doi：10.3969/j.issn.1002-0268.2023.10.028

基于GIS的城市末端快递节点空间布局优化

贾果玲
（西安外事学院 商学院，陕西 西安 710077）

摘要：为了提高城市快递节点布局的均衡性和适配性，从供需匹配视角构建了末端节点空间结构特征分析框架。选取西安市和上海市末端节点菜鸟驿站为研究对象，应用地理信息系统分析工具，从空间总体分布、空间分布方向、服务点覆盖范围、空间分布积聚性4个维度进行了实例分析。首先，采用相交分析衡量了节点与道路密度和人口密度的匹配性。其次，通过标准差椭圆方法对节点分布方向的离散性和行政区经济发展水平的耦合性进行了研究。然后，叠加缓冲区和泰森多边形方法，统计了节点1 km服务范围内企业和住宅数量，用以判断单一节点的覆盖重合度和未覆盖情况。最后，综合核密度、空间自相关和近邻分析方法探讨了节点空间集聚特征、节点与住宅集聚的匹配性。结果表明：节点配置与人口密度分布匹配性较弱；末端快递节点布局与道路密度有直接的相关性，通过新增支线道路可以促进节点的市场开拓；节点分布离散性较明显，与行政区经济实力分布方向大体一致，但并未达到高度同步；覆盖范围内节点数量高度集中、有重合及住宅区完全未被覆盖的现象同时存在，“富者愈富”的集聚特征反应了空间分布不均衡性比较突出，由此可知部分地区配送半径过大是导致效率低下的原因；空间多核集聚特征明显，上海市的供需双方布局核密度匹配度优于西安市。

关键词：物流工程；布局优化；GIS技术；末端快递；空间分布；服务范围
中图分类号：F252 **文献标识码**：A **文章编号**：1002-0268（2023）10-0241-07

Spatial Layout Optimization on Urban Terminal Express Node Based on GIS

JIA Guo-ling
（School of Business, Xi'an International University, Xi'an Shaanxi 710077, China）

Abstract: In order to improve the balance and adaptability of urban express node layout, the analysis framework of spatial structure of terminal nodes is constructed from the perspective of supply and demand matching. The end-node Cainiao Courier stations in Xi'an and Shanghai are selected as the study objects, the spatial distribution, direction of spatial distribution, coverage of service points and the aggregation of spatial distribution are analyzed. First, the intersection analysis is used to measure the matching of the node with the road density and population density. Second, the discreteness of node distribution direction and the coupling of economic development level are studied by the standard deviation ellipse method. Then, the overlay buffer and Tyson polygon method are used to count the number of enterprises and houses in the 1 km service range of a single node to determine the coverage coincidence and non-coverage of a single node. Finally, the spatial clustering characteristics of nodes and the matching between nodes and residential clusters are discussed by using the methods of kernel density, spatial autocorrelation and nearest neighbor analysis. The result shows that (1) the node configuration has a weak match with the population density distribution; (2) the distribution of terminal express nodes is directly related to the road density, and it can promote the

收稿日期：2022-12-22
基金项目：国际科技合作计划项目（2023-GHYB-10）；西安市社科基金项目（23JX156）；“一带一路”国际陆港物流联合研究中心项目（GH202305）；陕西高校青年创新团队项目
作者简介：贾果玲（1980-），女，山西晋中人，博士，副教授.（jgl@chd.edu.cn）

market development of nodes by adding branch roads; (3) the distribution of nodes has obvious discreteness, which is generally consistent with the distribution of economic strength of administrative regions, but not highly synchronous; (4) in the coverage area, the number of nodes is highly concentrated, there is overlap and the residential area is not covered at all, it can be known that the large distribution radius in some areas is the cause of low efficiency; (5) the spatial multi-core clustering characteristics are obvious, and the matching degree between supply and demand of Shanghai is better than that of Xi'an.

Key words: logistics engineering; layout optimization; GIS technology; terminal express; spatial distribution; coverage area

0 引言

快递业是近年来快速发展的新兴服务行业，具有广阔的发展前景，也是助力国民经济发展的利器。根据国家邮政局统计数据，2021 年我国快递发展指数为 1 571.5，发展规模指数为 3 609.4，规模增速保持在中高位。全年快递业务量高达 1 083 亿件，同比增长 29.9%[1]。行业发展动力持续强劲。末端快递节点是完成派送和集货任务的重要窗口，末端节点布局有助于企业实现有效投递、最大化市场范围和提升服务能力。末端节点结构不合理将会产生很多问题，例如营业增量不增收、低价竞争激烈和分拣派送任务的过量加载或低效配送。2021 年，快递服务满意度得分仅为 76.8 分，全国重点地区快递全程时限为 57.08 h，72 h 准时率为 77.94%[1]。尤其在受疫情影响情况下，末端节点运行不畅，派送运力缺口导致货物长时间积压和延迟投递，对全网运行效率造成严重影响，给人们生活带来诸多不便。由此可见，节点布局的适配性和合理性对快递行业的派送效率和服务质量意义重大。

快递网络领域的研究从早期的枢纽节点布局优化出发，通过定位瓶颈节点并调整节点供需匹配度能够缓解网络拥堵问题和由此产生的连接成本[2]。同样地，网络节点的重要度判定也是识别网络抗毁性的重要研究内容之一[3-5]。当这些枢纽节点失效时，选取最佳的备份节点能够避免网络结构突发改变引起的快递量和路径变化。其次，由于枢纽结构的分布形态对网络效率至关重要[6-7]，尤其是分拨中心或转运中心的区位布局会影响快递网络结构的成本费用和扩张速度[8]。在进行快递节点选址时可以考虑资源共享模式和节点的服务模式整合优化[9-10]，或者调整节点的从属关系来提升快递网络的柔性[11]。进一步地，研究学者发现城市间物流分拨中心的空间格局层级性和不均衡性也影响到了城市间连通性[12-13]。

现有的研究以干线网络和枢纽节点居多，对于末端节点的分布特征还有待深入挖掘[14]，鉴于末端节点在整体配送体系中的特殊性和重要性，本研究构建了城市快递末端节点空间分布特征分析框架，在地理空间数据的基础上叠加 GIS 地理模型分析方法，对其分布特征进行探索并提出优化措施。

1 研究区域、数据来源和处理

1.1 区域选择

为了能对典型代表城市进行对比分析，得出共性和差异性特征，选取西安和上海两座城市区域进行研究。根据国家邮政业统计，2022 年我国东、西部地区快递业务比重分别为 77.2% 和 7.5%[15]，区域差异明显，样本区分度高。因此，分别选取东部地区和西部地区最具有代表性的上海市和西安市作为研究区域样本开展研究。

西安是我国获批的第 9 个国家中心城市，在地理位置上也是处于我国中心位置，交通网络发达，省内外具有高度连通性，代表着西部经济与高科技产业发展的前沿领地。圆通速递西北航空转运中心、西北地区最大的京东“亚洲一号”智能物流中心落户西安，快递服务网络长度长达 263 100 km，快递服务营业网点 1 366 处。2021 年，全市快递服务企业业务量累计 78 685.67 万件，同比增长 17.24%，业务收入累计完成 84.18 亿元，同比增长 11.19%[16]。

上海是我国东部地区超大城市、国家中心城市、国家物流枢纽。京东亚洲一号现代化物流中心最早落户上海，2021 年，上海快递业务量 37.4 亿件，同比增长 11.2%。全市快递业务收入累计 1 715.8 亿元。全行业平均每一个营业网点服务面积 1.2 km^2，服务人口 0.4 万人，年人均快递支出 5 307.9 元，上海快递企业业务收入在我国城市中高居榜首[17]。目前，通过爱查快递网站可获取上海快递节点总数 13 375 个。但是，沪北地区尚未形成具有一定规模

的快件枢纽中心集聚区。根据《上海市快递设施专项规划（2017—2035 年）》，全市将规划形成“三片两园多中心”的快递物流设施空间布局[18]。

1.2　数据源选取和预处理

在末端配送网络的建设中，菜鸟驿站作为打通快递最后 1 km 的解决方案，在全国城市已经有超过 4 万个菜鸟驿站构成菜鸟网络的城市末端网络，具有鲜明的代表性。因此，快递末端节点数据以菜鸟驿站为样本，数据类型选择 POI（Point of Interest）数据。POI 数据的主要优势有 2 点：首先，在地理信息中，POI 兴趣点数据可以代表真实地理实体，用来表示餐饮店、公交站、超市等实体；其次，POI 数据来源广泛，通过百度、高德等综合的在线地图服务平台均可以获得 POI 数据。采用 Python 编码数据采集程序，以百度地图为数据源，通过百度地图开放平台 API 分别采集西安市和上海市的菜鸟驿站 POI 数据。截至 2019 年 7 月，获取西安市菜鸟驿站 1 709 个，上海市菜鸟驿站 1 116 个。POI 数据信息主要包括站点名称、站点地址、所属区域和经纬度坐标。

考虑到初步获取的百度空间经纬度信息采用 BD09 坐标，为了转换为地理信息分析软件 ArcGIS 支持的 WGS1984 坐标系，采用坐标转换软件对原有坐标进行转换。经过数据处理后，在 ArcGIS 中建立西安市和上海市菜鸟驿站 POI 点要素文件。研究中的人口密度、道路密度、行政区 *GDP* 为根据年鉴数据进行整理、字段计算并形成 .shp 类型文件，住宅经纬度、企业经纬度数据来自于百度地图采集。

2　空间结构特征分析框架

如何科学合理地评价城市末端快递网络空间结构特征是识别网络布局的重要前提。本研究尝试基于区域空间结构和地理信息相关理论从供需角度构建城市末端快递网络节点空间结构特征评价分析框架（见图 1），结合中观和微观空间数据评估节点服务设施的供需匹配程度。

首先，从供给侧而言，本研究对既有节点的空间结构特征评估所采用的指标借鉴了文献中的指标内容[19-20]。总体分布情况考量末端节点总体覆盖范围和场所，总体分布方向反映节点布局在整个城市中的走向，节点覆盖范围则可以反映单个节点的辐射力。最后，分布集聚特征可以看出所有节点布局呈现的社团结构。

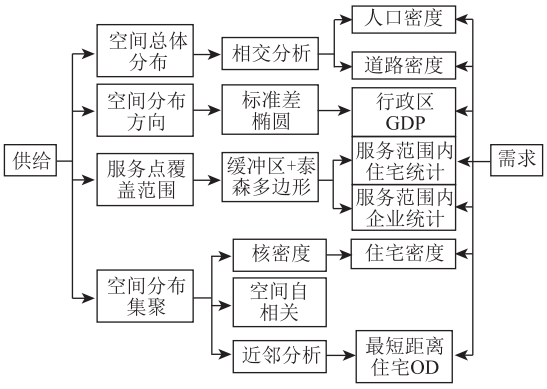

图 1　城市末端快递节点空间结构特征

Fig. 1　Spatial structure characteristics of urban terminal express nodes

其次，从需求侧而言，末端节点的服务对象主要为社区商业区居民、城区办公工作人员和高校学生群体[20]。考虑到高校的大社区属性和校园驿站的普及性，本研究把需求对象主要锁定为前 2 种类型。需求侧的特征要素选用人口密度、道路密度、行政区 GDP、服务范围内住宅统计、服务范围内企业统计、住宅密度和服务最短距离来表征。人口密度、服务范围内住宅统计和企业统计数量、行政区 GDP 和住宅密度可以反映需求量大小和集中度。道路密度、服务最短距离则从客户是否方便就近取货来反映需求方的便利性需求。道路密度越高，服务最短距离比例越高，都会使客户取货绕行距离越小、取货越便利。

3　评价方法

3.1　空间总体分布

从节点的服务性质和对基础设施依赖性出发，选取人口密度和道路密度 2 项指标与节点实际布局进行相交分析和相关性分析，考量末端节点在满足供需匹配性方面的总体分布情况。

3.2　空间分布方向

由于离散数据在空间分布上往往具有明显的方向性，因此，使用标准椭圆差（*SDE*）研究离散的空间数据集在方向上的分布特征。椭圆的长轴表征数据的主要分布方向，面积表示离散点分布的聚集程度或离散程度，半轴的值差距则表示空间分布方向的明显性，值差越大，方向性就越明显。*SDE* 的计算方法如式（1）~（2）所示：

$$SDE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{X})}{n}}, \qquad (1)$$

$$SDE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{Y})}{n}}, \quad (2)$$

式中，n 为要素总数；x_i，y_i 为要素 i 的坐标；$\{\bar{X}, \bar{Y}\}$ 为要素的平均中心。本研究采用 *SDE* 来研究城市末端快递节点和区域 *GDP* 的空间分布方向趋势。

3.3 服务点覆盖范围

在 GIS 中，缓冲区可以理解为地理空间实体的影响范围或服务范围。通常使用欧氏距离定义缓冲区。建立缓冲区后，可以进行叠加分析和空间统计等分析来解决现实问题。缓冲区分析可以分别针对点要素、线要素和面要素构建缓冲区。

泰森多边形是对空间平面的一种等分剖分方法，基本特征包括 3 个方面，首先是每个多边形内仅有一个离散点数据；然后是多边形内任一点距离该多边形的样点最近，与相邻多边形内样点距离远；第 3 是泰森多边形边上的点到两边离散点的距离相等。泰森多边形可以用来解决满足可达性和接近度要求的最近点问题。

本研究将缓冲区分析功能和泰森多边形功能交叉，划定菜鸟驿站点要素的服务范围，分别叠加西安市和上海市行政区域探讨末端节点的空间覆盖范围和集聚特征。

3.4 空间分布集聚性

核密度估计是用来估计未知的密度函数，也是空间分布集聚常用的工具之一。通过将状态空间连续化和无穷化，可以评估横截面上随机变量在不同时间的分布状态。核密度估计的计算方法如式（3）所示：

$$f(x) = \frac{1}{nh_n}\sum_{i=1}^{n} k\left(\frac{x - x_i}{h_n}\right), \quad (3)$$

式中，n 为样本数；h_n 为带宽；$k\left(\frac{x-x_i}{h_n}\right)$ 为核函数。

空间自相关可以表征同一个变量在不同空间位置的相关性和观测变量之间的相互依赖性，可以度量空间要素的相关程度和聚集程度。空间自相关主要使用 Moran 指数和 Geary 的 C 指数，本研究采用 Moran 指数探寻城市末端快递节点的聚集程度，其计算方法如下：

$$I = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}Z_iZ_j}{\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}\right)\sum_{i=1}^{n} Z_i^2}, \quad (4)$$

式中，n 为空间要素数；w_{ij} 为空间权重；Z_i 为要素 i 的特征与平均值（$x_i - \bar{x}$）的偏差。

Moran 指数取值介于 -1 到 1 之间，如果小于 0，存在空间负相关关系，说明要素在空间分布上表现为离散性。如果大于 0，则存在空间正相关关系，说明要素在空间分布上表现为聚集性，指数越大，聚集越紧密。近邻分析工具能够获得某个要素类中各点与另一要素类中最近的点或线要素之间的距离。

综上所述，空间自相关属于宏观层面的空间集聚性分析，而核密度估计和近邻分析则属于微观层面的空间集聚性分析，考虑到节点集聚性的综合性质，将融合 2 种方法以使得分析结果更加全面。

4 实例应用

4.1 菜鸟驿站节点总体分布特征

利用菜鸟驿站 POI 经纬度坐标和地址信息，在 ArcGIS 软件中转换为点要素，并对各区域分布数量汇总，可得到可视化分布图。将地理坐标系投影为投影坐标系 WGS_1984_UTM，计算菜鸟驿站 1 km 服务范围内道路总长度、道路面积和道路密度。西安市大部分菜鸟驿站道路密度值不足 0.08，上海市菜鸟驿站道路密度值不足 0.07。由各城市统计年鉴获取各行政区人口密度数据，并应用 Excel 分析其与分布数量的相关性。西安市各区菜鸟驿站和人口密度相关系数为 -0.157 9，上海市各区菜鸟驿站和人口密度相关系数为 -0.030 08。2 个城市均表征为负相关性，说明节点配置与人口密度分布匹配性较弱。

最后 1 km 末端快递节点布局与道路密度有直接的相关性。加强支路道路网的通达性将是推动快递末端节点建设的重要驱动力和基础条件。另一方面，人口密度和节点布局的负相关性则说明了供需之间的不匹配性。快递企业为加速扩张而采取的粗放式规划策略和管理方法已不适应，在重点考虑租金和经营成本因素之外，还需对用户集中度、人均效能、业务量等方面进行核算和考量。

4.2 菜鸟驿站节点空间分布方向

方向分布在空间统计和分析的数据探索中具有重要的作用。在总体分布特征基础上，为了进一步确定节点布局总体走向和模式，采用 ArcGIS 度量地理分布工具中的标准差椭圆方法来研究菜鸟驿站在空间分布上的方向性和离散程度的差异。计算结果中 *XstdDist* 和 *YstdDist* 分别代表标准距离的长轴和短轴的长度，*CenterX* 和 *CenterY* 表示椭圆的中心点，*Rotation* 表示椭圆的方向角度。长轴表示菜鸟驿站分

布方向，短轴表示菜鸟驿站分布范围。

西安市菜鸟驿站标准差椭圆的中心点经度为 108.938 693，纬度为 34.258 288，通过地图坐标拾取工具可知圆心位于莲湖区。长轴和短轴长度分别为 0.166 550 和 0.099 785，相差值较大，旋转角度为 53.57°，揭示其空间分布方向性比较显著，大致上呈现“南-北”走向。短轴较短，说明菜鸟驿站分布具有明显的向心力。由于行政区 *GDP* 从消费力上可以表征末端快递需求量大小，因此，将各行政区 *GDP* 值采用自然断裂法分类，并采用同样的方法生成西安市 *GDP* 的标准差椭圆走向。行政区 *GDP* 标准差椭圆的中心点经度为 108.956 449，纬度为 34.258 62，圆心位于碑林区。长轴和短轴长度分别为 0.199 78 和 0.492 651，相差值也较大，旋转角度为 63.982°。可以看出二者分布走向虽大致相同，但是质心不同表征主核心点不一样，方向角度不完全匹配，说明分布方位有所偏差。另外，行政 *GDP* 的长轴主趋势属性更加突出。

上海市菜鸟驿站标准差椭圆中心点坐标经度为 121.450 91，纬度为 31.181 707，圆心位于徐汇区。长轴和短轴长度分别为 0.230 785 和 0.187 451，相差值大，具有明显的“南-北”方向性，相较西安，短轴较长，说明节点分布离散性比较明显。将上海市各行政区 *GDP* 值采用自然断裂法分类，继而生成上海市 *GDP* 的标准差椭圆走向。上海市行政区 *GDP* 标准差椭圆中心点坐标经度为 121.410 603，纬度为 31.195819，圆心位于闵行区。二者圆心位置同样不同。长轴和短轴长度分别为 0.267 795 和 0.197 914，说明 *GDP* 的主趋势稍显突出。菜鸟驿站和行政区 *GDP* 方向角度分别为 21.21°和 28°，二者分布的主轴不完全重合。

4.3　菜鸟驿站节点服务覆盖范围

为了判定为末端节点菜鸟驿站服务区覆盖范围和服务区空间价值，采用“缓冲区+泰森多边形工具”综合分析和计算，这样可以满足一定的步行半径内节点之间的服务范围相互不重合。当 2 个节点距离较近时，以泰森多边形划分空间，距离较远时，以 1 km 缓冲区划分服务范围，并且可和其他指标相互交叉和量化其他指标。结合本研究获取到的西安市住宅 POI 数据 127 77 条、西安市内企业 POI 数据 32 883 条、上海市住宅 POI 数据 46 632 条、上海市内企业 POI 数据 197 494 条，在分别获得缓冲区和泰森多边形后，进行交叉和空间连接以统计服务范围内居民点数量、企业数量。采用自然间隔断裂法将空间连接数量分类，无论企业还是住宅，仍有一部分没有纳入到菜鸟驿站 1 km 配送半径内。

4.4　菜鸟驿站节点空间分布集聚

对西安市菜鸟驿站和住宅节点进行核密度分析，西安市菜鸟驿站分布表现出了高度的集聚性，空间分布不均衡性非常突出，且集聚中心不唯一，集聚模式为多核集聚模式，且分布于不同的行政区。而住宅节点的核密度在总体集聚下表现出了更加多核的特征，反映出二者的集聚中心没有达到高度匹配。对上海市菜鸟驿站和住宅节点进行核密度分析，二者同样表现了高度集聚性，中心城区聚集明显。在多核集聚模式下集聚中心更加接近。根据集聚中心点的布局来看，二者的匹配度在上海市优于西安市，表现出核心点的多处重合性。只是在非城市核心区，菜鸟驿站的布局密度与住宅密度不匹配。

空间自相关可反映区域单元与邻近单元属性的相关度。因此，使用空间统计分析工具，计算全局自相关系数 Moran 指数，由此判断末端节点菜鸟驿站的空间关联度。将投影过的西安菜鸟驿站数据和上海菜鸟驿站数据作为输入要素，将点距离的最大值作为 Moran 指数的距离阈值，计算得到西安菜鸟驿站和上海菜鸟驿站空间自相关 Moran 指数分别为 0.125 03 和 0.147 566，说明这 2 个末端节点的空间分布模式为空间正相关。

通过近邻分析计算每个菜鸟驿站最近的住宅区的距离，将近邻分析结果转为 Excel 表。因中位数比平均数更能代表样本分布概率，故使用 MEDIAN 函数计算最短临近距离的中位数。应用 ArcGIS 邻域分析功能，统计最短距离中位数范围内住宅小区的数量，按照 OD 距离线路长度的分位数进行分类。

综合上述核密度分析、空间自相关分析和与住宅区的 OD 距离分析可知，这 2 个城市的快递末端节点分布均具有空间正相关性和明显的集聚性。

5　结论

现有的快递末端节点布局研究基本以单一供给维度进行，本研究提出了从供需匹配性和耦合度视角进行探讨，并且选取 2 个典型样本城市进行对比分析，从而发现异同点和规律性启示。

基于以上研究目的和创新性基础，本研究构建了城市末端快递网络空间特征分析框架，以西安市和上海市为样本对象，应用中观和微观空间数据和 ArcGIS 等软件对 2 个城市末端快递网路空间特征进行了总体分布特征、分布方向、服务点覆盖范围和

空间分布积聚性实例分析。考量了节点配置与人口密度分布匹配性、节点分布方向上的离散性、服务节点覆盖范围的均衡性以及空间分布均衡性。主要研究结论如下：

（1）空间总体分布的共性问题是菜鸟驿站优先布局人口密度高、经济发展水平好的地方。这一规律符合节点布局基本原则，但是整体市场覆盖性目前还未达到饱和，即周边城区较慢的经济发展速度并不具有资源和人口吸引力，导致末端节点的发展范围受到暂时的限制，因而布局极度稀疏。在我国大力推进行政村快递直达的背景下，快递末端节点的布局还有广阔空间。此外，2 个城市在城市中心区的布局与经济发展实力的耦合性方面有所不同。上海市菜鸟驿站的核密度分布与行政区 *GDP* 核密度分布更加接近。虽然本研究并未做出耦合关系定量分析，但是在后续的研究中，可以把行政区 *GDP* 作为节点布局影响因素分析的一项特征。

（2）以标准差椭圆分析进行的空间分布方向可反映后期节点扩建的基本方向。菜鸟驿站空间分布方向与行政区 *GDP* 大致相近，但是由于驿站布局密度小导致长轴的趋势性不及后者，圆心角和方位角度也产生了偏差，并没有完美契合经济发展情况。

（3）从微观单一节点的 1 km 服务辐射范围来看，每个菜鸟驿站覆盖范围内居民点的数量可归纳为 2 个特征：覆盖范围内数量高度集中和住宅区完全未被覆盖。由此可判断当前末端节点的供需矛盾依然突出，要么流失客户，要么配送半径过大导致效率低下，取送货站点的配送压力巨大。

（4）空间正相关性和近邻分析反映了空间分布的集聚性，表征了节点布局的驱动力，也反映了一些“富者愈富”问题。过于密集的布局加剧了节点之间的竞争压力和服务客户归属的模糊性。另一方面，也会造成快递取送需求点没有被服务节点覆盖的机会损失。布局的不均衡性和归属不明确性不仅会阻碍快递企业的高质量发展，影响快递网络的运营能力，而且会拉低消费者的用户体验水平。

综上所述，本研究认为末端节点布局不仅要重视供需匹配性，而且要充分利用社会资源。在快递企业末端节点数量不足的情况下，应采取必要的措施与社区物业、综合服务平台、校园管理机构、便利店等开展合作，尽快完善末端节点布局，以缓解快递集散压力，打造全社会服务平台。同时建议菜鸟驿站与妈妈驿站、快宝驿站、兔喜生活等节点进行联盟整合、资源共享。节点布局与道路密度的直接相关性提示了需要加快支线道路的建设，为边远地区节点布局提供基础支撑。本研究对于总体判断城市末端快递节点空间结构特征和后期布局方向具有一定的实践意义。后续的研究应结合更多的数据对网络可达性和深度耦合特征进一步挖掘。

参考文献：

References：

[1] 中华人民共和国邮政局. 2021 年中国快递发展指数报告，20220510［R］. 北京：中华人民共和国邮政局，2022.
State Post Bureau of the People’s Repubic of China. Report on China’s Express Development Index in 2021，20220510［R］. Beijing：State Post Bureau of the People’s Repubic of China，2022.

[2] 杨从平，郑世珏，党永杰，等. 基于连接成本的快递网络拥塞控制［J］. 中国管理科学，2017，25（4）：143-151.
YANG Cong-ping，ZHENG Shi-jue，DANG Yong-jie，et al. Congestion Control of Express Delivery Networks Based on Connection Cost［J］. Chinese Journal of Mangement Science，2017，25（4）：143-151.

[3] 牟能冶，康秋萍. 基于节点重要度网络结构熵的城市快递网络抗毁性测度［J］. 综合运输，2020，42（3）：108-113.
MOU Neng-ye，KANG Qiu-ping. Invulnerability Measurement of Urban Express Network Based on Node Importance Network Structure Entropy［J］. China Transportation Review，2020，42（3）：108-113.

[4] 牟能冶，康秋萍，贾程方. 突发事件影响下的城市快递网络脆弱性评估［J］. 中国安全科学学报，2020，30（12）：125-132.
MOU Neng-ye，KANG Qiu-ping，JIA Cheng-fang. Vulnerability Assessment of Urban Express Networks under Influence of Emergencies［J］. China Safety Science Journal，2020，30（12）：125-132.

[5] 张锦，秦东. 快递企业配送网络的鲁棒性及其提升对策研究［J］. 交通运输工程与信息学报，2018，16（3）：7-13，58.
ZHANG Jin，QIN Dong. Research on Robustness and Promotion Enterprise Countermeasure of Express Network［J］. Journal of Transportation Engineering and Information，2018，16（3）：7-13，58.

[6] LI L，MA X. Pattern，Structure and Function of China’s Express Logistics Network Based onWaybill Data：A Case Study of ZJS Express［J］. Scientia Geographica Sinica，2019，39（1）：89-97.

[7] LI Y，WU Q，ZHANG Y，et al. Spatial Structure and

Formation Mechanism of E-commerce Express Logistics Network in the Three Major Urban Agglomerations of China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41 (8): 1398-1408.

[8] XU J, ZHENG M. Study on the Traffic Characteristics of Shanghai Courier Enterprises' Transshipment and Distribution Center Layout [J]. Traffic and Transportation, 2021, 34 (S1): 18-22.

[9] 王冰怡. 资源共享下城市快递网点模式及布局研究综述 [J]. 综合运输, 2020, 42 (5): 99-103.
WANG Bing-yi. Research Review on the Mode and Layout of Express under Resource Sharing [J]. China Transportation Review, 2020, 42 (5): 99-103.

[10] BI M, HE S, XU W. Express Delivery with High-speed Railway: Definitely Feasible or Just a Publicity Stunt [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2019, 120: 165-87.

[11] LI W, LI K, RUAN W. Research on the Mode of Hub and Spoke Network Used in City Express [J]. Operations Research and Management Science, 2020, 29 (4): 36-42.

[12] TANG C, MA X. Spatial Pattern and Structure of Networked Logistics Connection of Cities in China Based on Express Logistics Branch Data [J]. Progress in Geography, 2020, 39 (11): 1809-21.

[13] ZHOU J, LIU C, XU W, et al. Logistics Network Structure of Express Delivery Companies and Their Self-organization Effect under the Background of E-commerce: Taking ZTO Express as an Example [J]. Economic Geography, 2021, 41 (2): 103-12.

[14] WU X, WANG L, NING Y, et al. Analysis on Express Enterprise Network Distribution and Related Influential Factors in Nanjing: Based on a Comparison between Private Express Enterprise (SF Express) and State-owned Enterprise (EMS) [J]. Areal Research and Development, 2019, 38 (4): 52-9, 67.

[15] 中华人民共和国国家邮政局. 国家邮政局公布 2022 年上半年邮政行业运行情况, 20220713 [R]. 北京: 中华人民共和国国家邮政局, 2022.
State Post Bureau of the People's Repubic of China. Operation of the Postal Industry in the First Half of 2022 Announced by the State Post Bureau, 20220713 [R]. Beijing: State Post Bureau of the People's Repubic of China, 2022.

[16] 西安市邮政管理局. 2021 年西安市邮政行业发展统计公报, 20220615 [R]. 西安: 西安市邮政管理局, 2022.
Xi'an Municipal Postal Administration. Statistical Bulletin on Development of Xi'an Postal Industry in 2021, 20220615 [R]. Xi'an: Xi'an Municipal Postal Administration, 2022.

[17] 上海市邮政管理局. 2021 年上海快递发展指数报告, 20221201 [R]. 上海: 上海市邮政管理局, 2022.
Shanghai Municipal Postal Administration. Shanghai Express Development Index Report in 2021, 20221201 [R]. Shanghai: Shanghai Municipal Postal Administration, 2022.

[18] 上海市人民政府办公厅. 关于本市推进电子商务与快递物流协同发展的实施意见, 沪府办规 [2019] 1 号 [R]. 上海: 上海市人民政府办公厅, 2021.
Shanghai Municipal People's Government Office. Implementation Opinions on Promoting Collaborative Development of E-commerce and Express Logistics in City, Hufubangui [2019] No. 1 [R]. Shanghai: Shanghai Municipal People's Government Office, 2021.

[19] 刘玲, 李钢, 杨兰, 等. 深圳市快递自提点的空间分布特征与影响因素 [J]. 地球信息科学学报, 2019, 21 (8): 1240-1253.
LIU Ling, LI Gang, YANG Lan, et al. Spatial Distribution Characteristics and Influencing Factors of the Delivery Sites in Shenzhen [J]. Journal of Geo-information Science, 2019, 21 (8): 1240-1253.

[20] 李钢, 杨兰, 贺建雄, 等. 基于 POI 数据的西安市快递自提点空间格局及空间关系研究——以菜鸟驿站为例 [J]. 地理科学, 2018, 38 (12): 2024-2030.
LI Gang, YANG Lan, HE Jian-xiong, et al. The Spatial Pattern and Organization Relation of the Pickup Points Based on POI Data in Xi'an: Focus on Cainiao Stations [J] Scientia Geographica Sinica, 2018, 38 (12): 2024-2030.