

doi:10.12006/j.issn.1673-1719.2016.176

黄莹, 郭洪旭, 谢鹏程, 等. 碳普惠制下市民乘坐地铁出行减碳量核算方法研究——以广州为例 [J]. 气候变化研究进展, 2017, 13 (3): 284-291

# 碳普惠制下市民乘坐地铁出行 减碳量核算方法研究 ——以广州为例

黄莹<sup>1</sup>, 郭洪旭<sup>2</sup>, 谢鹏程<sup>1</sup>, 廖翠萍<sup>1</sup>, 赵黛青<sup>1</sup><sup>1</sup> 中国科学院广州能源研究所, 广州 510640;<sup>2</sup> 广东省环境科学研究院, 广州 510045

**摘要:** 碳普惠制是一种以城市居民为主体的温室气体自愿减排机制。将乘坐地铁出行作为低碳行为纳入碳普惠制, 是建设全民参与型低碳社会的重要探索。本文提出了替代法和均值法两种市民乘坐地铁出行减碳量的核算方法, 并以广州市为例, 计算了2015年广州市民乘坐地铁出行的减碳量。结果显示: 替代法下广州市民乘坐地铁出行的减碳量约为0.5419 kg CO<sub>2</sub>/人次, 均值法下约为0.5155 kg CO<sub>2</sub>/人次, 如果按2015年广州市地铁系统的客运量计算, 替代法和均值法下全市地铁系统的年减碳量分别约为130万 t CO<sub>2</sub>和124万 t CO<sub>2</sub>。其中, 替代法主要参考已有的CCER方法学设计, 具有一定的理论基础, 但其替代出行模式的确定受被调查对象的主观影响较大, 而均值法以城市现有的机动化出行模式为基准线, 较少受到人为因素的干扰, 均值法被认为更适合于计算碳普惠制下市民乘坐地铁出行的碳减排量。

**关键词:** 碳普惠制; 地铁系统; 替代法; 均值法; 减碳量

## 引言

为应对温室气体排放加剧全球气候变化危机, 世界范围内正在经历一场经济和社会发展方式的变革, 以低能耗、低排放、低污染为基础的低碳经济成为国际社会的普遍共识<sup>[1]</sup>。世界各国纷纷聚焦产业、技术和市场, 尝试通过优化产业结构、调整能源结构、提高能源效率、开展碳排放权交易等政策措施, 控制和减少温室气体排放, 探索经济发展的低碳转型路径<sup>[2]</sup>。然而, 随着城市化进程的不断推进和居民生活水平的日益提高, 生活碳排放呈现出快速增长的态势, 逐渐成为城市能源消耗和碳排放增长的重要领域之一<sup>[3]</sup>, 以城市居民为主体的温室

气体减排政策措施也日益受到各界的重视, 其中以惠及公众为宗旨的碳普惠制备受瞩目<sup>[4]</sup>。

碳普惠制指对社会公众的节能降碳行为产生的减碳量进行量化, 以碳币形式对减碳量赋值, 并建立起以商业激励、政策鼓励和交易激励相结合的正向引导机制<sup>[5]</sup>, 是一种以城市居民为主体的温室气体自愿减排机制, 由低碳行为的减碳量核算、碳币赋值、碳币流通和交易等环节构成。推广碳普惠制, 有利于调动全社会践行绿色低碳行为的积极性, 树立低碳、节约、绿色、环保的消费观念和生活理念, 加快形成政府引导、市场主导、全社会共同参与的低碳社会建设新格局。2015年7月, 广东省发改委印发《广东省碳普惠制试点工作实施方案》, 正

收稿日期: 2016-08-31; 修回日期: 2016-10-11

资助项目: 广州市发展与改革委员会“广州市交通领域碳普惠机制建设”

作者简介: 黄莹, 女, 助理研究员, huangying@ms.giec.ac.cn

式启动碳普惠制试点, 是我国针对公众碳减排的首次创新机制尝试。2016年1月, 广州等6个城市成为广东省首批碳普惠制试点城市, 开展碳普惠制建设探索。

碳普惠制涉及的低碳行为涵盖了交通、建筑和生活等多个方面<sup>[6]</sup>, 其中以公共交通出行的市民为普惠对象的交通领域碳普惠被认为是推行难度最小、惠及面最广的普惠领域。地铁作为城市公共交通系统的重要组成部分, 由于其速度快、运量大、污染小等特点, 被认为是提高运输效率、缓解交通拥堵、实现节能减排的重要途径, 成为众多城市公共交通建设的热点。以我国为例, 目前已有22个城市开通了地铁, 运营里程达到2764 km<sup>[7]</sup>, 2015年全国地铁日均客运量已超过3700万人次<sup>[8]</sup>, 预计到2020年全国拥有地铁的城市将达到50个, 运输规模将达到6000 km<sup>[9]</sup>。在构建全民参与的低碳社会建设新格局背景下, 将乘坐地铁出行作为低碳行为纳入碳普惠制, 核算市民乘坐地铁出行的减碳量, 并通过碳币等方式对其进行奖励, 将有利于鼓励市民选择低碳的交通方式出行, 减少小汽车出行比例, 是建设全民参与型低碳社会的重要探索。

要将地铁出行纳入碳普惠制, 首先需要市民乘坐地铁出行的减碳量进行核算。目前, 对于地铁系统碳排放的研究主要侧重于地铁建设期间的碳排放计算<sup>[10]</sup>; 低碳技术在地铁系统中的应用<sup>[11]</sup>; 地铁可达性对居民出行碳排放的影响<sup>[12]</sup>; 以及将地铁作为出行模式之一, 分析居民出行碳排放的驱动因素和影响机制<sup>[13]</sup>等方面。然而, 关于市民乘坐地铁出行减碳量核算的研究较少。谢鸿宇等<sup>[14]</sup>从列车牵引用电和地铁站场用电两方面计算了2008年深圳地铁的碳排放量, 并与公交车、出租车和香港地铁进行比较, 但未能提出地铁出行减碳量计算的方法。韩江等<sup>[15]</sup>依据CCER方法学CM-028-V01“快速公交项目”, 估算了北京地铁16号线将产生的CCER减排量, 但侧重于地铁项目碳资产的开发, 未对个体碳排放进行核算, 无法满足碳普惠制的需求。本文将在已有研究基础上, 结合碳普惠制的宗旨和我国公共交通的实际情况, 探索碳普惠制下市民乘坐地铁出行减碳量的核算方法, 以期

为碳普惠制的建设和实施提供参考依据。

## 1 资料与方法

根据碳普惠制的定义, 碳普惠制下经核准的减碳量将以碳币的形式在碳币交易系统进行交易, 最终用于抵消个人、机关、企事业单位在生活、工作和生产过程中产生的碳排放, 属于自愿碳减排的范畴。目前, 我国已经公布了192个备案的中国核证减排量(CCER)方法学, 交通运输行业开发成碳减排指标项目的CCER方法学12个, 其中CM-028-V01“快速公交项目”方法学适用于针对公共快速交通系统的建立和运营的项目活动, 包括地铁或城铁等轨道交通项目。因此, 碳普惠制下市民乘坐地铁出行减碳量的核算可以借鉴该方法学, 并结合碳普惠制的需求和我国交通数据的可获得性进行改进。

依据CM-028-V01方法学, 碳普惠制下市民乘坐地铁出行减碳量的核算需要包括基准线排放计算、低碳行为排放计算和减排量计算3个步骤。

### 1.1 基准线排放计算

#### 1.1.1 基准线情景的设定

基准线情景的设定是基准线排放计算的关键, 直接关系到碳减排量核算的合理性。参考CM-028-V01方法学以及我国城市客运交通现状, 本研究提出了两种基准线情景的设定方法。

(1) 替代法, 即市民在没有地铁系统时为实现出行目的选择其他不同交通方式出行时产生的碳排放, 如公交车、出租车、私人小汽车、大巴车、电动自行车等。该方法主要参考CCER方法学CM-028-V01“快速公交项目(第3.0版)”设计, 其难点在于替代出行模式的确定, 一般通过问卷调查、专家意见咨询等方式获得。

(2) 均值法, 即以目前城市客运交通产生的碳排放量以及单位人次出行碳排放的平均值为基准线排放的方法, 出行方式一般包括地铁、公交车、出租车、私人小汽车、大巴车等。该方法以城市客运交通排放现状为基准, 一般需要通过交通运输管理

部门和企业调研获得。

### 1.1.2 基准线情景下各种交通工具排放因子的确定

根据交通工具能耗数据单位的不同,其排放因子的计算方法大体可以分为两种。

#### (1) 道路交通系统交通工具排放因子计算

$$E_{km,i} = S_{x,i} \times E_{CO_2,x} \quad (1)$$

其中:  $E_{km,i}$  为交通工具  $i$  的排放因子,即行驶每公里距离的  $CO_2$  排放量 ( $kg CO_2/km$ );  $S_{x,i}$  为交通工具  $i$  对燃料类型  $x$  的消耗率 ( $L/km, kW \cdot h/km, kg/km, m^3/km$ );  $E_{CO_2,x}$  为燃料类型  $x$  的  $CO_2$  排放因子 ( $kg CO_2/L, kg CO_2/(kW \cdot h), kg CO_2/kg, kg CO_2/m^3$ );  $i$  为道路交通工具类型,如公交车、出租车、私人小汽车、大巴车或电动自行车。

#### (2) 轨道交通系统交通工具排放因子计算

$$E_{km,j} = S_{x,j} \times E_{CO_2,x} \quad (2)$$

其中:  $E_{km,j}$  为轨道交通工具运输每人每公里的排放量 ( $kg CO_2/(人 \cdot km)$ );  $S_{x,j}$  为轨道交通工具对燃料类型  $x$  的消耗率 ( $kW \cdot h/(人 \cdot km)$ );  $E_{CO_2,x}$  为燃料类型  $x$  的  $CO_2$  排放因子 ( $kg CO_2/(kW \cdot h)$ );  $j$  为轨道交通工具类型,如地铁、城铁等。

### 1.1.3 基准线情景下平均每人每次出行碳排放量的计算

由于碳普惠制是鼓励大众低碳行为的激励机制,市民乘坐地铁出行低碳行为的基准线情景碳排放应计算平均每人每次出行的碳排放量。

$$E_B = \sum (E_{km,i} \times D_i \times N_i) + E_{km,j} \times Q_j, \quad (3)$$

$$E_{B,P} = \frac{E_B}{P} \quad (4)$$

其中:  $E_B$  为基准线情景下项目的年排放总量 ( $kg CO_2$ );  $E_{km,i}$  为道路交通工具  $i$  的排放因子 ( $kg CO_2/km$ );  $D_i$  为道路交通工具  $i$  的年运输距离 ( $km$ );  $N_i$  为道路交通工具  $i$  的数量 (辆),替代法中可根据地铁系统的客运量以及不同交通工具承担的客运量比例和运输水平(平均每班次的载客量、平均每天的运营班次等)计算得到,均值法中则为城市主要机动化出行方式各种交通工具的实际数量;  $i$  为道路交通工具类型,如公交车、出租车、私人小汽

车、大巴车或电动自行车等;  $Q_j$  为轨道交通工具的年客运周转量 ( $人 \cdot km$ ),采用替代法计算时取 0,即不计算;  $j$  为轨道交通工具类型,如地铁、城铁等;  $E_{B,P}$  为基准线情景下平均每个乘客每次出行产生的排放量 ( $kg CO_2/人次$ );  $P$  为客运量 (人次),采用替代法计算时为项目中地铁系统的年客运量,采用均值法计算时为项目中涵盖的各种出行方式的年客运量之和。

### 1.2 低碳行为排放计算

市民乘坐地铁出行低碳行为的碳排放为地铁系统在运行过程中产生的碳排放,需要根据地铁项目的客运量计算平均每人每次地铁出行的碳排放量。

$$E_C = S_{x,k} \times Q_k \times E_{CO_2,x}, \quad (5)$$

$$E_{C,P} = \frac{E_C}{P} \quad (6)$$

其中:  $E_C$  为项目中地铁系统的年排放总量 ( $kg CO_2$ );  $S_{x,k}$  为地铁对燃料类型  $x$  的消耗率 ( $L/(人 \cdot km), kW \cdot h/(人 \cdot km), kg/(人 \cdot km), m^3/(人 \cdot km)$ );  $Q_k$  为项目中地铁的年客运周转量 ( $人 \cdot km$ );  $E_{CO_2,x}$  为燃料类型  $x$  的  $CO_2$  排放因子 ( $kg CO_2/L, kg CO_2/(kW \cdot h), kg CO_2/kg, kg CO_2/m^3$ );  $E_{C,P}$  为平均每个乘客单次乘坐地铁系统产生的排放量 ( $kg CO_2/人次$ );  $P$  为项目中地铁系统的年客运量 (人次);  $k$  为地铁。

### 1.3 减碳量计算

根据基准线排放以及低碳行为排放计算市民乘坐地铁出行低碳行为的碳减排量,包括平均每人每次乘坐地铁出行产生的减碳量和地铁项目的年减排总量。

$$E_{R,P} = E_{B,P} - E_{C,P}, \quad (7)$$

$$E_R = E_{R,P} \times P \quad (8)$$

其中:  $E_{R,P}$  为平均每位乘客单次乘坐地铁出行产生的碳减排量 ( $kg CO_2/人次$ );  $E_{B,P}$  为基准线情景下平均每个乘客每次出行产生的碳排放量 ( $kg CO_2/人次$ );  $E_{C,P}$  为平均每个乘客单次乘坐地铁出行产生的碳排放量 ( $kg CO_2/人次$ );  $E_R$  为项目的

年减排总量 ( $\text{kg CO}_2$ );  $P$  为项目中地铁系统的年客运量 (人次)。

#### 1.4 数据资料

(1) 替代法基准情景下的替代出行模式。在没有地铁系统时乘客最有可能选择的城市交通出行模式以及各种出行模式承担的客运量比例, 一般需要开展大样本的问卷调查。问卷内容包括乘坐地铁出行的目的、出行距离、没有地铁情况下将选择的替代出行方式等, 调查范围应覆盖城市全部地铁线路, 调查时间应包括高峰时段和低谷时段。以广州为例, 为了获得地铁系统的替代出行模型, 于 2016 年 6 月 20—26 日在广州地铁公园前站、广州东站、燕塘站、体育西路站、客村站、广州火车站、海珠广州站、区庄站、昌岗站和车陂南站等 10 个站点开展了问卷调查。共发放问卷 800 份, 其中有效问卷 723 份, 有效问卷率达到 90%, 有效问卷中有 68% 为高峰期时段开展的。根据问卷调查的结果, 如果没有地铁系统, 目前广州市乘坐地铁出行的乘客将有 55% 选择公交车出行, 15% 选择出租车出行, 25% 选择私人小汽车出行, 4% 选择大巴车出行, 1% 选择电动自行车出行。与广州市公共交通出行和私人小汽车出行为主的机动化出行特征基本一致, 可以作为替代法基准情景下广州市地铁系统的替代出行模式。

(2) 均值法基准情景下的城市出行模式。目标城市机动化出行模式现状以及各种交通工具的数量, 一般通过交通运输管理部门和企业调研获得。广州市的机动化出行模式和各种交通工具的数量主要参考《广州统计年鉴》以及《广州城市交通运行报告》。

(3) 各种交通工具的燃料消耗率。目标城市各种出行方式的燃料类型及单位能耗一般通过调研运营公司或通过查阅文献、报告等方式获得。对广州市而言, 公交车、出租车、大巴车的百公里能耗通过企业调研获得, 且替代法中公交车和出租车选择占比最大的液化石油气 (LPG) 车型为代表。私人小汽车通过查询工信部“轻型汽车燃料消耗量通告”中不同车型的综合油耗获得, 并取其平均值。电动

自行车通过调查不同品牌产品的百公里电耗获得, 并取其平均值。地铁的单位人公里综合能耗从地铁公司《广州地铁 2015 年社会责任报告》中获得。

(4) 各种交通工具的运输水平数据。包括各种交通工具的日均营运班次、每班次的平均客运量、年行驶里程等, 一般通过调研运营公司和车主或通过查阅文献、报告等方式获得。

(5) 各种能源的排放因子数据。汽油、柴油、液化石油气 (LPG)、液化天然气 (LNG) 的  $\text{CO}_2$  排放因子主要参考《广东省企业 (单位) 二氧化碳排放信息报告指南》<sup>[16]</sup> 中提供的燃料燃烧直接排放与间接排放的排放因子参考值。电力的排放因子主要参考文献 [17] 中提供的广东电网平均二氧化碳排放因子。

## 2 广州市民乘坐地铁出行减碳量核算结果及分析

### 2.1 基准线排放量结果

(1) 替代法基准情景排放。根据乘客问卷调查的结果, 本文设置广州市如果没有地铁系统, 现有地铁系统客运量的 55% 将由公交车提供, 15% 由出租车提供, 25% 由私人小汽车提供, 4% 由大巴车提供, 1% 由电动自行车提供。结合不同交通工具的运输水平, 相当于 7128 辆公交车、9891 辆出租车、329700 辆私人小汽车、2198 辆大巴车以及 21980 辆电动自行车的运力。根据公式 (1)~(4) 和变量数据 (表 1), 计算得到替代法基准情景下, 出行碳排放量约为  $0.8142 \text{ kg CO}_2/\text{人次}$  (表 2)。

(2) 均值法基准情景排放。根据《广州统计年鉴》以及《广州城市交通运行报告》, 广州市目前的机动车出行模式包括地铁、公交车、渡轮、出租车、私人小汽车和大巴车, 其中渡轮所占比例较小, 2015 年广州市渡轮的客运量仅占全市公共交通出行客运量的 0.36%, 明显低于其他公共交通出行方式, 可忽略不计。根据 2015 年广州市各种交通工具的数量以及运输水平 (表 1), 计算得到均值法基准情景下广州市出行碳排放量约为  $0.7878 \text{ kg CO}_2/\text{人次}$  (表 2)。

表1 广州市民乘坐地铁出行减碳量核算基准线计算所需变量  
Table 1 The variables to calculate baseline emission of Guangzhou subway travel

交通工具	综合能耗	燃料类型	每车日均运营班次 / 车次	每班次的日平均客运量 / (人 / 车次)	年行驶里程 / km	CO <sub>2</sub> 排放因子
LPG 公交车	62 L/100km	LPG				3.1650 kg CO <sub>2</sub> /kg
纯电动公交车	80 kW·h/100km	电力				0.5912 kg CO <sub>2</sub> / (kW·h)
插电式 LNG 混合动力公交车	19.5 Nm <sup>3</sup> /100km	电力 +LNG	12	42.4	87600	2.66 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
非插电式混合动力公交车	24.5 Nm <sup>3</sup> /100km	LNG				2.66 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
LNG 公交车	35 Nm <sup>3</sup> /100km	LNG				2.66 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
出租车	13 L/100km	LPG	40	2.5	146000	3.1650 kg CO <sub>2</sub> /kg
私人小汽车	9.14 L/100km	汽油	2.5	2	13575	2.9850 kg CO <sub>2</sub> /kg
大巴车	26 L/100km	柴油	3	40	36500	3.1590 kg CO <sub>2</sub> /kg
电动自行车	3 kW·h/100km	电力	3	1	2190	0.592 kg CO <sub>2</sub> / (kW·h)

表2 广州市民乘坐地铁出行减碳量核算基准线排放计算结果  
Table 2 The calculation results of Guangzhou subway travel baseline emissions

方法	出行模式	交通工具数量 / 辆	单位排放因子 / (kg CO <sub>2</sub> /100km)	平均每人出行碳排放 / (kg CO <sub>2</sub> / 人次)
替代法	LPG 公交车	7128	107.90	0.8142
	出租车	9891	22.63	
	私人小汽车	329700	20.16	
	大巴车	2198	69.38	
	电动自行车	21980	1.77	
均值法	地铁	1694896 *	0.0387 *	0.7878
	LPG 公交车	7826	107.90	
	纯电动公交车	117	47.30	
	插电式 LNG 混合动力公交车	1751	51.87	
	非插电式混合动力公交车	1684	65.17	
	LNG 公交车	2716	93.10	
	出租车	21320	22.63	
	私人小汽车	1610064	20.16	
大巴车	3358	69.38		

注：\* 表示地铁的排放因子为单位人公里的碳排放量，即单位排放因子的单位为 kg CO<sub>2</sub>/(人·km)，故均值法中地铁数量以客运周转量表示，单位为万人·km。

## 2.2 低碳行为排放量结果

根据广州市地铁公司提供的年客运量、客运周转量以及单位人公里综合能耗数据，结合公式

(5)~(6)，计算得到 2015 年广州市地铁系统的年排放量约为 65.53 万 t CO<sub>2</sub>，平均每人出行碳排放量约为 0.2723 kg CO<sub>2</sub>/ 人次 (表 3)。

### 2.3 碳普惠制下市民乘坐地铁出行减碳量

根据公式(7)~(8)得到, 替代法下目前广州市民乘坐地铁出行的减碳量约为0.5419 kg CO<sub>2</sub>/人次, 均值法下约为0.5155 kg CO<sub>2</sub>/人次, 如果按2015年广州市地铁系统的客运量计算, 替代法和均值法下全市地铁系统的年减碳量分别约为130万t CO<sub>2</sub>和124万t CO<sub>2</sub>(表4)。

按照目前广州市初步确定的交通领域低碳行为减碳量折算碳币规则, 地铁出行低碳行为产生的每千克减碳量可折算1个碳币计算, 广州市民平均每乘坐2次地铁即可获得1个碳币。如果乘坐地铁的市民有80%<sup>①</sup>参与碳普惠制, 其每年产生的减碳量约可折算10亿个碳币。

对比两种基准线情景下市民乘坐地铁出行的碳减排量, 可以看到采用两种方法对广州市民乘坐地铁出行减碳量的计算结果基本一致。其中, 均值法基准线情景下广州市民乘坐地铁出行的减碳量略低于替代法, 这主要是因为替代法的基准线情景是假设地铁系统不存在的情况下, 以其他出行方式替代地铁出行。替代出行方式中, 公交车、出租车、私人小汽车、大巴车的单位排放因子均明显高于地铁, 仅电动自行车的单位排放因子略低, 但由于其承担的客运量比例较小, 对减排量的影响不大。而均值法将包括地铁在内的城市机动化出行方式产生的碳排放现状作为基准线排放,

且地铁在城市客运中承担的客运量比例较大, 直接影响着基准线情景的排放。

此外, 就基准线情景的两种方法而言, 替代法主要参考了CCER方法学CM-028-V01“快速公交项目(第3.0版)”设计, 按照CDM方法学惯例, 通过大样本的问卷调查等方式尽可能合理地设定地铁的替代出行模式, 具有一定的理论基础, 但在实际操作过程中, 替代出行模式的确定受被调查对象的主观影响较大, 加之该方法以不存在地铁系统的假设为基础, 如何判断替代出行模式的合理性是该方法研究中的难点。相比较而言, 均值法以城市现有的机动化出行模式为基准线, 通过收集准确的交通出行现状数据来计算基准线排放, 较少受到人为因素的干扰, 具有一定的客观性, 且原理相对简单, 便于大众理解和宣传。通过对比两种方法, 并结合碳普惠制的需求以及我国交通数据的可获得性, 本文认为采用均值法设定基准线排放更适合于计算碳普惠制下市民乘坐地铁出行的碳减排量。

### 3 结论和讨论

碳普惠制是一种以城市居民为主体的温室气体自愿减排机制。将乘坐地铁出行作为低碳行为纳入碳普惠制, 将有利于鼓励市民选择低碳的交通方式出行, 是构建城市低碳交通的有效探索。本文在参

表3 广州市民乘坐地铁出行碳排放计算结果

Table 3 The calculation results of Guangzhou subway travel emissions

年客运量 / 万人	年客运周转量 / (万人·km)	综合能耗 / (kW·h / (人·km))	CO <sub>2</sub> 排放系数 / (kg CO <sub>2</sub> / (kW·h))	年 CO <sub>2</sub> 排放量 / t CO <sub>2</sub>	人均单次乘坐地铁排放 / kg CO <sub>2</sub>
240692	1694896	0.0654	0.5912	655323	0.2723

表4 广州市民乘坐地铁出行减碳量计算结果

Table 4 The calculation results of Guangzhou subway travel emission reductions

方法	基准情景碳排放 / (kg CO <sub>2</sub> / 人次)	低碳行为碳排放 / (kg CO <sub>2</sub> / 人次)	单次减碳量 (kg CO <sub>2</sub> / 人次)	年减碳量 / 万 t CO <sub>2</sub>
替代法	0.8142	0.2723	-0.5419	-130
均值法	0.7878	0.2723	-0.5155	-124

①根据对广州市地铁公司的调研, 利用羊城通方式支付地铁费用的比例约为80%~85%。

考 CCER 方法学的基础上, 结合我国交通数据的可获得性以及碳普惠制的宗旨和需求, 提出了两种市民乘坐地铁出行减碳量的核算方法, 并以广州市为例, 计算了 2015 年广州市民乘坐地铁出行的减碳量, 得出如下主要结论。

(1) 通过对广州市 10 个地铁站点的乘客问卷调查, 设定替代法下广州市民乘坐地铁出行低碳行为的基准线情景为如果没有地铁系统, 现有地铁系统客运量的 55% 将由公交车提供, 15% 由出租车提供, 25% 由私人小汽车提供, 4% 由大巴车提供, 1% 由电动自行车提供。均值法下广州市民乘坐地铁出行低碳行为基准线情景涵盖的出行方式包括地铁、公交车、出租车、私人小汽车和大巴车。

(2) 替代法下目前广州市民乘坐地铁出行的减碳量约为 0.5419 kg CO<sub>2</sub>/人次, 均值法下约为 0.5155 kg CO<sub>2</sub>/人次, 如果按 2015 年广州市地铁系统的客运量计算, 替代法和均值法下全市地铁系统的年减碳量分别约为 130 万 t CO<sub>2</sub> 和 124 万 t CO<sub>2</sub>。按照广州市初步确定的交通领域低碳行为减碳量折算碳币规则, 广州市民平均每乘坐 2 次地铁即可获得 1 个碳币。

(3) 均值法基准线情景下广州市民乘坐地铁出行的减碳量略低于替代法, 这主要是因为替代法的基准线情景中所涵盖的主要替代出行方式的单位排放因子均明显高于地铁, 而均值法基准情景中涵盖了单位排放因子较低的地铁, 且其承担的客运量比例较大。

(4) 对比两种方法, 替代法主要参考已有的 CCER 方法学设计, 具有一定的理论基础, 但在实际操作过程中, 替代出行模式的确定受被调查对象的主观影响较大, 难以判断替代出行模式的合理性, 均值法以城市现有的机动化出行模式为基准线, 较少受到人为因素的干扰, 具有一定的客观性, 且原理相对简单, 便于大众理解和宣传。综合考虑碳普惠制的需求以及我国交通数据的可获得性, 本文认为采用均值法设定基准线排放更适合于计算碳普惠制下市民乘坐地铁出行的碳减排量。

(5) 以公众低碳行为为对象的碳普惠制需要核算以个人为单位的低碳行为碳减排量, 并通过商业

激励等方式对个人进行奖励, 调动公众践行绿色低碳行为的积极性。根据碳普惠制的需求以及我国交通数据的可获得性, 文章提出了两种市民乘坐地铁出行低碳行为减碳量的核算方法, 并以广州市为案例探讨了两种方法的优缺点。但是, 由于交通运输碳排放的影响因素较为复杂, 本研究的方法还需要进一步改善和提高。如研究中各种交通工具的燃料消耗率均选取平均值为代表, 但在实际生活中不同型号交通工具的燃料消耗率差异较大, 在进一步研究中还需要细化。此外, 出行距离是影响个人地铁碳排放的主要因素之一, 但由于受数据的限制, 目前仅选择以人次为单位进行简单计量, 如何将距离因素引入核算方法也是今后研究的方向之一。■

#### 参考文献

- [1] 谭志雄, 陈德敏. 区域碳交易模式及实现路径研究 [J]. 中国软科学, 2012 (4): 76-84
- [2] 刘文玲, 王灿. 低碳城市发展实践与发展模式 [J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20 (4): 17-22
- [3] 刘希雅. 城镇化与碳排放: 城乡居民生活消费碳排放核算与分析 [D]. 北京: 清华大学, 2014
- [4] 靳国良. 碳交易机制的碳普惠制创新 [J]. 全球化, 2014 (11): 45-59
- [5] 广东省发改委. 广东省碳普惠制试点工作实施方案 [EB/OL]. 2015 [2016-03-01]. [http://zwgk.gd.gov.cn/006939756/201507/t20150727\\_594913.html](http://zwgk.gd.gov.cn/006939756/201507/t20150727_594913.html)
- [6] 广东省发改委. 广东省碳普惠制试点建设指南 [EB/OL]. 2015 [2016-03-01]. [http://zwgk.gd.gov.cn/006939756/201507/t20150727\\_594913.html](http://zwgk.gd.gov.cn/006939756/201507/t20150727_594913.html)
- [7] 中国中铁报. 中国城市轨道交通超常规高速发展 [DB/OL]. 2015 [2016-04-12]. [http://www.cr10g.com/sys\\_webs/NewsView.aspx?id=4c694f37-58be-4c46-b877-d7e76eb96418](http://www.cr10g.com/sys_webs/NewsView.aspx?id=4c694f37-58be-4c46-b877-d7e76eb96418)
- [8] 荣耀西安. 2015 年全国各城市地铁总客运量 [DB/OL]. 2015 [2016-04-12]. <http://www.ixian.cn/thread-871675-1-1.html>
- [9] 中国铁道网. 2015 年全国城市轨道交通在建线路一览表 [DB/OL]. 2015 [2016-04-15]. <http://www.chnrailway.com/html/20150821/1270083.shtml>
- [10] 贺晓彤. 城市轨道交通明挖车站建设碳排放计算及主要影响因素分析 [D]. 北京: 北京交通大学, 2015
- [11] 李根. 智能照明在地铁车站中的运用 [J]. 建设科技, 2016 (12): 142-143
- [12] 黄晓燕, 张爽, 曹小曙. 广州市地铁可达性时空演变及其对公交可达性的影响 [J]. 地理科学进展, 2014, 33 (8): 1078-1089
- [13] Cervero R, Wu K L. Subcentering and commuting: evidence from the San Francisco Bay area, 1980-1990 [EB/OL]. 1996 [2016-03-01].

- <http://escholarship.org/uc/item/7b5919b1>
- [14] 谢鸿宇, 王习详, 杨木壮, 等. 深圳地铁碳排放量 [J]. 生态学报, 2011, 31 (12): 3551-3558
- [15] 韩江, 梁衡义. 城市轨道交通碳交易的应用研究 [J]. 都市快轨交通, 2015, 28 (6): 35-38
- [16] 广东省发改委. 广东省企业(单位)二氧化碳排放信息报告指南 [EB/OL]. 2016 [2016-09-18]. <http://www.gddpc.gov.cn/zwgk/tzgg/zxtz/201602/P020160218554298444273.pdf>
- [17] 国家发改委办公厅. 国家发改委办公厅关于开展 2014 年度单位国内生产总值二氧化碳排放降低目标责任考核评估的通知 [EB/OL]. 2015 [2016-09-18]. [http://www.sdpc.gov.cn/gzdt/201504/t20150427\\_689392.html](http://www.sdpc.gov.cn/gzdt/201504/t20150427_689392.html)

## Study on Carbon Emission Reduction Calculation of Subway Travel —Take Guangzhou as an Example

Huang Ying<sup>1</sup>, Guo Hongxu<sup>2</sup>, Xie Pengcheng<sup>1</sup>, Liao Cuiping<sup>1</sup>, Zhao Daiqing<sup>1</sup>

1 *Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;*

2 *Guangdong Provincial Academy of Environmental Science, Guangzhou 510045, China*

**Abstract:** Carbon Generalized System of Preferences (carbon GSP) is one kind of Voluntary GHG Emission Reduction Mechanisms, which take residents as the main objects. It is an important exploration for taking subway travel as a low-carbon behavior into carbon GSP to build a low carbon society. This paper proposes two different carbon emission reduction calculation methods of subway travel, based on CCER methodology “Mass Rapid Transit Projects”, combined with the availability of traffic data and the purpose of carbon GSP. Carbon emission reductions of Guangzhou subway travel in 2015, as an example, were calculated by using these two methods. Under substitution method, the carbon emission reductions of Guangzhou subway travel were about 0.5419 kg CO<sub>2</sub> per person, but under averaging method, this value was about 0.5155 kg CO<sub>2</sub> per person. According to the passenger traffic of Guangzhou subway in 2015, the annual carbon emission reductions of Guangzhou subway system were about 1.30 million t CO<sub>2</sub> under substitution method and 1.24 million t CO<sub>2</sub> under averaging method, respectively. In these two methods, substitution method is designed based on the existing CCER methodology, which has theoretical basis. But in the actual calculation process, the setting of alternative travel patterns will greatly rely on the subjectivity of survey objects. In contrast, the baseline of averaging method is the current urban motorized travel patterns, less subjected to human disturbance. By contrast, the averaging method is more suitable for calculating subway travel carbon emission reductions of carbon GSP.

**Key words:** carbon GSP; subway; substitution method; averaging method; emission reductions