引文格式：张唯,吕达,曹维. 面向2035总规实施评估的上海市道路指标时空格局研究[J]. 地理空间信息, 2025, 23(11): 54-59. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2025.11.011

面向2035总规实施评估的上海市道路指标时空格局研究

张　唯[1,2]，吕　达[1,2]，曹　维[1,2]
（1. 上海市测绘院，上海 200063；2. 自然资源部超大城市自然资源时空大数据分析应用重点实验室，上海 200063）

摘　要：参考上海市2035总规，建立了上海市交通指标体系；并基于新型测绘下的高分辨率、高精度基础地理信息数据库，提出了交通系统时空格局的分析框架。在实证研究中，以道路指标为例，在街镇、区和新城尺度下，计算和分析了上海市道路2015—2022年的时空格局。结果表明，上海市道路呈同心圆结构，以中心城区为核心，按照环线顺序向外递减；2015—2022年上海市道路密度稳步提升；中央功能区已完成2035年道路网规划目标；五大新城道路建设水平整体领先于全市平均水平和周围街镇，但尚未形成空间规模，中心城区仍为上海市道路建设唯一的聚集中心。研究结果可服务于上海市城市体检和2035总规实施评估，为基于基础地理信息数据库的城市精细监测提供思路和框架。

关键词：2035总规；城市交通指标体系；时空格局；聚集模式
中图分类号：TU982　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）11-0054-06

Research on Spatio-temporal Patterns of Road Indicators for the Implementation Evaluation of 2035 Overall Planning in Shanghai City

ZHANG Wei[1,2], LYU Da[1,2], CAO Wei[1,2]
(1. Shanghai Surveying and Mapping Institute, Shanghai 200063, China;
2. Key Laboratory of Spatio-temporal Big Data Analysis and Application of Natural Resources in Megacities, Shanghai 200063, China)

Abstract: We established a traffic indicator system for Shanghai City with reference to 2035 Overall Planning in Shanghai City, and proposed an analysis framework for the spatio-temporal pattern of traffic system based on the high-resolution and high-precision basic geographical information databases under the new surveying and mapping. In the empirical study, taking the road indicators for example, we calculated and analyzed the spatio-temporal pattern of Shanghai's road infrastructure from 2015 to 2022 under multiple spatial scales, such as streets, towns, districts. The result shows that the spatial pattern of road infrastructure in Shanghai has a concentric circle structure, with the central city as the core and decreasing outward according to the order of ring line, and the density of roads, including the central city and new cities, has steadily increased from 2015 to 2022. The road construction level of the five new cities is ahead of the urban average level and the surrounding streets and towns, but has not yet formed a spatial scale, and the central city is still the only aggregation center for road construction in Shanghai City. The research results can be used to serve Shanghai's urban physical examination and the implementation evaluation of 2035 Overall Planning in Shanghai City, and provide ideas and frameworks for urban fine monitoring based on basic geographical information databases.

Key words: 2035 Overall Planning in Shanghai City, urban traffic indicator system, spatio-temporal pattern, cluster mode

城市交通系统是承载人类活动的基本构件之一[1]。在快速城市化进程中产生了大量城市病问题，城市规模的无序扩张和人口总量的急剧上升，使得城市交通供需矛盾日益加剧[2]。上海市作为直辖市和长江三角洲城市群的核心城市，近30年来常住人口显著增长、经济活动持续繁荣，从而引发了一系列交通问题[3]。此外，随着上海市第二产业向外迁移和推进新城建设[4]，人口从中心城区外溢并表现出多中心化发展趋势[5]，其引发的职住失衡加剧了交通压力[6]。为引领上海城市创新转型、促进区域协调发展、优化空间资源配置，上海市政府于2017年出台了《上海市城市总体规划（2017—2035年）》（以下简称2035总规）[7]，提出了发展城市交通和打造国际枢纽的整体规划，并对包括公共交通、道路交通和货运交通在内的城市交通体系空间布局和功能进行了具体规划。同时，为促进城市高质量发展和提高2035总规实施的有效性，上海市政府提出按照“一年一体检、五年一评估”的城市体检评估机制对城市交通状况进行监测和评估[8]，具体包括整体交通布局的评估、各区发展状况的特点和问题。因此，对上海市的交通建设状况进

项目来源：上海市2022年度“科技创新行动计划”高新技术领域资助项目（22511102800）。
第一作者简介：张唯（1985—），硕士研究生，高级工程师，主要从事城市地理信息管理与应用工作，E-mail：zhangweiwd2003@163.com。

行监测和评估对于促进上海市高质量发展具有重要的理论和现实意义。

现有研究多从不同尺度对城市或城市群的交通格局进行评估分析，城市群等大尺度研究数据来源于年鉴和遥感影像提取[2,9-10]的统计数据等，空间颗粒度不足；城市等小尺度研究多采取OSM矢量数据[11]、问卷调查[6]等，但由社区维护的OSM数据精度有所不足。若将上述数据应用于城市交通系统监测，则无法满足2035总规实施评估和城市精细化管理的需求[12]。随着新型基础测绘的提出和完善，现有基础测绘数据体系在数据来源、更新机制和成果组织形式等方面取得显著突破，尤其是数据库包含了海量高分辨率、高精度的城市测绘地理信息数据，可有效提升2035总规实施评估和城市体检工作的精细度和全面性。因此，本文以2035总规为指导，建立城市交通基础设施评估指标体系，利用基础测绘地理信息数据对道路设施的空间格局和发展趋势进行分析，以服务于上海市城市体检和2035总体规划实施评估工作。

1　研究方法

基于“数据—模型—应用”的逻辑框架，本文系统分析和挖掘了上海市道路交通系统的时空格局。在数据方面，本文采用车载激光点云扫描技术采集涵盖高精度全要素的道路、停车场（库）等信息[13-15]。处理数据分为道路地面模型、交通标线、交通设施和停车位等类别，最终成果包括语义化全要素实景模型和高精地图[16]。本文采用高精地图的道路中心线矢量数据计算道路长度和道路网密度，数据时间为2015—2022年。人口数据为2020年第七次人口普查的常住人口数量，用于计算常住人口密度。在模型方面，本文首先构建以2035总规为指导的城市交通指标体系，涵盖道路网密度等核心指标；再利用时序和空间自相关等模型分析指标的时空特征，计算交通系统动态变化趋势以及与其他影响因素的相互关系。在应用方面，基于模型计算结果，本文从3个角度开展应用分析：①规划目标评估，对比交通建设现状与2035总规目标，明确资源分配与建设重点区域；②时空格局分析，从多尺度解析交通建设的特征与趋势；③协调发展建议，结合交通与人口的耦合协调度评估，识别区域发展短板，为未来规划提供科学依据与优化路径。

1.1　交通指标体系构建

本文以2035总规的实施监测指标体系为指标主要来源，并参考了自然资源部《国土空间规划城市体检评估体系》、住房和城乡建设部城市体检评估体系、上海市住建委“69+N+X”城市体检指标体系；遵循主导性、差异性、层次性和可操作性等原则[17-18]，在梳理可用测绘地理信息资源的基础上，建立了包含轨道、道路、铁路、公共交通四大交通类型的指标体系（图1）。

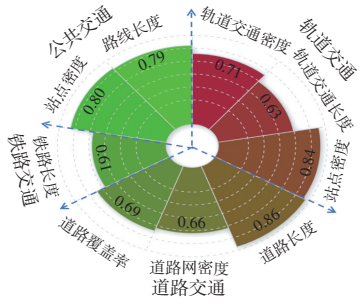


图1　城市交通基础设施监测指标体系

1.2　时间发展趋势分析

以城市变化驱动的新型基础测绘具有完善的更新机制，能快速发现和响应城市变化，且保证了数据的现势性。本文提取数据库的不同时间切片形成完整的时间序列，实现多时间尺度的变化挖掘。

1.3　空间自相关和聚类分析

莫兰指数用于度量变量的空间自相关性和分析空间聚集趋势[19]，在本文中用于分析道路指标的空间自相关性。对于局部莫兰指数（I_i），本文在0.05显著水平下基于边和拐角的空间邻接性进行聚类，将街镇指标高低和相邻街镇指标高低分为低—高、高—高、高—低、低—低4种情况。全局莫兰指数（I）和I_i的计算公式为：

$$I=\frac{N\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}w_{ij}\left(x_i-\bar{x}\right)\left(x_j-\bar{x}\right)}{W\sum_{i=1}^{N}\left(x_i-\bar{x}\right)^2} \tag{1}$$

$$I_i=\frac{x_i-\bar{x}}{m_2}\sum_{j=1}^{N}w_{ij}\left(x_j-\bar{x}\right) \tag{2}$$

$$m_2=\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(x_i-\bar{x}\right)^2}{N} \tag{3}$$

1.4　耦合协调模型

耦合协调模型可量化分析多个系统之间的协调发展水平[20]，在本文中用于分析道路建设水平和人口的协调发展程度。模型包括耦合度和协调度两个指标，耦合度反映系统间互相影响作用的程度，但无法体现是良性促进还是反向制约；协调度可体现良性耦合的程度以及系统间协调发展的状态。对于道路交通和人口两个系统，耦合度（C）和协调度（D）的计算公式为：

$$C=\frac{2\sqrt{U_1U_2}}{U_1+U_2} \tag{4}$$

$$T=a\times U_1+b\times U_2 \tag{5}$$

$$D=\sqrt{C\times T} \tag{6}$$

式中，U_1、U_2分别为标准化后的道路密度和常住人口密度；T为综合协调指数；a、b为系统权重，本文中均设置为1/2。

2　研究结果与分析

以道路密度指标为例，本文计算了300 m格网、环线、新城等多个尺度的统计结果，以分析挖掘上海市道路建设的空间格局和发展趋势。路网密度不仅直接影响城市通达性，而且关系到土地开发强度、空间利用效率以及城市功能的集聚与分布。高密度、合理布局的道路网络有助于塑造紧凑型城市形态，优化城市空间结构，推动城市功能区之间的高效联动。此外，作为实现“更富魅力的幸福人文之城”目标的重要指标，全路网密度影响人居环境质量和居民幸福感。提高路网密度有助于形成便捷、多样的出行网络，缩短居民通勤时间，增强日常出行的便利性与舒适度；还可促进公共服务均等化，提升公共资源可达性，满足居民对高品质生活的需求。同时，2035总规对于中央活动区、主城区和五大新城的规划目标存在差异，中央活动区的目标（10）高于主城区和新城（8），体现了差异化发展策略。中央活动区集中了金融、行政、商业等大量高密度活动场所，人口密集且流动频繁，对交通需求更高；郊区并未设置建设目标，由于主要承担低密度居住和农业生产等功能，交通需求较分散。

2.1　现状与规划目标对比分析

道路密度是指区域内道路总长度与区域总面积的比值。经统计，2023年上海市的道路路网总长度为26 830 km。我国城市早期形态以中心化结构为主[21]，20世纪90年代以来上海市出现郊区化趋势，城市形态随着交通建设和产业外迁向郊区扩展[4,22]。由环线划分的统计结果可知，2023年上海市道路建设空间格局是以中心城区为核心的同心圆结构，从内环到郊环外道路密度逐渐降低。道路交通作为连接中心城区和郊区新城、新市镇的重要桥梁，从中心区至宝山月浦街道、嘉定、青浦、松江和奉贤4个新城方向的道路建设水平较高（图2）。

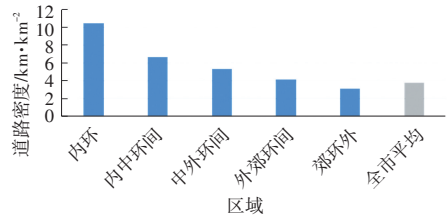


图2　上海市道路密度统计结果

上海市各行政区道路密度和道路覆盖率排序见图3，整体上中心城区的道路密度高于郊区，北部行政区高于南部；黄浦区的道路密度显著高于其他区域，中心城区的7个行政区为道路密度的前七名。道路覆盖率是指道路路面总面积与区域总面积的比值，其结果与道路密度存在差异，如虹口区的道路密度更高，而静安区的道路覆盖率更高，这是由于道路密度只统计了道路长度，而道路覆盖率综合考虑了道路长度和宽度，说明静安区的道路整体宽于虹口区。

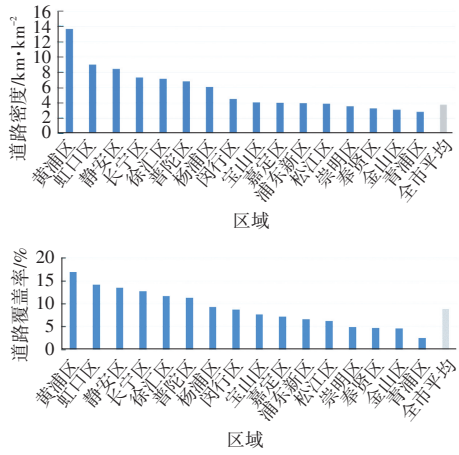


图3　上海市各行政区道路密度和道路覆盖率统计结果

2035总规明确提出了2035年道路网密度指标的建设目标。为评估上海市道路交通建设现状与规划目标之间的差距，为合理规划资源配置提供数据支撑和决策依据，本文计算了不同区域道路指标的完成进度。中央活动区的目标值为10，主城区和五大新城的目标值为8，中央活动区、主城区、嘉定新城、青浦新城、临港新城、松江新城、奉贤新城的现值分别为10.66、5.63、4.57、4.63、3.54、4.39、5.25。中央活动区作为城市主中心和金融、商务等功能核心区，道路交通建设已提前达成2035年规划目标。虽然主城区和五大新城的建设目标相同，但上海市作为历史上的单中心城市，主城区承担了主要的人口集聚和城市功能，其巨大的交通需求推动道路交通建设，目标已完成70%，明显快于五大新城。新城是上海市用于疏解中心城区过密人口的重要规划，在2035总规和“十四五”规划中强调将五大新城打造成区别于“半卫星

城”、交通便利的综合性节点城市。五大新城中，奉贤新城的道路密度最高，与其面积最小、城区占比较大存在关联；其次为嘉定和青浦，最低为临港。临港新城的道路密度低于全市平均水平（3.81）。五大新城中心街道形成了道路密度的局部高值，说明新城的道路基础设施建设取得了一定进展。

为更精细地分析规划区域的目标完成进度，本文采用300 m格网展示了不同区域的完成情况（图4），其中红色和绿色分别代表尚未完成和已完成的规划目标。中央活动区中提前且超额完成规划目标的区域主要集中于黄浦区和静安区，而主城区外圈与规划目标尚有一定差距。五大新城的空间分布趋势类似，新城中心（如嘉定的远香湖CAZ）和主干道周边已完成规划目标，而新城外围与目标仍有较大差距，尤其是临港新城东侧沿海区域，道路布局以主干道为主，但主干道之间缺乏连通性。

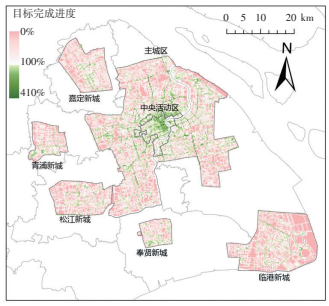
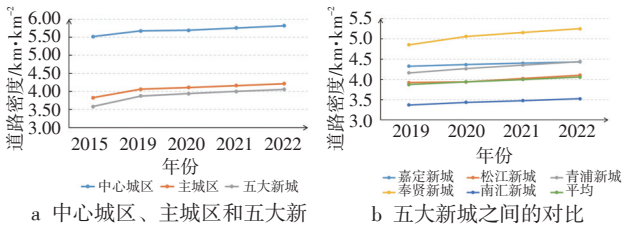


图4　上海市五大新城道路密度

审图号：GS(2019)3333

2.2　道路密度时序变化

从中心城区、主城和新城的差异角度分析（图5），2015—2022年上述区域的道路密度均呈稳步增长趋势；2015年道路密度排序为中心城区>主城区>五大新城，但增速则相反，即五大新城>主城区>中心城区（年增速分别为0.07、0.06和0.04），反映了上海市从市中心到远郊的交通建设水平虽逐渐下降，但建设速度逐渐增加的分布特征；2019年之后，不同区域的增速排序虽然保持不变，但差距逐渐缩小（五大新城、主城区、中心城区的年增速分别为0.05、0.04和0.04）。从五大新城内部差异角度分析，2019—2022年奉贤新城的道路建设水平和增速始终居于首位；2019年青浦新城的道路密度低于嘉定新城，但其道路建设速度更快，道路密度于2022年与嘉定新城持平；松江新城始终和五大新城的平均水平接近；南汇新城作为规划最晚的新城，其交通建设水平相对落后，存在较大提升空间。



a 中心城区、主城区和五大新城整体对比　　b 五大新城之间的对比

图5　上海市道路密度时间序列

2.3　空间聚集分析

经计算，街镇尺度道路密度的I为0.94，说明在99%的显著水平下道路密度表现出空间正相关性和聚集趋势，因此本文对街镇尺度的空间相关性和局部聚集情况进行具体分析。由I_i的聚类结果可知（图6），道路密度的空间分布存在明显的高—高、低—低聚集现象，高值聚集区域位于中心城区，说明中心城区发展历史长、交通设施建设完善；低值聚集区域主要位于北部的崇明区和南部的金山、松江、浦东、青浦部分区域，上述区域位于郊区农村，存留大量耕地和永久保留耕地[17]，包括交通在内的城市基础设施建设存在不足。值得注意的是，嘉定、松江、奉贤、南汇4个新城的交通建设水平虽然表现出局部高值，但尚未形成聚集中心，高道路密度未形成空间规模。然而，嘉定和松江新城已经突破了低值聚集区域的包围趋势，嘉定新城作为沪宁廊道的重要节点，其汽车产业经过20余年的发展，已形成汽车全产业链布局，通过产城融合提高了人口吸引力和基础设施建设水平；松江新城作为上海开埠前的中心，发展历史悠久，拥有松江大学城等丰富的科教资源，目前正在大力发展电子信息、装备制造、生物医疗等产业，成为长三角G60科创走廊的重要一环，由此带动了交通设施建设。此外，金山新城的石化街道虽然远离市区和新城，但由于化工工厂的产业集聚，相较于周边区域表现出更高的道路密度。

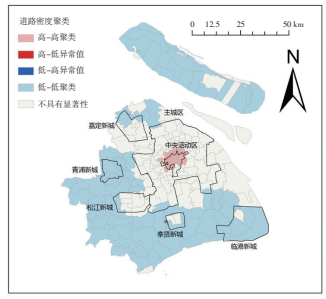


图6　街镇尺度I_i聚类结果

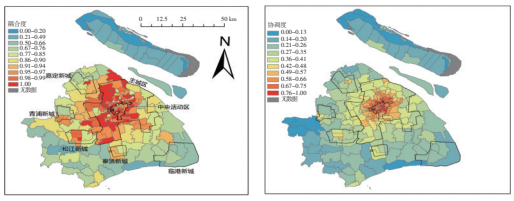
审图号：GS(2019)3333

2.4　道路交通和人口的耦合协调分析

道路交通建设受人口分布、土地利用等方面的影响和驱动。2035总规突出“以人为本”的本质要求，坚

持以人民为中心的指导思想，强调城市交通建设应当注重居民的出行需求；同时道路交通与人口分布之间存在密切的相互作用。人口分布通过出行需求和分担成本的方式影响交通规划布局，人口密集区需要密集的道路网络以应对高流量的交通需求；反之，交通可达性也可影响人口集聚和空间分布，发达的交通网络可吸引人口集聚，形成沿公路或交通枢纽的密集城镇空间[23]。

为评估上海市道路交通和人口的协调发展现状，本文利用耦合协调模型对二者的耦合协调关系进行量化分析（图7）。采用自然断点法将耦合度和协调度划分为10个层级，主城区和新城中心的耦合度显著高于远郊乡镇，其原因在于乡镇的人口水平明显低于道路水平，虽然乡村人口稀少，为保证基本可达性和连通性仍需建设道路；中央活动区的协调度明显高于主城区，中央活动区作为上海市的核心区，发展历史悠久、高端功能和高级产业聚集、空间布局紧凑，因此人口与道路均高度密集、协调度最高，而主城区外圈（包含宝山、闵行和浦东的部分区域）协调度较低，其原因在于上述区域存在大量工业、物流园区，需要便捷的道路网服务物流运输，且其居住功能较弱、居民较少。



a 耦合度 b 协调度

图7 上海市街镇尺度的道路交通和常住人口耦合协调度

审图号：GS(2019)3333

3 关键点与应用路径

道路指标时空格局研究的关键点与应用路径可为此类研究的推广提供指引。研究的关键点决定了研究主题和内容，而应用路径是将研究理论成果应用于实际的重要方式。

3.1 关键点分析

1）指标体系构建。科学分析城市交通网络特征的关键前提是构建合理的指标体系。指标体系的构建需要遵循主导性、差异性、系统性和可操作性等准则，其中主导性要求指标应当对研究主题具有主导性作用；差异性要求指标之间存在侧重、避免重复；系统性要求指标体系应结构化、层级化，体现从整体到局部的逻辑关系；可操作性要求指标易于计算，数据来源可获取。

2）时空特征挖掘。时空特征挖掘首先要确定合适的空间尺度，按照格网划分的研究结果适用于形成产品，按照行政区划的结果适用于城市规划和政策参考；其次是根据研究内容选取合适的方法。例如，挖掘聚集模式时可采用空间自相关方法，挖掘演变特征时可采用时间序列方法，挖掘分布方向时可采用标准差椭圆等，侧重交通和其他系统的协调评估时可采用耦合协调模型，侧重影响机制挖掘时可采用地理加权回归等。

3.2 应用路径

1）城市规划目标的进度评估。通过对比城市总体规划中设定的目标与交通网络现状，可动态评估实施进度。首先基于城市规划的交通相关指标（道路密度等）进行量化计算；再与规划设定的目标进行对比，评估交通建设的完成度和规划的实施效果。在数据来源充足的基础上，可建立指标时间序列，追踪不同时间段的进展情况。

2）综合交通的时空格局分析。针对交通系统的多维度特性，以城市规划指标为核心，构建综合交通指标体系，涵盖道路交通、轨道交通、慢行交通等方面。结合多种空间分析和数据挖掘方法，揭示交通网络的布局特征与发展趋势，有助于识别道路规划的盲区和潜在瓶颈，从而为未来的规划修订提供依据。

3）重点区域专项评估。针对城市重点发展区域，开展专项交通评估。例如，目前大型城市的新城建设是重点任务，可结合新城的功能定位和交通需求，对比分析新城与老城的交通建设差异，评估新城交通网络的规划实施效果。

4）交通与其他系统的协同评估。城市的交通系统往往与其他城市系统（人口分布、产业布局、生态环境等）存在密切的影响和协同发展关系。通过构建其他系统的指标体系、量化交通与其他系统的协调发展程度、挖掘协调程度的影响因素和机制等方式，可为城市系统的协调全面发展提供科学参考。

4 结 语

本文参考城市体检和2035总规实施评估指标体系，建立了上海市城市体检指标体系；并基于基础地理信息数据库，计算和分析了道路基础设施的时空格局。道路空间格局整体为同心圆结构，以中心城区为核心和聚集中心，以环线为圈层向外逐渐递减。2015—2022年中心城和新城的道路密度稳步提升，五大新城道路建设水平整体领先于全市平均水平和周围

街镇，但尚未形成空间规模。

结合道路现状，基于规划目标指引和人口分布导向，本文提出以下优化改善建议：

1）加快新城与主城区之间的交通连接。作为疏解主城区人口的重要承接地，五大新城仍需进一步完善道路网络，尤其是增强其与主城区的高效交通连接。加快青浦、奉贤、临港等新城与主城区之间的高速公路、城际铁路等通道建设，以提升通达性，服务于廊道经济的产业集聚，促进长三角一体化发展。同时，提升五大新城对人口和产业的吸引力，在保障基础道路密度的同时优化局部交通设施布局，推动新城逐步形成“综合性节点城市”的定位。

2）协调主城区外圈的交通与人口发展。主城区外圈道路密度低于中心城区，且与2035总规目标存在一定差距，但已超出当地人口需求。因此，在提升道路密度的同时，需增强对人口和企业的吸引力，通过增加就业机会、优化居住和商业环境等手段促进人口集聚，使交通设施和人口分布更加均衡。未来的道路规划应基于人口迁移趋势，有针对性地提升交通网络的综合服务能力，最终实现交通建设与人口发展的协调平衡。

3）推动绿色道路与智能交通设施建设。在推进道路密度提升的同时，注重绿色交通的发展，以平衡道路建设与环境友好的关系。根据2035总规的绿色交通要求，通过建设绿色道路和推广智能交通设施等方式，逐步减少碳排放、提升交通系统效率，实现更加环保的出行模式，助力实现2035年低碳可持续的城市发展目标。

本文存在的不足主要表现为：①研究指标较单一，主要聚焦于道路网密度，对交通系统的综合评估不足，未来可综合道路通行能力、轨道交通覆盖率、公交站点密度等多种指标，构建更全面的交通系统评价框架；②影响因素和机制的挖掘不够深入，本文对城市人口分布和增长、城市功能布局、土地利用等道路交通影响因素和机制的探讨不足，未来可利用量化模型探索相关因素对道路交通建设和城市整体发展模式的影响，有助于全面理解交通网络发展的内在驱动力。

参考文献

[1] 吴建军. 城市交通网络拓扑结构复杂性研究[D]. 北京:北京交通大学,2008

[2] 景林,李涛,姚玲玲,等. 1990年以来中国城市交通运输效率时空演化及影响因素研究[J]. 青海师范大学学报(自然科学版),2023,39(4):2-12

[3] 张祎. 基于交通指数的上海城市快速路网常发性拥堵时变特征分析[J]. 交通与运输(学术版),2017(2):22-26

[4] 高向东,江取珍. 对上海城市人口分布变动与郊区化的探讨[J]. 城市规划,2002,26(1):66-69

[5] 王春兰,杨上广. 上海人口郊区化与新城发展动态分析[J]. 城市规划,2015,39(4):65-70

[6] 孙斌栋,何舟,李南菲,等. 职住均衡能够缓解交通拥堵吗?基于GIS缓冲区方法的上海实证研究[J]. 城市规划学刊,2017(5):98-104

[7] 上海市人民政府. 上海市城市总体规划(2017—2035年)[R].

[8] 上海市城市规划设计研究院. “上海2035”总规实施监测技术规程(讨论稿)[R].

[9] 黄竹清. 基于空间大数据的长江经济带城市交通格局分析[J]. 地理空间信息,2019,17(12):28-31

[10] 周璐. 基于GIS与空间句法的杭州城市内部形态演变研究[D]. 杭州:浙江大学,2020

[11] 李晓婧,乔良. 基于2020年OSM数据的京津冀可达性空间格局[J]. 公路,2022,67(10):251-259

[12] 张文忠. 中国城市体检评估的理论基础和方法[J]. 地理科学,2021,41(10):1 687-1 696

[13] 顾建祥,董震,郭王. 面向上海城市数字化转型的新型测绘[J]. 测绘通报,2021(7):131-134

[14] 王文峰. 车载LiDAR在智能化全息测绘中的应用[J]. 地理空间信息,2021,19(2):54-55

[15] 金雯. 城市道路全息测绘关键质量控制的讨论与实践[J]. 地理空间信息,2020,18(11):87-90

[16] 顾建祥,杨必胜,董震. 智能化全息测绘及示范应用[J]. 城市勘测,2019(3):10-14

[17] 聂艳,雷文华,周勇,等. 区域城市化与生态环境耦合时空变异特征:以湖北省为例[J]. 中国土地科学,2008,22(11):56-62

[18] 李雪铭,刘美含,田深圳,等. 城市“三态”人居环境耦合协调及驱动机制研究:以辽宁省14市为例[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版),2023,46(1):83-91

[19] 李雪铭,郭玉洁,田深圳,等. 辽宁省城市人居环境系统耦合协调度时空格局演变及驱动力研究[J]. 地理科学,2019,39(8):1 208-1 218

[20] 田深圳,李雪铭,杨俊,等. 东北三省城市拟态与现实人居环境时空耦合协调特征与机制[J]. 地理学报,2021,76(4):781-798

[21] 陈宪. 从单中心到多中心,上海都市圈形成的七十余载[J]. 城市中国杂志,2021(6):236-240

[22] 沈思奕. 基于大数据的上海“三生空间”布局及其与人口耦合协调模式研究[D]. 上海:华东师范大学,2023

[23] 陈博文,陆玉麒,柯文前,等. 江苏交通可达性与区域经济发展水平关系测度:基于空间计量视角[J]. 地理研究,2015,34(12):2 283-2 294