

施路, 杜国鹏, 庞鸿立, 王晓婷, 郑中阳, 李国旗. 2022. 中国城际公路零担专线网络空间结构特征. 热带地理, 42 (11): 1806-1815.

Shi Lu, Du Guopeng, Pang Hongli, Wang Xiaoting, Zheng Zhongyang and Li Guoqi. 2022. Urban Network Structures and Organization Models Based on the Road Less-Truck-Load Dedicated Line Data in China. *Tropical Geography*, 42 (11): 1806-1815.

中国城际公路零担专线网络空间结构特征

施路¹, 杜国鹏^{2a}, 庞鸿立^{2b}, 王晓婷^{2c}, 郑中阳^{2d}, 李国旗^{2a}

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 西南交通大学 a. 交通运输与物流学院; b. 土木工程学院;
c. 材料科学与工程学院; d. 电气工程学院, 成都 610031)

摘要: 基于社会网络分析方法, 利用国家交通运输物流公共信息平台 2018 年全国地级及以上城市的公路零担专线数据, 从城市节点、城际联系、子网络 3 个层面对中国城市网络结构特征进行识别, 结果表明: 1) 上海、天津、郑州、广州、杭州在网络中处于主导性地位, 根据货流组织系数, 可将城市节点划分为强中心、次强中心、弱中心、从属型 4 种类型。2) 在首位联系总量排名前十的城市中, 输出型城市和输入型城市的比例为 4:1, 反映货流流向的不均衡性。由公路零担专线数据刻画的网络空间呈现显著的距离衰减规律, 集中在 500 km 的专线数量占比为 41.9%。3) 公路零担专线网络形成东北—冀鲁蒙社区、中原社区、关中社区、江淮社区、泛珠三角—长三角社区、长株潭社区 6 个具有显著地域特征的城市社区, 社区结构表现出明显的空间集聚和跨行政区划特征。最后, 提出以下建议: 增强成渝城市群公路零担专线服务能力, 发挥核心城市产业集聚和带动作用; 优化边缘城市产业结构, 加强交通与产业融合; 积极引导无车承运人平台发挥网络规模化效应, 提高公路货运组织效率。

关键词: 公路零担专线; 节点; 城际联系; 社会网络; 距离衰减定律; 中国

中图分类号: F512

文献标志码: A

文章编号: 1001-5221(2022)11-1806-10

DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.003586

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



受全球化及交通、通信技术快速发展的影响, 人流、物流、信息流、资金流交互量和范围不断扩大。区域空间结构研究正逐步从中心地模式向网络模式转变 (Castells, 2010; Taylor et al., 2010; Chen et al., 2018)。当前采取“流”数据对城市网络进行的研究受到广泛关注, 侧重于从交通流 (杜德林等, 2019; 韩刚等, 2022)、通信流 (董超等, 2014)、金融流 (Zhang et al., 2020) 等视角揭示不同区域和尺度下的空间网络结构特征。交通运输作为城市间物质、能量交换的载体和重要表征指标 (张凡, 2016), 各种交通流量强度能够直观反映城市空间相互作用强弱和城市网络层级结构 (靳诚等, 2018; 王姣娥等, 2019)。在航空流方面, 国内外学者基于航空公司客流数据对中国和世界城市

体系的分布格局和演化机制进行探析 (Lee, 2009; Mahutga et al., 2010; Zhang et al., 2021); 在铁路流方面, 已有学者运用高铁客流大数据、列车时刻表数据对中国城市网络空间格局特征、等级结构和演化规律进行研究 (Matsumoto et al., 2016; Yang et al., 2018; 王海江等, 2019); 在公路流方面, 不同学者利用高速公路联网数据拟合区域城市网络联系, 并对网络的层级结构、组织模式、演化规律及其影响因素进行分析 (靳诚等, 2018; 柯文前等, 2018; 赵映慧等, 2020; 李苑君等, 2021)。总体上, 基于交通流的城市网络研究较为丰富, 但多集中于航空客流、铁路客流和公路客流。相较于客流, 货流与城市间生产分工联系更为紧密, 城际货流交互强度被认为是刻画区域生产消费格局和网络

收稿日期: 2021-12-14; **修回日期:** 2022-03-27

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42271195); 四川省科技厅软科学研究项目 (21RXX0635)

作者简介: 施路 (1984—), 女, 四川汶川人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为物流系统规划, (E-mail) xiaolu.shi@foxmail.com。

结构特征的重要依据（任梦瑶等，2020）。此外，受限于货流网络数据的可获性，从公路货流视角开展城市网络结构的研究尚不够系统，特别是对不同货流类表征的空间结构特征认识存在不足。

随着计算机和通讯技术的快速发展及应用，新兴数据源大量涌现，为流空间研究带来新的机遇。相比传统数据，大数据记录了高精度的人流（叶强等，2017）、物流（李国旗等，2017）、信息流（甄峰等，2012），为探讨节点联系、等级结构、网络演化规律及形成机制提供有效支撑。如在迁徙数据方面，赵梓渝（2017）、王录仓（2021）等基于百度迁徙数据、腾讯迁徙数据对中国城市网络进行拟合；在交通数据方面，高鑫（2021）、肖作鹏（2017）等分别根据高速公路联网数据、货车GPS数据对城市货流网络特征进行分析；在社交媒体数据方面，熊丽芳（2014）、陈映雪（2012）等利用百度指数数据、新浪微博关系数据探讨中国城市网络时空格局特征。基于交通流的网络研究多采用数据获取便利的重力模型（金凤君，2001；周一星等，2002）和参数替代（Taylor et al., 2002; Krätke, 2013）的研究方法，难以全面和真实地反映并刻画空间网络中流的实际规律。

专线运输是指在2个特定城市节点间以公路、铁路、航空等方式运输货物的第三方运输服务模式（许金花等，2007）。按照专线运输和《道路运输术语》（GB/T8226-2008）（中华人民共和国交通运输部，2008）对公路零担运输的定义：公路零担专线是指在2个特定城市节点间以公路方式将若干件符合体积、重量和包装规定的货物组合拼装成整车，并对每件货物分别按重量和体积计算运费运输货物的第三方运输服务模式。近年来，物流订单呈现小批量和碎片化的发展态势，点点直达的公路零担专线市场逐渐成为物流运输市场最活跃的细分市场（戴敏韬等，2021），但公路零担专线市场也存在信息化程度低、交易成本过高和组织效率低等问题（余兴源等，2017）。

因此，本文拟在物流需求碎片化发展背景下，

采用城际公路零担专线数据构建有向加权矩阵，利用社会网络方法，从城市节点、城际联系、子网络视角对中国296个（不包括澳门和42地级市）^①地级及以上城市进行等级划分和关系识别，以深化公路零担专线视角下的中国城市网络关系认识，促进公路零担专线组织效率提升。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源与处理

所用公路零担专线数据来源于2018年国家交通运输物流公共信息平台^②。每一条原始数据均包含始发地、到达地、物流公司名称、载运工具类型。数据处理环节包括依地级市划归合并相同起讫城市间的公路零担专线数量，剔除无效数据并在此基础上构建 296×296 有向加权公路零担专线网络矩阵。2018年全国共有296个公路零担专线节点城市，涵盖中国87.54%的地级行政单元，总计5 499对公路零担专线联系。

距离数据采用各地级市间的实际行驶距离进行测算，并通过网络爬虫获取自百度地图开放平台^③。

1.2 研究方法

1.2.1 节点中心度 中心度是刻画节点在网络中地位的指标。利用Ucinet计算度数中心度和接近中心度以衡量公路零担专线网络中各节点城市的重要程度。依方向可将度数中心度区分为点入度和点出度，值越大表示节点城市在网络中的位置越重要。通过考察点入度和点出度以衡量城市节点在公路零担专线网络中的凝聚力与辐射力并对城市节点的职能类型和职能等级进行判别。

公路零担专线城市节点的接近中心度定义为该城市与其他城市距离之和的倒数，值越大表明该节点与其他节点越靠近（吴江，2015），在城市网络体系中地位越高。

1.2.2 货流组织系数 参考客流组织系数的指标（王姣娥等，2017），构建货流组织系数，将城市组织零担专线数量能力定量化，以刻画城市节点在网络中的地位和重要程度，并与铁路客流视角下的中

① 注：缺失公路零担专线数据的城市如下：澳门、鹤岗市、大兴安岭地区、贺州市、来宾市、三沙市、儋州市、甘孜藏族自治州、保山市、昭通市、丽江市、普洱市、临沧市、楚雄彝族自治州、红河哈尼族彝族自治州、文山壮族苗族自治州、西双版纳傣族自治州、怒江傈僳族自治州、迪庆藏族自治州、日喀则市、昌都市、林芝市、山南市、那曲市、阿里地区、铜川市、白银市、定西市、临夏回族自治州、甘南藏族自治州、海东市、海北藏族自治州、黄南藏族自治州、海南藏族自治州、果洛藏族自治州、玉树藏族自治州、石嘴山市、克拉玛依市、吐鲁番市、博尔塔拉蒙古自治州、克孜勒苏柯尔克孜自治州、塔城地区、阿勒泰地区。

② <http://www.logink.cn/>

③ <https://lbsyun.baidu.com/>

国城市等级结构体系进行对比。计算公式为:

$$GLi = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n \alpha_{ij}}{\left[\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n \alpha_{ij}}{n} \right]} \quad (1)$$

式中: α_{ij} 代表 OD 矩阵第 i 行第 j 列的数值 (i 市到 j 市的公路零担专线数量); 分子代表 i 市到其他各市的专线数量之和; 分母代表 n 个市中, 每个市到其他市专线数量之和的平均数, 即公式中的分母保持不变, 变量是分子, 由此可以得出一个列矩阵 GL_i 。货流组织系数实际上是一个列矩阵, 反映了城市节点组织货流能力对平均水平的偏离程度, 值越大, 表明该节点在网络中地位越高。

1.2.3 首位联系强度与失衡率 利用首位联系强度指标定量识别公路零担专线网络中的城市对联系 (金杉等, 2008), 并对成为首位联系城市次数最多的前 10 位城市进行特征分析, 计算公式为:

$$L_{ik} = \max \left(\frac{F_{ij} + F_{ji}}{O_i + D_i} \right) (j = 1, 2, 3, \dots, n) k \in n \quad (2)$$

式中: L_{ik} 为城市 i 的首位联系强度, 城市 k 为城市 i 的首位联系城市; n 为网络中城市节点总数量; O_i 与 D_i 分别表示 i 城市公路零担专线的发出量和到达量; F_{ij} 表示城市 i 到城市 j 的公路零担专线数量, F_{ji} 同理 F_{ij} 。

在此基础上, 通过定义失衡率 R 对排名前 10 的首位联系城市进行输入输出类型的判断和特征识别, 计算公式为:

$$R = \frac{id}{id + od} \quad (3)$$

式中: id 表示城市 i 在网络中的加权入度; od 表示城市 i 在网络中的加权出度。 $R > 0.5$ 表明城市 i 为输入型城市, $R < 0.5$ 表明城市 i 为输出型城市, $R = 0.5$ 表明城市 i 的公路零担专线输入与输出数量达到平衡。

1.2.4 社区结构 社区结构的挖掘采取 Louvain 算法并利用 Newman (2004) 提出的“模块度” (modularity) 指标划分中国公路零担专线网络。该指标通过比较社区内部联系与外部联系密度的相对大小, 以描述划分社区内部节点联系的紧密程度, 模块度 Q 的值越高表明社区划分效果越好, 值越低表明网络社区结构不突出。通过挖掘公路零担专线网络中的社区结构能够刻画网络的局部集聚特性,

进而揭示网络中各城市之间的相互作用关系。计算公式为:

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{ij} (A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m}) \delta(c_i, c_j) \quad (4)$$

式中: Q 表示模块度的值; m 表示复杂网络中边的数量; A_{ij} 表示节点 i 到节点 j 之间的公路零担专线订单量; k_i 、 k_j 分别表示到节点 i 和节点 j 的总专线数量; c_i 、 c_j 分别表示节点 i 和节点 j 所在社区。

2 公路零担专线数量视角下中国城市网络结构

2.1 公路零担专线城市节点

2.1.1 空间分布格局 借鉴既有研究 (王姣娥等, 2017) 对东部、中部、西部的划分, 从地域差异视角认识中国公路零担专线节点的空间分布格局。从统计结果看 (图 1), 西部和东部地区的城市节点数量分别占城市总节点数量的 23.15% 和 34.56%, 并未表现出明显的数量差异, 而中部地区的城市节点数量占总城市节点数量的 42.28%, 多于西部和东部地区。在专线数量上, 从西部到中部再到东部地区则呈现明显的递增趋势, 东部地区公路零担专线数量占总专线数量的 63.26%, 几乎达到西部和中部的 2 倍, 呈现明显的空间集聚性和地带性分布规律, 与中国城市发展水平呈现的东部沿海地区 > 中部 > 西部地区的地带性空间分布规律相符。

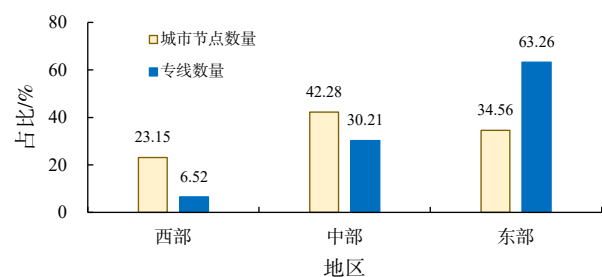


图1 中国城市节点及公路零担专线数量的地带性分布规律

Fig.1 The zonal distribution law of the number of urban nodes and the number of road Less-Truck-Load dedicated dedicated line in China

2.1.2 中心度分析 利用 Ucinet 对网络点入度、点出度和接近中心度进行测度。研究发现, 点入度无节点处于第一层级, 处于第二层级的点入度节点共有 4 个 (图 2-a), 分别为郑州、上海、济南、苏州, 是主要的公路零担专线接收点, 4 个城市均为直辖

市或省会城市。点出度处于第一和第二层级的节点共有14个(图2-b),分别为金华、郑州、杭州、上海、台州、宁波、济南、合肥、临沂、无锡、苏州、天津、湖州、北京,是主要的公路零担专线对外辐射点。根据2018年赛迪先进制造业城市发展指数TOP50报告[赛迪(上海)先进制造业研究院,2019]显示,上述14个处于一、二层级的点出度城市除临沂外均为2018年全国先进制造业前50强城市。从空间分布看,中国公路零担专线网络的点入度和点出度分布表现出较为明显的空间差异性,点入度空间分布比较分散,点出度空间分布比较集中,出度较高的节点主要集聚在东部沿海城市。此外,从城市群看,京津冀、长三角城市群的节点入度和出度明显高于其他城市节点。

接近中心度排名前10的城市(图2-c)为金华、上海、临沂、杭州、无锡、台州、郑州、宁波、广州、天津,上述城市在网络中处于核心地位,不易受其他节点控制。2018年中国公路运输大数据报告(中交兴路、运联传媒,2019)显示,接近中心度排名前10的城市为2018年中国公路运输运力排名前10的城市或属于排名前十的省份,表明公路零担专线城市节点网络地位的高低与运力大小成正比。整体上,接近中心度表现出较为明显的自东向西递减梯度分布规律,东部地区接近中心度高于中部和西部地区;同时东部地区接近中心度呈现较为显著的条带状集聚分布特征。

2.1.3 空间等级结构 依据货流组织系数(GI),将296个公路零担专线节点划分为强中心、次强中心、弱中心和从属型城市4个等级,其中:1)强中心($GI \geq 8$)共4个,分别为郑州、上海、济南和苏州。2018年中国公路运输大数据报告显示,除上海为直辖市外,其余3个城市均为公路运力排名靠前的省会城市。2)次强中心($5 \leq GI < 8$)共9个,包括北京、杭州、天津、石家庄、广州、宁波、金华、合肥、无锡。除金华和无锡外,其余均位于国家首批确定的45个公路主枢纽城市中。2018年国家干线公路交通情况分析报告(交通运输部规划研究院,2019)显示,9个次强中心城市具备发达的制造业,也符合公路零担专线数量与制造业PMI走势基本一致的研究结果。3)弱中心($1 \leq GI < 5$)共73个,集中分布在国道和省道沿线,数量上呈现明显的地区差异性分布,东部最多、中部次之、西部最少。4)从属型城市($GI < 1$)共210个,在公路零担专线网络中,该类城市数量占城市总数量的

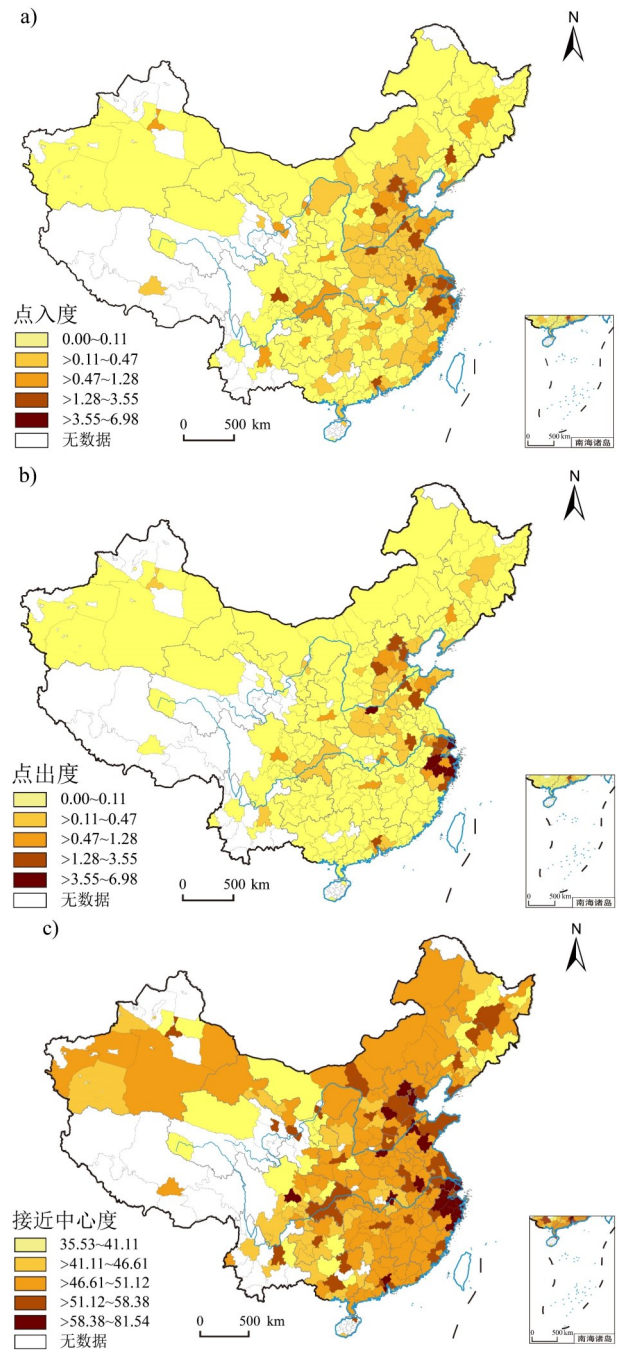


图2 2018年公路零担专线网络中心度空间分布

Fig.2 The spatial distribution of the centrality of the road Less-Truck-Load dedicated line network in 2018

注:该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号GS(2016)1594号的标准地图制作,底图无修改;图5同

70.95%,涵盖中国大部分城市且以中小城市为主。整体上,中国城际公路零担专线网络层级结构在城市节点数量和空间分布表现出一定的差异性,网络中强中心、次强中心高等级城市节点数量较少

(4.3%), 从属型城市数量占绝对优势 (70.95%); 此外, 高等级城市主要分布在东部和中部区域, 西部区域以从属型城市为主。

2.2 城际公路零担专线联系

2.2.1 城市对空间联系格局 在城市网络中, 与某一城市公路零担专线数量联系最多的城市称为该城市的首位联系城市 (金杉等, 2008)。在公路零担专线视角下的城市节点中, 成为首位联系城市次数排名前10的城市为金华、上海、郑州、沈阳、济南、合肥、杭州、石家庄、长沙、无锡 (图3)。

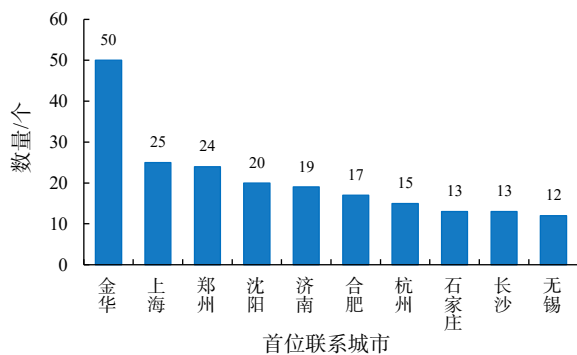


图3 公路零担专线网络2018年全国TOP10首位联系城市
Fig.3 The TOP 10 primary connection cities nationwide in the road LTL dedicated line network in 2018

根据失衡率计算, 沈阳和长沙属输入型城市, 其余8个城市均属输出型城市。在2个输入型城市中, 沈阳作为东北经济区和东北亚经济圈最大的中心城市, 承担着整个东北地区公路货运枢纽的职能; 长沙则是长江经济带的重要节点城市, 也是公路货物运输重要的中转地。在8个输出型城市中, 排名第1的金华作为全国加工制造业优势城市, 其下辖的义乌市是全国乃至全球最大的小商品市场, 对公路零担专线运输有巨大需求量; 上海作为全国4个直辖市之一, 是长三角城市群中心城市, 也是中国重要的经济中心和交通枢纽; 郑州是中部地区重要的经济中心, 与临沂、天津、北京同为北方地区公路货运集散枢纽; 济南作为山东省会城市, 是华东、华北和中西部地区的公路货运枢纽; 合肥和杭州作为长三角城市群副中心城市, 具有发达的传统制造业和先进制造业, 是公路货运重要集散地; 石家庄是京津冀地区重要的中心城市, 地处中国自由贸易试验区, 商品贸易发达; 无锡是长三角城市群的重要节点城市, 也是中国公路货运的重要枢纽城市。总体上, 公路零担专线网络中2018年全国排

名前10的城市具备3个特征: 分别为区域核心城市; 具有发达的制造业和重要的公路交通节点; 公路零担专线发达程度与城市在网络中的经济和交通地位高度正相关。

2.2.2 距离衰减规律 公路零担专线数量对距离变化比较敏感, 呈现明显的距离衰减规律。在具体距离上, 公路零担专线数量集中分布在0~200 km以内的城际和200~500 km以内的省际, 占总数量的41.9%; 其次是500~1 000 km的相邻经济区, 占比为21.1%。在1 000~2 000 km的跨经济区, 一定距离区段内的公路零担专线数量已明显减少, 而2 000~5 600 km范围内的超长途公路货物运输占比仅8.5% (图4)。总体上, 随着距离的增加, 公路零担专线数量呈现先急剧增加, 后缓慢减少的总体衰减趋势, 符合距离衰减定律的主要特征。

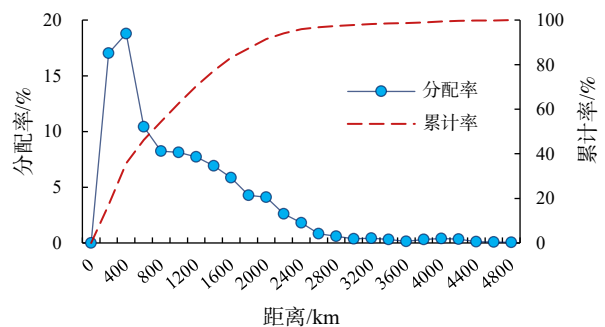


图4 公路零担专线数量距离衰减规律
Fig.4 distance attenuation law of the number of road Less-Truck-Load

2.3 基于公路零担专线联系的城市社区识别

利用社区结构可以有效探究城市公路零担专线网络内部结构特征。结果表明, 在保证模块度相对较高的情况下, 公路零担专线网络可划分为6个城市社区 (图5), 分别为东北—冀鲁蒙社区、长株潭社区、中原社区、关中社区、江淮社区、泛珠三角—长三角社区。整体上, 公路零担专线网络的社区结构表现出较明显的空间集聚特征, 社区内部的大多数城市节点地理上相邻接。同时, 公路零担专线数量衰减规律能较好地刻画距离对社区空间结构的作用, 数量主要集中在1 000 km以内, 社区边界与省域边界重合度较高, 表现出明显的行政区经济效应。此外, 由于受到距离效应的影响, 部分社区范围超出城市群范围, 形成大型跨地域空间结构。

具体地, 各社区表现出差异化的空间结构特



图5 基于公路零担专线的中国城市社区划分

Fig.5 The division of urban communities in China based on the road LTL dedicated line

征。其中，东北—冀鲁蒙社区以京津冀鲁蒙为主体区域，向北延伸至黑龙江黑河市，向西扩展至甘肃省酒泉市，跨地域空间组织结构显著。中原社区以郑州为核心覆盖河南省全境并吸纳山西的4个地级市，即晋城、临汾、长治、运城。处于省域交界处的山西省部分地级市脱离本省行政框架被纳入河南省社区范围，表现出显著的核心—边缘结构（陈伟等，2017）。关中社区以西安为中心，覆盖陕西省大部分地区 and 甘肃省陇南、平凉、天水3市。江淮社区以合肥为中心，由安徽省全部地级市构成。长株潭社区以湖南省为主体，社团内部空间集聚特征显著。泛珠三角—长三角社区作为最大的公路零担专线网络社区，从省级行政单元看，以上海、江苏、浙江、广东、重庆为主体，容纳了贵州、广西、湖北、江西、福建及四川、云南、甘肃、新疆部分城市节点，部分城市节点表现出“飞地”特征（刘正兵等，2017；吴思雨等，2021）。从城市群角度看，涵盖珠三角、长三角、成渝等城市群公路零担专线节点，社区内部联系并没有局限于城市群内部，城市群间联系紧密。

3 结论与讨论

基于公路零担专线数据，运用社会网络分析方法，从城市节点、城际联系、子网络3个层面对中国城市网络关系进行了识别，研究发现：1) 在公路零担专线网络中，直辖市和省会城市、传统工业

和商贸城市表现出较强的集聚区域资源与辐射带动周边节点能力，上海、天津、郑州、广州、杭州等节点城市在网络中处于核心地位。城市节点接近中心度呈现一定的空间梯度分布格局，公路零担专线数量强度由东部向西部逐渐递减。此外，城市节点具有明显的空间等级结构，按照公路零担专线网络中各节点城市组织专线数量的能力大小可将中国城市节点分成强中心、次强中心、弱中心、从属型4个等级，网络中高等级城市数量较少，并且主要集中在东部和中部地区，空间分布的不均衡形态表现明显。2) 首位联系量较多的城市主要为经济发达的大型和特大型城市或交通

便利的枢纽城市。在排名前十的首位联系城市中，输出型和输入型城市比例为4:1。中国城际公路零担专线数量强度受距离衰减规律影响显著，公路零担专线联系主要分布在0~200 km的城际和200~500 km的省际范围，集中在500 km的公路零担专线数量占比为41.9%。3) 公路零担专线网络形成东北—冀鲁蒙社区、中原社区、关中社区、江淮社区、泛珠三角—长三角社区、长株潭社区6个较为明显的城市社区，距离效应对网络空间结构影响显著，各社区表现出显著的空间集聚和跨区域特征，社区范围覆盖主要城市群。

整体上，基于互联网平台的公路零担专线网络还处于发展的初级阶段，大城市对区域的带动作用还比较弱，网络中部分社区的内部结构有待优化和调整，应从节点、网络、无车承运人平台等方面实现公路零担专线网络的城市节点地位提升和网络空间组织优化。具体地，在继续强化直辖市、省会城市等核心城市产业集聚和辐射带动作用的基础上，通过立足区域资源禀赋特色调整边缘城市如固原、中卫、陇南等产业结构并完善交通基础设施建设，从而在提升边缘城市网络地位的同时完善公路零担专线网络层级结构，培育城市组团发展优势，促进区域协调发展；从城市网络角度看，需重点提升成渝城市群公路零担专线服务能力，建设西部公路零担专线枢纽，形成以京津冀—长三角—珠三角—成渝城市群为核心的菱形网状结构，使整个网络更加

均衡;从无车承运人平台角度看,应积极引导无车承运平台在改善公路零担专线运输市场环境、提升公路零担专线运输的网络化和规模化效应。

本研究以公路零担专线数据作为构建交通货流网络的关系数据,从公路零担专线细分类型角度揭示中国城市网络的结构特征,对于认识公路零担专线影响下的城市与区域空间格局具有一定参考价值。从空间等级结构看,基于货流组织系数划分的公路零担专线网络层级结构与基于客流组织系数划分的铁路网络层级结构具有一定的相似性(焦敬娟等,2016;马学广等,2018),高等级的城市节点主要分布在交通枢纽和交通干线附近,网络中从属型城市数量占有绝对优势;从空间组织特征看,公路零担专线网络空间组织受距离效应影响显著,与公路客流影响下社区结构所表现出的“行政区经济”“巨型空间溢出效应”结论(陈伟等,2017)相似;从空间格局看,中国公路零担专线联系强度呈现东—中—西梯度递减格局,与铁路、航空所表现出的地带性分布规律和空间格局(王姣娥等,2017)相一致。此外,公路零担专线影响下的网络结构与其他网络存在一定的差异性,如金华、无锡等非经济、政治核心城市在网络中具有较高的中心度和首位联系强度。

受数据集质量限制,本研究存在的不足主要体现在:未能从连续年份认识公路零担专线网络的演化规律,此外,线上公路零担专线市场比重较小,仅能从特定视角揭示公路零担专线网络的空间格局。后续将加强长时间周期、多数据来源的研究,以验证研究的有效性和可靠性。

参考文献 (References):

- Castells Manuel. 2010. Globalisation, Networking, Urbanisation: Reflections on the Spatial Dynamics of the Information Age. *Urban Studies*, 47(13): 2737-2745.
- Chen Wei, Liu Weidong, Ke Wenqian and Wang Nyuying. 2018. Understanding Spatial Structures and Organizational Patterns of City Networks in China: A Highway Passenger Flow Perspective. *Journal of Geographical Sciences*, 28(4): 477-494.
- 陈伟, 刘卫东, 柯文前, 王女英. 2017. 基于公路客流的的中国城市网络结构与空间组织模式. *地理学报*, 72 (2): 224-241. [Chen Wei, Liu Weidong, Ke Wenqian and Wang Nyuying. 2017. The Spatial Structures and Organization Patterns of China's City Networks Based on the Highway Passenger Flows. *Acta Geographica Sinica*, 72(2): 224-241.]
- 陈映雪, 甄峰, 王波, 邹伟. 2012. 基于微博平台的中國城市网络信息不对称关系研究. *地球科学进展*, 27 (12): 1353-1362.
- [Chen Yingxue, Zhen Feng, Wang Bo and Zou Wei. 2012. A Study of Internet Information Asymmetry Relations among Chinese Cities Based on the Micro-Blog Platform. *Advances in Earth Science*, 27(12): 1353-1362.]
- 戴敏韬, 徐新华. 2021. 大票零担专线网络的建设与发展分析——以聚盟为例. *经济研究导刊*, (4): 129-131. [Dai Mintao and Xu Xinhua. 2021. Analysis on the Construction and Development of Large-Ticket and Less-than-Truckload Private Line Network: Taking Jumeng as an Example. *Economic Research Guide*, (4): 129-131.]
- 董超, 修春亮, 魏冶. 2014. 基于通信流的吉林省流空间网络格局. *地理学报*, 69 (4): 510-519. [Dong Chao, Xiu Chunliang and Wei Ye. 2014. Network Structure of 'Space of Flows' in Jilin Province Based on Telecommunication Flows. *Acta Geographica Sinica*, 69(4): 510-519.]
- 杜德林, 莫辉辉, 王姣娥. 2019. 三大国有航空公司网络空间结构比较与演化. *热带地理*, 39 (2): 196-205. [Du Delin, Mo Huihui and Wang Jiao'e. 2019. Spatial Structure and Evolution of the Three State-Owned Airlines' Networks in China. *Tropical Geography*, 39(2): 196-205.]
- 高鑫, 段德忠, 高阳, 修春亮. 2021. 重庆市区县货流关联网络的时空格局及其影响因素——基于2012—2016年高速公路货车数据的分析. *地理科学*, 41 (2): 302-309. [Gao Xin, Duan Dezhong, Gao Yang and Xiu Chunliang. 2021. Temporal and Spatial Patterns of Corresponding Network of County Traffic Flow in Chongqing and Its Influencing Factors: Based on the Analysis of Highway Freight Car Data from 2012 to 2016. *Scientia Geographica Sinica*, 41(2): 302-309.]
- 韩刚, 史修松, 唐乐, 刘志敏. 2022. 基于交通流的江苏省城市网络结构与空间格局形变. *世界地理研究*, 31 (1): 85-95. [Han Gang, Shi Xiusong, Le Tang and Liu Zhiming. 2022. Analysis on Spatial Structure and Pattern Deformation of Urban Network in Jiangsu Province Based on Traffic Flow. *World Regional Studies*, 31(1): 85-95.]
- 交通运输部规划研究院. 2019. 2018年国家干线公路交通情况分析报告. (2019-02-04) [2021-07-12]. www.tpri.org.cn/index.html. [China Academy of Transportation Planning. 2019. 2018 National Trunk Road Traffic Analysis Report. (2019-02-04) [2021-07-12]. www.tpri.org.cn/index.html]
- 焦敬娟, 王姣娥, 金凤君, 王涵. 2016. 高速铁路对城市网络结构的影响研究——基于铁路客运班列分析. *地理学报*, 71 (2): 265-280. [Jiao Jingjuan, Wang Jiao'e, Jin Fengjun and Wang Han. 2016. Impact of High-Speed Rail on Inter-City Network Based on the Passenger Train Network in China, 2003-2013. *Acta Geographica Sinica*, 71(2): 265-280.]
- 金凤君. 2001. 我国航空客流网络发展及其地域系统研究. *地理研究*, 20 (1): 31-39. [Jin Fengjun. 2001. A Study on Network of Domestic Air Passenger Flow in China. *Geographical Research*, 20(1): 31-39.]
- 金杉, 戴特奇. 2008. 1990年代中国城际铁路集装箱运输网络空间演变. *经济地理*, 28 (4): 583-587. [Jin Shan and Dai Teqi.

2008. Spatial Interaction and Network Structure Evolvement of Cities in Term of China's Railway Container Flow in 1990s. *Economic Geography*, 28(4): 583-587.]
- 靳诚, 徐菁, 黄震方, 陆玉麒, 柯文前, 陈娱. 2018. 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. 地理学报, 73 (2): 248-260. [Jin Cheng, Xu Jing, Huang Zhenfang, Lu Yuqi, Ke Wenqian and Chen Yu. 2018. Regional Traffic Flow and Its Influencing Factors Based on Expressway Network Toll Collection Data: A Case Study in Jiangsu Province. *Acta Geographica Sinica*, 73(2): 248-260.]
- 柯文前, 陈伟, 杨青. 2018. 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. 地理研究, 37 (9): 1832-1847. [Ke Wenqian, Chen Wei and Yang Qing. 2018. Uncovering Spatial Organization Patterns of Regional City Networks from Expressway Traffic Flow Data: A Case Study of Jiangsu Province, China. *Geographical Research*, 37(9): 1832-1847.]
- Krätker Stefan. 2013. Global Pharmaceutical and Biotechnology Firms' Linkages in the World City Network. *Urban Studies*, 51 (6): 1196-1213.
- Lee Ho-Sang. 2009. The Networkability of Cities in the International Air Passenger Flows 1992-2004. *Journal of Transport Geography*, 17(3): 166-175.
- 李国旗, 金凤君, 陈娱, 焦敬娟, 刘思婧. 2017. 基于POI的北京物流业区位特征与分异机制. 地理学报, 72 (6): 1091-1103. [Li Guoqi, Jin Fengjun, Chen Yu, Jiao Jingjuan and Liu Sijing. 2017. Location Characteristics and Differentiation Mechanism of Logistics Industry Based on Points of Interest: A Case Study of Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 72(6): 1091-1103.]
- 李苑君, 吴旗韬, 张玉玲, 张虹鸥, 方顺, 金双泉. 2021. “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. 地理研究, 40 (8): 2204-2219. [Li Yuanjun, Wu Qitao, Zhang Yuling, Zhang Hong'ou, Fang Shun and Jin Shuangquan. 2021. Spatial Structure and Formation Mechanism of Expressway Traffic Flow Network Based on Space of Flows: A Case Study of Guangdong Province. *Geographical Research*, 40 (8): 2204-2219.]
- 刘正兵, 戴特奇, 廖聪, 胡科, 梁进社. 2017. 中国城际公路货运空间网络特征——基于“第一物流”网站数据. 经济地理, 37 (6): 28-35. [Liu Zhengbing, Dai Teqi, Liao Cong, Hu Ke and Liang Jinshe. 2017. The Characters of Intercity Freight Transport Networks in China: A Case Study on 'FIRST CARGO' Platform. *Economic Geography*, 37(6): 28-35.]
- Mahutga Matthew C, Xiulian Ma, Smith David A and Timberlake Michael. 2010. Economic Globalisation and the Structure of the World City System: The Case of Airline Passenger Data. *Urban Studies*, 47(9): 1925-1947.
- Matsumoto Hidenobu, Domae Koji and O'Connor Kevin. 2016. Business Connectivity, Air Transport and the Urban Hierarchy: A Case Study in East Asia. *Journal of Transport Geography*, 54: 132-139.
- 马学广, 鹿宇. 2018. 基于航空客运流的中国城市空间格局与空间联系. 经济地理, 38 (8): 47-57. [Ma Xueguang and Lu Yu. 2018. Spatial Structure and Connection of Cities in China Based on Air Passenger Transport Flow. *Economic geography*, 38(8): 47-57.]
- Newman M E J. 2004. Finding and Evaluating Community Structure in Networks. *Physical Review E*, 69: 1-16.
- 任梦瑶, 肖作鹏, 王缉宪. 2020. 中国城际专线物流网络空间格局. 地理学报, 75 (4): 820-832. [Ren Mengyao, Xiao Zuopeng and Wang Jixian. 2020. Spatial Pattern of Intercity Less-than-Truckload Logistics Networks in China. *Acta Geographica Sinica*, 75(4): 820-832.]
- 赛迪 (上海) 先进制造业研究院. 2019. 2018先进制造业城市发展指数报告. 中国工业和信息化, (2): 52-67. [Saidi (Shanghai) Advanced Manufacturing Research Institute Co., Ltd. 2019. 2018 Advanced Manufacturing City Development Index Report. *China Industry & Information Technology*, (2): 52-67.]
- Taylor P J, Catalano G and Walker D R F. 2002. Measurement of the World City Network. *Urban Studies*, 39(13): 2367-2376.
- Taylor Peter J, Hoyler Michael and Verbruggen Raf. 2010. External Urban Relational Process: Introducing Central Flow Theory to Complement Central Place Theory. *Urban Studies*, 47(13): 2803-2818.
- 王海江, 苗长虹, 李欣欣. 2019. 流视角下中国铁路交通联系空间模拟与格局解析. 经济地理, 39 (1): 29-36. [Wang Haijiang, Miao Changhong and Li Xinxin. 2019. Spatial Simulation and Pattern Analysis of China's Railway Transport Contacts from the Perspective of Flows. *Economic Geography*, 39(1): 29-36.]
- 王姣娥, 景悦. 2017. 中国城市网络等级结构特征及组织模式——基于铁路和航空流的比较. 地理学报, 72 (8): 1508-1519. [Wang Jiao'e and Jing Yue. 2017. Comparison of Spatial Structure and Organization Mode of Inter-City Networks from the Perspective of Railway and Air Passenger Flow. *Acta Geographica Sinica*, 72(8): 1508-1519.]
- 王姣娥, 杜德林, 金凤君. 2019. 多元交通流视角下的空间级联系系统比较与地理空间约束. 地理学报, 74 (12): 2482-2494. [Wang Jiao'e, Du Delin and Jin Fengjun. 2019. Comparison of Spatial Structure and Linkage Systems and Geographic Constraints: A Perspective of Multiple Traffic Flows. *Acta Geographica Sinica*, 74(12): 2482-2494.]
- 王录仓, 刘海洋, 刘清. 2021. 基于腾讯迁徙大数据的中国城市网络研究. 地理学报, 76 (4): 853-869. [Wang Lucang, Liu Haiyang and Liu Qing. 2021. China's City Network Based on Tencent's Migration Big Data. *Acta Geographica Sinica*, 76(4): 853-869.]
- 吴江. 2015. 社会网络计算基础理论与实践. 北京: 科学出版社. [Wu Jiang. 2015. *Fundamental Theory and Practice of Social Network Computing*. Beijing: Science Press.]
- 吴思雨, 钟业喜, 吴青青, 毛炜圣. 2021. 城市群多要素外向联系网络结构——基于长江中游城市群-长江经济带的实证. 长江流域资源与环境, 30 (10): 2360-2372. [Wu Siyu, Zhong Yexi, Wu Qingqing and Mao Yisheng. 2021. Multi-Outward

- Connection Networks of Urban Agglomeration: An Empirical Study from Middle Reaches of Yangtze River to Yangtze River Economic Belt. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 30(10): 2360-2372.]
- 肖作鹏, 邹海翔, 孙永海. 2017. 利用货车 GPS 数据推演城市内部物流联系——以深圳市为例. *西部人居环境学刊*, 32 (1): 9-15. [Xiao Zuopeng, Zou Haixiang and Sun Yonghai. 2017. Using GPS Data to Visualize the Intra-City Freight Mobility: The Case of Shenzhen. *Journal of Human Settlements in West China*, 32(1): 9-15.]
- 熊丽芳, 甄峰, 席广亮, 朱晓清, 王波. 2014. 我国三大经济区城市网络变化特征——基于百度信息流的实证研究. *热带地理*, 34 (1): 34-43. [Xiong Lifang, Zhen Feng, Xi Guangliang, Zhu Xiaoqing and Wang Bo. 2014. Characteristics of the City Network in the Three Major Economic Zones of China: A Study Based on Baidu Information Flow. *Tropical Geography*, 34(1): 34-43.]
- 许金花, 刘秀田. 2007. 专线运输物流模式研究. *交通企业管理* (8): 52-53. [Xu Jinhua and Liu Xiutian. 2007. Research on Special Line Transportation Logistics Mode. *Transportation Enterprise Management*, (8): 52-53.]
- Yang Haoran, Dijst Martin, Witte Patrick, Van Ginkel Hans and Wang Jiao'e. 2018. Comparing Passenger Flow and Time Schedule Data to Analyse High-Speed Railways and Urban Networks in China. *Urban Studies*, 56(6): 1267-1287.
- 叶强, 张佃璇, 彭鹏, 黄军林. 2017. 基于百度迁徙数据的长江中游城市群网络特征研究. *经济地理*, 37 (8): 53-59. [Ye Qiang, Zhang Lixuan, Peng Peng and Huang Junlin. 2017. The Network Characteristics of Urban Agglomerations in the Middle Reaches of the Yangtze River Based on Baidu Migration Data. *Economic Geography*, 37(8): 53-59.]
- 余兴源, 荣朝和, 张改平. 2017. 公路零担货运行业网络结构的国际比较分析. *交通运输系统工程与信息*, 17 (2): 234-239. [Yu Xingyuan, Rong Chaohe and Zhang Gaiping. 2017. International Comparative Analysis on Network Structure of Road LTL Industry. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 17(2): 234-239.]
- 中华人民共和国交通运输部. 2008. 道路运输术语 (GB/T 8226-2008). 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. [Ministry of Transport of the People's Republic of China. 2008. *Road Transport Terminology* (GB/T 8226-2008). Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Standardization Administration of the People's Republic of China.]
- 中交兴路、运联传媒. 2019. 2018 中国公路运输大数据报告. (2019-01-15) [2021-06-22]. <https://wetuc.com/database>. [Sinoioiv, Transport United Media. 2020. *2018 Big Data Report of China's Highway Transportation*. (2019-01-15) [2021-06-22]. <https://wetuc.com/database>.]
- 张凡. 2016. 航空联系视角下的中国城市网络: 结构特征与演化规律. 上海: 华东师范大学. [Zhang Fan. 2016. *Analyze Chinese Urban Network through Air Connections: Network Structure and Evolving Feature*. Shanghai: East China Normal University.]
- Zhang Fan, Ning Yuemin and Lou Xiyang. 2021. The Evolutionary Mechanism of China's Urban Network from 1997 to 2015: An Analysis of Air Passenger Flows. *Cities*, 109: 103005.
- Zhang Yizhen, Wang Tao, Supriyadi Agus, Zhang Kun and Tang Zhi. 2020. Evolution and Optimization of Urban Network Spatial Structure: A Case Study of Financial Enterprise Network in Yangtze River Delta, China. *International Journal of Geo-Information*, 9(10): 611.
- 赵映慧, 朱亮, 马百通, 许月, 姜博. 2020. 1998—2016 年中国省际网络联系结构特征——基于铁路货流视角. *地理科学*, 40 (10): 1671-1678. [Zhao Yinghui, Zhu Liang, Ma Baitong, Xu Yue and Jiang Bo. 2020. Characteristics of Inter-Provincial Network Connection Based on Railway Freight Flow in China, 1998-2016. *Scientia Geographica Sinica*, 40(10): 1671-1678.]
- 赵梓渝, 魏冶, 庞瑞秋, 王士君, 冯章献. 2017. 基于人口省际流动的中国城市网络转变中心性与控制力研究——兼论递归理论用于城市网络研究的条件性. *地理学报*, 72 (6): 1032-1048. [Zhao Ziyu, Wei Zhi, Pang Ruiqiu, Wang Shijun and Feng Zhangxian. 2017. Alter-Based Centrality and Power of Chinese City Network Using Inter-Provincial Population Flow. *Acta Geographica Sinica*, 72(6): 1032-1048.]
- 甄峰, 王波, 陈映雪. 2012. 基于网络社会空间的中国城市网络特征——以新浪微博为例. *地理学报*, 67 (8): 1031-1043. [Zhen Feng, Wang Bo and Chen Yingxue. 2012. China's City Network Characteristics Based on Social Network Space: An Empirical Analysis of Sina Micro-Blog. *Acta Geographica Sinica*, 67(8): 1031-1043.]
- 周一星, 胡智勇. 2002. 从航空运输看中国城市体系的空间网络结构. *地理研究*, 21 (3): 276-286. [Zhou Yixing and Hu Zhiyong. 2002. Looking into the Network Structure of Chinese Urban System from the Perspective of Air Transportation. *Geographical Research*, 21(3): 276-286.]

作者贡献声明:

施 路: 数据分析、研究框架确定、论文撰写与修改;

杜国鹏: 数据分析、研究框架与构思确定、论文撰写与修改;

庞鸿立、王晓婷、郑中阳: 数据获取与分析、论文撰写与修改;

李国旗: 提出研究命题、研究构思、参与论文指导与后期修改。

Urban Network Structures and Organization Models Based on the Road Less-Truck-Load Dedicated Line Data in China

Shi Lu¹, Du Guopeng^{2a}, Pang Hongli^{2b}, Wang Xiaoting^{2c}, Zheng Zhongyang^{2d} and Li Guoqi^{2a}

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd., Chengdu 610031, China; 2. a. School of Transportation and Logistics;

b. School of Civil Engineering; c. Institute of Materials Science and Engineering; d. School of Electrical Engineering,

Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Against the background of the increasing trend of fragmentation of freight demand, the spatial structure analysis of urban networks using road Less-Truck-Load (LTL) dedicated lines has positive implications for enriching the flow space theory and empirical evidence. Based on the social network analysis method, this study used the data of the national prefecture-level and above cities' road LTL dedicated lines on the China Communications Logistics LOGINK System in 2018, and conducted feature mining of Chinese city network relationships from the perspective of road LTL dedicated lines at three levels: city nodes, intercity connections, and sub-networks. The results show the following: (1) Shanghai, Tianjin, Zhengzhou, Guangzhou, and Hangzhou dominated the network. Based on the cargo flow organization coefficients, urban nodes can be divided into four types: strong center, second strong center, weak center, and subordinate. The number of high-grade cities in the network was relatively small and mainly concentrated in the eastern and central regions. The imbalance in the spatial distribution is obvious. (2) Among the top ten cities in terms of the amount of first contact, the ratio of export-oriented cities to import-oriented cities is 4:1, which reflects the imbalance in cargo flow. The network space carved by the road LTL dedicated lines data showed a significant distance attenuation law. The road LTL dedicated lines connections are mainly distributed in the intercity range of 0-200 km and the interprovincial range of 200-500 km, with the number of special lines concentrated in 500 km accounting for 41.9%. (3) The community detection algorithm was used to identify six urban communities with significant regional characteristics, including the Northeast Jilumeng, Zhongyuan, Guanzhong, Jianghuai, Pan-Pearl, Delta-Yangtze River Delta, and Changzhutan communities. The community structures showed clear spatial agglomeration and cross-administrative features. (4) To enhance the status of the nodes of the road LTL network and optimize the organization of the network space, the following suggestions are put forward: Urban networks based on the road LTL dedicated line data should enhance the service capacity of the Chengdu-Chongqing urban agglomeration road LDL line, strengthen the industrial agglomeration and driving role of core cities, optimize the industrial structure of marginal cities, strengthen the integration of transportation and industry, and actively guide the car-free carrier platform to improve the efficiency of road freight organization. In future studies, long-term cycles and multiple data sources should be enhanced to verify the validity and reliability of the findings.

Keywords: road LTL dedicated line; node; city pair; social network; law of distance attenuation; China