

# 考虑能源和排放物总量控制的物流行业绩效评估

卜 阳

贵州大学管理学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2024年3月27日; 录用日期: 2024年4月8日; 发布日期: 2024年5月31日

## 摘 要

为了准确反映总量控制制度下中国30个省级物流行业在2013~2022年间的绩效情况, 引入了固定和DEA方法, 同时使用两阶段网络打开物流行业的运营“黑箱”, 使用多周期DEA方法测度跨时期绩效。主要结论如下: (1) 中国物流行业的整体绩效在研究期间波动变化, 总体呈小幅上升趋势。(2) 建设子阶段是中国物流行业的绩效薄弱环节。(3) 30个地区的绩效分布较为连续, 地区差异性小。(4) 总量控制制度有利于制约高能耗和高排放地区的绩效表现, 能够有效激励这些地区的绿色化转型。最后提出了有助于物流行业生态文明体制改革的政策建议。

## 关键词

总量控制制度, 物流行业, 数据包络分析, 两阶段网络, 固定和DEA方法

# Performance Evaluation of Logistics Industry Considering Total Control of Energy and Emission

Yang Bu

School of Management, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Mar. 27<sup>th</sup>, 2024; accepted: Apr. 8<sup>th</sup>, 2024; published: May 31<sup>st</sup>, 2024

## Abstract

In order to accurately reflect the performance of China's 30 provincial logistics industries from 2013 to 2022 under the total control system. Introduce the fixed-sum DEA method, simultaneously

use the two-stage network to open the operational black box of the logistics industry, and use multi-period DEA method to measure cross-period performance. The main conclusions are as follows: (1) The global performance of China's logistics industry fluctuates during the research period, showing a slight upward trend overall. (2) The construction sub-stage is the weak performance link of China's logistics industry. (3) The performance distribution in 30 regions is relatively continuous, with small regional differences. (4) The total control system is conducive to restricting the efficiency performance in areas with high energy consumption and high emission, effectively motivating the green transformation of these areas. Finally, this paper puts forward the policy recommendations which contribute to the reform of the ecological civilization system in the logistics industry.

## Keywords

Total Control System, Logistics Industry, Data Envelopment Analysis, Two-Stage Network, Fixed-Sum DEA Method

Copyright © 2024 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

物流行业是连接生产和消费的重要桥梁，它在国内市场的建设中发挥着重要辅助作用。目前，中国物流行业在规模上已居世界第一[1]，在推动商品高速流动的同时也消费了巨额能源并产生了大量排放物，这引起了资源开采过度和环境污染加剧。为了缓解经济活动对生态环境的影响，中国实行了总量控制制度，即在关键资源环境要素总量固定的水平下规划生产活动。例如，《“十四五”节能减排综合工作方案》中要求要“完善实施能源消费强度和总量双控、主要污染物排放总量控制制度”。为了推动高质量发展，决策者需要了解总量控制制度下中国物流行业的运营状态。

绩效可以定量反映物流行业的运营情况。数据包络分析(DEA)方法是一种数据驱动的客观绩效评估方法，且可以有效处理多投入 - 产出数据集[2] [3]，因而成为评估物流行业绩效的常用工具。一些研究建立的评估体系没有完全考虑能源和排放物指标[4] [5]，这就不能体现物流行业的运营对生态环境的影响。一些研究使用标准煤消费量表征能源，使用 CO<sub>2</sub> 排放量表征排放物[6] [7]，但它们没有考虑两者的总量控制，会造成物流行业为追求期望产出而增加能源使用量和排放量的恶性局面。

为了将物流行业的能源和排放量控制在环境可承受范围内，有必要对两者施加总量固定约束。固定和 DEA 方法是应用于此情景的 DEA 工具，以往的一些相关研究是从行业层面展开的。Wu 等(2014)对工业部门的 NO<sub>2</sub> 排放量施加了总量固定约束[8]。Zhu 等(2020)对交通行业的能源消费量和 CO<sub>2</sub> 排放量施加了总量固定约束[9]。Li 等(2023)对火电行业的 CO<sub>2</sub> 排放量施加了总量固定约束[10]。然而，对物流行业的能源和排放物施加总量固定约束的研究较少。

为了弥补上述缺陷，本文使用固定和 DEA 方法评估物流行业的运营绩效，将能源和排放物限制在总体水平固定的约束条件下，以体现总量控制制度。此外，将物流行业的运营过程划分为建设和服务两个子阶段，以更精准地探索绩效低下的来源。同时结合多周期 DEA 方法来确保不同时期的行业绩效具有可比性，以探究绩效的变化趋势。本文使用构建的模型得到了 30 个省级物流行业 2013~2022 年的绩效结果，从时期和地区两个角度对绩效结果进行了讨论，然后将其与传统的非总量固定约束下的绩效值进行了比

较，最后得出结论并提出了相关政策建议。

## 2. 研究方法

### 2.1. 物流行业的串联网运营结构

以往的许多研究将物流行业的运营视为一个“黑箱”，这就无法对绩效不足的细致环节进行透视。本文将该行业的运营过程分解为建设阶段和服务阶段，相应的两阶段网络结构如图 1 所示。假设有  $N$  个需要被评估的对象，每个对象的建设阶段使用  $I$  种建设投入  $x_{in}$  ( $i=1,2,\dots,I$ ) 得到  $F$  种中间变量  $z_{fn}$  ( $f=1,2,\dots,F$ )，服务阶段使用上一阶段的中间变量和  $Q$  种能源投入  $x_{qn}^e$  ( $q=1,2,\dots,Q$ ) 得到  $R$  种期望产出  $y_{rn}$  ( $r=1,2,\dots,R$ ) 和  $D$  种排放物  $u_{dn}$  ( $d=1,2,\dots,D$ )。

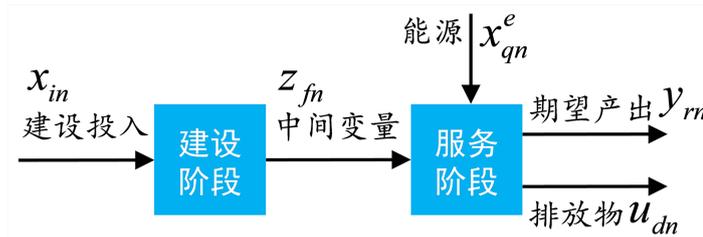


Figure 1. The operational structure of the serial network in the logistics industry

图 1. 物流行业的串联网运营结构

### 2.2. 多周期加性网络 DEA 模型

图 1 所示结构的绩效可以使用 Chen 等(2010)开发的加性 DEA 模型来测量[11]。同时，考虑到跨时期测度可以提供绩效的变化趋势，本文在加性 DEA 模型的基础上结合了 Kao 和 Liu (2014)提出的多周期 DEA 模型[12]，假设有  $T$  (用  $t$  索引) 个研究时期，具体的组合模型如下所示：

$$\max E_k^{\text{整体}} = \frac{\sum_{t=1}^T \left( \sum_{f=1}^F \omega_f^t z_{fk}^t + \mu_0^{1,t} + \sum_{r=1}^R \mu_r^t y_{rk}^t - \sum_{d=1}^D \pi_d^t u_{dk}^t + \mu_0^{2,t} \right)}{\sum_{t=1}^T \left( \sum_{i=1}^I v_i^t x_{ik}^t + \sum_{f=1}^F \omega_f^t z_{fk}^t + \sum_{q=1}^Q \Omega_q^t x_{qk}^{e,t} \right)}$$

$$E_n^{\text{建设}} = \frac{\sum_{f=1}^F \omega_f^t z_{fn}^t + \mu_0^{1,t}}{\sum_{i=1}^I v_i^t x_{in}^t} \leq 1, \forall n, t \tag{1}$$

$$E_n^{\text{服务}} = \frac{\sum_{r=1}^R \mu_r^t y_{rn}^t - \sum_{d=1}^D \pi_d^t u_{dn}^t + \mu_0^{2,t}}{\sum_{f=1}^F \omega_f^t z_{fn}^t + \sum_{q=1}^Q \Omega_q^t x_{qn}^{e,t}} \leq 1, \forall n, t$$

$v_i^t, \omega_f^t, \Omega_q^t, \mu_r^t, \pi_d^t \geq \varepsilon; \mu_0^{1,t}, \mu_0^{2,t}$  符号自由

其中， $v_i^t$ 、 $\omega_f^t$ 、 $\Omega_q^t$ 、 $\mu_r^t$  和  $\pi_d^t$  是对应指标的权重，它们都大于一个非阿基米德无穷小量  $\varepsilon$ 。 $\mu_0^{1,t}$  和  $\mu_0^{2,t}$  反映了规模可变收益假设。上标  $t$  用来区分不同时期的数据。目标函数表示最大化物流行业运营的全时期整体绩效，约束条件表示建设和服务子阶段绩效不超过 1。排放物属于非期望产出，使用作差法进行建模[9]。

### 2.3. 考虑能源和排放物的总量固定约束

为了缓解能源短缺和环境污染的现状，中国实行了总量控制制度，即为能源和排放物设定数量上限。本文使用 Yang 等(2015)的固定和 DEA 方法来处理两者的总量固定约束[13]。首先需要构建能源和排放物的均衡有效前沿，该前沿对两者的配置数量重新进行了调整，可以使所有评估对象的运营绩效达到 1，具体模型如下：

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \left[ \sum_{q=1}^Q \Omega_q^t |\delta_{qn}^{e,t}| + \sum_{d=1}^D \pi_d^t |\delta_{dn}^{u,t}| \right] \\
 E_n^{\text{建设}} = & \frac{\sum_{f=1}^F \omega_f^t z_{fn}^t + \mu_0^{1,t}}{\sum_{i=1}^I v_i^t x_{in}^t} \leq 1, \quad \forall n, t \\
 E_n^{\text{服务}} = & \frac{\sum_{r=1}^R \mu_r^t y_{rn}^t - \sum_{d=1}^D \pi_d^t (u_{dn}^t + \delta_{dn}^{u,t}) + \mu_0^{2,t}}{\sum_{f=1}^F \omega_f^t z_{fn}^t + \sum_{q=1}^Q \Omega_q^t (x_{qn}^{e,t} + \delta_{qn}^{e,t})} = 1, \quad \forall n, t \\
 & \sum_{n=1}^N \delta_{qn}^{e,t} = 0, \quad \forall q, t; \quad \sum_{n=1}^N \delta_{dn}^{u,t} = 0, \quad \forall d, t; \\
 & x_{qn}^{e,t} + \delta_{qn}^{e,t} \geq L \times x_{qn}^{e,t}, \quad \forall q, n, t; \quad u_{dn}^t + \delta_{dn}^{u,t} \geq L \times u_{dn}^t, \quad \forall d, n, t; \\
 & v_i^t, \omega_f^t, \Omega_q^t, \mu_r^t, \pi_d^t \geq \varepsilon; \quad \mu_0^{1,t}, \mu_0^{2,t}, \delta_{dn}^{u,t}, \delta_{qn}^{e,t} \text{ 符号自由}
 \end{aligned} \tag{2}$$

其中， $\delta_{qn}^{e,t}$  和  $\delta_{dn}^{u,t}$  分别是能源和排放物的调整量，目标函数表示最小化所有的调整努力。约束 2 表示服务子阶段在重新调整后运营绩效达到了 1。约束 3 和 4 表示所有评估对象的调整量总和为 0，这反映了总量控制的原则。约束 5 和 6 表示调整后的能源和排放物数量不低于原有的  $L(0 \sim 1)$  倍，以防止资源余量过低而影响生产的稳定性。求解模型(2)可以得到能源和排放物的最优调整量  $\delta_{dn}^{u,t*}$  和  $\delta_{qn}^{e,t*}$ ，调整后的资源配置可以作为最优生产前沿，用以评估调整前状态的绩效，具体模型为：

$$\begin{aligned}
 \min \quad E_k^{\text{整体}} = & \frac{\sum_{t=1}^T \left( \sum_{f=1}^F \omega_f^t z_{fk}^t + \mu_0^{1,t} + \sum_{r=1}^R \mu_r^t y_{rk}^t - \sum_{d=1}^D \pi_d^t u_{dk}^t + \mu_0^{2,t} \right)}{\sum_{t=1}^T \left( \sum_{i=1}^I v_i^t x_{ik}^t + \sum_{f=1}^F \omega_f^t z_{fk}^t + \sum_{q=1}^Q \Omega_q^t x_{qk}^{e,t} \right)} \\
 & \frac{\sum_{f=1}^F \omega_f^t z_{fn}^t + \mu_0^{1,t}}{\sum_{i=1}^I v_i^t x_{in}^t} \leq 1, \quad \forall n, t \\
 & \frac{\sum_{r=1}^R \mu_r^t y_{rn}^t - \sum_{d=1}^D \pi_d^t (u_{dn}^t + \delta_{dn}^{u,t*}) + \mu_0^{2,t}}{\sum_{f=1}^F \omega_f^t z_{fn}^t + \sum_{q=1}^Q \Omega_q^t (x_{qn}^{e,t} + \delta_{qn}^{e,t*})} \leq 1, \quad \forall n, t \\
 & v_i^t, \omega_f^t, \Omega_q^t, \mu_r^t, \pi_d^t \geq \varepsilon; \quad \mu_0^{1,t}, \mu_0^{2,t} \text{ 符号自由}
 \end{aligned} \tag{3}$$

其中，目标函数中的能源和排放物使用调整前的数量，约束条件中使用最优调整数量。由于目标函数和约束条件分属不同数据集，固定和前沿并不能包络所有评估对象，落在前沿外的对象绩效大于 1。

### 3. 实证研究

本文选取中国 30 个省级物流行业作为评估对象，选取“十八大”以后的十年(2013~2022 年)为研究

时期。参考以往研究[14]，建立如表 1 所示的指标体系。具体地，使用固定资产投资和从业人数表征建设投入；使用综合物流里程和邮政网点数表示中间变量，综合物流里程的数值等于铁路、公路和水路里程按货运量比例的加权和；使用标准煤消费量表征能源；使用增加值、货运量和货物周转量表期望产出；使用 CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> 排放量表排放物。上述指标数据来源于《中国第三产业统计年鉴》《中国能源统计年鉴》、中国碳核算数据库以及各地区统计年鉴的交通运输、仓储和邮政业，SO<sub>2</sub> 排放量使用排放系数法进行计算[15]，少量缺失值使用线性插值法进行补充。

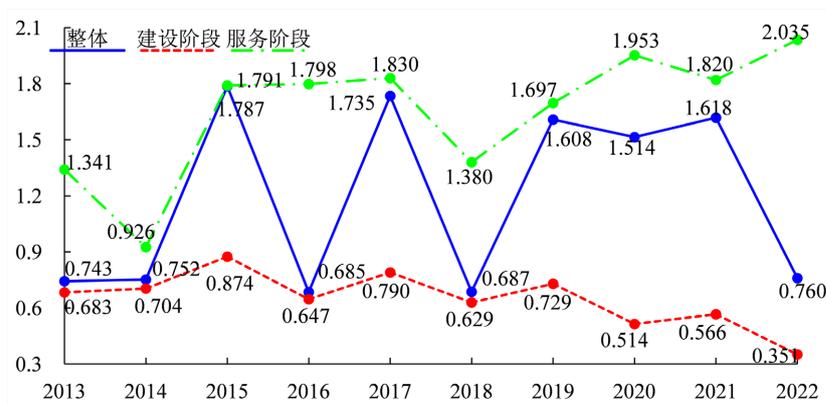
**Table 1.** Indicator system of logistics industry  
**表 1.** 物流行业的指标体系

子阶段	投入 - 产出	表征变量
建设阶段	建设投入	固定资产投资/亿元 从业人数/万人
	中间变量	综合物流里程/公里 邮政网点数/处
	能源	标准煤消费量/万吨
服务阶段	期望产出	增加值/亿元 货运量/万吨 货物周转量/亿吨公里
	排放物	CO <sub>2</sub> 排放量/百万吨
		SO <sub>2</sub> 排放量/万吨

## 4. 结果与讨论

### 4.1. 时期绩效分析

使用模型(3)可以得到 30 个省级物流行业在 2013~2022 年的绩效值，图 2 展示了不同时期的全国平均绩效变化趋势。物流行业的整体绩效从 2013 年的 0.743 变化为 2022 年的 0.760，总体呈小幅增长，最高绩效(1.787)出现在 2015 年，最低绩效(0.685)出现在 2016 年。2013 年至 2014 年呈现小幅增长趋势，随后呈现一起一伏的变化趋势，可以清楚地看到 2014~2018 和 2018~2022 年的两个“M”型折线，这说明研究时期内中国物流行业运营的不稳定性因素较高，应对经济和政策环境变化的能力有待加强。



**Figure 2.** National average performance for each period  
**图 2.** 各时期的全国平均绩效

建设阶段的全国平均绩效在各时期都低于整体绩效，说明建设阶段是物流行业的绩效薄弱环节。建设阶段绩效从 2013 年的 0.683 降低至 2022 年的 0.351，总体上呈现下降趋势，这是因为中国物流基础设施建设需求不断趋于饱和的缘故。在发展初期，各地区会大规模建设物流网络，这一时期建设阶段的产出较高，因此绩效较高。而在发展后期，物流网络已能够基本满足需求，因此产出逐渐减少，绩效下降。2019 年之后的绩效减幅较大。这一时期爆发了世界性的新冠肺炎疫情，中国实行了严格的管控措施，将非必要经济活动降低至最低程度，因而造成了建设阶段绩效的下降。

服务阶段的全国平均绩效在各时期都高于整体绩效，说明服务阶段的运营是物流行业的优势所在。服务阶段绩效从 2013 年的 1.341 增长至 2022 年的 2.035，增幅高达 52%，除了 2014、2018 和 2021 年出现短暂下降，其余时期均呈现增长趋势，可以看到 2013~2017、2017~2020 和 2020~2022 的三个“V”型折线，这背后反映的是中国物流服务日益进步的繁荣景象。即便是疫情也没能遏制服务阶段绩效，说明中国物流行业成功担起了大规模抗疫物资的运送责任。

## 4.2. 地区绩效分析

图 3 展示了 30 个省级地区的时期平均绩效情况。湖南的整体绩效最高(9.870)，这得益于该地排名第一的服务阶段绩效(11.088)。湖南的 A 级物流企业数常年位居全国前列，因此能够提供优质的服务。北京的整体绩效最低(0.550)，这是其排名最后的服务阶段绩效(0.464)导致的。首都地区经常出现交通拥堵，极大地降低了商品在最后里程的配送速度。

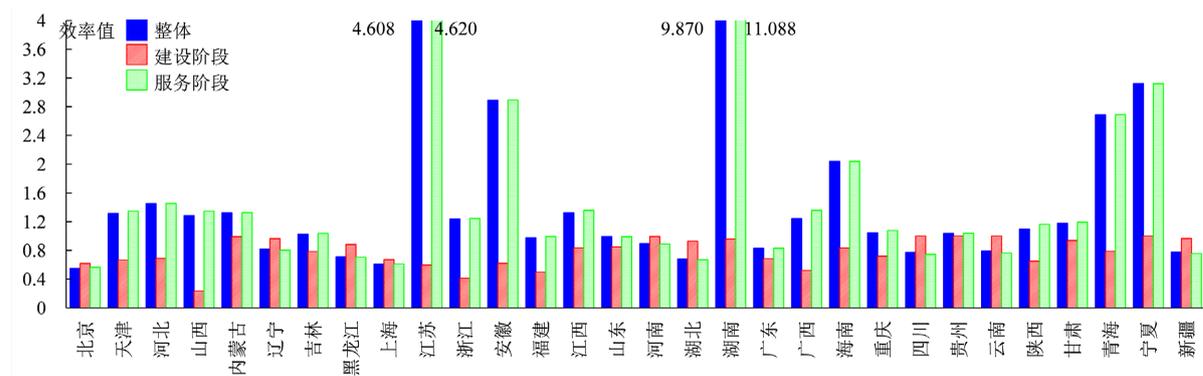


Figure 3. Period average performance of each region

图 3. 各地区的时期平均绩效

整体绩效是由两个子阶段绩效共同决定的，因而子阶段绩效能提供物流行业运营的更深层次的信息。为了探究子阶段绩效的分布情况，绘制了如图 4 所示的散点图。图 4 的横坐标表示建设阶段的地区平均绩效，纵坐标表示服务阶段的地区平均绩效，水平和垂直线分别表示服务和建设阶段绩效的总体平均水平。平均水平线将坐标图划分为四个区域：右上、左上、右下和左下，分别将其命名为高-高、低-高、高-低和低-低绩效区。有 7 个地区位于低-低绩效区，这些地区的物流行业整体上存在较大的改进空间。它们主要集中于沿海和内陆的较发达省份，城市交通不便是重要致使因素。分别有 6 和 11 个地区位于低-高和高-低绩效区，它们分别需要重点提升建设阶段和服务阶段的绩效。有 6 个地区位于高-高绩效区，这些地区物流行业的运营状况较佳，其经验值得其他地区学习。可以看到，分布在不同绩效区的地区数较为均衡，说明中国各地区物流行业的绩效分布较为连贯。单就地区来看，四川、贵州、云南和宁夏的建设阶段绩效最高(都为 1.000)，山西最低(0.235)，它们的绩效表现与这些地区的发展阶段有关。欠发达省份尚处于基础设施建设阶段，因而产出高，绩效较高。较发达省份的物流设施已趋于完善，不

再是制约物流行业发展的关键，因而产出少，绩效较低。湖南的服务阶段绩效最高(11.088)，北京的服务阶段绩效最低(0.564)。

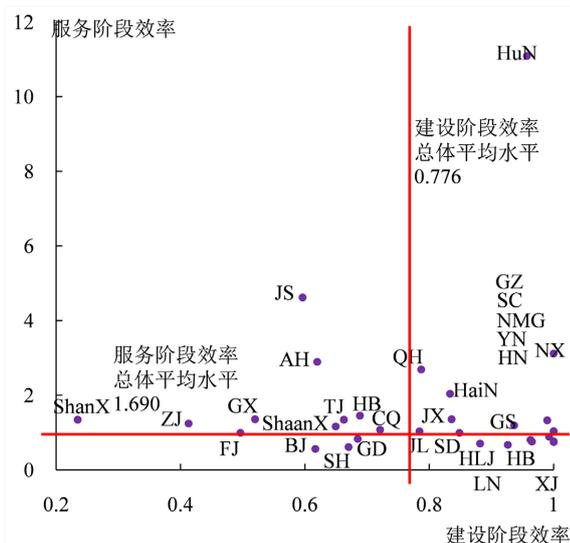


Figure 4. Period average performance distribution of the construction and service sub-stages

图 4. 建设和服务子阶段的时期平均绩效分布

### 4.3. 对比分析

以往大多数物流行业的绩效评估研究并没有考虑能源和排放物的总量固定约束，为了说明总量固定约束对绩效评估的影响，有必要对两种方法进行对比分析。使用模型(1)可以得到传统的 DEA 绩效值，相应的整体绩效如图 5 所示。将其与图 3 所示的整体绩效进行比较可以得知以下几点：首先，能源消费最多的上海在传统 DEA 框架下排第 3 位，而在固定和 DEA 框架下排第 29 位；CO<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub> 排放最多的广东在传统 DEA 框架下排第 7 位，在固定和 DEA 框架下排第 22 位。这说明能源和排放物消耗量大的地区在总量固定约束条件下排名较低，有助于限制各地区的能源使用和排放产生。其次，湖南和宁夏的传统 DEA 绩效都为 1，它们的经营水平无法被进一步区分。而固定和 DEA 方法允许评估对象的绩效值超过 1，实现了所有地区的全排序。总之，在绩效评估中考虑总量固定约束既符合当前中国的环境治理实践，能够降低高能耗和高排放地区的绩效排名，也有利于对各地区的运营状况进行更细致的区分。

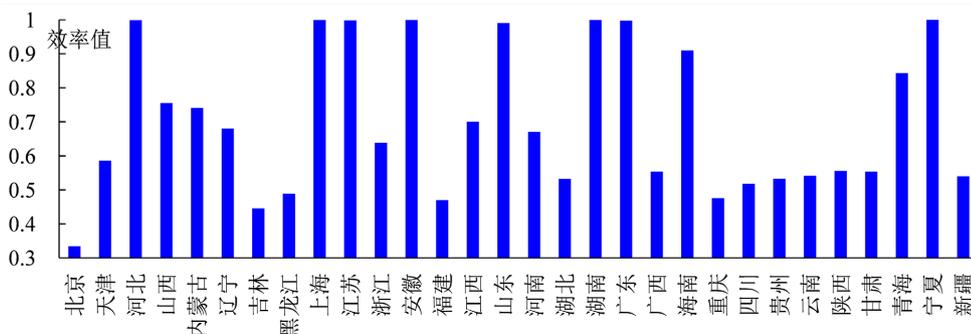


Figure 5. Traditional DEA performance values without considering fixed total quantity constraints

图 5. 未考虑总量固定约束的传统 DEA 绩效值

## 5. 总结

以往有关物流行业的绩效评估研究很少考虑总量控制制度这一政策背景, 本文通过引入固定和 DEA 方法体现了该制度, 将能源和排放物置于总量固定的约束条件下。此外, 本文还使用两阶段网络将物流行业的运营过程划分为建设和服务两个子阶段, 使用多周期 DEA 方法测度了跨时期绩效。实证阶段评估了 2013~2022 年中国 30 个省级物流行业的绩效水平, 主要研究结论如下: (1) 中国物流行业的整体绩效呈现波动上升趋势, 其运营不佳的原因在于建设子阶段。(2) 各地区物流行业的绩效分布较为连续, 地区差异性较小。(3) 在总量控制制度下评估物流行业可以限制高耗能和高排放地区的绩效分数, 促使这些地区进行节能减排。

基于上述结论, 本文给出如下针对于中国物流行业发展的政策建议: (1) 坚持在能源和排放物总量控制约束下开展绩效评估。国家和地区政府应同时贯彻能源和排放物的总量控制制度, 降低高排放和高耗能地区物流行业的绩效表现, 促使各地区物流行业在节能和减排方面展开竞争, 从而在整体上减少能源消费和污染排放数量, 推进物流行业的可持续发展。(2) 重点提升建设阶段的绩效表现。物流基础设施落后的地区要在物流网络、仓储和邮政网点建设方面加大政策、资金和技术扶持。物流基础设施发达的地区应进一步利用高科技赋能, 推进物流装备、设施、交通管理系统和运维的数字化、信息化和智能化建设, 加速推进无人机运送的技术难题解决和市场化运营。此外, 鼓励各地区发展多式联运的运营模式, 让航空、公路的高速性、灵活性和水路、铁路的稳定性、低碳性相互补充。(3) 积极向资源禀赋、政策和平台等借力。沿海、沿江和水网密集地区应大力发展水路运输, “一带一路”沿线地区应借助政策优势发展进出口贸易。相关职能部门要继续优化和改善国家物流平台这一服务网络, 加大力度整合物流资源并消除行业信息差。

本文的研究尚存在一些值得拓展的地方。首先, 本文假设能源和排放物指标在调整前后总量不变, 未来可以探究两者在减少特定比例后的绩效结果。其次, 本文构建的均衡有效前沿存在多种情况, 未来可以将评估对象对前沿的满意度纳入考量, 增加所选前沿的说服力。

## 参考文献

- [1] Ding, H. and Liu, C. (2024) Carbon Emission Efficiency of China's Logistics Industry: Measurement, Evolution Mechanism, and Promotion Countermeasures. *Energy Economics*, **129**, Article 107221. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107221>
- [2] 戴前智, 徐晓迟, 雷西洋, 等. 基于动态非合作博弈超绩效 DEA 的成本补偿激励方法研究[J]. 中国管理科学, 2023, 31(12): 185-192.
- [3] Dai, Q., Li, Y., Lei, X. and Wu, D. (2021) A DEA-Based Incentive Approach for Allocating Common Revenues or Fixed Costs. *European Journal of Operational Research*, **292**, 675-686. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.11.006>
- [4] 朱皓雪. 基于 CiteSpace 的国内物流企业绩效研究现状及热点分析[J]. 电子商务评论, 2024, 13(1): 100-110.
- [5] 孔詠炜, 倪明, 谢家平. 物流企业运营绩效影响因素实证研究[J]. 管理现代化, 2021, 41(6): 72-76.
- [6] Zheng, W., Xu, X. and Wang, H. (2020) Regional Logistics Efficiency and Performance in China along the Belt and Road Initiative: The Analysis of Integrated DEA and Hierarchical Regression with Carbon Constraint. *Journal of Cleaner Production*, **276**, Article 123649. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123649>
- [7] 张浩, 尤建新. 面向生产过程的物流业两阶段绩效评价模型[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2021, 49(4): 591-598.
- [8] Wu, J., An, Q., Yao, X. and Wang, B. (2014) Environmental Efficiency Evaluation of Industry in China Based on a New Fixed Sum Undesirable Output Data Envelopment Analysis. *Journal of Cleaner Production*, **74**, 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.054>
- [9] Zhu, Q., Li, X., Li, F., Wu, J. and Zhou, D. (2020) Energy and Environmental Efficiency of China's Transportation Sectors under the Constraints of Energy Consumption and Environmental Pollutions. *Energy Economics*, **89**, Article 104817. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104817>

- 
- [10] Li, J., Wei, F. and Chu, J. (2023) Analysis of CO<sub>2</sub> Emission Performance of China's Thermal Power Industry: A Meta-Frontier Malmquist-Luenberger Approach with Fixed-Sum CO<sub>2</sub> Emissions. *Journal of Environmental Planning and Management*, **67**, 1746-1774. <https://doi.org/10.1080/09640568.2023.2180349>
- [11] Chen, Y., Cook, W.D., Li, N. and Zhu, J. (2009) Additive Efficiency Decomposition in Two-Stage DEA. *European Journal of Operational Research*, **196**, 1170-1176. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.05.011>
- [12] Kao, C. and Liu, S.T. (2014) Multi-Period Efficiency Measurement in Data Envelopment Analysis: The Case of Taiwanese Commercial Banks. *Omega*, **47**, 90-98. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.09.001>
- [13] Yang, M., Li, Y. and Liang, L. (2015) A Generalized Equilibrium Efficient Frontier Data Envelopment Analysis Approach for Evaluating DMUs with Fixed-Sum Outputs. *European Journal of Operational Research*, **246**, 209-217. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.04.023>
- [14] 张兴雪, 刘晶, 潘成, 等. 长三角城市群公路货运效率及其影响因素研究[J]. *物流工程与管理*, 2024, 46(2): 77-80.
- [15] 白东灵. 资源环境约束下中国物流业发展质量测度及提升研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 长安大学, 2023.