

基于POI数据的玉溪市红塔区快递自提点空间格局及影响因素研究

窦明月*, 罗维佳#

玉溪师范学院地理与国土工程学院, 云南 玉溪

收稿日期: 2026年6月8日; 录用日期: 2026年7月20日; 发布日期: 2026年9月10日

摘要

本研究以玉溪市红塔区作为研究对象, 采用最近邻指数、核密度估计、标准差椭圆、局部自相关指数、泰森多边形以及地理探测器, 分析快递自提点的空间分布特性及其影响因素。研究结果显示: (1) 快递自提点显示出核心集中、周边分散的布局形势, 与路网的临近程度十分明显; (2) 总体显示出明显的集聚分布状态, 热点高度专注于玉兴路、凤凰路等核心建成区域, 不存在冷点区域; (3) 空间布局具有单核引领、轴向拓展、圈层递减的特点, 高密度核心位于玉兴路、凤凰路街道, 密度朝着外围山地乡镇逐渐降低, 椭圆的主轴显示东北、西南走向; (4) 路网密度的解释能力最强, 坡度次之, GDP与人口密度的解释能力相近; 多因子交互显示非线性加强, 坡度与坡向交互、坡度与路网交互的组合解释能力最强。快递自提点的空间分布状况是交通主导、地形约束、需求驱动共同影响的产物。

关键词

玉溪市红塔区, 快递自提点, 空间格局, 影响因素, 地理探测器

Research on the Spatial Pattern and Influencing Factors of Express Delivery Pickup Points in Hongta District, Yuxi City Based on POI Data

Mingyue Dou*, Weijia Luo#

School of Geography and Land Engineering, Yuxi Normal University, Yuxi Yunnan

Received: June 8, 2026; accepted: July 20, 2026; published: September 10, 2026

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 窦明月, 罗维佳. 基于 POI 数据的玉溪市红塔区快递自提点空间格局及影响因素研究[J]. 城镇化与集约用地, 2026, 14(3): 172-184. DOI: 10.12677/ulu.2026.143017

Abstract

This study takes Hongta District, Yuxi City as the research area, and employs nearest neighbor index, kernel density estimation, standard deviational ellipse, local spatial autocorrelation, Thiessen polygons, and geographic detector to analyze the spatial distribution characteristics of express self-pickup points and their influencing factors. The results show that: (1) The self-pickup points exhibit a layout pattern of concentrated core and dispersed periphery, with a pronounced proximity to the road network; (2) Overall, they display a significant clustered distribution, with hot spots highly concentrated in core built-up areas such as Yuxing Road and Fenghuang Road, while no cold spots are identified; (3) The spatial layout features a single-core dominance, axial expansion, and decreasing intensity in concentric rings, with the high-density core located in the subdistricts of Yuxing Road and Fenghuang Road, and density gradually declining toward peripheral mountainous townships, while the major axis of the ellipse indicates a northeast-southwest orientation; (4) Road network density exhibits the strongest explanatory power, followed by slope, while GDP and population density show comparable explanatory power; multi-factor interactions reveal nonlinear enhancement, with the combinations of slope and aspect, and slope and road network density, yielding the strongest explanatory power. The spatial distribution of express self-pickup points is the result of the combined effects of transportation dominance, topographic constraints, and demand-driven factors.

Keywords

Hongta District, Yuxi City, Express Self-Pickup Points, Spatial Pattern, Influencing Factors, Geographic Detector

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着“互联网+”战略推进及数字经济迅猛发展,电子商务已全面融入城乡居民生活。国家邮政局统计显示,截至2025年11月,我国快递业务量已超1800亿件,创历史新高。¹巨量快递业务给末端派送造成巨大压力,“最后一公里”的派送成本、效率及妥投问题日益凸显,成为制约物流效能的主要瓶颈。快递自提点作为创新型末端服务模式,通过“线上预订+线下自提”整合社会资源,降低了重复配送成本,提供了灵活安全的取件选项。深入研究其空间分布及驱动机制,对优化城市物流设施、完善末端网络、提升居民生活便捷性具有重要实践价值。

近年来,快递自提点成为城市物流地理学研究热点。在空间分布特征方面,已有研究多基于POI大数据,采用最近邻指数、核密度分析、标准差椭圆及空间自相关等方法,揭示不同城市自提点的集聚形态与分布规律[1][2]。研究表明,其分布普遍呈现不均衡与集聚特性,与城市发展程度、人口分布紧密相关。如李钢等发现西安市菜鸟驿站呈“内密外疏”格局[3];刘玲等指出深圳市自提点具有多核聚集特性[4];冀琴等发现重庆市自提点主要集中于核心地段[5]。在影响因素方面,研究普遍认为人口密度、经济发展水平、交通网络密度及商业布局是主要因素。丁伟等基于地理加权回归模型证实了这些因素对成都市自提点空间分异的影响[6]。魏宗财等进一步指出便利店、超市密度对其有正向作用[7]。此外,部分研

¹https://paper.people.com.cn/rmr/pc/content/202512/02/content_30117930.html

究关注了土地用途、高校分布及政策导向的影响[8]-[10]。研究方法上, GIS 与社会统计方法的融合日趋成熟, 地理探测器及多尺度地理加权回归模型的应用, 有效揭示了影响因子的解释力及空间异质性[11]-[14] [15], 为深入认识空间格局的形成机制提供了有力工具。

然而, 现有研究多聚焦于一线或区域中心城市, 针对西部欠发达地区, 尤其是中小城市核心区的精细化研究相对薄弱[16]。玉溪市作为云南重要的科教文卫枢纽及泛亚铁路东线节点, 快递业务量增长迅速。红塔区作为其核心城区, 兼具中小城市与城乡融合的空间特点, 并受山地丘陵地貌与城乡二元结构影响。这一特殊情境为检验和拓展城市物流地理学理论提供了有价值的案例。本文以红塔区为研究对象, 基于 POI 数据, 运用核密度分析、空间自相关、标准差椭圆及地理探测器等方法, 刻画其快递自提点空间分布格局, 定量分析人口密度、路网密度、地形、经济等因素的影响程度与交互作用, 旨在为同类城市优化自提点布局提供科学依据。

2. 研究区概况及数据来源

2.1. 研究区概况

红塔区作为云南省玉溪市的政经文核心区域, 处于云南省中部、滇中要地, 其地理坐标在东经 $102^{\circ}17'32''\sim 102^{\circ}41'37''$ 、北纬 $24^{\circ}08'30''\sim 24^{\circ}32'18''$ 范围(图 1)。东与江川区相接, 南连通海县, 西南同峨山彝族自治县交界, 北面与昆明市晋宁区相连, 距离省会昆明市 86 km。该区域整体面积达 1004 km^2 , 地形四周被山脉环绕, 城区中心海拔为 1630 m, 属于中亚热带半湿润冷冬高原季风气候类型。截止 2020 年 11 月, 红塔区的常住人口达 58.87 万人。到 2025 年, 红塔区实现地区生产总值 1131.1 亿元, 较上一年增长 3.0%, 其中第三产业实现增加值 420.8 亿元。²

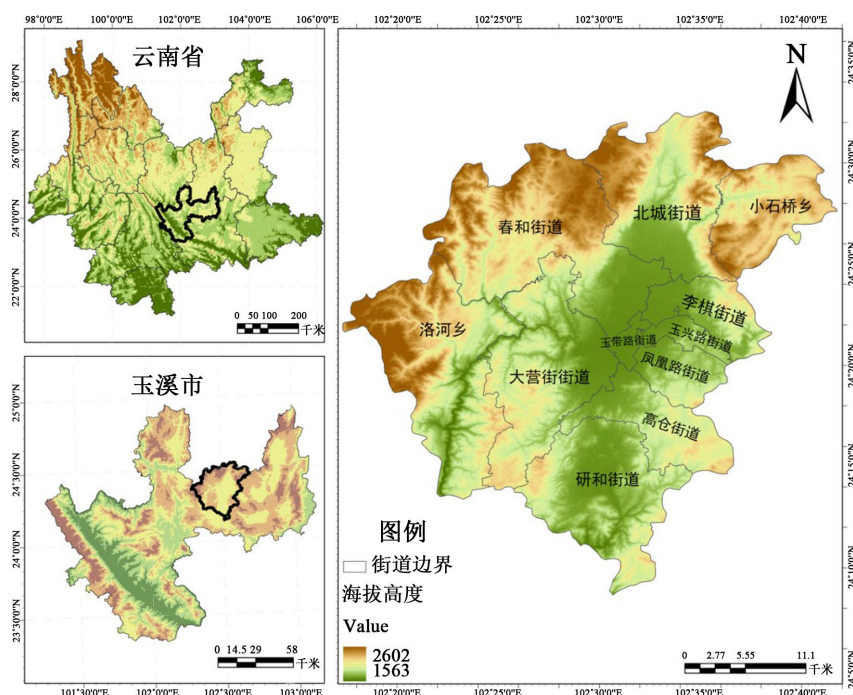


Figure 1. Location of the study area
图 1. 研究区位置

²<https://www.hongta.gov.cn/htq/htgk/20260528/1038062.html>

本研究以玉溪市红塔区作为研究客体, 研究领域根据《玉溪市红塔区国土空间总体规划(2021—2035年)》³对中心城区的界定, 具体包括玉兴、玉带、凤凰、北城、大营街、研和、李棋、春和、高仓等九个街道, 以及洛河彝族乡、小石桥彝族乡两个民族乡, 研究领域包含红塔区整个区域, 以全面展现快递自提点于中心城区建成区域以及城乡过渡区域的空间分布特性(图 2)。

2.2. 数据来源

研究数据包括: (1) 快递自提点 POI 数据, 来自高德地图开放平台(2025 年 12 月), 经去重筛选获 352 个有效点; (2) DEM 数字高程数据, 来自地理空间数据云, 并提取坡度、坡向; (3) 人口数据, 来自 LandScan 全球人口分布数据库(1 km × 1 km 分辨率); (4) 道路矢量数据, 来自 OpenStreetMap; (5) 社会经济数据, 来自玉溪市统计局。所有数据统一采用 CGCS2000 坐标系及 3 Degree GK CM 102E 投影。

3. 研究方法

3.1. 泰森多边形

泰森多边形(Voronoi Diagram)用于划分离散点的空间邻近区域。多边形面积越小, 表明自提点分布越密集, 服务范围越窄, 竞争越激烈; 面积越大则分布越稀疏, 服务范围越广泛[5]。

3.2. 最近邻指数

最近邻指数(Nearest Neighbor Index, NNI)一种用以判定点要素在空间里分布模式(集聚、随机或均匀)的经典手段。计算公式如下:

$$R = \frac{\bar{r}_o}{\bar{r}_e} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \min(d_{ij})}{2\sqrt{n/A}} \quad (1)$$

当 $R < 1$ 时, 表示集聚分布; $R = 1$ 为随机; $R > 1$ 为均匀。通过 Z 得分与 p 值检验显著性。

3.3. 空间自相关分析

空间自相关分析可用于衡量快递自提点于不同空间位置间的相互依赖联系。与全局 Moran's I 只能判断整体的集聚或者离散趋向不同, 本文运用局部空间自相关办法, 具体基于 Getis-Ord G_i^* 指数来识别红塔区快递自提点在局部尺度上的热点与冷点区域[3] [4]。此指数可探测高值(热点)或者低值(冷点)于空间里的明显聚类之处, 计算公式如下:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n W_{ij}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n W_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^n W_{ij} \right)^2}{n-1}}} \quad (2)$$

Z 得分正值且显著为热点, 负值且显著为冷点。

3.4. 标准差椭圆

标准差椭圆(Standard Deviational Ellipse, SDE)用于刻画点要素分布的方向性与离散趋势。长半轴表示主要分布方向, 短半轴表示次要方向, 扁率越大方向性越显著, 椭圆面积反映离散程度[2] [6]。

³<https://www.hongta.gov.cn/u/cms/htqzfxgk/202505/13111856ed8d.pdf>

3.5. 核密度分析

核密度分析(Kernel Density Estimation, KDE)用于生成连续密度曲面, 识别高密度聚集区[4] [6], 计算公式为:

$$f(s) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{h^2} K\left(\frac{s-s_i}{h}\right) \quad (3)$$

本文搜索半径设为 500 m, 输出像元 30 m, 采用 Jenks 自然间断点法分级。

3.6. 最小二乘法

最小二乘法(Ordinary Least Squares, OLS)用于全局线性回归分析。以 1 km × 1 km 网格为单元(352 个观测值), 因变量为网格内自提点服务面积(由泰森多边形与网格叠加得出), 自变量(X)从自然环境、经济发展、人口分布与交通条件四方面选取[12]。

3.7. 地理探测器

地理探测器(Geodetector)用于探测空间分异性及驱动因子。本文主要使用因子探测与交互作用探测模块, 量化各因子对服务面积空间分异的解释力(q 值)及因子间交互作用类型[1] [11] [14]。

4. 快递自提点空间分布特征

4.1. 红塔区快递自提点服务范围特征

根据泰森多边形分析结果(图 3), 红塔区快递自提点的服务范围呈显著空间分异。自提点分布越密集的区域, 多边形单元面积越小, 服务范围越窄、竞争程度越高; 反之则单元面积越大、服务范围越广。密集区主要位于红塔区中部的城市核心建成区, 包括玉兴街道、凤凰街道、玉带街道及大营街街道东北部, 该区域人口密度高、商业发达、路网密集, 旺盛的快递需求推动自提点高度集聚, 但也导致站点间服务半径重叠、竞争激烈, 单个站点实际服务范围被压缩。与之相对, 北部和东部的外围区域(小石桥彝族乡、洛河彝族乡及研和街道东南部等)自提点分布稀疏, 多边形单元面积显著扩大, 服务范围广阔、竞争程度低。总体而言, 红塔区快递自提点服务范围呈现“核心密集、外围稀疏”的圈层结构, 这一格局是人口分布、经济活力与地形条件共同作用的结果。

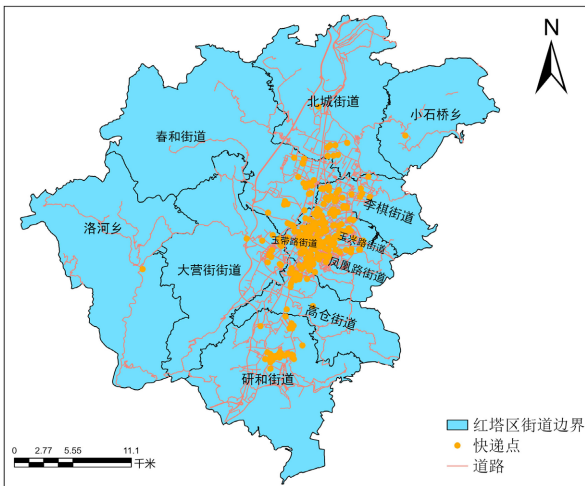


Figure 2. Distribution map of delivery points
图 2. 快递点分布图

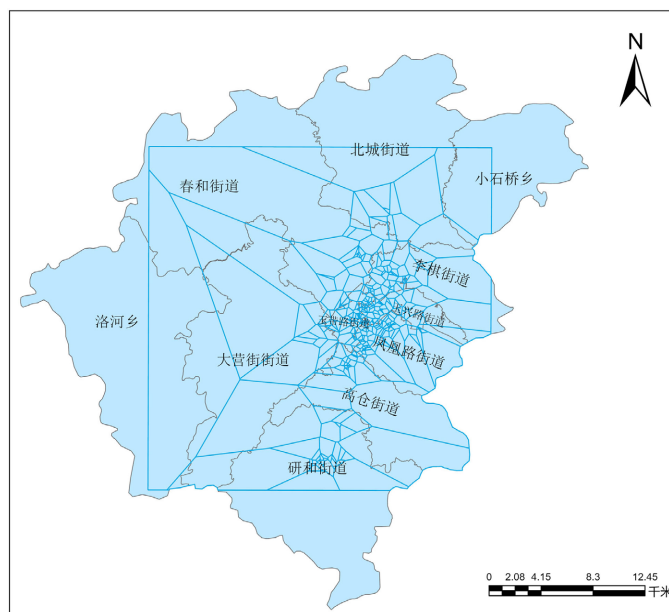


Figure 3. Tyson Polygon
图 3. 泰森多边形

4.2. 空间分布形态与冷热点分布特征

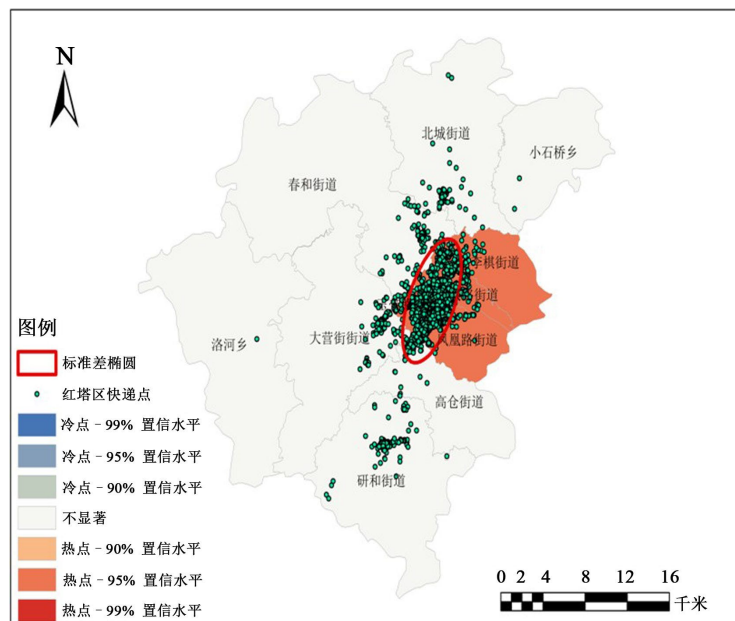


Figure 4. Cold and hot spot distribution map
图 4. 冷热点分布图

基于最近邻指数以及局部空间自相关分析方法(图 4), 对红塔区快递自提点的整体分布形态与冷热点格局进行测度。最近邻指数为 0.4599, Z 得分为-19.3844, P 值为 0.0000, 通过 1%显著性检验, 表明自提点实际平均观测间距远小于随机分布下的预期间距, 整体呈高度显著集聚态势。冷热点分析以 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 网格为单元, 基于 Getis-Ord G_i^* 指数识别显示, 研究区内不存在明显冷点网格, 热点网格高度集中

于中部城市核心建成区，涵盖玉兴街道、凤凰街道、玉带街道全部或大部分区域，以及大营街街道东北部、李棋街道南部；其中 99%置信水平的热点网格连片分布，形成以玉兴街道为中心的高值集聚区，95%和 90%置信水平的热点网格呈圈层状向外围延展至春和街道东部、高仓街道北部等地。热点区域与人口高密度区、商业核心区(极中心、美佳华商业广场)、行政办公区及路网密集区高度吻合，体现了自提点布局对市场需求与交通便捷性的强依赖关系。北城街道、小石桥乡、洛河乡及研和街道南部等区域均属不显著区域，未形成冷点聚集，表明这些地区自提点数量虽少，但未呈现统计上的低值异常集聚，可能与中小城市周边人口分布零散、自提点随机设置有关。

4.3. 空间分布格局特征

基于核密度估计(图 5)与标准差椭圆分析(图 6)，进一步揭示玉溪市红塔区快递自提点的空间分布格局特征。核密度分析结果显示，红塔区快递自提点的空间分布呈现显著的“单核集聚、外围多点”分异格局。高密度区高度集中于红塔区中部的城市核心建成区，以玉兴路街道、凤凰路街道为核心形成单一高密度主中心，核密度值达 144,589~216,884，约为全域均值的数十倍；密度由核心向外围呈圈层式递减，第一圈层(56,135~93,558)覆盖玉带街道、李棋街道南部及大营街街道东北部，第二圈层(28,067~56,135)扩展至高仓街道北部、春和街道东部及研和街道北部，而小石桥彝族乡、洛河彝族乡及研和街道南部、北城街道北部等区域核密度值均低于 7655，属低密度稀疏区。标准差椭圆呈东北-西南走向，中心位于玉兴路街道与凤凰路街道交汇处，与研究区域人口重心和商业中心高度吻合，椭圆覆盖范围主要集中于红塔区中部及南部平坝区域，西北部(洛河乡、小石桥乡)和东部边缘(研和街道东南部)未在椭圆主要覆盖范围内。综合两者，红塔区快递自提点空间布局可归纳为“单核引领、轴向拓展、圈层递减”，即以玉兴、凤凰街道为唯一高密度核心，沿东北-西南城市发展轴带向外扩散，密度由核心向边缘山地乡镇逐步降低，这一格局与红塔区中部平坝城镇密集、两翼山地乡村稀疏的地域结构高度一致，是人口分布、经济活力与地形条件共同作用的空间响应。

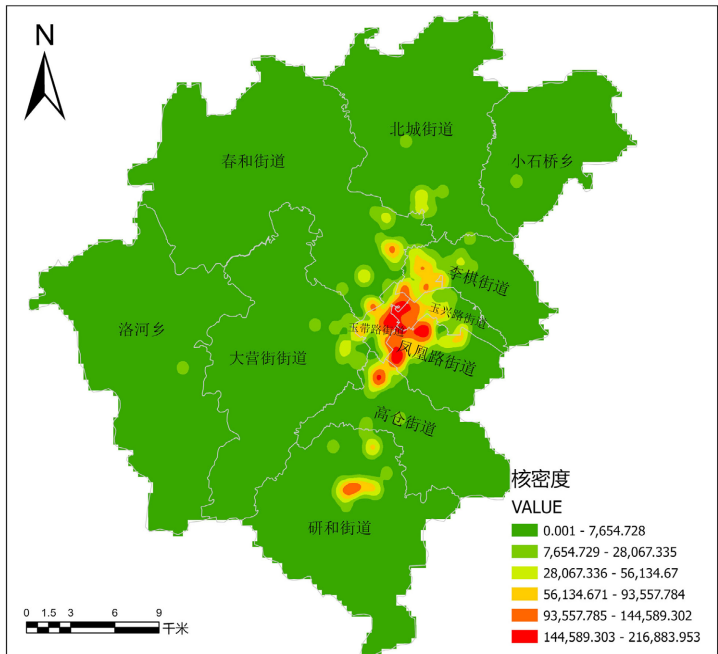


Figure 5. Nuclear density analysis
图 5. 核密度分析

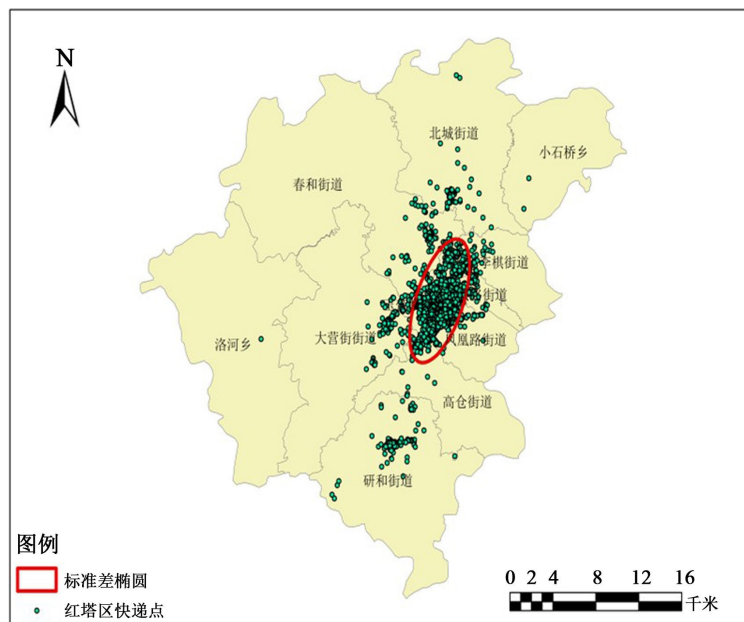


Figure 6. Standard deviation ellipse
图 6. 标准差椭圆

5. 快递点空间分布影响因素分析

5.1. 变量分级分析

为从全局线性角度定量识别各影响因素对快递自提点服务面积的影响强度与作用方向, 本文以 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 网格为分析单元(共 352 个有效网格), 以网格内快递自提点服务面积为因变量, 选取 GDP 重分类(X_1)、人口密度重分类(X_2)、海拔高度重分类(X_3)、坡度重分类(X_4)和路网密度重分类(X_5) 5 个因子, 运用 OLS 与地理探测器相结合的方法进行系统识别。地理探测器要求自变量为类别变量, 故将连续型因子(GDP、人口密度、海拔高度、坡度、路网密度)分别分为 5 个等级(如表 1)。其中 GDP、人口密度、海拔高度和路网密度采用自然间断点法分级, 以规避主观设定阈值的偏差, 客观反映各因子在红塔区内部的空间分异特征; 坡度分级则采用《第三次全国国土调查技术规程》⁴(TD/T 1055-2019)的五级分类标准, 以契合红塔区中部平坝与外围山地过渡的地形特点。土地利用类型(X_6)和坡向因子(X_7)为类别变量, 直接采用原始分类编码, 不再分级处理。

Table 1. Boundaries for variable classification

表 1. 变量分级界限

分级	GDP 重分类(X_1) (万元/ km^2)	人口密度重分类(X_2) (人/ km^2)	海拔高度重分类(X_3) (m)	坡度重分类(X_4) ($^\circ$)	路网密度重分类(X_5) (km/km^2)
1	557~5655	0~1000	1563~1771	0~2	0~2
2	5655~10,753	1000~2000	1771~1979	2~6	2~4
3	10,753~15,851	2000~3000	1979~2187	6~15	4~6
4	15,851~20,949	3000~4000	2187~2395	15~25	6~8
5	20,949~26,047	4000~5000	2395~2602	>25	>8

⁴<https://files.in5.cn/guifan/201902-第三次全国国土调查技术规程.pdf>

5.2. 单因子分析

5.2.1. OLS 结果分析

将服务面积当作因变量，把 GDP 重分类(X_1)、人口密度重分类(X_2)、海拔高度重分类(X_3)、坡度重分类(X_4)、路网密度重分类(X_5)作为自变量，构建 OLS 回归模型。由表 2 可知，调整后 R^2 为 0.2316，表明所选 5 个自变量可解释服务面积空间分异的约 23.2%，联合卡方统计量为 48.31 ($p < 0.01$)，模型整体通过显著性检验。Koenker (BP)统计量显著($p < 0.01$)，表明存在异方差或空间非平稳性，故系数显著性参照稳健概率判定。

Table 2. Performance diagnosis of the OLS regression model

表 2. OLS 回归模型性能诊断

输入要素	服务点连接	因变量	面积
观测值个数	352	阿凯克信息准则(AICc) ['d']	12,113
R 平方的倍数['d']	0.2426	校正 R 平方['d']	0.2316
联合 F 统计量['e']	22.16	Prob (>F), (5346)自由度	0.000000*
联合卡方统计量['e']	48.31	Prob (>卡方), (5)自由度	0.000000*
Koenker(BP)统计量['f']	41.32	Prob (>卡方), (5)自由度	0.000000*
Jarque-Bera 统计量['g']	72,802	Prob (>卡方), (2)自由度	0.000000*

由表 3 可知，GDP 重分类(X_1)系数为-1,833,656 (稳健 $p = 0.0025$)，与服务面积呈显著负相关，即 GDP 等级越高的核心建成区自提点布设密度越大，单个站点服务范围被压缩。路网密度重分类(X_5)系数为-389,581 (稳健 $p = 0.0019$)，亦呈显著负相关，表明路网密度越高，交通可达性越佳，自提点倾向在高密度区域集聚，服务面积随之缩小。坡度重分类(X_4)系数为 4,575,841 (稳健 $p = 0.0633$)，接近显著水平，系数为正，反映坡度较陡区域自提点分布稀少，单点服务范围扩大；其在 OLS 中虽未达 0.01 显著性水平，但地理探测器 q 值为 0.1996 ($p < 0.01$)，表明坡度影响具有空间非平稳性。人口密度重分类(X_2) (系数 25,912，稳健 $p = 0.9737$)与海拔高度重分类(X_3) (系数 813,756，稳健 $p = 0.7269$)均未通过显著性检验，前者可能因核心区高密度与高布点密度并存、外围中等密度与低布点密度并存导致全局线性关系被抵消，后者因红塔区自提点集中于海拔变化有限的平坝区，独立影响不显著。

Table 3. Results of the OLS regression model

表 3. OLS 回归模型结果

变量	系数[a]	稳健标准差	稳健 t	稳健概率	VIF [C]
截距	6,869,245	3,756,841	1.8285	0.0683	
GDP 重分类(X_1)	-1,833,656	602,183	-3.0450	0.0025	1.5632
人口密度重分类(X_2)	25,912	329,367	0.0788	0.9373	1.6003
海拔高度重分类(X_3)	813,756	2,327,926	0.3496	0.7269	1.1131
坡度重分类(X_4)	4,575,841	2,455,814	1.8633	0.0633	1.0963
路网密度重分类(X_5)	-389,581	124,329	-3.1335	0.0019	1.6078

5.2.2. 地理探测器结果分析

各因子对快递自提点服务面积空间分异的解释力差异显著(如表 4)，路网密度重分类(X_5)的 q 值最高

(0.2264, $p < 0.01$), 是影响红塔区快递自提点空间分布的主导因子。路网密度大的区域(像玉兴路街道、凤凰路街道)交通可达性佳, 快递配送和居民自提的便利性明显提高, 吸引自提点密集分布; 与此同时高密度的路网也让单个自提点的服务范围被缩减, 服务面积变小。坡度重分类(X_4)的 q 值位列第二(0.1996, $p < 0.01$), 这显示出地形条件是限制自提点布局的主要约束因素。红塔区北部的洛河乡、小石桥乡以及东部研和街道的南部多为山地丘陵, 地势起伏大, 场地平整费用高、交通便利性不佳, 自提点分布较为零散, 服务范围随之扩大; 而中部的平坝区域地势平坦, 是自提点的主要集中区域。GDP 重分类(X_1)(0.1222)与人口密度重分类(X_2)(0.1202)的解释力接近且都明显($p < 0.01$), 这体现出经济发展状况与人口聚集程度对快递自提点的布局有着同等主要的基础支撑功效——GDP 高的区域商业活力高、网络购物需求大, 人口密度高的区域能提供稳定的客源根基, 共同促使自提点向核心区域汇聚。土地利用类型(X_6)(0.1136)虽有一定解释力但未通过显著性检验($p = 0.1383$), 可能与红塔区城镇用地内部差异不大、外围乡村自提点样本较少有关。海拔高度重分类(X_3)(0.0259)与坡向(X_7)(0.0180)均未通过显著性检验($p > 0.05$), 表明在红塔区尺度上, 海拔和坡向对自提点服务面积空间分异的独立贡献微弱。

Table 4. Single-factor detection results of the geographic detector

表 4. 地理探测器单因子探测结果

	GDP 重分类 (X_1)	人口密度重分类 (X_2)	海拔高度重分类 (X_3)	坡度重分类 (X_4)	路网密度重分类 (X_5)	土地利用类型 (X_6)	坡向(X_7)
q 统计量	0.1222	0.1202	0.0259	0.1996	0.2264	0.1136	0.0180
p 值	0.000	0.000	0.5700	0.000	0.000	0.1383	0.6303

5.3. 交互作用分析

在单因子分析基础上, 利用地理探测器交互探测模块, 对 7 个影响因子两两交互后的解释力进行分析。结果(如表 5)显示, 所有因子交互后的 q 值均大于各自单因子 q 值, 且全部属于加强类型(其中非线性加强 15 对、双因子加强 6 对), 表明快递自提点空间分异是多因素共同作用的结果。

交互效应最强的组合均与坡度相关: 坡度与坡向($q = 0.5528$)、坡度与土地利用($q = 0.5485$)、坡度与路网密度($q = 0.5060$), 三者均为非线性加强。其中坡度与坡向交互解释力最强, 明显高于二者单因子之和, 表明陡坡与特定坡向组合进一步加大了场地建设与交通通达难度。坡度和路网密度的交互同样显示非线性加强, 陡坡与低密度路网相互叠加限制自提点布局, 而平缓地带与高密度路网则相互促进形成高密度集聚区。路网密度与坡向($q = 0.4759$)亦呈非线性加强, 显示坡向通过影响日照、道路维护等间接作用于路网通达性。

GDP 与人口密度($q = 0.3305$)为非线性加强, 但增强幅度相对有限, 反映在中小山地城市中经济与人口空间分布一致性较高, 二者协同效应未如地形类因子显著。GDP 与路网密度($q = 0.3711$)、人口密度与路网密度($q = 0.3857$)均为非线性加强, 表明交通条件可强化经济与人口对自提点布局的驱动效应。涉及海拔高度的交互对中, 除海拔与坡度($q = 0.2210$, 双因子加强)和海拔与路网($q = 0.2307$, 双因子加强)外, 其余交互 q 值均低于 0.15, 且多为双因子加强, 表明海拔高度在小尺度区域内的独立影响有限, 其作用主要通过坡度间接显现。

从交互类型来看, 非线性加强占主导地位(15/21), 尤其集中于包含坡度、坡向、土地利用等地形相关因子的组合中, 表明红塔区快递自提点空间分异的主要驱动力来自地形与交通、土地利用的复杂非线性关联, 地形约束在交互作用中发挥显著的放大效应, 进一步验证了交通主导、地形约束、需求驱动的作用机理。

Table 5. Results of interaction analysis for influencing factors
表 5. 影响因子交互作用探测结果

	土地利用 (X ₆)	坡向 (X ₇)	GDP 重分类 (X ₁)	人口密度重 分类(X ₂)	海拔高度重 分类(X ₃)	坡度重分类 (X ₄)	路网密度重分类 (X ₅)
土地利用(X ₆)	0.1136						
坡向(X ₇)	0.1984	0.0180					
GDP 重分类(X ₁)	0.3107	0.2577	0.1222				
人口密度重分类(X ₂)	0.2413	0.1849	0.3305	0.1202			
海拔高度重分类(X ₃)	0.1446	0.0576	0.1458	0.1275	0.0259		
坡度重分类(X ₄)	0.5485	0.5528	0.4877	0.4207	0.2210	0.1996	
路网密度重分类(X ₅)	0.3338	0.4759	0.3711	0.3857	0.2307	0.5060	0.2264

6. 结论与建议

6.1. 研究结论

本研究以玉溪市红塔区作为研究对象，基于高德地图 POI 数据，综合运用最近邻指数、核密度分析、标准差椭圆、局部空间自相关、泰森多边形等空间分析手段，系统描绘快递自提点的空间分布形势；在此前提下，采用最小二乘法(OLS)与地理探测器相结合的方式，从全局线性关联与空间分异解释能力两个方面，判别各影响因素的作用强度与交互机制。结论如下：

(1) 分布呈核心集聚、外围稀疏，路网邻近性强。自提点多集中于玉兴路、凤凰路、玉带街道等核心建成区，外围乡镇分布稀少。超过 80%的自提点位于距主干道 500 米范围内，呈现明显的近路网特征。

(2) 整体显著集聚，热点集中于核心区。最近邻指数为 0.4599 ($Z = -19.38$, $p < 0.01$)，集聚显著。热点网格高度集中于核心建成区，无显著冷点。

(3) 空间格局为“单核主导、轴向延伸、圈层衰减”。以玉兴路－凤凰路街道为单一高密度核心，核密度值达全域均值的数十倍；标准差椭圆呈东北－西南走向，与城市发展主轴一致；密度由核心向外围山地乡镇逐级递减。

(4) 多因素共同作用：路网密度主导，坡度约束，GDP 与人口密度支撑。因子解释力排序：路网密度($q = 0.226$) > 坡度($q = 0.200$) > GDP ($q = 0.122$) > 人口密度($q = 0.120$)。交互作用均为非线性增强，其中坡度和坡向($q = 0.553$)、坡度和路网($q = 0.506$)组合解释力最强，体现交通主导、地形约束、需求驱动的作用机理。

(5) 与平原型大城市相比，红塔区快递自提点空间格局具有鲜明的山地城市与城乡二元结构特征。“单核极化”程度显著高于深圳、成都等多核结构的城市，反映中小城市有限规模难以支撑次级中心形成；地形约束强度($q = 0.200$)明显高于西安、郑州等平原城市，表明坡度因子在山地城市中是独立于路网与经济因素之外的硬性选址门槛；城乡二元结构导致自提点分布呈“断层式”衰减，即在城市开发边界处出现急剧下降，与红塔区作为地级市中心城区、外围为民族乡的行政－经济二元格局高度吻合。这表明快递末端设施的空间逻辑并非普适性的“经济－人口”决定论，而是在不同尺度、地形和行政体制下表现出显著的语境依赖性，对于中小山地城市而言，交通便捷性与地形适宜性构成了比人口规模更为基础性的布局约束条件。

6.2. 建议

根据上述研究成果，针对玉溪市红塔区快递自提点的空间布局改进，给出如下建议：

(1) 优化核心区布局, 缓解过度竞争。结合冷热点分析(图 4)与核密度图(图 5), 当前的服务空白区主要集中在: ① 玉兴路街道与凤凰路街道交界处的一些老旧小区内部(如红塔路沿线、玉兴路北段), 这些区域人口密度高但站点覆盖不足; ② 李棋街道南部的新建住宅片区(如玉溪高铁站周边), 该区域正处于城市建设扩张阶段, 快递需求增长迅速但配套设施滞后; ③ 大营街街道东北部的城乡结合部, 既有居住人口又有一定商业活动, 但目前自提点密度远低于核心区。建议在上述区域优先布局新增站点。

(2) 弹性加密外围乡镇布点, 防止资源闲置。针对小石桥乡、洛河乡等外围区域人口分散、需求有限的特点, 不宜简单复制城区高密度模式。建议: 优先在乡镇政府驻地、集市、客运站等人口集中点设置 1~2 个综合自提点, 辐射周边行政村; 鼓励与便利店、邮政代办点、农资商店合作, 采用兼营模式降低成本; 对需求极低的偏远村组, 探索预约式或流动快递车服务, 按需配置。

(3) 加强交通与地形协同, 实施差异化布局。路网密度是主导因子, 应将自提点建设纳入城市交通规划, 优先在主干道、公交枢纽、居住区出入口配置设备。基于地理探测器结果, 在路网密度较低的过渡地带(春和街道东部、高仓街道北部、研和街道北部)优先加密支路网建设, 同步规划自提点用地; 陡坡山地乡镇采用“大服务半径、多村共享”模式, 平坝核心区推行“小半径、高密度”布局。

(4) 推动政企协作, 完善末端服务体系。建议政府将快递自提点纳入社区生活圈配套规划, 在用地、用电等方面给予政策扶持, 鼓励快递企业与便利店、物业、村委会等开展联营合作, 降低末端建设成本, 同时建立动态监测机制, 定期评估服务覆盖与供需匹配情况, 实现布局的持续优化。

参考文献

- [1] 李国旗, 金凤君, 陈媛, 等. 基于物流热度的中国物流业空间格局[J]. 地理科学进展, 2015, 34(5): 629-637.
- [2] 李俊, 王仲智, 孟浩, 等. 淮海经济区快递网点空间格局及影响因素研究[J]. 现代城市研究, 2020(6): 2-7.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 冀琴, 朱敏, 刘睿. 重庆市中心城区快递自提点空间格局及影响因素研究——基于 POI 数据[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2021, 38(3): 121-128.
- [6] 丁伟, 高大帅, 骆华松, 等. 基于 POI 数据的成都市快递自提点空间格局研究[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2022, 43(3): 308-314.
- [7] 魏宗财, 陈旭华, 刘雨飞, 等. 城市社区团购自提点空间分布格局及其影响因素——以广州市为例[J]. 经济地理, 2023, 43(7): 109-118.
- [8] 陈露露. 基于 POI 数据的城市快递自提点分布格局与优化对策研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2019.
- [9] 贾琦, 丁俊方. 基于 POI 数据的厦门市快递自提点空间格局与优化策略研究[C]//中国城市规划学会. 人民城市规划赋能——2022 中国城市规划年会论文集(05 城市规划新技术应用). 厦门: 华侨大学建筑学院, 2023: 435-444.
- [10] 张静. 山西省县域快递网点空间格局及其影响因素研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 中北大学, 2022.
- [11] 赵宏波, 余涤非, 苗长虹, 等. 基于 POI 数据的郑州市文化设施的区位布局特征与影响因素研究[J]. 地理科学, 2018, 38(9): 1525-1534.
- [12] 赵亚博, 胡蝶, 黄柳倩, 等. 粤港澳大湾区物流网络特征与影响因素研究[J]. 地理科学进展, 2024, 43(4): 685-699.
- [13] 李鑫. 中国快递网点空间分布格局及影响因素[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2023.
- [14] 唐建荣, 郑楠, 等. 基于 POI 大数据的快递末端网点空间分异及影响因素研究[J]. 资源开发与市场, 2023, 39(6): 706-717.
- [15] Zhou, J.Q. (2023) Spatial Distribution Patterns and Influencing Factors of Express Pick-Up Points in Shenzhen—Analysis Based on Cainiao Stations POI Data. *Sustainable Development*, 13, 376-384. (In Chinese)
<https://doi.org/10.12677/sd.2023.131040>

- [16] Mehmood, M.S., Jin, A., Rehman, A., Ahamad, M.I. and Li, G. (2022) Spatial Variability and Accessibility of Collection and Delivery Points in Nanjing, China. *Computational Urban Science*, **2**, Article No. 27.
<https://doi.org/10.1007/s43762-022-00054-x>