

完整街道视角下城市街道网络的多维特征测度及实证研究*

——基于交通、社会和自然的分析框架

韩瑞娜 杨东峰

Multi-Dimensional Feature Measurement and Empirical Study of Urban Street Network in the Perspective of Complete Street: An Analytical Framework Based on Transportation, Society, and Nature

HAN Ruina, YANG Dongfeng

Abstract: Streets form a large-scale, interconnected network system with multiple attributes. To guide the direction of planning interventions and inform detailed micro street design, it is crucial to accurately depict the network and establish a network classification system. The study introduces a street network measurement system that evaluates its transportation, social, and natural attributes, carefully considering the concept of complete streets, residents' mobility, and their interactions with the social and ecological systems. Dalian city was selected as a case study, and principal component analysis, comparative analysis, and cluster analysis were employed to evaluate the characteristics of different street network types. Several conclusions have been drawn. Transportation-oriented networks feature higher development density, improved urban forms, and closer proximity to transit stations. These features contribute to the safety of the mobility system and align well with the goal of safe streets. Social-service-oriented networks exhibit location advantages, functional complexation, and interface quality, which is essential for meeting the needs of social interactions and supporting the goal of vibrant streets. Nature-oriented networks highlight significant proportions of blue-green spaces and enhanced accessibility, which facilitates activities involving the nature and fulfils the goal of green streets. Finally, deficient networks exhibit shortcomings in transportation safety, social vitality, and environmental quality. This type of network can be improved by enhancing the proximity of transit stations, public facilities, and the green system. In conclusion, the paper provides suggestions for street design in the context of urban renewal and the rationalization of existing street networks.

Keyword: street network; transport; social; nature; complete streets; behavioral requirements

提 要 街道作为连续、大规模、多属性网络系统, 通过对其网络测度体系的精细刻画, 有助于精准把控存量更新中规划干预方向, 同时, 网络类型划分模式也可指导街道精细化设计策略。将居民移动、交往与生态行为作为内核, 以完整街道理念为介质, 多属性街道网络要素为保障, 建立涵盖交通、社会与自然的属性街道网络测度体系。选取大连市为研究区域, 采用主成分分析、案例对比与聚类分析, 评价不同属性街道网络特征。研究发现, 交通便捷型网络在密度、形态与公交站点邻近度等方面水平相对较高, 可保障移动行为的安全需求, 与安全街道目标相契合; 社会服务型网络在区位优势、功能复合与界面质量等方面水平较高, 可一定程度上满足社会交往行为的丰富诉求, 与活力街道目标达成共识; 自然主导型网络的蓝绿水平与可达性相对较高, 可引导生态行为发生, 与绿色街道目标更加匹配; 而欠缺型网络在交通安全、社会活力与环境品质等方面严重不足, 亟待通过提升站点邻近度、功能配套与绿化品质等措施来改善街道网络质量。最后, 为城市更新背景下街道精细化设计与盘活存量中街道网络合理性提供建议参考。

关键词 街道网络; 交通; 社会; 自然; 完整街道; 行为需求

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202401012
文章编号 1000-3363(2024)01-0100-10

作者简介

韩瑞娜, 大连理工大学建筑与艺术学院博士研究生, hrncd@foxmail.com
杨东峰, 大连理工大学建筑与艺术学院教授、博士生导师, 通信作者, yangdongfeng@dlut.edu.cn

随着新型城镇化高质量发展, 城市建设重心由增量扩张向存量更新转移, 街道精细化设计成为新时代城市更新的关键途径。街道网络作为认知城市结构与肌理的重要途径^[1], 在保障移动安全的同时, 也承担了城市社会和生态效益的功能。近年来, 大数据与新技术的驱动为城市街道空间研究提供了新视野。多数街道研究工作主要聚焦在

* 根据第六届“金经昌中国城乡规划研究生论文竞赛”获奖论文改写; 国家自然科学基金面上项目: “住区建成与社会环境影响老年人心理健康的交互效应甄别及规划干预”(项目编号: 52078095)

视觉品质与拓扑形态两个方面。一部分学者^[2-6]致力于人本尺度的街道视觉品质特征,主要以街景照片与深度学习等技术为基础,通过测度街道渗透率、绿视率、天空可见度、界面透明度与开敞度等来表征界面品质特征;与此同时,也有部分学者^[7-9]关注街道形态研究,借助空间句法与sDNA分析轴线或线段模型,测度整合度、选择度、中心度与邻近度等指标以表征网络形态特征,由此可见,大量研究为街道精细化设计奠定了扎实的理论基础。

然而,既有研究多关注于微观层面上街道界面品质或形态特征,较少涉及针对整体层面上街道网络系统的精细化测度,并且对网络类型识别的研究比例较低。Hillier^[10]认为塑造行人运动模式的最主要因素是街道空间网络的组构关系本身,街道作为连续、大规模、多属性网络系统,对其网络测度体系的精细刻画,有助于精准把控存量更新中的规划干预方向,同时,网络类型划分模式也可指导街道精细化设计策略。

因此,研究尝试从居民行为需求出发,将如何以量化方法精确表征完整街道作为研究问题,试图建构一个涵盖交通、社会与自然多重属性的精细化网络测度体系,旨在为街道网络的测度与实践提供初步的基础。以大连市为研究区域,选取街道网络为研究对象,采用主成分分析与实证研究,探索不同属性街道网络的主要特征。此外,运用聚类分析方法进一步明确街道网络类型,以期为城市更新背景下街道精细化设计与盘活存量中街道网络合理性提供参考与引导。

1 理论与框架

1.1 理论基础:行为需求—完整街道—多属性网络

研究尝试构建多属性街道网络理论框架(图1),将居民行为需求作为内核,以完整街道理念为介质、多属性街道网络要素为保障,建立多属性街道网络系统测度体系。其中:居民行为主要包含移动、交往与生态行为等三个维度;完整街道目标指建设安全街道、活力街道与绿色街道;多属性街道网络主要涵盖

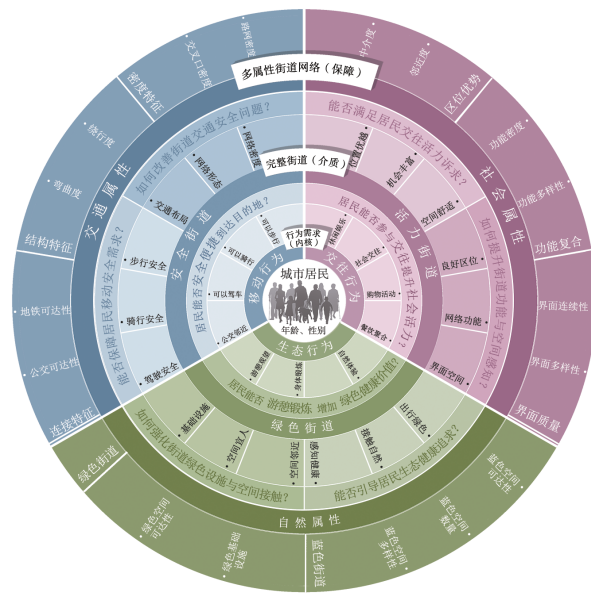


图1 理论框架

Fig.1 Theoretical framework

交通、社会与自然网络。

1.1.1 居民行为需求（内核）：移动—交往—生态

根据马斯诺层次需求理论,居民行为需求的满足是从低级到高级层层递增的过程^[11]。既有研究在活动行为理论构建上已相对成熟,扬·盖尔将户外活动分为必要性、自发性与社会性活动等三类。柴彦威等^[12]将居民行为划分整日活动模式、通勤行为、购物行为与休闲行为等。此外,周素红等^[13]将日常活动分为满足家庭生活需求的维护性活动、上班上学等工作相关的生存性活动与文娱锻炼等休闲性活动三类。基于以上,研究将居民行为分为移动、交往与生态三个维度作为内核。移动行为主要包含步行与乘坐地铁、公交和机动车等行为,街道安全是移动行为发生的基础保障;交往行为主要涵盖休闲娱乐、社会交往与购物餐饮等行为,街道活力是交往行为持续的内在动力;生态行为主要包括自然体验、身体锻炼与游憩观望等行为,街道绿色是生态行为增加的外在拉力。

1.1.2 完整街道（介质）：安全—活力—绿色

美国提出“完整街道”政策,旨在保障所有交通方式出行者的通行权,满足出行需求和安全需求^[14]。完整街道设计目标主要有3个:①安全街道。保障街道所有出行模式的使用者的安全。②

活力街道。增加街道公共空间来促进居民社会交往,提升街道吸引力使其服务于人。③绿色街道。提升街道绿化率、改善雨水渗透与再利用、鼓励居民选择绿色健康的出行方式。本研究中“完整街道”作为居民行为与街道测度的介质,主要包含两个层面:在居民层面是指符合所有居民完整行为的需求;在街道网络层面指通过测度完整的多属性网络要素(交通、社会与自然)来解决居民行为发生所面临的问题,即如何改善街道交通安全问题,如何提升街道活力与空间感知,如何强化街道绿色设施与空间接触机会。

1.1.3 多属性网络（保障）：交通—社会—自然

研究结合上述居民行为需求与完整街道内涵,将街道网络划分为交通、社会与自然等三个属性,同时契合完整街道中安全、活力与绿色街道目标,并分别对应居民的移动、交往与生态行为需求。既有关于街道网络研究也已逐渐关注其网络的多维属性,提出将街道视为一种多个公众获益系统的整合网络,如纽约市区域规划协会(Regional Plan Association of New York,简称RPA)呼吁将街道作为“三个相互关联、可以协同工作以提高生活质量的网络系统”进行重新考虑,主要涉及如下三个属性:街道网络将承载交通运输系统,街道网络

也将服务社会系统，街道网络也应是自然生态系统的一部分^[15-16]。

据此，研究通过三个属性特征进一步选取细分指标以精准表征完整街道。首先，交通网络是移动行为发生的空间载体，在网络密度、形态特征以及公共交通水平等方面需保障居民移动的安全需求^[17]；其次，社会网络决定交往行为发生与持续的长短，在区位优势、功能复合与界面质量等方面需满足居民交往的活力诉求^[18]；最后，自然网络影响生态行为发生频率的多寡，在街道绿色空间与蓝色空间水平上引导居民绿色健康的生活方式^[19-23]。

1.2 测度体系：交通、社会与自然网络

交通网络系统主要以密度特征、结构特征与连接特征来体现，并且主要聚焦于交通安全、步行性与可达性等方面。具体来看，密度特征是指以交叉点为分割的街段密度与交叉口密度的综合水平，研究表明^[24]路网与交叉口密度可影响街道交通事故数量、韧性水平^[25]、交通组织与步行性等^[26]；结构特征采用绕行度（绕行率）与弯曲度（连线弯曲率）表示，前者指基于网络的实际距离与直线距离的比值，后者指网络的连线长度与端点直线距离的比值^[27]。研究^[28]表明网络

绕行度越大，所涵盖目的地可能性越大，越有利于步行活动，对比弯曲型网络，直线型网络更有利于便捷地移动^[29]。连接特征以距地铁与公交站点距离表示，二者反映地铁站与公交站的邻近程度。叶宇等^[30]认为距公交地铁站点距离对街道慢行空间可达性与社区生活便利度具有重要影响。

社会网络系统主要包括区位优势、功能复合与界面质量，并集中于街道中心性、人流分布、街道活力以及社会活动等方面。具体地，在区位优势层面，采用中介度（中介中心性）与邻近度（接近中心性）来表示，前者指在以任一街道网络为起讫点的出行路径中该条网络出现最短路径的次数，后者表示在搜索半径内从起点至所有终点的距离之和的平均值。叶宇等^[5]认为中介度有助于提升街道承载交通的潜力，可判断该网络是否适合做中心，车冠琼等^[28]也表示邻近度越高的街道越可能吸引人流。在功能复合层面，以功能密度与多样性来表征，主要涵盖医疗、教育、商业、交通与休闲等服务设施。大量研究表示服务设施有助于增加社会驻足行为等^[31]，并提升街道活力与步行性^[26,32-34]。在界面质量层面，采用界面连续性与多样性来表征，前者以建筑贴线率指标来表示，后

者以街道两侧建筑高度类型混合度来表示。多数研究发现界面连续性对夜间街道活力与社会活动具有积极作用^[6]。芦原义信认为街道两侧建筑物所围合的沿街立面十分必要，雅各布斯也强调伟大的街道必然是边界清晰的，进而建筑界面对街道空间的围合度具有关键作用。

自然网络系统主要以街道绿色与蓝色水平表示。其中：绿色街道以绿色空间可达性与绿色基础设施来表示，前者以两步移动搜索法计算的公园绿地AOI可达性衡量，后者以归一化植被覆盖指数NDVI值衡量；蓝色街道以距蓝色空间距离、蓝色空间数量与类型来表示，蓝色空间主要包括海边、河流以及水系等。多数研究^[35-36]表明蓝绿空间作为居民积极活动的重要场所，更易让居民感觉快乐且具有减压作用^[37-38]，蓝绿空间暴露也有助于提高公众健康、幸福感与凝聚力^[39-42]。并且，研究^[23,43-44]指出相较于绿色空间，蓝色空间在休闲放松方面更有效，而绿色空间对体育锻炼效果更显著。

1.3 技术路线

研究大体分为数据收集、指标测算、主成分分析以及聚类分析等4个步骤进行（图2）。首先，研究将2个交叉口之间所夹的路段定义为一段街道，形成了

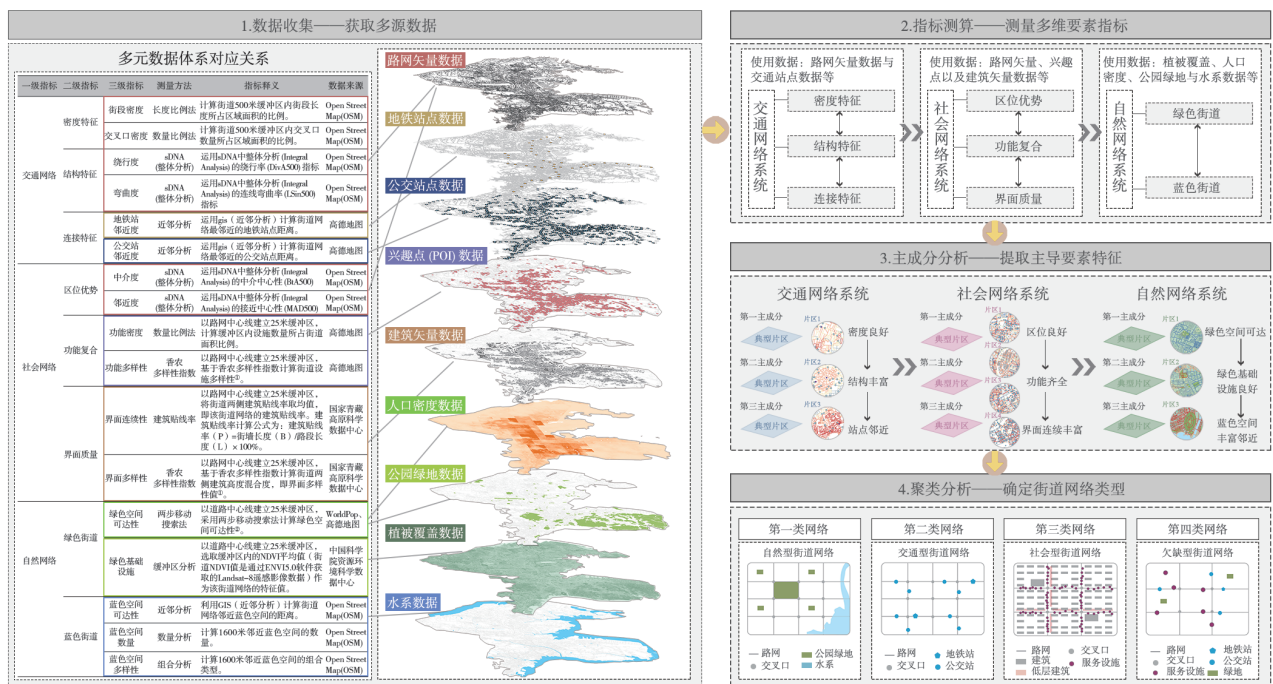


图2 分析路线
Fig.2 Technical route

26 246条街道网络,并以此建立25 m缓冲区,测量缓冲区内多维要素指标;其次,采用主成分分析方法提取主导要素特征,并利用ArcGIS进行空间可视化分析,同时选取典型案例对空间特征进行具体解析;此外,研究采用聚类分析方法针对城市街道网络进行多指标的网络类型划分,通过对街道网络进行分组得到不同类型街道网络的特征;最后,试图描述和归纳大连市不同街道网络整体模式与划分情况,进而提出从完整街道视角出发提升多属性街道网络品质的建议。

2 数据与方法

2.1 研究对象

研究以大连市中心城区为实证研究区域,选取城市街道网络为研究对象[图3(a)]。大连市作为典型的山地城市,地形复杂,街道网络蜿蜒曲折,空间异质

性显著,对大连进行街道网络系统研究具有典型的特征性和现实意义。

2.2 数据测量

街道网络数据测量主要包含路网矢量数据、地铁站点、公交站点、兴趣点(POI)、建筑矢量、人口密度、公园绿地AOI、NDVI以及水系等9方面多元数据集,测量方法以及数据来源如图2所示。值得注意的是,研究在参考既有关于多样性研究基础上采用香农多样性指数^①计算功能多样性与界面多样性^{④⑤-④⑥},此外,基于公园绿地可达性测度的既有文献,采用两步移动搜索法^②计算绿色空间可达性^{④⑦},具体计算公式参阅注释。

2.3 测量结果

大连市不同属性街道网络测度结果在空间分布上差异显著。在交通网络系统层面,测量结果空间分布如图3(b)。由于不同分析半径的街道网络可匹配相应

距离出行,通常500 m是居民舒适的步行距离^{④⑧},因此,研究将街段密度与交叉口密度选择街道500 m缓冲区,此外,sDNA整体分析中绕行度与弯曲度指标也选取的是角度距离500 m;最后依据《城市综合交通体系规划标准》GB/T 51328—2018与居民出行距离将邻近公共交通站点距离分别划分三个等级,邻近地铁站距离:一级为距离 ≥ 800 m;二级为 $500 \text{ m} \leq \text{距离} < 800 \text{ m}$;三级为距离 $< 500 \text{ m}$;邻近公交站距离:一级为距离 $\geq 500 \text{ m}$;二级为 $300 \text{ m} \leq \text{距离} < 500 \text{ m}$;三级为距离 $< 300 \text{ m}$ 。

在社会网络系统层面,测量结果空间分布如图3(c)。如前文所提,基于500 m作为居民出行的最佳距离,sDNA整体分析中中介度与邻近度指标的搜索半径亦选取角度距离500 m;此外,为提升指标的精细化与差异化,街道设施以POI小类计算设施多样性;同时,界面连续性以路网中心线建立25 m缓冲区,计算

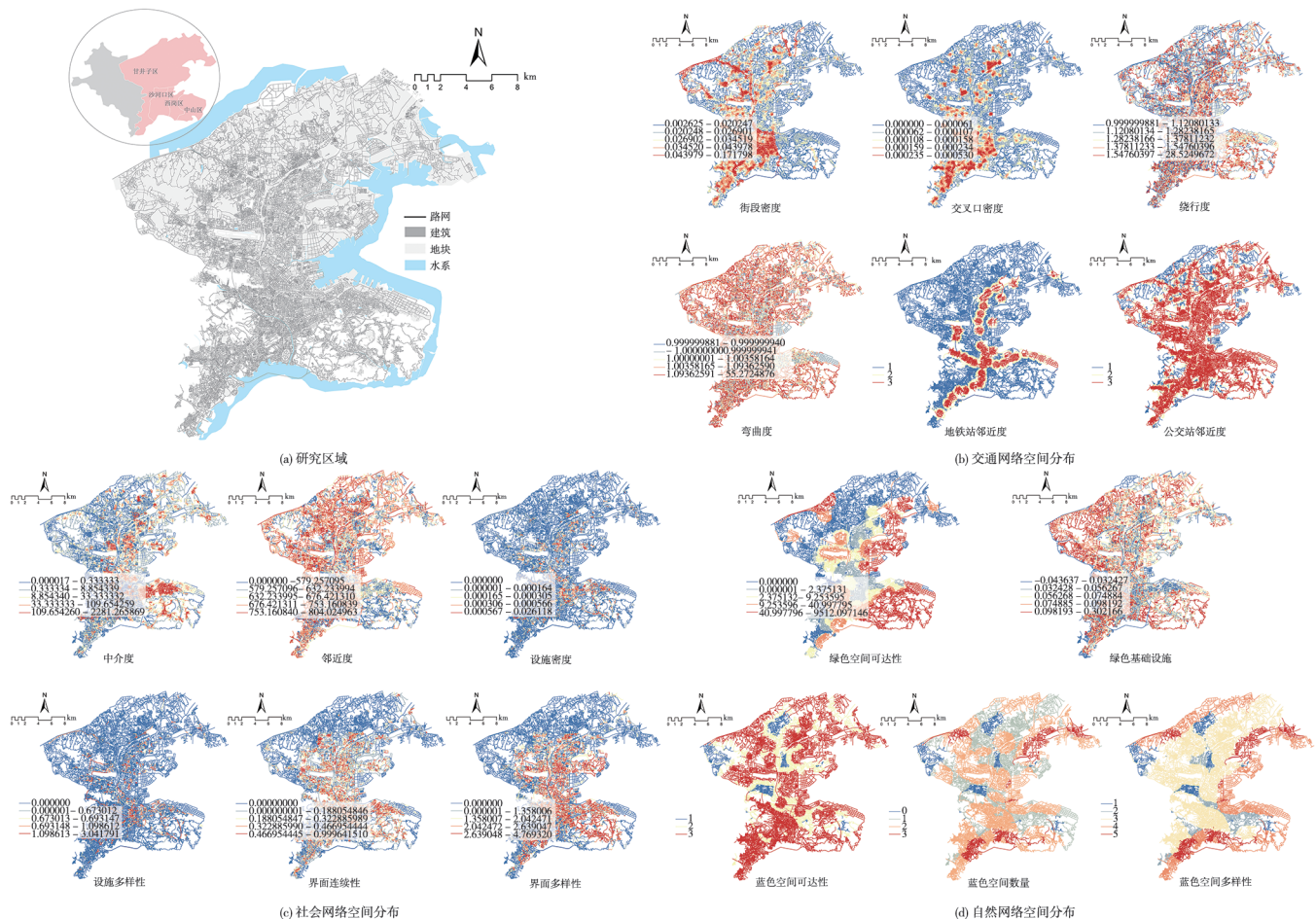


图3 研究区域与街道网络空间分布

Fig.3 Area of study and spatial distribution of street networks

建筑贴线率，并采用香农多样性指数基于建筑高度混合度来计算界面多样性。

在自然网络系统层面，测量结果空间分布如图3(d)。蓝色街道层面，依据王兰等^[23]将“邻里”分为“小邻里(800 m)，大邻里(1600 m)”，将蓝色空间可达性划分三个等级：一级为距离 ≥ 1600 m，二级为 $800 \text{ m} \leq \text{距离} < 1600$ m，三级为 $\text{距离} < 800$ m；将搜索范围内蓝色空间数量划分四个等级：零级为没有蓝色空间，一级为仅一个蓝色空间，二级为两个蓝色空间，三级为三个蓝色空间；将搜索范围内蓝色空间多样性划分为五类：一级为没有蓝色空间，二级为仅有小型水系，三级为有河岸或河岸与小型水系，四级为至少有海岸一种或两种蓝色空间，五级为同时存在海岸河岸以及小型水系。

3 街道网络要素特征提取

3.1 特征提取

对街道网络指标进行主成分分析(表1)，探索多维度多指标中起主导作用的要素。首先，为了消除量纲差异可能导致的影响，对数据进行标准化处理，同时，为了检验数据主成分分析的可行性，分别进行KMO和Bartlett的球形度检验，交通、社会与自然网络系统KMO为0.545、0.563以及0.626，均大于0.5，且 $\text{Sig} < 0.05$ ，表示数据支持主成分分析。交通、社会与自然网络系统分别提取三个主成分，累计贡献率分别为76.24%、70.17%与85.05%，均大于70.00%，表示该降维分析方法有效，且说明这些主成分可以全面反映街道网络特征综合评价的主要情况。最后，根据各个主成分的特征值与成分矩阵，计算各主成分因

子得分。见表2。

在交通网络系统层面：第一主成分中绕行度与弯曲度载荷值较高且因子系数为正，表明第一主成分可反映两个指标信息且具有正向作用，可表示结构特征；第二主成分中街段密度与交叉口密度载荷值较高且因子系数为正，说明第二主成分能代表两个指标且正相关，可表示密度特征；第三主成分中地铁站与公交站邻近度载荷值较高且因子系数为正，说明第三主成分是两个指标的综合反映且为正相关，它反映连接特征。

在社会网络系统层面：第一主成分中界面连续性与多样性载荷值较高且因子系数为正，说明第一主成分主要由两个指标的正向作用来决定，可表达界面质量；第二主成分中功能密度与多样性载荷值较高因子系数为正，说明第二主成分主要反映两个指标的信息且存在正

表1 主成分分析结果

Tab.1 Results of principal component analysis

交通网络系统					社会网络系统					自然网络系统				
指标		主成分			指标		主成分			指标		主成分		
		1	2	3			1	2	3			1	2	3
密度特征	街段密度	0.014	0.877	0.032	区位优势	中介度	0.091	0.151	0.736	绿色街道	绿色空间可达性	-0.010	0.997	0.045
	交叉口密度	0.005	0.819	0.240		邻近度	-0.025	0.054	-0.813		绿色基础设施	0.006	0.045	0.997
结构特征	绕行度	0.948	0.017	0.005	功能复合	功能密度	0.035	0.861	0.079	蓝色街道	蓝色空间可达性	0.768	-0.022	0.048
	弯曲度	0.948	0.002	-0.007		功能多样性	0.164	0.833	0.021		蓝色空间数量	0.916	-0.065	-0.035
连接特征	地铁站邻近度	0.001	-0.001	0.862	界面质量	界面连续性	0.861	0.080	0.049	—	蓝色空间多样性	0.900	0.105	-0.045
	公交站邻近度	-0.003	0.282	0.676		界面多样性	0.855	0.115	0.080		—	—	—	—
特征值		1.797	1.519	1.258	特征值		1.511	1.481	1.218	特征值		2.238	1.012	1.003
贡献率%		29.951	25.323	20.963	贡献率%		25.176	24.691	20.298	贡献率%		44.765	20.239	20.050
累计贡献率%		29.951	55.274	76.237	累计贡献率%		25.176	49.867	70.165	累计贡献率%		44.765	65.003	85.054
KMO 取样适切性量数为0.545>0.5;Sig为0.000					KMO 取样适切性量数为0.563;Sig为0.000					KMO 取样适切性量数为0.626;Sig为0.000				

表2 因子得分系数矩阵表

Tab.2 Matrix table of factor score coefficients

交通网络系统					社会网络系统					自然网络系统				
指标		主成分			指标		主成分			指标		主成分		
		1	2	3			1	2	3			1	2	3
密度特征	街段密度	0.010	0.712	0.029	区位优势	中介度	0.074	0.124	0.667	绿色街道	绿色空间可达性	-0.007	0.991	0.045
	交叉口密度	0.004	0.665	0.214		邻近度	-0.020	0.044	-0.737		绿色基础设施	0.004	0.045	0.996
结构特征	绕行度	0.707	0.002	0.004	功能复合	功能密度	0.028	0.707	0.072	蓝色街道	蓝色空间可达性	0.513	-0.022	0.048
	弯曲度	0.707	0.014	-0.006		功能多样性	0.133	0.684	0.019		蓝色空间数量	0.612	-0.065	-0.035
连接特征	地铁站邻近度	0.001	-0.001	0.769	界面质量	界面连续性	0.700	0.066	0.044	—	蓝色空间多样性	0.602	0.104	-0.045
	公交站邻近度	-0.002	0.229	0.603		界面多样性	0.696	0.094	0.072		—	—	—	—

向作用，可表达功能复合程度；第三主成分中中介度与邻近度载荷值较高，但中介度因子系数为正、邻近度为负，说明第三主成分可反映两个指标，而前者为正向作用，后者为负向影响，可表示区位优势。

在自然网络系统层面：第一主成分中蓝色空间可达性、数量与多样性载荷值较高且为正相关，说明第一主成分可反映蓝色空间三个指标且存在积极影响，它表示街道蓝色水平；第二主成分特征值中绿色空间可达性载荷值较高且为正相关，说明第二主成分主要由绿色空间可达性的正向影响所决定，它表示街道绿色可达水平；第三主成分中绿色基础设施载荷值较高且为正相关，说明第三主成分由绿色基础设施的正向作用所决定，可表示街道绿色水平。

3.2 特征评价

根据主成分因子得分系数（表2），构建各主成分得分表达式，并根据不同街道网络得分函数以方差贡献率为权重，分别构建街道网络系统综合评价模型^③，各街道网络要素的综合分值越大，表明

该特征越突出。此外，借助 ArcGIS 对各主成分得分进行空间可视化分析，并分别依据交通、社会以及自然等三个属性特征选取典型片区作为案例解析，深入评价街道网络特征。

街道交通网络评价结果呈现中心西高东低，周边点状分散的整体特征，这表明网络的交通特征受其密度、形态结构与公共交通分布等影响显著，以中心区评价值最高（图4）。研究选取东联路、中山路以及西南路等三个片区进行案例解析，具体来看：在第一主成分中，整体街道网络空间分布较为均质，三个片区均处于中等偏高水平，说明街道结构特征优势突出，主要表现为结构丰富多样；第二主成分得分中，高分区域主要聚集在中部偏西，其他区域均处于中等偏低水平，其中东联路与中山路片区得分中等，密度一般，而西南路片区得分较高，表现为高密度、小街区特征；在第三主成分中，主要呈现以地铁站与公交站为中心向外圈层递减的特征。三个片区得分均较高，说明街道网络的连接特征明显，表现为距地铁站与公交站的距离较近。

街道社会网络评价结果呈现由中心向外圈层递减的整体特征。这说明网络的社会特征受到区位条件、街道设施与界面质量等作用明显，评价高值主要集中在西部中心区域（图5）。研究选取四大重要商圈进行案例解析，分别为甘井子区华南广场商圈、沙河口区西安路商圈、西岗区奥林匹克商圈以及中山区青泥洼桥商圈。具体来看：在第一主成分中，整体网络评价处于中等偏高水平，四个商圈得分也较高，说明街道界面质量较好，体现为界面连续与丰富；在第二主成分中，评价结果与第一主成分相似，均处于较高水平，说明街道功能复合程度较好，体现为服务设施丰富多样；在第三主成分中，多在东部区域出现评价高值，其他区域处于中等偏低水平。其中仅西安路商圈得分较低，街道区位优势并不明显，而其他三大商圈均中等偏高，表现为街道网络的高邻近度与中心度。

街道自然网络评价结果呈现圈层式递增、内低外高的空心化整体特征，这表示网络的自然特征受到蓝绿空间水平影响较大，评价高值均集中在外围水域

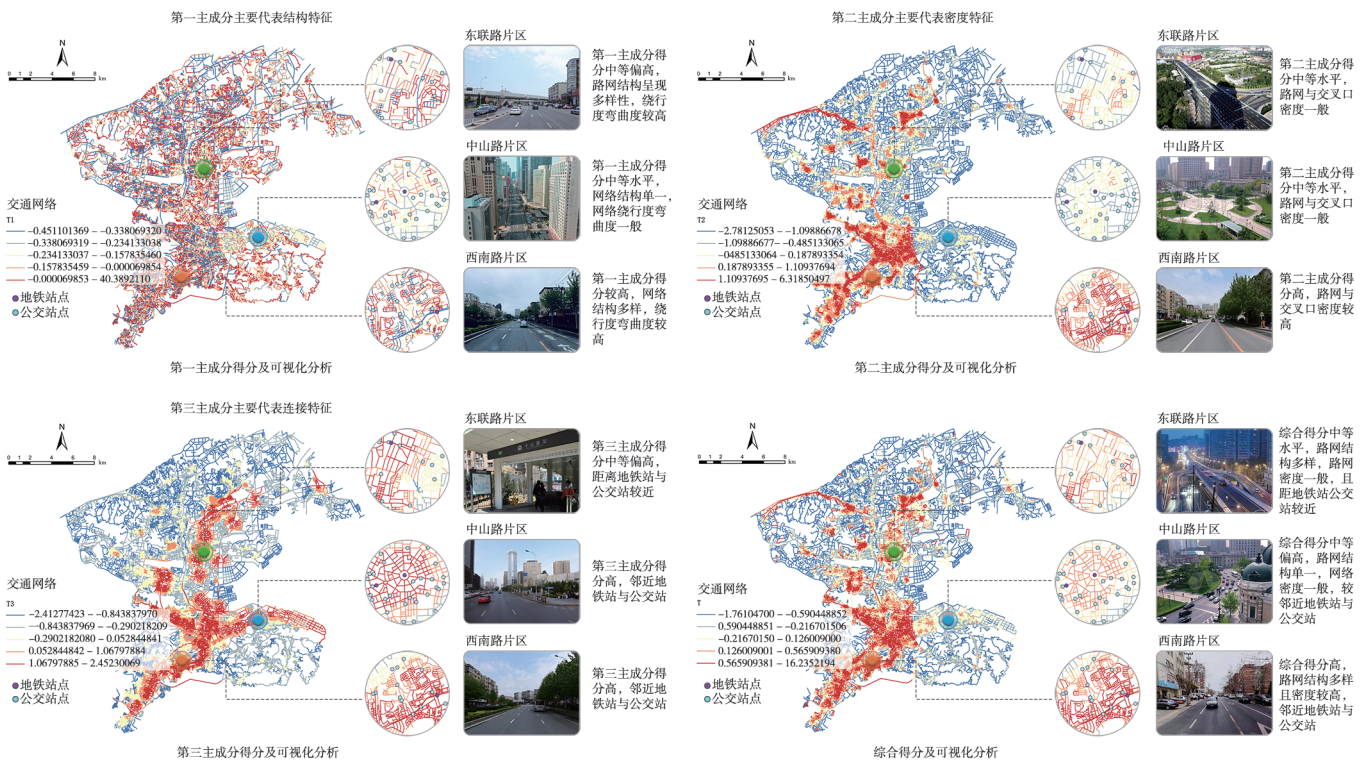


图4 交通网络系统综合得分及可视化分析

Fig.4 Comprehensive scores and visualization analysis of the transport network systems

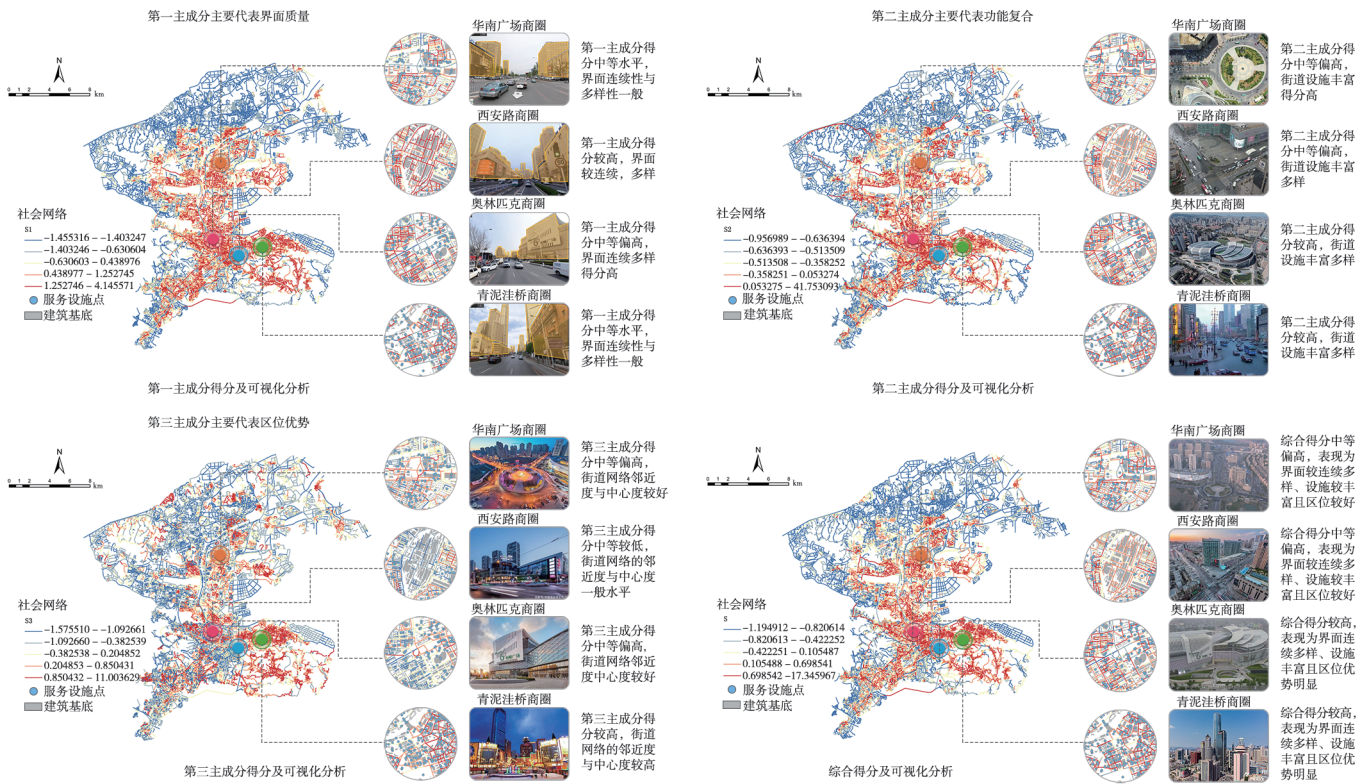


图5 社会网络系统综合得分及可视化分析

Fig.5 Comprehensive scores and visualization analysis of the social network system

山林等区域。研究选取三个公园广场片区进行案例解析, 分别为北部的枣园公园片区、中部偏南的中山公园片区以及南部的星海广场片区(图6)。具体来看, 在第一主成分中, 整体以邻近水系的区域评价价值高, 距离水系较远的区域评价价值低, 其中, 枣园公园与中山公园片区得分中等偏低, 说明网络的蓝色水平欠缺, 而星海广场片区得分较高, 表现为蓝色空间多样且邻近海岸与马栏河; 在第二主成分中, 整体以邻近公园绿地评价价值高, 距离公园绿地较远区域评价价值低, 其中枣园公园与星海广场片区得分较高, 说明绿色空间可达性较高, 表现为邻近公园绿地, 而中山公园得分最低, 距离公园绿地较远; 在第三主成分中, 整体空间分布较为均质, 三个片区均处于中等偏高水平, 说明绿色基础设施较为完善, 主要表现为街道植被覆盖率较高。

4 街道网络类型解析

根据上述综合得分进行K-means聚

类分析(表3), 并依据分类结果进行空间可视化分析(图7), 挖掘街道网络空间分布特征。将大连市街道网络类型分为四类: 自然主导型(A1)、交通便捷型(A2)、社会服务型(A3)以及欠缺型(A4)。

自然主导型指网络自然属性评价明显高于其他两个属性, 此类网络主要分布在城市外围山林水域等区域, 表现为街道绿色空间可达性较好、绿色基础设施水平较高以及邻近蓝色空间且类型丰富; 交通便捷型指网络交通属性得分显著高于其他两个属性, 此类网络主要分布在中心偏西区域, 表现为街廓尺度较小, 形态丰富以及距地铁站与公交站较近; 社会服务型指网络社会属性特征突出高于其他两个属性, 此类网络主要分布在老城区域, 并在周边点状分散, 表现为具备良好的区位优势, 设施较齐全以及界面空间较连续多样; 欠缺型指三个属性得分均较低, 零星分布在城市中心与边缘区, 主要表现为网络密度较大、距公共交通站点较远、设施不足、界面不连续与缺少蓝绿空间等特征, 对居民

出行没有促进作用甚至会造成消极影响, 此类街道网络的改善空间较大。

5 结论与讨论

5.1 主要研究结论

街道网络作为居民行为发生的空间载体, 其多属性测度体系的精细刻画与类型划分模式对城市更新背景下街道精细化设计具有指导作用。研究以居民移动、交往与生态行为为内核, 以完整街道理念为介质, 选取交通、社会与自然多属性要素作为保障, 尝试为街道网络测度体系提供新思路, 得到具体结论如下: ①交通便捷型网络。此类网络密度、形态结构与公共交通邻近度水平相对较高, 可保障居民移动行为的安全需求, 与安全街道目标相契合。②社会服务型网络。此类网络区位、功能复合与界面质量等水平较高, 可一定程度上满足居民社会交往行为的丰富诉求, 与活力街道目标达成共识。③自然主导型网络。此类网络蓝绿水平与可达性相对较高, 可引导居民生态行为发生, 与绿色街道

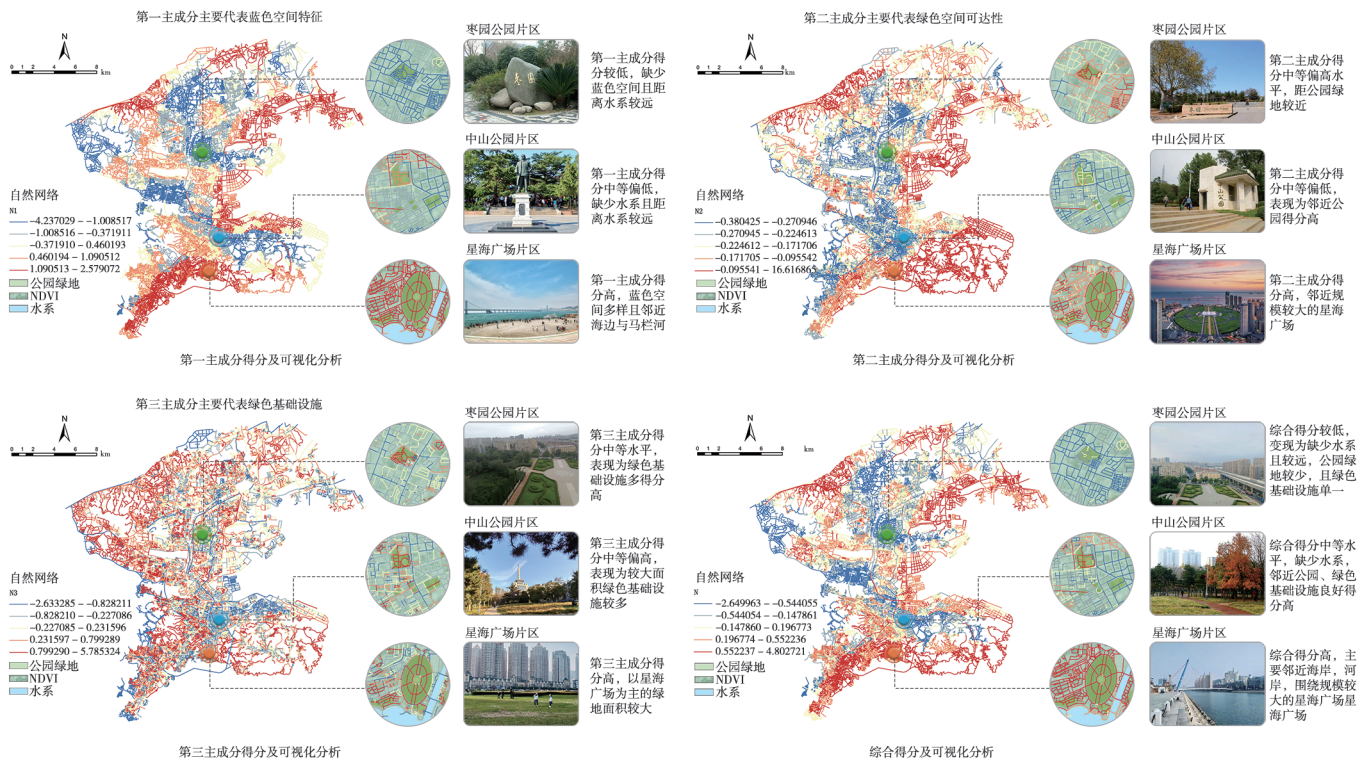


图6 自然网络系统综合得分及可视化分析

Fig.6 Comprehensive scores and visualization analysis of the natural network system

目标更加匹配。④欠缺型网络。此类网络占比较少，在城市中心与边缘区零星分布，仍需通过提升站点邻近度、功能配套与绿化品质等措施来改善街道网络质量。

5.2 延伸讨论

基于前文中对街道网络类型的精确诊断，研究针对四种类型提出相匹配的提升建议：
 ①交通便捷型。尽管具备安全便捷的交通系统，但受区位与功能影响，在街道活力与景观环境方面仍有所欠缺，建议在继续完善交通服务水平的同时，增加沿街业态多样性与街道两侧植被种植和街头绿地等手段来提升街道服务水平^[49-51]。
 ②社会服务型。良好的街道活力也使街道网络在交通安全与环境品质等方面稍有不足，建议通过完善街道网络等级结构^[52]、采用交通分流的方式降低事故发生频率^[53]并增设街道两侧绿化设施以收集雨水、适当增加蓝绿空间及其引导标识以改善街道品质。
 ③自然主导型。得天独厚的自然资源使街道网络具备环境优势的同时，也带来交通不便与社会活力不足等问题，建议

表3 街道网络系统聚类分析

Tab.3 Cluster analysis of the street network system

维度	类型			
	自然主导型(A1)	交通便捷型(A2)	社会服务型(A3)	欠缺型(A4)
交通网络得分	-0.639	0.596	0.122	-0.220
社会网络得分	-0.635	-0.075	1.383	-0.361
自然网络得分	0.471	0.241	-0.079	-1.267
街道数目	8301	8245	5383	4317
总街道数目	26 246			

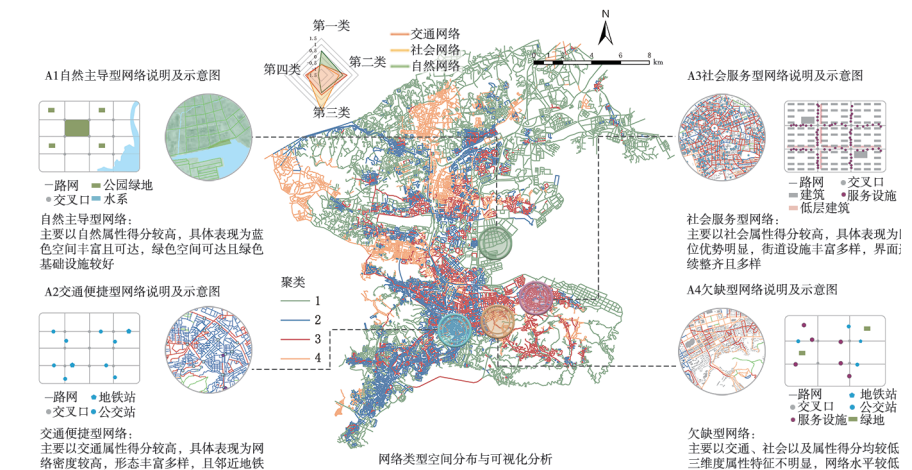


图7 街道网络类型分布与可视化分析

Fig.7 Clustering and visualization analyses of street networks

通过适当增加公共交通设施的覆盖率^[54]、提升服务设施数量^[55]与界面品质^[56]等手段增加交通便捷性与街道活力,进而提升街道网络对居民活动出行的物质支持。
④欠缺型。受多方面因素影响,该类型街道网络存在问题较多,但在保障街道安全的前提下,先提升社会活力,再改善街道环境质量,有助于高效提升存量更新背景下的街道精细化设计。

5.3 研究不足

本研究旨在对完整街道进行精确测度与表征,尚存在不足与待完善之处。首先,在当前多源大数据背景下,不同数据选择在一定程度上会导致研究结论的不稳定性,这种差异对研究结论的普适性具有一定影响。其次,对于街道网络的研究还需探索与居民活动行为的关系,尤其是针对不同属性网络所涉及的不同类型活动行为的关联性,但是由于篇幅限制,尚未将街道网络与居民活动行为的关系纳入分析,后续将在此研究的基础上进一步深入探讨与居民活动行为的内在关联性。

注释

① 香农多样性指数计算公式如下: $S = -\sum_{i=1}^m P_i \ln P_i$ 。在功能多样性计算中, M 代表设施种类数, P_i 表示第 i 类设施占总数的比例,当仅有一种类型设施时,其值为 0; 在界面多样性中, M 代表建筑层数种类数, P_i 表示第 i 类建筑高度占总数的比例,当仅有一种高度建筑时,其值为 0。

② 两步移动搜索法: 第一步,对公园绿地提取其人口作为公园绿地供给点 j , 以前往公园绿地的极限距离 d_0 为半径建立搜索域, 汇总搜索域内所有的人口数量, 利用高斯函数按照衰减规律赋值, 并对加权后的人口进行加和汇总, 计算供需比 R_j :

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{ij} \leq d_0\}} G(d_{ij}) D_k} \quad (1)$$

D_k 表示每个网络缓冲区人口数, d_{kj} 为位置 k 、 j 之间的路网距离, 对于有多个入口的公园, 选取需求单元到最近入口的路网距离, 单元 k 需落在搜索域内(即 $d_{kj} \leq d_0$); S_j 为公园绿地 j 的面积; $G(d_{ij})$ 是考虑空间摩擦问题的高斯衰减函数, 其具体形式可表示为:

$$G(d_{ij}) = \frac{e^{-\frac{1}{2} \times (\frac{d_{ij}}{d_0})^2} - e^{-\frac{1}{2}}}{1 - e^{-\frac{1}{2}}} \quad (d_{ij} < d_0) \quad (2)$$

第二步,以任一入口位置 i 为需求点, 以人们前往公园绿地的路网极限距离 d_0 为半径, 建立搜索域 I , 然后查找所有搜索域内的公园绿地 j , 将这些公园绿地的供需比 R_j 在高斯衰减函数的基础上汇总求和, 得到居民点 i 的基于距离成本的公园空间绿地可达性 A_i^D , 其值越大表示可达性程度越高。

$$A_i^D = \sum_{j \in \{d_{ij} \leq d_0\}} G(d_{ij}) R_j \quad (3)$$

③ 主成分得分表达式交通网络系统:

$$\begin{aligned} T_1 &= 0.01X_1 - 0.004X_2 + 0.707X_3 + 0.707X_4 + 0.001X_5 - 0.002X_6; \\ T_2 &= 0.712X_1 + 0.665X_2 + 0.002X_3 + 0.014X_4 - 0.001X_5 + 0.229X_6; \\ T_3 &= 0.029X_1 + 0.214X_2 + 0.004X_3 - 0.006X_4 + 0.769X_5 + 0.603X_6. \end{aligned}$$

社会网络系统:

$$\begin{aligned} S_1 &= 0.074X_1 - 0.020X_2 + 0.028X_3 + 0.133X_4 + 0.700X_5 + 0.696X_6; \\ S_2 &= 0.124X_1 + 0.044X_2 + 0.707X_3 + 0.684X_4 + 0.066X_5 + 0.094X_6; \\ S_3 &= 0.667X_1 - 0.737X_2 + 0.072X_3 + 0.019X_4 + 0.044X_5 + 0.072X_6. \end{aligned}$$

自然网络系统

$$\begin{aligned} N_1 &= -0.007X_1 + 0.004X_2 + 0.513X_3 + 0.612X_4 + 0.602X_5; \\ N_2 &= 0.991X_1 + 0.045X_2 - 0.022X_3 - 0.065X_4 + 0.104X_5; \\ N_3 &= 0.045X_1 + 0.996X_2 + 0.048X_3 - 0.035X_4 - 0.045X_5. \end{aligned}$$

综合评价模型:

$$\begin{aligned} \text{交通网络} &= 0.230/0.762 \times T_1 + 0.253/0.762 \times T_2 + 0.210/0.762 \times T_3; \\ \text{社会网络} &= 0.252/0.702 \times S_1 + 0.247/0.702 \times S_2 + 0.203/0.702 \times S_3; \\ \text{自然网络} &= 0.448/0.851 \times N_1 + 0.202/0.851 \times N_2 + 0.201/0.851 \times N_3. \end{aligned}$$

参考文献

[1] 卓健, 曹根榕. 街道空间管控视角下城市设计法律效力提升路径和挑战[J]. 规划师, 2018, 34(7): 18-25.
[2] 唐婧娴, 龙瀛, 翟炜, 等. 街道空间品质的测度、变化评价与影响因素识别: 基于大规模多时相街景图片的分析[J]. 新建筑, 2016 (5): 110-115.
[3] 江浩波, 卢珊, 肖扬. 基于街景技术的上海历史文化风貌区城市色彩评价方法[J]. 城市规划学刊, 2022(3): 111-118.
[4] 邵源, 叶丹, 叶宇. 基于街景数据和深度学习

习的街道界面渗透率大规模测度研究: 以上海为例[J/OL]. 国际城市规划: 1-13 [2022-09-07]. <https://doi.org/10.19830/j.upi.2021.241>.

[5] 叶宇, 张昭希, 张啸虎, 等. 人本尺度的街道空间品质测度: 结合街景数据和新分析技术的大规模、高精度评价框架[J]. 国际城市规划, 2019, 34(1): 18-27.
[6] 徐磊青, 康琦. 商业街的空间与界面特征对步行者停留活动的影响: 以上海市南京西路为例[J]. 城市规划学刊, 2014(3): 104-111.
[7] 胡扬, 王雷. 街道空间平面指标对步行者路径的影响: 四个步行街区的比较分析[J]. 新建筑, 2021(2): 31-36.
[8] 王伊倜, 杨滔. 空间句法在城市规划实施评估中的应用探索: 以云南省玉溪市总体规划为例[J]. 城市规划, 2018, 42(11): 71-78.
[9] HE S W, YU S, WEI P, et al. A spatial design network analysis of street networks and the locations of leisure entertainment activities: a case study of Wuhan, China[J]. Sustainable Cities and Society, 2019, 44: 880-887.
[10] HILLIER B. Natural movement: or configuration and attraction in urban pedestrian movement[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1993(20): 29-66.
[11] MASLOW A H. A theory of human motivation[J]. Psychological Review, 1943, 50 (4): 370-396.
[12] 柴彦威, 沈洁. 基于居民移动—活动行为的城市空间研究[J]. 人文地理, 2006(5): 108-112.
[13] 周素红, 彭伊依, 柳林, 等. 日常活动地建成环境对老年人主观幸福感的影响[J]. 地理研究, 2019, 38(7): 1625-1639.
[14] JOHN R. "Complete streets" program gives more room for pedestrians, cyclists [N/OL]. 2007. [2014-02-26]. http://usatoday30.usatoday.com/news/nation/2007-07-29-complete-streets_N.htm.
[15] Regional Plan Association. Re-envisioning the right-of-way[R]. New York, 2021.
[16] Transportation Alternatives. NYC 25x25: a challenge to New York city's next leaders to give streets back to people[R]. New York, 2021.
[17] 卓健, 吴卓焯, 徐逸菁. 路权共享导向的开放街区规划设计策略[J]. 规划师, 2017, 33

- (7): 19-25.
- [18] 施澄,袁琦,潘海啸,等.街道空间步行适宜性测度与设计导控:以上海静安寺片区为例[J].上海城市规划,2020(5):71-79.
- [19] HUANG B, FENG Z, PAN Z, et al. Amount of and proximity to blue spaces and general health among older Chinese adults in private and public housing: a national population study[J]. *Health & Place*, 2022, 74: 102774.
- [20] YEN H Y, CHIU H L, HUANG H Y. Green and blue physical activity for quality of life: a systematic review and meta-analysis of randomized control trials[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2021, 212. DOI:10.1016/j.landurbplan.2021.104093.
- [21] 谢波,伍蕾,王兰.基于自然实验的城市绿道对居民中高强度体力活动的影响研究[J].风景园林,2021,28(5):30-35.
- [22] 王兰,廖舒文,赵晓菁.健康城市规划路径与要素辨析[J].国际城市规划,2016,31(4):4-9.
- [23] MCDUGALL C W, HANLEY N, QUILLIAM R S, et al. Neighbourhood blue space and mental health: a nationwide ecological study of antidepressant medication prescribed to older adults[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2021, 214(4): 104132.
- [24] 谢波,凌昌隆,王兰.城市街道模式对交通安全的影响研究:以武汉市主城区为例[J].城市规划,2022,46(8):75-83.
- [25] 颜文涛,卢江林,李子豪,等.城市街道网络的韧性测度与空间解析:五大全球城市比较研究[J].国际城市规划,2021,36(5):1-12.
- [26] 龙瀛,赵健婷,李双金,等.中国主要城市街道步行指数的大规模测度[J].新建筑,2018(3):4-8.
- [27] 宋小冬,陶颖,潘洁雯,等.城市街道网络分析方法比较研究:以Space Syntax,sDNA和UNA为例[J].城市规划学刊,2020(2):19-24.
- [28] 车冠琼,仇保兴,杨滔.街道网络结构与土地利用布局对人流分布的影响[J].西部人居环境学刊,2021,36(2):87-94.
- [29] 宋小冬,李晓晗,齐文菲,等.城市道路网络拓扑结构对常规公共交通的适宜性评价[J].城市规划学刊,2020(4):43-50.
- [30] 叶宇,黄镡,张灵珠.多源数据与深度学习支持下的人本城市设计:以上海苏州河两岸城市绿道规划研究为例[J].风景园林,2021,28(1):39-45.
- [31] 曹根榕,卓健.城市老年人步行购物对商业设施选择的空间影响因素分析:基于上海中心城区3个典型居住区的实证研究[J].上海城市规划,2017(4):101-106.
- [32] 郝新华,龙瀛,石森,等.北京街道活力:测度、影响因素与规划设计启示[J].上海城市规划,2016(3):37-45.
- [33] 杨俊宴,吴浩,郑屹.基于多源大数据的城市街道可步行性空间特征及优化策略研究:以南京市中心城区为例[J].国际城市规划,2019,34(5):33-42.
- [34] 惠英,廖佳妹,张雪诺,等.基于行为活动模式的儿童友好型街道设计研究[J].城市规划学刊,2021(6):92-99.
- [35] ASHBULLBY K J, PAHL S, WEBLEY P, et al. The beach as a setting for families health promotion: a qualitative study with parents and children living in coastal regions in southwest England[J]. *Health Place*, 2013, 23:138-147.
- [36] 千靓,杨伟光,王兰.影响亲自然活动多样性的城市滨江绿地空间特征识别与设计优化:以上海黄浦江沿岸为例[J].城市发展研究,2022,29(7):67-73.
- [37] BRAY I, REECE R, SINNETT D, et al. Exploring the role of exposure to green space in preventing anxiety and depression among young people aged 14-24 living in urban settings: a systematic review[J]. 2021.DOI:10.21203/rs.3.rs-255123/v1.
- [38] DEMPSEY S, DEVINE M T, GILLESPIE T, et al. Coastal blue space and depression in older adults. [J]. *Papers*, 2018. DOI:10.1016/J.HEALTHPLACE.2018.09.002.
- [39] 陈玉洁,袁媛,周钰荃,等.蓝绿空间暴露对老年人健康的邻里影响:以广州市为例[J].地理科学,2020,40(10):1679-1687.
- [40] 西蒙·贝尔.公众健康和幸福感考量的城市蓝色空间:城市景观研究新领域[J].风景园林,2019,26(9):119-131.
- [41] WHITE M P, PAHL S, WHEELER B W, et al. Natural environments and subjective wellbeing: different types of exposure are associated with different aspects of wellbeing[J]. *Health & Place*, 2017, 45: 77-84.
- [42] 王兰,蒋希冀,汪子涵,等.绿色空间对呼吸健康的影响研究综述及综合分析框架[J].风景园林,2021,28(5):10-15.
- [43] KUEHN S, DUEZEL S, MASCHEREK A, et al. Urban green is more than the absence of city: structural and functional neural basis of urbanicity and green space in the neighbourhood of older adults[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2021.DOI:10.1016/j.landurbplan.2021.104196.
- [44] 王兰,张雅兰,邱明,等.以体力活动多样性为导向的城市绿地空间设计优化策略[J].中国园林,2019,35(1):56-61.
- [45] 赵广英,宋聚生.城市用地功能混合测度的方法改进[J].城市规划学刊,2022(1):51-58.
- [46] 郝新华,龙瀛,石森,等.北京街道活力:测度、影响因素与规划设计启示[J].上海城市规划,2016(3):37-45.
- [47] 全德,孙裔煜,谢苗苗.基于改进高斯两步移动搜索法的深圳市公园绿地可达性评价[J].地理科学进展,2021,40(7):1113-1126.
- [48] 樊钧,唐皓明,叶宇.街道慢行品质的多维度评价与导控策略:基于多源城市数据的整合分析[J].规划师,2019,35(14):5-11.
- [49] 张晓春,邵源,安健,等.数据驱动的活动规划技术体系构建与实践探索:以深圳市福田区中心区街道品质提升为例[J].城市规划学刊,2021(5):49-57.
- [50] 童明,王澍,王世福,等.“高品质公共空间的协同营造机制”学术笔谈[J].城市规划学刊,2021(1):1-9.
- [51] 吴志强,王凯,陈韦,等.“社区空间精细化治理的创新思考”学术笔谈[J].城市规划学刊,2020(3):1-14.
- [52] 潘海啸,刘冰.关于“小街区”规划设计的几点探讨[J].城市规划学刊,2019(S1):220-226.
- [53] 刘珺,王德,王昊阳.上海市老年人休闲步行环境评价研究:基于步行行为偏好的实证案例[J].上海城市规划,2017(1):43-49.
- [54] 黄晶,王磊,贾新锋,等.公交友好导向下的步行路径选择评价与街道空间优化[J].城市规划学刊,2021(2):87-93.
- [55] 黄建中,胡刚钰,李敏.老年视角下社区服务设施布局适宜性研究:基于步行指数的方法[J].城市规划学刊,2016(6):45-53.
- [56] 奚婷霞,匡晓明,朱弋宇,等.基于人感知维度的街道更新设计引导探索:以上海市静安区彭浦镇美丽街区更新改造为例[J].城市规划学刊,2019(S1):168-176.