



DOI:10.12404/j.issn.1671-1815.2407975

引用格式:顾乘瑞,林艳,丁正焱,等.城市道路结构对犯罪模式的影响:以JB市YC区盗窃犯罪为例[J].科学技术与工程,2025,25(21):8980-8992.

Gu Chengrui, Lin Yan, Ding Zhengyan, et al. Impact of urban road structures on crime patterns: a case of theft in YC District, JB City[J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(21): 8980-8992.

# 城市道路结构对犯罪模式的影响: 以JB市YC区盗窃犯罪为例

顾乘瑞,林艳\*,丁正焱,赵星越

(中国人民公安大学信息网络安全学院,北京102600)

**摘要** 城市道路承载了人们的日常活动,也对犯罪人的行为具有塑造作用。当前大部分研究仅将道路作为建成环境的部分简单分析其与犯罪分布的关系,鲜有研究细致探究道路不同结构属性对犯罪的影响,为深入挖掘这一影响机制,为一线警务部门优化警务资源配置提供指导依据,以JB市YC区为例,首先识别盗窃犯罪的空间分布热点及犯罪热点路段;其次将道路结构分为几何结构和拓扑结构两部分,构建空间句法道路线段模型,研究了道路几何结构及不同交通模式下道路拓扑结构;最后采用零膨胀负二项回归和多元线性回归研究道路结构特征对于盗窃犯罪的影响。研究发现:道路的长度、角曲率、路网支路密度对盗窃犯罪具有正向影响,越长越曲折的路段和支路密度更高的区域发生盗窃犯罪的可能性更高;道路拓扑结构中的接近度和穿行度在不同的交通方式下对盗窃犯罪呈现不同显著影响;步行交通模式道路接近度、穿行度对盗窃犯罪的发生具有显著的负相关作用;自行车交通模式下,道路接近度、穿行度对盗窃犯罪具有正向作用;电动车和机动车交通模式下,道路的接近度对盗窃犯罪均有正向影响,电动车交通模式下,穿行度对盗窃犯罪有负向影响。该研究丰富了犯罪地理学领域对盗窃犯罪的研究成果,为一线警务机关理解犯罪影响机制、优化警务资源分布、维护社会稳定提供理论依据。

**关键词** 城市道路;盗窃犯罪;空间句法;安全;道路结构

中图法分类号 TP391; 文献标志码 A

## Impact of Urban Road Structures on Crime Patterns: A Case of Theft in YC District, JB City

GU Cheng-rui, LIN Yan\*, DING Zheng-yan, ZHAO Xing-yue

(School of Information Network Security, People's Public Security University of China, Beijing 102600, China)

**[Abstract]** Urban roads are recognized to facilitate daily human activities while simultaneously being observed to shape behavioral patterns. Currently, most studies simply analyze the relationship between roads and crime distribution as part of the built environment, and few studies have thoroughly explored the impact of different structural attributes of roads on crime. In order to further explore this impact mechanism and provide guidance for the optimization of police resource allocation by front-line police departments. The operational mechanisms were investigated by which geometric and topological road attributes influence theft distribution across varied transportation modalities. Using crime data from YC District, JB City, spatial crime hotspots and high-risk road segments were initially identified through geospatial analysis. Next, the road structure was systematically decomposed into two distinct dimensions: geometric attributes and topological properties. A space syntax segment model was created to quantitatively assess geometric characteristics and traffic modality-specific topological configurations. Finally, Statistical relationships were investigated using zero-inflated negative binomial regression complemented by multiple linear regression modeling. Research has found that theft incidence is demonstrated to be positively associated with segment length, angular curvature metrics, and branch road density within the network. Elevated crime probabilities are observed in extended roadway segments exhibiting complex geometric configurations and regions characterized by dense branch road networks. The closeness and betweenness of the road's topological structure exert varying significant effects on theft crime across different traffic modes. Specifically, in pedestrian traffic modes, a significant negative correlation is observed between road closeness and betweenness and the occurrence of theft crime. In bicycle traffic modes, road closeness and betweenness are found to have a positive effect on theft crime. In electric vehicle and motor vehicle traffic modes, road closeness have a positive effect on theft

收稿日期:2024-10-25 修订日期:2025-06-10

基金项目:中国人民公安大学拔尖创新人才培养经费支持研究生科研创新项目(2024yjsky037);国家自然科学基金(41971367)

第一作者:顾乘瑞(2001—),男,汉族,江苏连云港人,硕士研究生。研究方向:大数据警务。E-mail:512121040@qq.com。

\*通信作者:林艳(1982—),女,汉族,山东威海人,博士,副教授。研究方向:警务信息技术与应用。E-mail:linyan20@163.com。

crime, while in electric vehicle traffic mode, betweenness was found to have a negative effect on theft crime. These findings contribute novel insights to environmental criminology theory while offering empirically grounded recommendations for strategic police deployment and urban security management.

[**Keywords**] urban road; crime of theft; space syntax; safety; road structure

随着中国经济社会的发展和城镇化的推进,犯罪问题日益成为社会关注与治理的重点议题,对公共安全、社会稳定以及居民生活安全感构成了显著挑战。党的二十大报告将提升人民群众的“安全感”作为保障和改善民生的重要目标之一,而盗窃犯罪是与城市居民日常活动关系最密切的犯罪类型之一,在中国刑事案件中被追诉的数量长期位居榜首,与城市居民的安全感息息相关。

盗窃犯罪在空间上遵循一定的分布规律,当前犯罪研究主要以行政区划、派出所辖区、网格等面状区域或者犯罪发生地点位作为研究单元,探讨盗窃犯罪空间分布形态及其影响因素<sup>[1-5]</sup>。城市路网是城市范围内不同功能、等级、区位的道路,以一定的密度和适当形式组成的网络结构<sup>[6]</sup>。作为城市的基础骨架,道路不仅决定行人和车辆的移动模式,为犯罪提供了存在大量潜在受害目标的公共空间,对犯罪的布局具有深远影响,因此研究道路与犯罪的关联是有意义的。陈鹏等<sup>[7]</sup>、郑滋旻等<sup>[8]</sup>、张勃等<sup>[9]</sup>打破原有犯罪地理研究以地点和面状区域为研究单元的惯例,以路段为研究单元,研究犯罪在道路网络上的聚集特征;Wu等<sup>[10]</sup>提出一种犯罪热点道路的检测方法,从而帮助提高警务资源的配置效率。

基于环境设计预防犯罪理论,道路相关结构因素对于犯罪具有解释效果。一些学者开始关注道路结构对犯罪的影响。张延吉等<sup>[11]</sup>在研究影响盗窃犯罪的因素时发现路网密度对盗窃犯罪起到正向影响,但仅仅是将道路因素作为建成环境的一部分进行研究。部分学者将研究主体聚焦于道路结构本身,而不将其作为建成环境的附属研究道路几何结构对犯罪的影响,柳林等<sup>[12]</sup>聚焦于道路密度,研究不同类型道路密度对公共空间盗窃犯罪率的影响。Tokey<sup>[13]</sup>区分了不同限速道路的密度,研究其与财产犯罪的关系发现低速道路可能为犯罪提供便利而高速道路可能会减少犯罪机会。

但是这些研究仅仅局限在道路的几何结构对犯罪的影响。部分学者在此基础上开始关注到道路的拓扑属性及其对犯罪的作用机制。Davies等<sup>[14]</sup>借助图论理论,研究英国伯明翰市道路中介性和线性度对于入室盗窃犯罪的影响,发现道路中介性对犯罪具有正向影响。Yue等<sup>[15]</sup>在道路中介性

基础上区分了本地渗透性和非本地渗透性对犯罪的影响,同时研究了道路等级、道路长度两个几何结构对犯罪的影响。毛媛媛等<sup>[16]</sup>以派出所辖区为研究单元,首次尝试“X形率”“T形率”来衡量道路网络模式,研究街道网络的几何和拓扑形态特征与“两抢一盗”犯罪间的关系。

在研究道路结构时,部分学者使用空间句法来衡量道路的拓扑结构。Rokem等<sup>[17]</sup>使用空间句法的连通度属性研究暴力事件的空间分布特征,揭示了道路形态对暴力犯罪的影响作用;姜昀呈等<sup>[18]</sup>使用空间句法研究兰州中心城区犯罪分布与城市环境的关系时发现在局部空间尺度下,平均深度大的地区自然监测环境良好,有利于逃逸犯罪人员的抓捕。

已有研究表明犯罪出行距离是描述犯罪模式的重要参数,犯罪出行模式影响着犯罪地点的选择,犯罪人出行选择的交通方式决定了出行距离<sup>[19-22]</sup>。不同半径尺度下的空间句法值可以描述城市不同尺度下的中心性和穿行性效应<sup>[23-24]</sup>,不同交通方式下的犯罪出行对犯罪分布存在差异性影响。然而,鲜有学者依据交通方式对道路拓扑属性进行划分,细致全面地研究道路几何拓扑结构对于犯罪的影响。

基于此,现以道路段为研究单元,依据不同交通出行方式的活动半径,构建空间句法线段模型,同时兼顾道路的几何和拓扑属性,研究道路结构对盗窃犯罪空间分布的影响,并以JB市YC区为例进行实证研究。以期能够帮助警务部门理解犯罪成因,提高依据路网进行巡逻、防控等警务资源配置的效率。

## 1 研究方法

### 1.1 空间句法

#### 1.1.1 空间句法理论

空间句法在20世纪70年代末由英国伦敦大学的Bill Hillier教授在《空间的社会逻辑》<sup>[25]</sup>中首次提出,该理论主要用来研究不同空间组成部分之间的关系,以及这些关系如何影响人的行为和社交活动。空间句法的本质是运用图论原理,从非欧氏距离的建模角度对建成空间进行数量化统计分析,揭示空间形式和功能的相互作用关系<sup>[26]</sup>。空间布局可以影响个体和集体如何移动和交互,因

此可以用来预测人流、视觉可见性、社交潜力等。空间句法的提出把原本难以言说的空间结构用一目了然的方式表达出来,从而将空间的作用从经济、政治等因素中抽离出来,凸显空间构型对社会生活的反作用力,已被大量运用到城市研究中<sup>[27]</sup>,因此,利用空间句法研究道路结构对于犯罪的关系有理可循。

### 1.1.2 空间句法变量

空间句法发展至今,已经衍生出轴线模型、凸状模型、线段模型、视域模型等多种模型<sup>[28-30]</sup>,线段模型考虑路网偏转角度的影响,适合中观、宏观尺度的较大区域分析,相较于轴线模型计算误差更小,因此本文使用以道路中心线为建模基础的线段模型。线段模型的线段间距离测算根据线段间的偏转角度,通过在城市中的实证验证人的行走偏向于最小角度变化<sup>[31-32]</sup>,线段模型的建模原理更接近于人的认知,且线段模型可以在一个模型多种半径下凸显多尺度的空间统计特征,符合研究需求。

空间句法有接近度、穿行度、连通度和可理解度等参数,接近度是衡量空间渗透性和到达性的重要参数,穿行度可以评估路网的穿行和通过能力。使用 sDNA 对朝阳区道路进行空间句法分析,并主要围绕接近度和穿行度这两个参数开展分析。涉及的 sDNA 相关空间句法变量如下。

#### 1) 搜索半径

搜索半径( $R$ )表示计算某路段路网结构变量时考虑的空间范围。以某一路段为例,当搜索半径为 500 m 时,该路段的路网形态变量是由其 500 m 范围内的所有路网特征计算得到的。搜索半径可以反映城市功能的服务半径,也可以反映不同交通方式出行范围。

#### 2) 接近度

接近度,也称整合度,代表某一路段到搜索半径内其余路网的难易程度,接近度高的地点通常更容易到达,更可能吸引人流和活动。接近度 NQPDA 计算公式为

$$NQPDA(x) = \sum_{y \in R(x)} \frac{P(y)}{d(x,y)} \quad (1)$$

式(1)中: $R(x)$ 为节点 $x$ 为圆心、 $R$ 为搜索半径的圆; $P(y)$ 为搜索半径 $R$ 内节点 $y$ 的权重; $d(x,y)$ 为 $x$ 到 $y$ 的最短拓扑距离。

#### 3) 穿行度

穿行度衡量的是通过某路段的最优路径的数量,用于评估该路段在网络中作为通过路径的重要性。穿行度高的路段通常在交通或移动网络中具

有战略位置重要性。穿行度  $TPB_i$  的公式为

$$TPB_i(x) = \sum_{y \in N} \sum_{z \in R(y)} \frac{P(z)}{Links(y)} OD(y,z,x) \quad (2)$$

式(2)中: $N$ 为研究范围内节点集合; $R(y)$ 为节点 $y$ 为圆心、 $R$ 为搜索半径的圆; $OD(y,z,x)$ 为搜索半径 $R$ 通过节点 $x$ 的节点 $y$ 与 $z$ 之间最短拓扑路径; $Links(y)$ 为每个节点 $y$ 搜索半径 $R$ 内的节点总数, $P(z)$ 为节点的权重。

#### 4) 连通度

道路连通度是指一个空间单元如何与其他空间单元相连接的度量。它通常用来分析和描述城市环境中道路网或路径的连通性。道路连通度的高低可以反映出人们在该区域内的移动便利程度。道路连通性定义为连接此道路的其他道路端点的数量。

## 1.2 零膨胀负二项回归

因变量是路段上发生盗窃案件的数量,为计数变量,包含大量 0 值(该路段无犯罪记录),且数据分布离散,均值与方差不相等,因此使用零膨胀负二项回归模型分析道路网络结构因素与盗窃犯罪的关系。零膨胀模型的基本思想是把事件数分成两个部分<sup>[33]</sup>,第一个部分为零膨胀阶段,可以解释数据中存在过多零的原因,即解释因素能否影响事件的发生;第二部分为负二项回归阶段,对应事件发生数,该部分个体事件发生数服从负二项分布,可以解释因素影响事件发生次数多少的问题<sup>[34]</sup>。零膨胀负二项回归模型表示如下。

$$\begin{cases} P(Y=0) = \pi + (1-\pi)e^{-\lambda} \\ P(Y=k) = (1-\pi) \frac{\Gamma(k+\theta)}{\Gamma(\theta)k!} \left(\frac{\theta}{\theta+\lambda}\right)^\theta \times \\ \left(\frac{\lambda}{\theta+\lambda}\right)^k, k=1,2,3,\dots \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中: $\pi$ 为逻辑回归模型预测的概率,表明了观测值为零的概率; $\lambda$ 为负二项分布的均值参数; $\theta$ 为分散参数。

## 2 研究区域、数据及研究思路

### 2.1 研究区域

研究区域为 JB 市 YC 区, YC 区位于 JB 市中南部,总面积 470.8 km<sup>2</sup>,下辖 24 个街道、19 个地区,常住人口约 240 万人。YC 区是 JB 市对外交往的重要窗口,具备以金融业、租赁业和商务服务业占主导,高新技术产业支撑、文化创意产业集群发展的多元化产业格。因为其机场街道主要服务于机场,是位于 YC 区本土外的一块飞地,在研究时不将其纳入研究范围。研究区域如图 1 所示。



图1 研究范围示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

## 2.2 研究数据

以道路段和街道行政区为研究单元,研究数据主要包括盗窃犯罪点数据、YC 行政区划数据、路网数据及兴趣点(point of interest, POI)数据。

### 2.2.1 犯罪数据

研究的犯罪类型为盗窃犯罪,具体包括扒窃、盗窃机动车非机动车、拎包盗窃及其他等街面盗窃类型。犯罪数据来自地方公安机关提供的2019年犯罪数据,主要包括案件类型、案发时间、案发地点、接警单位等信息,通过对犯罪类型进行筛选并剔除研究区域范围外的点,最终得到盗窃犯罪数据1 848条。

### 2.2.2 路网数据

路网数据由 OpenStreetMap 公开数据集获取,同时为了构建空间句法线段模型,需要对道路进行矢量化建模。具体建模过程分为以下五步。

(1)使用 ArcMap10.8,导入 YC 区街道地图栅格底图数据,进行坐标配准。

(2)为避免计算拓扑结构时产生的边缘效应,按照中国居民平均出行距离,以 YC 区行政区划范围向外建立 2.7 km 缓冲区。

(3)新建线图层,设立与底图一致的坐标系。

(4)基于栅格底图人工描图,绘制缓冲区范围内道路的道路中心线。由于 YC 区道路错综复杂,存在多种级别道路重叠的情况,所有重叠道路建模中以一条线路进行简化替代,每条道路均可供机

车、非机动车及行人通过。

(5)进行拓扑检查保证线段相连,对相交线进行打断,最终生成可供空间句法分析的 YC 区路网矢量数据。

### 2.2.3 POI 数据

依据先前犯罪地理的研究<sup>[35-38]</sup>,选取会影响盗窃犯罪分布的社会经济类 POI 数据,主要包括购物服务、餐饮服务、娱乐场所三类。所有 POI 数据来源于 2019 年高德地图,通过 python 网络爬虫技术获取,包括了名称、地址、类型、坐标。其中购物服务类主要包括便利店、市场、超市、商场等商品交易场所,餐饮服务类主要包括中餐厅、快餐厅、甜品店等餐饮服务场所,娱乐场所主要包括 KTV、酒吧、棋牌室、游戏厅等。

## 2.3 研究思路

研究流程主要包括 4 个部分。

(1)获取犯罪点数据、道路网数据、POI 数据,对数据进行异常数据剔除、地理坐标系转换。根据区域道路网络底图数据,对道路进行矢量化建模,构建空间句法线段模型。

(2)使用核密度分析研究犯罪分布特征和犯罪热点,其次将犯罪点投影到最近的路段,统计每个道路段盗窃犯罪数量,研究犯罪热点路段。

(3)使用 ArcGIS 计算每段道路的长度、蜿蜒度、角曲率;以街道行政区为单元,计算每个研究单元内各等级道路的道路密度,得到所需要的道路几何结构属性值。使用 sDNA,计算道路连通度,同时分别以 500 m、1500 m、5 000 m、 $n$ (全局)表示步行、自行车、电动车、机动车 4 种出行方式的半径,计算 4 种交通模式下每个道路段的接近度、穿行度,得到道路的拓扑结构属性值。

(4)利用零膨胀负二项回归,以道路段为研究单元,研究道路结构属性对盗窃犯罪的影响;使用 Spearman 相关性分析及多元线性回归,以街道行政区为研究单元,分析不同等级道路路网密度与盗窃犯罪的关系并用犯罪地理学理论对结果进行解释。

## 3 试验与分析

### 3.1 犯罪热点分布与分析

使用 ArcGIS 根据点位坐标将犯罪点位落入研究区域并进行核密度分析如图 2 所示, YC 区盗窃热点主要分布在中西部,几个犯罪热点均具有众多商业街区,经济活动活跃,人口密集且流动性大。将犯罪点投影到最近的道路段上,统计每个路段盗窃犯罪数量,对道路犯罪数标准差椭圆分析并进行可视化如图 3 所示。道路犯罪在空间上沿着西北—东南方向延伸,且具有一定集中性。

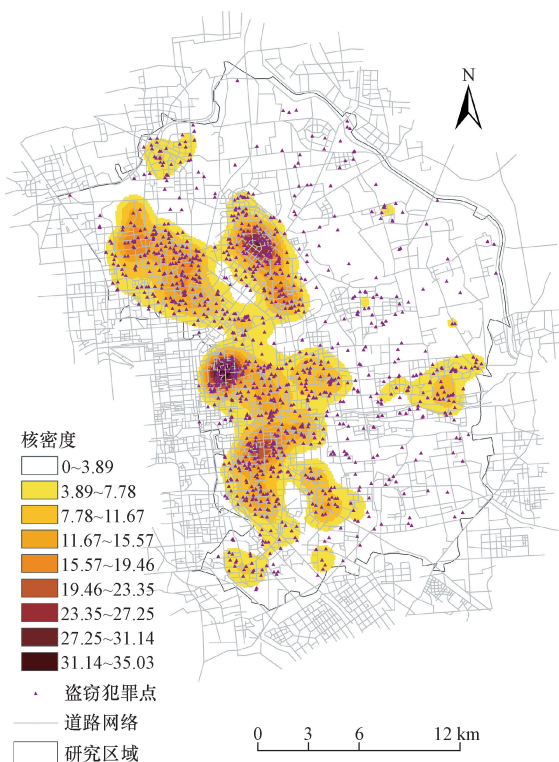


图2 盗窃犯罪核密度分布图

Fig. 2 Kernel density distribution map of theft crimes

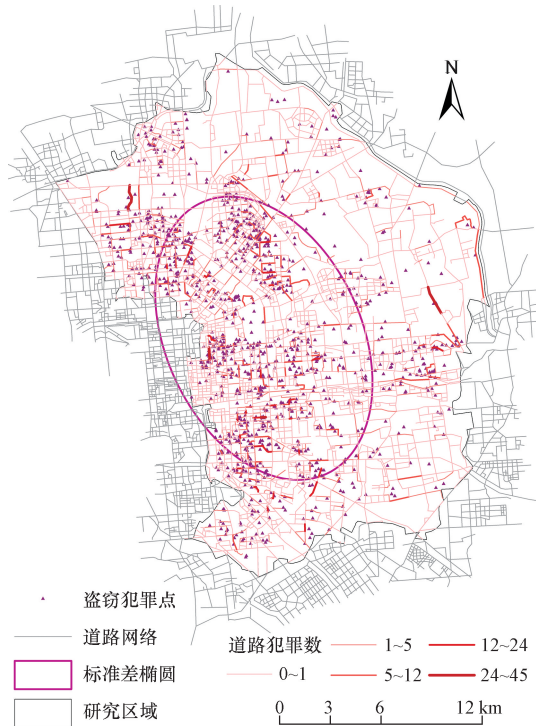


图3 犯罪热点路段及标准差椭圆分布图

Fig. 3 Crime hotspot road segments and standard deviation ellipse distribution map

### 3.2 城市道路结构对盗窃影响及结果分析

#### 3.2.1 变量选取

在考虑道路路网结构时,兼顾几何结构和拓扑结

构两方面。几何结构主要包括道路长度、路网密度、道路蜿蜒度、道路角曲率。拓扑结构包括接近度、穿行度和连通度。根据不同交通方式的平均出行距离,分别以 500 m、1 500 m、5 000 m、 $n$ (全局)表示步行、自行车、电动车、机动车 4 种出行方式的半径,并计算 4 种交通方式下道路的接近度和穿行度。已有的犯罪地理研究发现了不同类型 POI 对犯罪的影响,为控制道路两侧 POI 对犯罪的影响,选取购物服务、餐饮服务、娱乐场所 3 类 POI 变量作为混淆因素。所用到的道路路网结构变量和 POI 变量如表 1 所示。

表 1 道路路网结构及 POI 变量

Table 1 Road network structure and POI variables

变量类型	变量含义	变量名
道路几何结构	长度	Len
	蜿蜒度	Sin
	角曲率	LAC
	路网密度	Den
道路拓扑结构	步行半径接近度	NQPDA500
	步行半径穿行度	TPBtA500
	自行车半径接近度	NQPDA1500
	自行车半径穿行度	TPBtA1500
	电动车半径接近度	NQPDA5000
	电动车半径穿行度	TPBtA5000
	机动车半径接近度	NQPDA $n$
	机动车半径穿行度	TPBtAn
社会经济类 POI	道路连通度	LConn
	购物服务场所数量	SPN
	餐饮服务场所数量	RSN
	娱乐场所数量	EVN

#### 3.2.2 道路结构分析

##### 1) 道路几何结构分析

OpenStreetMap 于字段“fclass”内将道路划分成 27 个子类,依据此分类结合国内城市道路路线设计规范,将道路按照等级划分为高架及快速路、城市主干道、城市次干道、城市支路、人行道及内部路五类,各类型道路对应 OSM 等级如表 2 所示。

以街道行政区为单元,计算 YC 区每个街道各道路类型的路网密度,按照分级色彩分成七类进行可视化展示,各等级道路及各路网密度结果如图 4 所示。

表 2 各道路等级对应 OSM 类别表

Table 2 Corresponding OSM categories for each road level

道路等级	对应 OSM 具体类别
高架及快速路	motorway、motorway_link、trunk、trunk_link
城市主干道	primary、primary_link、secondary、secondary_link
城市次干道	tertiary、tertiary_link
城市支路	residential
人行道及内部路	bridleway、living_street、path、service、footway、pedestrian、steps

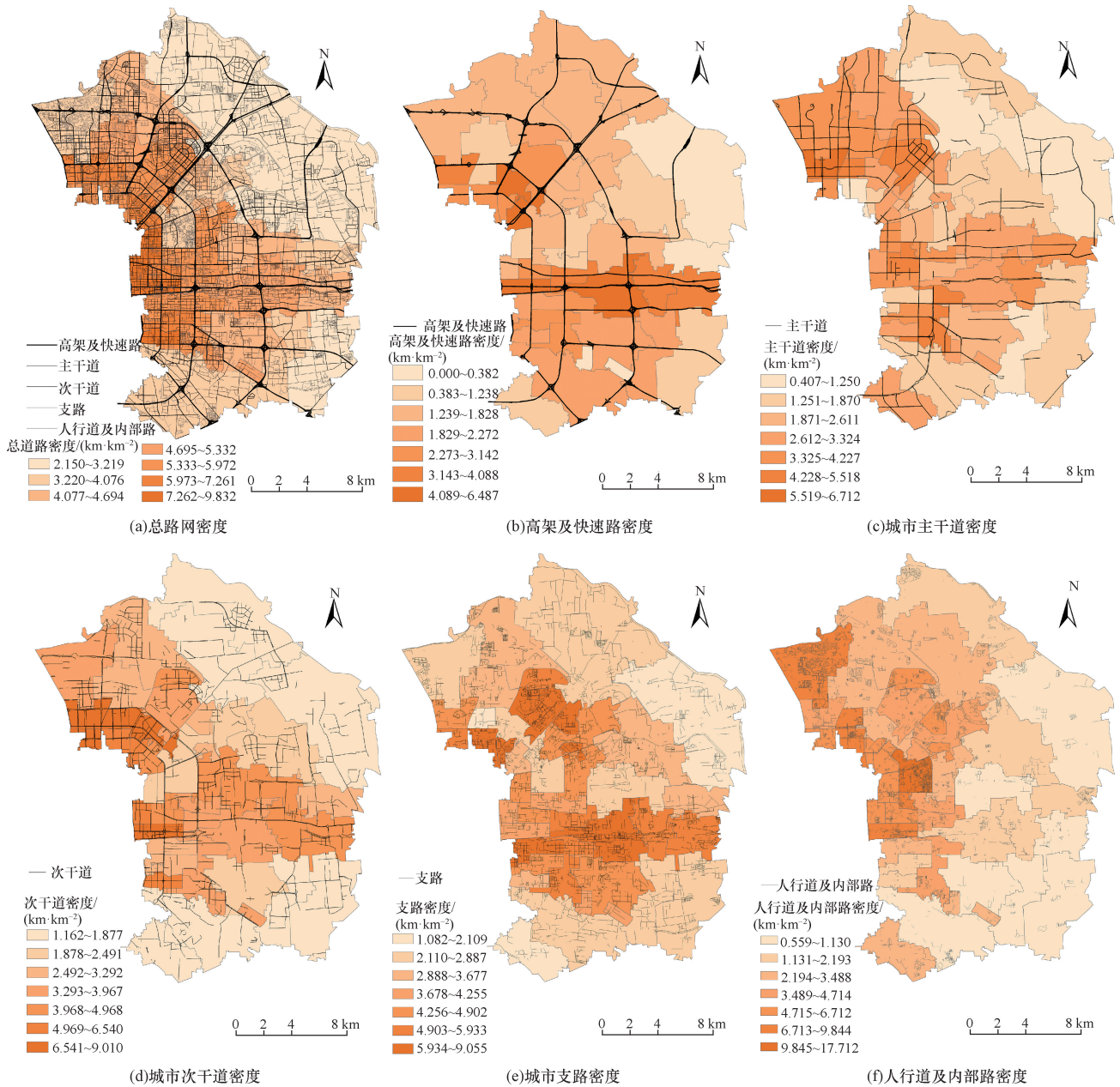


图4 五类道路及路网密度

Fig. 4 Road density for five categories of roads

### 2) 道路拓扑结构分析

基于道路拓扑结构,研究区域路网内各路段在不用交通模式下反映出的结构特征。使用 sDNA,选取 500、1 500、5 000 m 及  $n$  (全局) 作为搜索半径,计算 4 种交通方式下道路的接近度与穿行度。对计算得到的接近度和穿行度的值进行空间分布分析和统计分析。

使用基于线性要素的制图表达方法,按自然间断点分为 5 类,用分级色彩图进行可视化展示如图 5 所示。

对得到的道路结果进行分析,分析结果如下:

第一,在步行、自行车、电动车、机动车 4 种尺度上,区域的中西部均体现为穿行度和接近度的高值中心。

第二,穿行度和接近度在步行、自行车两个出行尺度上的结果相似,高值分布比较集中,与犯罪热点地区高度重合。接近度结果较为连续,体现出“多核心”特征,穿行度则更为离散,聚集性较弱。

第三,穿行度在电动车尺度和机动车尺度上分布相似,穿行度高值街道主要为中西部的核心主干道,贯通性强。

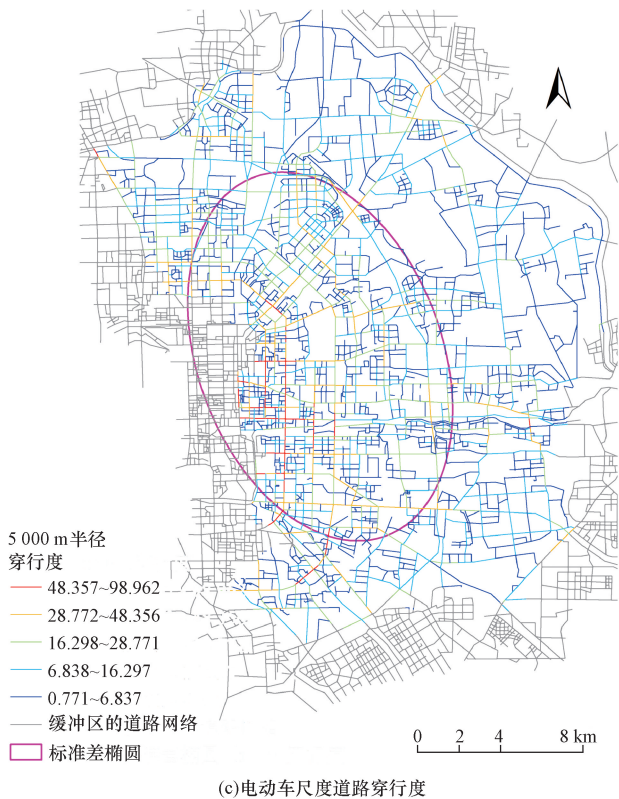
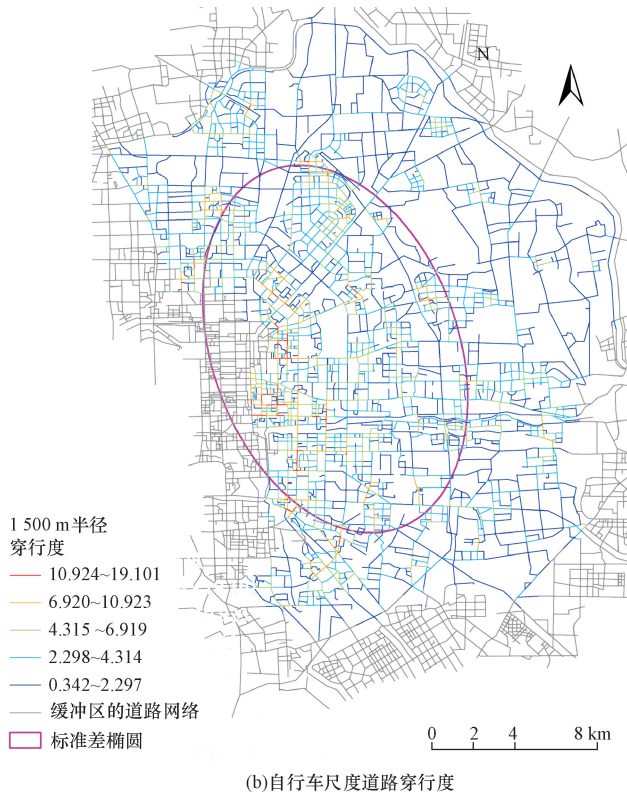
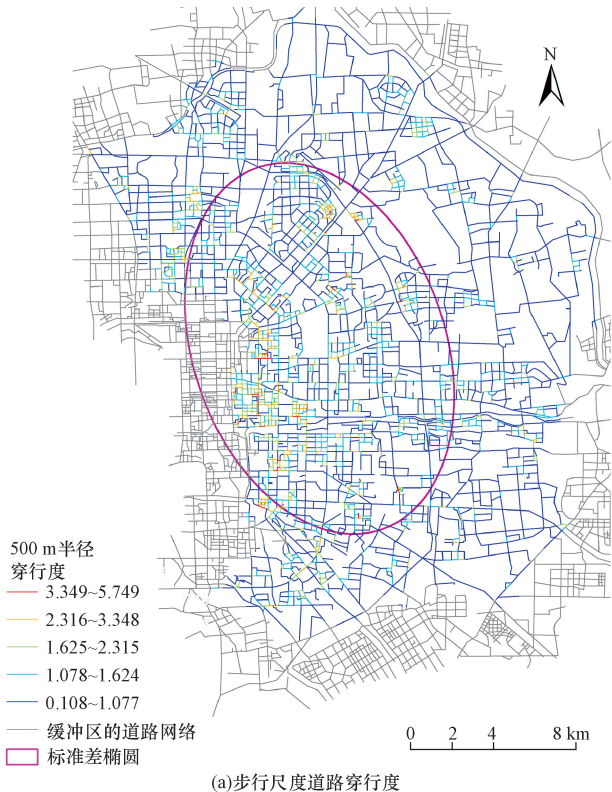
第四,电动车尺度接近度高值位于区域中西

部,呈环状向外递减。机动车尺度接近度的高值主要位于主要交通干道,如三环路、四环路、朝阳路,呈环状与射线状,说明该类道路对远距离出行的车流吸引力比较大,主要承担远距离交通穿行职能。

标准差椭圆的分析结果可知,4种交通模式下

的穿行度和接近度高值均沿着西北—东南方向分布,与犯罪分布方向一致,可以推测道路结构与盗窃犯罪具有一定的相关性。

对计算得到的接近度和穿行度进行统计分析结果如图6所示。可以看出,随着半径的增大,接近度的频数分布趋向于正态分布,符合城市多核心



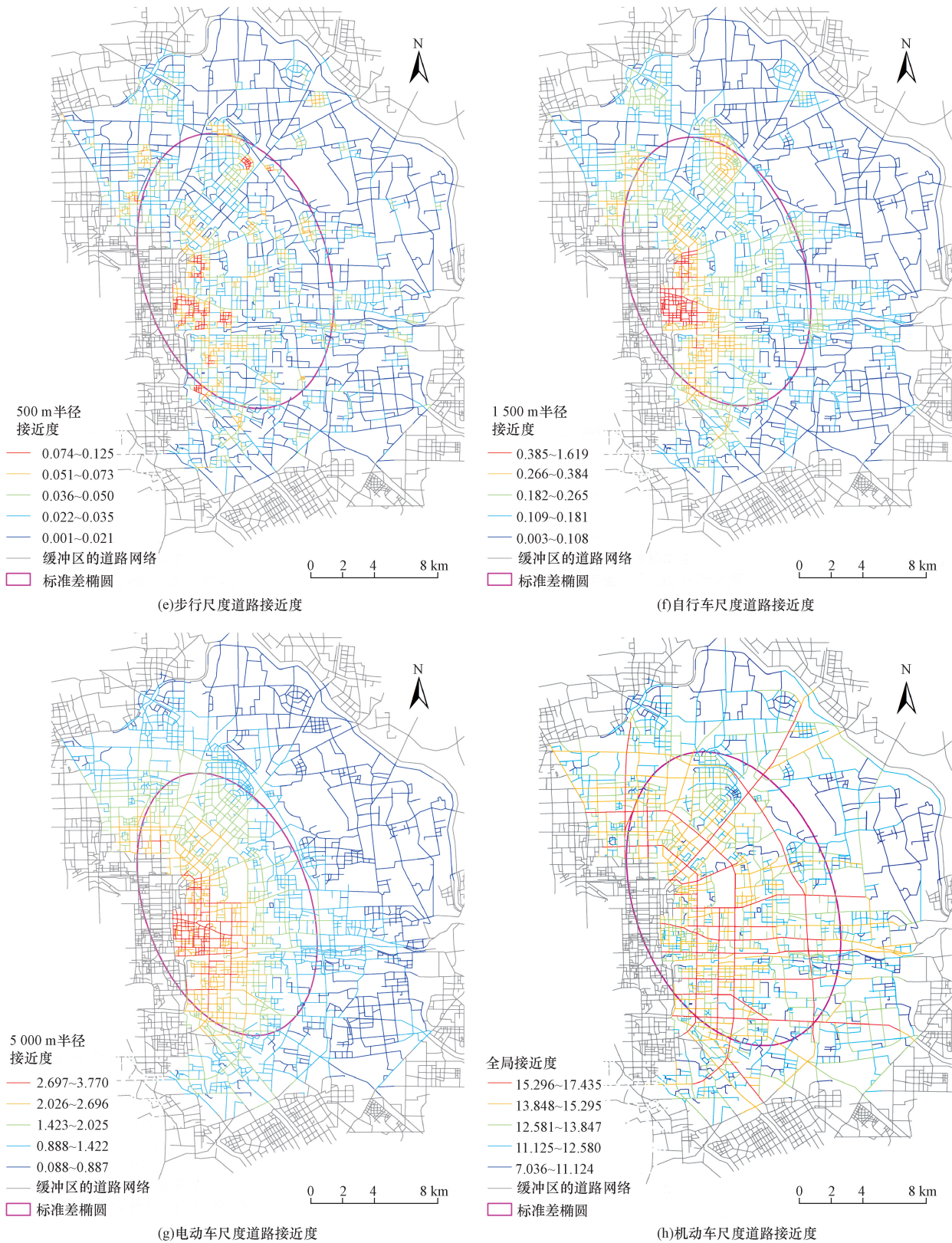


图5 4种尺度下道路穿行度及接近度可视化结果

Fig. 5 Visualization results of road betweenness and closeness under four scales

和“窄马路、密路网”的建设要求。穿行度的频数分布呈现低值多高值少的分布特点,表明城市中穿行能力较强的道路数量较少,主要为城市的核心主干

道;穿行力低的道路较多,主要为城市支路、内部道路,为地区性道路,以服务功能为主,符合城市道路结构特点。

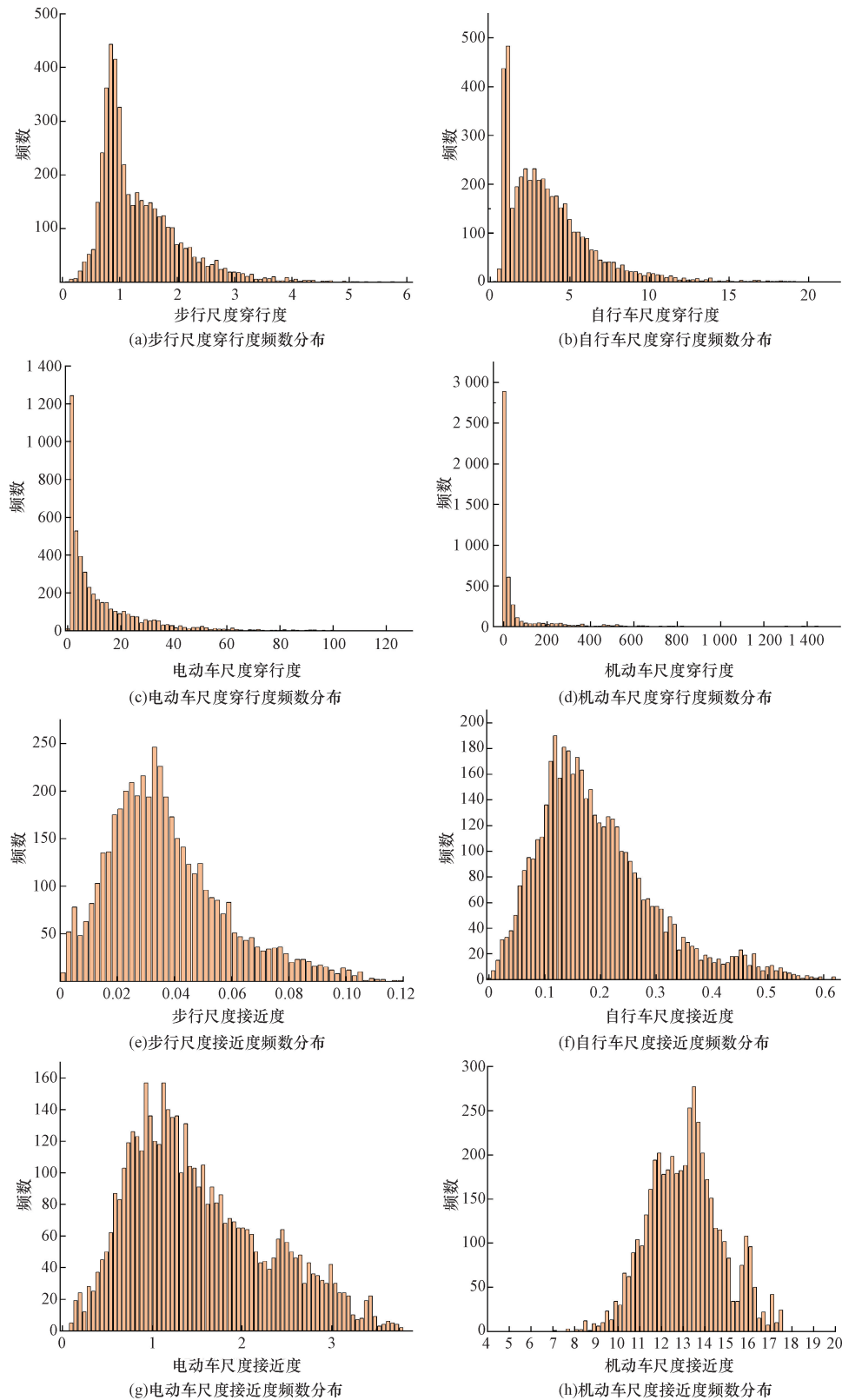


图6 4种尺度下道路穿行度、接近度频数分布

Fig. 6 Frequency distribution of road betweenness and closeness under four scales

### 3.2.3 道路结构对盗窃犯罪的影响

以街道行政区为研究单元,使用 Spearman 相关系数研究 6 种等级道路密度及社会经济要素与盗窃

犯罪的相关关系,选取相关关系显著的变量进行共线性检验及多元回归,分析不同等级的道路密度对犯罪密度的具体影响作用,结果如表 3 所示。

使用 ArcGIS 和 sDNA 计算得到道路路网拓扑结构指标参数和几何结构指标参数,自变量选取路段长度、蜿蜒度、角曲率、道路连通度、路段购物、餐饮、娱乐场所 POI 数量和步行、自行车、电动车、机动车半径下的道路穿行度及接近度,因变量选取路段上盗窃犯罪数量。使用 Stata 对通过共线性检验的自变量进行零膨胀负二项回归分析,研究路网结构形态对盗窃犯罪的影响作用,各自变量共线性检验中方差膨胀因子 (variance inflation factor, VIF) 值均小于 10,通过了共线性检验,具体结果如表 4 所示。

### 1) 道路几何结构对盗窃犯罪的影响分析

道路路段长度、角曲率对盗窃具有正向促进作用。道路长度越长,犯罪人可接触到的易受侵害的目标越多,发生的盗窃犯罪数越多;道路角曲率反映了道路的线性程度,道路弯曲程度越大,道路越曲折,盗窃犯罪数量越多,这可能是因为曲折的道路

表 3 Spearman 相关性分析及多元线性回归结果

Table 3 Correlation analysis and regression analysis results

变量	相关系数	非标准化系数	T	VIF
高架及快速路密度	0.172	—	—	—
主干道密度	0.424 **	0.242	1.592	1.657
次干道密度	0.350 *	-0.194	-1.266	1.685
支路密度	0.429 **	0.270 *	2.024	1.281
人行道及内部路密度	0.479 **	0.092	0.697	1.260
娱乐场所密度	0.687 **	0.433 *	2.428	2.287
餐饮购物场所密度	0.740 **	0.093	1.336	2.330
本地居民数	0.314 *	0.181	0.519	1.313

注:\*\*表示相关性在 0.01 上显著;\*表示相关性在 0.05 上显著。

表 4 零膨胀负二项回归分析结果

Table 4 Zero-inflated negative binomial regression analysis results

变量	$\beta$	P	VIF
长度	0.001 ***	<0.001	2.01
蜿蜒度	-0.309	0.392	1.55
角曲率	0.005 ***	<0.001	1.97
道路连通度	0.109 *	0.026	1.55
步行半径接近度	-20.553 ***	<0.001	5.27
步行半径穿行度	-0.415 ***	0.001	3.82
自行车半径接近度	2.843 **	0.006	7.12
自行车半径穿行度	0.092 **	0.007	4.56
电动车半径接近度	0.273 *	0.031	5.80
电动车半径穿行度	-0.019 ***	<0.001	3.65
机动车半径接近度	0.179 ***	<0.001	3.78
机动车半径穿行度	-0.000 3	0.333	1.96
购物服务场所数量	0.000 2	0.861	1.42
餐饮服务场所数量	0.011 **	0.003	1.78
娱乐场所数量	0.127 **	0.008	1.36

注:\*\*\*表示相关性在 0.001 上显著;\*\*表示相关性在 0.01 上显著;\*表示相关性在 0.05 上显著。

为犯罪人提供“掩护”更有利于犯罪人进行隐蔽,在逃离犯罪现场时,更容易摆脱监视的追捕,这与 Davies 等<sup>[14]</sup>对于英国伯明翰的研究结果相同。

城市主干道、支路、人行道及内部路密度与盗窃犯罪密度的相关系数在 0.01 水平上显著,次干道与盗窃犯罪密度的相关系数在 0.05 上显著。说明了城市主干道、次干道、支路、人行道及内部路密度与盗窃犯罪密度都是相关的。多元线性回归的结果表示,城市支路密度对盗窃犯罪密度影响是显著的且与盗窃犯罪密度呈正相关。城市支路是连接次干路与居住区、工业区、交通设施等内部道路,解决局部地区交通,以服务功能为主的道路<sup>[39]</sup>。城市支路上分布着比较多的服务设施,与居民日常生活密切,吸引大量的人口并滞留,增加有动机的犯罪者和潜在受害人的结合机会。同时,高密度支路吸引的大量人流导致的“街道眼”发挥的“守望效应”<sup>[40]</sup>,快捷的交通便于犯罪人脱身逃离现场,两者结合从而促进盗窃高发。

### 2) 道路拓扑结构对盗窃犯罪的影响分析

在研究道路拓扑结构与盗窃犯罪的关系时,发现区分交通模式精细化研究不同出行半径尺度下的道路拓扑结构对犯罪的影响作用具有重要意义,研究发现如下。

第一,在不区分交通模式下研究道路拓扑结构对盗窃犯罪的影响可以发现,道路连通度对盗窃犯罪具有显著正向作用。连通度高的道路与其他道路具有更多的连接,会吸引大量的潜在受害人也为犯罪人抵达犯罪地点提供便利。同时,较多的道路交叉口有利于犯罪人实施盗窃行为后迅速逃离犯罪现场。

第二,步行交通模式道路接近度、穿行度对盗窃犯罪的发生具有显著的负相关作用,即步行范围内越容易到达和更容易被步行人流穿越的道路,发生盗窃犯罪的风险会有所降低。社区居民围绕居住区的周边活动的主要交通方式为步行,依据街道眼理论,步行出行范围内的区域,密路网和高道路渗透性激发了步行行为和邻里交往;较高的道路穿行度,增加了街道被本地居民穿越的可能性,大量本地居民的经过会激发更多的街道眼对街道进行监管,对盗窃起到了遏制作用。

第三,与步行交通模式不同的是,在自行车交通模式下,道路接近度、穿行度对盗窃犯罪具有正向作用,说明在自行车交通模式下,越容易到达的道路或被穿越可能性高的道路,盗窃犯罪发生率更高。相较于步行人流,自行车模式下的道路接近度代表着更多的外来人流,依据防卫空间理论,越容易接近的道路,会导致人流的大量涌入,为扒窃等

街面盗窃提供了大量的潜在作案机会,也有利于犯罪人的抵达和逃逸。同时,较高道路穿行度导致大量外来陌生人流的经过,加强了地区的人员流动性,提高本地无序感、匿名性和不信任感,降低居民辨识可疑人员的意愿与能力,削弱街道眼的自然监控功效,受害人和嫌疑人结合机会的增加和监管能力的降低导致盗窃犯罪高发。

第四,电动车交通模式、机动车交通模式下的接近度对盗窃犯罪均有正向影响。电动车出行和机动车出行具有更大的范围半径,预示着更大范围下道路的拓扑结构特征。大半径下越容易接近的道路,盗窃犯罪越多,外来的陌生车流人流所带来的不稳定性威胁大于街道眼所能带来的监护作用。电动车交通模式下穿行度对盗窃犯罪具有负向影响,机动车交通模式下穿行度对盗窃犯罪影响不显著。可见在相同交通模式下,道路的接近度和穿行度两个拓扑属性对于犯罪的影响作用也可能相反。

## 4 结论

以JB市YC区为例,研究了道路结构对盗窃犯罪的影响。首先对已有道路与犯罪相关研究进行梳理,其次根据道路特点将道路结构分成几何结构(长度、蜿蜒度、角曲率和路网密度)和拓扑结构(接近度、穿行度、连通度)两部分进行讨论,分析了YC区的道路结构和盗窃犯罪空间分布情况,最后基于空间句法区分交通模式,分别研究道路几何结构和不同交通模式下的道路拓扑结构对犯罪的影响并基于犯罪地理基础理论展开分析。

创新性和先进性体现在以下几个方面。

(1)尝试区分了交通模式,使用“接近度”“穿行度”“连通度”等反映不同方面道路结构属性的指标来探究道路结构与盗窃犯罪的关系。已有研究在探讨道路拓扑结构时仅考虑“中介性”一种属性,不能全面描述道路的拓扑结构特征,且忽视了不同交通模式下道路拓扑结构的差异性。采取了多种反映道路不同拓扑属性的指标,既考虑到了道路拓扑整合能力和中心性又关注到道路的通过性和疏散能力。在此基础上区分了步行、自行车、电动车、机动车4种常见的交通方式,弥补了这一研究空白,从横向和纵向扩充了现有道路结构与犯罪关系研究涉及的指标体系。

(2)拓展了犯罪地理学基础理论,道路的穿行度和接近度对犯罪的影响并非简单一致,在不同交通模式下这种影响显示出异质性,所得结论能够帮助解街道眼理论和防卫空间理论这两种理论的分歧源头和适用性问题。

(3)同时考虑了道路的几何结构和拓扑结构,聚焦于道路结构本身,以路段作为研究单元,构建空间句法线段模型,研究尺度更加精细,相较于先前研究具有进步性,将研究单元精细至路段研究犯罪热点及影响因素对一线公安机关巡逻防控、安全检查等工作具有重要指导意义。在警力资源有限的前提下,深度挖掘道路结构与犯罪分布模式之间的关系有助于公安部门优化警务资源部署,提升公安机关犯罪预测及风险防控的能力。

## 参 考 文 献

- [1] Liu L, Gu X, Lan M, et al. Assessing the impact of modern street-car on street robbery at street segment level: a longitudinal comparison in Cincinnati, OH [J]. *Habitat International*, 2025, 156: 103280.
- [2] 蒋晨琛, 霍宏涛, 刘克俭, 等. 空间数据驱动的B市主城区犯罪时空分布及其影响因素分析[J]. *科学技术与工程*, 2019, 19(26): 384-394.  
Jiang Chenchen, Huo Hongtao, Liu Kejian, et al. Analysis on the spatio-temporal distribution and influencing factors of crime in the main urban area of B City driven by spatial data[J]. *Science Technology and Engineering*, 2019, 19(26): 384-394.
- [3] Khalfa R, Snaphaan T, Pauwels L, et al. Crime within a bandwidth: testing “the Law of Crime Concentration at Place” in Brussels[J]. *European Journal on Criminal Policy and Research*, 2023, 31: 123-150.
- [4] 龙锦颖, 张春霞, 宋广文, 等. 警察盘查时空模式对街面盗窃的因果效应——以ZG市CBD为例[J]. *地理科学进展*, 2024, 43(11): 2284-2297.  
Long Jinying, Zhang Chunxia, Song Guangwen, et al. Causal effect of spatiotemporal patterns of police stops on street thefts: a case study of the central business district of ZG City. *Progress in Geography*, 2024, 43(11): 2284-2297.
- [5] 王文汐, 霍宏涛, 蒋晨琛. 毒品犯罪与次生犯罪共生关系: 以华北沿海T市为例[J]. *科学技术与工程*, 2023, 23(33): 14486-14496.  
Wang Wenxi, Huo Hongtao, Jiang Chenchen. Exploring colocalization relationship between drug-related crimes and secondary crimes: take T City on the coast of north China as an example[J]. *Science Technology and Engineering*, 2023, 23(33): 14486-14496.
- [6] 城乡规划学名词审定委员会. 城乡规划学名词[M]. 北京: 科学出版社, 2021.  
Urban and Rural Planning Terminology Approval Committee. *Chinese terms in urban and rural planning* [M]. Beijing: Science Press, 2021.
- [7] 陈鹏, 李欣, 胡啸峰, 等. 北京市长安街沿线的扒窃案件高发区分析及防控对策[J]. *地理科学进展*, 2015, 34(10): 1250-1258.  
Chen Peng, Li Xin, Hu Xiaofeng, et al. Clustering pattern analysis and prevention strategies to pickpocketing offence along the Chang'an Street in Beijing[J]. *Progress in Geography*, 2015, 34(10): 1250-1258.
- [8] 郑滋槐, 张丰, 杜震洪, 等. 基于道路网络的犯罪空间聚集特

- 征研究[J]. 人文地理, 2016, 31(5): 93-98, 147.
- Zheng Ziwan, Zhang Feng, Du Zhenhong, et al. Study on characteristics of crime spatial distribution based on street network[J]. Human Geography, 2016 31(5): 93-98, 147.
- [9] 张勃, 张馨泽, 林艳. 犯罪热点路段识别及影响因素分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(21): 9437-9446.
- Zhang Bo, Zhang Xinze, Lin Yan. Identification and influencing factors analysis of crime hotspots[J]. Science Technology and Engineering, 2022, 22(21): 9437-9446.
- [10] Wu Y, Li Y. "Hot street" of crime detection in London borough and lockdown impacts [J]. Geo-Spatial Information Science, 2023, 26(4): 716-732.
- [11] 张延吉, 游永熠, 朱春武. 物理失序对盗窃犯罪的影响及其在3D建成环境影响中的调节作用——基于街景图像深度学习的上海案例[J]. 地理研究, 2024, 43(6): 1539-1555.
- Zhang Yanji, You Yongyi, Zhu Chunwu. The impact of physical disorder on theft crime and its moderating role on the criminogenic effect of 3D built environment features: application of deep learning approach on street view images in Shanghai[J]. Geographical Research, 2024, 43(6): 1539-1555.
- [12] 柳林, 杜方叶, 肖露子, 等. 不同类型道路密度对公共空间盗窃犯罪率的影响——基于ZG市的实证研究[J]. 人文地理, 2017, 32(6): 32-38, 46.
- Liu Lin, Du Fangye, Xiao Luzi, et al. The density of various road types and larceny rate: an empirical analysis of ZG City[J]. Human Geography, 2017, 32(6): 32-38, 46.
- [13] Tokey A I. Property crime and violent crime in Detroit: spatial association with built environment before and during COVID-19[J]. Bulletin of Geography, 2023, 59: 131-150.
- [14] Davies T, Johnson S D. Examining the relationship between road structure and Burglary risk *via* quantitative network analysis[J]. Journal of Quantitative Criminology, 2015, 31(3): 481-507.
- [15] Yue H, Zhu X, Ye X, et al. Modelling the effects of street permeability on burglary in Wuhan, China[J]. Applied Geography, 2018, 98: 177-183.
- [16] 毛媛媛, 李凤仪, 殷玲, 等. 基于网络形态的街道空间环境与“两抢一盗”犯罪的关系研究——以HS市原DP区为例[J]. 地理研究, 2022, 41(11): 2866-2883.
- Mao Yuanyuan, Li Fengyi, Yin Lin, et al. The relationship between the network-pattern-based street spatial environment and crime of robberies and thefts, with the former DP District of HS City as an example. [J]. Geographical Research, 2022, 41(11): 2866-2883.
- [17] Rokem J, Weiss C M, Miodownik D. Geographies of violence in Jerusalem: the spatial logic of urban intergroup conflict[J]. Political Geography, 2018, 66: 88-97.
- [18] 姜昀呈, 孙立坚, 王涛涛, 等. 兰州市中心城区犯罪分布与城市环境的关系[J]. 测绘科学, 2021, 46(5): 167-174.
- Jiang Yuncheng, Sun Lijian, Wang Taotao, et al. The coupling relationship between crime distribution and urban environment in Lanzhou City center [J]. Science of Surveying and Mapping, 2021, 46(5): 167-174.
- [19] Ackerman J M, Rossmo D K. How far to travel? a multilevel analysis of the residence-to-crime distance[J]. Journal of Quantitative Criminology, 2015, 31(2): 237-262.
- [20] 黎家琪, 宋广文, 肖露子, 等. 盗窃者犯罪出行距离的特征及其影响因素——基于居住社区、作案社区及出行物理障碍的综合考虑[J]. 地理科学进展, 2022, 41(11): 2123-2134.
- Li Jiaqi, Song Guangwen, Xiao Luzi, et al. Characteristics and influencing factors of thieves' travel distance: a comprehensive consideration of residential community, target community, and physical barriers to travel[J]. Progress in Geography, 2022, 41(11): 2123-2134.
- [21] Kirchmaier T, Langella M, Manning A. Commuting for crime[J]. The Economic Journal, 2024, 134: 1173-1198.
- [22] 赵梓渝, 刘大千, 肖建红, 等. 基于犯罪模式理论的犯罪出行空间特征与影响因素——以长春市南关区扒窃为例[J]. 地理研究, 2021, 40(3): 885-899.
- Zhao Ziyu, Liu Daqian, Xiao Jianhong, et al. Spatial characteristics and influencing factors analysis of journey-to-crime based on crime pattern theory: a study of theft crime in Nanguan District, Changchun[J]. Geographical Research, 2021, 40(3): 885-899.
- [23] 席珺琳, 罗伟璋, 袁建伟, 等. 高密度城区滨水空间生态服务能力评价[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2024, 45(6): 65-73.
- Xi Junlin, Luo Weizhang, Yuan Jianwei, et al. Evaluation of ecological service capacity of waterfront space in high-density urban areas [J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition), 2024, 45(6): 65-73.
- [24] 黄铎, 古恒宇, 姜洪庆. 空间句法在侵华日军南京大屠杀遇难同胞纪念馆及周边地区城市设计中的应用[J]. 现代城市研究, 2017(12): 79-86.
- Huang Duo, Gu Hengyu, Jiang Hongqing. The application of space syntax in the urban design of the Nanjing Massacre Memorial Hall and its vicinity [J]. Modern Urban Research, 2017(12): 79-86.
- [25] Hillier B, Hanson J. The social logic of space[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- [26] 古恒宇, 沈体雁, 周麟, 等. 基于GWR和sDNA模型的广州市路网形态对住宅价格影响的时空分析[J]. 经济地理, 2018, 38(3): 82-91.
- Gu Hengyu, Shen Tiyan, Zhou Lin, et al. Measuring street layout's spatio-temporal effects on housing price based on GWR and sDNA model: the case study of Guangzhou [J]. Economic Geography, 2018, 38(3): 82-91.
- [27] 罗伟杰, 古恒宇, 陶伟. 空间句法在国内外地理学中的研究进展[J/OL]. 世界地理研究, 1-16 [2025-06-10]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1626.P.20241209.1808.002.html>.
- Luo Weijie, Gu Hengyu, Tao Wei. Progress of space syntax research in both domestic and international geography [J]. World Regional Studies, 1-16 [2025-06-10]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1626.P.20241209.1808.002.html>.
- [28] 丁传标, 古恒宇, 陶伟. 空间句法在中国人文地理学中的应用进展评述[J]. 热带地理, 2015, 35(4): 515-521, 540.
- Ding Chuanshao, Gu Hengyu, Tao Wei. Progress in the application of space syntax in human geography research in China [J]. Tropical Geography, 2015, 35(4): 515-521, 540.
- [29] 张蕾, 薛翹楚. 基于空间句法理论的郑州龙湖公园空间优化[J]. 水利经济, 2024, 42(1): 84-90.
- Zhang Lei, Xue Qiaochu. Research on spatial optimization of

- Zhengzhou Longhu Park based on spatial syntax [J]. *Journal of Economics of Water Resources*, 2024, 42(1): 84-90.
- [30] 王凌, 郑俊禧, 叶昌东. 多尺度空间特征思考下的工业遗产差异化更新——以广州市两处食品加工类工业遗产为例[J]. *南方建筑*, 2024, 2024(1): 96-106.  
Wang Ling, Zheng Junxi, Ye Changdong. Differentiated renewal of industrial heritage under the reflection of multi-scale spatial characteristics: a case study of two industrial heritage food processing sites in Guangzhou [J]. *South Architecture*, 2024 (1): 96-106.
- [31] Hillier B, Iida S. Network and psychological effects in urban movement [C]//COHN A G, MARK D M. *Spatial Information Theory*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005: 475-490.
- [32] Turner A. Angular analysis: a method for the quantification of space[J]. *Mathematics, Physics*, 2000, 30: 1-11.
- [33] Ullah S, Finch C F, Day L. Statistical modelling for falls count data [J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2010, 42 (2): 384-392.
- [34] 王玉婷, 张梦歌, 彭博, 等. 基于车辆车载诊断数据的山地城市道路异常驾驶行为空间分布特征[J]. *科学技术与工程*, 2022, 22(13): 5472-5480.  
Wang Yuting, Zhang Mengge, Peng Bo, et al. Spatial distribution characteristics of abnormal driving behavior on mountain roads based on vehicle on-board diagnostics data[J]. *Science Technology and Engineering*, 2022, 22(13): 5472-5480.
- [35] 张新宇, 陈鹏. 新冠疫情防控措施对入室盗窃犯罪热点的影响——基于北京市主城区的案例研究[J]. *地理科学进展*, 2023, 42(2): 328-340.  
Zhang Xinyu, Chen Peng. The impact of COVID-19 prevention and control measures on residential burglary hotspots: a case study of the core urban areas of Beijing [J]. *Progress in Geography*, 2023, 42(2): 328-340.
- [36] Breetzke G D, Cohn E G. Burglary in gated communities: an empirical analysis using routine activities theory [J]. *International Criminal Justice Review*, 2013, 23(1): 56-74.
- [37] Lockwood D. Mapping crime in Savannah: social disadvantage, land use, and violent crimes reported to the police[J]. *Social Science Computer Review*, 2007, 25(2): 194-209.
- [38] 邓宜为, 李英冰, 闫从政. 群体事件下犯罪时空热点与影响因素分析[J]. *地理空间信息*, 2022, 20(11): 1-4.  
Deng Yiwei, Li Yingbing, Yan Congzheng. Spatio-temporal hot spots and influencing factors analysis of crimes in mass incident [J]. *Geospatial Information*, 2022, 20(11): 1-4.
- [39] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市道路路线设计规范: CJJ 193—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of urban road alignment: CJJ 193—2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [40] Jacobs J. The death and life of great American cities [M]. New York City: Random House, 1961.