

贾育鑫, 付晶燕. 基于 LMDI 交通碳排放研究分析—以西安市为例[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(11): 163–167. DOI: 10.20169/j. issn. 2095–2163. 24050903

基于 LMDI 交通碳排放研究分析—以西安市为例

贾育鑫¹, 付晶燕²

(1 上海理工大学 管理学院, 上海 200093; 2 中国城市规划设计研究院, 北京 100044)

摘要: 城市交通是城市发展的重要组成部分,但同时也是城市碳排放的重要来源。文章以西安市为例,通过自下而上算法中的行驶里程法和周转量法对该市 2011~2020 年的城市交通碳排放进行核算,并进一步计算了人均交通碳排放量和单位 GDP 交通碳排放量,进而探讨城市交通碳排放的影响因素和减排策略。研究表明,西安市总碳排放量在 3 200 万吨上下浮动,交通碳排放量在 299 万吨上下浮动,人均交通碳排放量和单位 GDP 交通碳排放量总体呈现下降的趋势。为探究影响因素,本文采用 LMDI 模型从旅客周转量、货运周转量、人口和 GDP 四个纬度进行分解。结果表明,旅客周转量和货运周转量既有促进作用,也有抑制作用,人口和 GDP 均为正向效应。

关键词: 碳排放; 自下而上; 交通运输; LMDI

中图分类号: X73

文献标志码: A

文章编号: 2095–2163(2024)11–0163–05

Study and analysis of transportation carbon emissions based on LMDI: A case study of Xi'an city

JIA Yuxin¹, FU Jingyan²

(1 Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2 China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100044, China)

Abstract: Urban transportation is an integral part of urban development, yet it is also a significant source of carbon emissions in cities. Taking Xi'an as a case study, this article calculates the urban transportation carbon emissions from 2011 to 2020 using the bottom-up approach, employing methods such as vehicle miles traveled and turnover volume. It further calculates per capita transportation carbon emissions and carbon emissions per unit of GDP, aiming to explore the influencing factors and mitigation strategies for urban transportation carbon emissions. The research findings indicate that the total carbon emissions in Xi'an fluctuated around 32 million tons, with transportation carbon emissions fluctuating around 2.99 million tons. Per capita transportation carbon emissions and carbon emissions per unit of GDP generally show a downward trend. To explore the influencing factors, this study utilizes the Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) model to decompose the effects from four dimensions: passenger turnover, freight turnover, population, and GDP. The results indicate that passenger turnover and freight turnover exert both promoting and inhibiting effects, while population and GDP exhibit positive effects.

Key words: carbon emissions; bottom-up algorithms; transportation; LMDI

0 引言

碳排放过量会对环境、社会以及经济产生显著影响,严重制约人类社会的发展进程。此现象已引起全球各国高度关注。而根据国际能源署(IEA)的统计资料,全球交通领域的碳排放约占全球总碳排放总量的 25%。中国交通领域的碳排放占总排放比例超过了 8%^[1]。在交通领域的碳排放中,能耗和排放位居首位的是道路交通领域,约占交通领域

碳排放量的 80%。其中,城市交通占比是最大的,并且随着城市化进程的加速,城市交通的规模和复杂性不断增加,交通的需求与环境污染、资源与能源消耗的问题日益凸显^[2-3]。因此,对城市交通的碳排放进行核算和对比分析,是减缓城市碳排放增长的关键。

交通运输业碳排放量一直是行业分析重要指标,且公路运输承担周转量比例最大,是行业碳排放的主要来源^[4]。而据研究指出,西安作为西北地区

的枢纽,在引领整个西北地区的经济发展进程中发挥着重要作用。根据 2021 西安交通年度发展报告^[5]可知,西安市作为全国绿色出行创建城市,实施交通领域“双碳”战略试点,全面提升绿色交通支撑能力。因此,本文将以西安作为案例城市,采用自下而上算法中的行驶里程法和周转量法核算和分析西安市 2011~2020 年道路交通的碳排放数据(因疫情原因,本文暂不对 2021 和 2022 年数据做分析),并进一步计算人均交通碳排放量和单位 GDP 交通碳排放量。

在国内外对交通碳排放的研究中,因 LMDI 分解结果无残差、完全可加和适用性强^[6]等特点得到了广泛应用。黄蕾等学者^[7]运用两级 LMDI 加法分解模型从 8 个方面对江苏省的城市交通碳排放影响机制进行分析。刘安等学者^[8]用对数平均权重从模式分担、能源结构、规模效应、能源强度和经济效益分析了江西省的交通碳排放。刘小艳等学者^[9]运用 LMDI 模型对内蒙古交通碳排放作用因素及其作用效果进行了定量分析。

1 数据测算

1.1 测算方法

在联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)所提出的温室气体指引目录^[10]和《省级温室气体清单编制指南(试行)》^[11]中,移动源碳排放的计算方法主要分为自上而下的模型和自下而上的模型。这 2 种模型可用来计算总体碳排放量,也可针对特定研究目的计算各种交通方式的碳排放量^[12]。

自上而下的测算方法,又称为终端消费侧算法,按照 IPCC 的国家温室气体清单指南^[10],采用能源的消耗量以及相应能源的能量转换因子来计算碳排放量,交通碳排放总量 E 的计算公式如下:

$$E = \sum_i EF_i \times V_i \quad (1)$$

其中, i 表示能源的类型; EF_i 表示能源的碳排放因子; V_i 表示能源的消耗量。

能源的消耗量可以由 Schipper 等学者^[13]所提出的“运行距离-交通方式划分及比例-排放因子-能源消耗”的行驶里程法进行更加详细的计算。即,可以根据所研究范围内的交通工具类型、保有量、行驶里程以及单位里程燃料消耗等数据来计算交通碳排放。所以式(1)可以展开为:

$$E = \sum_i \sum_j V_{ij} \times D_{ij} \times C_{ij} \times EF_{ij} \quad (2)$$

其中, j 表示交通工具的种类; V_{ij} 表示使用能源 i 的交通工具 j 的数量; D_{ij} 表示使用能源 i 的交通工具 j 在一个时间段内的旅行距离; C_{ij} 表示使用能源 i 的交通工具 j 的平均能耗; EF_{ij} 表示使用能源 i 的交通工具 j 的碳排放因子。

在西安城市交通碳排放量计算中,因无法直接获取各交通方式的能源消耗数据,但根据《西安市统计年鉴》^[14]数据,可以直接推得每类车的总行驶里程 VMT_j , 进而得知大类车的平均能耗,因此,式(2)可以改写为:

$$E = \sum_i \sum_j VMT_j \times C_{ij} \times EF_{ij} = \sum_j VMT_j \times EF_j \quad (3)$$

排放因子参考 Liu 等学者^[15]和 Shan 等学者^[16-17]给出的排放因子数据。此外,本文还采用周转量法进行数据校准,即:

$$E_w = T \times C \times E_c \quad (4)$$

其中, E_w 表示排放量; T 表示客/货运周转量; C 表示单位周转量能耗; E_c 表示单位能耗温室气体排放。

根据《西安市统计年鉴》^[14],表 1 为 2011~2020 年客运和货运周转量表,单位为(万人·公里)和(万吨·公里),其中客运是以航空为主、平均占比约为 57.68%,货运是以公路为主、平均占比约为 75.07%。

表 1 2011~2020 年客运和货运周转量

Table 1 Passenger and freight turnover from 2011 to 2020

年份	旅客周转量/ (万人·公里)	货运周转量/ (万吨·公里)
2011	3 223 544	5 212 010
2012	3 387 448	5 958 742
2013	3 634 915	6 471 497
2014	3 091 147	6 234 182
2015	3 241 463	6 430 083
2016	2 909 172	5 521 252
2017	3 267 158	5 979 131
2018	3 624 193	5 188 953
2019	3 875 080	5 190 086
2020	2 314 604	5 026 965

1.2 测算结果与分析

根据 2 种所列出的“自下而上”的测算方法得到 2011~2020 年西安市城市交通碳排放量见表 2。西安市全市总碳排放量参考《西安市统计年鉴》^[14]和 Shan 等学者^[18-21]研究,见表 3。表 2 与表 3 结果对

比如图 1 所示。

表 2 2011~2020 年西安市交通碳排放量

Table 2 Transportation carbon emissions of Xi'an city from 2011 to 2020 万吨

年份	碳排放量
2011	287.25
2012	287.06
2013	310.96
2014	299.07
2015	279.89
2016	273.20
2017	294.15
2018	345.76
2019	303.24
2020	307.30

表 3 2011~2020 年西安市全市总碳排放量

Table 3 Total carbon emissions of Xi'an city from 2011 to 2020 万吨

年份	碳排放量
2011	3 082.15
2012	3 133.87
2013	3 533.65
2014	3 398.57
2015	3 016.04
2016	2 825.26
2017	2 935.64
2018	3 423.55
2019	3 192.00
2020	3 511.98

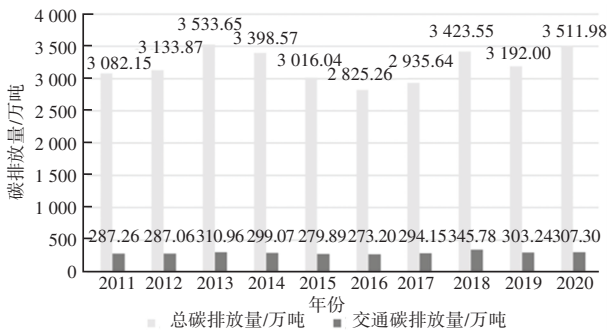


图 1 西安市碳排放量图

Fig. 1 Carbon emission map of Xi'an city

从图 1 的测算结果可以看出,2011~2013 年,西安的总碳排放量和交通碳排放量持续增长,在此阶段,过度强调了城市发展和经济效益,对自然环境造成了不小的破坏,可被定义为高增长阶段。2013~

2016 年,全市经济发展进入新常态,全市发展目标更加注意系统性和协同性,能源结构调整和产业结构升级力度加大。然后,碳排放的增长速度明显放缓,这可定义为中等增长阶段。2016~2020 年,国家相继出台新的环境保护政策,倡导新的发展模式,公众的环境保护意识大大增强。坚持绿色低碳新理念,大力推进绿色低碳产业和节能城市建设,环境问题得到极大改善。在此期间,该市的碳排放量呈下降趋势,这是朝着建设低碳城市的目标迈出的重要一步,也是被定义为负增长阶段的一步。区域碳排放的时空演变反映了城市发展的阶段性变化,表明了不同阶段城市发展的不同任务。从总体来看,交通碳排放量平均占总碳排放量的 9.34%。

西安市人均城市交通碳排放可由下式求得:

$$e_p = \frac{E}{P} \quad (5)$$

其中, e_p 表示人均城市交通碳排放量, P 表示城市人口。

西安市 2011~2020 年城市人口数见表 4。西安市人均城市交通碳排放计算结果如图 2 所示。

表 4 西安市 2011~2020 年城市人口数

Table 4 Urban population of Xi'an city from 2011 to 2020 万人

年份	人口数
2011	887
2012	914
2013	936
2014	960
2015	988
2016	1 130
2017	1 134
2018	1 191
2019	1 235
2020	1 296

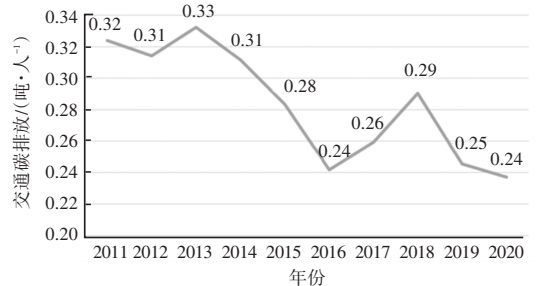


图 2 人均城市交通碳排放

Fig. 2 Per capita urban transportation carbon emissions

从图 2 的计算结果可以看出,西安市人均城市碳排放总体是下降的趋势,虽然中间 2013 年、2017 年和 2018 年平均有 8.77% 的反弹增长,但并不影响

西安低碳减排的战略布局,其中,在2017年反弹后,西安市实施了《西安市交通强市三年行动计划(2017-2019年)》,旨在优化公共交通、加强交通管理、改善城市交通环境,减少城市交通排放,从而实现城市可持续发展,并在2019年取得卓越成果。

西安市单位GDP城市交通碳排放可由下式求得:

$$e_g = \frac{E}{G} = \frac{e_p}{g} \quad (5)$$

其中, e_g 表示单位GDP城市交通碳排放量; G 表示城市GDP总量; g 表示人均生产总值。

西安市2011~2020年GDP及人均生产总值见表5。西安市单位GDP城市交通碳排放见图3。

表5 西安市2011~2020年GDP

Table 5 GDP of Xi'an city from 2011 to 2020

年份	GDP/亿元	人均生产总值/(元·人 ⁻¹)
2011	3 791.71	43 723
2012	4 370.16	48 530
2013	4 960.23	53 624
2014	5 576.98	58 829
2015	5 932.86	60 912
2016	6 396.36	63 393
2017	7 418.04	66 649
2018	8 499.41	73 113
2019	9 399.98	77 494
2020	10 020.39	79 181

表6 LMDI分解结果

Table 6 LMDI decomposition results

年份	旅客周转量贡献	货运周转量贡献	人口贡献	GDP贡献
2011~2012	14.236 87	38.435 560	8.607 663	40.757 50
2012~2013	21.925 44	25.669 150	7.396 154	39.383 86
2013~2014	-48.462 40	-11.173 300	7.571 797	35.049 60
2014~2015	13.289 89	8.659 816	8.046 673	17.313 71
2015~2016	-29.548 30	-41.631 000	36.688 090	20.550 84
2016~2017	34.136 69	23.435 110	1.039 400	43.588 85
2017~2018	35.859 17	-49.009 200	16.956 790	47.051 67
2018~2019	20.297 27	0.066 205	11.000 840	30.539 55
2019~2020	-158.360 00	-9.813 270	14.815 430	19.640 91

结果表明旅客周转量和货运周转量既会推动交通碳排放量增长,也会抑制交通碳排放,而人口和GDP一直呈现推动交通碳排放量增长的趋势。

旅客周转量和货运周转量的影响结果看似有悖常理,但由于每年的政策不完全相同,导致旅客周转

由图3可以看出,单位GDP城市交通碳排放每年都呈现下降趋势,究其原因可能是随着经济从快速发展到稳定增长,城市交通能源使用的管理力度也有所加强,低碳出行方式也得到了大力推广,例如公共交通和非机动车,以减少城市交通的碳排放。与此同时人们的环境碳出行意识也在逐步增强。

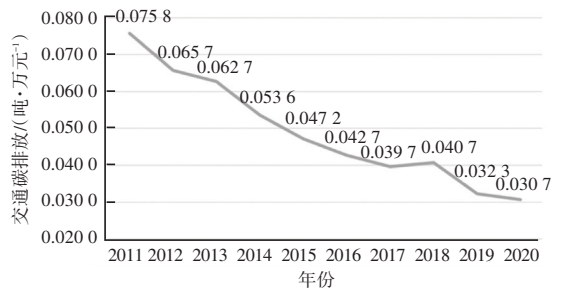


图3 单位GDP城市交通碳排放

Fig. 3 Carbon emissions from urban transportation per unit GDP

2 影响因素分析

本文采用LMDI分解模型^[6]对前文所提到的旅客周转量、货运周转量、人口和GDP共4项因素进行分解,分解结果见表6。每个因素*i*对应的总量变化贡献 ΔD 具体如下:

$$\Delta D = \frac{D_t - D_{t-1}}{D_t} \ln \frac{X_{it}}{X_{it-1}} \quad (6)$$

其中, D_t 表示第*t*年的交通碳排放量, X_{it} 表示因素*i*第*t*年的值。

量和货运周转量每年的增减情况不同,因此对交通碳排放的影响既有促进、也有抑制作用。

2011~2020年以来,随着经济的不断发展,GDP也是稳中向好,对碳排放量变动起着正向促进作用,是碳排量增加的最大原因。而西安市的常住人口一

直保持增长趋势,进而导致西安市交通碳排放量增加,虽然贡献相对其他 3 个因素较小,但一直对碳排放量变动起着正向促进的作用。

3 结论与建议

综上所述,西安市总碳排放量在 3 200 万吨上下浮动,交通碳排放量在 299 万吨上下浮动,人均交通碳排放量和单位 GDP 交通碳排放量总体呈现下降的趋势。

目前西安市的运输方式主要以公路运输为主,其碳排放量相对较高。为了应对这一情况,可以积极推动货物运输向更廉价、且更低碳的铁路或水路转变。此外,还应加大货运综合枢纽建设,实现多种运输方式的深度融合,提升货物综合运输效率,降低物流成本,促进节能减排。同时,鼓励城乡物流集中统一配送,采用集约化配送模式,减少物流过程中的碳排放。

可以继续加大城市公共交通网络建设,提高城际铁路、公交、轻轨、BRT、地铁等公共交通覆盖面,推动其融合深度,构建一体化的城市公共交通网络体系。加大开发和实施应用智能交通系统,优化信号配时,减少车辆等待时间,降低燃油消耗,提供实时公交信息,可以乘客实时掌握车辆发车、班次、到达地点等信息,减少对私家车的使用频率。

还应看到,私家车数量的增加可能导致城市交通的碳排放呈现出上升趋势,应继续加大储能电池研发投入,不断提升新能源汽车续航里程,降低生产成本,扩大市场份额。加大汽车充电网络建设,通过超前布局解决实际问题,为新能源汽车市场开拓奠定基础。

4 结束语

本文以西安市为例,通过自下而上算法中的行驶里程法和周转量法对该市 2011~2020 年的城市交通碳排放进行核算及对比分析,并探讨计算了人均交通碳排放量和单位 GDP 交通碳排放量,进而探讨城市交通碳排放的影响因素和减排策略。根据 LMDI 分解的结果,旅客周转量和货运周转量既有促进作用,也有抑制作用,人口和 GDP 均为正向效应。

本文还有针对性地提出了一系列建议,旨在帮助减少交通碳排放量,并降低环境影响。本文通过西安的碳排放所做的研究分析可作为示例,将能拓展到更多的城市,具有较高的现实意义和实际价值。

参考文献

- [1] 王华丽, 宁静. 发达国家低碳交通建设经验[J]. 生态经济, 2022, 38(12): 1-4.
- [2] 赵靖, 杨晓光, 章程. 交通设计技术发展对策建议[J]. 前瞻科技, 2023, 2(3): 45-57.
- [3] 李晓易, 谭晓雨, 吴睿, 等. 交通运输领域碳达峰、碳中和路径研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(6): 15-21.
- [4] 张赫, 苏启明, 朱婷, 等. 四川省综合交通系统碳排放驱动因子测算分析[J]. 综合运输, 2018, 40(3): 93-99.
- [5] 西安市自然资源和规划局. 2021 西安交通年度发展报告[R]. 西安: 西安市城市规划设计研究院, 2022.
- [6] ANG B W. LMDI decomposition approach: A guide for implementation[J]. Energy Policy, 2015, 86: 233-238.
- [7] 黄蕾, 刘俊豪, 刘榆欣, 等. 江苏省城市交通碳排放的时空演变特征与驱动因素分析[J]. 环境生态学, 2024, 6(1): 1-8.
- [8] 刘安, 习明星, 邵志超, 等. 应用 LMDI 模型的江西省交通运输业碳排放驱动力分析[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2024, 45(2): 276-282.
- [9] 刘小艳, 武平, 王红晓. 基于 LMDI 模型的内蒙古交通碳排放驱动因素分析[J]. 交通节能与环保, 2024, 20(1): 89-93, 100.
- [10] EGGLESTON H S, BUENDIA L, MIWA K, et al. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories[R]. Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.
- [11] 中国国家发改委. 省级温室气体清单编制指南(试行)[S]. 北京: 国家发改委, 2011.
- [12] 蒋文韬, 吴兵. 道路交通碳排放测算方法研究综述[J]. 综合运输, 2023, 45(3): 93-97, 109.
- [13] SCHIPPER L, MARIE C, GORHAM R. Transportation and CO₂ emissions: Flexing the link—a path for the World Bank[R]. Washington DC: The World Bank, 2000.
- [14] 陕西省统计局. 西安统计年鉴 2021[M]. 西安:《西安统计年鉴》编辑部, 2021.
- [15] LIU Zhu, GUAN Dabo, WEI Wei, et al. Reduced carbon emission estimates from fossil fuel combustion and cement production in China[J]. Nature, 2015, 524: 335-338.
- [16] SHAN Yuli, GUAN Dabo, ZHENG Heran, et al. China CO₂ emission accounts 1997–2015[J]. Scientific Data, 2018, 5: 170201.
- [17] SHAN Yuli, LIU Jianghua, LIU Zhu, et al. New provincial CO₂ emission inventories in China based on apparent energy consumption data and updated emission factors[J]. Applied Energy, 2016, 184: 742-750.
- [18] SHAN Yuli, GUAN Yuru, HANG Ye, et al. City-level emission peak and drivers in China[J]. Science Bulletin, 2022, 67: 1910-1920.
- [19] SHAN Yuli, GUAN Dabo, HUBACEK K, et al. City-level climate change mitigation in China[J]. Science Advances, 2018, 4: eaaq0390.
- [20] SHAN Yuli, GUAN Dabo, LIU Jianghua, et al. Methodology and applications of city level CO₂ emission accounts in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 161: 1215-1225.
- [21] SHAN Yuli, LIU Jianghua, LIU Zhu, et al. An emissions-socioeconomic inventory of Chinese cities[J]. Scientific Data, 2019, 6: 190027.