。微观层面通过比较上市港口企业的环境保护和运营效率, 认为按港口分类实施环境政策有利于提高港口环境绩效^{[20][21]}。由此, 包含环境负产出的DEA研究方法也被运用于评价长江经济带物流业综合效率(杨恺钧等, 2016;^[22]王育红和刘琪, 2017;^[23]于丽英等, 2018^[24]), 对长江经济带物流业的绿色低碳发展提供了有益的参考。但是, 物流业CO₂减排效率测度是一门系统性工程, 涉及到投入、中间产品消耗、人力劳动消耗和最终产出等多个环节, 具备显著的“全要素”特点, 在全要素框架下考虑到区间技术异质性更为全面。

目前, 现有文献对长江经济带物流效率研究的局限性主要体现在以下三个方面: 一是已有文献在对长江经济带物流业绿色效率测度时多是基于“技术同质”这一假设。长江经济带11省市横跨东中西三大区域, 区域间存在技术差异, 这一假设难以成立。如果忽略区域间技术异质性, 将无法探究效率低下的深层次原因, 进而可能导致决策失误。二是研究方法, 现有文献对长江经济带物流CO₂减排效率进行测算, 没有充分考虑变量的松弛性问题, 存在效率被高估的局限性; 三是现有研究未能挖掘长江经济带物流业CO₂减排效率低下省市的根源。为弥补现有文献的不足, 本文基于全要素和要素替代的思想, 基于共同前沿理论, 构建一个包含环境负产出的技术异质性效率测度模型——MetaFrontier-SBM模型, 对2004-2016年长江经济带11省市的物流效率进行测度。解决了径向模型对无效率的测量没有包含松弛变量的问题, 以期为实现长江经济带物流产业实现绿色低碳、可持续发展政策制订提供参考依据。

三、研究方法数据来源

及处理

数据包络分析(DEA)中传统的CCR和BBC径向模型难以较好解决非期望产出和松弛变量等问题。为此, Cooper et al. (2007)^[25]改进了Tone(2001)网的非径向非导向的SBM(slack-based measure)模型, 提出用SBM-Undesirable模型。同时, 考虑到不同区域技术异质性, 仅采用总体样本难以准确测度各区域真实的效率水平。Ning Zhang et al (2015)四又将共同前沿理论(Battese et al. 2004; O'Donnell et al., 2008)^[28-29]与SBM-Undesirable模型结合, 提出共同前沿(Metafrontier)SBM模型。

(一) 共同前沿SBM模型

共同前沿SBM模型的基本原理是通过构建共同生产前沿和组群生产前沿两个不同的技术集, 通过不同参考技术集测算技术差距对效率的影响。

设全部决策单元 $x \in R^m$ 为投入向量, $y \in R^r$ 与 $b \in R^l$ 分别为好产出和坏产出向量。全部决策单元中有H个组群具有某些技术异质性, 则组群H的群组技术集 $Th = \{ \{x, y, b\} : x \text{ 能生产出 } (y, b) \}$, $h=1, 2, \dots, H$; H个组群的共同前沿技术集运用全部观察对象构建了包络所有组群前沿技术集, 表现为各子技术集的并集: $T_n = \{ \tau_1 U_1 \cup \dots \cup \tau_H \}$ 。通过求解线性规划方程组(1)和(2), 可获得群前沿效率值 P_n^h 和共同前沿效率值 P_n^* 。

$$\begin{aligned}
\rho_g^* &= \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{m=1}^M \frac{s_{m0}^x}{x_{m0}}}{1 + \frac{1}{R+J} \left(\sum_{r=1}^R \frac{s_{r0}^y}{y_{r0}} + \sum_{j=1}^J \frac{s_{j0}^x}{b_{j0}} \right)} \quad (1) \\
s.t. & \sum_{n=1}^N \lambda_n x_{mn} = x_{m0} + s_{m0}^x; \sum_{n=1}^N \lambda_n y_{rn} = y_{r0} + s_{r0}^y; \\
& \sum_{n=1}^N \lambda_n b_{jn} = b_{j0} + s_{j0}^x; s_{m0}^x \geq 0, s_{r0}^y \geq 0, s_{j0}^x \geq 0, \lambda_n \geq 0, \\
\rho_m^* &= \min \frac{1 - \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{s_{m0}^x}{x_{m0}}}{1 + \frac{1}{R+J} \left(\sum_{r=1}^R \frac{s_{r0}^y}{y_{r0}} + \sum_{j=1}^J \frac{s_{j0}^b}{b_{j0}} \right)} \\
s.t. & \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H \sum_{n=1}^{N_h} \lambda_n^t x_{mn}^t = x_{m0}^t + s_{m0}^x; \quad \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H \sum_{n=1}^{N_h} \lambda_n^t y_{rn}^t = y_{r0}^t - s_{r0}^y; \\
& \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H \sum_{n=1}^{N_h} \lambda_n^t b_{jn}^t = b_{j0}^t + s_{j0}^b; \quad \sum_{h=1}^H \sum_{n=1}^{N_h} \lambda_n^h = 1 \\
& s_{m0}^x \geq 0, s_{r0}^y \geq 0, s_{j0}^b \geq 0, \lambda_n^h \geq 0
\end{aligned} \quad (2)$$

上式中，向量 $s_{m0}^x \in R^M$ 表示投入冗余量，向量 $s_{r0}^y \in R^J$ 表示坏产出超标量，向量 $s_{j0}^b \in R^N$ 表示好产出的不足量； λ_n 与 λ_n^h 分别为构建方程组非负乘数向量； ρ^* 关于 s_{m0}^x 、 s_{r0}^y 和 s_{j0}^b 严格递减，且目标值满足 $0 \leq \rho^* \leq 1$ 。当且仅当 $s_{m0}^x=0$ 、 $s_{r0}^y=0$ 和 $s_{j0}^b=0$ 时， $\rho^*=1$ ，该决策单元达到技术有效；如果 $\rho^* < 1$ ，则决策单元的 CO₂ 减排缺乏效率。由此，可以通过减少 CO₂ 排放超标量 s_{m0}^x 提高减排效率。

通过公式 (1) 和 (2) 计算，可得群组前沿下 GCEE (Group-frontier Carbon Emission Efficiency, GCEE) CO₂ 排放超标量 s_{m0}^{sb} 的值和共同前沿下 MFCEE (Metafrontier-CEE) 排放超标量 s_{m0}^{mb} 的值。由此，运用公式 (3) 和 (4) 获得 群组前沿和共同前沿下 CO₂ 排放的实际效率值 GCEE 和 MFCEE。

$$GCEE = \frac{c_{it} - s_{it}^{sb}}{c_{it}} \quad (3)$$

$$MFCEE = \frac{c_{it} - s_{it}^{mb}}{c_{it}} \quad (4)$$

由于共同前沿是 H 个群组前沿的包络曲线，因此以共同前沿为基础的 MFCEE 总是小于群组前沿下的 GCEE，即 $MFCEE < GCEE$ 。二者比值即为“共同技术率” (Meta Technology Ratio, MTR)：

$$0 < MTR = \frac{MFCEE}{GCEE} \leq 1 \quad (5)$$

MTR 是衡量群组前沿技术与共同前沿技术的接近程度。MTR 越高，群组前沿技术越接近共同前沿技术。当 MTR=1 时，则意味这两组前沿技术在 CO₂ 减排效率方面没有差距；反之则是存在差距。

(二) CO₂ 排放无效率分解

为了进一步探究不同地区技术差距的根源，本文借鉴 Choi et al. (2012)^[30] 的方法，将共同前沿下决策单元的 CO₂ 排放无效率 (MCEIE) 分解为“技术差距无效” (technology gap inefficiency, TGI) 与“管理无效” (managerial inefficiency, GMI)，即：

$$MCEIE = 1 - MFCEE = TGI + GMI \quad (6)$$

$$TGI = GCEE \times (1 - MTR) \quad (7)$$

$$GMI = 1 - GCEE \quad (8)$$

其中，TGI 表示群组间减排技术的差距导致的无效；GMI 表示减排技术相似，由于资源配置与减排管理方面的失误而导致减排无效。

(三) 数据的选取及处理

关于投入产出变量的选择，本文从以下几个方面来考虑：一是以生产理论为基础，经典的道格拉斯生产函数是从物质资本和人力资本方面投入来计算产业经济的发展情况。二是参照道格拉斯生产函数构架思路以及钟祖昌(2010)的思路，^[31]选取了长江经济带 11 省市 2004—2016 年交通运输、仓储和邮政业的投入产出数据。投入要素包括“资本存量(K)”、“从业人员(L)”和“能源消费(EN)”。之所以增加了能源是因为“能源”是中间消耗产品，且化石能源是 CO₂ 排放的碳源。由于“资本存量”年鉴中没有，本文采用“永续盘存法”计算， $k_t = I_t + (1 - \delta) k_{t-1}$ ，其中，其中 k_t 为第 t 年的资本存量， I_t 为第 t 年的固定资产投资， δ_t 表示第 t 年的折旧率， $\delta_t = 0.0542$ (薛俊波和王铮，2007)^[32]。固定资产投资额以 2000 年为基期，采用单豪杰(2008)^[33]方法计算，单位亿元；“从业人员”采用各省物市“交通运输、仓储和邮政业投”投入指标，单位：万人；“能源投入”数据来源于《中国能源统计年鉴》中各省市的能源平衡表终端能源消费数据，统一折算为万吨标准煤，折算系数参考 2017 年《中国能源统计年鉴》附录 4 各种能源折标准煤参考系数。产出要素包括“产业增加值 (VAL)”、“货物周转量 (HWZ)”和“CO₂”数据。“产业增加值”运用年鉴上当年价格产业增加值与地区生产总值的比例乘以 2000 年为基期的地区国民生产总值平减值而获得。“货物周转量”可以从年鉴中直接获得，单位：亿吨公里；“货物周转量”指标的选取是由于物流业不是以生产产品为目的的而是以货物产品位移服务性属性所决定的。负产出“CO₂”排放数据同样来源于历年《中国能源统计年鉴》能源平衡表中“交通运输、仓储和邮政业”终端含碳能源消费带来的 CO₂ 排放。其计算公式为：

$$C = \sum_{i=1}^n C_i = \sum_{i=1}^n E_i \times NCV_i \times CEF_i \times COF_i \times (44/12) \quad (9)$$

式中， E_i 为第 i 种能源消费量， ECV_i 为第 i 种能源的平均低位发热量，热值取自 2017 年《中国能源统计年鉴》附录 4 提供的平均低位发热量^[32]， CEF_i 为提供的第 i 种能源的单位热值含碳量，含碳量和碳氧化率选用《中国煤炭生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》提供的缺省值， COF_i 是碳氧化率；固体燃煤取 0.94，液体燃料 0.98，气体燃料取 0.99^[34]；44/12 为碳分子转化二氧化碳分子系数。

四、实证分析

(一) 长江经济带物流业 CO₂ 减排效率的时空分布

按照前文共同前沿理论将长江经济带 11 个省市以传统东部（江苏、上海和浙江）、中部（安徽、江西、湖北和湖南）和西部（重庆、四川、贵州和云南）划分，构建组群技术前沿和全局技术前沿。运用公式（1）、（2）测算组群跨期技术基准和全局跨期技术基准下线性规划方程的最优解，利用公式（3）、（4）获得长江经济带物流业群组前沿 CO₂ 减排效率以及共同前沿 CO₂ 减排效率（如图 1 所示）。

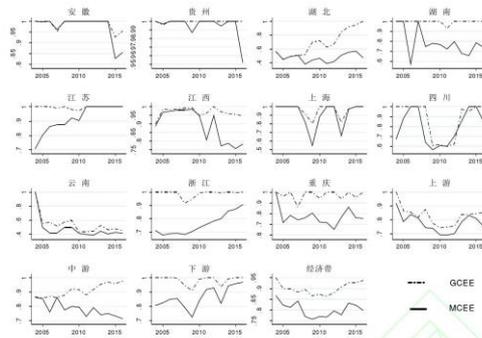


图 1 长江经济带、上中下游及省市物流业群组 CO₂ 减排效率与共同 CO₂ 减排效率 (2004—2016 年)

由图 1 可知,在考察期内,长江经济带 GCEE 均值为 0.9011,意味着 CO₂ 减排效率仅可提高 9.89%。相比之下, MFCEE 均值为 0.8027,表明长江经济带的 CO₂ 减排效率还有 19.73% 的提升空间。二者差异,主要是参考基准不同所致, GCEE 以组群前沿技术为参考基准,反映组群技术基准下决策单元潜在最优减排效率;而 MFCEE 是以共同前沿技术为参考基准,反映的是决策单元与全局潜在最优减排技术下各省市物流业的低碳发展水平。由于组群前沿技术一般不会高于共同前沿技术,因此各省市物流业的 CO₂ 实际排放点与组群前沿的距离不会小于其与共同前沿的距离,从而造成了两类前沿下效率之间的差异。其次,由于不同组群省市之间参照的技术基准不同, GCEE 不能进行统一比较,本文后续的比较与评判的依据是 MFCEE。

从时间维度来看,考察期内共同前沿下整个经济带物流业 CO₂ 减排效率呈现“U”型,但整体仍然呈下降趋势,下降幅度达 6.9%,年均下降率为 0.64%。分阶段来看,2004—2009 年间由 0.8674 下降到 0.7573;2010—2016 年则呈现上升趋势,由 0.7545 上升到最高点的 0.8413,上升幅度达 10.3%。CO₂ 减排效率轨迹体现了长江经济带物流业尚处于对能源消耗的硬性需求阶段,同时也是国家“节能减排”产业政策效应的反映。例如,“十一五”期间,《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》对交通运输业提出“强化交通运输节能减排管理”等要求,但是,由于物流业处于初期发展阶段各项设施的建设存在能源的硬性需求,进而导致物流业的能源的高耗和 CO₂ 减排效率的下降^[35]。2009 年的哥本哈根世界气候大会,中国政府做出了“碳强度”承诺,并且作为约束性指标纳入“十二五”规划。在此约束性指标下,我国政府综合采用行政、经济、法规等多种手段推进“铁路、公路、水路和航空运输以及城市交通”等交通运输节能,成效显著,及至“十二五”末,营运车辆和营运船舶单位运输周转量 CO₂ 排放相比 2005 年分别下降了 15.9% 和 20%,民航运输吨公里油耗及 CO₂ 排放均下降 13.5%。²

从空间维度来看,下游组群省市除 2008、2009 年和 2013 年 CO₂ 减排效率有微幅下降之外,整体呈现上升趋势;而中游组群省市除 2006 和 2012 年略有上升之外,整体呈现下降趋势;上游组群省市的 CO₂ 减排效率与整个经济带的发展趋势较为接近。上中下游省市物流业 CO₂ 减排效率的这种动态演化轨迹反映了长江经济带内各省市经济社会发展不平衡。下游区域经济发达、外向程度高,在技术创新投入方面具有较强优势。据《全国科技经费投入统计公报》显示,上海、江苏和浙江 R&D 经费投入一直位居全国前列,2016 年下游省市 R&D 经费总投入总额为 4206.8 亿元,占全国总额的 26.83%;而中游和上游除了区位方面差异外,由于资金、技术投入要素的不足,导致创新研发活动落后,进而使得低碳技术进步缓慢。亦即地区的经济水平可能影响绿色物流指数。另外,下游省市滨海临江的优越区位优势为物流业的发展提供了良好的先天条件;中上游组群省份物流业在早期阶段之所以能够位于共同前沿面上、作为参考基准,是因为这些省份的物流业尚处于起步阶段,物流技术水平不发达,物流业产值较低,由此导致非期望产出 CO₂ 排放量也较少,因而总体物流效率水平较高。另外,物流业与港口的数量高度相关,港口资产、泊位数量和地理位置也可能对物流的环境效率产生显著影响(SunJS, YuanY, YangR., 2017)^[20]。相比之下湖北、云南和浙江则是经济带内 CO₂ 减排效率排放靠后的省份,但浙江和湖北 CO₂ 减排效率呈逐年上升趋势。

(二) 长江经济带物流业 CO₂ 减排的技术差距分析

²解振华:2015 年全国单位国内生产总值能耗同比下降 5.6%[EB/OL].<http://finance.sina.com.cn/roll/2016-11-0Vdoc-ifxxfuff7471421.shtm>2016 年 11 月 01 日 11:15 一财网

“共同技术率” (MTR) 是一个反映技术异质性的重要指标, 不仅可以衡量不同群组之间技术水平的高低, 还可以比较群组前沿与共同前沿之间的技术差距。基于公式 (5) 可以测得到 2004—2016 年长江经济带下游、中游和上游物流业三大组群的 MTR, 如表 1 所示。

表 1 长江经济带各省市物流业上中下游 CO₂ 排放技术差距比 (MTR) (2004~2016 年)

年份/ 区间	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
下游	0.6640	0.7164	0.7668	0.7903	0.8236	0.8028	0.8431	0.8970	0.9013	0.9057	0.9047	0.9261	0.9130
中游	0.9974	0.9726	0.9048	0.8552	0.9045	0.8743	0.8744	0.8491	0.8142	0.7822	0.7494	0.6900	0.6274
上游	0.8454	0.6385	0.6060	0.6034	0.5943	0.6124	0.6104	0.6331	0.6231	0.5103	0.5113	0.4830	0.4684

由表 1 可知, 长江经济带上游、中游和下游物流业三大组群在考察期内的 MTR 均值分别为 0.5953、0.8381 和 0.8350。其中, 上游组群技术水平最低, 与全局潜在最优节能减排技术的差距为 40.47%, 该群组前沿距离共同前沿也是最远; 中、下游与全局潜在最优节能减排技术的差距分别为 16.19% 和 16.50%, 中游甚至还略高于下游。从时间来看, 2004—2016 年, 下游省市物流业的 MTR 呈现上升态势, 由 0.6640 上升到 0.9130, 年均提高为 2.69%; 这表明随着经济水平的提高下游省市物流业节能减排技术在提升, 这一结果也部分支持了“波特假说” (Porter & van der Linde, 1995)^[36]。与此同时, 中、上游省市的 MTR 均呈现下降态势, 分别从 2004 年的 0.9974 和 0.8454 下降到 0.6274 和 0.4684, 年均下降达到 3.79% 和 4.80%, 显示了中上游物流业的节能减排技术与区域潜在最优减排技术的差距在持续扩大, 表明中上游的物流业尚且处于发展初期。另外, 中游 MTR 均值虽然高于下游, 但二者发展趋势迥异, 下游是向着绿色低碳的发展方向前进的, 而中游与下游的技术差距逐渐拉大。这也是本文分析的价值所在, 正是因为区域间技术异质性的存在, 政府管理部门在制定产业时应该与当地实际情况, 产业发展规划制度政策不能一刀切, 应该因地制宜, 对症下药。

(三) 长江经济带物流业共同前沿 CO₂ 减排无效率分解

根据公式 (6)~(8), 将 2004—2016 年长江经济带物流业的“共同前沿 CO₂ 减排无效率” (MCEIE) 分解为“技术差距无效率” (TGI) 与“管理无效率” (GMI), 以进一步探析长江经济带物流业共同前沿 CO₂ 减排无效率产生的根源, 限于篇幅, 分解结果见附表 1。从整体上来看, 经济带各省市物流业的 TGI 和 GMI 均值分别为 0.2128 和 0.1595, 说明长江经济带物流业的 CCh 减排无效率主要是由于技术无效率和管理无效率共同导致, 其中技术差距无效率较大。

从时间维度来看 (图 2), 经济带内各省市的 TGI 均值从 2004 年的 0.1484 上升到 2016 年的 0.3212, 说明带域内各省市间 CO₂ 减排无效率的技术因素影响在加大。但是, GMI 均值由 2004 年的 0.1009 下降到 2016 年的 0.0953, 且样本期内呈现倒“U”发展趋势, 2009 年达到最高点为 0.2195。表明样本期内 CO₂ 减排无效率管理因素由逐渐增大向逐渐变小的转变过程。这在前文已分析, 主要与这一时期的国家节能减排的政策强度有关。

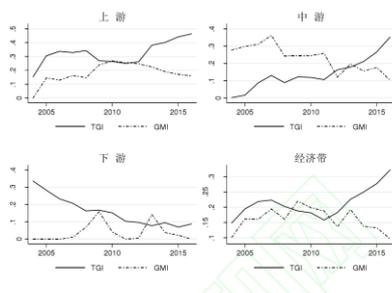


图 2 长江经济带及上中下游 TGI、GMI 动态演变趋势 (2004-2016)

从长江经济带上中下游 TGI 和 GMI 指标来看 (图 2), 唯有下游的 TGI 呈现下降态势, 由 2004 年的 0.3360 下降到 2016 年的 0.0870, 中游和上游的 TGI 有不断增加的趋势, 其中上游上升幅度最大; 而上中下游的 GMI 指标均呈下降趋势, 下游的 GMI 除了 2008 年 (经济危机前后) 和 2013 年 (产业结构调整初期) 出现波动外, 其他年份均为零, 中游的 GMI 整体呈现下降态势, 而上游在 2010 年之前呈现上升趋势, 2010 年之后呈现下降趋势。上中下游 GMI 之间的差异表明了各省市在节能减排的管理能力方面仍然存在较大差距。

为了有效改进物流业 CO₂ 减排效率, 推动长江经济带绿色低碳发展能力, 我们根据“十二五”以来 CO₂ 排放无效率 (MEIE) 的分解结果³, 总结出长江经济带 11 个省市驱动 CO₂ 减排效率提升的重点策略 (表 2)。

表 2 长江经济带 11 省市上中下游物流业平均 MCEIE 的分解及提升效率的重点策略 (2011-2016 年)

	平均 MEIE 的分解及 TGI、GMI 所占的比重					提升 CO ₂ 减排效率的重点策略	
	MEIE	TGI		GMI		改善减排技术	提高减排管理
上海	0.0612	0.0263	42.93%	0.0349	57.07%	☆	☆
江苏	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.00%		
浙江	0.1708	0.1690	98.96%	0.0018	1.04%	☆	
下游平均	0.0773	0.0651	84.18%	0.0122	15.82%	☆	
安徽	0.0532	0.0333	62.54%	0.0199	37.46%	☆	☆
江西	0.1908	0.1566	82.11%	0.0341	17.89%	☆	
湖北	0.5160	0.3505	67.92%	0.1656	32.08%	☆	☆
湖南	0.2680	0.2567	95.79%	0.0113	4.21%	☆	
中游平均	0.2570	0.1993	77.09%	0.0577	22.91%	☆	
重庆	0.2463	0.2279	92.51%	0.0184	7.49%	☆	
四川	0.1649	0.0234	14.21%	0.1414	85.79%		☆
贵州	0.0089	0.0089	100.00%	0.0000	0.00%	☆	
云南	0.5869	0.0553	9.42%	0.5316	90.58%		☆
上游平均	0.2518	0.0789	54.04%	0.1729	45.96%	☆	☆
带内平均	0.2061	0.1189	57.69%	0.0872	42.31%	☆	☆

由表 2 看出, 在整个长江经济带内 TGI 和 GMI 分别占到 MEIE 的 57.69% 和 42.31%, 意味着提升经济带内物流业 CO₂ 减排效率需要从技术和管理两个方面共同努力, 且更应侧重改善减排技术。从上中下游三大组群的 TGI 和 GMI 来看, TGI 分别为 54.04%、

³之所选择这段时期, 是因为碳排放作为约束性指标纳入“十二五”规划。

77.09%和 84.18%,呈递增发展态势;GMI 分别为 45.96%、22.91%和 15.82%,呈递减态势;在此,根据 TGI 和 GMI 在 MEIE 中所占的比重大于或小于 1/3 来确定提升 CO₂减排效率的重点策略。表明中下游应该把改善减排技术作为重点策略,尤其是下游省份由于具备技术创新方面的条件和优势,应当重点在技术创新方面做出贡献,成为低碳技术的创新者、引领者;而上游省份重点应该在技术和管理两个方面形成对下游省份的追赶。就具体省份而言,江苏的 TGI 和 GMI 值均为 0,这是因为自 2010 年以来,江苏省一直位于共同前沿面上,处于“标杆”地位,代表了经济带内的最优水平。但是,这并不是说明江苏省物流业的节能减排技术已经到了极限,无法再改进了。由 Meta-frontier 理论可知,同一组群内所有决策单元都可以无条件的获得该组群内潜在最优的生产技术,不存在任何阻碍技术转移的壁垒^[27]。在这种情况下,相对较低的资源配置能力与环境管理水平就成为抑制该地区物流业 CO₂减排效率提升的主导因素。实践中,长三角港口集群 CO₂减排也可能不是效率最高的地区,例如,渤海湾港口集群和珠江三角洲港口集群的生态效率都要高于长三角港口集群(Na J H,Choi A Y, Ji J H, et al, 2017)^[21]。因此,江苏省还可以和其他地区甚至国外物流业进行技术和管理方面的交流与合作,以增进在技术和管理方面持续进步并带动内部地区的效率提升。与江苏省形成鲜明对比的是四川和云南省 GMI 均超过 80%,由此,四川和云南物流业 CO₂减排效率提升的重点策略是提高物流环境管理水平;浙江、江西、湖南、重庆和贵州的等省份的 MEIE 中, TGI 也占了很大的比重(在 2/3 以上),因此,这些省份的物流业应该改善减排技术方面加大投入力度,力求在技术方面追赶甚至超越江苏;上海自 2013 年以后皆位于共同前沿面上,减排技术方面已经是作为经济带内参考基准。上海的 TGI 与 GMI 在 MEIE 中的占比分别为 42.93%和 57.07%,主要是时间段的缘故,但上海作为一个特大城市物流业相对集中,上海应该为现代城市物流业发展积累管理经验和提供先进技术,在未来的发展中,上海应重点应在城市物流环境管理方面提高技术水平;而安徽与湖北的 TGI 与 GMI 在 MEIE 中所占的比重均在 1/3 左右,因而技术与管理必须要统筹兼顾、双管齐下,同时注重节能减排技术与资源环境管理水平的提高,只有这样才能切实提高物流业的 CO₂减排效率。

五、结论与建议

本文基于 2004—2016 年的长江经济带省市交通运输业面板数据,运用 MetaFrontier-SBM 模型方法,对长江经济带各省市物流业的 CO₂减排效率进行了测度,在此基础上剖析了上中下游组群效率的差异性与动态演进特征,利用“共同技术率”指标衡量了上中下游段之间的 CO₂减排技术差距,并将各省市物流业的“共同前沿 CO₂减排无效率”(MCEIE)指数从“技术”与“管理”两个维度进行了分解,探寻长江经济带各省市物流业 CO₂减排无效率产生的根源。主要结论与建议如下:

首先,物流业是经济社会发展的先导性和服务性产业,与地区经济社会发展水平关系密切,长江经济带各省市间经济社会发展不平衡在物流业 CO₂减排效率方面差异同样存在。因此,建议制订物流业绿色低碳发展规划和政策时应从分考虑各地区的差异性,避免一刀切。其次,低碳技术是物流业绿色低碳发展的关键。因此,建议在物流业绿色低碳发展时应抓住矛盾的主要方面,重点在能源技术创新、引进和扩散等环节方面下功夫,大力发展清洁燃煤发电技术、太阳能技术、磁流体发电技术、地热能技术、海洋能技术等;开展物流设备节能减排技术推广等。最后,管理水平的提高同样是 CO₂减排效率提升的重要途径。为此,建议各地政府应打破地区封锁和条块分割,清理阻碍物流要素合理流动的地方性隐形障碍,推动物流信息资源、基础设施等方面互通与共享;优化通行环境,以共建共治共享的发展理念构建长江大通关机制,形成统一开放、竞争有序的长江经济带区域物流服务市场。

另外,提高物流业绿色低碳发展管理水平还需要优化环境规制工具与形式,如:建立交通运输节能环保监测统计的“基础数据”,为相关决策与管理提供有效的数据支撑;构建科学合理、全面统筹的能源资源节约、生态保护等绿色交通方面的标准规范体系,将环境成本、低碳技术纳入绿色交通考核体系;完善市场机制在低碳环保技术引入推广方面配套政策措施,将碳交易市场纳入物流企业、低碳技术转让专利规范等。

参考文献

[1]余泳泽,武鹏.我国物流产业效率及其影响因素的实证研究——基于中国省际数据的随机前沿生产函数分析[J].产业经

济研究, 2010, 2010(1):65-71.

[2]张云凤, 王雨. 物流产业效率评价及影响因素分析[J]. 统计与决策, 2018(8), 109-112.

[3]Hamdan A, Rogers K J. Evaluating the efficiency of 3PL logistics operations[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 113(1):235-244.

[4]Wanke P, Nwaogbe O R, Hayashi Y. Assessing productive efficiency in Nigerian airports using Fuzzy-DEA [J]. Transport Policy, 2016, 49:9-19.

[5]Rødseth K L. Productivity growth in urban freight transport: An index number approach[J]. Transport Policy, 2017, 56:86-95.

[6]Marti L, Martin J C, Puertas R. A DEA-logistics performance index[J]. Journal of Applied Economics, 2017, 20:169-192.

[7]Tran T H, Mao Y, Nathanail P, et al. Integrating Slacks-based Measure of Efficiency and Super-efficiency in Data Envelopment Analysis[J]. Omega, 2018. 41(2013)731-734

[8]United Nations, 2014. Climate Summit-2014: Catalyzing Action. Global Green Freight Action Plan, UN Climate Summit. Online available at: [http://www.greenfreighteuropa.eu/news/Global green freight action plan presented at un-climate-summit.aspx](http://www.greenfreighteuropa.eu/news/Global_green_freight_action_plan_presented_at_un-climate-summit.aspx).

[9]Arvis, J.F., Saslavsky, D., Ojala, L., Shepherd, B., Busch, C., Raj, A. Connecting to compete 2014-trade logistics in the global economy. In: The Logistics Performance Index and its Indicators. <http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/Trade/LPI2014.pdf>.

[10]Holden R, Xu B, Greening P, et al. Towards a common measure of greenhouse gas related logistics activity using data envelopment analysis[J]. Transportation Research Part A Policy&Practice, 2016, 91:105-119.

[11]Lai K H, Wong C W Y. Green logistics management and performance: Some empirical evidence from Chinese manufacturing exporters[J]. Omega, 2012, 40(3):267-282.

[12]张立国, 李东, 龚爱清. 中国物流业全要素能源效率动态变动及区域差异分析[J]. 资源科学, 2015, 37(4):754-763.

[13]Abduaziz O, Cheng J K, Tahar R M, et al. A Hybrid Simulation Model for Green Logistics Assessment in Automotive Industry[J]. Procedia Engineering, 2015, 100:960-969.

[14]周叶, 王道平, 赵耀. 中国省域物流作业的 CO₂排放量测评及低碳化对策研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011(9):81-87.

[15]Zaman K, Shamsuddin S. Green logistics and national scale economic indicators: Evidence from a panel of selected European countries[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 143:51-63.

-
- [16]Mariano E B, Jr J A G, Camiato F D C. CO₂ Emissions and Logistics Performance: A Composite Index Proposal[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 163: 166-178.
- [17]Jin-XiaoChen. A new approach to overall performance evaluation based on multiple contexts: An application to the logistics of China[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2018, 122:170-180.
- [18]刘承良, 管明明. 低碳约束下中国物流业效率的空间演化及影响因素[J]. *地理科学*, 2017(12) :1805-1814,
- [19]马越越. 低碳约束下的中国物流产业全要素生产率研究[D]. 东北财经大学, 2014.
- [20]Sun J, Yuan Y, Yang R, et al. Performance evaluation of Chinese port enterprises under significant environmental concerns:An extended DEA-based analysis[J]. *Transport Policy*, 2017, 60:75-86.
- [21]Na J H, Choi A X Ji J H, et al. Environmental efficiency analysis of Chinese container ports with CO₂ emissions: An inseparable input-output SBM model[J]. *Journal of Transport Geography*, 2017(65):13-24.
- [22]杨恺钧, 毛博伟, 胡茵. 长江经济带物流业全要素能源效率——基于包含碳排放的 SBM 与 GML 指数模型[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2016, 18(6):54-62,
- [23]王育红, 刘琪. 基于 Super-SBM 模型的长江经济带物流效率测度研究[J]. *华东经济管理*, 2017, 31(5) :72-77.
- [24]于丽英, 施明康, 李靖. 基于 DEA-Malmquist 指数模型的长江经济带物流效率及因素分解[J]. *商业经济与管理*, 2018(4) :16-25.
- [25]Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. *Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software. Second edition*[M]. 2007, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- [26]Tone K. A Slacks-based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis [J] .*European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3) : 498-509.
- [27]Zhang N , Kong F , Yu Y . Measuring ecological total-factor energy efficiency incorporating regional heterogeneities in China[J]. *Ecological Indicators*, 2015, (51):165-172.
- [28]Battese G E, Rao DSP, O'Donnell C J. A Metafrontier Production Function for Estimation of Technical Efficiencies and Technology Gaps for Firms Operating Under Different Technologies[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2004, 21(1):91-103.
- [29]O'Donnell C J, Rao DSP, Battese G E. Metafrontier frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios[J]. *Empirical Economics*, 2008, 34(2):231-255.
- [30]Chiu C R, Liou J L, Wu P I, et al. Decomposition of the environmental inefficiency of the meta-frontier with undesirable output[J]. *Energy Economics*, 2012, 34(5):1392-1399.

-
- [31]钟祖昌. 基于三阶段 DEA 模型的中国物流产业技术效率研究[J]. 财经研究, 2010(9) :80-90,
- [32]薛俊波, 王铮. 中国 17 部门资本存量的核算研究[J]. 统计研究, 2007, 24(7) :49-54.
- [33]单豪杰. 中国资本存量 K 的再估算:1952~2006 年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008(10) :17-31.
- [34]国家发展改革委气候司. 中国煤炭生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行) [EB/OL]. (2014-12-03). http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201502/t20150209_663589.html.
- [35]辜胜阻, 方浪, 李睿. 我国物流产业升级的对策思考[J]. 经济纵横, 2014(3): 1-7.
- [36]Porter M E, Claas V D L. Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship[^]. Journal of Economic Perspectives, 1995, 9(4) :97-118.