

文章编号:1005-0523(2012)05-0062-06

基于反推方法的交通运输行业碳排放评估研究

闫 琰,周嗣恩,杨新苗

(清华大学交通研究所,北京 100084)

摘要:交通运输行业碳排放量化评估对城市低碳策略的制定与实施具有重要参考价值。研究集成趋势预测与落差分析,提出一种基于反推方法的交通运输行业碳排放量测算方法,该方法综合交通运输方式结构以及相应能耗因子与碳排放水平特征,以客运、货运周转量等宏观交通运行指标为依据,衔接终端能源消费与碳排放量,估算碳排放的现状与趋势,反推实现碳排放控制目标的落差与可能实施路径。

关键词:综合交通运输;碳排放;反推分析;终端能源;趋势预测

中图分类号:U111

文献标志码:A

能源过度消耗和环境污染已经成为全球性问题,尤其是碳排放引起的温室效应问题已经向人类敲响警钟。交通运输行业的能源消耗量与相应的碳排放量异常突出,据国际能源署的统计表明,2008年交通运输行业的碳排放量占全球的22.5%,仅次于电力行业。同许多地区一样,我国交通运输行业的能源消耗强度也比较大,有报道称2006年我国的单位能耗强度是日本的8倍,是欧盟的4.6倍,是美国的2.4倍^[1],由此也带来了较高的碳排放强度。为积极应对这一形势,我国政府于2009年哥本哈根气候变化大会前,正式对外宣布控制温室气体排放的行动目标,即到2020年单位国内生产总值GDP的二氧化碳排放强度比2005年下降40%~45%,并将其作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划。这对交通运输行业提出更高的要求,迫切需要系统的碳排放评估方法以辅助碳排放政策的制定与生成。但传统的碳排放评估方法在以下方面存在改进空间:①传统方法侧重于用人口数量等宏观社会经济指标进行碳排放分解测算这些方法与交通指标的契合程度有待提高;②传统方法关注用一定的数学模型预测碳排放趋势,但针对该趋势的相应政策计划以达到预定调控目标的评判力度不足。

为此,研究提出基于反推方法的交通运输行业碳排放评估方法,它植根客运、货运交通需求数据,充分考虑交通运输指标与能源消耗以及碳排放的逻辑与量化转换关系,继承预测模型对未来碳排放形势的判断,并结合国家宏观调控目标,反推达到预定控制目标的可能实施路径。

1 文献综述

交通运输行业碳排放评估方法研究主要包括碳排放的测算体系以及碳排放的发展趋势预测研究2个方面。

在碳排放测算研究中,常用方法包括Kaya方法,对数均分,场景分析等方法。Kaya等^[2]提出用人口数量,人均经济指标,单位经济指标的能源消耗量,单位能源消耗量的碳排放量进行碳排放量分解与估算的方法。Yang等^[3]继承Kaya方法分析思路,将碳排放因子分解为4大组成部分:人口强度,交通强度,能源强度和碳排放强度,用于分析碳排放和缓解策略。Papagiannaki等^[4]采用对数均分方法获取希腊和丹麦道

收稿日期:2012-08-06

基金项目:国家重点基础研究发展计划子课题(2010CB955602)

作者简介:闫琰(1988—),女,硕士研究生,主要研究方向为交通能源。

路交通碳排放影响因素。Wang等^[5]也采用对数均分方法分析削减中国交通行业碳排放的驱动力是改善交通运输强度和交通运输结构。He等^[6]采用自下而上的模型方法核算了1997—2002年中国道路交通历史油耗和碳排放数据。场景分析通常与其它方法组合使用,用于测算未来不同场景下碳排放的发展趋势。

碳排放发展趋势的评估研究主要是基于当前状况及政策环境,采用数学模型对未来发展轨迹进行预先判断,为政策制定提供参考。灰色理论,多元回归,弹性预测,偏最小二乘回归,多层遗传算法、随机模型、系统动力学等都曾被用于碳排放的发展形势判断。研究主要考虑部分预测模型的或激进或保守内在特征,综合发展情景辅助碳排放的目标反推。反推方法由Lovins于1977年提出并用于电力行业能源的供需规划^[7],Robinson丰富和发展了该方法,认为其本质在于驱动可行的社会、环境、政策因素,逐渐靠近并达成目标^[8]。

研究集成上述方法的内在特征,继承反推方法理念,设定交通运输行业碳排放的期望控制目标,结合趋势预测结果与落差,反推当前阶段应采取的碳排放行动计划,通过目标驱动与目标导向,以尽可能实现期望目标。

2 研究方法

研究归纳我国统计年鉴以及交通运输行业统计年鉴的数据指标、类型与格式特征,考虑综合交通运输方式结构及相应的能耗因子与碳排放水平,结合趋势预测方法,形成交通运输行业碳排放测算评估的反推方法,其前提条件包括:①交通运输行业的能源消耗可划分为基础设施建设能源消耗和运营过程能源消耗两部分,后者称为终端能源消耗量。为便于与国际能源数据进行对比分析,本文仅测算交通运输行业终端能源消耗量。②交通运输行业传统划分为道路、铁路、航空、水运、管道运输五种交通运输方式,其中管道运输的碳排放量较其它几种方式较少,且其碳排放特征不同于其它运输方式,故不包括在本次研究范围内。③道路运输包括城市道路运输和公路运输,两者统计数据来源及计算方法均不同,研究分别测算两者的终端能耗和碳排放量,并将叠加结果作为道路运输方式的终端能耗和碳排放量。

研究提出的基于反推方法的交通运输行业碳排放评估以碳排放的现状测算与发展形势预估为参照,结合预测目标与预期控制目标的落差,反推实现预期控制目标的可能实施路径。

2.1 数据收集

主要收集分运输方式的交通运输客货运需求、能耗因子与碳排放水平特征数据;同时搜集其它地区能源消耗与碳排放的历史统计数据用于对照分析。

2.2 终端能耗及碳排放测算

终端能源消耗量是交通运输需求与碳排放的纽带,碳排放量,终端能源消耗量,交通运输需求之间分别呈正相关关系。首先收集分运输方式的交通运输客、货运需求量;然后根据各运输方式油耗特征,测算终端能源消耗量;再结合不同燃油的碳排放因子,估算整个交通运输行业碳排放量。分运输方式的终端能耗及碳排放测算模型如下所述。

2.2.1 公路运输

公路运输方式以营运性车辆的年平均客运、货运周转量为基数,考虑单位周转量的终端能源消耗量,并考虑不同车型所用燃料碳排放因子的差异进行公路运输终端能耗及碳排放量的计算,详见公式(1)和(2)。

$$E_H = \sum_i \sum_j E_{H_{ij}} = \sum_i \sum_j U_{H_{ij}} \times \partial_{ij} \times V_{ij} \quad (1)$$

式中: E_H 为公路运输终端能源消耗量; $E_{H_{ij}}$ 为 i 燃料 j 车型终端能源消耗量; $U_{H_{ij}}$ 为 i 燃料 j 车型单位周转量平均终端能源消耗量(客运为百车公里,货运为百吨公里); ∂_{ij} 为 i 燃料 j 车型所占比例; V_{ij} 为 i 燃料 j 车型的年均周转量(客运为百车公里,货运为百吨公里)。

$$C_H = \sum_i \sum_j E_{H_{ij}} \times F_i \quad (2)$$

式中: C_H 为公路运输碳排放量; F_i 为 i 燃料的碳排放因子。

2.2.2 城市道路运输

城市道路运输方式,以分车型的年均行驶里程为基数,考虑单位行驶里程的能源消耗、车辆的燃油经济性、不同燃料的碳排放因子等因素,进行城市道路运输方式终端能耗及碳排放量的计算,详见公式(3)和(4)。

$$E_U = \sum_i \sum_k E_{U_{ik}} = \sum_i \sum_k Q_{i,k} \times L_{i,k} \times G_{i,k} \quad (3)$$

式中: E_U 为城市道路运输终端能源消耗量; $E_{U_{ik}}$ 为 i 燃料 k 车型终端能源消耗量; $Q_{i,k}$ 为 i 燃料 k 车型的保有量; $L_{i,k}$ 为 i 燃料 k 车型的年均行驶里程; $G_{i,k}$ 为 i 燃料 k 车型平均单位公里能耗。

$$C_U = \sum_i \sum_k E_{U_{ik}} \times F_i \quad (4)$$

式中: C_U 为城市道路运输碳排放量; F_i 为 i 燃料的碳排放因子。

2.2.3 铁路运输

铁路运输方式,以统一换算后的客运、货运周转量为基数,考虑铁路机车类型、单位周转量能源消耗、不同机车类型的能耗方式、牵引动力比重及排放因子,进行铁路运输方式终端能耗及碳排放量的计算,详见公式(5)和(6)。

$$E_R = \sum_m E_{R_m} = \sum_m U_{R_m} \times \beta_m \times (F_{R_m} + P_{R_m} \times \gamma_R) \quad (5)$$

式中: E_R 为铁路运输终端能源消耗量; E_{R_m} 为 m 类型列车的终端能源消耗量; U_{R_m} 为 m 类型列车单位周转量平均终端能源消耗量; β_m 为 m 类型列车牵引权重; F_{R_m} 为 m 类型列车货运周转量; P_{R_m} 为 m 类型列车客运周转量; γ_R 为铁路客货转换系数,通常取1。

$$C_R = \sum_m C_{R_m} = (E_{R_f} + E_{R_d} \times C_{R_d} \times S_{R_d} \times f_d) \times F_c \quad (6)$$

式中: C_R 为铁路运输碳排放量; C_{R_m} 为 m 类型列车的碳排放量; E_{R_f} , E_{R_d} 分别为燃料列车,电气列车的总的终端能源消耗量, C_{R_d} 为电气列车中火电的比例; S_{R_d} 为单位电量的标准耗煤; f_d 为标准煤与原煤的折算系数,通常取1.4; F_c 为原煤的碳排放因子。

2.2.4 水运与航空运输

水运、航空运输方式,以统一换算后的客运、货运周转量为基数,考虑运输工具类型、以不同运输工具的单位能耗及排放,进行水运、航空运输方式终端能耗及碳排放量的计算,详见公式(7)和(8)。

$$E_S = \sum_n E_{S_n} = \sum_n U_{S_n} \times (F_{S_n} + \gamma_S \times P_{S_n}) \quad (7)$$

式中: E_S 为水运、航空运输的总终端能源消耗量; E_{S_n} 为 n 类型运输工具的终端能源消耗量; U_{S_n} 为 n 类型运输工具单位周转量平均终端能源消耗量; F_{S_n} 为 n 类型运输工具货运周转量, P_{S_n} 为 n 类型运输工具客运周转量; γ_S 为客货转换系数,水运取0.33,航空取0.072。

$$C_S = \sum_n E_{S_n} \times F_n \quad (8)$$

式中: C_S 为水运、航空运输的总碳排放量; F_n 为 n 类型交通工具使用燃料的碳排放因子。

2.3 终端能耗及碳排放趋势预测

预测在当前措施和政策执行力度情况下,参考弹性系数法、回归分析法、灰色预测模型等模型预测结果,对未来终端能消量进行估算,进而预测未来交通运输行业碳排放量趋势。从长期预测结果来看,回归分析方法预测结果偏保守,灰色预测模型结果偏激进。研究综合分析预测方法的

保守或激进特征、结合国民经济增长弹性、交通发展政策等因素影响确定未来交通运输行业碳排放趋势。

2.4 反推分析

顺承我国政府提出的碳排放控制目标,确定交通运输行业碳排放的控制目标。以上述测算结果为基准情景与控制目标进行对比分析,计算两者的落差。在此基础上分析交通运输行业各运输方式的碳减排潜力,考虑碳排放政策措施效果的滞后效应,以及基准情景与控制目标的落差,反推交通运输行业实现预期控制目标的路径及措施。

3 案例分析

研究收集我国1999—2009年各种运输方式客运、货运周转量历史数据及相应能耗因子与碳排放水平特征数据用于案例分析,数据主要来源为《中国统计年鉴》、《中国交通统计年鉴》等。核算我国2000—2009年交通运输行业终端能耗及碳排放量,并预测我国2015年、2020年交通运输行业终端能耗及碳排放趋势,测算结果见表1。

表1 我国交通运输行业能耗及碳排放测算
Tab.1 Energy consumption and carbon emission estimation in transportation sectors

年份/年	能耗/万吨标煤					排放/万吨CO ₂				
	道路	铁路	水路	民航	合计	道路	铁路	水路	民航	合计
2000	8 805	584	681	587	10 657	21 992	885	1 480	1 275	25 632
2001	9 607	621	524	597	11 349	24 291	941	1 137	1 297	27 666
2002	10 837	658	591	698	12 784	27 740	997	1 283	1 516	31 536
2003	11 768	703	655	727	13 853	30 458	1 065	1 422	1 579	34 524
2004	13 331	797	936	978	16 042	34 659	1 209	2 032	2 123	40 023
2005	15 198	854	1 134	1 105	18 291	39 814	1 295	2 463	2 399	45 971
2006	17 535	897	940	1 242	20 614	46 152	1 358	2 042	2 698	52 250
2007	20 350	980	2 762	1 426	25 482	53 459	1 463	5 920	3 097	63 939
2008	39 073	1 025	4 562	1 484	46 144	94 993	1 507	9 907	3 233	109 630
2009	45 598	1 032	4 725	1 675	53 030	112 006	1 517	10 262	3 638	127 423
2015	79 982	1 497	7 679	3 208	92 367	217 554	2 197	16 676	6 968	243 395
2020	143 856	1 959	11 857	5 409	163 081	413 297	2 874	25 751	11 746	453 668

测算结果表明自2000—2009年,我国交通运输行业终端能耗量的年均增速为21%,2009年行业终端总能耗量为5.3亿吨标准煤。碳排放量总体呈增加趋势,但增幅经2007—2008年的高峰后,由2008—2009年开始呈下降趋势。2009年,交通运输行业碳排放总量高达12亿吨,道路运输方式占88%。铁路运输方式的碳排放量所占比例较低。按照当前政策措施水平2020年交通运输行业碳排放量将达45亿吨,其中道路运输(包含公路,城市道路),铁路,水路,民航的比例分别为90%,1%,6%,3%。

以我国政府提出2020年单位GDP碳排放强度比2005年下降40%的目标作为交通运输行业碳排放的预期控制目标,反推控制目标与基准情景的差距,表2诠释了反推结果。以2005年为基准,交通运输行业碳排放量需要以年均3.3%的下降速率方能达到控制目标,但事实上自2005年至2009年交通行业排放年均增幅约为20%。这说明交通运输行业现有碳排放控制政策不足以扭转碳排放加剧的趋势,迫切需要革命性的技术变革或全面系统的碳排放控制措施。

表2 交通运输行业碳排放反推及落差分析

万吨 CO₂·亿元⁻¹

Tab.2 Backcasting and gap analysis of carbon emissions in transportation sectors

单位GDP排放强度	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2015年	2020年
基准情景	4.31	4.29	4.38	6.70	6.91	7.56	10.00
控制目标	4.31	4.17	4.03	3.90	3.77	3.08	2.59
反推差距	0.00	0.12	0.35	2.80	3.14	4.48	7.41

在碳排放控制措施研究方面,许多学者从税收制度、燃油标准、燃油定价、交通运输方式转移等角度进行研究。其中交通运输方式转移,提高铁路客货运比例^[9],鼓励公共交通出行,是交通运输行业节能减排的主要动力。本研究综合已有研究成果,结合我国国情归纳汇总,提出交通行业碳减排控制目标措施建议如表3所示。

表3 交通运输行业碳排放控制措施建议

Tab.3 Carbon emission control measures for transportation sectors

具体措施	节能潜力	经济成本
建设健全的碳税政策和燃料标准	中	低
建立能耗统计指标考核体系,完善节能减排监测制度	高	低
合理控制机动车增速及使用率,鼓励公交和非机动出行	高	低
改进公路、铁路连接,提高铁路货运比例,完善物流网络	高	高
改善运营状况,提高效率和实载率	低	低
使用能源效率高的运载工具,逐步淘汰老旧高能耗运载工具	高	中
优化车辆设计、操作规范	中	低
加快铁路电气化、汽车柴油化	高	高
合理设计轨道线路,减小阻力	中	中
改善道路条件,降低车辆单耗	中	中
合理调度,减少船舶过船闸的延误时间	低	低
合理规划航道线路,定期维护航道,保证船舶通行	低	低
港口采用岸电系统,控制船票按照经济航速行驶	中	中
改进运能线路,减少运输损耗	中	低
新能源、新技术发展	高	高

5 结论

研究根据我国统计年鉴数据结构特征,从目标驱动与目标导向角度提出适用于我国的基于反推方法的交通运输行业碳排放测算评估体系。并利用1999—2009年客运、货运周转量等宏观交通运行历史统计数据,核算了我国2000—2009年交通运输行业终端能耗及碳排放量,预测2020年碳排放量趋势。并应用反推分析方法,计算基准情景与控制目标的落差,反推实现碳排放控制目标的可能路径与对策措施建议。研究结果表明,道路运输方式碳排放量占据整个交通行业85%以上。

参考文献:

- [1] TONG JINPING, M A JIANFENG, QIU LEI. Decomposition and influencing factors of China's energy consumption intensity changes[J]. Systems Engineering, 2009, 27(10): 25-31.
- [2] KAYA Y. Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: interpretation of proposed scenarios[R]. Paris: IPCC Energy and Industry Subgroup, 1990: 10-15.
- [3] YANG C. Meeting an 80% reduction in greenhouse gas emissions from transportation by 2050: A case study in California[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2009, 14(3): 147-156.
- [4] PAPAGIANNAKI K, D. DIAKOULAKI. Decomposition analysis of CO₂ emissions from passenger cars: The cases of Greece and Denmark [J]. Energy Policy, 2009, 37(8): 3259-3267.
- [5] WANG W W, M ZHANG, M ZHOU. Using LMDI method to analyze transport sector CO₂ emissions in China[J]. Energy, 2011, 36(10): 5909-5915.
- [6] HE K. Oil consumption and CO₂ emissions in China's road transport: current status, future trends, and policy implications[J]. Energy Policy, 2005, 33(12): 1499-1507.
- [7] LOVINS AB. Soft energy paths: toward a durable peace[M]. San Francisco: Friends of the Earth International/Ballinger Publishing Company, 1977: 1-231.
- [8] ROBINSON JB. Energy backcasting: a proposed method of policy analysis [J]. Energy Policy, 1982, 10(4): 337-344.
- [9] 胡辉. 我国铁路运输系统节能问题的研究分析[J]. 华东交通大学学报, 2011, 28(6): 73-79.

An Estimation of Carbon Emissions in Transportation Sectors with Backcasting Method

Yan Yan, Zhou Sien, Yang Xinmiao

(Institute of Transportation Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Quantitative estimation of carbon emissions for transportation sector have important implications on the development and implementation of urban low-carbon strategy. Combining trend forecasting and gap analysis, the paper proposes a backcasting method for estimating carbon emissions in transportation sectors. By integrating energy-consuming factors, carbon emission characteristics and transportation structure, the backcasting method estimates the current status and future trend of the carbon emissions by associating end-use energy consumption with carbon emissions based on the macro-level operation index of transportation system—the passenger turnover and freight turnover. The study is to shed light on the gap in the implementation of carbon emission control and future policy development. Statistical data from 1999 to 2009 in China show that revolutionary technical innovations or systematic carbon control strategies are required to reverse the trend of more intensive carbon emissions so as to fulfill the macro-level carbon emission control target.

Key words: integrated transportation; carbon emissions; backcasting analysis; end-use energy; trend forecasting