**低碳经济下物流能源效率与结构调整研究**

 **——基于技术差异视角**

**张诚，周安，张志坚**

**（华东交通大学 经济管理学院，江西南昌330013）**

**摘要：**随着社会和政府对碳排放的日益关注，低碳成为未来物流业发展的趋势。在借鉴已有研究成果基础上，构造超越对数函数模型对物流业不同能源投入要素的产出弹性、替代弹性以及技术进步差异情况进行分析，研究结果表明：1.2002年开始，我国物流能源利用效率在显著提高，尤以天然气能源投入的贡献最大；2. 电力、天然气为代表的清洁能源可以有效替代石油和煤炭，并且天然气、电力等能源技术进步速度要快于石油、煤炭，未来物流业高碳排放能源将被清洁能源逐步替代。研究结果反映了我国物流业能源消耗的实际现状，可以为政府、企业发展低碳物流进行科学决策提供有益参考。

**关键字：**低碳物流；超越对数函数；岭回归；产出与替代弹性；技术差异

**中图分类号：F259.21 文献标识码：A**

**Logistics Energy Efficiency and the Structure Adjustment in the Low-carbon Economics**

**----Research based on Technical Differences**

ZHANG Cheng，ZHOU An，ZHANG Zhi-jian

（Economic and Management School of East China Jiaotong University，Nanchang Jiangxi 330013）

**Abstract:** With the increasing concern from the government and the whole society, the concept of low-carbon will be the future development trend of the logistics industry. Based on current research results, this paper discuss translog production function analyses output elasticity, the elasticity of substitution and the technological progress of the different energy inputs in logistics industry. The results demonstrate that：1. Logistics efficiency increased significantly in China since 2002 with natural gas making the biggest contribution; 2. Clean energy like electricity and natural gas can effectively replace oil and coal, and the electricity and natural gas technology improved faster than oil and coal in the logistics industry. Clean energy will gradually replace high-carbon emission energy in the future. The findings reflect the status quo of energy consumption in the logistics industry in China, which provides future reference for the government and private sectors to develop low-carbon logistics.

**Key words:** low-carbon logistics; translog production function; ridge regression; output elasticity and the elasticity of substitution; technological disparity

**一、 引言**

低碳物流的提出主要归结于社会和政府对发展低碳经济的倡导，而“低碳经济”这一术语最早出现在2003 年英国政府发表的《我们未来的能源：创建低碳经济》白皮书中，这一概念的实质是关注能源使用效率和能源消耗结构的问题,以能源的制度创新和技术创新作为核心,把促进社会可持续发展、缓解气候变化带来的负面影响作为最终目标[1]。物流业作为经济社会的支柱产业，其行业特性要求物流各个作业环节都需要能源的支持才能完成，特别是车辆运输和配送作业环节，消耗大量的石化燃料。2007年IPCC第四次评估报告中就指出在1970-2004年间，温室气体排放最大增幅主要来自能源供应、交通运输和工业，其中2004年交通运输行业占到全行业温室气体排放源的13.1%，而交通运输作为物流产业的核心业务之一，基于此，发展低碳物流，减少高碳排放能源的消耗比重对于我国实现2020年单位国内生产总值(GDP)二氧化碳排放比2005年下降40%-45%的节能减排目标具有积极意义。

在现有的文献中，戴定一（2008）是国内早期研究低碳物流的学者，他首次提出低碳经济需要现代物流的支撑，并从技术层面、规划层面和政策层面对物流中的低碳经济问题进行研究[2]。因为低碳物流还是一个新兴的研究领域，低碳物流定义还没有统一标准，但Huang（2010）、 王维婷（2011）和李亚杰（2011）都认为节能减排是实行低碳物流的重要宗旨[3-5]。陈喜波（2011）、钟新周（2012）根据低碳物流的特性提出了低碳物流的影响因素，主要包括物流信息化、人才培养、基础设施、政策环境和逆向物流等[6-7]。发展低碳物流对策建议方面，学者主要从制定低碳物流行业标准、加强政府宏观规划、应用低碳物流技术与装备、树立低碳理念、物流集约化管理等方面进行研究[8-10]。另外，还有学者围绕相关模型分析低碳物流的实现途径，主要涉及运输与配送路径的选取、厂址区位选择等 [11-13]。低碳物流发展模式方面，董千里（2010）提出低碳物流在货运方面的运作模式，从物流高级化角度强调通过监控管理以及统筹规划的集成管理思想来提高物流运作效率，进而实现物流的低碳效应[14]。姜燕宁（2012）则围绕物流技术、规划、政策三个方面提出发展低碳物流的服务创新模式[15]。

 通过查阅已有的文献，很少有涉及物流业能源消耗结构方面的研究，周叶（2011）通过测算我国物流业中不同能源碳排放系数分析各省物流节能减排情况，得出西部的物流作业CO2排放量要远低于在中东部省份，但单位货物周转CO2排放量西部却高于中东部省份的结论[16]，这为本文研究低碳物流能源消耗情况提供了思路及测算方法。本文将通过构建超越对数生产函数模型对我国现代物流走低碳化道路的能源消耗情况进行分析，以期为政府部门、企业发展低碳物流进行科学决策提供有益参考。

**二、 理论模型与指标建立**

超越对数生产函数由Christensen等[17-18]首次提出，它是一种比较容易估计且具有很强包容性的变弹性生产函数模型[19]。对于物流业的发展来说，各品种能源的投入要素并不是独立影响着物流业的发展，它们之间是相互影响的，同时各种投入要素的技术进步是各不相同的，而超越对数生产函数在结构上属于平方反映面模型，能较为全面反映各投入要素之间在技术进步差异下的相互影响情况。考虑到当年的资本、劳动力等要素很大程度上是由其上一年的物流发展情况决定的，因此本文以滞后一期的物流增加值代替资本、劳动力等解释变量，加上石油、煤炭、电力、天然气四种不同类型的能源共同作为投入要素构建超越对数生产函数（式1）。

式（1）中：，——t年和t-1年的物流增加值；——t年物流业石油、煤炭、电力、天然气消耗量；——需要估计的系数；为常数。

文中将通过岭回归估计了模型的参数，进而分析物流业各品种能源的产出弹性、替代弹性和技术进步的差异，以此来反映物流业能源消耗情况，进而为发展低碳物流提供相应改进措施。

**（一）产出弹性**

产出弹性指的是若其他投入量固定不变，单独变动一种投入的数量时，这种投入的相对变动所引起的产量的相对变动。对于本文中要分析的物流业能源投入要素的产出弹性的高低可以反映出不同能源的利用效率，其计算公式如下：

石油投入的产出弹性为

同理可得出：

煤炭投入的产出弹性为

电力投入的产出弹性为

天然气投入的产出弹性为

**（二）替代弹性**

本文采用[约翰·希克斯](http://baike.baidu.com/view/67245.htm%22%20%5Ct%20%22_blank)（John Richard Hicks）替代弹性。Hicks将要素替代弹性定义为，两种要素比例的变化率与边际技术替代率的变化率之比，它反映了投入要素边际技术替代率的变动所引起的其相对比例的变动，一般弹性值越大则代表这两种投入要素的替代性越强[20-21]，Chambers（1988）把Hicks的替代效应推广至多要素生产函数[22]。结合已有研究成果，物流业四种主要能源投入要素的相互替代弹性计算如下：

石油与煤炭的替代弹性为

而

则可得

又因为

而

把式（10）、（11）同时代入式（9）后分子、分母同除中得

最后将式（12）代入式（8），整理得

式中：——分别代表石油和煤炭能源消耗的边际产出；

同理可以推导出

石油与电力的替代弹性为

石油与天然气的替代弹性为

煤炭与电力的替代弹性为

煤炭与天然气的替代弹性为

电力与天然气的替代弹性为

**（三）技术进步差异**

两种投入要素之间边际替代率随时间的变化率，可用于计算两种投入要素的技术进步差异[23]。设是某两种能源投入要素，物流业能源利用技术进步的差异可以表示为

式（19）中：>0表示投入要素的技术进步要快于要素；<0表示投入要素的技术进步要慢于要素；=0则表示投入要素的技术进步与要素是一致的。

**三、 模型计算与检验**

为了方便计算，超越对数函数自变量由特殊符号代替，令=，其余变量依次为，根据《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》等资料来源获得1994-2010年各变量数据。经过计算，相关系数值基本在0.82以上，变量间的多重共线性较为显著。为了使最小二乘（OLS）估计结果更合理，本文采用岭回归方法解决多重共线性问题进行估计，利用统计软件SPSS18.0计算得出不同变量在一定岭参数（K值）范围内的系数变化情况，绘成岭迹图以及R2与K值关系图,如图1、2所示。

**图1 自变量的岭迹图**



**图2 R2与K值关系图**

根据图1所示各自变量的岭迹图可以看出当K值在0.2附近时，各变量的岭回归系数估计趋于稳定，没有呈现剧烈波动，根据图2也可看出在K值从0.2以后R2呈较平稳下降过程。用K=0.2计算方差膨胀因子得出结果如表1所示，各VIF值均小于5，说明所对应的K值的岭估计就会相对稳定。综上所述，给定K=0.2，其可决系数R2=0.9868，根据1994-2010年的物流业各能源消耗情况数据进行计算，最终得到岭回归估计结果如表1所示。

**表1 岭回归估计结果**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 变量 | 回归系数 |  回归系数 标准误差 |  标准化回 归系数 | T统计量 | VIF值 |
|  | 6.1433 | 3.3547 | 0.0000 | 1.8312 |  |
|  | 0.1540 | 0.0907 | 0.1477 | 1.6981 | 0.9458  |
|  | 0.0297 | 0.0417 | 0.0286 | 0.7127 | 0.3795  |
|  | -0.0454 | 0.1135 | -0.0243 | -0.3999 | 0.2755  |
|  | 0.0668 | 0.0559 | 0.0487 | 1.1939 | 0.1786  |
|  | 0.0371 | 0.0196 | 0.0866 | 1.8938 | 0.0159  |
|  | -0.0063 | 0.0372 | -0.0165 | -0.1692 | 0.2821  |
|  | 0.0044 | 0.0023 | 0.0532 | 1.9562 | 0.0203  |
|  | 0.0045 | 0.0017 | 0.1033 | 2.6272 | 0.3989  |
|  | 0.0140 | 0.0385 | 0.0326 | 0.3628 | 0.3013  |
|  | 0.0049 | 0.0037 | 0.0725 | 1.3102 | 0.2473  |
|  | 0.0070 | 0.0024 | 0.1090 | 2.8861 | 0.5895  |
|  | 0.0024 | 0.0022 | 0.0410 | 1.0976 | 0.0460  |
|  | -0.0020 | 0.0089 | -0.0150 | -0.2265 | 0.2097  |
|  | 0.0075 | 0.0052 | 0.0638 | 1.4377 | 0.0483  |
|  | 0.0145 | 0.0064 | 0.1803 | 2.2487 | 0.2471  |

注：VIF值通过MLATLAB编程求得，　Adjusted R2 =0.80，标准误差估计:0.28044

从表1可以看出岭回归后所得的统计检验结果并不理想,但岭回归方法的运用主要是能否有效地克服共线性和所得参数是否具有合理性[19]。表1中基本所有变量的回归系数为正，煤炭及其交叉影响项（、）的系数除外，这主要是因为物流业的能源消耗统计数据显示，1994-2010年间，物流业煤炭能源的消耗量是在不断降低的，其他能源消耗量则都在上升，所以该参数估计值与物流业能源消耗的实际情况相符，因此可以认为模型的参数估计结果是有意义的。

 根据上面得到的模型参数的估计值，可以计算得到物流业1994-2010年的不同能源投入的产出和替代弹性以及它们的技术进步差异水平，如图3、4、5所示：

**图3 物流不同能源要素的产出弹性**

（一）物流业能源产出弹性分析：

图3中，1994-2010年，我国物流业不同能源要素的产出弹性都处于增长的态势，从大到小依次为：天然气，电力，石油，煤炭。这符合天然气、电力作为清洁能源它们的利用效率要比石油、煤炭这些高碳排放能源的利用效率要高的实际情况，特别是在物流领域，天然气能源产出弹性远远高于石油、煤炭的产出弹性，1994年，天然气的产出弹性为0.47，到2010年达到了0.68，提高了30.9%，并且从2002年开始，这种差距在不断拉大；电力的产出弹性值一直保持在0.3这一相对稳定状态，虽然石油、煤炭能源的产出弹性也一直都维持平稳状态，但都在0.1以下水平，其中，物流业煤炭能源的产出弹性虽在缓慢增长但还是一直为负，这说明天然气能源使用对发展低碳物流是有益的，而煤炭能源的使用则会产生负作用，物流业天然气的产出弹性快速增长也说明该行业在能源使用效率方面显著提高。

**图4 物流不同能源要素的替代弹性**

（二）物流业能源替代弹性分析：

图4中，电力与天然气的替代弹性是小于1的，这说明作为清洁能源的电力和天然气，在物流业这两种能源是不需要相互替代的，而是应该共同发展这两种清洁能源；石油与电力、石油与天然气、煤炭与天然气、煤炭与电力之间的替代弹性系数都很接近，且都大于1，说明以天然气、电力为代表的清洁能源与石油、煤炭为代表的高碳排放能源之间可以进行有效的能源替代；其中煤炭与电力的替代性相对高点，可能的原因是电力能源中有相当一部分是通过使用煤炭进行火力发电的，导致这两种能源之间存在较高的替代弹性。物流业能源要素替代弹性最高的是石油与煤炭，基本维持1.10以上水平，从2002年开始，二者之间的能源替代弹性变的越来越高，到2010年，两者的替代弹性达到历年来最高值1.19，这主要是因为石油和煤炭能源都属于高碳排放的化石燃料。

**图5 物流不同能源要素的技术进步差异**

（三）物流业能源技术进步差异分析：

图5中，目前物流业能源技术进步由高到低依次为：电力、煤炭、天然气、石油。电力和煤炭的技术进步是最快的，电力技术进步符合我国对清洁能源的发展需求，但煤炭技术的快速进步却与前面煤炭能源的产出弹性为负的结论似乎相矛盾，可能有以下几点原因：a）煤炭能源的使用长期处于粗放型，大量煤炭未经脱硫等加工处理直接燃烧排放，造成环境污染严重和利用效率低下，所以煤炭利用的技术起点较低，可改进的空间较大；b）图5显示电力的技术进步比煤炭快而图4又提到它们之间具有高替代性，所以即使煤炭的技术进步速度较快，但受到了电力的影响，产出弹性系数不高。石油的技术进步速度一直处于逐年下降的趋势，特别是从2002年开始，石油的技术进步开始大幅减缓，天然气的技术进步则开始迅速提升。

**四、 结论与政策建议**

本文以超越对数生产模型为基础，结合1994—2010年物流业各能源投入要素的相关数据，得到物流业石油、煤炭、电力和天然气四种能源投入要素的产出弹性、替代弹性以及技术差异情况，得到以下结论：

（一） 2002年是我国物流业能源消耗情况开始快速变化的时间分界点，从2002年开始，以天然气为代表的清洁能源产出水平快速增长，其他投入要素的能源产出水平没有明显变化，特别是煤炭、石油投入要素的产出水平偏低，这说明现阶段我国物流能源利用效率总体水平在显著提高，这其中尤以天然气能源投入的贡献最大。

（二）石油长期以来在物流业能耗结构所占比重最大，而根据文中实证结果显示，电力、天然气为代表的清洁能源可以有效替代石油和煤炭，并且天然气、电力等能源技术进步速度要快于石油、煤炭，因此可以预见，虽然石油将会在未来较长时间内继续在物流业能源消耗结构中占据主导地位，但物流业高碳排放能源将逐步被以天然气等为代表的清洁能源所替代，物流发展的低碳效应将日益显著。

通过对上文实证结果的总结分析，结合我国物流发展实际状况，未来发展低碳物流可以从以下两点措施入手：

第一，基于物流行业特性决定了在今后较长的时期内，石油的消耗在物流能源消耗结构中依然占据主导地位，这就需要考虑建立物流业的油气供应安全保障机制，防止行业出现“油荒”危机，确保物流作业各个环节的节能降耗改革措施能够稳定、有序地进行，并适时推进低碳物流行业标准的制定，目前我国物流行业还未能形成一套标准的低碳物流作业考核体系，物流企业一般只是在响应政府部门“节能减排”的号召下单独进行探索，对此可以由有关政府部门组织协调，积极借鉴国外低碳物流作业考核标准，物流行业协会负责具体落实和实施行业规则，制定出一套符合本国物流发展行情的低碳物流作业标准，为有条件逐步推进低碳物流发展提供行业约束准则。

第二，随着天然气、电力等清洁能源利用技术的不断进步，应该积极倡导物流行业对清洁能源的使用，特别是鼓励科研单位、物流企业对混合动力、新能源电池和电动汽车等运输工具的研发与应用，作为国内物流巨头的顺丰集团近期已经率先投入10辆纯电动汽车在北京地区试点进行揽货和配送环节的物流作业，后期将向其他地区进行推广，这是物流企业发展低碳物流的重大改革创新举措，企业在推进发展低碳物流的过程中，政府部门则需加强引导，采取措施有序引导淘汰高耗能的运输工具和技术，对物流企业购置、开发低碳环保的运输工具可以提供必要的财政支持和低息贷款，形成以企业为市场主导，政府为支撑服务的高效联动机制推广清洁能源、技术在物流业的使用，从根本上实现物流的低碳化。

**参考文献**

[1]庄贵阳. 中国经济低碳发展的途径与潜力分析[J]. 太平洋学报，2005(11)：79 - 87．

[2]戴定一.物流与低碳经济[J].中国物流与采购，2008，21：24-25.

[3]Huang Hua. A Study of Developing Chinese Low Carbon Logistics in the New Railway Period.E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE).International Conference[C].Henan. 2010.

[4]王维婷. 论低碳物流的愿景与行动路径[J]. 山西财经大学学报,2011,S1:101-102.

[5]李亚杰,王莹,李玉民. 基于低碳经济理念的低碳物流运输策略研究[J].煤炭技术,2011,09:279-280+285.

[6]陈喜波,兰轶群. 刍议我国低碳物流系统建设[J]. 物流技术,2011,15:11-13.

[7]钟新周. 发展低碳物流的影响因素及对策[J]. 改革与战略,2012,01:51-52+59.

[8]蒋国平,尤大鹏.发达国家发展绿色物流的成功经验及启示[J].生态经济2008, (4):102一10

[9]董千里,董展,关高峰. 低碳物流运作的理论与策略研究[J]. 科技进步与对策,2010,22:100-102.

[10]温蕾. 基于低碳经济下的低碳物流发展研究[J]. 经济问题,2012,10:72-74.

[11]Abdelkader Sbihi, Richard W Eglese. Combinatorial optimization and Green Logistics [J]. A Quarterly Journal of Operations Research, 2007, 5(2): 99- 116.

[12]Balan Sundarakani, Robert de Souza, M Goh, S M Wagner, S Manikandan. Modeling Carbon Footprints across the Supply Chain[J].International Journal of Production Economics, 2010, 128(1): 43- 50.

[13]夏文汇. 基于低碳经济的钢铁生产物流配送模型研究[J].重庆理工大学学报,2010,(10).

[14]董千里,董展. 物流高级化的低碳物流运作理论与策略研究[J]. 中国软科学,2010,S2:326-332.

[15]姜燕宁,郝书池. 基于低碳经济的物流服务创新研究[J]. 湖北社会科学,2012,01:83-86.

[16]周叶,王道平,赵耀. 中国省域物流作业的CO\_2排放量测评及低碳化对策研究[J]. 中国人口.资源与环境,2011,09:81-87.

[17]Christensen L R, Jorgenson D W, Lau L J. Conjugate duality and the transcendental production function

 [J].Econometrica, 1971,July:255-256.

[18]Christensen L R, Jorgenson D W, Lau L J. Transcendental logarithmic production frontiers[J]. Review

 of Economics and Statistics. 1973,Feb.:28-45.

[19]郑照宁,刘德顺. 考虑资本-能源-劳动投入的中国超越对数生产函数[J]. 系统工程理论与实践,2004,05:51-54+115.

[20]Hicks, J. R.. The Theory of Wages[M] London: Macmillan, 1932.

[21]杨福霞,杨冕,聂华林. 能源与非能源生产要素替代弹性研究——基于超越对数生产函数的实证分析[J]. 资源科学,2011,03:460-467.

[22]Chambers, R.G. Applied Production Analysis: A Dual Approach[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

[23]Ferguson, C.E. The Neoclassical Theory of Production and Distribution[M]. London: Cambridge University Press, 1979.

**作者简介： 张诚 女1962年9月 江西南昌人 华东交通大学经济管理学院院长 教授 博导 研究方向：企业管理，供应链管理**

**周安 男1990年5月 江西抚州人 华东交通大学经济管理学院物流工程专业2012级研究生 研究方向：物流管理；通讯作者联系方式：15170016325，email：****641366281@qq.com**

 **通讯地址：江西省南昌市双港路808****号华东交通大学北区经管学院院办 张诚（收）；邮编：330013**

**张志坚 男 1978年12月 江西南昌人 华东交通大学经济管理学院 讲师 研究方向：物流管理**

**基金项目：2013年国家社科基金资助项目：物流产业生态系统视角下缓解城市雾霾压力的对策研究（编号：13BGL157）；2013江西省教育厅科学技术研究项目：鄱阳湖生态经济区经济发展的物流能力支持研究（编号：GJJ13331）;江西省社会科学规划青年项目（编号：13GL33）**