

中国道路运输碳足迹研究

白晓莉,张圣忠

(长安大学 经济与管理学院,陕西 西安 710064)

摘要:分析了影响中国道路运输碳足迹的道路因素、车辆因素、人为因素及运输组织方式,提出了“自下而上”的过程分析法和“自上而下”投入产出法两种道路运输碳足迹核算方法,从政策、组织方式、技术等角度给出了道路运输减排措施;制定和完善道路运输能减排的税收、财政政策及车辆退出制度;优化道路运输组织方式;加强替代能源技术、车辆技术及车联网技术研发和应用;建立并推广道路运输行业碳排放交易试点。

关键词:道路运输;碳足迹;节能减排;运输组织方式;替代能源技术;车辆技术;车联网技术

中图分类号:U473.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-6248(2013)04-0045-06

国际能源署出版的《运输、能源与二氧化碳:迈向可持续发展》报告表明,全球57%的石油消费在交通领域,交通运输业的二氧化碳(CO₂)排放量约占全球CO₂排放总量的25%^[1]。气候变暖、能源危机问题已备受各国关注。为此,针对交通运输行业中能耗据半的道路运输业,中国《“十二五”发展规划纲要》提出:至2015年,营运客货车辆燃料消耗量限值标准达标率100%,与2005年相比,营运客车、货车单位运输周转量能耗分别下降6%和12%,营运车辆单位运输周转量CO₂排放下降11%的约束性指标^[2]。

尽管对道路运输的低碳研究日益增多,但其主要集中在能源利用碳排放测算、节能减排政策等方面,对其进行碳足迹研究较少,且只关注某一方面。例如,尚春静等通过应用生命周期评价(LCA)理论与方法对高速公路建筑材料生产、建造、养护和拆除废弃4个阶段的能源及排放进行了研究^[3];王琰运用政府间气候变化专门委员会(IPCC)国家温室气体清单排放计算方法对道路货运站场碳排放进行了

量化^[4];王爽等对不同路面类型、路面结构、混合料类型的碳足迹进行了对比分析^[5];Maja等将影响货运需求、货运油耗及相关排放的影响因素分为6类,基于专家小组的讨论和大规模德尔菲调查,预测了2020年道路货运的碳足迹^[6]。本文拟对中国道路运输碳足迹的影响因素、核算方法及减排措施3个方面进行系统研究,为今后探索道路运输业的温室气体减排定量统计提供科学依据,对道路运输业的可持续发展具有重要的现实意义。

一、相关概念

(一)碳足迹的概念

近年来,学术界对碳足迹的概念进行了深入讨论,目前的主要争议有:第一,研究对象为CO₂排放量还是CO₂当量排放量^[7-8];第二,表征应采用面积单位还是质量单位^[7-8];第三,系统边界界定问题,即活动过程是否包括间接排放,间接排放的边界定在哪里^[7]。

收稿日期:2013-08-20
基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-11-0716)
作者简介:白晓莉(1987-),女,陕西延安人,工学硕士研究生。

碳足迹缘起于生态足迹,是基于气候变暖的背景下提出来的,严格意义上应以主要的温室气体(即 CO_2 当量)为研究对象,然而如氢氟碳化物(JFC_s)、全氟化碳(PFC_s)等气体因技术问题无法准确衡量,只能通过可获取的 CO_2 或部分温室气体为研究对象进行估算;碳足迹作为生态足迹的重要组成部分(中国碳足迹占总生态足迹的 54%)^[9],从空间维度上采用面积衡量碳足迹显然可取。而采取质量单位表征碳足迹直观易懂,能形象反映活动生命周期中产生的温室气体对环境的影响程度;至于系统边界的界定,应包含间接排放,不能认为电动公交无排放气体,在计算公共交通的碳足迹中就不去衡量这部分电力所产生的温室气体排放量。间接排放的边界可以从数据可得性、层次清晰性、内容完整性等方面进行综合考虑,选择整个生命周期或某一完整过程进行碳足迹的研究。

纵观各行业有关碳足迹研究发现,大多数学者将质量作为碳足迹的度量单位,以 CO_2 或 CO_2 当量作为研究对象。基于以上分析及计军平、耿涌等学者通过国内外文献研究给出的建议性定义^[7-8],笔者将“碳足迹”定义为某一产品或活动的整个生命周期或某一完整过程中直接和间接产生的 CO_2 排放量(或 CO_2 当量排放量),以质量为单位。

(二) 节能减排、碳排放与碳足迹的关系

节能减排是指节约能源,减少废气排放,在道路运输中主要体现为车辆运行过程中使用清洁燃料(或电力)、提高能源的利用率、减少温室气体或大气污染物排放量。碳排放是关于温室气体排放的总称,碳排放量则为温室气体的排放质量。碳足迹作为测度温室气体排放量的新概念,是节能减排的量化参数,其计量是确定减排量的首要任务,是实施减排措施的主要决策依据。

碳足迹与碳排放的概念容易混淆,它们主要的区别是:碳足迹强调全生命周期过程,是从终端消费来计算对环境的影响,重视消费者责任;而碳排放一般是从生产的角度计算对环境的影响,注重生产者责任的体现^[10]。

(三) 道路运输碳足迹的系统边界

根据上述对碳足迹概念的界定,道路运输碳足迹指道路运输活动中车辆完成特定运输活动产生的碳足迹和道路建设、道路运营维护、车辆生产、运输辅助服务过程等产生的碳足迹。由于中国公路运输

温室气体排放清单仅考虑运输的直接排放过程^[11],所以中国道路运输碳足迹目前仅指车辆完成某运输完整过程中产生的 CO_2 当量,涉及的能源包括汽油、柴油、天然气、电力等,统计的温室气体主要为 CO_2 、甲烷(CH_4)和一氧化二氮(N_2O)。

二、道路运输碳足迹的影响因素

道路运输碳足迹的影响因素很多,部分因素间也存在一定的关联性,现从节能减排的角度分析,主要包括以下几个方面:

(一) 道路因素

道路因素主要包括道路的几何条件和路面特性,如纵坡、车道数、平曲线半径等,主要体现在道路等级和养护水平上。一般而言,同一汽车在平整度系数小、通行能力差的道路上完成同样运输过程比在平整系数大、通行能力强的道路油耗多。从该意义上讲,道路等级越高,能源有效利用率越高。另外,车辆对路面的破坏作用与其轴载质量的 4 次方成正比。若轴载质量由 10 t 提高到 13 t,提高的比例只有 30%,然而路面的使用寿命缩短 51%^[12]。因此,应通过加大治超力度、加强道路养护等延长路面使用寿命,改善路况,提升通行能力和服务水平。

(二) 车辆因素

1. 车辆节能技术

车辆节能技术主要体现为车辆生产技术,包括车身自重和发动机技术。研究表明,车身自重减轻 10%,燃油消耗量可降低 8%;由于驱动力方式不同,柴油车比汽油车的油耗低 25% 以上,混合动力系统汽车可以比普通汽车的燃料消耗低 10% ~ 50%^[12]。当然,车辆新度系数、技术等级、车辆形状、辅助电设备、耗油类型及油黏性等也会影响车辆能耗效率和排放水平^[12-13]。

2. 车辆维护

车辆维护,是指道路运输车辆运行达到国家有关标准规定的行驶里程或间隔时间,必须按期执行的维护作业。带病运行的车辆油耗要比正常技术状况的车辆高出 5% ~ 30%^[12]。通常,供油系统故障、电控系统工作异常、离合器打滑、气压过低、喷油嘴积碳、三元催化剂堵塞等都会不同程度地影响油耗水平。因此,有效消除隐患、保持车辆良好的技术性能,是减少油耗和降低排放的重要手段。

(三) 人的因素

1. 驾驶员操作水平

驾驶员操作水平是影响能耗的重要因素之一,

包括车辆起步、加减速、换挡、车速选择、车辆滑行等内容。不同操作水平的驾驶员驾驶车辆油耗相差可达 7% ~ 25%^[14]。要实现车辆能耗的降低,除了运用先进的车辆技术、完善道路交通设施等内容外,还应加强驾驶员的节能意识与操作技能的培训。

2. 车辆调度员

选择合适的路线、提高运输效率是车辆调度员一项重要的职责。研究表明,车辆的里程利用率提高 1%、3% 和 5% 可分别使油耗降低 3%、7.5% 和 15%,普通载货车辆的平均吨位每提高 1 t,车辆的单位能耗就可降低 6%^[12]。对于道路货运而言,由车辆组织调度不当造成的迂回运输、重复运输等现象会直接导致运输车辆的里程利用率降低,从而导致能源严重浪费并加大对环境的负面效应。

(四) 运输组织方式

优化的道路运输组织方式主要体现为甩挂运输、共同配送,两者都是通过提高货运的集约化水平和运输效率,降低货运的单位能耗强度和 CO₂ 排放强度。据有关部门估算,采用甩挂运输方式后,车辆运输效率可提高 30% ~ 50%,油耗可下降 20% ~ 30%^[15];共同配送是在配送中心统一计划、统一调度下,通过有效提高车辆的装载率、减少配送车辆数量、降低不合理运输率、去除多余的交错运输、缓解交通堵塞等方面共同作用下获取环境效益。

(五) 其他因素

节能减排技术(GPS、燃油添加剂、替代燃料等)的推广应用、行业管理(市场准入、标准规范、监督管理、信息服务等)、管制人员的执行力度、怠速行车、新车磨合程度、润滑油加注程度、地区气温及道路海拔等因素都会从不同层面上影响单车或行业油耗。

三、道路运输碳足迹的核算方法

根据 ISO-14040 系列标准,现行的生命周期评价(LCA)方法完全可以计算温室气体排放量,碳足迹是从 LCA 的视角揭示不同对象的碳排放过程,可视为 LCA 中关于全球变暖潜力(GWP)的评价结果^[16]。道路运输碳足迹核算方法是借助碳足迹计算方法来核算一定时期内运输活动中温室气体排放强度的研究方法,笔者在大量有关碳足迹计算方法和城市交通、交通运输碳排放计量的文献基础上,根据各方法的核心思想,将道路运输碳足迹核算方法分为“自下而上”的过程分析法和“自上而下”的投

入产出法。

(一) 过程分析法

该方法根据 Schipper 等提出的“活动—交通方式比重—密度—油耗”的思想,是基于不同交通类型的车型、保有量、行驶里程、单位行驶里程燃料消耗等数据计算得来的^[17-18]。由于公路运输和城市道路运输的统计数据来源不同,前者基于营运性车辆的年均客运与货运周转量,后者是基于分车型的年均行驶里程,所以道路运输碳足迹需要分别计算公路运输碳足迹和城市道路运输碳足迹并加总,两者都可以得到不同燃料的消耗量,该消耗量乘以 CO₂、CH₄ 和 NO₂ 的排放因子得到三者的排放量,最终将得到的温室气体参照温室效应当量因子统一转换为 CO₂ 当量表示,即对应的碳足迹。然而,CH₄ 和 NO₂ 的排放受排放控制、车辆技术、行驶特征等影响较大,很难得到准确的量化值,所以大多数学者仅仅对道路运输活动中的 CO₂ 进行了计算,鉴于此,笔者也给出了 CO₂ 的如下计算公式^[19]:

$$I_{CH} = \sum_{i,j} U_{i,j} \times V_{i,j} \times F_i \tag{1}$$
$$I_{CU} = \sum_{i,k} Q_{i,k} \times L_{i,k} \times G_{i,k} \times F_i \tag{2}$$
$$I_{CFP} = I_{CH} + I_{CU} \tag{3}$$

式中: I_{CFP} 、 I_{CH} 、 I_{CU} 分别为道路运输、公路运输和城市道路运输碳足迹; $U_{i,j}$ 为单位周转量平均终端能耗量; $V_{i,j}$ 为年均周转量(客运为百车公里,货运为百吨公里); F_i 为 CO₂ 排放因子; $Q_{i,k}$ 为车辆保有量; $L_{i,k}$ 为年均行驶里程; $G_{i,k}$ 为平均单位公里能耗; i 为能耗类型(如汽油、天然气等); j,k 分别为公路运输和城市道路运输的车辆类型。

过程分析法一般基于调查数据,调查数据的准确性、车辆使用强度差异等都会影响到总量推算的可靠性,该方法支持从车辆类型和能耗类型双层角度分析排放特征,能够反映公路运输车辆的真实活动水平。

(二) 投入产出法

该方法是基于道路运输行业的能源消耗量和能源碳排放折算因子乘积的总和来计算的^[17-18],详见如下计算公式^[20]:

$$I_{CFP1} = \sum_{i=1}^I I_{Fi}(I_{EF_i}) = \sum_{i=1}^I I_{Fi} I_{Ci} I_{Bi} \frac{44}{12} (I_{LCV_i}) \tag{4}$$
$$I_{CFP2} = I_{Fe}(I_{EF_e}) \tag{5}$$
$$I_{CFP} = I_{CFP1} + I_{CFP2} \tag{6}$$

式中: I_{CFP1} 、 I_{CFP2} 分别表示道路运输直接碳足迹(如柴油、汽油、煤炭等燃料消耗产生的 CO₂ 排放量)和道

路运输间接碳足迹(电力消耗产生的 CO_2 排放量),单位为 10^4 t ; I_{Fi} 为第 i 种能源(电力除外,下同)的消费量,单位为 10^4 t ; I_{EF_i} 为第 i 种能源 CO_2 排放因子,单位为 $\text{t} \cdot \text{J}^{-1}$; I_{Ci} 为第 i 种能源潜在排放因子,单位为 $\text{t} \cdot \text{J}^{-1}$; I_{Bi} 为碳氧化率,单位为%; 44/12 为碳(C)换算为 CO_2 的分子量换算系数; I_{LCV_i} 为第 i 种燃料的低位发热值,单位为 $\text{J} \cdot \text{t}^{-1}$; I_{Fe} 为年耗电量,单位为 $10^4 \text{ MW} \cdot \text{h}$; I_{EF_e} 为电力 CO_2 排放因子,其单位为 $\text{t} \cdot (\text{MW} \cdot \text{h}^{-1})$ 。

投入产出法一般是基于销售终端数据,由于难以获取道路运输车用燃料的准确比例,且行业能源类型及消耗量统计存在不完全风险,所以最终的道路运输碳足迹也存在一点偏差,但该方法计算简单,支持不同能耗类型的排放分析,可靠性相对较高,被广泛应用于交通运输行业碳足迹测算中^[11]。

我们注意到,上述两种方法最终都回归到能源消耗量上,属于静态剖析过程,除尽量获取精确的能耗数据外,排放因子也是影响碳足迹的决定性因素,具体表现在燃料排放因子和电力排放因子两个方面:一是燃料排放因子,由于目前中国道路运输的燃料利用效率与国外存在一定的差距,所以不宜直接采用 IPCC 推荐的碳排放因子。为此,苏城元等学者研究推算了适用于中国燃烧热值的 CO_2 排放因子,在今后的研究中,其值也应随着燃料效率的提高不断修订^[18];二是电力的 CO_2 排放因子,大部分学者直接采用了缺省值或近似值,例如罗希等在计算中国交通运输碳足迹时采用了全国各地区的电力 CO_2 排放因子的均值^[20],为了提高结果的准确性,方恺等学者根据不同电力来源测算了全球平均电力碳足迹,得出煤炭类火电、石油类火电、天然气类火电、水电和核电的全球平均碳足迹分别为 131.3×10^{-6} 、 95.8×10^{-6} 、 56.6×10^{-6} 、 38.8×10^{-6} 、 $1.9 \times 10^{-6} [\text{hm}^2 \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}]$,所以在统计电能的消耗量过程中,附加获取相应的电力来源也是十分必要的^[21]。

四、道路运输的减排措施

(一) 制定和完善道路运输节能减排的税收、财政政策及车辆退出制度

中国应抓紧制定出台相关的能源环境税、能源消费税等绿色税制,完善财政拨款、政府补贴和政府采购等“融资”政策。通过减免或抵免企业所得税、

融资等方式激励燃料供应商和车辆制造商对低碳燃料和车辆相关技术的研发;通过合理地减免购置税或直接补贴等方法来鼓励消费者购买环保型汽车、新能源汽车或选择其他低碳出行方式;通过采购节能认证和节能标识的产品、直接拨款等方式来扶持道路运输节能减排的重点工程、车联网工程、减排监管体制等环保相关项目^[22]。

《道路运输车辆燃料消耗量检测和监督管理办法》提出了道路运输车辆燃料消耗量准入制度。截至 2013 年 7 月,交通运输部已累计发布了 23 批达标车型,所有新购车辆的车型都要严格对照《燃料消耗量达标车型表》进行选取、购置,立足源头强制实施运营车辆燃料消耗量准入制度。然而,“不符合道路运输车辆燃料消耗限制标准的车辆不得用于营运”的内容也要求各级政府加快建立并完善超标运营车辆退出制度,例如,通过财政补贴的方式淘汰或者统一改装现役高能耗车辆。

(二) 优化道路运输组织方式

公共交通、甩挂运输和共同配送分别从客运、城际货运及市内货运的角度,通过高度集约化的组织方式来降低单位周转量的燃料消耗,实现道路运输的节能减排。第一,应加快构建由高速客运、干线客运、农村客运、旅游客运及城市公交组成的高效、便捷、舒适的多层次客运网络服务体系,进一步完善城市轨道交通、快速交通和客运换乘枢纽的建设,充分引导私人交通向公共交通的转移^[22]。第二,应以中国甩挂运输试点为契机大力发展甩挂运输,“合并”市场中的货运/物流小企业,整合货源,优化货运组织结构和运力结构,通过减少牵引车、降低车辆空驶率、提高运输效率的方式降低能耗和排放^[23]。第三,以共同配送的方式实现车辆的高实载率,通过整合零散货物(也包括小件快递),由单独企业或第三方服务商独立进行多点到一点的路线最优选择,减少了污染源,缓解了交通拥挤,提高了运输效率,也减少了尾气排放。

(三) 加强替代能源技术、车辆技术及车联网技术研发和应用

化石能源的替代技术主要包括清洁能源技术、可再生能源技术、新能源技术等^[21],这些技术在一定程度能够减缓道路运输业面临的资源危机和环境压力。然而,生物燃料的提取技术,地热能、生物质能等的开发技术,氢气和电能的汽车驱动技术,热动力发动机、纯电动车、混合动力车的核心技术,相关燃料使用时的车辆改装技术等一系列技术需要攻

破,需要政府加大对技术研发的支持力度,大力推进沼气、生物制氢、生物柴油和燃料乙醇等生物能源以及太阳能、风能、海洋能等可再生资源的开发利用。

车辆生产技术对于燃油效率具有至关重要的影响,包括用车发动机改造、新车及加装技术,采用新型材料、子午线轮胎、流线型车身,改进车速箱和传动系等^[23]。同时,还应做好车辆的日常维护,经常检查轮胎气压、机油、制动装置、离合器吻合程度等,并严格按照国家规定进行车辆的二级维护,确保车辆工作状况优良,提高车辆检测和维修技术,从而提高其能源利用率并降低排放水平^[24]。

车联网是环保、节能、安全等发展的融合性技术,能够实现对车辆的数字化管理,监视各路段路况,提供给车辆最佳行驶路径等,从而提高运输组织和运力调配能力,是道路运输行业节能减排的重要路径。中国应加快建设传感网和信息处理平台,普及安装 GPS、电子车牌,加强无线传输技术、云计算技术等研发与推广,早日实现车辆、道路和人的有机结合^[25]。

(四) 建立并推广道路运输行业碳排放交易试点

作为中国能源消耗大户的道路运输行业,其减排任务刻不容缓,相关行政手段的减排措施已大量实施,继续减排难度加大、空间缩小,如何通过市场手段让企业自愿地淘汰高能排的车辆,调整使用能源结构,采用先进节能技术等是道路运输减排的另一出路,建立道路运输行业的碳排放交易体系无疑将成为一种最高效的方式。企业采取节能减排的碳足迹若低于排放配额,可以将剩余的碳排放权出售,以获取利润;反之,超过排放配额的企业就必须到市场上购买排放权,否则受到重罚。中国应借鉴国外的成功经验,加快启动道路运输行业碳排放交易试点,研究并出台碳足迹统一的核算方法和模型,制定和完善碳交易市场的相关政策法规,制定科学的道路运输减排目标和分配排放指标,指定或成立第三方核查机构,加强排放监管统计方法研究,制定处罚标准等,进而实施试点区域道路运输碳排放的交易。在此过程中,不断完善碳排放交易机制,最终实现以行政区域为单位,通过区域内部交易和区域间交易相结合的方式,实现中国道路运输行业碳排放区际转移与责任区域扩散^[26-32]。

五、结 语

近年来,碳足迹广泛应用于旅游、造纸、建筑等

行业的温室气体排放量测算,但从碳足迹的角度对道路运输行业进行的研究相对较少。本文从碳足迹的概念出发,通过分析节能减排、碳排放与碳足迹的关系,给出了道路运输碳足迹建议性定义,提出了道路运输碳足迹的影响因素、道路运输碳足迹计算方法及其使用条件和局限性,最后从政策、技术等层面揭示了调整车辆能源结构是降低道路运输碳足迹的根本出路,但由于新能源技术、车辆技术及信息技术的限制,节能成为中国近、中期降低道路运输碳足迹的首要选择,而优化道路运输组织方式则是实现节能的最快速途,如何通过行政、市场双重手段促进道路运输节能和排放区际转移,是未来道路运输走向低碳道路发展的重要课题。

参考文献:

- [1] IEA. Transport, energy and CO₂: moving toward sustainability [M]. Paris: OECD Publishing, 2009.
- [2] 交通运输部. 道路运输业“十二五”发展规划纲要[J]. 综合运输, 2012(3): 64-78.
- [3] 尚春静, 张智慧, 李小冬. 高速公路生命周期能耗和大气排放研究[J]. 公路交通科技, 2010(8): 149-154.
- [4] 王琿. 道路货运场站碳排放量计算方法研究[J]. 物流技术, 2011(21): 69-70.
- [5] 王爽, 张萌. 道路工程中的“碳足迹”量化分析[J]. 科技信息, 2012(21): 406.
- [6] Maja I P, Mckinnon, Alan C. Forecasting the carbon footprint of road freight transport in 2020 [J]. International Journal of Production Economics, 2010, 128(1): 31-42.
- [7] 计军平, 马晓明. 碳足迹的概念和核算方法研究进展[J]. 生态经济, 2011(4): 76-80.
- [8] 耿涌, 董会娟, 郝凤明, 等. 应对气候变化的碳足迹研究综述[J]. 中国人口. 资源与环境, 2010, 20(10): 6-12.
- [9] 李琳, 陈波平. 中国的生态足迹与绿色发展[J]. 中国人口. 资源与环境, 2012, 22(5): 63-65.
- [10] 樊杰, 李平星, 梁育填. 个人终端消费导向的碳足迹研究框架: 支撑我国环境外交的碳排放研究新思路[J]. 地球科学进展, 2010, 25(1): 61-68.
- [11] 余艳春, 虞明远, 宋国华, 等. 我国公路运输温室气体排放清单研究[J]. 交通节能与环保, 2012(3): 16-22.
- [12] 蔡凤田, 刘莉, 韩立波. 公路运输能源消耗现状及节能降耗对策[J]. 交通节能与环保, 2006(3): 98-101.
- [13] Demir E, Bekta T, Laporte G. A comparative analysis of several vehicle emission models for road freight transportation [J]. Transportation Research: Transport and Environment, 2011, 16(5): 347-357.

- [14] 孙贵安. 公路交通运输的节能对策[J]. 综合运输, 2005(5):17-20.
- [15] 孙辉泰, 贺亦军. 甩挂运输是我国发展绿色货运的必然选择[J]. 物流科技, 2012(1):107-108.
- [16] 聂祚仁. 碳足迹与节能减排[J]. 中国材料进展, 2010, 29(2):60-63.
- [17] 苏涛永, 张建慧, 李金良, 等. 城市交通碳排放影响因素实证研究:来自京津沪渝面板数据的证据[J]. 工业工程与管理, 2011(5):134-138.
- [18] 苏城元, 陆键, 徐萍. 城市交通碳排放分析及交通低碳发展模式:以上海为例[J]. 公路交通科技, 2012, 29(3):142-148.
- [19] 闫琰, 周嗣恩, 杨新苗. 基于反推方法的交通运输行业碳排放评估研究[J]. 华东交通大学学报, 2012, 29(5):62-67.
- [20] 罗希, 张绍良, 卞晓红, 等. 我国交通运输业碳足迹测算[J]. 江苏大学学报:自然科学版, 2012(1):120-124.
- [21] 方恺, 朱晓娟, 高凯, 等. 全球电力碳足迹及其当量因子测算[J]. 生态学杂志, 2012, 33(12):3160-3166.
- [22] 解晓玲. 公路运输行业减碳路径分析[J]. 综合运输, 2011(1):56-60.
- [23] 习江鹏. 道路运输节能减排问题研究[D]. 西安:长安大学, 2008.
- [24] 马天山, 樊一江. 交通运输与能源和环境战略研究[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(4):116-120.
- [25] 樊娜, 赵祥模, 王青龙. 船联网数据融合的信任模型[J]. 交通运输工程学报, 2013, 13(3):121-126.
- [26] 邹海波, 吴群琪. 道路运输供给系统协调发展的机理分析[J]. 长安大学学报:社会科学版, 2007, 9(3):18-21.
- [27] 吴群琪, 杨霞, 汪忠. 道路运输供需品质分析与需求预测[J]. 长安大学学报:社会科学版, 2007, 9(3):16-19.
- [28] 陈毕伍, 廖晓锋. 公路交通可持续发展评价指标体系研究[J]. 中国公路学报, 2009, 22(5):111-117.
- [29] 邹海波, 吴群琪. 交通运输方式协调发展的状态评价[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(6):113-118.
- [30] 徐海成. 高速公路的产业属性及发展规律[J]. 交通运输工程学报, 2002, 2(3):85-89.
- [31] 吴群琪, 张圣忠, 物流组织层[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2005, 25(1):73-76.
- [32] 袁长伟, 王建伟, 林文新. 中国运输区域划分方法[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2006, 26(4):79-82.

Carbon footprint of road transport in China

BAI Xiao-li, ZHANG Sheng-zhong

(School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: This paper analyzes related factors influencing the carbon footprint of road transport, including road factors, vehicle factors, human factors and transportation organization. Two accounting methods to calculate the carbon footprint of road transport are proposed, which are the “bottom-up” process analysis method and “up-bottom” input-output method and the measures to respond to the emission reduction of China’s road transport are put forward from the policy, organization, technology and other aspects. Tax, finance and scrapping of vehicle should be regulated and improved for energy-saving and emission-reduction of China’s road transport, researches and application of alternative energy technology, vehicle technology, vehicle networking technology should be strengthened, and carbon emission transaction can be tried in road transport.

Key words: road transport; carbon footprint; energy-saving and emission-reduction; transportation organization; alternative energy technology; vehicle technology; vehicle networking technology