

# 现代城市货运物流空间布局优化策略研究\*

## ——以武汉市为例

Study on the Optimization Strategy of Modern Urban Freight Logistics: A Case Study of Wuhan

焦洪赞 杨发兴 徐莎莎 肖苗苗 JIAO Hongzan, YANG Faxing, XU Shasha, XIAO Miaomiao

**摘要** 物流业是推动国民经济发展和全社会实体货物流通的支柱产业,物流业的高质量发展对于促进建设国内统一大市场、推动经济转型和区域经济发展起到至关重要的作用。以湖北省武汉市为例,运用货车轨迹数据结合核密度估计方法和网络空间结构分析法对武汉市及武汉都市圈物流发展进行评估,挖掘货运物流的时空分布特征,探寻货运强度与城市发展的耦合关系,进而探究影响城市货运物流的关键因素。发现城市货运物流强度与城市经济发展水平、交通基础设施建设、工业及物流仓储用地分布有密切关系。最后,从货运物流的点(物流园区建设)——线(交通基础设施及货运通道建设)——网(货运物流区域网络结构)——时(货运物流动态时空分布特征)4个方面为武汉市货运物流空间布局优化提供科学支撑。

**Abstract** The logistics industry is a pillar industry that promotes the development of the national economy and the circulation of physical goods in the whole society, and the high-quality development of the logistics industry plays a crucial role in promoting the construction of a large domestic unified market, economic transformation and regional economic development. This paper assesses the logistics development of Wuhan City and Wuhan metropolitan area using truck trajectory data combined with kernel density estimation method and network spatial structure analysis to explore the coupling relationship between freight intensity and urban development, and then explores the key factors affecting urban freight logistics. It is found that urban freight logistics is closely related to the level of urban economic development, traffic accessibility, and industrial and logistics warehouse land distribution. Finally, this paper provides scientific support for the optimization of the spatial layout of logistics in Wuhan from four aspects: regional integration, construction of transportation infrastructure, construction of specialized logistics parks, and hierarchical construction of logistics parks.

**关键词** 物流空间优化;货车轨迹数据;社会网络分析方法;武汉市

**Key words** logistics spatial optimization; truck trajectory data; social network analysis method; Wuhan City

文章编号 1673-8985 (2023) 02-0093-08 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. sup. 20230214

### 作者简介

焦洪赞

武汉大学城市设计学院

副教授,硕士生导师, jiaohongzan@whu.edu.cn

杨发兴

武汉大学城市设计学院 硕士研究生

徐莎莎

武汉市规划研究院 高级工程师,硕士

肖苗苗

武汉大学城市设计学院 硕士研究生

### 0 引言

物流业是推动国民经济发展和全社会实体货物流通的支柱产业<sup>[1]</sup>,物流业的高质量发展对于促进建设国内统一大市场<sup>[2]</sup>、推动经济转型和区域经济发展起到至关重要的作用。随着工业化后快速的城镇化,城市的内部功能日

益复杂。复杂的城市功能区产生大量的物流需求,城市物流业为各类城市功能区提供了后勤服务和保障,对确保城市平稳运行具有极其重要的作用,是支撑国民经济发展的基础性、战略性、先导性产业。同时,随着全球经济、科技的发展,城市物流经济规模逐渐扩大,被认为

\*基金项目:科技部国家重点研发计划“交通网灾情全息感知的应急响应及协同指挥系统研发”(编号2020YFC1512002);国家自然科学基金“地表异常遥感在轨即时诊断”(编号42192580与42192583)、“武汉市现代物流空间布局规划专项研究”(编号WPDI-QR-022)资助。

是继物力资源、人力资源后可重点开发的第三利润增长点,在国民经济中的地位日益凸显<sup>[3]</sup>。城市货运物流空间作为物流业发展的实体组成部分,承载了城市中大量的货物和商品,是联系区域和城市内部货物相互流通的桥梁和基础。

然而,自20世纪90年代以来,城市经济迅速增长、用地规模逐渐扩张,货运物流空间因其经济效益低下、大型建筑较多、占地面积较大等原因<sup>[4]</sup>,在城市发展过程中容易被取代并占用。如今,货运物流空间在城市空间中分布不均衡、城市货运需求与物流空间不匹配、货运流量与城市交通不协调等问题日益凸显<sup>[5]</sup>,传统粗放式的物流空间布局规划不再能满足经济和新技术快速发展的要求。因此,如何合理地进行城市货运物流空间优化成为目前物流规划及国土空间规划中亟需解决的难题。

针对货运物流空间优化的相关研究已取得一定的进展,齐长安<sup>[6]</sup>利用北京、天津及河北11个地级市的统计数据,对京津冀都市圈的物流网络空间进行优化研究;郁玉兵等<sup>[7]</sup>从供给能力、需求水平及其匹配度3个维度构建指标体系,对浙江省空间结构优化提出未来发展方向;沈玉芳等<sup>[8]</sup>利用宏观统计数据,结合区位基尼系数、区位熵等方法,研究长三角区域内物流空间的布局优化;安东琪等<sup>[9]</sup>以广州物流仓储用地为研究对象,结合周边相关功能用地进行空间关联性分析,对广州市物流空间优化进行探究;陈红丽等<sup>[10]</sup>利用营商大数据,运用CLRIP集成优化方法建立供应链物流节点空间布局优化模型,对环首都物流供应链空间布局进行优化。

综合来看,受限于物流数据的缺乏和数据采集手段的制约等问题,既有的研究存在忽视公路运输的本质特征、无法准确描述城市中货运发展现状、无法精确评估影响物流空间布局的主要因素等问题,对于指导物流空间布局优化的意义有限。近年来,在智慧城市建设的背景下,多源的城市数据被广泛应用于城市规划的决策,为科学合理的城市规划带来全新手段。

武汉市作为全国重要的物流节点城市,拥有“九省通衢”的极佳区位条件,在《武汉市物流业空间发展规划(2012—2020年)》的基础上已经取得进展。但其现有的货运体系不能满足今后的城市定位,因此亟需优化现有的物流空间布局。本文获取了湖北省2018年6月的货车轨迹数据,通过轨迹数据对武汉市及武汉都市圈的物流空间布局特征进行评估,探寻货运强度与城市发展的耦合关系,分析影响货运强度的关键因素,并提出武汉市物流空间布局的优化策略。本文为《武汉市现代物流空间布局专项规划(2021—2035年)》提供了科学依据,有助于推动武汉市到2035年基本建成“便捷顺畅、经济高效、绿色集约、智能先进、安全可靠”的国际物流枢纽城市。

## 1 研究区域概况

《中国城市物流竞争力报告(2020)》<sup>[11]</sup>指出,武汉市是全国重要的物流节点城市,在以北京—天津、上海—广州—深圳、武汉、成都—重庆等为核心的“五极”砖石结构中,武汉位居“五极”中心,在全国城市物流竞争力排名中位列第6。内部经济发展方面,2019年,武汉市货运总规模为67 555万t,物流产业增加值为1 549亿元,分别位列全国第4、第5位。物流业已成为武汉市重要的支柱产业,其针对物流的投资年均近百亿元。用地规模和空间布局特征方面,2019年全市物流仓储用地为33.2 km<sup>2</sup>。武汉市物流空间布局按照《武汉市物流业空间发展规划(2012—2020年)》中“网状联系、圈层发展”的布局思路,规划重点形成“一港六园八中心”的园区格局。如今,除了远期规划的江南机场国际物流港、花山港综合物流园、古龙物流中心没有启动建设外,其余物流园区均已初步建成。

在武汉市建设全国物流中心城市的过程中,随着城市用地规模的扩张和交通基础设施的建设,武汉市的物流发展存在以下5个问题:(1)国际物流通道建设严重不足,物流枢纽地位面临挑战。(2)物流枢纽发展不充分,配套设施服务能力较弱。(3)多式联运发展不

充分,集约化和服务水平不高。(4)物流相关设施和功能布局分散,用地建设标准低。(5)港产城一体化发展不充分,协同驱动能力有待提升。

## 2 研究数据与研究方法

### 2.1 研究数据

近年来,因交通管理部门的管理需要,我国重型货车已经基本实现定位装置全覆盖,主要用于记录货车行驶的时间、速度、经度、纬度、运输里程等关键信息。2019年我国公路货物运输量达343.58亿t,在货运总量中占73%<sup>[12]</sup>。考虑到货车是物流环节内最主要的单元,货车的轨迹数据能够反映公路运输的本质特征。基于此,本文选取湖北省2018年6月的货车轨迹数据进行分析,数据结构如表1所示。

本文基于python编译语言,参考母万国等<sup>[13]</sup>、詹起林等<sup>[14]</sup>的方法对货车轨迹进行出行OD点提取。在该过程中,OD点均为低速停留点(但低速停留点并非就是OD点),而GPS点在低速情况下漂移特别严重,如果仅从空间上对OD点进行分析非常困难,必须结合GPS轨迹点的时间、速度等因素进行综合分析和判断。为了减少货运车辆因停滞等造成的影响,在OD点分析前,需要基于货车行驶的速度、货车中途停留的时间、货车出行的最小距离、货车出行的最短时间等阈值进行筛选判断,主要步骤如下:

(1) 利用货车车辆的唯一标识“SIMID”字段,将每一辆货车的数据按时间顺序进行归类。

(2) 选取两条相邻的GPS字段,依据经纬度坐标与采样时间间隔计算两点的平均速度。本文以10 km/h为速度阈值,筛选平均速度小于此阈值的GPS坐标点,以此记为“STAY”状态,若大于等于此速度阈值,则此移动点记录为“MOVE”状态。

(3) 当状态值由“STAY”变为“MOVE”时,将该“STAY”点识别为潜在出行起点PO;当状态值由“MOVE”变为“STAY”时,将该“STAY”点识别为潜在出行终点PD。接着,将同一车牌的一对PO、PD依次合并,并

与车辆ID和经纬度等字段信息写入同一行。

本文定义货车单次出行的最小出行距离为1 km,货车出行的单次最短时间为30 min,结合货车装卸货的时间一般为20 min<sup>[15]</sup>等一系列阈值,筛选所有的货车出行OD点。经过初步筛选湖北省从2018年6月4日到2018年6月10日的货车轨迹,共获得808 305条轨迹,数据大小为244.42 G。

## 2.2 研究方法

本文主要采用核密度估计法和社会网络分析法,结合Arcgis平台对货车轨迹数据进行分析。

### (1) 核密度估计法

由于提取的数据OD点在地理信息空间上表征为点数据,具有数据量大、数据丰富的特点。同时,根据地理学第一定律,核密度估计法<sup>[16-17]</sup>能够较其他方法(点密度、样方密度、基于Voronoi图密度等)<sup>[18]</sup>更好地表征货车OD点的分布密度和分布模式。基于此,本文选取核密度估计法。核密度估计法是基于数据密集度函数聚类算法的一种空间密度分析方法,分析过程中赋予样方中心点 $x_i$ 邻近事件较高权重,而距离中心点 $x$ 较远的事件被赋予较低权重,其方程定义为:

$$h(x) = \frac{1}{nhd} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

式(1)中: $k\left(\frac{x-x_i}{h}\right)$ 表示核函数形式,通常取对称的单峰概率密度函数; $h$ 为带宽, $k$ 为定义平滑量大小的自由参数; $d$ 为数据的维度; $n$ 为带宽范围内的点 $i$ 的点数。本文采用核密度估计法对空间分布形态进行分析。

### (2) 社会网络分析法

自21世纪以来经济快速增长,物流在城际间的货物商品流通、区域经济一体化合作中承担了重要作用。如今,从单一城市方面出发无法准确研判和分析物流空间布局特征和发展现状,难以把握城市在区域的发展阶段和地位。研究城市物流的发展既要内部特征出发评估城市物流发展水平,又要结合区域层面探究城市与城市之间的联系。

社会网络是描述节点与节点、线与线之间组成的集合,研究内部各个单元之间的关系和层次。社会网络研究的对象不仅包括人与人之间的网络关系,也包括城市与城市、国家与国家之间等更高层次的研究个体<sup>[19]</sup>。20世纪60年代,社会学大师怀特等学者提出社会网络分析法(SNA),通过运用图论和矩阵论评估网络形态、层次与结构。基于此,本文借助社会网络分析法,研究在区域一体化背景下武汉都市圈内部城市层次的问题,有效测量区域网络结构关系。基于社会网络分析法和物流行业特征,本文选取中心度数、中间中心度、凝聚子群、核心边缘分析、lambda集合等指标量化物流网络空间结构。

## 3 区域一体化背景下武汉市物流空间布局特征

### 3.1 武汉市都市圈物流空间布局特征

在区域一体化背景下,城市与城市之间的物流联系更加密切,传统的物流规划受数据和研究方法的制约,很少从区域层面研究城市内部物流空间优化问题。本文的研究范围为武汉都市圈,主要包括黄石、鄂州、孝感、黄冈、咸宁、仙桃、天门、潜江等9市。通过获取货车轨迹数据,得到都市圈内部9市的日均货运强度,反映了都市圈内城市之间的货运联系情况。表2为武汉都市圈内部日均货运强度的具体指标。对于基于货运量的OD矩阵,由于节点间全连通,无法进行中间中心度的测算。本文以货运

量的中位数为截断值,对货运OD矩阵进行二值化处理。最后的结果如表3所示。

#### 3.1.1 都市圈内城市层次分析

运用SNA方法对武汉都市圈内部各个城市的度数中心性、中间中心性进行分析<sup>[20-21]</sup>。如表4所示,武汉都市圈内部武汉市的中心性最好,是都市圈内部的核心城市,承担了区域中大量的货运需求。此外,武汉市周边的孝感、黄冈的中心性居第二层次。这些城市是都市圈物流网络中的重要城市,推动了都市圈均衡发展。都市圈物流网络总体层面出度和入度网络中心势分别为0.2847和0.3119,且出度小于入度。由于网络中心势是衡量网络集聚的指标,基于这一结果可知武汉都市圈内部集聚程度较低,各个城市对周边的辐射有限。结合中间中心度指标,当前都市圈内部武汉市是处于绝对的中心地位,其他城市与其相差很大。进一步佐证了都市圈物流网络内部各个城市发展

表1 货运车辆轨迹数据结构  
Tab.1 Freight vehicle trajectory data structure

字段名称	说明
ID	货车回报号(唯一标识)
LNG	WGS 84坐标经度
LAT	WGS 84坐标经度
GPS_TIME	GPS设备记录的时间
速度	货车设备生成的瞬时车速,单位:km/h
正北方向夹角	以正北为起始值,顺时针方向计算的瞬时夹角
车辆位置	省市/县级市/地级市路段名
行驶里程	累计里程,单位:km

资料来源:笔者自制。

表2 武汉都市圈物流货运量OD矩阵(单位:辆)  
Tab.2 The logistics freight volume OD matrix of Wuhan metropolitan area

城市	武汉	黄石	鄂州	黄冈	孝感	咸宁	天门	潜江	仙桃
武汉	—	4 266	9 034	16 985	20 306	9 629	838	1 067	3 795
黄石	4 461	—	6 079	3 127	605	2 188	19	18	58
鄂州	9 469	5 577	—	3 541	583	456	19	29	61
黄冈	17 976	3 209	3 528	—	1 899	1 067	130	214	271
孝感	22 132	418	512	1 784	—	1 281	1 721	227	962
咸宁	10 423	2 093	465	1 063	1 598	—	21	30	51
天门	1 026	14	36	209	1 822	31	—	341	1 171
潜江	946	16	38	191	221	32	346	—	940
仙桃	3 767	96	91	273	956	101	935	1 084	—

资料来源:笔者自制。

表3 二值化后武汉都市圈物流货运量OD矩阵  
Tab.3 The logistics and freight volume OD matrix of Wuhan metropolitan area after binarization

城市	武汉	黄石	鄂州	黄冈	孝感	咸宁	天门	潜江	仙桃
武汉	—	1	1	1	1	1	0	1	1
黄石	1	—	1	1	0	1	0	0	0
鄂州	1	1	—	1	0	0	0	0	0
黄冈	1	1	1	—	1	1	0	0	0
孝感	1	0	0	1	—	1	1	0	1
咸宁	1	1	0	1	1	—	0	0	0
天门	1	0	0	0	1	0	—	0	1
潜江	1	0	0	0	0	0	0	—	1
仙桃	1	0	0	0	1	0	0	1	—

资料来源:笔者自制。

不均衡、两级分化等问题。从核心系数指标的结果分析,都市圈内部物流网络发展现状发展的第一层级城市为武汉市,第二层级城市为黄冈市与孝感市,第三层级城市为鄂州市、黄石市与咸宁市,第四层级城市为天门、潜江与仙桃市。武汉市是都市圈物流网络发展现状最优的城市,为第一层级,核心系数指标为0.894,且其他3个层级的城市与其有较大差距。第二层级为孝感市与黄冈市,其核心系数指标分别为0.301与0.249。这两个城市与后续两级城市相比核心系数指标较大。第三层级为咸宁市、鄂州市与黄石市。在这个层级内城市的核心系数指标为0.100左右,在都市圈内部物流网络中起到重要的作用。第四层级为天门市、潜江市与仙桃市。这类城市在都市圈中与其他周边城市的货运交流最少,且城市内货运量也相对较低。

### 3.1.2 都市圈内城市网络空间结构

本文基于凝聚子群分析、lambda集合分析、核心—边缘分析法分别研究武汉都市圈物流网络中联系性较强、紧密和联系结构较稳定的城市组团。对二值化后的数据进行对称处理,选择派系数为3进行凝聚子群分析。图1为武汉都市圈各个城市间的货运联系情况及核心系数。都市圈内部武汉与黄冈、孝感的货运量联系较紧密,且武汉与孝感、黄冈的核心系数均位列全省前列。结合图2和图3,目前武汉都市圈物流网路中最基础的组团为:潜江—天门—仙桃、黄石—黄冈、鄂州—咸宁组团。依据图3,当最小边关联度为5时,

表4 武汉都市圈各城市度数中心性  
Tab.4 The centrality of degree in Wuhan metropolitan area

城市	出度	入度	标准点出度	标准点入度	中间中心度	核心系数
武汉	65 920	70 200	0.372	0.396	22.167	0.894
黄石	16 555	15 689	0.094	0.089	0.667	0.081
鄂州	19 735	19 783	0.111	0.112	0.000	0.136
黄冈	28 294	27 173	0.160	0.153	3.167	0.249
孝感	29 037	27 990	0.164	0.158	10.000	0.301
咸宁	15 744	14 785	0.089	0.084	1.000	0.140
天门	4 650	4 029	0.026	0.023	0.000	0.021
潜江	2 730	3 010	0.015	0.017	0.000	0.014
仙桃	7 303	7 309	0.041	0.041	2.000	0.051

注:网络中心势(出度)=0.2847,网络中心势(入度)=0.3119。

资料来源:笔者自制。

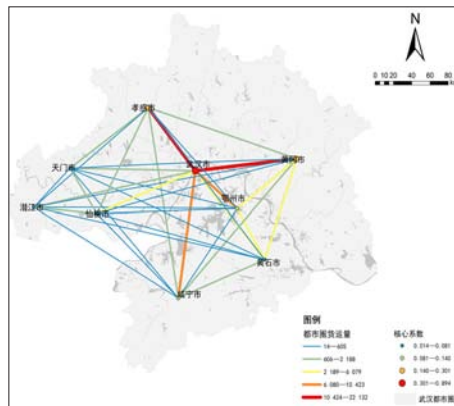


图1 武汉都市圈内各城市货运联系情况  
Fig.1 Freight transport links between cities in Wuhan metropolitan area

资料来源:笔者自绘。

武汉—黄冈—孝感的结构最稳健,在网络中处于核心地位。基于上述分析结果,武汉在都市圈物流网络中处于绝对的核心,同时与周边的孝感、黄冈、鄂州、咸宁联系最紧密。

### 3.2 武汉市物流空间布局特征

#### 3.2.1 武汉市货运集聚区分布特征

本文提取了武汉市一周内的货车停留点,以此来分析武汉市内部的货运分布特征。货车停留点数据包含了大量的离散点要素。这些大规模的点要素散落在地理空间上,没有明显的邻近或连续性特征,难以判定停留点数据在小范围地理空间上的分布格局。为使货车停留点数据在保留自身个体属性的前提下体现出整体的分布特征,本文采用核密度估计法研究武汉市内部货运集聚区分布特征。分析的结果如图4所示。

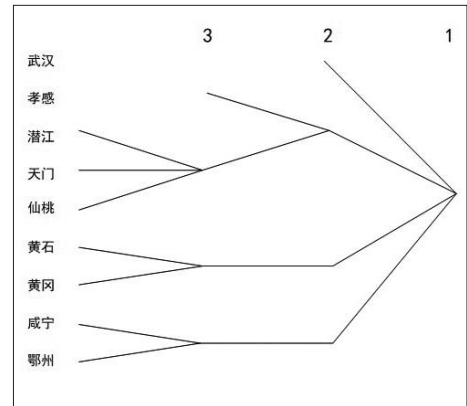


图2 武汉都市圈物流网络凝聚子群  
Fig.2 Wuhan metropolitan area logistics network cohesive subgroups

资料来源:笔者自绘。

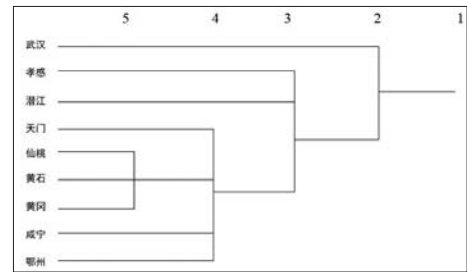


图3 武汉都市圈物流网络lambda集合  
Fig.3 Wuhan metropolitan area logistics network lambda set

资料来源:笔者自绘。

武汉货车停留点总体呈现“江北强,江南弱”的布局特征。武汉市货运集聚区主要分布于东西湖区、蔡甸区、武汉市经济开发区、洪山区、青山区等城市外围区域。其中货运集聚度较高的两个片分别为武汉市东西湖区与武汉市沌口经济开发区。东西湖区是武汉市货车集运的重点区域,货车停留点在此区域连绵,

是武汉市货运聚集最强的区域。此外,武汉市沌口经济开发区的货车聚集程度为全市第2的区域,承担了全市大部分货运量。综合分析,武汉市中心城区货运量小于城市近郊区,且集聚区分布呈现聚集趋势。城市江南片区与江北片区物流货运量两级分化严重。

### 3.2.2 武汉市货运节点分析

为了更完整地分析武汉市货运强度的具体特征,探究武汉市内部货运集聚区的供需分布情况,本文从更加微观的视角出发构建了1 km×1 km的空间格网,统计格网内部货车停留点的频数,对武汉市内部各大物流枢纽进行评估。基于货车轨迹数据,提取了货车起始点和终点的数据,分别对其进行分析(见图5)。结合武汉市物流枢纽用地与先前的空间格网分析结果,识别出武汉市内部有货运量无相应配套物流设施的,以及无货车停留点却有物流设施的区域。基于此,评估武汉市内部区域的供需关系,结合现状物流用地分布,通过对比分析识别物流用地规划与实施现状之间的差异,为武汉市物流空间优化提供科学依据。

### 3.2.3 武汉市货运时空分布特征

城市物流货运是一个动态且持续的过程,以往的规划常常忽视物流在城市中的动态演变过程,对物流空间布局优化的指导作用有限。本文提取武汉市某一星期连续的货运出行点,共获取326 833个货车吸引点,涉及40 000台货车。结合每日、每小时及停车时间进行时空分布特征分析(见图6-图8)。研究表明,全域平均停车时间为7.99 h,中位数为3.21 h。货车在周一至周五(2018年6月4日至6月8日)空间分布差异很小;周六(2018年6月9日)武汉市经开区货运强度下降明显;周日(2018年6月10日)全域货运无热点区域。在每小时停车空间分布方面,20:00至第二天6:00,武汉市内部货运热点区域最小,此时在中心城区有货运聚集区域。武汉市东西湖区、武汉市经开区自9:00开始到19:00是货车停车集聚的主要时间段,货运集聚度最高的时间为11:00。在停车时间的频次分布方面,全市有约20%的货车停车时间在0.5—1 h之间,约48%的货车停车时间在3 h以下,全市停车时

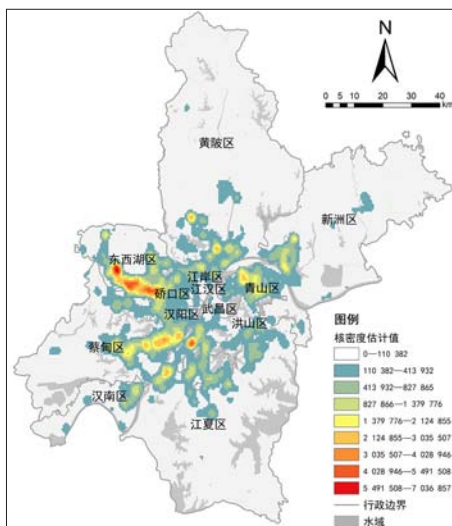


图4 武汉市内部货运强度核密度估计图  
Fig.4 Estimated kernel density of freight intensity within Wuhan City

资料来源:笔者自绘。

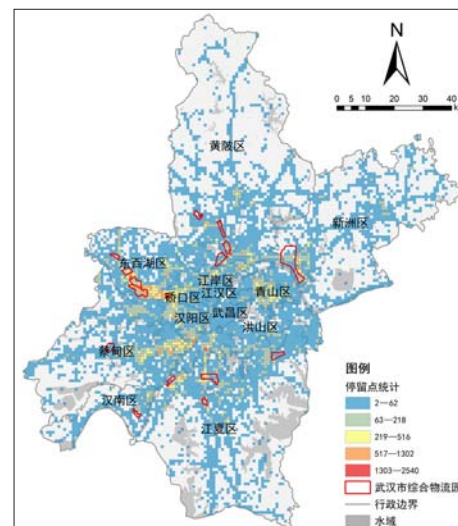


图5 武汉市内货车停留点分布图  
Fig.5 The truck stopping point distribution in Wuhan City

资料来源:笔者自绘。

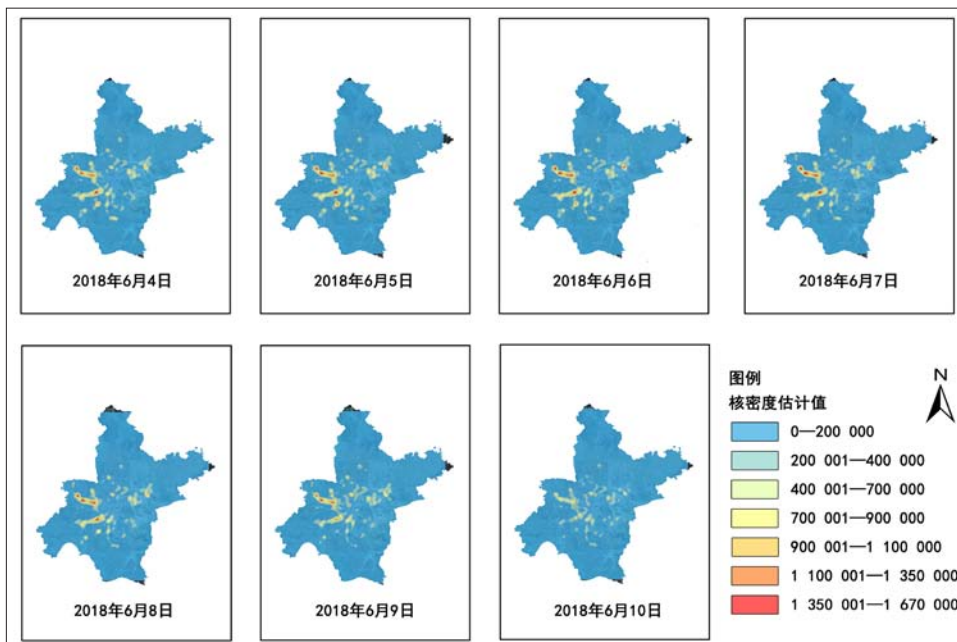


图6 武汉市内每日货车平均停留数量核密度估计图  
Fig.6 Estimated kernel density of average daily truck stopping point in Wuhan City

资料来源:笔者自绘。

间超过24 h的有2万台车左右,占比约为6.2%。其中,全市停车6 h以下的货车区域主要集中在经开区,6 h以上的区域主要为武汉市东西湖区。通过研究武汉市全域货运的时空动态变化,评估货运物流在不同时间及空间的变化情况,从货运的时空分布特征层面为武汉市物流空间布局优化提供依据。

## 4 物流货运强度与城市发展的耦合关系

为了研究物流货运强度与城市发展的关系,推动城市物流空间的优化,本文基于上述分析结果并结合相关文献发现,影响货运强度的主要因素与城市经济发展水平、交通基础设施建设,以及工业与物流仓储用地的布局有关。基于上述3个因素研究城市货运强度与城市发展的耦合关系。

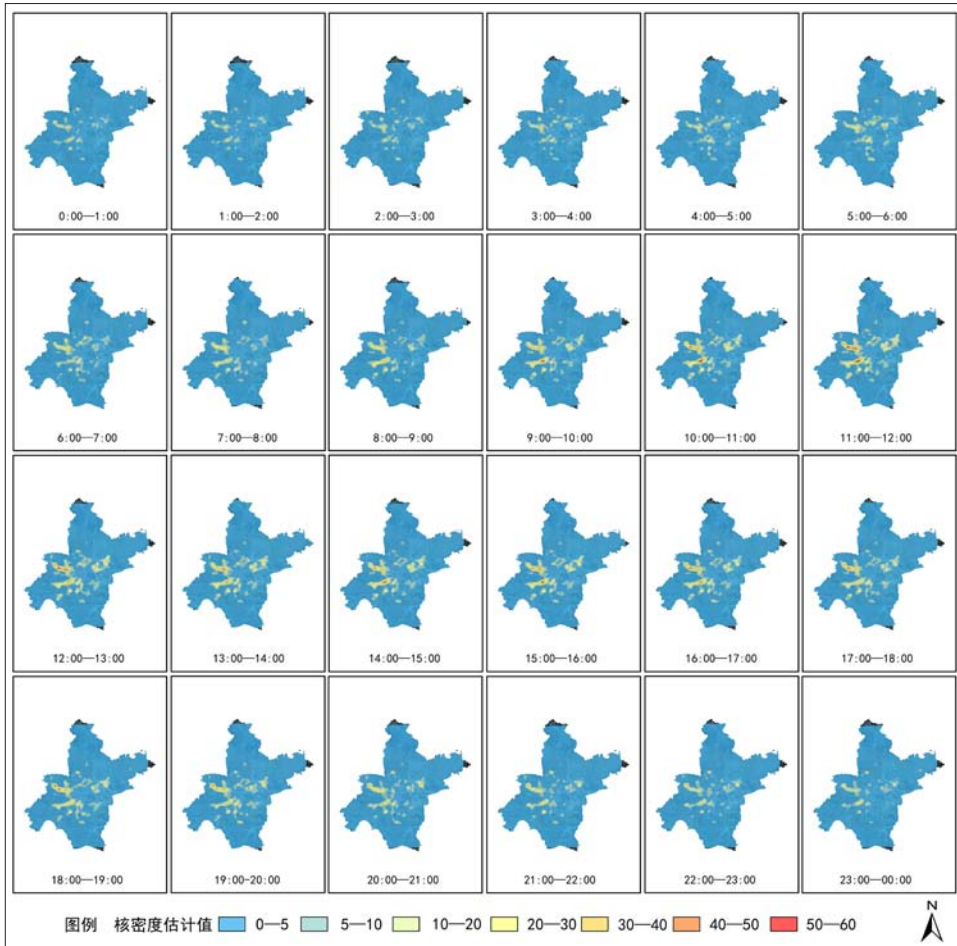


图7 武汉市内每小时货车平均停留数量核密度估计图  
Fig.7 Estimated kernel density of average hourly truck stopping point in Wuhan City

资料来源:笔者自绘。

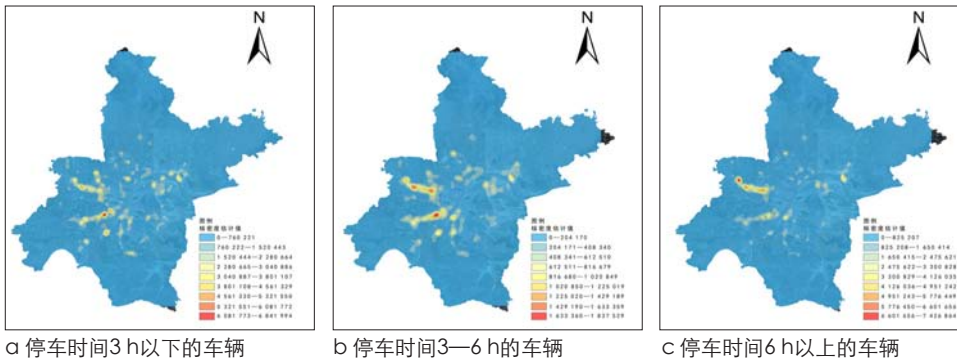


图8 武汉市内货车停车不同时间段的核密度估计图  
Fig.8 Estimated kernel density of different truck parking time in Wuhan City

资料来源:笔者自绘。

#### 4.1 城市经济发展水平

基于武汉市都市圈货车轨迹数据,通过提取一周内货车停留点数量,计算出日均各城市货车停留点。本文还选取了2018年武汉都市圈内各城市地区生产总值和交通仓储运输邮政

业增加值及货运量指标。研究发现,武汉都市圈内武汉市、黄冈市、孝感市、咸宁市的地区生产总值位居前列。同时,其货运量也占都市圈的82.2%,武汉都市圈内货运强度与地区生产总值呈正相关(见表5)。

#### 4.2 交通基础设施建设

通过分析武汉市内部各个物流节点的供需关系,发现武汉市内部有几个区域没有货车停留点却有相应的物流园区配套。通过进一步分析这些物流园区的具体位置,得出存在以下几个问题:周边交通建设缓慢、周边基础设施配套不齐全、位于城市郊区外围、与城市发展方向不匹配等(见表6)。

#### 4.3 工业用地与物流仓储分布情况

本文以武汉市工业用地和物流园区用地为研究范围,分析了位于其内部的货车停留点数量。同时,笔者发现有大量货车停留点位于这些用地的周边,通常停靠在路边。这与货车的装卸等待时间长、现状工业、物流用地内缺乏专门的货车停车设施、货车司机在街边等单等现象有关。基于此,本文扩大了物流和工业用地的统计范围。如表7所示,有21.28%的货车位于工业、物流用地的内部,且物流园区内的货车停留点与工业用地内的位置相同。当缓冲区扩大为1 000 m时,货车停留量占全市总货车停留量的比例为49.98%,且工业用地周边的货车分布更加集聚。研究表明,货运发生强度与物流仓储及工业用地有正相关性。

### 5 武汉市物流空间布局的优化策略

本文基于上述研究结果,从货运物流的点(物流园区建设)一线(交通基础设施及货运通道建设)一网(货运物流区域网络结构)一时(货运物流动态时空分布特征)4个方面展开,探讨武汉市货运物流空间布局的优化策略,解决武汉市内部物流空间布局中存在的问题。

#### 5.1 建设智能化物流园区,提升货运运输体系效率

上述研究表明,武汉市内部约有20%的货车位于城市物流园区和工业区。这些区域占城市总面积的3.3%。将研究范围扩大到用地周边1 000 m时,货车停留量占比将达到全市总

表5 2018年武汉都市圈内各城市经济指标

Tab.5 Economic indicators of cities within the Wuhan metropolitan area in 2018

城市	地区生产总值 /亿元	交通仓储运输邮政业 /亿元	全年货运量 /万t	公路货运量 /万t	日均货车停留点 /辆	日均货车停留点 占比/%
武汉	14 928.72	842.15	62 517.88	38 633.90	34 947	39.7
黄石	1 610.97	59.16	8 834.47	7 780.47	6 298	7.1
鄂州	1 005.30	51.25	2 600.00	2 021.00	3 840	4.4
黄冈	2 035.20	38.06	11 691.80	7 905.00	17 981	20.4
孝感	1 912.90	55.07	—	—	8 850	10.0
咸宁	1 454.21	60.58	10 877.00	10 864.00	10 680	12.1
天门	591.15	18.23	—	—	1 871	2.1
潜江	755.78	18.65	3 413.00	3 292.00	1 624	1.8

资料来源:笔者自制。

表7 工业、物流用地内及500 m、1 000 m缓冲区范围内货车停留点统计

Tab.7 Statistics of truck stopping points within the industrial logistics land and within 500 m and 1 000 m buffer areas

研究范围	内部		500 m范围内		1 000 m范围内	
	货车停留点	占比/%	货车停留点	占比/%	货车停留点	占比/%
物流园区	25 726	10.52	37 615	15.38	48 513	19.83
工业用地	26 326	10.76	54 264	22.18	73 751	30.15
合计	52 052	21.28	91 879	37.56	122 264	49.98

资料来源:笔者自制。

货车停留量的49.98%。此时工业用地与物流用地周边货车停留量占比分别为全市总货车停留量的30.15%与19.83%，工业用地及周边区域对于城市货运物流需求最高。此外，城市货运需求与物流园区的设施布局也存在不匹配现象。从物流园区的供需关系层面出发，一方面应在工业园区周边规划适合各种工业需求的专业化物流园区，加快物流园区的货运效率；另一方面目前物流园区多分布于城市货运需求较大的地区，但实际上物流园区由于自身规模和承载能力有限，导致周边会出现大量货车的集聚造成服务效率下降。在5G、云计算等新技术的支撑下，现代物流已进入4.0时代。建设智慧物流园区、科学管理物流园区的物流运行模式成为今后发展的主要方向。

## 5.2 完善交通基础设施建设, 构建专用货运通道

武汉市内部货车多分布于交通基础设施完善、可达性较好的区域。依托铁路、高速公路等交通通道形成高速运输网络,快速联系4大物流港及武汉城市圈各节点城市,打造复合型交通走廊,支撑武汉城市圈4条发展轴带。研究

表明,物流空间的优化同样需要城市交通路网体系的优化。应从以下3方面优化物流交通网络:(1) 完善城市物流园区周边高速公路、快速交通、主干道等道路交通建设,快速连接重大交通基础设施与物流园区。(2) 构建专用货运通道,因货车通常具有载重量多、体积巨大等问题,构建专用通道一方面可提升物流运输效率,另一方面也将保护路面减少对城市内部交通的干扰。(3) 预测未来的公路货运发展需求,促进货运流量与城市交通的协同发展。

## 5.3 从区域货运网络一体化层面出发,推动城市圈货运物流协同发展

武汉都市圈各个城市发展水平和货运强度发展不均衡,区域中城市协作不充分。武汉市是都市圈内核心城市,与周边孝感、黄冈、黄石、鄂州、咸宁等城市联系密切。为推动都市圈协同发展,武汉市物流空间布局在宏观层面确定了武鄂黄轴带、汉孝轴带、武咸轴带、武仙轴带4条发展轴,围绕武汉市内物流枢纽,串联周边各个城市物流节点,并对周边用地空间规模进行战略预控。城市物流空间作为保障城市货物运输和中转的空间,在区域中应注意与周

表6 武汉市内部货车停留点较少的物流园区

Tab.6 The logistics park with fewer truck stopping points within Wuhan City

行政区	物流园区名称
黄陂区	天河空港综合物流园
	汉口北综合物流园
汉南区	纱帽物流园
	邓南物流园
蔡甸区	朱家湾物流中心
	常福物流中心
新洲区	中交二航局物流发展产业园
	大花岭物流园
江夏区	大花山物流园
	郑店综合物流园
青山区	北湖物流中心
东西湖区	新沟物流园

资料来源:笔者自制。

边城市的协作关系,建立城市与城市间物流发展轴带,推动区域一体化和协同发展。

## 5.4 研究城市货运动态时空分布特征,促进货运物流设施公平配置

城市物流空间作为物流业发展的实体组成部分,承载了城市中大量的货物和商品,是联系区域和城市内部货物相互流通的桥梁和基础。城市货运物流是一个动态且不断持续的过程,其在城市内各个物流空间也存在着不同的时空分布特征。研究表明,武汉市内部货运强度最高的时间段为工作日及白天,货运强度最低的时间段为休息日与夜间。武汉市货运强度最高的区域为东西湖区、经济开发区、阳逻港区等城市外围的重要工业园区。武汉市中心城区内夜间会有部分货运强度。此外,不同物流及工业园区周边的货车停留时间也存在一定差异,武汉市经济开发区的货车大部分停留时间在6 h以下,东西湖区的货车停留时间在6 h以上居多。上述时空分布特征表明:(1) 城市物流空间的货运强度存在不同的时空分布特征,城市物流货运设施布局的空间、规模及大小需要结合不同时间段的货运强度进行布局。(2) 在货车停留时间较长的区域对于物流基础设施及货车停车场的的需求会更大,在进行空间布局优化的过程中需予以更多关注,以此来缓解城市中货车停

车的问题。基于此,研究城市货运的动态时空分布特征,从全域全时间角度出发,准确评估城市货运物流的现状,成为当前物流空间布局优化及城市物流设施公平配置的关键。

## 6 结语

城市物流空间作为承载城市中大量货物、商品的物质空间,对于加快城市经济发展,推动社会资源全要素转运和合理配置起到了决定性作用。然而,城市物流空间极易在城市发展过程中被替代。本文结合武汉市物流空间布局专项规划和货车轨迹数据,通过分析现状武汉市物流发展特征,研究影响城市物流业发展的因素,为城市物流空间优化提供了以下发展策略:一是结合工业发展和布局,完善支撑产业发展的物流网络,建立专业化物流园区,加快物流园区智能化发展。二是交通设施是物流业运行的基础,应完善交通路网、优化市际公路物流输配体系、构建专用货运通道。三是研究城市物流空间的布局优化问题,应从区域一体化层面出发,推动周边物流协同发展。四是应根据货运物流的时空分布特征,促进物流设施公平配置。

(本文来源于“中国城市科学研究会城市大数据专业委员会2022年会暨第三届‘城市文化感知与计算’学术研讨会”。在专题论坛一“基于大数据的城市规划支持”中进行宣讲。)

## 参考文献 References

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 发展改革委等关于推动物流高质量发展促进形成强大国内市场的意见[EB/OL]. (2019-03-02) [2022-10-11]. [http://www.gov.cn/xinwen/2019-03/02/content\\_5370107.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2019-03/02/content_5370107.htm). National Development and Reform Commission, PRC. Opinions of the development and reform commission and others on promoting high-quality development of logistics to facilitate the formation of a strong domestic market[EB/OL]. (2019-03-02) [2022-10-11]. [http://www.gov.cn/xinwen/2019-03/02/content\\_5370107.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2019-03/02/content_5370107.htm).
- [2] 中华人民共和国国务院. 中共中央国务院关于加快建设全国统一大市场的意见[EB/OL]. (2022-04-10) [2022-10-11]. [http://www.gov.cn/zhengce/2022-04/10/content\\_5684385.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2022-04/10/content_5684385.htm). General Office of the State Council, PRC. Opinions of the State Council of the Central Committee of the Communist Party of China on accelerating the construction of a large national unified market[EB/OL]. (2022-04-10) [2022-10-11]. [http://www.gov.cn/zhengce/2022-04/10/content\\_5684385.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2022-04/10/content_5684385.htm).
- [3] 叶杰刚. 国内外物流理论研究概况[J]. 经济动态, 2000 (11): 43-45. YE Jiegang. Overview of domestic and foreign logistics theory research[J]. Economic Dynamics, 2000(11): 43-45.
- [4] 吕楠,赵敬源. 基于贝叶斯概率理论的物流园区选址优化研究[J]. 中国公路学报, 2020, 33 (9): 251-260. LYU Nan, ZHAO Jingyuan. Study on the optimization of logistics park site selection based on Bayesian probability theory[J]. China Journal of Highways, 2020, 33(9): 251-260.
- [5] DABLANC L, RAKOTONARIVO D. The impacts of logistics sprawl: how does the location of parcel transport terminals affect the energy efficiency of goods' movements in Paris and what can we do about it?[Z]. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2010, 2(3): 6087-6096.
- [6] 齐长安. 都市圈城市物流网络空间优化——以京津冀地区为例[J]. 商业经济研究, 2020 (22): 109-112. QI Chang'an. Spatial optimization of urban logistics networks in metropolitan areas: the case of Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Business Economics Research, 2020(22): 109-112.
- [7] 郁玉兵,熊伟,曹言红. 城市物流质量评价与空间结构优化——以浙江省为例[J]. 经济问题探索, 2013 (3): 62-68. YU Yubing, XIONG Wei, CAO Yanhong. Evaluation of urban logistics quality and optimization of spatial structure in Zhejiang Province[J]. Exploration of Economic Issues, 2013(3): 62-68.
- [8] 沈玉芳,王能洲,马仁锋,等. 长三角区域物流空间布局及演化特征研究[J]. 经济地理, 2011, 31 (4): 618-623. SHEN Yufang, WANG Nengzhou, MA Renfeng, et al. Study on the spatial layout and evolutionary characteristics of logistics in the Yangtze River Delta region[J]. Economic Geography, 2011, 31(4): 618-623.
- [9] 安东琪,桂昆鹏. 广州市城市物流仓储用地布局优化探索[J]. 规划师, 2021, 37 (10): 20-25. AN Dongqi, GUI Kunpeng. Exploring the optimization of urban logistics and warehousing land layout in Guangzhou[J]. Planners, 2021, 37(10): 20-25.
- [10] 陈红丽,赵爽,杨海波,等. 环首都流通圈物流供应链节点空间布局优化[J]. 经济地理, 2020, 40 (7): 115-123. CHEN Hongli, ZHAO Shuang, YANG Haibo, et al. Optimization of the spatial layout of logistics supply chain nodes in the circulation circle around the capital[J]. Economic Geography, 2020, 40(7): 115-123.
- [11] 同济大学中国交通研究院. 中国城市物流竞争力报告 (2020) [R]. 2020. China Institute of Transportation Research, Tongji University. China city logistics competitiveness report (2020)[R]. 2020.
- [12] 北京中交兴路信息科技有限公司长安大学. 2019公路货运大数据报告[R]. 2020. Beijing Zhongjiao Xinglu Information Technology Co., Ltd., Chang'an University. 2019 Road freight big data report[R]. 2020.
- [13] 母万国,杨文辉. 基于GPS数据的物流车辆出行特征分析[J]. 综合运输, 2020, 42 (1): 83-89. MU Wanguo, YANG Wenhui. Analysis of logistics vehicle travel characteristics based on GPS data[J]. Comprehensive Transportation, 2020, 42(1): 83-89.
- [14] 詹起林,高峻,王磊. 基于货运车辆GPS数据的交通调查技术研究[J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27 (3): 30-33. ZHAN Qilin, GAO Jun, WANG Lei. Research on traffic survey technology based on GPS data of freight vehicles[J]. Geography and Geographic Information Science, 2011, 27(3): 30-33.
- [15] LARANJEIRO P F, MERCHÁN D, GODOY L A, et al. Using GPS data to explore speed patterns and temporal fluctuations in urban logistics: the case of São Paulo, Brazil[J]. Journal of Transport Geography, 2019, 76: 114-129.
- [16] EMANUEL P. On estimation of a probability density function and mode[J]. The Annals of Mathematical Statistics, 1962, 33(3): 1065-1076.
- [17] ROSENBLATT M. Remarks on some nonparametric estimates of a density-function[J]. Annals of Mathematical Statistics, 1956, 27(3): 832-837.
- [18] 禹文豪,艾廷华. 核密度估计法支持下的网络空间POI点可视化与分析[J]. 测绘学报, 2015, 44 (1): 82-90. YU Wenhao, AI Tinghua. Visualization and analysis of cyberspace POI points supported by kernel density estimation method[J]. Journal of Surveying and Mapping, 2015, 44(1): 82-90.
- [19] 刘军. 整体网分析讲义 (第3版) [M]. 上海: 格致出版社, 2014. LIU Jun. Lecture notes on holistic network analysis (3rd ed.)[M]. Shanghai: Gezhi Press, 2014.
- [20] 李琳,牛婷玉. 基于SNA的区域创新产出空间关联网络结构演变[J]. 经济地理, 2017, 37 (9): 19-25. LI Lin, NIU Tingyu. Evolution of regional innovation output spatial association network structure based on SNA[J]. Economic Geography, 2017, 37(9): 19-25.
- [21] 杨扬,董红丹,谭慧芳. 基于SNA的区域航空物流网络空间结构研究[J]. 公路交通科技, 2017, 34 (9): 138-145. YANG Yang, DONG Hongdan, TAN Huifang. Research on the spatial structure of regional air logistics network based on SNA[J]. Highway Transportation Technology, 2017, 34(9): 138-145.