

# 基于联网收费大数据的广东省高速公路交通流时空格局与形成机理

李苑君<sup>1</sup>, 吴旗韬<sup>1\*</sup>, 金双泉<sup>2</sup>, 方 顺<sup>2</sup>, 杨丁楠<sup>3</sup>, 梁木新<sup>1</sup>

(1. 广东省科学院广州地理研究所, 广州 510070; 2. 广东省交通运输规划研究中心, 广州 510101;  
3. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079)

**摘 要:**以联网收费系统为核心的高速公路新建设工程,推动了高速公路智慧化发展,也为交通流的时空表征提供了更高精度的数字底图。论文基于联网收费系统记录的交通流大数据,利用大数据挖掘、地理空间分析等方法,多尺度、多类型刻画广东省高速公路交通流时空分布格局,并通过岭回归方法探索影响交通流的主要因素。结果表明:①广东省高速公路机动车小型化、轻量化特征显著。高速公路旅客出行对小汽车的依赖性较强,巴士公共交通的出行分担率不高;货运结构中以轻型货车占据主导。空间分布上看,广东省高速公路交通流呈空间非均衡分布特征,交通流密集路段集中在珠三角城市群,以广州环城高速、广州绕城高速为核心“双环”,沿主要国家级高速公路向外围呈放射状扩散。②广东省高速公路交通流随时间变化呈“驼峰曲线”,其“双高峰”分布在上午9:00和下午17:00。小汽车对时间变化的敏感度最高;轻型至重型3类货车,载货规模越大,日内车流量越为平稳,对时间的敏感性及变化响应最弱。③岭回归结果显示,广东省高速公路交通流主要受机动车保有量、社会消费水平和服务业发展等影响。研究有助于拓展高速公路数字化新基建系统在地理学领域的应用,对于深化交通空间活动规律认知、丰富空间运输联系理论等具有一定意义。

**关键词:**联网收费大数据;高速公路交通流;新基建;岭回归;广东省

交通网络承载着城市间大量的人口和物质要素流动,对引导和优化区域发展的空间秩序具有重要意义<sup>[1]</sup>。依托公路、铁路等路网系统进行空间运输的客流和货流,是交通流要素的具体表征,也是城市空间相互作用和社会经济联系强弱的直接体现<sup>[2]</sup>。相关研究表明,中国客货流集散主要经由公路网络<sup>[3]</sup>,而相比普通公路,高速公路连续性更好、通行效率更高,在中国交通强国建设和基建提速背景下,高速公路逐渐承担着大量的交通运输需求,在旅游和通勤等日常人口流动、货物周转集散、资

源跨区配置等领域发挥基础性作用<sup>[4-5]</sup>。探索高速公路交通流的时空格局,揭示高速公路客流和货流的驱动机理,对于认知区域经济社会结构的时空关联规律、丰富交通地理学空间运输理论等具有学术价值,对于交通运输业结构优化和高质量发展亦具有现实意义。

以往交通流研究涉及航空、铁路、水路等多种交通运输方式,如利用航空流探索全球和国家尺度的空间联系格局及其演化规律<sup>[6-7]</sup>;基于铁路流研究城市网络空间结构<sup>[8]</sup>、交通可达性与出行特征等<sup>[9]</sup>。

收稿日期:2023-03-13;修订日期:2023-06-29。

基金项目:国家自然科学基金项目(42071165,42301200);广东省科学院打造综合产业技术创新中心行动资金项目(2023GDA-SZH-2023010101)。**[Foundation:** National Natural Science Foundation of China, No. 42071165 and 42301200; The GDAS' Project of Science and Technology Development, No. 2023GDASZH-2023010101.]

第一作者简介:李苑君(1995—),女,湖北襄阳人,博士,助理研究员,中国地理学会会员(S110011666M),研究方向为交通流网络。E-mail: geoliyuanjun@gdas.ac.cn

\*通信作者简介:吴旗韬(1982—),男,河南平顶山人,博士,研究员,中国地理学会会员(S110008399M),研究方向为交通地理学。E-mail: wuqitao@gdas.ac.cn

引用格式:李苑君,吴旗韬,金双泉,等.基于联网收费大数据的广东省高速公路交通流时空格局与形成机理[J].地理科学进展,2023,42(11): 2113-2125. [Li Yuanjun, Wu Qitao, Jin Shuangquan, et al. Spatio-temporal pattern and formation mechanism of expressway traffic flows in Guangdong Province based on the online toll collection data. Progress in Geography, 2023, 42(11): 2113-2125.]  
DOI: 10.18306/dlkxjz.2023.11.004

船舶流相关研究则主要利用船舶航线、运输港口和枢纽等构建航运网络,探索其时空分布特征与驱动机制<sup>[10-11]</sup>。高速公路流相关研究总体较少,且存在“重空间轻时间”的问题,倾向于探讨高速公路交通流的空间分布特征<sup>[12-13]</sup>,缺乏时间尺度下的车流变化规律探索。而目前基于时空双尺度的高速公路交通流研究<sup>[14]</sup>,亦存在车辆类型无法细分、时空分析精度较低等问题。

从数据上看,交通流研究数据日趋多元化,在航空流领域包括国际航空运输协会、飞常准、全球航空数据服务商OAG(official airline guide)等平台班次数据<sup>[8,15]</sup>;铁路流领域以往多利用12306列车时刻表数据<sup>[16]</sup>,为解决该数据与实际铁路客流量的信息偏差,有研究基于中国国家铁路集团有限公司的订票数据构建真实铁路流网络<sup>[17]</sup>。而由于数据可获取性较低,公路流研究稍滞后于航空流和铁路流。随着信息科技发展,大数据挖掘技术日新月异,为公路流研究带来新的机遇<sup>[18]</sup>。已有学者利用汽车服务网站运营数据、高德地图和百度地图数据等探索公路交通流时空变化规律<sup>[19-21]</sup>,但受数据平台限制,相关研究多存在车辆样本不够全面、客货车类型无法细分等问题。近年来,新型基础设施建设(以下简称“新基建”)逐渐成为推动中国新阶段经济社会高质量发展的重要领域<sup>[22]</sup>。新基建主要包括信息基础设施、融合基础设施、创新基础设施三方面,其中融合基础设施即利用5G网络、大数据技术等支撑传统基础设施完成转型升级。在交通领域的典型代表为高速公路电子不停车收费(ETC)门架建设和联网收费系统(online toll collection system)的应用<sup>[23]</sup>。该系统在提升高速公路收费结算效率的同时,依托强大的车流信息存储处理功能,为刻画高速公路客流与货流分布提供了新的数据源,也为交通空间联系规律认知提供了新的视角。目前已有研究基于高速公路联网收费大数据探索公路流的距离衰减规律<sup>[24]</sup>、城市网络空间结构和组织模式<sup>[5]</sup>等,从流数据挖掘和网络分析等方面为本文奠定了方法基础。

从交通流影响因素上看,目前已有学者关注到经济因素<sup>[25]</sup>、人口因素<sup>[12,14]</sup>、产业发展因素<sup>[23]</sup>和交通因素<sup>[27]</sup>等对客货流的影响。在经济领域,地区生产总值,尤其是第三产业产值,以及投资和消费规模等被认为是影响区际高速公路联系的重要因素<sup>[25]</sup>;在人口维度,基于地理探测器、地理加权回归(geo-

graphical weighted regression, GWR)模型和普通线性回归方法的实证研究均表明,区域人口规模,尤其是常住人口规模显著影响高速公路交通流量<sup>[12,14,25]</sup>;在交通方面,研究成果较为丰富,相关学者从汽车保有量、基础设施建设水平(公路里程和密度)等多角度探索了公路流影响机制<sup>[25,27]</sup>。上述成果为本文提供了指标选择参考,然而对于高速公路交通流形成机理问题,学界尚未有统一论,尤其是客流与货流影响因子的差异性 etc 仍待进一步探索。

综上,本文聚焦高速公路交通流的时空格局与形成机理问题,针对传统研究中空间分析精度较低、时间尺度研究缺乏、客货类型难以细分等不足,将基于广东省高速公路联网收费系统的多尺度O-D(origin-destination)交通流大数据,采用大数据挖掘、GIS空间分析等方法,在路段尺度(<10 km)上分类刻画高速公路客车流(小汽车、小巴、中巴和大巴)、货车流(轻型货车、中型货车和重型货车)的时空分布格局,并利用岭回归方法探索影响高速公路交通流的主要因素,识别客货流关键影响因子的差异性。以期拓展高速公路数字化新基建系统在地理学领域的应用,深化交通空间活动规律认知,丰富空间运输联系理论。

## 1 研究区域、数据与方法

### 1.1 研究区概况

研究区为广东省,地处中国南部沿海,由21个地级市组成,其中有9个地市为粤港澳大湾区的重要组成部分。广东省经济发达、人口稠密,是中国交通运输规模最大、基础设施路网最完善的省份之一。2022年,全省地区生产总值12.91万亿元,常住人口约1.3亿。从运输结构上看,广东省交通运输方式长期以公路为主导,截至2022年底,广东省公路货运量24.25亿t,占全省货运量的66.6%,占全国公路货运总量的6.5%;公路客运量2.37亿人次,占全省客运量的49.9%,占全国公路客运总量6.7%。广东省高速公路是省内综合交通运输体系的组成部分,也是中国华南地区重要的交通网络系统。2022年12月31日,广连高速花都至从化段、宁莞高速潮州东连接线等项目完工后,广东省高速公路通车总里程达1.1万km,连续9年位居全国第一,车道总里程超5.7万km。2022年广东省高速公路收费站出口车流总量超22亿辆次,亦居全国第一位。随

着高速公路网络不断完善,内联外通、便捷高效的现代化交通运输体系已现雏形,推动广东交通强省建设走上快速路。

## 1.2 数据来源与预处理

本文的基础数据为广东省高速公路联网收费系统大数据。2020年1月起全国高速公路联网收费系统开始执行“分段计费模式”,即对高速公路进行分段,在每一个计费路段都设有收费门架(也称“龙门架”),收费门架会记录该路段的车辆信息(图1),汇总形成联网收费数据库。数据库中覆盖车辆类型、行驶路径、上下高速时间等辅助收费结算的海量信息,通过大数据分析技术可将该信息转化为多空间尺度O-D车流数据(路段尺度、地市尺度等)、多类型机动车轨迹数据(客车、货车)、多时间尺度车流变化数据(时刻至时段)等,实现交通车流数字化。根据研究需求,同时避开春节、清明节、劳动节和国庆节4个高速公路免费节假日,本文获取了2021年9月路段和地市两种空间尺度的O-D车流数据。前者包括高速公路门架记录的1247个计费

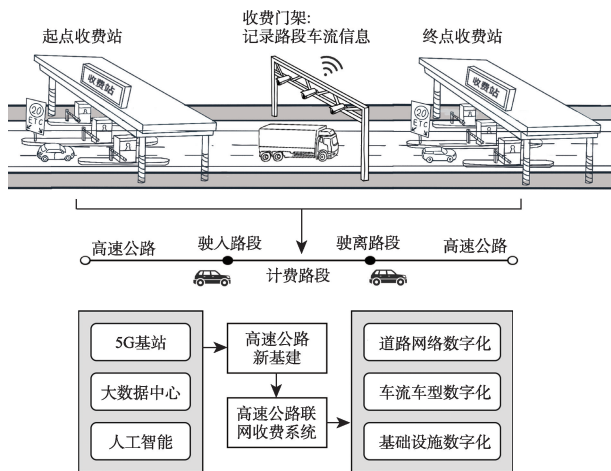


图1 高速公路新基建工程——联网收费系统原理示意图

Fig.1 Schematic diagram of expressway new infrastructure project: online toll collection system

路段中84万条车流数据信息,统计车流量约5591万辆;后者为广东省各地市的日均进出车流量。

此外,本文通过大数据分析方法与计算机技术对数据进行清洗、预处理。具体步骤包括:①数据清洗。去除上下高速匝道数据等冗余项。②数据归并分类。根据研究需要,对客车、货车等进行分类。③数据空间匹配。为便于路段O-D交通流与ArcGIS中高速公路矢量数据的空间匹配,首先需要建立序列规则,对路段O-D交通流数据重新排序;其后叠加高速公路网络矢量图、广东省行政区划矢量图和收费站点矢量图等对所有路段进行空间分割,最后链接起空间路段和车流信息。

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 交通流计量模型

根据《收费公路车辆通行费车型分类》行业标准(JT/T489—2019),高速公路车辆类型可划分为10类,其中客车4类、货车6类(表1)。本文基础数据为高速公路联网收费数据,即遵循上述分类标准存储于联网收费系统的数据。顾及科学性和可释性,本文借鉴中国客车网(<https://www.chinabuses.com/>)的分类方式,将I类客车划分为小汽车,包括常见的小轿车和运动型多用途汽车(SUV)等,将II~IV类客车分别划分为小巴、中巴和大巴车;借鉴中国卡车网(<https://www.chinatruck.org/>)的分类方式,将I、II类货车归并为轻型货车,III、IV类货车归为中型货车,V、VI类货车归为重型货车。

由此建立交通流计量模型如下:

$$F_r = F_{r(\text{pas})} + F_{r(\text{fer})} \quad (1)$$

$$F_{r(\text{pas})} = P_{r1} + P_{r2} + P_{r3} + P_{r4}; F_{r(\text{fer})} = F_{r1} + F_{r2} + F_{r3} \quad (2)$$

式中:  $F_r$  为路段  $r$  上的车流量,  $F_{r(\text{pas})}$  为路段  $r$  的客车流,  $F_{r(\text{fer})}$  为货车流;  $P_{r1}$ 、 $P_{r2}$ 、 $P_{r3}$ 、 $P_{r4}$  分别为路段  $r$  上小汽车、小巴、中巴和大巴车流量;  $F_{r1}$ 、 $F_{r2}$ 、 $F_{r3}$  分别为路段  $r$  上轻型、中型和重型货车流量。此外,在广东省联网收费系统中,高速公路沿线的收费门架会对同

表1 广东省高速公路机动车分类

Tab.1 Classification of expressway vehicles in Guangdong Province

客车			货车		
类别	收费分类	本文分类	类别	收费分类	本文分类
I类	≤9座	小汽车	I类	2轴(车长 < 6 m, 最大允许总质量 < 4500 kg)	轻型
II类	10~19座	小巴	II类	2轴(车长 ≥ 6 m, 最大允许总质量 ≥ 4500 kg)	
III类	20~39座	中巴	III类	3轴	中型
IV类	≥40座	大巴	IV类	4轴	
			V类	5轴	重型
			VI类	6轴	



一辆车,沿行驶方向进行连续多次记录,因此路段O-D车流仅代表特定时段内,驶入、驶离该路段区间的车流,无法进行求和以分析整体路网的车流特征。本文在统计所有路段车流量后,取其各项平均值,对广东省高速公路交通流进行时间尺度的横向对比。在此引入变量 $F$ 指代特定时段内路网平均车流量,即高速公路所有路段车流量的平均值,公式如下:

$$F = \sum_{r=1}^n \frac{F_r}{n} = \sum_{r=1}^n \frac{F_{r(\text{pas})} + F_{r(\text{fer})}}{n} \quad (3)$$

式中: $n$ 为路段数量,在本文中取1247。

### 1.3.2 岭回归分析

传统研究常利用普通最小二乘法(OLS)对多元线性回归模型中的参数进行估计,但现实中各自变量之间往往存在相关性,因此采用OLS模型进行参数估计会产生扭曲<sup>[28]</sup>。为解决该问题,本文引入岭回归模型探索影响高速公路车流、客车流和货车流的主要因素。岭回归是对共线性数据进行分析的有偏估计回归方法,实质上是改善的普通最小二乘法,它通过引入一个正数改进正规方程组,提供有偏估计方法消除共线影响,损失无偏性换取高数值稳定性。岭回归基本思路是给奇异矩阵 $X^T X$ 加上一个正常数矩阵 $kI$ ,以改善其奇异性,从而得到岭估计系数,表达式为<sup>[29]</sup>:

$$\hat{\beta}(k) = (X^T X + kI)^{-1} X^T Y \quad (4)$$

式中: $Y$ 为因变量, $\hat{\beta}(k)$ 为岭估计系数,当 $k=0$ 时即为普通最小二乘估计;当 $k \rightarrow \infty$ 时,岭估计系数则趋于0。 $k$ 值越小,表明岭回归偏差越小,计量结果越接近于最小二乘法的无偏估计。本文中的回归模型如下:

$$y = \rho_0 + \rho_1 x_1 + \rho_2 x_2 + \rho_3 x_3 + \dots + \rho_i x_i + \varepsilon \quad (5)$$

式中: $y$ 为被解释变量,在本文中指高速公路交通流量; $x_i$ 为自变量,即影响高速公路交通流的各项因素; $\rho_i$ 为自变量的参数; $\rho_0$ 为截距; $\varepsilon$ 为扰动项。

## 2 广东省高速公路交通流时空分布格局

### 2.1 高速公路交通流空间分布格局

#### 2.1.1 基于路段尺度的交通流空间分布格局

##### (1) 高速公路交通流整体空间分布特征

整体上看,广东省高速公路机动车小型化、轻量化特征显著。其中高速公路客运结构较为单一,旅客出行对小汽车的依赖性较强,巴士公共交通出

行分担率不高,表现为小汽车路段平均车流量为3877辆,占据车流总量的69.5%和客车流量的97.8%,而小巴、中巴与大巴车的路段平均车流量共89辆,在客车中占比仅2.2%。高速公路货运结构中轻型货车占据主导,其路段平均车流量为958辆,占比货车流量的59.5%;其次为中型货车,路段平均车流量为500辆,占比货车流量的31.1%。广东省高速公路上的重型货车数量较少,路段平均车流量仅152辆。

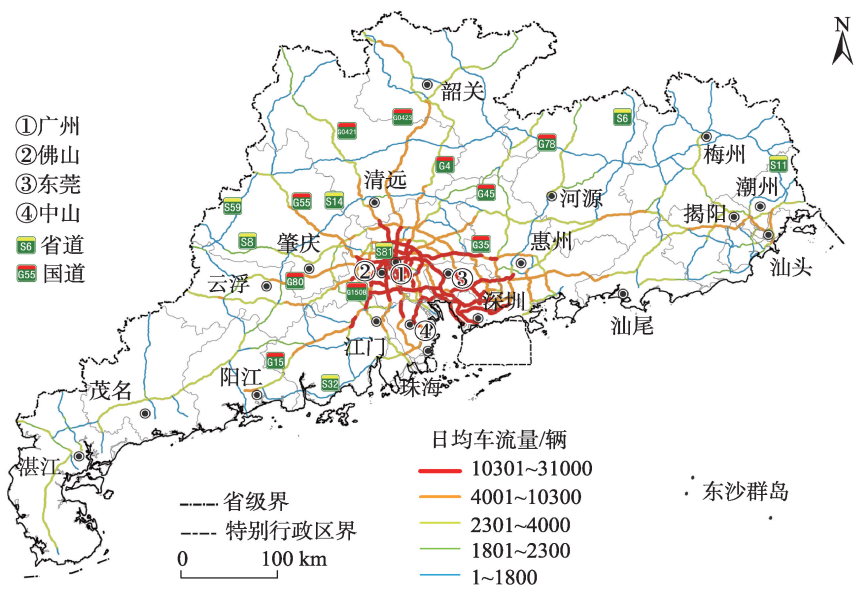
依据自然断点法将全类型车流量数值分为5级,可视化结果如图2。广东省高速公路交通流空间分布特征如下:①车流量较高的路段集中在珠三角城市群,以广州环城高速为中心,向外围尤其是珠三角城市群东线方向扩散。此外,车流量高值路段分布范围相对较小,集中在广州市、佛山市、东莞市和深圳市等,上述区域经济发达,人口集中,且路网密度较高。车流量低值路段广泛分布在粤北、粤东和粤西。②车流量较高的路段多属于国家级高速公路,尤其是广州段和深圳段,如G0423乐广高速(广州段)、G0421许广高速(广州段)和G55二广高速(广州段);G15沈海高速(深圳段)和G4京港澳高速(广州至深圳段)等。车流量低值路段集中于区域北部和沿海的几条横向省级高速公路,如S14汕湛高速(肇庆至清远段)、S32西部沿海高速等;区域东、西部的几条纵向省级高速公路,如S6广龙高速(河源段)、S11大潮高速、S59怀阳高速等。

##### (2) 客车流与货车流的空间分布差异性

广东省高速公路客车流空间格局显示(图3),珠三角城市群成为省内主要的小型客车集聚区,中大型客车则以“高速公路内环”——S81广州环城高速为核心向外围扩散。具体而言,小汽车、小巴车流量高值路段存在明显的空间集聚特征,表现为珠三角城市群车流密集,外围粤东西北区域车流普遍较低。中巴和大巴的空间分布格局呈差异化特征,中巴车流量高值路段除珠三角外,沿G15沈海高速向西南沿海方向扩散,沿G35济广高速和G80广昆高速向东西两侧扩散;大巴车流量高值路段在此基础上跨越范围更广,且沿G0421许广高速向西北方向延伸,呈现以广州环城高速为核心,G15、G0421、G80和G35等国家级高速公路为轴线的放射状空间格局。

广东省高速公路货车流空间格局显示(图4),车型规格(载货规模)越小,货车空间运输路径越集中;





注：本图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)3333号的标准地图制作，底图无修改。下同。

图2 广东省高速公路交通流的空间分布格局

Fig.2 Spatial distribution pattern of expressway traffic flows in Guangdong Province

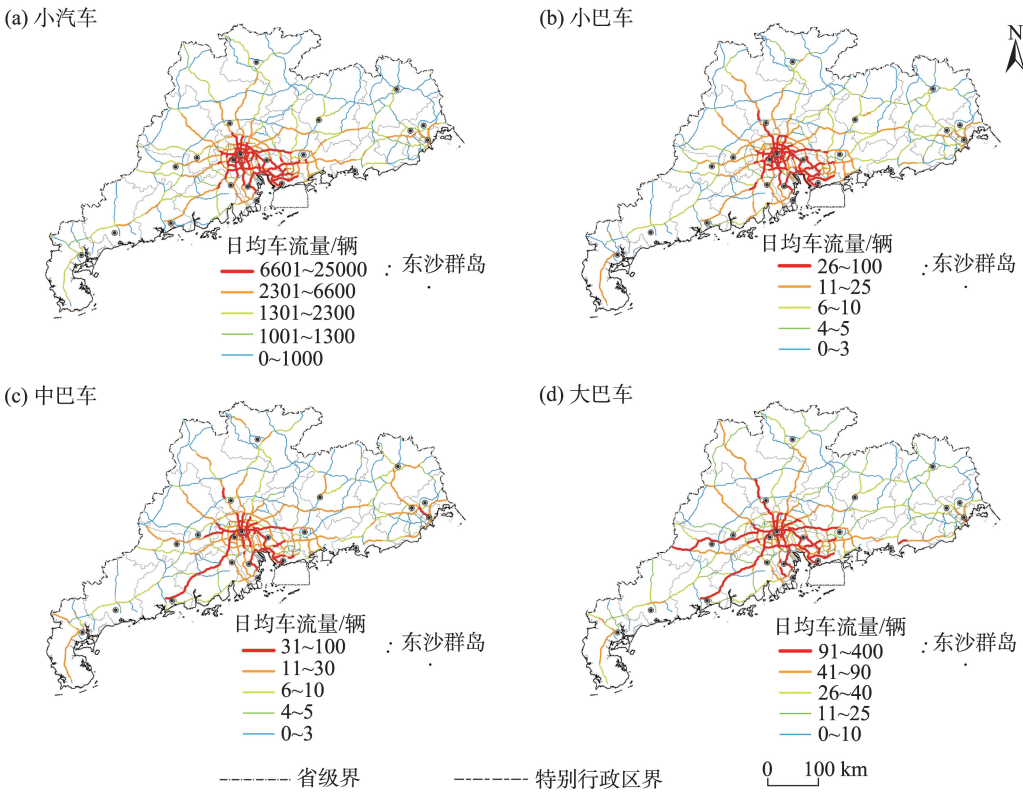


图3 广东省高速公路客车流的空间分布格局

Fig.3 Spatial distribution patterns of expressway passenger flows in Guangdong Province

此外，“高速公路外环”——G1508广州绕城高速以内城区成为中重型货运“空心区”。具体而言，轻型货车空间分布格局和小汽车较为相似，车流量高值路段分布在以广州、深圳为核心的珠三角城市群，城市群外无明显高值集聚路段，表明广东省轻型货车多服务于珠三角城市群内短途货物运输。与之

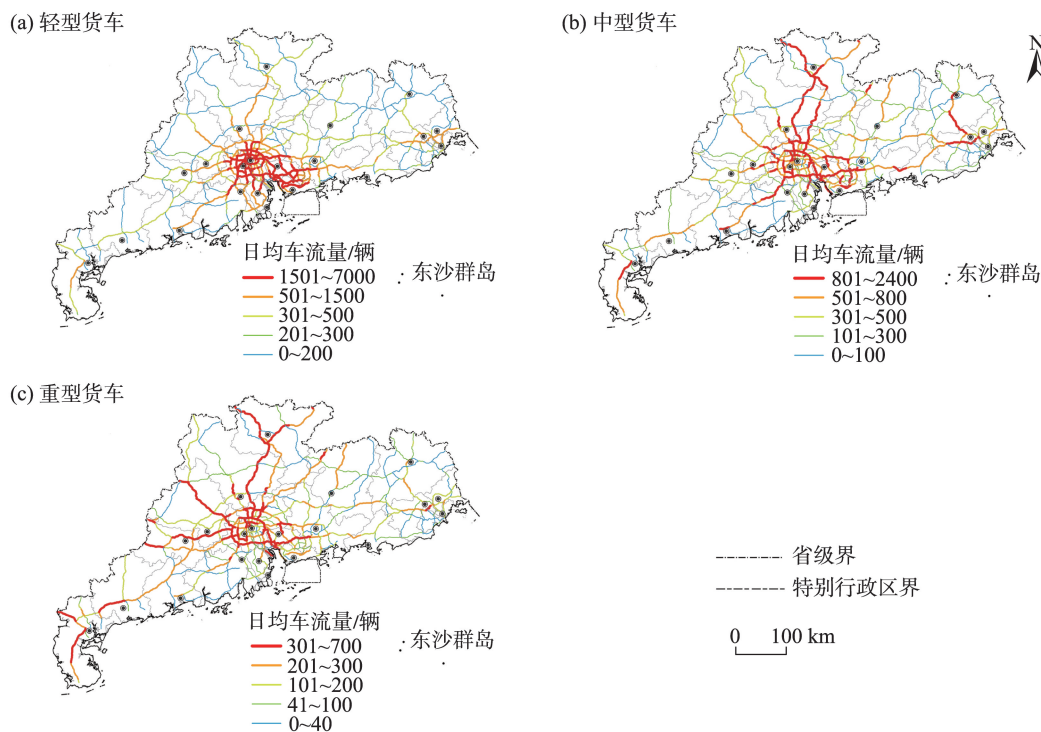


图4 广东省高速公路货车流的空间分布格局

Fig.4 Spatial distribution patterns of expressway freight flows in Guangdong Province

相比,中型货车呈现差异化的空间分布格局,在珠三角城市群之外出现了长距离、连续的车流量高值路段,如纵贯粤北的G0423乐广高速、与乐广高速并行的G4京港澳高速,全路段车流量普遍高于800辆,G78汕昆高速(粤东段,连接梅州与潮汕地区)车流量亦相对较高,该路段也是汕昆高速少有的车流密集路段。同时,广州绕城高速以内区域货车流开始减少。重型货车车流量高值路段在中型货车的基础上向湖南、广西方向扩散,形成以广州绕城高速为核心,以G0423乐广高速、S8广佛肇高速和G55二广高速等为轴线的重型货运通道,而广州绕城高速以内的广州市和佛山市城区范围内重型货车相对较少。

#### 2.1.2 基于地市尺度的交通流空间分布格局

地市尺度上,广东省高速公路交通流呈现“广深双核—莞佛两翼”的空间分布格局(图5)。高速公路全类型车流、客车流的空间分布格局较为一致,车流密集区均分布在广州市、深圳市这两个重要的高速公路交通枢纽,形成双核心模式。车流次密集区为邻近广深的东莞市、佛山市,珠三角城市群以外地市车流量均相对较少,而汕头市则成为粤东西北少数车流量相对密集的地市之一。货车流也以广深两市为核心车流密集区,而车流次密集区则从

“莞佛惠”延伸至清远市、江门市,尤其清远市,成为广东省与内陆省份之间的重要货运门户。货车流在粤东地区的“梅揭汕”形成了单独的车流密集区,梅州市作为“广东—福建—江西”三省交界处,成为粤东地区的货运枢纽。此外,地处珠三角城市群的珠海市,其各类车流量均相对较低。

#### 2.2 高速公路交通流时间变化趋势

广东省高速公路车流整体上随时间推移呈“驼峰曲线”态势(图6),其“双高峰”分布在上午9:00和下午17:00,且17:00为全天“最高峰”,路段平均车流量为2375辆;“次高峰”9:00的路段平均车流量为2180辆。“双高峰”之间的车流量“相对凹谷”为中午12:00。此外,广东省高速公路全天路段平均车流量“最低谷”出现在凌晨3:00,车流量仅327辆,其相邻时间段1:00~5:00,车流量均相对较低。

分类型看,在广东省高速公路客车流中,小汽车流对时间变化的敏感度最高,其日内车流变动趋势和上述全类车基本一致,均呈“驼峰曲线”。小巴和中巴车流量均相对较低,且车流量日内浮动较小,随时间变动趋势大体相同;大巴车流量在早上6:00~7:00时段内迅速增加1倍,且7:00~18:00(白天时段)路段平均车流量均相对较高,未出现明显的午间车流回落现象。在广东省高速公路货车中,载

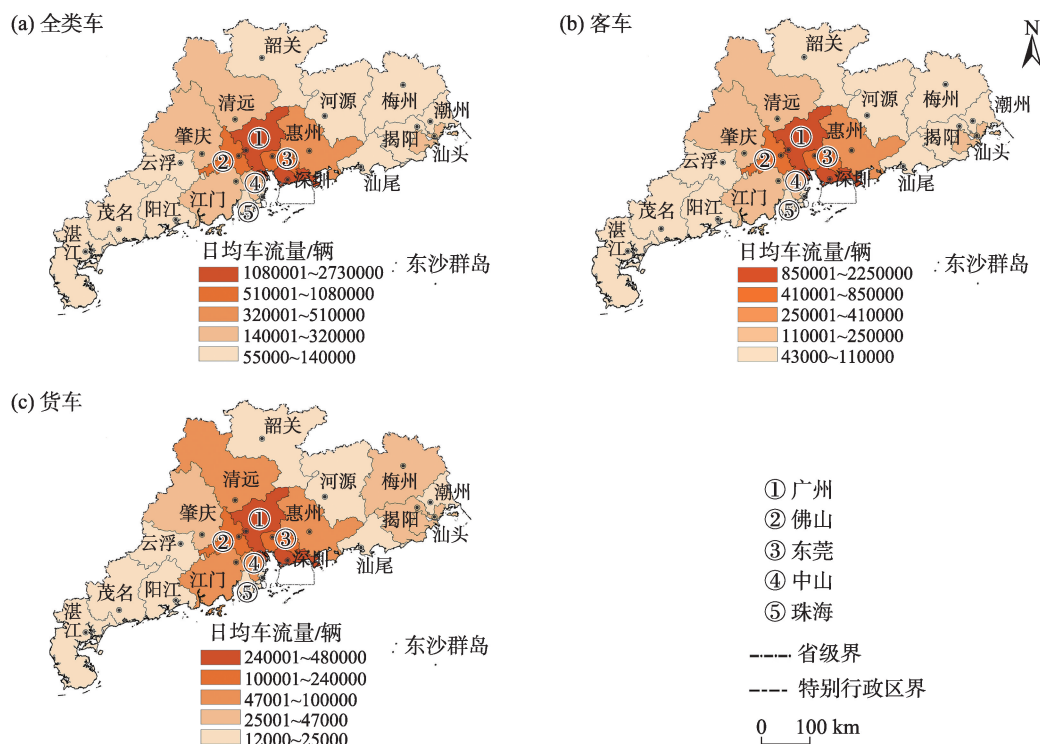


图5 地市尺度下广东省高速公路交通流的空间分布格局

Fig.5 Spatial distribution patterns of expressway traffic flows in Guangdong Province at the prefecture level

货规模越大,日内车流量越为平稳,对时间的敏感性及变化响应最弱。具体而言,高速公路货车流随时间变化的趋势可归纳总结为以下3种:①驼峰曲线型。如轻型货车,其车流日变动趋势与全类车大致相同,但峰谷更为紧凑,全天“最高峰”提前至下午15:00,路段平均车流量超过400辆,“次高峰”延迟至上午10:00,“相对凹谷”延迟至下午13:00,而全天“最低谷”同样在凌晨3:00,路段平均车流量低于80辆。②睡眠曲线型。该曲线的拐点分布与人类正常睡眠时间类似,中型货车属于该种类型。以早上7:00为界,7:00~23:00路段车流量普遍较高,无明显高值低谷;而23:00以后车流量开始减少,至凌晨3:00降至最低。③平稳均衡型。如重型货车,全天24 h车流量无明显变化,路段日均车流量稳定在25辆左右。

### 3 高速公路交通流影响因素分析

#### 3.1 高速公路交通流影响因子的选择

本文从经济发展、人口规模、产业发展、消费水平、基础设施建设、交通发展6个维度选取相关变量,构建高速公路交通流影响因子体系(表2)。因变

量即高速公路交通流量,即进出各地市的车流总量(包括客车、货车流量)。自变量体系中,地区生产总值是衡量城市经济规模的常用指标,经济发展会提高交通基础设施的供给能力<sup>[30]</sup>,并刺激客货运需求。相比常住人口指标,接待过夜旅游者人数能有效反映旅游客运需求。旅游人数越多,交通客运需求相应增加,城市交通客流愈加频繁<sup>[31]</sup>。工业总产值、旅游业及服务业收入水平是表征第二产业、第三产业发展的重要指标。有研究表明,产业集聚发展可促使区域构建密集而丰富的交通基础设施<sup>[32]</sup>。近年来消费逐渐成为刺激区域间交通流动的强大动力<sup>[33]</sup>,因此,选取社会消费品零售总额用以评估城市消费水平。此外,本文基于相关理论成果<sup>[25]</sup>,以高速公路路网密度指标衡量区域基础设施建设水平。在交通发展维度选择5项指标,其中客货车保有量和客货运量直接影响交通流量;城市交通运输业固定资产投资则影响路网建设与维护、交通配套设施建设等<sup>[34]</sup>。

#### 3.2 高速公路交通流影响因子定量分析

基于SPSSPRO软件绘制岭迹图(图7)。量化结果显示,高速公路全类车流、客车流和货车流影响因素岭回归的 $k$ 值均为0.114,趋近于0,表明回归分



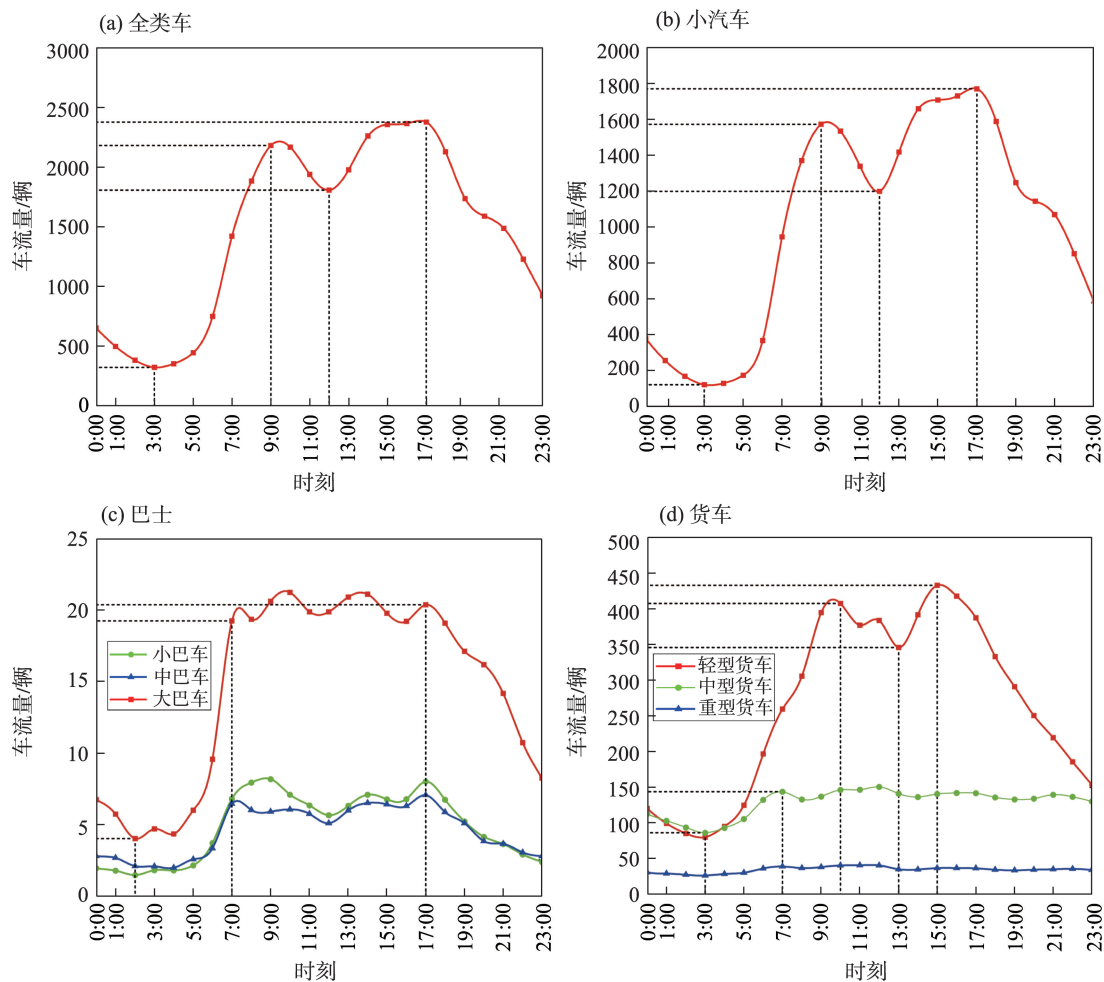


图6 广东省高速公路交通流的时间变化趋势

Fig.6 Temporal variations of expressway traffic flows in Guangdong Province

表2 高速公路交通流影响指标体系

Tab.2 Indicator system for the influencing factors of expressway traffic flows

一级指标			变量表示	二级指标	一级指标			变量表示	二级指标
经济发展			GDP	GDP(亿元)	基础设施建设			HD	高速公路路网密度
人口规模			Tri	接待过夜旅游者人数(万人次)	交通发展因素			TFAI	交通运输业固定资产投资额(亿元)
产业发展			Ind	工业总产值(亿元)				PC	载客汽车保有量(辆)
			Tou	旅游业收入(亿元)				FC	载货汽车保有量(辆)
			Ser	规模以上服务业营业收入(亿元)				PV	客运量(万人次)
消费水平			RSCG	社会消费品零售总额(亿元)				FV	货运量(万 t)

析整体偏差较小,结果可信。 $F$ 值检验结果显示(表3),高速公路交通流岭回归模型通过了显著性检验( $P<0.001$ ),变量之间存在回归关系;其中全类车流回归模型、客车流回归模型与货车流回归模型的 $R^2$ 均高于0.95,趋近于1,模型拟合效果较好。

基于全类型车流回归结果(表4),工业总产值、高速公路路网密度、客运量及货运量未能通过显著性检验,货车保有量通过10%的显著性水平检验,

其余指标均通过1%的显著性水平检验,且均与高速公路交通流呈正相关。在客车流的回归结果中,工业总产值、高速公路路网密度、货车保有量、客运量及货运量未能通过显著性检验,交通运输业固定资产投资额通过5%的显著性水平检验,其余指标均通过1%的显著性水平检验,且均与高速公路客车流呈正相关。在货车流的回归结果中,工业总产值、高速公路路网密度、旅游业收入、规模以上服务

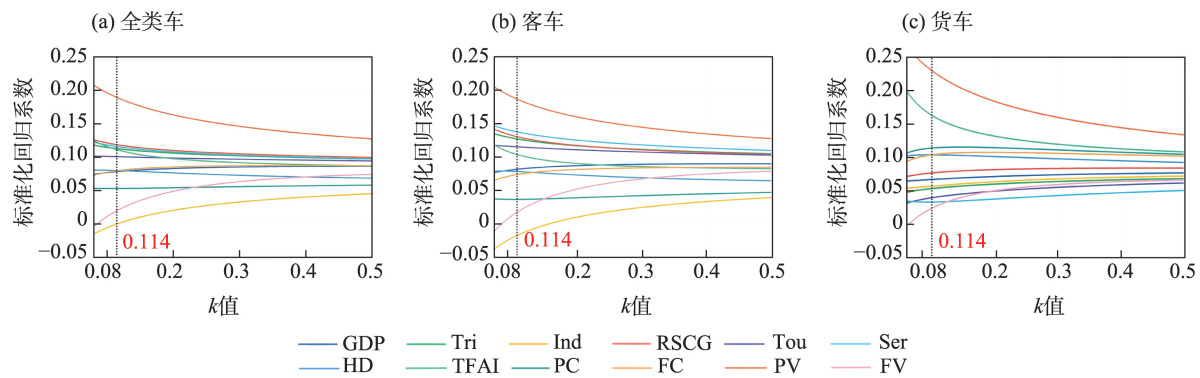


图 7 高速公路交通流影响因素岭迹图  
Fig.7 Impact factor ridge traces of expressway traffic flows

表 3 岭回归效度检验  
Tab.3 Results of ridge regression validity test

分类	$k$	$R^2$	调整 $R^2$	$F$
全类车	0.114	0.987	0.969	52.519 ( $P < 0.001$ )
客车	0.114	0.987	0.968	51.009 ( $P < 0.001$ )
货车	0.114	0.985	0.962	43.534 ( $P < 0.001$ )

表 4 高速公路交通流影响因素岭回归结果  
Tab.4 Ridge regression results of factors influencing expressway traffic flows

变量	全类车		客车		货车	
	标准化系数 $\beta$	$P$	标准化系数 $\beta$	$P$	标准化系数 $\beta$	$P$
GDP	0.077	0.001***	0.080	0.001***	0.067	0.005***
Tri	0.112	0.002***	0.124	0.001***	0.054	0.091*
Ind	-0.001	0.972	-0.018	0.676	0.057	0.231
RSCG	0.118	0.004***	0.126	0.003***	0.077	0.042**
Tou	0.099	0.001***	0.112	0.001***	0.041	0.113
Ser	0.115	0.005***	0.134	0.002***	0.033	0.354
HD	0.079	0.159	0.075	0.183	0.103	0.101
TFAI	0.110	0.008***	0.099	0.015**	0.155	0.002***
PC	0.188	0.004***	0.182	0.005***	0.105	0.044**
FC	0.078	0.087*	0.072	0.115	0.114	0.024**
PV	0.018	0.711	0.018	0.713	0.029	0.586
FV	0.052	0.202	0.034	0.401	0.220	0.003***

注：\*\*\*、\*\*、\*分别表示通过 1%、5%、10% 的显著性水平检验。

业企业营业收入及客运量未能通过显著性检验,接待过夜旅游者人数通过 10% 的显著性水平检验,社会消费品零售总额、客车保有量、货车保有量通过 5% 的显著性水平检验,其余指标均通过 1% 的显著性水平检验,且均与高速公路货车流呈正相关。

综合时空分析和岭回归结果,归纳广东省高速公路交通流形成机理。① 全类型车流、客车流的影响因素存在共性,均受服务业发展、城市消费水平和旅游规模等影响,表明现阶段第三产业发展是影

响广东省高速公路运输规模的核心因素。广东省高速公路客运主要满足中短程旅游、城市群区域居民跨市通勤和商务出行等方面需求。随着乡村旅游和海岛旅游的兴起,广东省东西部沿海区域、粤北山区等成为珠三角的“后花园”,高速公路凭借效率高、耗时少的特点成为居民短线旅游的主要选择。如 G15 沈海高速(广州至江门段),在上下川岛屿旅游吸引下,成为广东省典型的连续型客流密集路段。同时,在珠三角一体化发展助推下,城市群

内部各地市服务业(商业服务、金融贸易、快递物流等)往来愈加频繁,高速公路也成为城市之间经济社会联系的重要渠道。②工业总产值在所有回归分析中均未通过显著性检验,表明工业发展水平与高速公路全类型车流、客流和货流的关联性均较小。在后工业化时期,工业集聚和生产规模化等需求不再成为广东省高速公路运输业发展的主导力量。伴随着工业化发展,生产效率逐渐提高,生产要素需求 and 产品销量增加,该阶段中公路交通的高速化建设主要服务于企业集聚发展、工业制品高效运输等需求。而在广东省,尤其车流最密集的珠三角城市群,现处于后工业化时期,产业结构逐渐向服务业转型,消费结构从工业制成品逐渐转向服务型商品。在此背景下,较之工业,服务业发展对高速公路交通流的刺激作用更强。这一点在以江苏省为案例区的研究中也得以验证<sup>[25]</sup>,江苏省与广东省服务业规模相当、经济结构相似,量化分析结果亦表明,第三产业发展因素对高速公路交通流的解释力较强,是影响江苏省交通流地域分布差异性的重要因素。③在货车流回归结果中,交通运输业固定资产投资额标准化系数最高,为0.155,表明资本投入对广东省高速公路货运发展具有显著推动作用。交通固定资产投资是社会经济发展的先行资本,在“新基建”发展背景下,地区的投融资能力、投资规模被认为是智慧交通基础设施发展的正向主导因素。2022年广东省高速公路完成固定资产投资近1000亿元规模,除高速路网建设外,收费门架、服务区新能源充电站等配套设施不断完善,未来发挥交通固定资产投资的“乘数效应”,打造高效便捷的数字化货运通道,成为新时期广东省高速公路运输业高质量发展的重要途径。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

(1)广东省高速公路机动车小型化、轻量化特征显著。高速公路旅客出行对小汽车的依赖性较强,巴士公共交通出行分担率不高;货运结构以轻型货车占据主导。空间分布上看,广东省高速公路交通流呈空间非均衡分布特征,交通流密集路段集中在珠三角城市群,以广州环城高速、广州绕城高速为核心“双环”,沿G0423乐广高速、G4京港澳高速等国家级高速公路,向外围呈放射状扩散。其

中,客车流围绕“内环”——广州环城高速为核心向外扩散;货车流则围绕“外环”——广州绕城高速为核心扩散。地市尺度上,高速公路交通流呈现“广深双核—莞佛两翼”的空间分布格局。

(2)时间分布上看,广东省高速公路交通流随时间变化呈“驼峰曲线”态势,其“双高峰”分布在上午9:00和下午17:00,且17:00为全天车流“最高峰”,车流“最低谷”出现在凌晨3:00。所有车型中,小汽车对时间变化的敏感度最高;轻型至重型3类货车,载货规模越大,日内车流量越为平稳,对时间的敏感性变化响应最弱。

(3)岭回归结果显示,广东省高速公路交通流主要受机动车保有量、社会消费水平和服务业发展等因素影响。客车保有量、服务业发展等对客车流影响较深;货车流则主要受货运量和交通固定资产投资规模影响。此外,工业发展水平、路网密度等对高速公路客货流的影响相对较弱。

### 4.2 讨论

基于高分辨率车流轨迹数据探索交通流的时空分布规律是交通地理学研究的前沿。在“新基建”驱动下,交通运输业逐渐迈向车流数字化、路网数字化的智慧发展之路。城市轨道交通、大数据中心、电子客票信息系统等交通新型基础设施建设,在提升交通运输便捷性、时效性的同时,亦为地理学研究带来了多源数据,为交通流规律探索引入了创新视角。高速公路联网收费系统数据具有海量性、动态性与多维性特征,能采集到车辆在高速公路路段上不间断、实时、连续的时空信息<sup>[12-13]</sup>。在以往研究基础上,本文通过大数据挖掘方法,进一步将联网收费数据的空间精度拓展到路段尺度、时间粒度细分为小时级别、车辆类型延伸至全类客货,丰富了高速公路交通流研究方法体系。相比以往研究所采用的城市之间、收费站点之间的车流数据<sup>[33]</sup>,路段尺度车流更贴合机动车行驶的真实空间轨迹;较之全类车流数据汇总分析,对客运与货运机动车进行分类更有利于深入探索交通运输业和其他产业之间的关联性,对于交通流时空演变规律、交通网络结构、交通经济和环境外部性研究均具有借鉴意义。

受限于数据量级等客观原因,本文仅聚焦高速公路车流量的日内变化规律,对于车流月间变化、季度变化和年际变化等尚待进一步探索。未来将不断提升大数据处理能力,以期在高速公路交通流时空演变规律与机理研究等领域取得突破。



## 参考文献(References)

- [1] 王姣娥, 杜德林, 金凤君. 多元交通流视角下的空间级联系统比较与地理空间约束 [J]. 地理学报, 2019, 74(12): 2482-2494. [Wang Jiao'e, Du Delin, Jin Fengjun. Comparison of spatial structure and linkage systems and geographic constraints: A perspective of multiple traffic flows. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2482-2494. ]
- [2] 金凤君, 王成金, 王姣娥, 等. 新中国交通运输地理学的发展与贡献 [J]. 经济地理, 2009, 29(10): 1588-1593, 1676. [Jin Fengjun, Wang Chengjin, Wang Jiao'e, et al. Development and contribution of transportation geography since 1949. *Economic Geography*, 2009, 29(10): 1588-1593, 1676. ]
- [3] 金凤君, 陈卓. 1978年改革开放以来中国交通地理格局演变与规律 [J]. 地理学报, 2019, 74(10): 1941-1961. [Jin Fengjun, Chen Zhuo. Evolution of transportation in China since reform and opening-up: Patterns and principles. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(10): 1941-1961. ]
- [4] 王成金. 中国高速公路网的发展演化及区域效应研究 [J]. 地理科学进展, 2006, 25(6): 126-137. [Wang Chengjin. Regional impact and evolution of express way networks in China. *Progress in Geography*, 2006, 25(6): 126-137. ]
- [5] 柯文前, 陈伟, 杨青. 基于高速公路流的区域城市网络空间组织模式: 以江苏省为例 [J]. 地理研究, 2018, 37(9): 1832-1847. [Ke Wenqian, Chen Wei, Yang Qing. Uncovering spatial organization patterns of regional city networks from expressway traffic flow data: A case study of Jiangsu Province, China. *Geographical Research*, 2018, 37(9): 1832-1847. ]
- [6] Xiao M M, Cai K Q, Abbass H A. Hybridized encoding for evolutionary multi-objective optimization of air traffic network flow: A case study on China [J]. *Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review*, 2018, 115: 35-55.
- [7] Zhang F, Ning Y M, Lou X Y. The evolutionary mechanism of China's urban network from 1997 to 2015: An analysis of air passenger flows [J]. *Cities*, 2020, 109(6): 103005. doi: 10.1016/j.cities.2020.103005.
- [8] 杨浩然, 王潇萌, 张钦然, 等. 基于航空和高铁流的中国城市网络格局及演化 [J]. 地理科学, 2022, 42(3): 436-445. [Yang Haoran, Wang Xiaomeng, Zhang Qinran, et al. Pattern characteristics and dynamic evolution of urban network development in China based on the comparison between high-speed rail and airline flows. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(3): 436-445. ]
- [9] Gao D, Li S C. Spatiotemporal impact of railway network in the Qinghai-Tibet Plateau on accessibility and economic linkages during 1984-2030 [J]. *Journal of Transport Geography*, 2022, 100: 103332. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2022.103332.
- [10] Liu C L, Wang J Q, Zhang H. Spatial heterogeneity of ports in the global maritime network detected by weighted ego network analysis [J]. *Maritime Policy & Management*, 2018, 45(1): 89-104.
- [11] 郭建科, 侯雅洁, 何瑶. “一带一路”背景下中欧港口航运网络的演化特征 [J]. 地理科学进展, 2020, 39(5): 716-726. [Guo Jianke, Hou Yajie, He Yao. Characteristics of change of the China-Europe port shipping network under the Belt and Road Initiative. *Progress in Geography*, 2020, 39(5): 716-726. ]
- [12] 靳诚, 徐菁, 黄震方, 等. 基于高速公路联网收费数据的江苏省交通流动特征与影响因素 [J]. 地理学报, 2018, 73(2): 248-260. [Jin Cheng, Xu Jing, Huang Zhenfang, et al. Regional traffic flow and its influencing factors based on expressway network toll collection data: A case study in Jiangsu Province. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(2): 248-260. ]
- [13] 黄震方, 陈娱, 黄睿, 等. 江苏省高速公路的客流空间格局与网络组团结构: 基于联网收费大数据分析[J]. 地理科学, 2021, 41(6): 998-1008. [Huang Zhenfang, Chen Yu, Huang Rui, et al. Spatial distribution and network community structure of expressway car flow in Jiangsu Province based on big data analysis of toll collection. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(6): 998-1008. ]
- [14] 赵珍珍, 柯文前, 杨青. 区域高速公路交通流时空特征解析: 以江苏省为例 [J]. 经济地理, 2016, 36(2): 53-58. [Zhao Zhenzhen, Ke Wenqian, Yang Qing. Exploring the spatial-temporal characteristic of traffic flow for Jiangsu Province expressway. *Economic Geography*, 2016, 36(2): 53-58. ]
- [15] 韩瑞玲, 李玲玲, 姚海芳. 中国客运航空网络节点结构及其外部性因素的空间异质性研究 [J]. 世界地理研究, 2022, 31(5): 967-977. [Han Ruiling, Li Lingling, Yao Haifang. Study on node structure and spatial heterogeneity of external factors in China's passenger aviation network. *World Regional Studies*, 2022, 31(5): 967-977. ]
- [16] 李鹏, 张梦娜, 虞虎, 等. 中国高铁网络演化引导的短时旅游空间扩展效应 [J]. 经济地理, 2022, 42(10): 193-200. [Li Peng, Zhang Mengna, Yu Hu, et al. Spatial expansion effect of short-term tourism based on the development of Chinese high-speed rail. *Economic Geography*, 2022, 42(10): 193-200. ]
- [17] Wen K Y, Xie J M, Chen A, et al. Empirical analysis of scaled mixed itinerary-size weibull model for itinerary

- choice in a schedule-based railway network [J]. *Transportmetrica A: Transport Science*, 2022, 18(3): 934-962.
- [18] 王姣娥, 焦敬娟, 黄洁, 等. 交通发展区位测度的理论与方法 [J]. *地理学报*, 2018, 73(4): 666-676. [Wang Jiao'e, Jiao Jingjuan, Huang Jie, et al. Theory and methodology of transportation development and location measures. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 666-676. ]
- [19] 陈伟, 刘卫东, 柯文前, 等. 基于公路客流的中国城市网络结构与空间组织模式 [J]. *地理学报*, 2017, 72(2): 224-241. [Chen Wei, Liu Weidong, Ke Wenqian, et al. The spatial structures and organization patterns of China's city networks based on the highway passenger flows. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(2): 224-241. ]
- [20] 廖创场, 李晓明, 洪武扬, 等. 交通流空间视角下粤港澳大湾区网络结构多维测度 [J]. *地理研究*, 2023, 42(2): 550-562. [Liao Chuangchang, Li Xiaoming, Hong Wuyang, et al. Multi-dimensional measurement of network structure of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area from the perspective of traffic flows space. *Geographical Research*, 2023, 42(2): 550-562. ]
- [21] 李宇, 李涛, 邱孟龙, 等. 基于交通流的关中城市群城际交互对城市空间增长的影响 [J]. *人文地理*, 2023, 38(1): 147-157. [Li Yu, Li Tao, Qiu Menglong, et al. Impact of intercity interaction on urban space growth in the Guanzhong Plain urban agglomeration based on traffic flows. *Human Geography*, 2023, 38(1): 147-157. ]
- [22] 金凤君. 以“新基建”为牵引促进东北地区融合创新发展 [J]. *学习与探索*, 2021(1): 120-124. [Jin Fengjun. Promoting the integration, innovation and development of Northeast China with the traction of "new infrastructure". *Study & Exploration*, 2021(1): 120-124. ]
- [23] 中华人民共和国交通运输部. 交通运输部关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见 [EB/OL]. 2020-08-03 [2023-02-23]. [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202008/06/content\\_5532842.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202008/06/content_5532842.htm). [Ministry of Transport of the People's Republic of China. Guiding Opinions of the Ministry of Transport on Promoting the Construction of New Infrastructure in the Field of Transportation. 2020-08-03 [2023-02-23]. [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202008/06/content\\_5532842.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202008/06/content_5532842.htm). ]
- [24] 陈卓, 金凤君, 杨宇, 等. 高速公路流的距离衰减模式与空间分异特征: 基于福建省高速公路收费站数据的实证研究 [J]. *地理科学进展*, 2018, 37(8): 1086-1095. [Chen Zhuo, Jin Fengjun, Yang Yu, et al. Distance-decay pattern and spatial differentiation of expressway flow: An empirical study using data of expressway toll station in Fujian Province. *Progress in Geography*, 2018, 37(8): 1086-1095. ]
- [25] 周健, 靳诚, 李平星. 基于高速公路流的江苏省交通网络地域分异及影响因素 [J]. *中国科学院大学学报*, 2022, 39(1): 64-73. [Zhou Jian, Jin Cheng, Li Pingxing. Regional differentiation and its influencing factors of traffic network in Jiangsu Province based on the expressway flow. *Journal of University of Chinese Academy of Sciences*, 2022, 39(1): 64-73. ]
- [26] Shen G Q, Zhou L, Aydin S G. A multi-level spatial-temporal model for freight movement: The case of manufactured goods flows on the U.S. highway networks [J]. *Journal of Transport Geography*, 2020, 88: 102868. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2020.102868.
- [27] 雷菁, 钟业喜, 冯兴华, 等. 基于交通信息流的长江经济带城市中心性及其影响因素 [J]. *经济地理*, 2021, 41(8): 97-105. [Lei Jing, Zhong Yexi, Feng Xinghua, et al. Urban centrality and its influencing factors in the Yangtze River economic belt based on traffic and information flow. *Economic Geography*, 2021, 41(8): 97-105. ]
- [28] 郭源园, 李莉. 西部内陆省区区域差异影响因素: 以重庆为例 [J]. *地理研究*, 2017, 36(5): 926-944. [Guo Yuanyuan, Li Li. Influencing factors of regional economic inequality in inland provinces of Western China: A case study of Chongqing. *Geographical Research*, 2017, 36(5): 926-944. ]
- [29] 何秀丽. 多元线性模型与岭回归分析 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2005. [He Xiuli. Research on multivariate linear model and ridge regression. Wuhan, China: Huazhong University of Science & Technology, 2005. ]
- [30] 张佩, 王姣娥, 肖凡. 中国新基建发展的时空演变及驱动因素 [J]. *地理科学进展*, 2023, 42(2): 209-220. [Zhang Pei, Wang Jiao'e, Xiao Fan. Spatial evolution and determinants of new infrastructure development in China. *Progress in Geography*, 2023, 42(2): 209-220. ]
- [31] 王兆峰, 余含. 基于交通改善的湘西旅游城镇化响应时空分异与机制研究 [J]. *经济地理*, 2013, 33(1): 187-192. [Wang Zhaofeng, Yu Han. Spati-temporal difference and mechanism of tourism urbanization in Xiangxi based on transport's improvement. *Economic Geography*, 2013, 33(1): 187-192. ]
- [32] 贺灿飞, 任卓然, 叶雅玲. 中国产业地理集聚与区域出口经济复杂度 [J]. *地理研究*, 2021, 40(8): 2119-2140. [He Canfei, Ren Zhuoran, Ye Yaling. Industrial agglomeration and economic complexity of regional exports in China. *Geographical Research*, 2021, 40(8): 2119-2140. ]
- [33] 李苑君, 吴旗韬, 张玉玲, 等. “流空间”视角下高速公路交通流网络结构特征及其形成机制: 以广东省为例 [J]. *地理研究*, 2021, 40(8): 2204-2219. [Li Yuanjun, Wu Qitao, Zhang Yuling, et al. Spatial structure and formation

mechanism of expressway traffic flow network based on space of flows: A case study of Guangdong Province. *Geographical Research*, 2021, 40(8): 2204-2219. ]

[34] 郭朝先, 王嘉琪, 刘浩荣. “新基建”赋能中国经济高质量发展的路径研究 [J]. *北京工业大学学报(社会科学*

版), 2020, 20(6): 13-21. [Guo Chaoxian, Wang Jiaqi, Liu Haorong. Studies on how new infrastructure empowers high-quality development of China's economy. *Journal of Beijing University of Technology (Social Sciences Edition)*, 2020, 20(6): 13-21. ]

## Spatio-temporal pattern and formation mechanism of expressway traffic flows in Guangdong Province based on the online toll collection data

LI Yuanjun<sup>1</sup>, WU Qitao<sup>1\*</sup>, JIN Shuangquan<sup>2</sup>, FANG Shun<sup>2</sup>, YANG Dingnan<sup>3</sup>, LIANG Muxin<sup>1</sup>

(1. Guangzhou Institute of Geography, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510070, China;

2. Guangdong Provincial Transportation Planning and Research Center, Guangzhou 510101, China;

3. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** The implementation of the expressway new infrastructure project, integrated with an online toll collection system, has significantly advanced the intelligent development of expressways. It also improves the availability of a highly accurate digital map for analyzing the spatial and temporal characteristics of traffic flows. This study used the extensive dataset of origin-destination (O-D) traffic flows, obtained from the online toll collection system. By employing techniques such as big data mining and geospatial analysis, the study investigated the distribution patterns of expressway traffic flows at various scales and by different types in Guangdong Province. The ridge regression method was employed to identify the primary factors that influence traffic flows. The results are as follows: 1) It is evident that vehicles on the expressway in Guangdong exhibited notable characteristics of miniaturization and light weight. The passenger travel on expressways was predominantly reliant on cars, while the utilization of public transport (buses) was relatively low. Freight structure was primarily dominated by light-duty trucks. From a spatial perspective, the distribution of expressway traffic flows in Guangdong exhibited the characteristics of spatial unevenness. The road sections with high traffic flows were concentrated in the Pearl River Delta urban agglomeration, forming a distinct pattern of "double beltways" with the Guangzhou ring expressway and the Guangzhou bypass expressway as central hubs. This distribution pattern showed a radial diffusion feature, with traffic flows spreading outward along national expressways from central hubs towards the periphery. 2) The expressway traffic flows in Guangdong demonstrated a temporal variation characterized by a "hump curve", with the two peaks occurring at 9:00 a.m. and 17:00 p.m. Notably, cars were the most sensitive to changes in time. Among the three types of trucks, those with larger loading scales displayed more stable patterns and exhibited weaker sensitivity to time changes and slower response to fluctuations. 3) The results of ridge regression analysis indicate that the expressway traffic flows in Guangdong were primarily influenced by the vehicle possessing quantity, the level of resident consumption, and the development of the service industries. This study contributes to the expansion of the application of digital new infrastructure systems in the field of geography, while also bearing theoretical significance in enhancing our understanding of traffic activity patterns and enriching the theory of spatial transport links.

**Keywords:** online toll collection data; expressway traffic flows; new infrastructure; ridge regression; Guangdong Province