

# 建成环境与灯光对夜间步行的影响探究\*

## ——以南京市主城区为例

The Influence of Built Environment and Lighting on Night Walking: A Case Study of Nanjing

程 龙 何周倩 何仲禹 苏 杰 张 恒 李雪扬 CHENG Long, HE Zhouqian, HE Zhongyu, SU Jie, ZHANG Heng, LI Xueyang

**摘 要** 夜间城市是夜间消费的空间载体,夜间步行是夜间消费的行为载体,城市的建成环境对人类步行出行的影响是客观且显著存在的。聚焦于夜间时段,依托于南京市居民出行的活动日志和GPS与GSM调查,根据不同出行目的将居民步行行为分为休闲型步行和功能型步行,构建多元回归模型探究建成环境和城市灯光对居民夜间步行长度的影响程度。研究表明:(1) 夜间步行长度与年龄、灯光强度、POI职能丰富度、商业设施密度显著正相关;与住宅密度、交通设施密度、建筑密度显著负相关;(2) 休闲型步行和功能型步行在路径时长、影响因素方面存在差异。基于研究结果,对如何构建更加健康的夜间城市提出相关规划建议。

**Abstract** Night city is the spatial carrier of night consumption, and nighttime walking is the behavioral carrier of night consumption. The impact of urban built environment on walking is objective and significant. This paper focuses on the nighttime period, based on the activity logs of GPS and GSM surveys of Nanjing residents, analyzing residents' walking behaviors at nighttime. The walking behaviors are divided into leisure walking and functional walking according to different travel purposes, and then a multiple regression model is used to investigate the influence of built environment and city lighting on the length of nighttime walking. The results indicate that: (1) The nighttime walking length is positively correlated with age, light intensity, POI functional richness and commercial facility density, while negatively correlated with residential density, traffic facility density and building density; (2) There are discrepancies between leisure walking and functional walking in terms of path length and influencing factors. Based on the results of the research, this paper raises some proposals on how to build a more dynamic night city.

**关键词** 夜间步行; 建成环境; 城市灯光; 健康城市

**Key words** night walking; built environment; city lighting; healthy city

文章编号 1673-8985 (2022) 04-0109-08 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. sup. 20220418

### 作者简介

#### 程 龙

南京大学建筑与城市规划学院  
硕士研究生

#### 何周倩

南京大学建筑与城市规划学院  
硕士研究生

#### 何仲禹 (通信作者)

南京大学建筑与城市规划学院  
副教授, hezy@nju.edu.cn

#### 苏 杰

南京大学建筑与城市规划学院  
张 恒

南京大学建筑与城市规划学院

#### 李雪扬

南京大学建筑与城市规划学院

### 0 引言

随着现代城市的夜间经济发展,“白天工作、夜间生活”已成为常态,夜间作为一个特殊的时间段,是居民城市生活中必不可少的部分,并且夜间经济作为第三产业营收的重要组

\*基金项目:国家自然科学基金“高龄社会背景下建成环境对中老年人群健康的主动干预研究”(编号51678288)资助。

成部分也被视为城市经济发展新的增长点。夜间城市是夜间消费的空间载体,夜间步行是夜间消费的行为载体,通过研究居民夜间出行的影响因素可以发现夜间城市的特征和问题,从而改善夜间步行环境,提升居民生活质量,优化游客消费体验。

时空间行为研究为理解人类活动和城市环境之间在时空间上的复杂关系提供了独特的视角<sup>[1]</sup>。从研究内容来看,关于居民出行特征和出行行为影响因素的研究均较为丰富,出行行为影响因素主要包括建成环境、社群属性和心理感知。其中,不同的城市物质环境对步行出行的影响是客观而且显著存在的。其中,住宅密度、周边服务设施、土地利用多样性、公交可达性、环境安全性、环境愉悦性等直接影响居民出行行为的选择<sup>[2-5]</sup>。针对生计出行、生活出行、娱乐出行等不同目的的出行行为,建成环境对居民出行影响也存在差异<sup>[6]</sup>。居民出行行为的相关研究开始将研究对象转向老年人、青年人等不同群体的出行行为<sup>[8-11]</sup>,年龄、收入、汽车拥有量、家庭人口规模等社会属性也会影响居民的出行行为<sup>[12-14]</sup>。居民对自身健康的主观认知、低碳知识与习惯等其他心理因素也是影响居民出行的具体因素<sup>[15]108, [16]</sup>。从研究方法来看,20世纪90年代活动日志调查是西方时空间行为研究的主要数据来源,但由于活动日志本身的局限,问卷数据精度和有效性存在一定的误差<sup>[17]</sup>。经过20年的发展,现已逐渐形成以出行调查<sup>[18]</sup>、活动日志调查<sup>[15]111</sup>、GPS与GSM调查<sup>[19]</sup>和大规模交通数据<sup>[20]</sup>为支撑的时空间行为数据体系。国内外学界更多关注建成环境、社群属性和心理感知对居民出行行为产生的影响,对夜间时段的出行研究则关注较少。现有关于夜间居民出行特征及影响因素的研究主要聚焦于建成环境的夜间活力时空分布特征分析<sup>[21-22]</sup>。其中,裴昱分析北京二环内夜间街道的活力,发现夜间街道活力受到街道形态和街道功能的显著影响,而街道可达性对其影响并不显著<sup>[23]111</sup>。王苑<sup>[24]</sup>研究不同社区类型中居民的夜间出行特征,发现路网密度、土地混合度、CBD可达性等社区建成环境均

影响居民夜间的出行概率和出行方式。但上述研究未讨论灯光对居民夜间出行活动与城市夜间活力的影响,需要进一步研究。

随着遥感信息技术的快速发展,夜间灯光数据质量不断提升,夜间灯光数据有了更加广阔的应用。目前国内外主要利用夜间灯光数据进行城市化进程研究、不透水面提取、社会经济指标空间化估算、重大事件评估、生态环境评估等<sup>[25]</sup>。相较于DMSP/OLS和NPP-VIIRS夜间灯光数据,吉林一号(JL1-3B)和珞珈一号(LJ1-01)在空间分辨率和光谱信息方面具有一定的优势,其中吉林一号(JL1-3B)能够实现空间分辨率为0.92 m的多光谱(红、绿、蓝)夜间灯光成像<sup>[26]</sup>。更高精度的灯光数据为街区尺度级别的研究提供了更加精细的数据支撑,如识别建设用地<sup>[27]</sup>、评估光污染趋势<sup>[28]</sup>、分析光照对鸟类夜间迁徙等影响<sup>[29]</sup>。以往关于灯光对人类健康影响的研究多基于室内照明,即研究室内人工光与人类活动和健康的相互作用,而关于户外光照水平对人类活动和健康的影响的研究仍然有限<sup>[30]</sup>。

本文选择夜间这一特殊时段,聚焦于与人类活动和健康联系紧密的步行行为,旨在对居民夜间步行与建成环境的相关性做出量化评价。通过总结可步行性街道的已有研究,探讨城市功能、城市形态、城市可达性、夜间灯光强度等要素对居民步行长度和类型的影响,并基于研究结果对夜间城市与街道建设提出优化建议。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究范围

本文空间研究范围为南京市主城区的中心地区,如图1所示,面积为131.73 km<sup>2</sup>。研究范围内公共设施配套完善,夜间业态丰富,包括新街口、夫子庙、老门东、玄武湖公园等重要的商圈和公共活动场所,是居民夜间出行的热点区域之一。本文着眼于城市居民下班后到深夜休息前在城市中所进行夜间步行的活动特征。1:00后城市的夜间活动和人群相对比较单一,为了保证研究的准确性,本文将夜间时

间段定为18:00至次日1:00。

### 1.2 数据来源

本文的研究数据主要包含居民出行路径数据、路网、地图兴趣点(POI)、夜间灯光数据和现状用地分类。

(1) 居民出行数据:利用活动日志调查与基于GPS、GSM两种不同定位方式的移动数据采集相结合的方法,以定位设备为基础,以互动式调查网站为平台,获取居民一周活动时空轨迹。本文共选择了300名南京居民作为志愿者,记录其2019年5月—7月期间任意一个星期的出行路径数据,共计9 812条。

(2) 地图兴趣点(POI):POI数据取自某大型地图网站,经过定义坐标和投影,删除异常点,根据选取的范围,爬取共计11大类,113 798条POI数据。POI数据中包括名称、位置、分类等信息。

(3) 夜间灯光数据(2018年):通过吉林一号(JL1-3B)获取夜间灯光数据卫星片,获取研究范围的夜间灯光影像,拍摄日期为2018年5月8日晚上10点,投影坐标系为WGS\_1984\_UTM\_Zone\_50N。

(4) 现状用地分类:参考《城市用地分类与规划建设用地标准(GB50137-2011)》,将原始地块数据分为8类:R(居住用地)、A(公共管理与公共服务用地)、B(商业服务业设施用地)、M(工业用地)、W(物流仓储用地)、



图1 研究范围  
Fig.1 Study area

资料来源:笔者自绘。

S(道路与交通设施用地)、U(公用设施用地)、G(绿地与广场用地)。

(5) 现状建筑数据:现状建筑数据取自某大型地图网站,矢量数据包括建筑边界和层数。

### 1.3 研究框架

研究框架如图2所示。首先,量化评价城市功能、城市形态、城市可达性和夜间灯光4个夜间城市建成环境指标,描述夜间出行的居民属性和研究范围的建成环境特征;其次,将夜间步行分为休闲型和功能型两类,判别4项指标与两类步行长度的相关性;最后,基于分析研究成果对夜间城市规划及街道建设提出相关优化建议。

### 1.4 研究方法

#### 1.4.1 居民夜间步行量化评价

按照经过空间、时间和步行行为3个方面指标筛选居民夜间步行路径,样本中共计89位居民和328条路径符合要求。居民信息包括性别、体重、身高、年龄、学历、年收入;路径信息包括出发时间、到达时间、出行目的、出发地点、到达地点、路径长度。本文以步行距离作为

城区的宜步行性<sup>[7]104</sup>,每条路径设置100 m缓冲区,分区统计各个影响因素对路径的影响程度,居民出行轨迹如图3所示。

#### 1.4.2 城市建成环境量化评价

在充分考虑已有研究中居民出行影响因素的基础上,本文从城市功能、城市形态、城市可达性和夜间灯光4个方面选择指标,构建具体的测度指标。

##### (1) 城市功能指标

将城市各项服务功能密度和城市职能丰富度作为城市功能的量化指标。城市各项服务功能密度:采用核密度分析分别对南京中心城区商业、交通、住宅和公园分布状况进行计算。其计算方法为:

$$P(x_i) = \frac{1}{nh} \sum_{j=1}^n K\left(\frac{x_i - x_j}{h}\right) \quad (1)$$

式中: $K$ 为核函数; $h$ 为带宽; $x_i - x_j$ 为测算点 $x_i$ 到样本点 $x_j$ 的距离。

城市职能丰富度:借鉴测度生态系统丰富性的辛普森指数,计算南京市主城区 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 网格内服务职能多样性。其计算公式为:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{N}\right)^2 \quad (2)$$

式中: $D$ 为每个格网的辛普森指数; $N_i$ 表示格网内 $i$ 类POI的数量; $N$ 表示全部POI数目。 $D$ 越接近1,该格网所提供的职能丰富度越高<sup>[31]</sup>。

##### (2) 城市形态指标

根据容积率和建筑密度对城市形态进行量化评价,将主城区划分为 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的格网,统计格网内容积率与建筑密度。

$$\text{容积率} = \frac{\text{格网内建筑面积} \times \text{层数}}{(100\text{ m} \times 100\text{ m 格网面积})} \quad (3)$$

$$\text{建筑密度} = \frac{\text{格网内建筑面积}}{(100\text{ m} \times 100\text{ m 格网面积})} \quad (4)$$

##### (3) 城市可达性指标

根据道路密度和交叉口密度对城市可达性进行量化评价<sup>[23]112</sup>。

$$\text{道路密度} = \frac{\text{道路长度}}{\text{区域面积}} \quad (5)$$

$$\text{交叉口密度} = \frac{1}{\text{以每个交叉口为基点的泰森多边形的面积}} \quad (6)$$

##### (4) 夜间灯光指标

根据灯光强度对夜间城市进行量化评价。

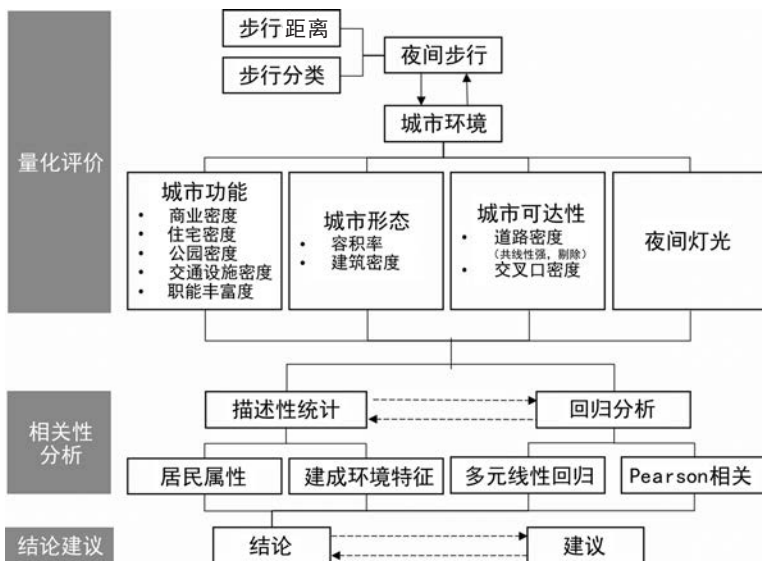


图2 研究框架  
Fig.2 Study framework

资料来源:笔者自绘。



图3 居民出行轨迹图  
Fig.3 Travel path map of residents

资料来源:笔者自绘。

吉林一号 (JL1-03) 主要由红、绿、蓝3个波段组成,其亮度值的计算公式为:

$$\text{brightness} = 0.2989 \times \text{red} + 0.5870 \times \text{green} + 0.1140 \times \text{blue}^{[32]} \quad (7)$$

## 2 建成环境与步行行为特征分析

### 2.1 居民特征

89位居民属性特征如表1所示, BMI均值为23.24 kg/m<sup>2</sup>, 其男女比为36:53, 平均学历在高中/中专以上, 平均住房面积为76.86 m<sup>2</sup>,

表1 居民特征描述性统计

Tab.1 Descriptive statistics of resident characters

居民特征	N	最小值	最大值	均值	标准偏差
BMI (身体质量指数 BMI= 体重 / 身高 <sup>2</sup> )	89	16.94	28.40	23.24	2.45
性别 (1= 男性, 2= 女性)	89	1	2	1.60	0.49
年龄 (1=18 岁以下, 2=18—25 岁, 3=26—40 岁, 4=41—50 岁, 5=51—60 岁, 6=60 岁以上)	89	1	6	3.09	1.39
学历 (1= 初中及以下, 2= 高中 / 中专, 3= 本科 / 大专, 4= 硕士及以上)	89	1	3	2.66	0.50
家庭年收入 (1=7 万元以下, 2=7 万—10 万元, 3=10 万—12 万元, 4=15 万—20 万元, 6=20 万—30 万元, 7=30 万—50 万元, 8=50 万元以上)	89	1	8	3.19	1.57
住房面积 /m <sup>2</sup>	89	30	141	76.86	19.77
小汽车数量 / 辆	89	1	3	1.62	0.57
夜间出行次数 / 次	89	1	14	3.69	3.20

资料来源:笔者自制。

表2 两类步行路径特征描述性统计

Tab.2 Descriptive statistics of two kinds of walking routes characters

行为分类	出行目的	计数 / 人	路径长度 /m	时长 /min
功能型步行	功能型步行小计	152	2 001.49	23.65
	办事	5	1 445.62	18.60
	带孩子上课	2	531.25	13.50
	回家	130	2 044.08	23.74
	看病	2	492.44	14.00
	上班	3	1 078.16	16.67
	下班	10	2 598.57	31.10
休闲型步行	休闲型步行小计	176	1 909.89	33.89
	吃饭	9	1 347.54	33.33
	锻炼	33	2 203.81	29.64
	逛街购物	16	1 315.94	23.94
	遛狗	11	1 102.00	28.18
	散步	98	2 024.11	36.36
	跳舞	9	2 194.16	47.78
总计		328	1 952.34	29.14

资料来源:笔者自制。

平均拥有小汽车数量1.62辆,平均每人每周夜间步行3.67次。

### 2.2 夜间出行路径特征

统计328条夜间出行轨迹数据,两类步行路径特征描述性统计如表2所示。居民夜间步行路径的平均长度为1 952.34 m,平均时长为29.14 min。

根据出行目的的不同分为休闲型步行和功能型步行,功能型步行是指有特定起点和终点且具有方向性和较强目的性的步行,包括回家、下班、陪

孩子补习等,而休闲型步行是指目的性和方向性较弱的步行<sup>[33]</sup>,包括散步、跳舞、逛街、遛狗等。由表2可知,功能型步行出行目的以回家为主,平均长度为2 001.49 m,平均时长为23.65 min,步行速度约为84.62 m/min。休闲型步行出行目的以散步、锻炼、逛街购物、遛狗等为主,活动类型多元化,平均长度为1 909.89 m,平均时长为33.89 min,速度较慢,约为56.35 m/min。

### 2.3 建成环境特征

建成环境特征如图4所示,商业设施、交通设施和交叉口高密度区都沿中山路和中山北路沿线向外拓展呈现出圈层结构特征,新街口地区是此类设施的集中分布区。住宅高密度区集中在河西新城。公园分布相对集中于玄武湖、紫金山和五台山周边区域。容积率、建筑密度高值区域集中分布在新街口、紫峰大厦、万达等商圈附近。步行路径100 m缓冲区范围内的建成环境特征如表3所示。

### 2.4 夜间灯光强度分布特征

南京市主城区夜间灯光遥感如图5所示,灯光高值呈现点、线、面式集中分布和地块内部零星分布并存的格局特征。面状灯光高值主要集中在:一是商业区如新街口片区、鼓楼片区、夫子庙景区、集庆门大街等;二是大型区域交通枢纽,如南京火车站。线状灯光高值集中于各条主干道的现象非常明显,高等级道路特别是大型立交桥地段的灯光强度更高,玄武湖内部局部绿道也有较高的灯光强度。点状灯光高值主要分布在:一是体育中心,如江苏省五台山体育中心;二是历史文化设施,如江苏省博物院、老门东和大报恩寺等;三是各个地铁站等。而地块内部的居住区和小型商业设施地段的灯光高值呈现零星分布的格局。

## 3 夜间出行的影响因素

### 3.1 模型及变量选取

为了揭示建成环境对步行距离的影响,建立2个模型对全样本进行多元回归分析,依次考察个人社会经济属性(模型1)、建成环境与

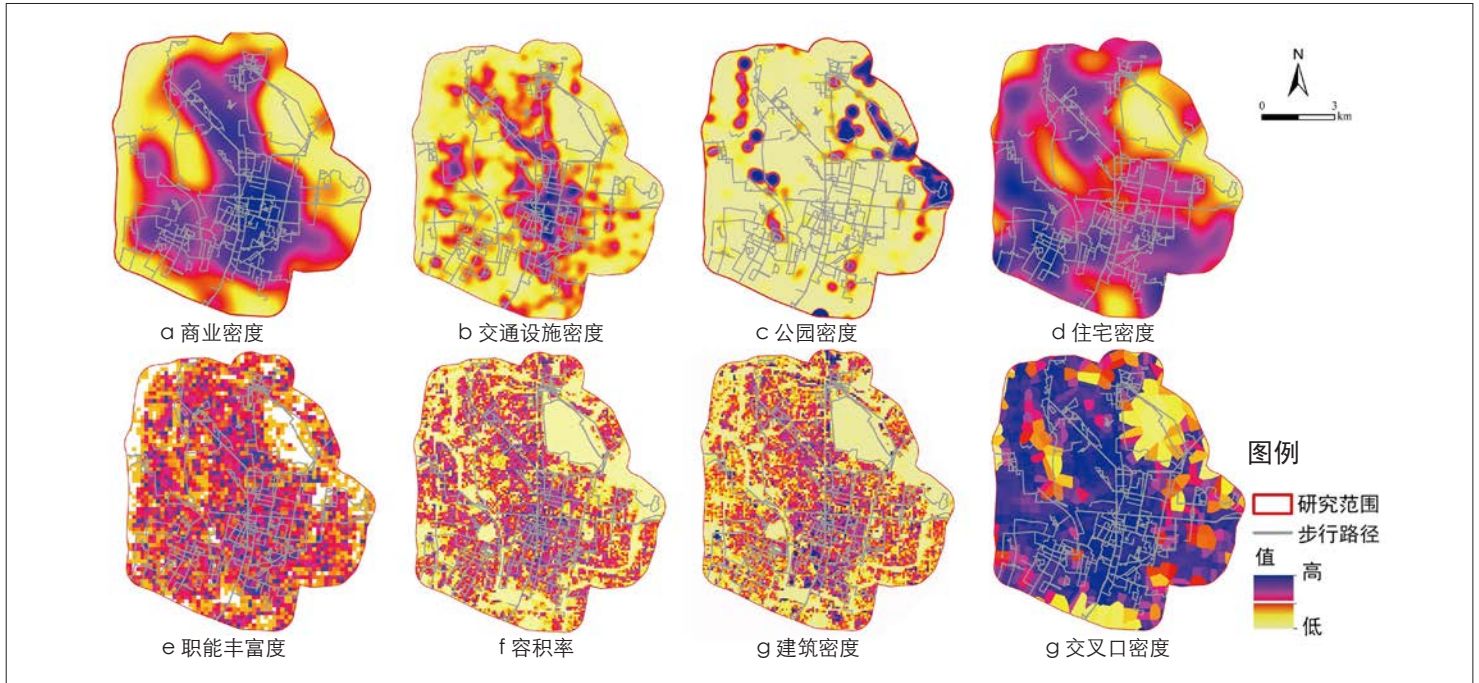


图4 建成环境特征分析  
Fig.4 Built environment characteristics analysis

资料来源:笔者自绘。

表3 建成环境描述性统计  
Tab. 3 Descriptive statistics of built environment

变量名称	总体样本		休闲型步行		功能型步行	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
灯光平均值	81.84	21.38	80.38	22.37	83.53	20.11
POI 职能丰富度	0.76	0.17	0.76	0.17	0.75	0.00
交叉口密度	1.97	1.34	1.78	1.29	2.20	1.36
商业设施密度	758.98	467.45	723.62	459.78	799.91	474.40
住宅密度	367 908.18	81 517.47	369 572.19	76 196.39	365 981.43	87 491.33
公园密度	68 759.76	90 447.95	61 399.53	78 670.71	77 282.13	102 015.08
交通设施密度	50.73	23.91	49.85	23.94	51.75	23.92
建筑密度	0.24	0.09	0.24	0.08	0.24	0.09
容积率	1.34	0.81	1.28	0.77	1.40	0.86

资料来源:笔者自制。

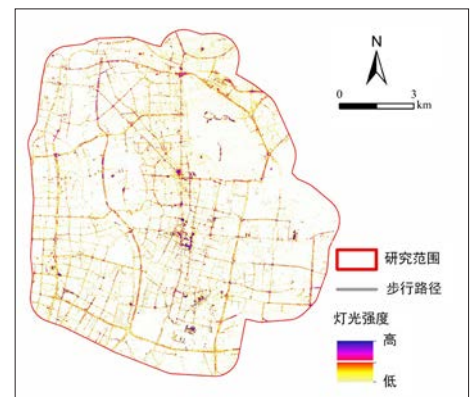


图5 南京市主城区夜间灯光遥感数据  
Fig.5 Night-time light remote sensing data for the main city of Nanjing

资料来源:笔者自绘。

城市灯光(模型2)对路径长度的影响。在接下来的研究中对两类步行分别进行回归分析(模型3、4)。在回归模型中,因变量为路径长度,直接反映居民的步行强度。经检验,因变量取对数后,样本的得分分布偏度为0.267,峰度为0.363,两者均小于1且接近0,基本符合正态分布,且因变量属于连续变量,因此可采用多元线性回归模型进行拟合。

该模型中,个人社会属性作为控制变量,

解释变量则包括建成环境和灯光强度两类。具体选择的自变量为:个人属性,包括BMI、性别、年龄、学历、家庭年收入、住房面积和小汽车数量;建成环境特征,包括POI职能丰富度、交叉口密度、商业设施密度、住宅密度、公园密度、交通设施密度、建筑密度和容积率。

### 3.2 模型结果及分析

模型1对路径长度进行多元线性回归分

析,解释变量为个人经济社会属性;模型2的解释变量增加了建成环境和灯光强度指标;而模型3和模型4分别是休闲型步行和功能型步行的回归结果(见表4)。从模型的拟合信息看,模型1的总体显著性为0.018,模型2、3、4的总体显著性均为0.001, VIF系数均小于5,拟合程度均达到预期。模型对功能型步行的解释度高于对休闲型步行的解释度,说明休闲型步行的路径长度受更多的不确定因素影响。可以

表4 解释变量与ln路径长度的多元线性回归模型结果

Tab. 4 Multiple linear regression model results of explanatory variables and logarithm of path length

变量	回归系数			
	模型 1 (全体样本)	模型 2 (全体样本)	模型 3 (休闲型步行)	模型 4 (功能型步行)
BMI	-0.012	-0.003	0.050	-0.017
性别	-0.066	-0.019	-0.002	-0.026
年龄	0.085	0.120**	0.155**	0.074
学历	0.109*	0.081	0.065	0.107
家庭年收入	0.126**	0.059	0.150**	-0.062
住房面积	-0.021	0.052	0.003	0.149*
小汽车数量	0.023	0.022	0.018	0.010
灯光强度	—	0.183***	0.192***	0.157**
POI 职能丰富度	—	0.331***	0.318***	0.320***
交叉口密度	—	0.043	0.065	0.025
商业设施密度	—	0.340***	0.290**	0.352***
住宅密度	—	-0.096*	-0.417**	-0.032
公园密度	—	-0.049	0.001	-0.108
交通设施密度	—	-0.392***	-0.339***	-0.394***
建筑密度	—	-0.306***	-0.228***	-0.361***
容积率	—	-0.079	-0.016	-0.156*
常量	7.157***	7.156***	7.180***	7.128***
R <sup>2</sup>	0.041	0.371	0.357	0.454
Adj. R <sup>2</sup>	0.020	0.339	0.292	0.389
N	328	328	176	152

注：\*、\*\*、\*\*\*分别代表0.1、0.05、0.01水平上的显著性。

资料来源：笔者自制。

发现，灯光强度在各个模型中均与路径长度显著正相关。

### 3.2.1 个体特征对步行距离的影响

个体层面特征中，年龄（模型2： $B=0.120$ ， $p<0.05$ ）对步行距离具有显著的正向影响，是影响步行距离的主要因素。这可能是因为年长人群工作压力的减少及对身体健康的重视使其更偏向于步行的交通方式。

休闲型步行和功能型步行的结果差异较大，年龄和家庭年收入与休闲型步行的路径长度显著正相关，说明年龄越大、家庭年收入越高，居民的休闲型步行距离越长。这与常规认知相符。而住房面积与功能型步行的路径长度显著正相关，这可能因为住房面积越大，居民住宅的区位便利性越低，因此出行距离越长。而BMI、小汽车数量的因素在模型检验中并不显著。

### 3.2.2 建成环境对步行距离的影响

在解释变量方面，灯光强度、POI职能丰富度、商业设施密度与总体样本的路径长度显著正相关。其中，商业设施密度（模型2： $B=0.340$ ， $p<0.01$ ）是最主要的影响因素，商业设施密度可表征地价高、人流量大的中心地区，与人们的各类出行活动密切相关，商业设施密度的提高可以显著增加人们的步行距离。其次是POI职能丰富度（模型2： $B=0.331$ ， $p<0.01$ ），POI职能丰富度表征业态综合程度，间接表明土地利用混合程度的提高能显著增加人们的步行距离。灯光强度（模型2： $B=0.183$ ， $p<0.01$ ）能够提升人们的夜间步行安全感与舒适性，因此能够延长人们的步行距离。

而交通设施密度、建筑密度、住宅密度与总体样本的路径长度显著负相关。其中，

负向影响程度最大的因素是交通设施密度（模型2： $B=-0.392$ ， $p<0.01$ ），交通工具及其接驳越便捷，居民选择其他交通方式的可能性就越大，抑制了步行距离。其次是建筑密度（模型2： $B=-0.306$ ， $p<0.01$ ），建筑密度较高的地区相对于空旷场地更不利于居民的夜间步行。再次是住宅密度（模型2： $B=-0.096$ ， $p<0.1$ ），住宅密度高的地区多为大型居住区或连片居住区，功能较为单一，对夜间步行有抑制作用。

### 3.2.3 不同类型步行的影响因素差异分析

描述性统计结果显示，样本中功能型步行的平均距离大于休闲型步行，其平均时长小于休闲型步行，平均速度远远大于休闲型步行，验证了功能型步行和休闲型步行的差异。回归结果表明，休闲型步行和功能型步行的结果差异较大，包括：①对于功能型步行与休闲型步行距离的解释度，个人经济社会属性的影响较低，而建成环境层面的影响较高；②本次研究中的个体层面因素、建成环境因素能够共同解释功能型步行距离的38.9%，而对于休闲型步行距离只有29.2%。因此相较于功能型步行，休闲型步行距离的影响因素更加多元，可能受时间充裕程度、体力状况、个人意愿等随机因素的影响较多。

具体来说，在个人层面特征方面，休闲型步行距离与年龄（ $B=0.155$ ， $p<0.05$ ）和家庭年收入（ $B=0.150$ ， $p<0.05$ ）显著正相关。功能型步行距离与住房面积（ $B=0.149$ ， $p<0.1$ ）因素显著正相关，与其他因素均无显著相关性。可以看出，相比于功能型步行，休闲型步行距离受个人层面因素的影响更为显著。其中中年人相对于青年人的步行距离显著增长，说明随着年龄的增长，人们更加注重散步对于改善身体健康的作用。高收入人群相比低收入人群的步行距离显著增长，说明高收入人群更具有散步的意识和行为。

在建成环境特征方面，相较于休闲型步行，除了灯光强度变量外，POI职能丰富度、商业设施密度对于功能型步行的路径长度的正向影响程度更大，交通设施密度、建筑密度对

于功能型步行的负向影响更大,且住宅密度与功能型步行没有显著相关关系。这说明休闲型步行是一种需求刚性相对较弱的活动,因此各类建成环境变量对其影响程度均低于对功能型步行的影响,而灯光强度对两者的影响程度相当。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

不同的建成环境和不同时间对居民步行出行的影响是客观且显著存在的。夜间作为一个特殊的时间段,是居民生活与活动中必不可少的部分,但现有研究较少从夜间时段探讨建成环境与城市灯光对居民活动的影响。因此,本文选择夜间这一特殊时段,聚焦于与人类活动和健康联系紧密的步行行为,旨在对居民夜间步行与建成环境的相关性做出量化评价。

研究表明,居民夜间步行的平均长度为1 952.34 m,平均时长为29.14 min。功能型步行和休闲型步行的平均长度差异较小,但二者平均花费时间和出发时间存在差异。二者的差异为夜间经济和夜间城市的建设提供支撑,并且更多地关注休闲型步行,提升夜间街道的品质与活力。在相关性分析中,个人属性方面,年龄与夜间路径长度显著相关。建成环境属性方面,灯光强度、POI职能丰富度、商业设施密度与夜间路径长度显著正相关。住宅密度、交通设施密度、建筑密度与路径长度显著负相关。公园密度、容积率和交叉口密度与路径长度没有显著关系。对于两类夜间步行,休闲型步行与年龄、家庭年收入、灯光强度、POI职能丰富度显著正相关,与住宅密度、交通设施密度显著负相关。功能型步行与住房面积、灯光强度、POI职能丰富度、商业设施密度显著正相关,与交通设施密度、建筑密度、容积率显著负相关。

### 4.2 讨论

本文对提升夜间城市建设与发展夜间经济有一定实践指导意义。一方面,考虑不同建

成环境因素改变的可行性,在功能方面,不仅在空间上倡导地块的混合功能,而且应从不同的时间维度考虑“多功能化”,在适宜发展夜间经济的片区内,提高地块功能的丰富度和街道功能密度等,从而促进夜间经济的发展。另一方面,夜间灯光可以保证居民出行的安全感,从而提升人在夜间生活的安全感和舒适感。然而,当前不少地方存在照明设施规划设计的缺失与不足,不仅会为夜间经济的发展增加阻力,也会诱发城市犯罪事件。但同时过度亮化会造成城市环境破坏、生态系统危害、美丽夜空消失、能源浪费等不良影响<sup>[34]</sup>。因此城市管理者应适度调度城市灯光资源,这样不仅可以保障城市与居民的安全,还可提升城市夜间灯光的品质,为居民的夜间出行提供更多的视觉景观,拉动夜间旅游和消费。

下一步研究可以从以下3个方面进行完善和发展。首先,步行路径长度是对步行行为的一种认可度,但无法细化表征人对步行环境的其他主观认知情况,如对步行的满意度、对活动场所的认知度等。其次,本文以南京市主城区为空间范围,空间样本仍具有一定的局限性,尤其是不同社会、文化、气候的城市在普适性方面仍需要进行进一步的实证研究。最后,城市形态方面,本文考虑了建筑密度和容积率两方面因素,在后续研究中应该对城市空间进行精细化测度,用更多的指标衡量夜间城市形态测度。■

## 参考文献 References

- [1] KWAN M. Feminist visualization: re-envisioning GIS as a method in feminist geographic research[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2002, 92(4): 645-661.
- [2] 陈泳,何宁.轨道交通站地区宜步行环境及影响因素分析——上海市12个生活住区的实证研究[J]. *城市规划学刊*, 2012 (6): 96-104.

- [3] CHEN Yong, HE Ning. Analysis of walkable environment and influential factors in rail transit station areas: case study of 12 neighborhoods in Shanghai[J]. *Urban Planning Forum*, 2012(6): 96-104.
- [3] 林红,李军.出行空间分布与土地利用混合程度关系研究——以广州中心片区为例[J]. *城市规划*, 2008 (9): 53-56, 74.
- [4] LIN Hong, LI Jun. Relations between spatial distribution of resident trips and mixed degree of land use: a case study of Guangzhou[J]. *City Planning Review*, 2008(9): 53-56, 74.
- [4] 马苏芮,赵鹏军.历史城区街巷环境对步行出行的影响——以北京前门地区为例[J]. *西北师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 53 (6): 105-113.
- [4] MA Surui, ZHAO Pengjun. Relationship between road environment and walking behavior in historical district: a case study in Qianmen area in Beijing[J]. *Journal of Northwest Normal University (Natural Science)*, 2017, 53(6): 105-113.
- [5] 周杰娜,李洋,傅华.居住周边环境对居民体力活动水平影响的研究进展[J]. *中国健康教育*, 2012, 28 (9): 769-771, 781.
- [5] ZHOU Rena, LI Yang, FU Hua. Review of residential neighborhood environment influence on residents physical activity[J]. *Chinese Journal of Health Education*, 2012, 28(9): 769-771, 781.
- [6] PRASHKER J, SHIFTAN Y, HERSHKOVITCH-SARUSI P. Residential choice location, gender and the commute trip to work in Tel Aviv[J]. *Journal of Transport Geography*, 2008, 16(5): 332-341.
- [7] 杨励雅,王振波.城市社区建成环境对居民日常出行行为的影响分析[J]. *经济地理*, 2019, 39 (4): 101-108.
- [7] YANG Liya, WANG Zhenbo. Impact of residential built environment on daily travel behavior[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(4): 101-108.
- [8] DING D, SALLIS J F, KERR J, et al. Neighborhood environment and physical activity among youth a review[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2011, 41(4): 442-455.
- [9] ZHANG Y, LI Y, LIU Q, et al. The built environment and walking activity of the elderly: an empirical analysis in the Zhongshan Metropolitan Area, China[J]. *Sustainability*, 2014, 6(2): 1076-1092.
- [10] 柴彦威,刘璇.城市老龄化问题研究的时间地理学框架与展望[J]. *地域研究与开发*, 2002 (3): 55-59.
- [10] CHAI Yanwei, LIU Xuan. A time geographical framework and prospect of urban ageing study[J]. *Areal Research and Development*, 2002(3): 55-59.
- [11] 冯建喜,杨振山.南京市城市老年人出行行为的影响因素[J]. *地理科学进展*, 2015, 34 (12): 1598-1608.
- [11] FENG Jianxi, YANG Zhenshan. Factors influencing travel behavior of urban elderly people in Nanjing[J]. *Progress in Geography*, 2015, 34(12): 1598-1608.
- [12] KIM S, ULFARSSON G F. Curbing automobile use for sustainable transportation: analysis of mode choice

- on short home-based trips[J]. *Transportation*, 2008, 35(6): 723-737.
- [13] SANTOS G, MAOH H, POTOGLLOU D, et al. Factors influencing modal split of commuting journeys in medium-size European cities[J]. *Journal of Transport Geography*, 2013, 30: 127-137.
- [14] 张艳, 柴彦威. 基于居住区比较的北京城市通勤研究[J]. *地理研究*, 2009, 28 (5): 1327-1340.
- ZHANG Yan, CHAI Yanwei. Characteristics of commuting pattern in Beijing: based on the comparison of different urban residential areas[J]. *Geographical Research*, 2009, 28(5): 1327-1340.
- [15] JIA N, LI L, LING S, et al. Influence of attitudinal and low-carbon factors on behavioral intention of commuting mode choice – a cross-city study in China[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2018, 111: 108-118.
- [16] 曹晨, 甄峰, 汪侠, 等. 基于健康视角的城市就业者通勤模式选择及影响因素研究——以南京市为例[J]. *人文地理*, 2020, 35 (1): 114-122.
- CAO Chen, ZHEN Feng, WANG Xia, et al. A research on the choice of urban employees' commuting mode and its influencing factors based on health perspective: a case of Nanjing[J]. *Human Geography*, 2020, 35(1): 114-122.
- [17] 柴彦威, 张文佳, 张艳, 等. 微观个体行为时空数据的生产过程与质量管理——以北京居民活动日志调查为例[J]. *人文地理*, 2009, 24 (6): 1-9.
- CHAI Yanwei, ZHANG Wenjia, ZHANG Yan, et al. The production and quality management of disaggregated space-time data of individual's behaviors: a case study of activity-diary survey in Beijing[J]. *Human Geography*, 2009, 24(6): 1-9.
- [18] 全永荣, 潘昭宇. 建国60周年城市交通规划发展回顾与展望[J]. *城市交通*, 2009, 7 (5): 1-7.
- QUAN Yongshen, PAN Zhaoyu. Development of urban transportation planning: looks back & ahead at 60th anniversary of P R China[J]. *Urban Transport of China*, 2009, 7(5): 1-7.
- [19] 柴彦威, 申悦, 马修军, 等. 北京居民活动与出行行为时空数据采集与管理[J]. *地理研究*, 2013, 32 (3): 441-451.
- CHAI Yanwei, SHEN Yue, MA Xiujun, et al. The collection and management of space-time data of individual behavior based on location-based technologies: a case study of activity-travel survey in Beijing[J]. *Geographical Research*, 2013, 32(3): 441-451.
- [20] FANG Z, SHAW S, TU W, et al. Spatiotemporal analysis of critical transportation links based on time geographic concepts: a case study of critical bridges in Wuhan, China[J]. *Journal of Transport Geography*, 2012, 23: 44-59.
- [21] 陈宏飞, 李君轶, 秦超, 等. 基于微博的西安市居民夜间活动时空分布研究[J]. *人文地理*, 2015, 30 (3): 57-63.
- CHEN Hongfei, LI Junyi, QIN Chao, et al. Study on spatio-temporal distribution of residents' nocturnal activities of Xi'an based on micro-blog[J]. *Human Geography*, 2015, 30(3): 57-63.
- [22] 钟炜菁, 王德. 上海市中心城区夜间活力的空间特征研究[J]. *城市规划*, 2019, 43 (6): 97-106, 114.
- ZHONG Weijing, WANG De. A study on the spatial characteristics of nighttime vitality in the city center of Shanghai[J]. *City Planning Review*, 2019, 43(6): 97-106, 114.
- [23] 裴昱, 吴雁杭, 唐义琴, 等. 基于空间数据的北京二环内夜间街道活力与影响因素分析[J]. *城市建筑*, 2018 (9): 111-116.
- PEI Yu, WU Quhang, TANG Yiqin, et al. Analysis on night vitality of streets and its impact factors within the 2nd-ring road of Beijing based on spatial data[J]. *Urbanism and Architecture*, 2018(9): 111-116.
- [24] 王苑, 杨泽宇, 于涛. 社区建成环境对居民夜间出行的影响[C]//品质与共享——2018中国城市规划年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- WANG Yuan, YANG Zeyu, YU Tao. The influence of community built environment on residents' night travel[C]//Quality and sharing: proceedings of Annual National Planning Conference of China 2018. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018.
- [25] 陈颖彪, 郑子豪, 吴志峰, 等. 夜间灯光遥感数据应用综述和展望[J]. *地理科学进展*, 2019, 38 (2): 205-223.
- CHEN Yingbiao, ZHENG Zihao, WU Zhifeng, et al. Review and prospect of application of nighttime light remote sensing data[J]. *Progress in Geography*, 2019, 38(2): 205-223.
- [26] ZHENG Q, WENG Q, HUANG L, et al. A new source of multi-spectral high spatial resolution nighttime light imagery—J11-3B[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 215: 300-312.
- [27] 李翔, 朱江, 尹向东, 等. 基于珞珈一号夜间灯光数据的广州市建设用地图识别[J]. *地球信息科学学报*, 2019, 21 (11): 1802-1810.
- LI Xiang, ZHU Jiang, YIN Xiangdong, et al. Mapping construction land of Guangzhou based on LuoJia No.1 nightlight data[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2019, 21(11): 1802-1810.
- [28] JIANG W, HE G, LONG T, et al. Potentiality of using LuoJia 1-01 nighttime light imagery to investigate artificial light pollution[J]. *Sensors*, 2018, 18(9): 2900.
- [29] VAN DOREN B M, HORTON K G, DOKTER A M, et al. High-intensity urban light installation dramatically alters nocturnal bird migration[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2017, 114(42): 11175-11180.
- [30] ZHAO M, ZHOU Y, LI X, et al. Applications of satellite remote sensing of nighttime light observations: advances, challenges, and perspectives[J]. *Remote Sensing*, 2019, 11(17): 1971.
- [31] 吴浩. 基于人本尺度的城市街道可步行性大数据测度研究[D]. 南京: 东南大学, 2018.
- WU Hao. Research on the big data measurement of urban street walkability based on human scale: a case study of Nanjing central city[D]. Nanjing: Southeast University, 2018.
- [32] ZHENG Q, JIANG R, WANG K, et al. Monitoring the trajectory of urban nighttime light hotspots using a Gaussian volume model[J]. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 2018, 65: 24-34.
- [33] KANG B, MOUDON A V, HURVITZ P M, et al. Differences in behavior, time, location, and built environment between objectively measured utilitarian and recreational walking[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2017, 57: 185-194.
- [34] 张明宇. 我国城市光污染研究回顾[J]. *照明工程学报*, 2019, 30 (5): 27-31.
- ZHANG Mingyu. Review of researches on urban light pollution in China[J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2019, 30(5): 27-31.