

· 环境综合整治 ·

中国公路交通直接能源回弹效应的长期和短期影响研究

查冬兰, 张 雪

(南京航空航天大学经济与管理学院, 江苏 南京 210016)

摘 要: 基于 2000~2018 年中国 31 个省(自治区、直辖市)的面板数据, 构建包含非对称价格效应的面板协整与面板误差修正模型, 分体系对我国公路交通直接能源回弹效应的长期和短期影响进行实证研究。结果表明: 长期中, 公路客运交通与公路货运交通直接能源回弹效应分别为 21% 和 62%; 短期中, 公路客运交通直接能源回弹效应为 24%, 而公路货运交通则出现了超级节能效应。公路货运交通对燃料价格的变动相较于公路客运交通更加敏感, 因此公路货运交通直接能源回弹效应程度要大于公路客运交通。从直接能源回弹效应程度看, 控制公路交通部门能源消费量仍应当以提高能源效率为主要手段, 同时采取税收等相应的辅助措施来抑制能源回弹效应的负面影响。

关键词: 公路交通; 直接能源回弹效应; 非对称价格效应; 长期影响; 短期影响

中图分类号: X24

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2022.01.10

Research on long-term and short-term impacts of direct energy rebound effect on road transport in China

ZHA Donglan, ZHANG Xue

(School of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Based on the panel data of 31 provinces in China from 2000 to 2018, the panel cointegration and panel error correction models including asymmetric price effect were constructed, to study the long-term and short-term impacts of the direct energy rebound effect on the road transport in China. The results showed that in the long-term situation, the direct energy rebound effects of road passenger transport and road freight transport were 21% and 62%, respectively. In the short term, the direct energy rebound effect of road passenger transport was 24%, while the road freight transport showed a super energy saving effect. Road freight transport was more sensitive to the changes of energy prices than road passenger transport, so the direct energy rebound effect of road freight transport was greater than that of road passenger transport. As for the perspective of the degree of the direct energy rebound effect, improving energy efficiency should be the main method to control the energy consumption of the road transport sector, and corresponding auxiliary measures such as tax should be taken to restrain the negative impact of the energy rebound effect.

Keywords: road transport; direct energy rebound effect; asymmetric price effect; long-term impact; short-term impact

CLC number: X24

交通行业作为支撑国民经济发展的基础性产业, 在伴随我国经济快速发展的同时, 其能源消费量也在不断增长。在交通行业所有细分部门中, 公路交通部门承担了 70% 以上的客货运输任务, 是交通行业能源消费量和 CO₂ 排放量最大的部门^[1]。绝对的能源消费量和 CO₂ 排放量让公路交通部门成为我国交通行业节能减排工作的重点关注对象。

提高能源效率一直被交通行业视为是实现节能减排目标的有效方式, 一系列致力于提高交通行

业能源效率的政策措施相继发布实施, 能效政策在提高能源效率的同时, 带来一个意外的结果——能源回弹效应。能源回弹效应的存在可能会部分甚至全部抵消由能源效率提高所带来的预期能源节约量, 其大小直接关系着能源效率政策的有效性。

本文基于中国 31 个省(自治区、直辖市)的面板数据, 通过构建长期与短期经济计量模型, 对我国公路交通直接能源回弹效应的长期和短期影响进行了研究, 探究了能源效率政策在能源回弹效应

收稿日期: 2020-11-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(7207040452)

作者简介: 查冬兰(1983-), 女, 博士生导师、教授。研究方向: 能源与环境经济。E-mail: zdl@nuaa.edu.cn

通信作者: 张 雪(1994-), 女, 硕士研究生。研究方向: 交通行业能源效率。E-mail: 18751977650@163.com

引用格式: 查冬兰, 张 雪. 中国公路交通直接能源回弹效应的长期和短期影响研究[J]. 环境保护科学, 2022, 48(1): 48-56.

影响下的有效性,以期从能源回弹效应视角为我国公路交通部门节能减排工作提供科学的参考和建议。

1 文献综述

1.1 直接能源回弹效应定义及测算方法

当某一能源产品或服务的能源效率提高后,会降低能源产品或服务的有效价格。根据消费者行为理论,当产品价格下降时,会引起消费者增加对该种产品的消费(仅考虑消费品为正常品的情况),这部分额外增加的消费需求,称之为直接能源回弹效应^[2]。假设 ε_0 和 ε_1 分别表示 2 种不同的能源效率,其中 ε_0 为初始能源效率水平, ε_1 为提高后的能源效率水平。当能源效率提高后,如果能源消费需求没有发生变化,则可实现 $(E_0 - E_1)$ 部分的预期能源节约量。但能源效率的提高促使能源消费需求从 S_0 增加 S_1 , 相应的能源节约量变为 $(E_0 - E)$, $(E - E_1)$ 这部分的预期能源节约量因能源消费需求的增加而未实现。直接能源回弹效应的作用过程,见图 1,公式(1)是对直接能源回弹效应的进一步解释说明^[3]。

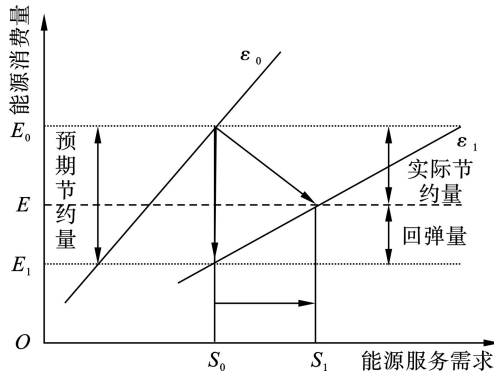


图 1 直接回弹效应示意图

能源回弹效应(RE)

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{预期能源节约量} - \text{实际能源节约量}}{\text{预期能源节约量}} \times 100\% \\ &= \frac{(E_0 - E_1) - (E_0 - E)}{E_0 - E_1} \times 100\% \\ &= 1 - \frac{E_0 - E}{E_0 - E_1} \times 100\% \end{aligned} \quad (1)$$

在直接能源回弹效应实证研究中,以计量经济学方法的应用最为广泛。计量经济学方法主要基于弹性关系对能源回弹效应进行测算,而能源服务需求对能源效率的弹性 $\eta_\varepsilon(S)$ 被认为是能源回弹效应最直接的度量指标^[4],见式(2)。

$$RE = \eta_\varepsilon(S) = \frac{\partial \ln S}{\partial \ln \varepsilon} = 1 + \eta_\varepsilon(E) \quad (2)$$

式(2)中, S 为能源服务, E 为能源消费量,能源效率 $\varepsilon = S/E$ 被定义为能源服务产出与能源投入的比, $\eta_\varepsilon(E)$ 为能源消费量对能源效率的弹性,正的能源回弹效应意味着 $\eta_\varepsilon(S) > 0$, $-1 < \eta_\varepsilon(E) < 0$ 。

由能源效率的定义进一步得到能源服务价格的定义: $P_S = P_E / \varepsilon$ 。由于能源效率数据难获取性,且缺乏足够变化,因此一些学者采用能源服务对能源服务价格的弹性 $\eta_{P_S}(S)$ 估计直接能源回弹效应^[5],见式(3)。

$$RE = \eta_\varepsilon(S) = -\eta_{P_S}(S) = -\frac{\partial \ln S}{\partial \ln P_S} \quad (3)$$

能源服务价格 P_S 数据相对于能源效率 ε 更易获取,固式(3)比(2)更常应用于实证研究。但该定义需要精确的能源服务价格,而能源服务价格又依赖于能源价格和能源效率($P_S = P_E / \varepsilon$)。当把能源效率看作常量时,直接能源回弹效应可进一步用能源消费量对能源价格的弹性 $\eta_{P_E}(E)$ 表示^[2],见式(4)。

$$RE = \eta_\varepsilon(S) = -\eta_{P_E}(E) = -\frac{\partial \ln E}{\partial \ln P_E} \quad (4)$$

在某些研究领域中,当能源消费量数据难以获取时,此时可以采用能源服务需求对能源价格的弹性 $\eta_{P_E}(S)$ 作为测算直接能源回弹效应的替代指标^[6],见式(5)。

$$RE = \eta_\varepsilon(S) = -\eta_{P_E}(S) = -\frac{\partial \ln S}{\partial \ln P_E} \quad (5)$$

式(2)为直接能源回弹效应的效率弹性定义,式(3~5)为直接能源回弹效应的价格弹性定义,价格弹性定义是在效率弹性的基础之上引申而来,所以 3 种价格弹性必须在满足外生性和对称性假设条件之下(能源效率不受能源价格影响/消费者对能源效率提高和能源价格下降的反应相同),其负数形式才等于式(2)的效率弹性,才可以作为直接能源回弹效应的度量指标。在实证研究中,关于弹性定义的选择主要基于数据的可得性。在数据统计完备的情况下,可以同时采用几种弹性定义对直接能源回弹效应进行测算,以提高估计结果的可靠性。考虑到我国交通行业细分部门(公路、铁路、水路和航空)能源消费量统计数据的缺失以及能源效率数据的不可得性,因此本文选用能源服务需求对能源价格的弹性 $\eta_{P_E}(S)$ (式(5))作为我国公路交通直接能源回弹效应的度量指标。

1.2 交通行业能源回弹效应研究

能源回弹效应理论提出以来,就因其数据的完

备性与可得性,成为交通行业众多学者的研究对象。SMALL et al^[7]利用美国各州 1966~2001 年间的面板数据,研究了汽车出行中的能源回弹效应,测算结果显示短期内能源回弹效应为 4.5%,长期能源回弹效应增加到 22.2%。BARLA et al^[8]沿用文献 [7] 的研究思路,同样采用联立方程组模型测算 1990~2004 年间加拿大省级私人家庭轻型乘用车的能源回弹效应,结果显示短期能源回弹效应 8%,长期能源回弹效应 20%。WANG et al^[9]采用近似理想的需求系统模型对中国城镇客运交通能源回弹效应进行测算,结果显示 1994~2009 年间直接能源回弹效应高达 96%,意味着能源效率政策只实现了 4% 的预期节能目标。ZHANG et al^[10]按照地理位置将全国各省份分成东中西 3 部分,采用动态面板分位数回归模型研究 31 个省(自治区、直辖市)的道路客运交通直接能源回弹效应,结果显示全国范围内长期能源回弹效应为 26.56%,东中西部地区长期能源回弹效应分别为 31.30%、100.36% 和 42.67%。

现有关于交通行业能源回弹效应的研究大多集中在客运交通领域,国内外仅有少数学者对货运交通能源回弹效应做了探索性研究。MATOS et al^[6]采用双对数模型,对葡萄牙 1987~2006 年间货运交通行业直接能源回弹效应进行研究,测得直接能源回弹效应约为 24.1%。BORGER et al^[11]利用 1980~2007 年间的时间序列数据,测算丹麦公路货运交通的长期与短期直接能源回弹效应,结果显示短期能源回弹效应为 10%,长期能源回弹效应为 17%。SORRELL et al^[12]同样基于时间序列数据,采用多种模型测算英国公路货运交通 1970~2014 年间的直接能源回弹效应,测算结果从 21%~137% 不等,平均能源回弹效应约为 61%。WANG et al^[13]将中国 31 个省(自治区、直辖市)按地理位置分成东中西 3 个区域,采用双对数模型对 1999~2011 年间全国层面及分区域层面公路货运交通直接回弹效应进行测算,结果表明,中国公路货运交通领域存在显著的能源回弹效应,全国层面直接能源回弹效应为 84%,东中西分区域层面能源回弹效应分别为 52%、80% 和 78%。

上述有关交通行业能源回弹效应的测算结果相差较大,即使是同一研究对象,测算的结果也可能因采用的能源回弹效应定义、数据类型以及模型形式的不同而存在差异。此外,现有研究多集中于

公路客运交通能源回弹效应领域,公路货运交通能源回弹效应的研究相对不足,而已有研究表明公路货运交通能源回弹效应程度往往要大于公路客运交通,因此有关公路货运交通能源回弹效应的研究还需要进一步完善。

基于以上研究的梳理与不足之处,本文采用面板协整与面板误差修正模型同时对我国公路客运交通与公路货运交通能源回弹效应进行研究,有利于对比分析能源效率政策在公路客运交通与公路货运交通中的实施效果。同时引入非对称价格效应分解模型,进一步提高能源回弹效应测算结果的精确度。

2 模型构建与数据说明

2.1 面板数据模型

在现有公路交通能源回弹效应的研究中,能源服务需求的变化通常表现为车辆行驶里程的增加,车辆行驶里程与能源效率之间的弹性关系成为衡量公路交通部门直接能源回弹效应的常用指标^[14]。鉴于国内没有官方公布的车辆年均行驶里程数据,本文参考柴建等^[15]的研究,选取公路交通周转量作为能源服务度量指标,将公路交通直接能源回弹效应定义为公路交通周转量对燃料价格的弹性。文献 [16] 可知,交通出行量主要取决于燃料价格、收入水平等因素,在此基础上进一步引入城镇化率和产业结构 2 个变量,对公路客运交通和公路货运交通分别构建见面板数据模型,见式(6~7)。

$$\ln \text{PTKM}_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln \text{Inc}_{it} + \alpha_2 \ln P_{it} + \alpha_3 \ln \text{Urb}_{it} + \alpha_4 \ln \text{Str}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

$$\ln \text{FTKM}_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln \text{Inc}_{it} + \alpha_2 \ln P_{it} + \alpha_3 \ln \text{Urb}_{it} + \alpha_4 \ln \text{Str}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

式(6~7)中: α_0 为常数项, α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 为待估参数, ε_{it} 为随机误差项。 PTKM_{it} 为第 i 个省份在第 t 年的公路客运交通周转量; FTKM_{it} 为第 i 个省份在第 t 年的公路货运交通周转量; Inc_{it} 为第 i 个省份在第 t 年的人均收入水平; P_{it} 为第 i 个省份在第 t 年的燃料价格; Urb_{it} 为第 i 个省份在第 t 年的城镇化率水平,以当年城镇人口占年末常住总人口比重表示; Str_{it} 为第 i 个省份在第 t 年的产业结构水平,以第二产业产值占当年 GDP 比重表示。

2.2 非对称价格效应分解模型

能源回弹效应本质上是由能源效率提高所导致的能源服务实际价格降低引起的,而应用价格弹性测算能源回弹效应的假设前提也要求能源价格

是下降的,但是现实中能源价格往往波动起伏,有涨有跌。为提高测算结果的精确度,本文参考 HAAS et al^[17] 的研究,将我国燃料价格的波动分解为以下3个部分:(1)历史最高燃料价格序列 $P_{it}^{\max}$;(2)累积下降燃料价格序列 P_{it}^{cut} ;(3)累积恢复燃料价格序列 P_{it}^{rec} 。在时间间隔 $[0, t]$ 内,历史最高燃料价格序列、累积下降燃料价格序列和累积恢复燃料价格序列的定义,见式(8~11)。

$$P_{it} = P_{it}^{\max} \times P_{it}^{\text{cut}} \times P_{it}^{\text{rec}} \quad (8)$$

$$P_{it}^{\max} = \max\{P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{it}\} \quad (9)$$

$$P_{it}^{\text{cut}} = \prod_{m=0}^t \min\left\{1, \frac{P_{im-1}^{\max}/P_{im-1}}{P_{im}^{\max}/P_{im}}\right\} \quad (10)$$

$$P_{it}^{\text{rec}} = \prod_{m=0}^t \max\left\{1, \frac{P_{im-1}^{\max}/P_{im-1}}{P_{im}^{\max}/P_{im}}\right\} \quad (11)$$

对式(8)两边取对数则,见式(12)。

$$\ln P_{it} = \ln P_{it}^{\max} + \ln P_{it}^{\text{cut}} + \ln P_{it}^{\text{rec}} \quad (12)$$

将式(12)分别代入式(6)和(7)中,可得到包含非对称价格效应的公路客运交通和公路货运交通长期直接能源回弹效应测算模型,见式(13~14)。

$$\begin{aligned} \ln \text{PTKM}_{it} = & \alpha_0 + \alpha_1 \ln \text{Inc}_{it} + \alpha_2^{\max} \ln P_{it}^{\max} \\ & + \alpha_2^{\text{cut}} \ln P_{it}^{\text{cut}} + \alpha_2^{\text{rec}} \ln P_{it}^{\text{rec}} \\ & + \alpha_3 \ln \text{Urb}_{it} + \alpha_4 \ln \text{Str}_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \ln \text{FTKM}_{it} = & \alpha_0 + \alpha_1 \ln \text{Inc}_{it} + \alpha_2^{\max} \ln P_{it}^{\max} \\ & + \alpha_2^{\text{cut}} \ln P_{it}^{\text{cut}} + \alpha_2^{\text{rec}} \ln P_{it}^{\text{rec}} \\ & + \alpha_3 \ln \text{Urb}_{it} + \alpha_4 \ln \text{Str}_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (14)$$

式(13)和(14)中: $P_{it}^{\max}$ 为从我国燃料价格序列中分解出来的历史最高燃料价格序列,用以刻画我国燃料最高历史价格的变动情况; P_{it}^{cut} 为从我国燃料价格序列中分解出来的燃料价格累积下降序列,用以刻画我国燃料价格的下降过程; P_{it}^{rec} 为从我国燃料价格序列中分解出来的燃料价格累积恢复序列,用以刻画我国燃料价格在下降之后的恢复上升过程,

其余参数含义同式(6)和(7)。分解后的燃料价格序列,见图2。

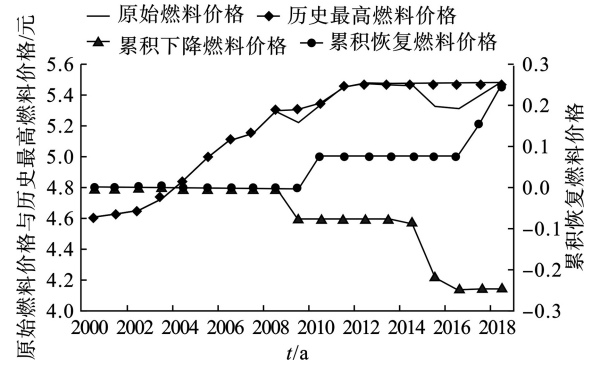


图2 燃料价格指数分解

我国历史最高燃料价格序列与原始燃料价格序列走势基本趋同,说明我国燃料价格整体呈现增长态势,仅有少数年份出现了下降情况。累积恢复燃料价格 $\ln P_{it}^{\text{rec}}$ 与累积下降燃料价格 $\ln P_{it}^{\text{cut}}$ 在初始一段时间里均为零,没有发生变化,这表明在这段时间内我国燃料价格一直处于上升态势。之后两者开始逐渐形成一个类似V形的开口,开口的时点对应着我国燃料价格的下降,开口的幅度表示燃料价格下降和下降之后恢复上升的幅度,开口越大表明燃料价格波动越大。

2.3 数据来源及描述性统计分析

本文基于2000~2018年31个省(自治区、直辖市)的面板数据,对我国公路交通直接能源回弹效应的长、短期影响进行了研究。考虑数据的可得性,香港、澳门和台湾不包括在本文研究范围之内。文中应用的变量包括公路客运交通周转量、公路货运交通周转量、燃料价格、人均收入、城镇化率以及产业结构,各变量数据均来源于《2001~2019年中国统计年鉴》、各省份统计年鉴以及中经网数据库。其中,为消除价格因素的影响,人均收入与燃料价格变量数据均以研究起点2000年为基期做了相应换算,各变量的描述性统计分析,见表1。

表1 变量描述性统计分析

变量	单位	平均值	最大值	最小值	标准差	偏度	峰度
$\ln \text{PTKM}$	亿人·km ⁻¹	5.445	7.810	1.410	1.033	-0.766	3.749
$\ln \text{FTKM}$	亿吨·km ⁻¹	6.204	9.050	2.600	1.354	-0.046	2.347
$\ln \text{Inc}$	元	9.805	11.610	7.920	0.741	0.002	2.319
$\ln P^{\max}$	—	5.189	5.770	4.610	0.346	-0.368	1.870
$\ln P^{\text{cut}}$	—	-0.069	0.000	-0.450	0.095	-1.626	5.300
$\ln P^{\text{rec}}$	—	0.046	0.390	0.000	0.068	1.860	6.520
$\ln \text{Urb}$	%	-0.752	-0.110	-1.640	0.320	-0.306	3.032
$\ln \text{Str}$	%	-0.814	-0.460	-1.680	0.218	-1.594	5.728

3 实证分析

3.1 面板单位根检验

面板数据包括时间和截面 2 个维度,而多数时间序列呈现出非平稳的单位根过程,为避免出现虚假回归,在实证分析之前需要对变量数据的平稳性进行检验。考虑到本文使用的面板数据类型为短面板数据,因此我们选用适合于短面板数据单位根检验的 IPS 检验以及 HT 检验。为了进一步增强

检验结果的稳健性,同时采用了基于异质面板单位根检验的 LLC 检验对文中各变量的平稳性进行分析,具体检验结果,见表 2。除 $\ln P^{\max}$ 和 $\ln Str$ 2 个变量的原对数序列拒绝存在面板单位根原假设以外,其余变量的原对数序列均不能拒绝存在面板单位根的原假设,进一步对各变量的对数一阶差分序列检验结果表明,各变量的一阶差分序列均不存在面板单位根。综合以上检验结果可知,各变量均为一阶单整序列,符合进一步做面板协整检验的要求。

表 2 面板单位根检验结果

变量	LLC检验		IPS检验		HT检验	
	无趋势项	含趋势项	无趋势项	含趋势项	无趋势项	含趋势项
$\ln PTKM$	-1.2719	-0.8935	0.4648	-2.9770***	0.8252	0.6113
$\Delta \ln PTKM$	-13.4996***	-9.6337***	-15.4632***	-11.4910***	-0.0692***	-0.0176***
$\ln FTKM$	1.3726	1.4567	1.1186	1.5395	0.8599	0.7283
$\Delta \ln FTKM$	-5.5635***	-5.2197***	-12.9948***	-9.8173***	0.0033***	0.0433***
$\ln Inc$	-0.2500	-4.1869***	0.7725	-4.0754***	0.9697	0.9062
$\Delta \ln Inc$	-5.9742***	-3.9055***	-4.7979***	-2.1054*	0.5962***	0.7291
$\ln P^{\max}$	-2.6408***	-3.7208***	-5.2804***	-3.9510***	0.8346	0.7016
$\Delta \ln P^{\max}$	-9.5477***	-5.8317***	-10.9645***	-9.5989***	0.1709***	0.2706***
$\ln P^{cut}$	6.0196	0.2817	3.2809	-1.0153	0.9307	0.5674*
$\Delta \ln P^{cut}$	-7.0584***	-10.5163***	-13.6609***	-10.1671***	-0.0427***	0.0645***
$\ln P^{rec}$	0.3700	3.0063	4.6688	1.3763	0.9181	0.5897
$\Delta \ln P^{rec}$	-10.5945***	5.6398	-12.3103***	-9.4532***	-0.0401***	0.0498***
$\ln Urb$	-1.1114	-6.5078***	-0.3880	-6.2489***	0.8801	0.6298
$\Delta \ln Urb$	-4.4858***	-3.2934***	-14.1924***	-12.2026***	0.0313***	0.2308***
$\ln Str$	-2.0112*	-14.8666***	-1.4532*	2.4736	0.9159	0.7143
$\Delta \ln Str$	-6.1215***	-7.0794***	-9.0525***	-6.0473***	-0.0209***	0.1140***

注: Δ 表示各变量的一阶差分序列,根据Schwarz准则自动确定最优滞后期数;***、**和*分别表示1%、5%和10%的显著性水平。

3.2 面板协整与长期能源回弹效应

由面板单位根检验结果可知,各变量的一阶差分序列均通过了面板单位根检验,满足面板协整检验要求。本文同时采用 Kao、Pedronic 和 Westerlund 3 种协整检验方法分别对公路客运交通和公路货运交通方程各变量之间的协整性进行分析,见表 3。

从公路客运交通来看,Kao、Pedronic 和 Westerlund 检验各统计量均强烈拒绝“不存在协整关系”的原

假设;从公路货运交通来看,除 Westerlund 检验不能拒绝“不存在协整关系”的原假设外,Kao 和 Pedronic 检验各统计量均在 1% 的显著性水平下拒绝“不存在协整关系”的原假设。以上面板协整检验结果表明,无论是公路客运还是公路货运交通方程,各变量之间的长期变化均趋于一致,即我国公路交通周转量与燃料价格以及人均收入等变量之间确实存在长期协整关系。

表3 面板协整检验结果

检验方法	统计量	客运交通	货运交通
Pedroni	调整的Phillips-Perron t	6.7138***	5.9526***
	Phillips-Perron t	-4.5506***	-3.6259***
	增强的Dickey-Fuller t	-3.8391***	-3.2963***
Westerlund	方差比	-2.2581**	-0.9685
Kao	调整的Dickey-Fuller t	-2.5678***	-3.6461***
	Dickey-Fuller t	-2.6700***	-3.6514***
	增强的Dickey-Fuller t	-3.3009***	-4.8871***
	未经调整修改的Dickey-Fuller t	-3.4153***	-3.3380***
	未经调整的Dickey-Fuller t	-3.0844***	-3.5189***

注：***、**和*分别表示1%、5%和10%的显著性水平。

在确定公路客运交通方程与公路货运交通方程各变量之间存在协整关系的基础上,进一步对各变量之间的协整关系进行估计。通过豪斯曼检验发现,个体固定效应更适合于本研究。为消除面板数据中截面产生的异方差和时间序列产生的自相

关问题对回归结果造成的影响,本文采用同时考虑组内自相关、组间异方差和同期相关3个因素的全面广义最小二乘法(FGLS),分别对我国公路客运交通方程和公路货运交通方程进行面板协整回归,见表4。

表4 长期协整方程估计结果

变量	客运交通		货运交通	
	系数值	Z值	系数值	Z值
$\ln Inc_{it}$	-0.0983***	-2.98(0.003)	0.2066***	4.54(0.000)
$\ln P_{it}^{max}$	0.9133***	18.11(0.000)	1.7913***	26.45(0.000)
$\ln P_{it}^{cut}$	-0.2103***	-3.11(0.002)	-0.6248***	-4.03(0.000)
$\ln P_{it}^{rec}$	0.1727**	2.23(0.026)	1.1376***	7.74(0.000)
$\ln Urb_{it}$	-0.4789***	-9.81(0.000)	-0.3631***	-6.62(0.000)
$\ln Str_{it}$	0.8007***	30.85(0.000)	0.9248***	21.92(0.000)
C	2.0353***	8.64(0.000)	-4.7161***	-9.19(0.000)
Modified Wald检验	4246.41(0.000)		1429.30(0.000)	
Wooldridge 检验	106.20(0.000)		430.96(0.000)	
Breusch-Pagan LM检验	138.58(0.000)		207.05(0.000)	

注：***、**和*分别表示通过了1%、5%和10%的显著性水平检验；括号内的数值为p值，上述3个检验的零假设分别如下：不存在组间异方差，不存在组内自相关，也不存在组间同期相关性。

(1)从累积下降燃料价格 $\ln P_{it}^{cut}$ 的系数看,公路客运交通与公路货运交通分别为-0.21和-0.62,且两者均在1%的显著性水平显著。在以公路交通周转量对燃料价格的弹性作为直接能源回弹效应度量指标的情况下,我们可以得到公路客运交通长期直接能源回弹效应为21%,公路货运交通长期直接能源回弹效应为62%。该结果表明,在长期中,我国公路交通部门存在显著的能源回弹效应,但能源回弹效应并未达到逆反效应程度,能源效率政策整体上均呈现出能源节约的特征;其次,公路货运交通直接能源回弹效应程度要大于公路客运交通。随着电商规模的扩大,进一步带动了物流行业的快速发展,使得公路货运交通能源消费量的增长快于

公路客运交通,进而导致公路货运交通对燃料价格的变化要比公路客运交通更加敏感^[18]。较高的能源回弹效应程度意味着,能源效率政策在公路货运交通体系的实施效果要小于公路客运交通,预期能源节约量被能源回弹效应所大幅度抵减。

(2)从历史最高燃料价格 $\ln P_{it}^{max}$ 的系数看,公路客运交通周转量与公路货运交通周转量对历史最高燃料价格的系数均为正数。正的弹性结果表明,目前我国燃料价格的上升并没有起到抑制公路交通部门能源服务需求的作用。现阶段我国的能源价格主要由政府指导定价,整体能源价格水平偏低,不能反映出能源的稀缺性,从而造成了能源资源的错配和浪费。因此,虽然我国燃料价格整体呈

现增长态势,但是燃料价格的增长幅度并没有达到人均收入水平的增长^[19],单独采用提高燃料价格的办法在现阶段还无法达到减少能源消费量的效果。

(3)在其他影响因素中,产业结构对公路客运交通与公路货运交通周转量的影响最为显著,均为正向影响关系;城镇化率对两者均呈现出显著的负向影响关系,城镇化率的增长推动了公路交通密度的增加,进而对公路交通部门周转量需求产生抑制作用,这一点对公路客运交通的影响更为明显^[10];人均收入在长期中对公路客运交通产生负向影响关系,但是会促进公路货运交通周转量的增加。随着收入水平的提高,居民会更多地转向高铁和飞机等更加快速和舒适的交通工具,因此长期中人均收入水平的增长可能会对公路客运交通能源服务需求产生抑制作用。

3.3 面板误差修正模型与短期能源回弹效应

面板协整检验结果表明,人均收入、燃料价格等变量与公路交通周转量之间存在长期均衡关系,但是这种均衡关系有可能在短期中出现偏离均衡状态的情况。为了弥补长期均衡静态模型的不足,本文构建包含滞后项的短期误差修正模型来反映短期偏离长期均衡状态的修正机制。误差修正模型以变量之间的协整关系构成误差项,并把误差修正项作为一个解释变量,与其他影响短期波动的变量放在一起,构成误差修正模型,误差修正项的大小表示其对偏离长期均衡状态的调整力度^[20]。因此,本文在长期协整回归的基础上,将式(13)和(14)得到的残差序列作为误差修正项,同时为了让模型反映出短期的动态调整,选用滞后一期的残差

作为误差修正项对我国公路客运交通与公路货运交通分别建立面板误差修正模型,见式(15~18)。

$$\begin{aligned} \hat{\varepsilon}_{it} = ecm_{it} = & \ln PTKM - \hat{\alpha}_0 - \hat{\alpha}_1 \ln Inc_{it} \\ & - \hat{\alpha}_2^{\max} \ln P_{it}^{\max} - \hat{\alpha}_2^{\text{cut}} \ln P_{it}^{\text{cut}} \\ & - \hat{\alpha}_2^{\text{rec}} \ln P_{it}^{\text{rec}} - \hat{\alpha}_3 \ln Urb_{it} - \hat{\alpha}_4 \ln Str_{it} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \Delta \ln PTKM_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \Delta \ln Inc_{it} + \beta_2^{\max} \Delta \ln P_{it}^{\max} \\ & + \beta_2^{\text{cut}} \Delta \ln P_{it}^{\text{cut}} + \beta_2^{\text{rec}} \Delta \ln P_{it}^{\text{rec}} + \beta_3 \Delta \ln Urb_{it} \\ & + \beta_4 \Delta \ln Str_{it} + \beta_5 \Delta \ln PTKM_{it-1} + \gamma ecm_{it-1} + \mu_{it} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \hat{\varepsilon}_{it} = ecm_{it} = & \ln FTKM - \hat{\alpha}_0 - \hat{\alpha}_1 \ln Inc_{it} \\ & - \hat{\alpha}_2^{\max} \ln P_{it}^{\max} - \hat{\alpha}_2^{\text{cut}} \ln P_{it}^{\text{cut}} \\ & - \hat{\alpha}_2^{\text{rec}} \ln P_{it}^{\text{rec}} - \hat{\alpha}_3 \ln Urb_{it} - \hat{\alpha}_4 \ln Str_{it} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \Delta \ln FTKM_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \Delta \ln Inc_{it} + \beta_2^{\max} \Delta \ln P_{it}^{\max} \\ & + \beta_2^{\text{cut}} \Delta \ln P_{it}^{\text{cut}} + \beta_2^{\text{rec}} \Delta \ln P_{it}^{\text{rec}} \\ & + \beta_3 \Delta \ln Urb_{it} + \beta_4 \Delta \ln Str_{it} \\ & + \beta_5 \Delta \ln FTKM_{it-1} + \gamma ecm_{it-1} + \mu_{it} \end{aligned} \quad (18)$$

式(16)和(18)分别为公路客运交通与公路货运交通的短期面板误差修正模型,该模型表明,在短期内,公路客运交通和公路货运交通周转量不仅取决于各个影响因素短期变化的影响,同时还受到公路客运交通和公路货运交通周转量偏离长期均衡趋势的影响。其中,各变量的差分序列表示变量的短期波动,如 $\Delta \ln Inc_{it}$ 表示人均收入水平的短期波动,差分序列的系数表示短期弹性。因此,式(16)和(18)中的 β_2^{cut} 可分别看作是公路客运交通与公路货运交通的短期直接能源回弹效应,短期面板误差修正模型估计,见表5。

表 5 短期面板误差修正模型估计结果

变量	客运交通		货运交通	
	系数值	Z值	系数值	Z值
$\Delta \ln Inc_{it}$	1.2266***	9.18(0.000)	-0.1447	-1.17(0.241)
$\Delta \ln P_{it}^{\max}$	0.7626***	8.40(0.000)	1.9103***	16.57(0.000)
$\Delta \ln P_{it}^{\text{cut}}$	-0.2432**	-1.97(0.048)	0.3878**	2.30(0.022)
$\Delta \ln P_{it}^{\text{rec}}$	0.6104***	4.51(0.000)	0.5632***	3.12(0.002)
$\Delta \ln Urb_{it}$	-0.0383	-0.41(0.681)	0.1382	0.95(0.341)
$\Delta \ln Str_{it}$	0.4057***	7.80(0.000)	0.2211***	4.32(0.000)
$\Delta \ln PTKM_{it-1}$	-0.0321	-0.87(0.384)		
$\Delta \ln FTKM_{it-1}$			0.0244	0.58(0.560)
Ec_{it-1}	-0.0238***	-5.66(0.000)	-0.0104**	-2.03(0.043)

注:***、**和*分别表示通过了1%、5%和10%的显著性水平检验。

(1)同样在以公路交通周转量对燃料价格的弹性作为能源回弹效应度量指标的情况下,我们可以

得到公路客运交通短期直接能源回弹效应为24%,与长期直接能源回弹效应21%的估计结果相近,且

误差修正项系数 ecm_{it-1} 显著为负,符合误差修正原理。公路货运交通累积下降燃料价格 $\Delta \ln P_{it}^{fuel}$ 系数为正值,表明短期内公路货运直接能源回弹效应 <0 ,出现了超级节能效应,这是能效政策实施效果最为理想的一种状态,误差修正项同样通过了显著性检验。相对于公路客运交通,公路货运交通在短期内具有一定的刚性,当能源效率提高降低能源服务成本时,短期内往往难以做出快速的应对。因此,能效政策在短期内可以较好地实现节能减排效果,尤其在公路货运交通体系中。

(2)短期内历史最高燃料价格 $\Delta \ln P_{it}^{max}$ 对于公路客运交通与公路货运交通周转量的系数仍显著为正。正的弹性结果表明,即使在短期内,提高燃料价格的手段仍然无法起到抑制公路交通部门能源服务需求的作用。原因同长期类似,燃料价格的上升幅度小于收入水平的增长,进而导致人们对燃料价格上升的变化不敏感。

(3)短期内人均收入对公路客运交通周转量的影响与长期相比,方向发生了改变。人均收入水平的增长对公路客运交通周转量具有显著地正向促进作用,短期内公路客运交通运输需求会随着人均收入的增长而增长,人均收入对公路客运交通周转量的影响程度远大于同期其他变量。该结果表明人均收入水平的增长是短期内客运交通周转量增加的主要原因,但短期内人均收入水平对公路货运交通周转量的影响结果并不显著。城镇化率在短期内对公路客运交通周转量与公路货运交通周转量的影响均不显著。产业结构对公路客运交通周转量与公路货运周转量的影响同长期一样,均为显著地正向促进作用。

4 结论与建议

基于2000~2018年中国31个省(自治区、直辖市)的面板数据,本文构建包含非对称价格效应的面板协整与面板误差修正模型,分别对我国公路交通的长期与短期直接能源回弹效应进行研究。研究发现:1)我国公路交通部门存在显著的能源回弹效应。长期中,公路客运交通与公路货运交通直接能源回弹效应分别为21%和62%;短期中,公路客运交通直接能源回弹效应为24%,而公路货运交通则出现了超级节能效应;2)公路货运交通对能源价格的变动相较于公路客运交通更加敏感,因此公

路货运交通能源回弹效应程度要大于公路客运交通,两者对能源效率提高的反应程度并不相同;3)能源回弹效应程度均属于部分能源回弹效应,没有达到逆反效应程度,由此我们可以得出能源回弹效应并非导致我国公路交通部门能源消费量持续增长的主要原因,人均收入水平的提高以及产业结构因素是公路客运交通与公路货运交通能源消费量增长的主要推动力。

基于此,针对我国公路交通部门节能减排政策的制定提供以下建议。

(1)继续将能源效率提高作为实现公路交通部门节能减排的主要手段和方式。部分能源回弹效应研究结果表明,不管是在公路客运交通还是公路货运交通领域中,能源效率政策整体上均呈现出能源节约的特征。如果能源效率没有得到提高,将会有更多的能源会被消费。现阶段我国机动车燃油效率与日本、美国等发达国家相比,仍存在一定的差距,未来还有进一步提升的空间。政府可以采用财政补贴的方式加大对节能技术的推广力度,不断提高公路交通部门能源利用效率。

(2)逐步放宽对能源价格的管制,使能源价格可以真正反映出能源成本的稀缺性。我国能源价格的上升在长期和短期内均没有起到抑制公路交通能源服务需求的作用,主要原因在于现阶段我国的能源价格主要由政府指导定价,整体能源价格偏低,无法反映出能源的稀缺性。柴建等^[15]的研究表明,能源价格市场化的日本与美国,其公路交通运输需求与能源价格之间存在负相关关系。当能源价格真正反映出其成本稀缺性时,通过调节能源价格才可以真正起到控制能源消费量的作用。

(3)完善公路交通部门税收征收体系。能源回弹效应结果表明,利用技术进步提高能源效率对于实现节能减排目标并非像预期般有效。尤其在长期公路货运交通领域中,能源回弹效应为62%,意味着能源效率的提高只实现了38%的预期能源节约目标。在大力推行节能技术提高能源效率的同时,为抑制能源回弹效应对公路交通部门节能减排工作的负面影响,需要采取税收政策等相应的辅助措施。针对公路交通部门的特点,政策制定者可以从汽车的投入、使用、排放以及丢弃环节等多环节设置不同的税收标准,同时降低纯电动汽车以及混合动力汽车等新能源汽车的税收负担,引导消费者

选择更加合理的出行方式和交通工具。

(4) 加快经济发展方式转型, 继续稳步推进产业结构优化升级。研究表明, 第二产业比重对我国公路交通部门, 尤其是公路货运交通领域能源服务需求存在极大的促进作用。由于长期以来粗放型经济发展方式, 导致我国出现第二产业比重占比大, 第二产业内部结构偏重的现象, 这是造成我国货运交通领域存在超量运输的及高空载率的主要原因。减少公路交通部门能源消费量, 关键还是要从转变经济发展方式入手, 同时要继续推进产业结构调整, 提高第三产业比重, 改善第二产业内部结构, 积极发展低能耗高附加值的现代服务业, 促进经济向节能低碳的绿色经济发展。

(5) 针对公路客运交通与公路货运交通制定不同的节能减排政策标准。实证研究结果表明, 公路客运交通与公路货运交通对于能源效率提高的反应程度并不相同。长期内公路货运交通能源回弹效应程度远高于公路客运交通, 在采取相关辅助措施抑制能源回弹效应时, 可以适当提高公路货运交通领域的政策标准, 如对营运货车制定更高的燃油效率标准, 或是进一步提高对公路货运交通领域的税收征收比率等。

参考文献

- [1] 刘朝, 朱于珂, 覃昌雄. 公路交通能源环境效率与能源回弹效应--基于空间溢出效应的研究[J]. *技术经济*, 2019, 38(4): 114 - 128.
- [2] FRONDEL M, PETERS J, VANCE C. Identifying the rebound: Evidence from a German household panel[J]. *Energy Journal*, 2008, 29(4): 145 - 164.
- [3] HAAS R, BIERMAYR P. The rebound effect for space heating: Empirical evidence from Austria[J]. *Energy Policy*, 2000, 28(6-7): 403 - 410.
- [4] SORRELL S, DIMITROPOULOS J. The rebound effect: Microeconomic definitions, limitations and extensions[J]. *Ecological Economics*, 2008, 65(3): 636 - 649.
- [5] BINSWANGER M. Technological progress and sustainable development: What about the rebound effect?[J]. *Ecological Economics*, 2001, 36(1): 119 - 132.
- [6] MATOS F J F, SILVA F J F. The rebound effect on road freight transport: Empirical evidence from Portugal[J]. *Energy Policy*, 2011, 39(5): 2833 - 2841.
- [7] SMALL K A, VEN DENDER K. Fuel efficiency and motor vehicle travel: The declining rebound effect[J]. *Energy Journal*, 2007, 28(1): 25 - 51.
- [8] BARLA P, LAMONDE B, MIRANDA-MORENO L F, et al. Traveled distance, stock and fuel efficiency of private vehicles in Canada: Price elasticities and rebound effect[J]. *Transportation*, 2009, 36(4): 389 - 402.
- [9] WANG H, ZHOU P, ZHOU D Q. An empirical study of direct rebound effect for passenger transport in urban China[J]. *Energy Economics*, 2012, 34(2): 452 - 460.
- [10] ZHANG Y J, PENG H R, LIU Z, et al. Direct energy rebound effect for road passenger transport in China: A dynamic panel quantile regression approach[J]. *Energy Policy*, 2015, 87(12): 303 - 313.
- [11] BORGER B D, MULALIC I. The determinants of fuel use in the trucking industry-volume, fleet characteristics and the rebound effect[J]. *Transport Policy*, 2012, 24: 284 - 295.
- [12] SORRELL S, STAPLETON L. Rebound effects in UK road freight transport[J]. *Transportation Research Part D:Transport and Environment*, 2018, 63(8): 156 - 174.
- [13] WANG Z H, LU M L. An empirical study of direct rebound effect for road freight transport in China[J]. *Applied Energy*, 2014, 133(15): 274 - 281.
- [14] SMALL K A, VEN DENDER K. A study to evaluate the effect of reduce greenhouse gas emissions on vehicle miles travelled[J]. *Energy*, 2005, 34: 79 - 87.
- [15] 柴建, 杨莹, 朱青, 等. 交通需求非对称价格效应对比分析[J]. *系统工程理论与实践*, 2015, 35(7): 170 - 177.
- [16] GILLINGHAM K, RAPSON D, WAGNER G. The rebound effect and energy efficiency policy[J]. *Energy*, 2014, 25: 31 - 42.
- [17] HAAS R, SCHIPPERB L. Residential energy demand in OECD-countries and the role of irreversible efficiency improvements[J]. *Energy Economics*, 1998, 20(4): 421 - 442.
- [18] JANJEVIC M, KNOPPEN D, WINKENBACH M. Integrated decision-making framework for urban freight logistics policy-making[J]. *Transportation Research Part D:Transport and Environment*, 2019, 72(7): 333 - 357.
- [19] ZHANG S S, LIN B Q. Investigating the rebound effect in road transport system: Empirical evidence from China[J]. *Energy Policy*, 2018, 112(1): 129 - 140.
- [20] 王兆华. 基于省际面板数据的中国城镇居民用电直接回弹效应研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2014, 34(7): 1678 - 1686.