DOI：10. 16853/j. cnki. 1009-3575. 2026. 06. 007

多源数据支持下的城市路网功能评价与分析

刘安琪，吴佩霖，柴 亮
（内蒙古农业大学能源与交通工程学院，呼和浩特 010018）

摘要：融合路网拓扑、交通及OSM多源数据，构建涵盖服务性、拓扑弹性与通达性的三维7项评价指标体系，运用CRITIC-TOPSIS综合评价方法，实现城市路网功能的多维度量化评估。以呼和浩特市新城区为例，构建拓扑网络模型，定量计算各指标并进行可视化分析。通过综合评分排序与斯皮尔曼相关系数检验，验证了评价方法的稳定性与适用性。研究表明，新城区路网存在显著结构性矛盾：中心区道路服务设施密集、饱和度高、拓扑连通性强，承担主要通行功能；外围集散道路功能弱化、利用率低。建议从路网功能分级优化、交通治理与配套设施提升等方面实施针对性调控，以提升整体运行效率与空间公平性。

关键词：城市路网功能；评价指标体系；CRITIC-TOPSIS方法；多源数据；空间格局
中图分类号：U491；P208 **文献标志码**：A **文章编号**：1009-3575(2026)06-0049-10

Functional Evaluation and Analysis of Urban Road Networks Supported by Multi-source Data

LIU Anqi，WU Peilin，CHAI Liang
（*School of Energy and Transportation Engineering of Inner Mongolia Agricultural University*，*Hohhot* 010018，*China*）

Abstract：This study integrated the multi-source data including road network topology，traffic data，and OpenStreetMap（OSM），to construct a seven-item and three-dimensional evaluation index system covering serviceability，topological elasticity，and accessibility. The CRITIC-TOPSIS integrated evaluation method was employed to achieve a multidimensional quantitative assessment of urban road network functionality. Using the Xincheng District of Hohhot as a case study，a topological network model was constructed to quantitatively calculate various indicators and conduct visual analysis. Through comprehensive scoring ranking and Spearman's correlation coefficient tests，the stability and applicability of the evaluation method were validated. Research indicated that significant structural contradictions existed in the road networks of the study areas，i. e.，the central districts feature densely distributed road service facilities，high saturation levels，and strong topological connectivity，primarily serving as major traffic corridors，while the peripheral distribution roads exhibited weakened functionality and low utilization rates. It is recommended to implement targeted regulatory measures，including hierarchical optimization of road network functions，improved traffic management，and enhanced supporting infrastructure，to elevate overall operational efficiency and spatial equity.

Key words：Urban road network function；Evaluation index system；CRITIC-TOPSIS method；Multi-source data；Spatial pattern

城市路网作为城市发展的空间骨架与交通流承载基础，其功能优劣直接决定着交通运行效率、安全水平及居民出行品质。构建科学系统的评价指标体系，对路网功能进行多维度量化评估，不仅能为城市规划、建设及改造提供精准决策依据，更能有效引导城市空间结构的优化重组，推动交通服务能级提升。近年来，众多学者围绕路网运行效率[1]、布局优化[2-3]、韧性评估[4-6]及连通性分析[7-8]等核心方向，依托浮动车数据[9]、路网拓扑数据[10]、交通流数据[11]以及时空数据[12-13]等信息，系统开展城市路网功能的综合评价。徐锦强等[14]与Sekihara等[15]基于道路结构与交通特性，分别构建弹性指数计算法及路网功能等级评价体系；Shim等[16]基于居民出行与路网数据，利用入/出强度、介数中心性等指标建立道路功能评价模型；宋海权等[17]基于连接度、介中心性等拓扑指标，构建路网评价模型并提出路网综合算法。现有研究多依赖单一或有限数据源评价路网功能，存在评价维度局限，如Lin等[18]虽融合POI与路网数据、用LDA识别功能区，但未突破数据源限制。同时，现有研究多基于主观赋权法[17]、主客观结合赋权法（如AHP-模糊综合评价法）[2]及客观赋权法（如EW-TOPSIS法）[19]，通过道

收稿日期：2025-08-29
基金项目：内蒙古自治区自然科学基金项目（2025QN05124，2024QN07001）
作者简介：刘安琪（1992—），女，硕士，讲师，主要从事交通运输规划与管理、交通地理信息分析方面的研究，E-mail：1025870083@qq. com

路评分计算与等级划分，为路网综合评价提供理论支撑。尽管该领域已有广泛研究，然而基于多源数据的路网功能性评价仍相对有限，多源数据融合的路网功能评价方法亟待丰富；同时，现有成果对综合评价方法的适用性与稳定性尚未充分探讨，亟待加强系统性分析。

为丰富既有研究成果，本文在国内外现有研究基础上，整合路网拓扑、交通流、道路属性及开放街道地图（OSM）等多源异构数据，构建包含服务性、拓扑弹性与通达性3项一级指标，以及道路饱和度、设施可达性、拥堵弹性等7项二级指标的城市路网功能多维评价体系与综合评价模型；以呼和浩特市新城区路网为实证对象，通过综合评分排序与斯皮尔曼相关系数检验，系统验证了评价模型的稳定性与适用性；基于评价分析识别了新城区路网存在的关键问题并针对性提出优化建议。研究成果可为提升城市路网服务效能、改善居民出行效率提供理论支撑与实践参考。

1 城市路网功能评价指标与评价体系

路网功能评价是城市交通规划与管理的核心工具，通过系统诊断路网服务短板与功能瓶颈、识别关键路段，为交通策略制定、路网布局优化及城市更新提供科学支撑。本文遵循数据可获取性与功能表征直观性原则，构建通达性、拓扑弹性、服务性三维评价框架（含7项指标），多维度量化评估路网功能（图1）。其中，通达性关联静态非直线系数（路径偏离度）与道路饱和度（负荷水平），反映出行便捷程度；拓扑弹性基于图论，通过拥堵弹性系数等测度结构韧性与抗扰动能力；服务性从设施覆盖指数（便捷性）与道路服务系数（通行效能）解析服务质量与出行舒适度，形成覆盖功能全链条的量化评估体系。各指标具体含义如表1所示。

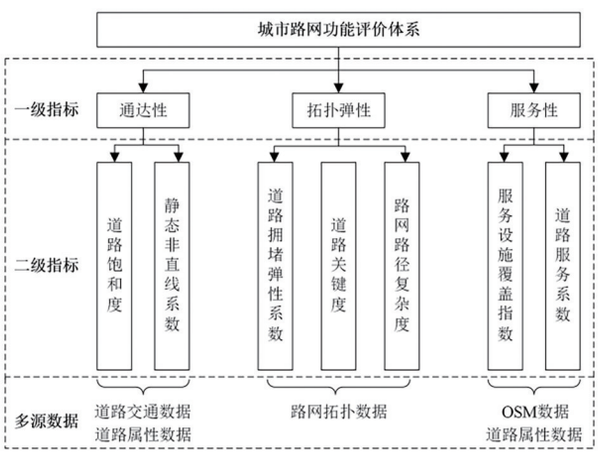


图1 多源数据支持下的城市路网功能评价体系

Fig. 1 Urban road network functional evaluation system based on multi-source data

表1 城市路网功能评价指标

Table 1 Urban road network function evaluation indicators

一级评价指标	二级评价指标	含义	量化公式	变量解释
通达性	道路饱和度（S）	道路实际交通流量与设计通行能力的比值，反映道路交通负荷状态：低值对应畅通通行条件，高值表征拥堵加剧[20]。	$S=\frac{V}{C}$	V为路段实际流量，当量小客车/h；C为路段通行能力，当量小客车/h。
	静态非直线系数（R_s）	实际路径长度与直线距离的比值，反映路径绕行程度：比值越趋近1，表明路网连通性、便捷性越优，出行效率越高[21]。	$R_s=\frac{L}{L_s}$	L为路段实际长度，km；L_s为其起点空间直线距离，km。
拓扑弹性	道路拥堵弹性系数（C_R）	介数中心性的变化波动，衡量道路拥堵水平相对波动程度，值越小表明拥堵分布均衡、动态调节能力越强；值越大则拥堵易集中，抗扰动能力越弱。	$B_i=\sum_{i\neq j\neq k}n_{jk}(i)$ $C_R=\frac{B-M}{M}$	$n_{jk}(i)$是指节点j和k之间通过节点i的距离最小的路径数；M是介数B的均值。
	道路关键度（C_S）	路网中与该条道路相连的道路数量，衡量道路在路网中的重要性：数值越高表明其连接多条高连通性道路，承担关键交通功能；反之影响有限。	$C_S=\frac{\sum_{i=1}^{n}\delta_i}{n}$	δ_i表示与节点i邻接的节点的度，n为相邻节点的总数。
	路网路径复杂度（R_{com}）	量化节点间路径因交叉口增多导致的结构复杂程度，交叉口与路径选项增多会降低导航可靠性并削弱路网抗干扰能力。	$R_{com}=\frac{\sum_{i\neq j}q_{ij}}{N(N-1)}$	q_{ij}为节点i和j之间的最少交叉口数量，个；N为研究区域内节点（交叉口）个数，个。
服务性	服务设施覆盖指数（G_s）	以道路服务区内设施数量量化，反映居民通过路网抵达公共服务设施的便捷程度。	$G_s=\frac{\sum_{i=1}^{m}J_i}{L}$	m为研究区域内所有服务设施种类数；J为每类设施统计数量，个/km^2。
	道路服务系数（Z）	道路服务区域与研究区域的比值，反映道路与周边设施及居民区空间匹配程度，道路覆盖越密集表明道路使用率、效益及区域可达性越高。	$Z=\frac{S_i}{S}$	S_i为研究区域内各道路服务区面积，km^2；S为研究区域总面积，km^2。

2　CRITIC-TOPSIS综合评价模型

CRITIC通过指标标准差（区分度）和相关系数（冲突性）计算信息量实现客观赋权[22]，兼顾区分度与信息冗余，较依赖离散程度的熵权法[23]、变异系数法[24]更科学合理，且比主成分分析法[25]贡献更明确、适用性更广，在路网功能评价中优势显著。但CRITIC无法直接排序，需结合TOPSIS（逼近理想解排序法，通过测度方案与正负理想解的相对距离实现多对象排序）实现评分排序[26]。二者融合了CRITIC权重客观性与TOPSIS排序决策性，较单一方法更完善，特别适用于路网功能优势区域的识别与等级划分。CRITIC-TOPSIS综合评价流程如图2所示。

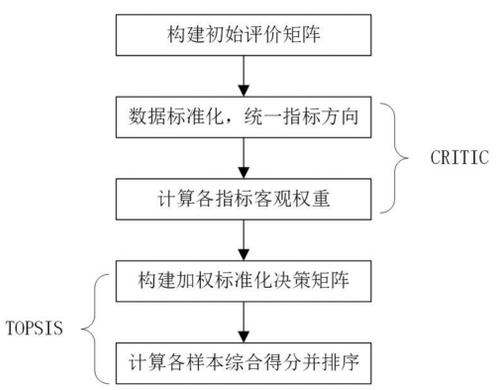


图2　CRITIC-TOPSIS综合评价流程

Fig. 2　CRITIC-TOPSIS comprehensive evaluation process

2.1　构建初始评价矩阵

由研究区域内n个样本（即评价对象，本文为研究区域内主要道路）、m个评价指标（本文m=7）构建初始评价矩阵$X_{(n\times m)}$。

2.2　数据标准化

对原始数据Min-Max极差标准化，正向指标（值越大越优）与负向指标（值越小越好）分别处理，消除量纲差异，统一映射至[0,1]区间，保障指标可比性与模型适用性。

正向指标：

$$x'_{ij}=\frac{x_{ij}-\min(X_j)}{\Delta j} \tag{1}$$

负向指标：

$$x'_{ij}=\frac{\max(X_j)-x_{ij}}{\Delta j} \tag{2}$$

式中：x'_{ij}为标准化数据矩阵元素；x_{ij}表示第i个样本第j个指标值；X_j表示指标j所有值组成的向量，$\max(X_j)$、$\min(X_j)$分别表示向量X_j的最大值、最小值；$\Delta j=\max(X_j)-\min(X_j)+\varepsilon$，表示指标$j$的极差，$\varepsilon=10^{-10}$，为极小正数（避免分母为零）。

2.3　计算各指标客观权重（CRITIC法）

基于标准化数据，计算各指标j的标准差与相关系数得到信息量I_j，归一化确定权重w_j。

$$\sigma_j=\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x'_{ij}-\bar{X}'_j)} \tag{3}$$

$$M=\begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mm} \end{bmatrix}, \tag{4}$$

$$r_{kl}=\frac{\operatorname{cov}(X'_k,X'_l)}{\sigma_k\sigma_l}\ (\text{对角线值为}0)$$

$$C_j=\sum_{k=1}^{m}(1-|r_{jk}|) \tag{5}$$

$$I_j=\sigma_j\cdot C_j \tag{6}$$

$$w_j=I_j\cdot\sum_{k=1}^{m}I_k \tag{7}$$

式中：σ_j为指标j的标准差；n为样本数量；x'_{ij}为标准化后的x_{ij}（第i个样本第j个指标值）；$\bar{X}'_j$为指标j的标准化均值；k为遍历所有指标的循环变量；M为指标相关系数矩阵；r_{kl}表示指标k与指标l的相关系数，等于协方差除以两指标标准差乘积；m为评价指标个数；$\operatorname{cov}(X'_k,X'_l)$为指标$k$与指标$l$的样本协方差；$C_j$为指标$j$的冲突性系数；$I_j$为指标$j$的信息量；$w_j$为CRITIC法计算的指标客观权重。

2.4　计算综合得分并排序（TOPSIS）

①构建加权标准化决策矩阵。

$$v_{ij}=x'_{ij}\cdot w_j \tag{8}$$

②确定正负理想解。

$$\begin{cases}\text{Positive ideal}\,(V^+)=[\max\limits_i(v_{ij})]\\ \text{Negative ideal}\,(V^-)=[\min\limits_i(v_{ij})]\end{cases} \tag{9}$$

③计算欧氏距离。

$$\begin{aligned}D_i^+&=\left\|v_i-V^+\right\|_2\\ D_i^-&=\left\|v_i-V^-\right\|_2\end{aligned} \tag{10}$$

④计算综合得分并排序。

$$C_i=\frac{D_i^-}{D_i^++D_i^-+\varepsilon} \tag{11}$$

式中：v_{ij}为加权标准化决策矩阵元素，标准化数据矩阵x'_{ij}按CRITIC权重w_j加权得到；V^+、V^-分别为正、负理想解；D_i^+、D_j^-分别表示样本i到正、负理想解的欧氏距离；$\varepsilon=10^{-10}$，为极小正数（避免分母为零）；C_i为样本i的综合得分，取值[0,1]，得分越高表示道路功能越优（排序越靠前）。

本文构建城市路网功能两级评价指标体系，逐层采用CRITIC-TOPSIS综合评价法计算层级内

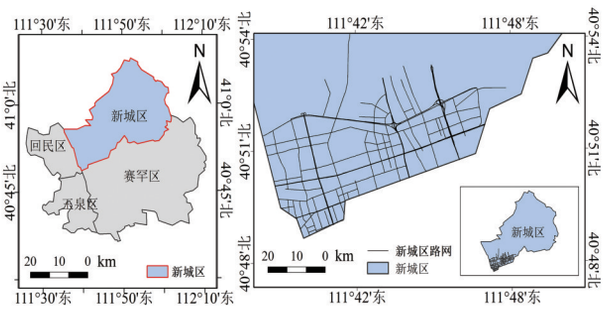
CRITIC权重与TOPSIS接近度得分，最终输出道路功能综合评分及排序结果。

3 实例应用与分析

3.1 研究区域与研究数据

呼和浩特市作为内蒙古自治区的首府，是国家重要的能源、化工、乳业基地和交通通信枢纽。全市下辖4个市辖区（回民区、玉泉区、新城区、赛罕区）、4个县（托克托县、和林格尔县、清水河县、武川县）、1个旗（土默特左旗）。本文选取4个市辖区之一——新城区进行研究（图3-a），新城区位于呼和浩特市中部偏东，下辖11个街道、1个镇，管理1个乡级单位。

本研究所使用的数据包括路网拓扑、道路交通、道路属性、开放街道地图（Open Street Map，简写为OSM）4类数据，数据来源见表2。基于呼和浩特市OSM道路数据筛选出新城区246条主要道路数据，针对原始路网多车道多向通行、区域详略不均及部分辅助道路复杂等问题，进行简化并补全缺失路段与路名信息，提升数据完整性。经ArcGIS合并、简化等处理，最终提取70条城区主要道路作为研究基础数据（图3-b）。



(a) 研究区域与范围 (b) 研究区域内主要道路分布

图3 研究区域与研究对象

Fig. 3 Study area and research objects

表2 研究数据及来源

Table 2 Research Data and Sources

数据类型	数据名称	数据来源	涉及评价指标
行政区划数据	行政区划	国家基础地理信息中心	用于数据筛选处理等
路网拓扑数据	路网拓扑图（对偶图）	根据研究区域现状路网布局，使用Python软件的Networkx库构建	道路拥堵弹性系数 道路关键度 路网路径复杂度
道路交通数据	道路通行能力、交通量等	交通调查（2025年1月），车头时距、高峰时段流量等数据	道路饱和度
道路属性数据	道路名称、等级、长度等	百度地图、OSM道路数据等	静态非直线系数 道路服务系数
OSM数据	POI数据、道路数据等	全球开源地图数据平台，本文所使用POI数据采集于2025年1月，格式为Shp矢量数据，坐标系为GCS_WGS_1984。	服务设施覆盖指数 道路服务系数

3.2 评价指标分析

基于道路饱和度、静态非直线系数等7个一级评价指标计算数据，连接新城区中心城区路网数据绘制各指标值空间分布的可视化图（图4）。图4显示，各量化指标在新城区中心路网的空间分布存在显著差异，揭示了新城区中心城区路网功能存在短板：承载能力不足、路径绕行突出、关键节点脆弱、服务覆盖失衡，核心矛盾表现为高峰拥堵常态化、路径效率待提升、核心道路抗风险能力弱及服务效能分化。①承载能力瓶颈：道路饱和度（S）反映交通供需匹配度，高峰时段成吉思汗大街等主干道S>1.0（服务水平F级），东西和南北向主干道严重拥堵，反映路网容量难以支撑高峰交通需求，存在结构性拥堵风险。②路径绕行现象显著：静态非直线系数（R_s）主要衡量道路绕行程度，R_s>1.3（橙红线）的主干道（如成吉思汗东街）因路径偏离理想直线导致通行效率下降（快速路因辅路设计可忽略）。③关键节点抗扰动能力弱：拥堵弹性系数（C_R）表征拥堵波动适应性，北二环、金海高架等核心道路因高介数具备强弹性，但一旦拥堵将引发系统性风险，需优先提升通行能力以保障稳定性。④路网功能关键性差异：道路关键度（C_S）识别核心通道，金海高架、呼伦贝尔北路因高关键度主导交通衔接，次关键道路（北二环、成吉思汗东街）亦支撑区域组织，需差异化维护其功能完整性。⑤路径复杂度失衡：路网路径复杂度（R_{com}）显示，中心城区主干道因路径简洁（交叉口少）导航友好，外围道路因绕行长、交叉口多复杂度显著偏高，影响出行体验。⑤服务覆盖不均衡：服务设施覆盖指数（G_s）表明，赛马场北路等道路因邻近学校、居住区需求集聚，设施密

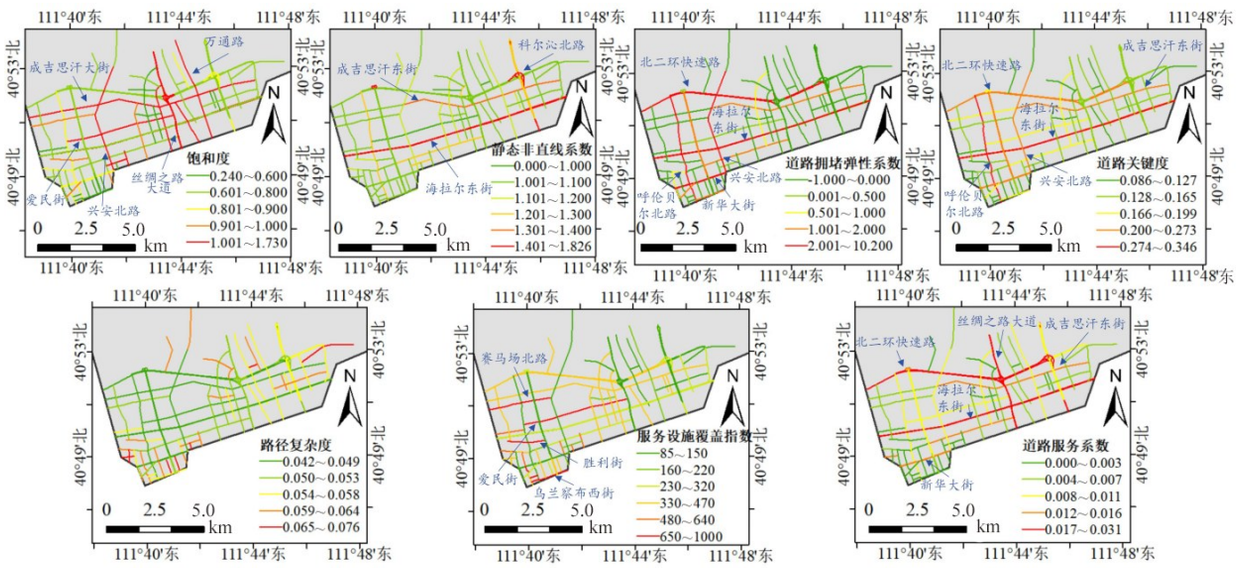


图 4　各评价指标值空间分布

Fig. 4　Spatial distribution of values for each evaluation indicator

度超 600；服务系数（Z）则显示，北二环等骨干道路（服务半径 50 m）覆盖效能突出（红/橙线），反映服务资源与人口、功能空间的匹配差异。

基于新城区 POI 数据分类统计（图 5），休闲娱乐类与生活服务类设施占比较高，商务办公类设施较少，表明研究区域道路主要承担居民日常生活性活动支撑功能。医食住行类设施空间分布（图 6）呈现显著集聚特征：集中分布于新城区西南方位，沿旧城中心及道路密集区向外梯度集聚，形成“核心-边缘”结构与交通导向布局，反映设施空间配置受人口密度、交通可达性及城市功能结构综合影响。

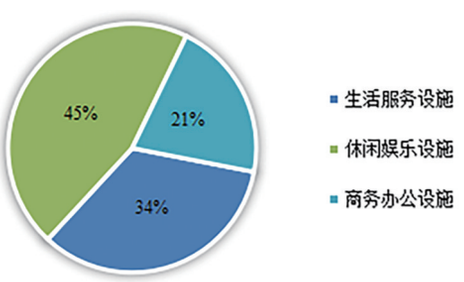


图 5　新城区 POI 数据分类统计

Fig. 5　Classification and statistics of POI data in the XinCheng District

图 7-a 通过箱线图与小提琴图系统呈现 7 项指标的数据分布特征。①静态非直线系数均值略高于中位数（右偏），反映部分路段绕行突出，路网布局效率需进一步提升；②道路关键度中位数与均值近似，表明各道路功能重要性分布均衡，分工较合理；③饱和度箱体宽、须线长，离散性高，说明高峰负荷差异大，局部路段承载超限，路网承压不均；④静态非直线系数箱体窄，数据集中，多数路段绕行可控，布局效率整体稳健；⑤道路拥堵弹性中低值聚集，反映多数路段抗扰动弱，路网应对波动能力不足；⑥设施可达性中低值主导（左偏），多数道路周边服务处基础水平，出行便利性需进一步优化。

斯皮尔曼相关系数法可以有效捕捉指标单调依赖关系，为路网功能耦合机制解析提供量化支撑[27]。图 7-b 揭示指标间线性关联特征：道路关键度与道路拥堵弹性、路网路径复杂性呈显著正相关（斯皮尔曼系数>0.8），体现功能耦合性，且同属拓扑弹性一级指标。由此，CRITIC-TOPSIS 法将二级指标聚类为三级框架具现实意义，可规避高线性关联对评价真实性的干扰。同时，线性关联分析为路网优化提供指导：强关联指标可优先协同优化，弱关联则结合场景单维度解析。

3.3　CRITIC-TOPSIS 综合评价

基于上述 7 项量化指标，使用 CRITIC-TOPSIS 综合评价模型进行分级评价。

3.3.1　构建初始评价矩阵

使用 7 个评价指标原始数据构建初始评价矩阵（表 3）。

3.3.2　数据标准化处理

明确各指标属性（正向或负向）（表 4），并根据式（1）—（2）对原始数据进行 Min-Max 极差标准化处理。

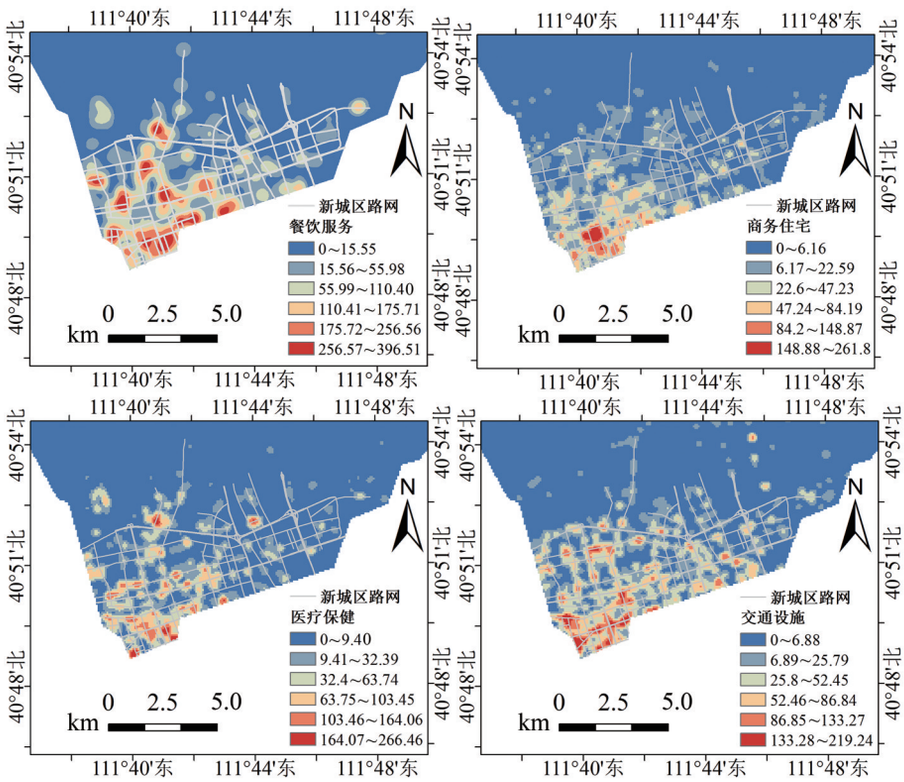
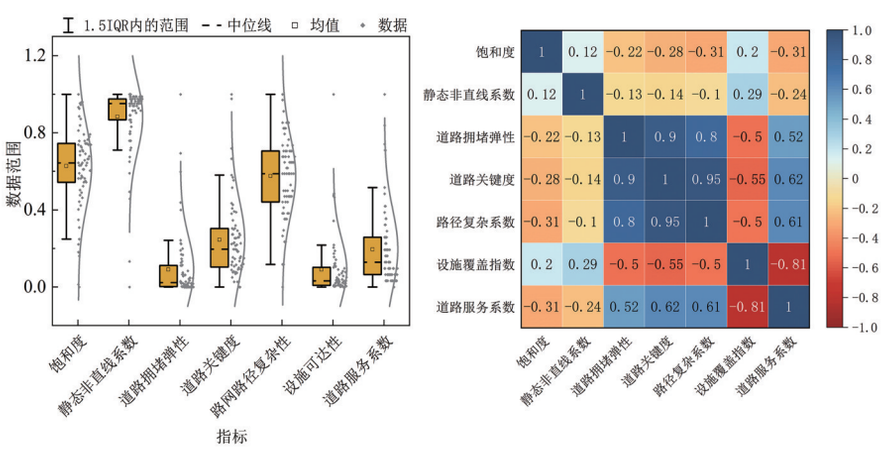


图6 新城区设施分布(医食住行)

Fig. 6 Distribution of facilities (medical care, food, housing, and transportation) in the urban area of the XinCheng District



(a) 7个一级指标值分布 (b) 7个一级指标相关系数热力图

图7 指标值分布与指标间相关系数

Fig. 7 Distribution of indicator values and inter-indicator correlation coefficients

表3 原始数据

Table 3 Original data

编号	道路饱和度	静态非直线系数	道路拥堵弹性系数	道路关键度	路网路径复杂性	设施可达性	道路服务系数
1	0.770	1.040	3.910	0.259	0.047	32	0.023
2	0.790	1.200	1.130	0.185	0.051	55	0.012
3	0.630	1.050	−0.670	0.144	0.056	29	0.008
…	…	…	…	…	…	…	…
70	0.830	1.020	−1.000	0.110	0.063	1 090	0.003

表 4　评价指标属性

Table 4　Attributes of evaluation indicators

指标名称	指标属性
道路饱和度	负向指标
静态非直线系数	负向指标
道路拥堵弹性系数	正向指标
道路关键度	正向指标
路网路径复杂度	负向指标
服务设施覆盖指数	正向指标
道路服务系数	正向指标

3.3.3　CRITIC 法计算指标权重

利用公式(3)—(7)得到各级指标权重(图 8 右下)。

图 8 显示，新城区路网评价各一级指标(通达性、拓扑弹性、服务性)的空间分布规律，均呈现出“核心-边缘”梯度差异：通达性高值(绿色线)集中于中部主干道及衔接区域，边缘支路以低值(红色线)为主；拓扑弹性高值覆盖区域中部关键交叉口与主干道，外围支路抗干扰能力弱；服务性高值主要聚集于中部主干道与设施密集区，边缘支路服务效能低。指标权重：通达性(0.41)>拓扑弹性(0.33)>服务性(0.26)，说明通达性对路网功能综合评价的影响最为显著，是当前研究区域交通系统优化的核心控制维度，需优先重点调整改善。

3.3.4　TOPSIS 法计算综合得分并排序

根据公式(8)—(11)计算各指标数据距离正负理想解的相对贴近度，得到综合得分及排名(图 9，表 5)。

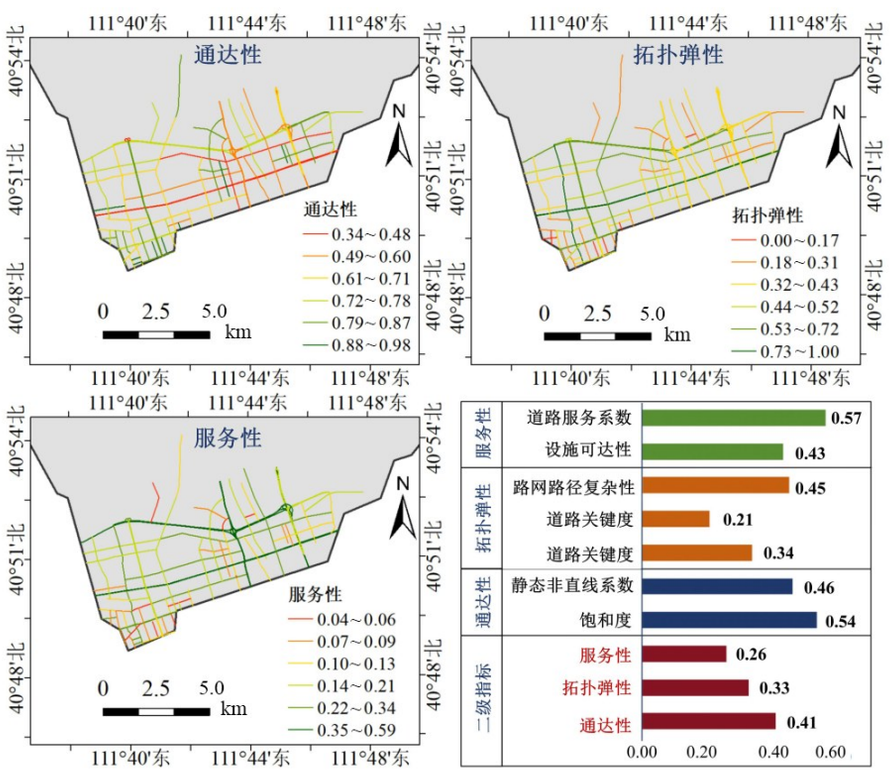


图 8　一级指标空间分布、指标权重分配

Fig. 8　Spatial distribution and weight allocation of first-level indicators

综合得分较低的道路(如东影南路、腾飞北路等)需基于各指标得分差异，重点优化得分偏低的关键指标，精准施策，从而以更低的成本与资源投入有效提升道路服务水平。

3.3.5　评价方法适用性与稳定性分析

EW(熵权法)与 CRITIC 均属于多指标多对象的客观赋权方法，分别采用 EW-TOPSIS 与 CRITIC-TOPSIS 对各级指标进行赋权，其权重计算结果存在差异(表 6)。

EW_TOPSIS 中道路拥堵弹性与设施可达性指标权重显著偏高，反映其数据离散度较大；而 CRITIC_TOPSIS 各指标权重分布相对均衡。结合 7 项指标相关性(图 7-b)，道路关键度与道路拥堵弹性、路网路径复杂性存在正相关关系，易导致 EW_TOPSIS 法因信息重叠高估该维度贡献，引入评价偏差。因此 CRITIC-TOPSIS 更具适用性。

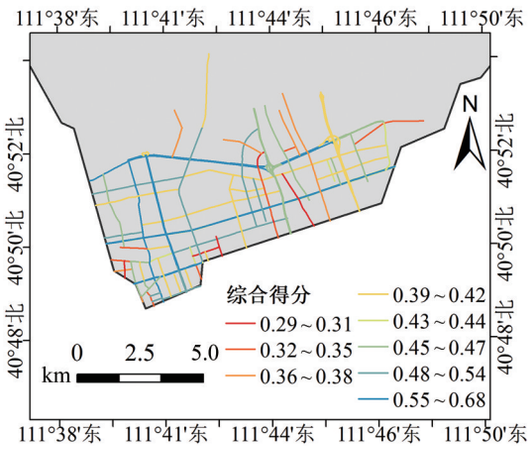


图9 新城区道路综合得分

Fig. 9 Comprehensive scores for roads in the XinCheng District

为验证CRITIC-TOPSIS模型的敏感性与稳定性，进行权重扰动测试，通过对CRITIC确定的各指标权重施加δ=±5%的随机扰动（迭代次数n=100），每次迭代中，为每个权重分量w_i独立生成[0.95，1.05]区间内的随机扰动因子ε_i，将原始权重与扰动因子相乘后重新归一化，确保权重总和保持为1，每组新权重均代入TOPSIS得到排序结果。采用斯皮尔曼相关系数衡量每次扰动排序与原始排序的一致性，计算其均值与标准差作为模型的稳定性指标。测试结果显示，斯皮尔曼相关系数均值为0.997，标准差为0.001（图10），表明权重微小变化未导致排名显著改变，验证了CRITIC-TOPSIS模型具有高度的排序稳定性和鲁棒性。

表5 综合得分排名（前10位、后10位）

Table 5 Ranking of comprehensive scores for roads in the XinCheng District (Top 10 and Bottom 10)

道路名称	综合得分	排名	道路名称	综合得分	排名
呼伦贝尔北路	0.675	1	科源街	0.341	61
北二环快速路	0.659	2	东护城河南街	0.335	62
新华大街	0.646	3	丁香北路	0.333	63
金海高架桥	0.600	4	博爱南巷	0.332	64
哲里木路	0.580	5	人民路	0.323	65
邮校南巷	0.535	6	东影南路	0.311	66
丰州北路	0.526	7	光华街	0.300	67
兴安北路	0.515	8	腾飞北路	0.299	68
邮校北巷	0.512	9	文化宫路	0.298	69
乌兰察布西街	0.508	10	丁香路	0.292	70

表6 不同评价方法权重计算结果

Table 6 Weight calculation results of different evaluation methods

评价指标	CRITIC_TOPSIS权重	EW_TOPSIS权重
道路饱和度	0.220	0.025
静态非直线系数	0.190	0.011
道路拥堵弹性系数	0.112	0.368
道路关键度	0.069	0.102
路网路径复杂度	0.149	0.026
服务设施覆盖指数	0.113	0.314
道路服务系数	0.147	0.154

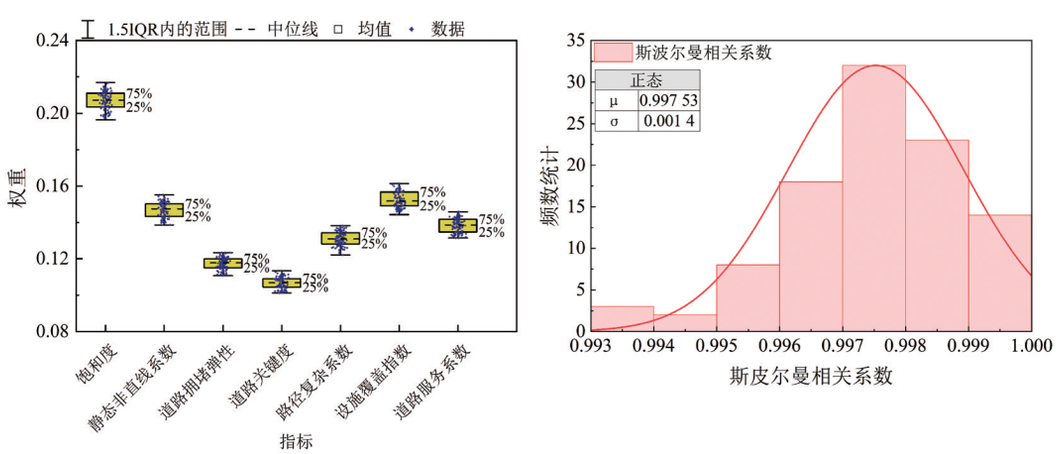


图10 模型稳定性检验结果（斯皮尔曼相关系数法）

Fig. 10 Model stability test results (Spearman´s Correlation Coefficient)

4 讨论

针对城市路网功能评价的多维度需求，本研究融合路网拓扑、交通及OSM数据，构建了涵盖服务性、拓扑弹性与通达性的三维7项指标体系，并采用CRITIC-TOPSIS方法实现量化评估。以呼和浩特市新城区为实证对象，通过拓扑网络建模、指标可视化及斯皮尔曼相关系数检验，验证了该方法在路段

评分排序与稳定性评估中的有效性，为路网功能的系统性分析提供了方法支撑。研究发现，新城区路网呈现“核心集聚、边缘分散”的空间性能格局，功能布局存在显著结构性矛盾：中心区道路因服务设施密集、饱和度高且拓扑连通性强，承担主要网络连接与通行功能；外围集散道路功能弱化、利用率偏低。此类失衡易引发主干路超负荷、拥堵集聚及通行效率衰减等问题。优化需统筹核心区功能强化与边缘区短板补足，平衡指标提升，遵循优先级，系统性改善路网功能，具体可从以下几方面进行系统性优化：

①路网功能分级优化。对道路关键度低的区域，可规划新支路连接主干道，提升网络连通性；对路径复杂性高的路段，简化交叉口布局，减少绕行距离。

②主干路加强交通拥堵治理。对于饱和度>1.0的路段，建议采用自适应信号控制系统，动态调整路灯时长；对持续性拥堵路段，通过拆除绿化带或压缩人行道增加车道；在早晚高峰流量差异显著的路段，设置可变车道提升通行能力。

③次干路等集散道路注重设施配套提升。设施可达性低的路段，在 50 m 缓冲区布局便利店、社区医院等；对服务系数低且周边为商业区的路段，推动“商改住”或“住改商”混合开发。

论文研究数据主要基于特定时间段的数据，而 OSM 数据、交通流量数据等均属于时空数据范畴，在未来研究中会考虑数据的时间维度，构建城市路网功能动态评价模型，增强评估时效性。城市路网功能评价不仅涉及交通效率，还需要平衡环境效益与社会公平，未来可探索兼顾环境与社会效益的多目标优化模型，结合机器学习方法，通过数据驱动优化指标权重，提升评价体系的客观性，精准刻画路网功能复杂性。

5　结论

本文聚焦城市路网功能评价指标与方法，梳理国内外文献发现：当前研究存在数据单一、评价方法不完善，且对评价方法适用性与稳定性缺乏系统分析等问题。为此，研究提出一种多源数据支持下的城市路网功能多维度评价模型，主要有以下贡献：

①构建了基于多源数据的城市路网功能多维度量化评估体系。融合路网拓扑、道路交通及 OSM 数据等多源数据，构建包含服务性、拓扑弹性和通达性指标 3 项一级指标，道路饱和度、设施可达性、道路拥堵弹性等 7 项二级评价指标的城市路网功能评价体系。运用 CRITIC 赋权法确定各维度对路网功能的影响程度，通达性>拓扑弹性>服务性。

②验证了 CRITIC-TOPSIS 综合评价模型的有效性和稳定性。以呼和浩特市新城区路网为实证对象，构建实际路网拓扑模型量化评价指标并进行微观可视化分析，基于 CRITIC-TOPSIS 综合评价模型开展路段综合评分与排序，结合斯皮尔曼相关系数检验评价模型的适用性与稳定性。结果表明，该方法具有显著的排序稳定性，能有效识别路段性能差异，验证了其应用于路网综合评价的有效性。

本研究限于单区域数据验证，模型普适性与时效性待提升；未来需构建动态评价模型，探索多目标优化与机器学习权重优化，推动城市路网功能评价向精细、客观、多维发展。

参考文献：

[1] 陆百川，王　鑫，杨杰毅. 考虑结构差异的城市区域路网交通状态评价[J]. 重庆理工大学学报(自然科学)，2022，36(4)：50-58.

[2] 李　阳，张立恒，侯　旭，等. 城区道路网空间结构布局合理性的模糊综合评价[J]. 公路工程，2019，44(3)：102-106.

[3] 李建伟，孙圣举，赵　丹. 基于路网密度的城市功能空间分布评价：以西安市为例[J]. 开发研究，2023(6)：97-105.

[4] 陈思妤，李　洁，胡演诚，等. 面向常发性拥堵的城市局部路网韧性评价与分析[J]. 交通信息与安全，2022，40(4)：138-147.

[5] MA F，AO Y Y，WANG X J，et al. Assessing and enhancing urban road network resilience under rainstorm waterlogging disasters[J]. Transportation Research Part D：Transport and Environment，2023，123：103928.

[6] JIN Z Y，WANG Y F，MENG X Y，et al. Identifying critical roads in urban road networks considering congestion propagation[J]. Physica A：Statistical Mechanics and Its Applications，2025，675：130795.

[7] 刘嘉航，施　歌. 城市路网连通性分析与评价：以武汉市住宅区为例[J]. 现代测绘，2024，47(4)：17-21.

[8] ESFAHANI Z K，AKBARZADEH M，CORMAN F. On the importance of adopting a multi-centrality approach to detecting the vital nodes of urban road networks[J]. Sustainability Analytics and Modeling，2024，4：100031.

[9] 孙晓峰,吴建平. 基于浮动车数据采集技术的城市交通网络功能评价方法研究[J]. 现代交通技术,2005,2(6):55-58.

[10] HE K,PREGNOLATO M,CARHART N,et al. Functionality assessment of road network combining flood roadworthiness and graph topology[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2024, 135:104354.

[11] 吴 中,吕文轩,叶奕辰. 二流理论的解析与城市路网动态评价方法[J]. 华东交通大学学报,2019,36(4):81-87.

[12] 林鹏飞,翁剑成,尹宝才,等. 基于网约车轨迹数据的城市路网宏观运行质量评价方法[J]. 交通信息与安全,2019,37(6):70-78.

[13] HUANG Q W,CUI H F,XIANG L W. Classification of urban road functional structure by integrating physical and behavioral features[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2025,220:753-769.

[14] 徐锦强,黄海南,李 林,等. 基于网络拓扑及交通特性的城市路网弹性评价[J]. 华东交通大学学报,2020,37(3):52-59.

[15] SEKIHARA T,KAKIMOTO Y,NAKAMURA H,et al. A method for evaluating the functional hierarchy of road networks[J]. Transport Policy,2024,155:178-188.

[16] SHIM J,YEO J. An evaluation method of road link functionality using individual trajectory data and weighted network analysis[J]. Journal of Advanced Transportation,2022,2022:4960882.

[17] 宋海权,郭 进,刘 刚,等. 基于复杂网络的城市道路重要度评价及路网自动综合方法[J]. 测绘工程,2017,26(1):8-12.

[18] LIN X H,YANG T,LAW S. From points to patterns: An explorative POI network study on urban functional distribution[J]. Computers, Environment and Urban Systems,2025,117:102246.

[19] QIAN D, WANG Y, ZHANG X, et al. Rationality evaluation of urban road network plan based on the EW-TOPSIS method [C]//IEEE Computer Society. 2021 IEEE International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA). Beihai: IEEE, 2021: 840-844.

[20] 余一村. 过饱和交通流情况下道路饱和度分析方法[J]. 科学技术与工程,2017,17(30):331-335.

[21] 朱顺应,刁成良,肖文彬,等. 城市景点的公共交通出行便捷性指数:基于武汉市的调查研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2021,21(1):169-175.

[22] 张 航,王星月,吕能超. 基于CRITIC组合赋权-正态云的山岭特长隧道洞口边坡失稳风险评价[J]. 公路交通科技,2025,42(7):170-182.

[23] 闫晟煜,赵佳琪,刘 杨,等. 基于熵权-TOPSIS的省域道路货运企业运营安全评估方法[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2025,44(8):116-122.

[24] 樊东方,罗 凯,靳志宏,等. 基于变异系数法的社会物流成本聚合指标构建[J]. 公路交通科技,2023,40(1):245-251.

[25] 乔红雍,袁 涛,李 擘. 太原市行道树安全风险评估[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2023,44(3):26-33.

[26] 冯芝梅,郭明洋,贺玉龙,等. 基于组合赋权-改进TOPSIS法的城市慢行三网融合评价方法[J]. 交通信息与安全,2023,41(4):163-172.

[27] 李 元,刘雨田,冯立伟,等. 基于斯皮尔曼相关分析的非线性动态过程特征提取与故障检测[J]. 山东科技大学学报(自然科学版),2023,42(2):98-107.