引文格式：许钊, 刘耀林, 银超慧, 等. 广州主城区道路中心性与土地利用格局关系研究[J]. 地理空间信息, 2023, 21(3): 59-65. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.03.013

广州主城区道路中心性与土地利用格局关系研究

许　钊[1]，刘耀林[1*]，银超慧[2]，陈　飞[3]，陆砚池[1]
（1. 武汉大学 资源与环境科学学院，湖北 武汉 430079；2. 河南农业大学 资源与环境学院，河南 郑州 450002；
3. 广州市城市规划勘测设计研究院，广东 广州 510060）

摘　要：深入探究多尺度道路网络中心性与土地利用格局之间的关系有助于指导和优化城市道路和土地布局。运用多中心评价模型对广州市主城区的道路网络进行多尺度测度，计算不同中心性等级城市的土地景观格局指数，通过Spearman相关分析探讨了多尺度道路网络中心性与景观格局指数之间的关系。结果表明：①道路网络中心性高值在广州主城区呈多核分布，道路网络表现为明显的多中心性；②在景观层面，MPS和SHDI与道路网络中心性均呈较强的负相关，MSI只与邻近中心性表现为强负相关性，在类型层面，各用地类型的MPS和MSI均与道路网络中心性具有强负相关性，不同城市用地PLAND与道路网络中心性的相关性差异较大；③邻近中心性和直线中心性与居住用地的正相关性强于商业服务业用地，中介中心性与商业服务业用地的相关系数大于居住用地，体现了广州市作为我国大城市独有的特点；④广州主城区在半径约为3 000 m的尺度上，城市道路网络空间特征与土地利用格局呈现同质性。

关键词：道路中心性；土地利用格局；广州市
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）01-0059-07

Relationship Research on Road Centrality and Land-use Pattern in the Main Urban Area of Guangzhou

XU Zhao[1], LIU Yaolin[1], YIN Chaohui[2], CHEN Fei[3], LU Yanchi[1]
(1. School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
2. School of Resource and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;
3. Guangzhou Urban Planning, Investigation and Design Institute, Guangzhou 510060, China)

Abstract: Exploring the relationship between the multi-scale road network centrality and urban land-use pattern is helpful to guide and optimize urban road and land layout. In this paper, we used the multi-scale evaluation model to measure the multi-scale road network in the main urban area of Guangzhou, calculated the urban land landscape pattern index of different centrality levels, and analyzed the relationship between the multi-scale road network centrality and landscape pattern index by Spearman correlation. The results show that ①the high value of road network centrality in the main urban area of Guangzhou presents a multi-core distribution, and the road network presents an obvious multi-centrality. ②At the landscape level, MPS and SHDI have strong negative correlation with the road network centrality. MSI is only negatively correlated with proximity centrality. At the type level, MPS and MSI of each land-use type have strong negative correlation with the road network centrality. The correlation between road network centrality and PLAND of different urban land are significantly different. ③The positive correlation between proximity centrality and linear centrality and residential land is stronger than that of commercial service land. The correlation coefficient between intermediary centrality and commercial service land is greater than that of residential land, which reflects the unique characteristics of Guangzhou as a large city in China. ④It is revealed that the spatial characteristics of urban road network and land-use pattern are homogenous in the radius of about 3 000 m in Guangzhou.

Key words: road centrality, land-use pattern, Guangzhou City

城市发展进程中，道路网络对城市空间结构的演化作用巨大[1]。道路作为特殊的用地类型，具有交通运输和景观廊道等功能，能加强不同区域间的联系，同时对人流车流的聚散具有明显作用，进而影响城市用地的空间分布[2]。研究道路与城市用地之间的关系有利于提升道路网络的通行效率，揭示城市用地的分

收稿日期：2021-06-10；修回日期：2021-08-23。
项目来源：国家自然科学基金资助项目（41771432）。
第一作者简介：许钊（1996—），硕士研究生，主要研究方向为城市道路与土地利用规划，E-mail：2019202050126@whu.edu.cn。
通信作者：刘耀林（1960—），教授，博士生导师，国际欧亚科学院院士，主要研究方向为土地资源调查、评价、规划与土地信息技术，E-mail：wdzhlylls@163.com。

布特征，从道路视角为提升城市用地效率、优化用地布局提供参考。

目前针对道路网络和土地利用之间关系的研究主要集中在道路网络密度对沿线土地利用的影响。荣月静[3]等分析了江西省道路网络密度与土地利用转化之间的关系；潘丽娟[4]等研究了道路网络密度对景观破碎化阈值的影响；王艺璇[5]探究了不同路网密度对公园绿地可达性的影响；牟凤云[6]等则利用空间句法模型对重庆巫山道路可达性与土地利用的协调程度进行了探索；上述研究采用道路密度测度道路网络结构和道路可达性，忽略了道路线在道路网络中的层级功能，不同功能的道路对区域土地利用景观会产生相异效应，选择合适的道路网络测度指标对分析道路与土地利用之间的关系至关重要。道路网络中心性利用多中心评价模型（MCA），从道路可达性、道路在路网中的枢纽作用以及道路的通达效率来定义中心性。相较于其他模型，该模型对中心性的度量更为全面有效[7]。近年来，国内外学者对道路网络中心性进行了大量研究，包括道路网络中心性与土地利用以及社会经济活动等的关系，其中道路网络中心性与土地利用之间的关系研究涵盖道路中心性与土地利用强度[8]、土地利用类型[9]、土地利用格局[10]之间的关系，道路网络中心性与社会经济活动之间的关系研究涵盖零售店位置与道路网络中心性的关系[11]、商业网点空间分布与中心性的关系[12]、道路网络中心性与第三产业经济密度的空间分布关系[13]、道路网络中心性与各类社会经济活动空间分布的关系[14]。此外，学者们还基于道路网络中心性研究了城市轨道交通应急救援站选址[15]、大型医院可达性[16]、城市功能用地空间分布与交通导向特征[17]，以及道路网络中心性与公交网络对住宅租赁价格[18]和房地产价值的影响[19]。LIU Y A[20]等通过探索武汉市主城区多尺度道路中心性与土地利用强度的关系，扩展了道路网络中心性研究；而后YIN C H[21]等研究了武汉市主城区多尺度道路网络中心性与城市景观格局的关系，揭示了道路的空间异质性。通常，同一个尺度上的同质性单元可能在另一个尺度上呈现异质性，针对不同尺度下道路网络中心性与土地利用格局关系的研究当前仍较少见；而且已有研究较少地将道路时速和车流在道路中的通行时间纳入到道路网络中心性的测度中，构建道路网络数据集时仅将道路长度作为网络阻抗，不能客观反映道路的实际通行状况。

本文以广州市主城区为研究对象，从多尺度道路中心性的角度探讨了道路网络与土地利用的关系；对不同等级道路赋予不同的时速，以通行时间为阻抗来计算广州市主城区道路网络中心性值，以探究不同搜索半径下道路网络中心性与城市土地利用格局的关系，揭示与城市土地利用格局相关性最强的道路网络中心性尺度，为广州市主城区提升道路网络通行效率和优化城市功能用地布局提供参考，也为广州市正在进行的城市更新提供科学指导。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

本文以广州市主城区为研究区（图1），包括荔湾、越秀、海珠、天河4区全部区域，白云区北二环高速公路以南地区，黄埔区九龙镇以南地区以及番禺区广明高速以北地区，总面积为1 109.22 km²。《广州市国土空间总体规划（2018—2035年）》草案提出，广州市要充分发挥道路交通对城市发展的引领作用，强化交通与土地利用的协调程度，优化提升主城区，使老城市焕发新活力，强化粤港澳大湾区建设中的核心引擎作用。

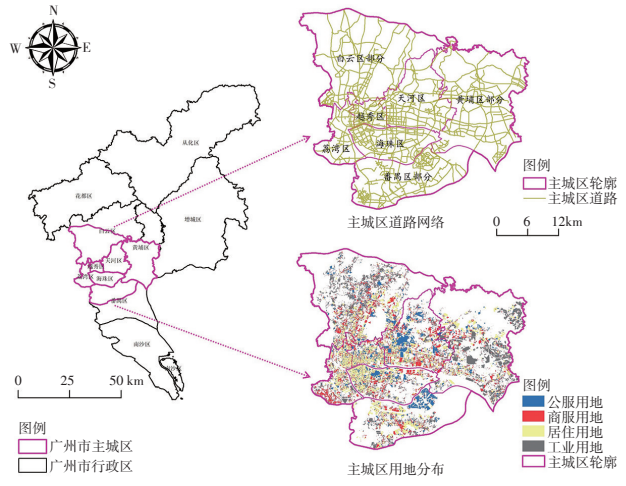


图1 研究区概况

1.2 数据来源与处理

道路网络矢量数据来源于广州市城市规划勘测设计研究院，包括国道、省道、主干道、次干道、高速公路和城市快速路。通过拓扑处理道路网络，并对不同等级道路设置不同的车速，以道路通行时间为网络阻抗，纳入道路网路中心性的计算中。道路网络数据集由1 288个节点和1 820条道路边组成，包括道路长度、两端节点坐标及其ID、道路通行速度和时间。广州市主城区道路设计车速见表1。

城市用地矢量数据来源于广州市第三次全国国土调查。本文根据《第三次全国国土调查技术规程》，单独提取城市用地，再按《城市用地分类与规划建设用地标准》整合归并，剔除道路交通设施用地，最终得到广州市主城区城市用地类型，如表2所示。

表1　广州市主城区道路设计车速

道路等级	车速/(km/h)	道路等级	车速/(km/h)
主干道	50	高速公路	90
次干道	40	国道	60
快速路	80	省道	60

注：根据CJJ37−2012《城市道路工程设计规范》，主干道、次干道、快速路和高速公路的设计行车速度分别为40~60 km/h、30~50 km/h、60~100 km/h、60~120 km/h，这里选择平均值作为设计车速，穿过城市的国道和省道一般限速为40~60 km/h，这里选择60 km/h。

表2　广州市主城区城市用地分类和代码

用地类别	代码	面积占比/%
居住用地	R	24.38
公共管理与公共服务用地	A	17.05
商业服务业用地	B	20.34
工业用地	M	22.64
物流仓储用地	W	7.60
道路与交通设施用地	S	–
公用设施用地	U	1.39
绿地与广场用地	G	6.60

1.3　研究方法

1.3.1　道路网络MCA模型

道路网络是城市空间拓展的方向和骨架[22]。本文以MCA模型为基础，将道路线和交叉点分别作为网络的边和节点，以道路通行时间为阻抗，运用City Form Lab开发的城市网络分析工具箱（UNA），对广州市主城区道路网络中心性进行测度，最终得到标准化后的邻近中心性、中介中心性和直线中心性。

1）邻近中心性用以度量节点到所有节点的邻近程度，反映节点在道路网络中的可达性。邻近中心性值越大，表明该点的相对可达性越好，可反映区位的重要性[23]。

$$\mathrm{Closeness}(i)^{r}_{\mathrm{norm}}=\frac{\sum_{j\in G-\{i\},\,d(i,j)\leqslant r} j}{\sum_{j\in G-\{i\},\,d(i,j)\leqslant r} d(i,j)\times j} \tag{1}$$

式中，r 为搜索半径；$\mathrm{Closeness}(i)^{r}_{\mathrm{norm}}$ 为节点 i 在搜索半径为 r 时标准化后的邻近中心性值；$d(i,j)$ 为网络集 G 中节点 i 和节点 j 的最短路径；$G-\{i\}$ 为网络集中 G 去除节点 i 的子集。

邻近中心性本质上反映了为克服人类和人类活动之间的空间分离所耗费的出行成本[11]。

2）中介中心性用以度量任意两个节点最短路径中经过该点的数量比例之和，反映该节点在网络中的中转和衔接功能。城市中等级高的道路往往具有较高的中介中心性值[24]。

$$\mathrm{Betweenness}(i)^{r}_{\mathrm{norm}}=\frac{\sum_{j,k\in G-\{i\},\,d(i,j)\leqslant r}\left[\frac{n_{jk}(i)}{n_{jk}}\times j\right]}{\sum_{j\in G-\{i\},\,d(i,j)\leqslant r}(j-1)\sum_{j\in G-\{i\},\,d(i,j)\leqslant r} j} \tag{2}$$

式中，$\mathrm{Betweenness}(i)^{r}_{\mathrm{norm}}$ 为节点 i 在搜索半径为 r 时标准化后的中介中心性值；$n_{jk}(i)$ 为节点 j 经过节点 i 到 k 之间的最短路径数量；n_{jk} 为节点 j 和 k 之间最短路径的数量。

3）直线中心性用以度量节点到其他节点最短路径偏离欧氏距离的程度，用给定节点到所有网络节点的欧氏距离与实际网络距离的比值和来表示，以衡量节点与其他节点的通达效率。

$$\mathrm{Straightness}(i)^{r}_{\mathrm{norm}}=\frac{\sum_{j\in G-\{i\},\,d(i,j)\leqslant r}\left[\frac{d^{\mathrm{Eucl}}(i,j)}{d(i,j)}\times j\right]}{\sum_{j\in G-\{i\},\,d(i,j)\leqslant r} j} \tag{3}$$

式中，$\mathrm{Straightness}(i)^{r}_{\mathrm{norm}}$ 为节点 i 在搜索半径为 r 时标准化后的直线中心性值；$d^{\mathrm{Eucl}}(i,j)$ 为节点 i 和节点 j 之间的欧氏距离。

1.3.2　景观格局指数

本文选取土地利用类型百分比（PLAND）、Shannon多样性指数（SHDI）、平均斑块大小（MPS）和平均形状指数（MSI）4个景观格局指数来量化广州市主城区的城市土地利用格局（表3）。PLAND和SHDI用于揭示景观组成，MPS和MSI用于描述各城市用地类型的具体空间形态。在这些指标中，SHDI仅适用于

表3　景观格局指数计算公式

景观格局指数	计算公式	公式含义
PLAND	$PL_i=\frac{\sum_{j=1}^{n}a_{ij}}{A}\times 100$	A 为城市土地景观的总面积；n 为城市土地利用类型的斑块数量；a_{ij} 为某一城市用地类型的斑块面积
SHDI	$\mathrm{SHDI}=-\sum_{i=1}^{m}(PL_i\times \ln PL_i)$	m 为城市用地类型数量
MPS	$\mathrm{MPS}=P_i=\frac{\sum_{j=1}^{n}a_{ij}}{n}$	n 为城市用地类型的斑块数量；a_{ij} 为城市用地类型 i 第 j 个斑块的面积
MSI	$S_i=\frac{\sum_{j=1}^{n}\frac{l_{ij}}{2\sqrt{(\pi\times a_{ij})}}}{n}$	n 为城市用地类型的斑块数量；l_{ij} 为用地类型 i 第 j 个斑块的周长

景观水平，PLAND仅适用于类型水平，MPS和MSI可同时适用于景观水平和类型水平。

2 研究结果与分析

2.1 全域道路网络中心性空间分布

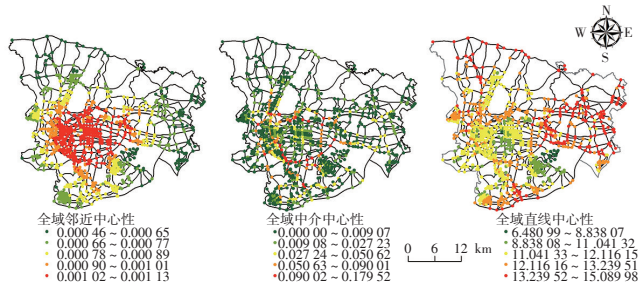
本文基于UNA工具得到广州市主城区的全域道路网络中心性空间分布，以道路通行时间为网络阻抗比道路长度得到的中心性结果更能反映道路的实际通行情况。由图2可知，邻近中心性高值分布在主城区道路网络的质心位置，且从质心向外邻近中心性值逐级递减；中介中心性高值分布于机场高速、环城高速等高速以及科韵路、江南大道等具有较强中转功能和枢纽作用的道路上，城市内部通勤比较依赖这些道路，庞大的交通流吸引人口和产业的集聚；直线中心性高值分布较分散，主要分布于主城区路网的边缘，用以连通主城区与边缘城区，包括黄埔区的科学大道、黄埔大道、广澳高速公路、广深高速公路等，白云区的北二环高速公路、许广高速公路、机场高速公路、广花路和华南快速干线等以及番禺区的广明高速公路等道路。中介中心性和直线中心性促进广州市主城区向多中心方向发展[17]。

2.2 多尺度道路网络中心性空间分布

本文利用MCA模型计算不同搜索半径下广州市主城区道路网络节点的中心性，并将节点的中心性均值赋给其连接的道路线；然后对道路线进行核密度插值。经过多次试验发现，将核密度带宽设置为1 000 m时得到的结果较理想。本文将对具有代表性的结果（搜索半径为100 m、500 m、1 000 m、3 000 m、10 000 m以及全域）进行描述。

由图3~5可知，随着搜索半径的增加，邻近中心性高值区首先呈扩散态势，再向主城区中心集聚，最后出现多个高值集聚区域，该区域以越秀区的北京街道、珠光街道以及天河区的冼村街道、猎德街道为中心；中介中心性高值区由面积较小且分散的团状分布发展为3 000 m搜索半径下明显的“点—轴”式环状分布，主要分布在机场高速、环城高速等高速以及科韵路、江南大道等主干道，之后搜索半径增加，中介中心性分布无明显变化；直线中心性的空间分布格局在不同尺度下变化较小，高值区始终呈多核分布，在主城区中心和边缘均有分布，边缘区域的道路用于连通佛山、东莞等周边城市。

道路网络中心性值通过计算网络中节点沿道路在一定搜索半径内与其他节点之间的关系得到。高邻近中心性、高中介中心性和高直线中心性分别代表道路的可达性好、枢纽功能强和通行效率高。全域中心性无法识别远离路网质心的某些重要道路（如华南快速干线等），因此探究全域和局部路网中心性对认识城市路网形态和功能具有重要意义。



a 全域邻近中心性 b 全域中介中心性 c 全域直线中心性

图2 广州市主城区全域道路网络中心性

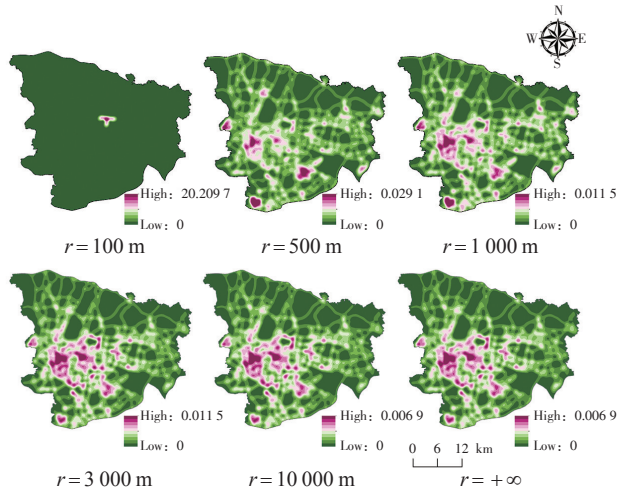


图3 邻近中心性空间分布

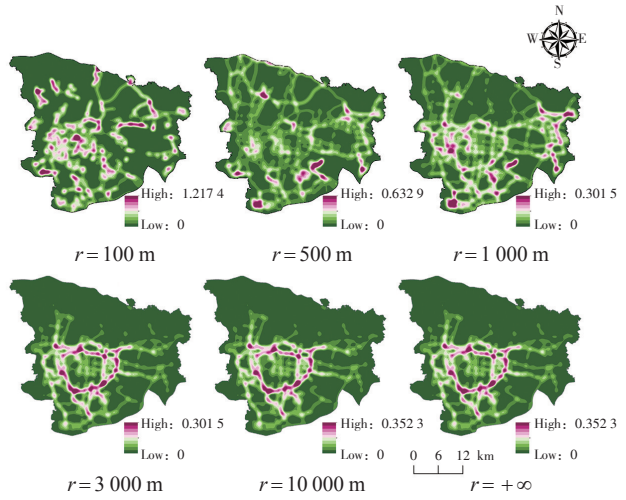


图4 中介中心性空间分布

2.3 道路网络中心性与土地利用格局的关联分析

2.3.1 景观层面

土地利用格局在景观层面采用MPS、MSI和SHDI 3个指标来表征，道路网络中心性与它们的相关系数如表4所示，未通过显著性检验的结果未统计在表中。MPS表示景观的破碎化程度，与邻近中心性、中

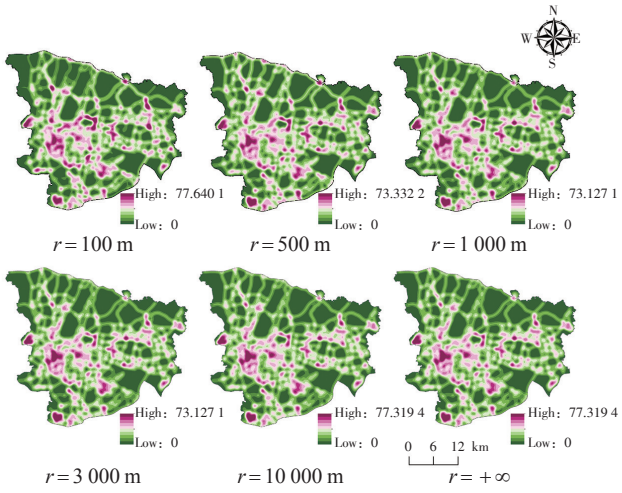


图5　直线中心性空间分布

介中心性和直线中心性均呈较强的负相关，且与中介中心性的负相关性最强，表明道路网络中心性高的区域城市用地平均斑块面积更小，斑块破碎程度更高，中介中心性高的区域尤甚。其原因在于，道路网络中心性高值区域人类活动强度高，路网对城市用地的分割作用明显，城市用地更为独立和破碎化，中介中心性高值区域交通流量大，易产生拥堵，可能带来尾气和噪声等一系列污染，对环境造成破坏，从而导致附近城市用地破碎化程度严重。MSI表示斑块形状的规则程度，只与邻近中心性表现为强负相关，即邻近中心性较高的区域，城市景观形状较规则。其原因在于，邻近中心性高值区域位于主城区中心，土地价值高，城市用地形状规则有利于土地节约集约利用，促进城市土地高效利用。SHDI表示土地利用景观类型的多样化程度，与道路网络中心性也表现为显著负相关，且与邻近中心性和中介中心性的相关系数大于直线中心性，即中心性高值区域，城市景观复杂程度较低，景观类型更趋于单一。其原因在于，邻近中心性和中介中心性高值区域多位于主城区中心，居住用地和商业服务业用地分布集中，其他用地少有布局，直线中心性高值区域多位于主城区周边，主要为工业用地和物流仓储用地，居住用地、商业服务业用地以及配套的其他用地有少量布局，因此直线中心性对SHDI的负相关性相对较小。

MPS、MSI、SHDI与中心性指标的相关关系均随搜索半径的增大而增强，当搜索半径增大到3 000 m时，相关系数达到峰值，说明广州市主城区在半径约为3 000 m的尺度上城市道路网络空间特征和土地利用格局呈现同质性。在3 000 m以内的尺度下低等级道路集聚，其车流、灯光、噪声相对较小，对周边人类经济活动和物种分布产生的影响较小；而在3 000 m及以上的大尺度下，高等级道路（高速公路、快速路、国道、省道）被纳入到中心性的计算中来，大车流、强灯光和大噪声对土地利用格局的影响更大。

表4　景观层面道路中心性与土地利用格局的关系

搜索半径	MPS			MSI	SHDI		
	邻近中心性	中介中心性	直线中心性	邻近中心性	邻近中心性	中介中心性	直线中心性
100 m			−0.709*				
500 m			−0.758*		−0.697*	−0.697*	
1 000 m	−0.782**	−0.988**	−0.794**	−0.729*	−0.648*		−0.661*
3 000 m	−0.806**	−1.000**	−0.794**	−0.939**	−0.733*	−0.733*	−0.661*
10 000 m	−0.806**	−1.000**	−0.794**	−0.939**	−0.733*	−0.745*	−0.661*
全域	−0.806**	−1.000**	−0.794**	−0.939**	−0.733*	−0.745*	−0.661*

注：*表示在置信度（双侧）为0.05水平上显著相关；**表示置信度（双侧）为0.01水平上显著相关。

2.3.2　类型层面

道路网络中心性与土地利用在类型层面上的关联分析采用PLAND、MPS和MSI三个指数来表征。本文选取面积占比大的居住用地、商服用地、公服用地和工业用地的景观格局指数进行分析，通过显著性检验的相关系数如表5所示。由于搜索半径为3 000 m时，城市各用地类型与中心性的相关系数趋于稳定，因此选择3 000 m尺度下的道路中心性与景观格局指数进行分析。

从景观格局指数来看，城市各用地类型的MPS和MSI均与道路网络中心性具有强负相关性（表5），其中中介中心性对城市各用地类型的MPS均有较大影响，邻近中心性和直线中心性对MSI有更大影响，这与景观层面得出的结论一致。不同城市用地类型的PLAND与道路中心性的相关性差异较大，居住用地、商服用地与道路中心性呈较强的正相关性，工业用地与其呈负相关性，而公服用地与其无显著相关性。分析4类城市用地类型的PLAND可知，居住用地的面积占比对中心化程度极为敏感，与直线中心性和邻近中心性呈强正相关性，且与直线中心性的相关系数最

大、邻近中心性次之、中介中心性最小，意味着广州市主城区的可达程度和通行效率对居住用地具有更强的吸引力。广州市主城区中心区域邻近中心性高、可达性好、人口密集、土地价格高，居住用地竞租能力较强，在广州市人口城镇化过程中郊区化现象明显[25]，但主要的就业聚集区域位于主城区，此时住宅区域的交通效率成为居民考虑的主要因素[26]。商服用地的PLAND与中介中心性的正相关性最强，直线中心性次之，邻近中心性最弱，广州市主城区商服用地倾向于分布在交通流量大和通行效率高的区域而非可达性好的区域，可达性较好的区域多为主城中心，商服用地布局在此往往需要支付高昂的地租，而中介中心性高值区域人流量大，来此消费的人群数量也会庞大。此外，由于居民出行以目的为导向，强调“到达”而非“经过”[27]，因此商服用地也会偏好在直达性好的区域布局。公服用地对道路网络中心性的敏感性极弱。公服用地具有公益性质，一直以来都属于划拨用地[28]，在城市规划中会被优先满足，与道路中心性无显著关系。工业用地与道路中心性呈强负相关性，工业用地对邻近中心性和直线中心性的排斥作用大于中介中心性。其原因在于，工业用地所需面积大，且易污染周边环境，造成负的外部性，主城区无合适区域布局工业用地。近年来，广州市的工业逐渐迁出主城区，在主城区东部的黄埔区和北部的白云区形成工业用地集聚区，承担着主城中心人口与产业疏解功能。该区域具有较低的可达性和通行效率，但道路流量并不一定处于较低水平，因此工业用地与中介中心性的负相关性较弱。

表5 类型层面道路中心性与土地利用格局的关系

景观格局指标	道路中心性	居住用地	商服用地	公服用地	工业用地
PLAND	邻近中心性	0.976**	0.648*		−1.000**
	中介中心性	0.661*	0.891**		−0.661*
	直线中心性	1.000**	0.758*		−1.000**
MPS	邻近中心性				−0.976**
	中介中心性	−0.818**	−0.818**	−0.964**	−0.879**
	直线中心性			−0.648*	
MSI	邻近中心性		−0.976**		
	中介中心性				
	直线中心性		−0.903**		−0.964**

注：*表示在置信度（双侧）为0.05水平上显著相关；**表示置信度（双侧）为0.01水平上显著相关。

从道路网络中心性对不同用地类型的影响来看，邻近中心性和直线中心性与居住用地的正相关性强于商服用地，体现了我国大城市以居住用地为主的城市用地布局特点[29]；中介中心性与商服用地的相关系数大于居住用地，即中介中心性对商服用地具有更强的相关性，这与北京市的研究结论不同，由于北京城市中心区的道路网络邻近中心性呈现严格的圈层分布，从城市中心向外逐级降低，城市用地仍受单中心城市空间的较强影响[17]，而广州市主城区邻近中心性高值分布较分散，在主城区形成多核。由于居住用地对出行便利程度的要求高于商服用地，因此商服用地将交通流量作为选址布局的主要依据。

3 结 语

本文基于UNA工具，以道路通行时间为网络阻抗，对广州市主城区道路网络中心性进行多尺度测度；并采用核密度估计和Spearman相关分析探讨了道路网络中心性与城市土地利用格局之间的关系，得到的主要结论为：

1）多尺度的道路网络中心性测度表现为不同的空间格局。随着搜索半径的增加，邻近中心性的高值区先呈扩散态势，最后在主城区形成多核集聚；中介中心性的高值区由分散的团状分布发展为在主城区呈明显的“点—轴”式环状分布；直线中心性变化较小，高值区始终呈多核分布。广州市主城区道路网络表现出明显的多中心特征，带动道路的可达程度、交通流量和通行效率在主城区表现为多中心化的特点。

2）在景观层面，MPS与道路中心性呈较强的负相关，其中与中介中心性的负向相关性最强；MSI只与邻近中心性呈强负相关性；SHDI与道路中心性表现为显著负相关，且与邻近中心性和中介中心性的相关性更强。

3）在类型层面，MPS和MSI与道路网络中心性具有强负相关性，其中中介中心性对城市各用地类型的MPS均有较大影响，邻近中心性和直线中心性对MSI有更大影响。不同城市用地类型的PLAND与道路网络中心性的相关性差异较大，居住用地、商服用地与道路网络中心性呈现较强的正相关性，工业用地与其具有负相关性，而公服用地与其无显著相关性。

4）邻近中心性和直线中心性与居住用地的正相关性强于商服用地，中介中心性与商服用地的相关系数大于居住用地，体现了广州市作为中国大城市独有的特点。

5）广州市主城区在半径约为3 000 m的尺度上城市道路网络空间特征与土地利用格局呈现同质性。3 000 m以内的尺度下低等级道路（主干道和次干道）集聚，对土地利用格局影响较小；而在3 000 m

及以上的大尺度下，包含高等级道路（高速公路、快速路、国道、省道）的道路网络中心性对土地利用格局的影响更大。

本文结论对从道路网络中心性的角度优化土地利用格局具有参考意义。首先，道路网络中心性与城市土地利用格局确实存在关联，中心化程度对居住、商服用地表现为吸引作用，工业用地因占地面积大且存在污染，中心性对其呈现强烈的排斥作用[30-31]。为确保道路在城市道路网络中各项功能的有效发挥，需对广州市主城区中心性高的节点和道路进行重点监测和良好维护，对越秀区西部旧城中心、天河区珠江新城等重点区域，机场高速、环城高速等高速以及科韵路、江南大道及其道路节点进行重点监测并及时疏通拥堵，减少通行时间成本。其次，在城市建设用地布局时，应将道路网络中心性纳入考虑范围。邻近中心性的高值区位于局域或全域路网中心，城市用地都倾向于在此布局，地域分化不明显，影响了其功能的高效运作，妨碍了土地利用功能置换和布局结构的调整，造成多种功能用地过分混杂，最终导致交通拥挤和市政设施供给紧张[32-33]。因此，应将居住用地与商服用地等与直线中心性相关性强的用地布局在通达效率高的非城市中心地带，从而缓解城市中心的用地矛盾。中介中心性的高值区人流量大，可将商服用地布局于此，以更好地发挥其服务功能。最后，讨论尺度对城市研究具有重要指导意义。广州市主城区道路网络中心性与城市土地利用格局之间的关系揭示了研究二者关系的最佳尺度为3 000 m，识别出城市道路网络结构与土地利用格局的尺度变化节点，可为今后广州市城市尺度研究提供新视角。本文的不足之处在于，仅识别出了该研究区道路与景观格局的最佳研究尺度，未继续探究最佳尺度下道路网络中心性对城市土地利用格局变化的影响，未来研究应利用多期土地利用数据，探究道路网络在城市景观格局演变过程中的作用[34]，为城市快速扩张过程中的景观格局变化提供科学实践。

参考文献

[1] 李琛强,娄宁,杨永崇,等. 西安市路网时空演变与城市空间变化关系研究[J]. 测绘科学,2021,46(11):173-180

[2] JIANG B,Claramunt C. A Structural Approach to the Model Generalization of an Urban Street Network[J]. GeoInformatica,2004(2):157-171

[3] 荣月静,张慧,杜世勋. 基于格网的近十年江西省道路网络对土地利用变化影响阈值研究[J]. 环境与可持续发展,2016,41(6):226-230

[4] 潘丽娟,张慧,刘爱利. 重庆市道路网络影响景观破碎化的阈值分析[J]. 生态科学,2015,34(5):45-51

[5] 王艺璇. 路网形式和路网密度对城市公园绿地可达性影响分析[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2019

[6] 牟凤云,杨猛,罗玲,等. 山区路网格局与土地利用协调效应研究:以重庆市巫山县为例[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2020,37(5):35-44

[7] Crucitti P,Latora V,Porta S. Centrality Measures in Spatial Networks of Urban Streets[J]. Physical Review E,Statistical Nonlinear and Soft Matter Physics,2006,73(3/2):36 125

[8] WANG F H,Antipova A,Porta S. Street Centrality and Land Use Intensity in Baton Rouge,Louisiana[J]. Journal of Transport Geography,2011(2):285-293

[9] RUI Y K,BAN Y F. Exploring the Relationship Between Street Centrality and Land Use in Stockholm[J]. International Journal of Geographical Information Science,2014(7):1 425-1 438

[10] 银超慧,郝昱,刘艳芳,等. 湖北省道路网络中心性与土地利用景观格局关系分析[J]. 长江流域资源与环境,2017,26(9):1 388-1 396

[11] GENG L,CHEN X X,LIANG Y T. The Location of Retail Stores and Street Centrality in Guangzhou,China[J]. Applied Geography,2018(100):12-20

[12] 陈晨,程林,修春亮. 沈阳市中心城区交通网络中心性及其与第三产业经济密度空间分布的关系[J]. 地理科学进展,2013,32(11):1 612-1 621

[13] 陈晨,王法辉,修春亮. 长春市商业网点空间分布与交通网络中心性关系研究[J]. 经济地理,2013,33(10):40-47

[14] 银超慧,刘艳芳,危小建. 武汉市多尺度道路网络中心性与社会经济活动点空间分布关系分析[J]. 人文地理,2017,32(6):104-112

[15] 李刚. 基于网络中心性的城市轨道交通应急救援站选址研究[D]. 北京:北京交通大学,2014

[16] 陈晨,修春亮. 基于交通网络中心性的长春市大型综合医院空间可达性研究[J]. 人文地理,2014,29(5):81-87

[17] 吕永强,郑新奇,周麟. 路网中心性与城市功能用地空间分布相关性研究:以北京城市中心区为例[J]. 地理研究,2017,36(7):1 353-1 363

[18] 杜超,王姣娥,刘斌全,等. 城市道路与公共交通网络中心性对住宅租赁价格的影响研究:以北京市为例[J]. 地理科学进展,2019,38(12):1 831-1 842

[19] TAN R,ZHOU K,XU H. Effects of Urban Road Centrality on Property Values: Spatial Hedonic Analysis of the Housing Market in Wuhan,China[J]. Journal of Urban Planning and Development,2019,145(2):19-24

[20] LIU Y A,WEI X B,JIAO L A,et al. Relationships Between Street Centrality and Land Use Intensity in Wuhan,Chi-

（下转第71页）