

# 城市轨道交通碳减排测算

## ——以广州为例

何欣

山东交通学院轨道交通学院, 山东 济南

收稿日期: 2023年6月9日; 录用日期: 2023年7月20日; 发布日期: 2023年7月28日

### 摘要

近年来, 由于全球的能源危机、气候变化以及环境问题的日益突出。城市轨道交通建设带来的碳减排, 是轨道交通外部性效益的一部分, 交通运输作为国家应对气候变化工作部署中确定的以低碳排放为特征的三大产业体系之一, 应推进其能源结构变革和以能源自洽为特征的新型轨道交通能源系统发展。碳交易的实施必须建立在合理的碳减排测算模型和可靠的碳减排测算结果上。文章参考已有的CCER方法学设计基础上, 以城市轨道交通线路为对象, 提出基于替代法的碳排放总量进行碳减排测算的方法, 并以广州地铁为对象, 以一年为一个统计周期进行碳减排测算。测算结果表明, 广州地铁一个统计周期内的碳减排量为92.02万tCO<sub>2</sub>, 减排幅度达到了58.4%。

### 关键词

城市轨道交通, 碳排放, 碳减排, 替代法

# Calculation of Carbon Emission Reduction in Urban Rail Transit

## —Taking Guangzhou as an Example

Xin He

School of Rail Transportation, Shandong Jiaotong University, Jinan Shandong

Received: Jun. 9<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jul. 20<sup>th</sup>, 2023; published: Jul. 28<sup>th</sup>, 2023

### Abstract

In recent years, due to the global energy crisis, climate change and environmental problems have become increasingly prominent. The carbon emission reduction brought by urban rail transit construction is part of the externality benefits of rail transit, and the implementation of carbon trading can provide a means for internalizing the environmental externality benefits. Transportation, as one of the three major industrial systems characterized by low carbon emissions identi-

ified in the national work deployment to address climate change. We should promote the reform of its energy structure and the development of a new rail transit energy system characterized by energy self-consistency. The implementation of carbon trading must be based on a reasonable carbon emission reduction calculation model and reliable carbon emission reduction calculation results. Based on the existing CCER methodology design, this article proposes a carbon emission reduction calculation method based on the substitution method for urban rail transit lines. The carbon emission reduction calculation is conducted on the Guangzhou Metro with a statistical cycle of one year. The calculation results show that the carbon reduction of Guangzhou Metro in a statistical period is 920,191 tCO<sub>2</sub>, with a reduction rate of 58.4%.

## Keywords

Urban Rail Transit, Carbon Emissions, Carbon Reduction, Substitution Method

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

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。然而伴随着城市交通快速发展，生态环境却面临了巨大的挑战。

近年来，由于全球的能源危机、气候变化以及环境问题的日益突出。2020年9月22日，中国首次提出“双碳”目标，即力争2030年前二氧化碳排放达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和目标[1]。

“双碳”政策的提出，要实现推动能耗“双控”向碳排放总量和强度“双控”的转变，完善减污降碳激励约束政策，加快形成更加绿色低碳的生产生活方式。

有许多国家和地区的组织都对城市交通效率进行了研究，强调了轨道交通对交通业降低能耗的有益作用，提出了碳排放测算模型。Karlaftis (2008)认为，交通效率是指运输资源与实际产出的关系，反映了其运营和发展的潜能[2]。Chaturvedi (2015)研究表明，轨道交通系统可使交通业能耗下降5%~20%以及碳排放下降8%~49% [3]。碳排放测算工具，可以用来估算一个国家或地区的交通能耗和碳排放量，需要输入出行量或能耗，这类模型包括MOBILE6，SIT和MOVES等。

针对地铁的建设阶段，贺晓彤等核算了地铁车站建设期间的碳排放量[4]，黄旭辉估算了地铁盾构隧道和地下明挖车站建设阶段的碳排放[5]。而针对地铁运营阶段，谢鸿宇等从列车牵引用电和地铁站场用电两方面计算了深圳地铁的碳排放量，并与公交车、出租车和香港地铁运营碳排放强度进行了对比分析[6]。上述针对交通碳排放影响因素的文献中，部分学者采用的研究模型和方法较为单一，对于提出的问题没有给出针对性的建议。

本文提出在“双碳”背景下进行碳减排的测算，研究轨道交通的碳减排效果，构建基于替代法的城市轨道交通碳减排的测算方法。

## 2. 模型构建

### 2.1. 碳减排测算原理

该模型可以有效地评价发展城市轨道交通带来的能源优势并对该模式的碳排放情况进行定量化分析。根

据城市轨道交通碳减排原理提出,由其他交通方式的乘客向城市轨道交通转移所减少的碳排放就是城市轨道交通碳减排,是其他交通方式与轨道交通碳排放量的差额。本文中,碳减排量是指乘客为完成某一出行目的,采用其他出行方式出行时产生的碳排放量与采用城市轨道交通线路出行时所产生的碳排放量的差值。

由于自上而下的测算模型侧重于直接引用统计而得的整体燃料消耗量,而无法评估不同措施的碳减排潜力和估算政策措施引起的温室气体排放。因此,本文采用“自下而上”的方法碳减排进行测算。

### 2.2. 碳减排测算模型

通过研究碳减排测算模型得到,可使用替代法进行碳减排的计算。减排量  $R_{ce}$  可以表示为不采用轨道交通出行时产生的碳排放量  $B_{ce}$ , 与采用城市轨道交通线路出行时产生的碳排放量  $P_{ce}$  的差值, 即

$$R_{ce} = B_{ce} - P_{ce} \tag{1}$$

式中,  $R_{ce}$  为城市轨道线路碳减排量( $tCO_2$ );  $B_{ce}$  为其他出行方式碳排放量( $tCO_2$ );  $P_{ce}$  为当前轨道交通线路碳排放量( $tCO_2$ )。

其中  $P_{ce}$  是指乘客采用目标城市轨道交通线路出行的情景。城轨能耗主要是由列车牵引能耗和车站(含车辆段)运行能耗组成。本文对城轨碳排放主要着眼于列车加速牵引和环控等系统、车站动力设备、照明设备及其他设备等运行过程中电能的能源能耗。

根据以上提出的测算思想,乘客从出行起点到出行终点采用的出行方式[7]与备选路径(假设城轨出站可直接步行到达出行终点,则可忽略该部分碳排放),见图1与图2。

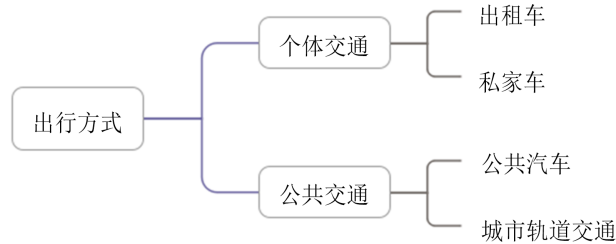


Figure 1. Classification of travel modes

图 1. 出行方式分类

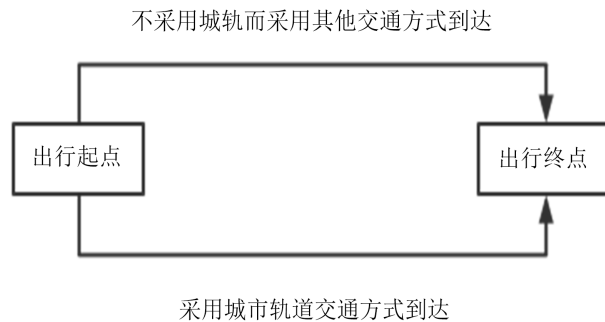


Figure 2. Route classification from travel start point to travel end point

图 2. 出行起点到出行终点所选路径分类

#### 2.2.1. 客流计算

$$T_{i,j} = P_{n,i} \cdot GR_j \tag{2}$$

式中:

$T_{ij}$ ——由出行方式  $j$  向出行方式  $i$  转移的客流数量(万人次);

$P_{n,i}$ ——出行者  $n$  选择出行方式  $i$  的选择概率;

$GR_j$ ——原始出行方式  $j$  的客流数量(万人次)。

### 2.2.2. 人均碳排放量计算

$$B_{ce} = \sum L_i \cdot EF_i \quad (3)$$

$$B = \frac{B_{ce}}{T} \quad (4)$$

式中:

$B_{ce}$ ——道路交通工具碳排放总量(kgCO<sub>2</sub>);

$L_i$ ——道路交通工具  $i$  的年运输距离(km);

$EF_i$ ——第  $i$  种交通工具的碳排放因子(kgCO<sub>2</sub>/km);

$B$ ——其他出行方式人公里碳排放量(kgCO<sub>2</sub>/人);

### 2.2.3. 采用轨道交通出行碳减排计算

$$R_{ce} = B_{ce} - P_{ce} = \sum L_i \cdot EF_i - T \cdot EF_g \quad (5)$$

式中:

$R_{ce}$ ——城市轨道线路碳减排量(tCO<sub>2</sub>);

$B_{ce}$ ——其他出行方式碳排放量(tCO<sub>2</sub>);

$P_{ce}$ ——城市轨道交通线路碳排放量(tCO<sub>2</sub>);

$EF_g$ ——城市轨道交通人碳排放因子(kgCO<sub>2</sub>/人)。

## 3. 数据获取与分析

本研究主要数据来源见表 1 所示。与交通运输工具和能源消耗相关的碳排放因子,则主要源于中国城市轨道交通协会《年度统计和分析报告》、GaBi 商业数据库(已本地化)、《广东省企业(单位)二氧化碳排放信息报告指南》和部分参考文献。与地铁新增运营里程、地铁车站数量、地铁客运量等历年相关数据主要源于统计年鉴资料。

**Table 1.** Variables required for calculation of accounting baseline of carbon reduction for Guangzhou citizens traveling by subway

**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

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	燃料 CO <sub>2</sub> 排放因子
公交车	26 L/100 km	柴油		40	36,500	3.1590 kgCO <sub>2</sub> /kg
私人小汽车	9.14 L/100 km	汽油	2.5	2	13,575	2.9850 kgCO <sub>2</sub> /kg
出租车	13 L/100 km	LPG	40	2.5	146,000	3.1650 kgCO <sub>2</sub> /kg

根据参考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 57%将由公交车提供,16%由出租车提供,27%由私人小汽车提供(除以上涉及运输工具,其他运输工具实际占比为 5%,已按比例划分至以上三种交通方式)。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。

据广州地铁集团发布的 2015 年年报和社会责任报告, 广州地铁建设、运营、经营发展和履行社会责任的有关情况。报告显示, 广州地铁 2015 年的客运总量达 24 亿人次, 日均客运量 659 万人次。据公式 (2) 计算, 假设广州城市轨道交通尚未运行, 公交车承担客流量为 13,680 万人次, 出租车承担客流为 3840 万人次, 私人小汽车承担客流为 6480 万人次。结合不同交通工具的运输水平, 得到各道路交通运输工具运力, 见表 2。

**Table 2.** Accounting variables of carbon reduction for Guangzhou citizens traveling by subway  
**表 2.** 广州市民乘坐地铁出行减碳量核算变量

交通工具	燃料类型	燃料密度	排放因子 kgCO <sub>2</sub> /km	承担客流量	所需运力/辆
公交车	柴油	0.84 g/ml	0.6899 kgCO <sub>2</sub> /km	13,680 万人次	7128
私人小汽车	汽油	0.78 g/ml	0.2128 kgCO <sub>2</sub> /km	3840 万人次	356,092
出租车	LPG	580 kg/m <sup>3</sup>	0.2386 kgCO <sub>2</sub> /km	6480 万人次	10,550

根据表中数据及上述运输水平计算数据, 以一年为一个统计周期, 一个统计周期内车公里数为, 公交车年公里数为 260,172,000 km; 私人小汽车年公里数为 4,833,948,900 km; 出租车年公里数为 1,540,300,000 km。由此得到各交通方式碳排放量为: 公交车碳排放量为 179492.66 tCO<sub>2</sub>; 私人小汽车碳排放量为 1028482.33 tCO<sub>2</sub>; 出租车碳排放量为 367515.58 tCO<sub>2</sub>。

即未开通广州地铁情况下, 公交车、私人小汽车、出租车碳排放总量  $B_{ce}$  为 157.5491 万 tCO<sub>2</sub>; 人公里碳排放量  $B$  为 0.6546 kg CO<sub>2</sub>/人。

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得到数据: 城市轨道交通碳排放因子为 0.03866 kW·h/(人·km), 年 CO<sub>2</sub> 排放量为 655322.7 tCO<sub>2</sub>。

结合公式计算得到 2015 年广州市地铁系统的年排放量约为 65.53 万 tCO<sub>2</sub>, 平均每人次出行碳排放量约为 0.2723 kg CO<sub>2</sub>/人, 见表 3。

**Table 3.** Calculation results of carbon emissions of Guangzhou citizens traveling by subway  
**表 3.** 广州市民乘坐地铁出行碳排放计算结果

年客运量/ 万人次	年客运周转量 万人次/km	综合能耗 kW·h/(人·km)	CO <sub>2</sub> 排放因子 kg·CO <sub>2</sub> /(kW·h)	年 CO <sub>2</sub> 排放量 tCO <sub>2</sub>	人公里碳排放
240,692	1,694,896	0.0654	0.5912	655322.7	0.2723

按照上式计算, 广州地铁在一年内产生的碳减排量为 92.02 万 tCO<sub>2</sub>, 减排幅度达到了 58.4%。

#### 4. 结论

本文所使用的替代法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; 但是, 由于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] 能源碳达峰碳中和标准化提升行动计划[J]. 大众用电, 2022(11): 8-10.

- 
- [2] Karlaftis, M.G. (2008) *Privatisation, Regulation and Competition: A Thirty Year Retrospective on Transit Efficiency in Privatisation and Regulation of Urban Transit Systems*. OECD Publishing, Paris.
- [3] Chaturvedi, V. and Kim, S.H. (2015) Long Term Energy and Emission Implications of a Global Shift to Electricity-Based Public Rail Transportation System. *Energy Policy*, **81**, 176-185. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.11.013>
- [4] 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]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [5] 黄旭辉. 地铁土建工程物化阶段碳排放计量与减排分析[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [6] 谢鸿宇, 王习祥, 杨木壮, 等. 深圳地铁碳排放量[J]. 生态学报, 2011, 31(12): 3551-3558.
- [7] 罗超, 孙靓雯, 卢有朋. 新用地分类引导下的城市用地混合功能开发[C]//中国城市规划学会. 多元与包容——2012中国城市规划年会论文集(13.城市规划管理). 昆明: 云南科技出版社, 2012: 79-86.