

基于多源新数据的城市绿地多尺度评价：针对中国主要城市的探索

Multi-scale Evaluation of Urban Green Space Based on Muti-source New Data: Exploration of Main Cities in China

李双金 马爽 张淼 龙瀛*
LI Shuangjin, MA Shuang, ZHANG Miao, LONG Ying*

中图分类号: TU986
文献标识码: A
文章编号: 1673-1530(2018)08-0012-06
DOI: 10.14085/j.fjyl.2018.08.0012.06
收稿日期: 2018-05-23
修回日期: 2018-06-21

李双金/1992年生/女/河南人/河南财经政法大学资源与环境学院在读硕士研究生/研究方向为新数据环境下的城市空间研究(郑州 450046)
LI Shuangjin, born in Henan Province in 1992, is a master student in College of Resources and Environment, Henan University of Economics and Law. Her research focuses on urban space research based on new data (Zhengzhou 450046).

马爽/1989年生/女/北京人/博士/清华大学建筑学院在读博士后/主要研究方向为城市空间研究(北京 100084)
MA Shuang, born in Beijing in 1989, Ph.D. degree, is a post-doctoral fellow in School of Architecture, Tsinghua University. Her research focuses on urban space research (Beijing 100084).

张淼/1997年生/女/吉林人/长春工业大学数字与统计学院在读本科生/主要研究方向为数据拟合和预测(吉林 130000)
ZHANG Miao, born in Jilin in 1997, is a undergraduate in Changchun University of Technology. Her research focuses on data fitting and prediction (Jilin 130000).

龙瀛/1980年生/男/北京人/博士/清华大学建筑学院特别研究员、博士生导师/主要研究方向为城乡规划与设计(北京 100084)
通信作者邮箱 (Corresponding author Email): ylong@tsinghua.edu.cn
LONG Ying, born in Beijing in 1980, Ph.D. degree, is a special researcher and doctoral supervisor in School of Architecture, Tsinghua University. His research focuses on urban planning and design (Beijing 100084).

摘要: 城市绿地的科学评价为绿地规划及管理提供数据支撑,对建设可持续发展的健康城市有着重要的作用。本文提出在新数据环境下对城市绿地建立形态、品质、活力及服务水平等方面的评估指标体系,并且在“大模型”的理论基础上,对中国 287 个地级及以上城市中心城范围内的绿地进行多尺度的评估,同时选取遵义进行城市绿地品质和活力的案例研究。研究解决了城市绿地空间数据的提取、城市中心城范围的界定等关键问题,使城市绿地的评估更具客观性、统一性和可比性。结果表明:在绿地斑块尺度,中国城市绿地整体紧凑度较高,且多数绿地分布在市中心附近。在城市尺度,中国城市平均绿地服务水平为 57.45%,其中副省级城市绿地服务水平普遍较高,地级市最低。本文分析得出中国区域城市绿地格局的不足与问题,以期对未来城市绿地的建设提供参考。

关键词: 风景园林; 城市绿地; 多尺度; 多源数据; 健康城市

Abstract: The scientific evaluation of urban green space provides data support for green space planning, and plays an important role in building sustainable and healthy city. This paper develops an indicator system for evaluating the urban green space under the new data environment, from the perspectives of shape, quality, vitality and services. Based on the theory of "Big Model", it carries out multi-scale assessments of the green space in downtown areas of 287 Chinese cities, and takes Zunyi as a case study for evaluating the quality and vitality of urban green space. To make the research more objective, unified and comparable, it solves key issues including the extraction of spatial data of urban green space, and the definition of downtowns. The results show that at the scale of green patch, the overall compactness of urban green space is high, and most green spaces are located near the city center. At the urban scale, the average service level of urban green space of 287 Chinese cities is 57.45%, while the sub-provincial cities have higher average service level, and the prefecture-level cities have the lowest service level. This paper analyzes the shortages and problems of the regional urban green space to provide reference for the construction of urban green space in the future.

Keywords: landscape architecture; urban green space; multi-scale; multi-source data; urban health

1 研究背景

城市绿地给人类提供多种益处,包括人类的身体和心理健康^[1],其空间分布影响生态环境和居民的生活品质。另外,合理规划城市绿地空间是缓解城市问题的有效手段之一,其有效地调节着城市空间结构与各种服务功能间的关系。2014 年《国家新型城镇化规划(2014—2020)》把“城市建成区绿化覆盖率”作为国家新型城镇

化建设的关键指标;2017 年“第十九次全国代表大会”进一步明确了大力发展生态文明的国家战略,同时,提升城市竞争力的宏观政策则更加明确地将重点从促进经济快速发展转向改善与提升城市人居环境及市民生活质量。由此可见,绿色空间建设体现了城市文明和现代化发展水平,是衡量可持续发展水平的关键指标。十九大报告中,习近平总书记指出中国特色社会主义已经进入了

新时代,主要矛盾已经转变为日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾。中国近 40 年的高速城市化进程导致了城市绿色空间的快速流失,形成了“孤岛化”绿地空间等问题,并未真正让居民生活品质得到提升。与此同时,城市中居民的健康也亟需得到更多的关注^[2]。

城市绿地空间的科学合理评估具有重要意义,不仅为判别城镇化发展水平和质量、指导城市规划和建设提供数据支撑,也为城市绿地布局建设及提高居民生活品质提供有利的理论和方法支持。科学正确地评估城市绿地空间分布及品质关乎能否真正实现健康城市的创建^[3]。

国内外已有很多学者从空间格局、公共健康及绿地属性等方面对绿地空间进行了评价。对绿地空间格局的评价较为普遍,研究多利用地理信息系统(Geographic Information System,简称 GIS)与遥感(Remote Sensing,简称 RS)技术从景观格局^[4-7]、绿地设施^[8]及生态系统服务保护有效性^[9]等方面对特定城市进行绿地空间格局评价并提出空间布局的优化建议。在公共健康方面,姚亚男等通过综述已有绿地研究发现绿色空间与公共健康呈正相关^[10];Wolch 等对绿地布局进行评价,发现绿地设施的分布对提升公共健康有重要价值^[11];Pataki 等构建量化城市绿地生态服务体系的评价体系,并得出城市绿地对降低温室气体、截获城市降雨径流及提高环境质量等方面有着积极作用^[12]。在绿地属性方面,研究多从绿地可达性^[13]、绿地公平^[14]及服务功能^[15]等方面对城市绿地理论与方法进行研究。尽管城市绿地评估的理论取得了不少的成果,但针对城市绿地品质及不同城市绿地空间分布的大规模评估仍存在很多困难,国内外绝大部分实证研究仅基于单一尺度或单一城市,以给定的城市空间范围和绿地格局为前提进行评估。由于这些既定条件带有强烈的主观性,因此很难据此判断城市绿地的空间配置是否合理,也很难对不同城市的分析结果进行比较。与此同时,对城市绿地品质的研究较为缺失。

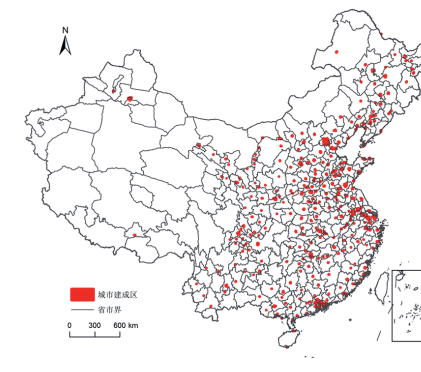
为了客观地、具有可比性地评价绿地空间,在数据方面,本文主要从 2 个方面入手,一是通过对比高德电子导航地图,对城市绿

地进行矢量化,统一获取城市绿地,不仅解决了传统数据如土地利用数据获取难的问题,也解决了通过遥感解译精度较差的问题。二是以城市中心城边界为研究范围,由于市域范围仍包括村庄、农田等,以城市市域边界研究城市绿地空间分布必然对结果产生误差。在模型方面,借鉴龙瀛等^[16]提出的“大模型”研究范式,“大模型”兼顾了研究尺度和计算单元,多采用量化的分析方法,以更简单直观的方式,提供归纳城市系统的一般规律及区域差异。本文从绿地斑块和城市尺度多维度评价城市绿地,试图对各类城市在绿地建设方面的状况进行客观评价和比较,以期对未来城市绿地建设提供数据及方法支持。

2 研究范围和数据

2.1 研究范围

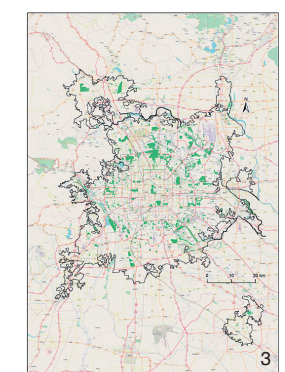
合理确定研究范围对于保证评估结果科学性是十分关键的。相较于市域范围,中心城范围更倾向于一个完整的城市系统,其范围内的绿地情况对绿地利用主体(城市居民)影响更大。考虑到数据的可获取性及城镇化水平越高的城市其建设用地与城市绿地之间的矛盾越尖锐,本文选取中国 287 个地级及以上城市的中心城(实为利用每个地级市的最大城镇建设用地斑块推测得到的边界,并非总体规划中的“中心城”概念,图 1、2)范围,包括 4 个直辖市、15 个副省级城市、17 个省省会城市及 251 个地级市。



1 研究范围分布
Distribution of study scope



2 提取北京市中心城范围
Extraction of downtown Beijing



3 通过电子地图提取北京中心城内城市绿地
Extraction of urban green space in downtown Beijing by electronic map

2.2 研究数据

1) 城市绿地。
由于高德电子导航地图具有更新快、粒度细等优势,本文以 2017 年 9 月高德电子导航地图作为依据(图 3),以世界卫生组织(World Health Organization,简称 WHO)对公共绿地面积大于 1hm²做出的定义为标准^[17],借助 ArcGIS 平台对比高德电子导航地图进行城市绿地矢量化,并进行坐标纠偏等预处理,该数据为面状要素,主要有绿地斑块的形状和位置等属性信息,数据包括公园、景区、绿地等多种类型,共计 16 936 块绿地斑块,总面积约为 85 503hm²。
2) 城市中心城。
本文基于 2015 年中国土地利用现状遥感监测数据,来自资源环境数据云平台(www.resdc.cn),精度为 30m,通过识别城镇建设用地范围,选取每个城市识别出的最大斑块作为中心城范围。本文所提取的 287 个城市的中心城范围总面积约为 26 152km²。
3) 城市中心点。
本文所指的城市中心点不是几何意义上的中心点,而是城市的行政中心(市政府所在地),该数据来源于谷歌电子地图。
4) 多源开放数据。
本文使用了贵州省遵义市内 2016 年的地图兴趣点(Points of Interest,简称 POI)数据(共 106 942 个数据点)、位置微博数据(共 57 221 个数据点)、大众点评网数据(共 81 120 个数据点)。

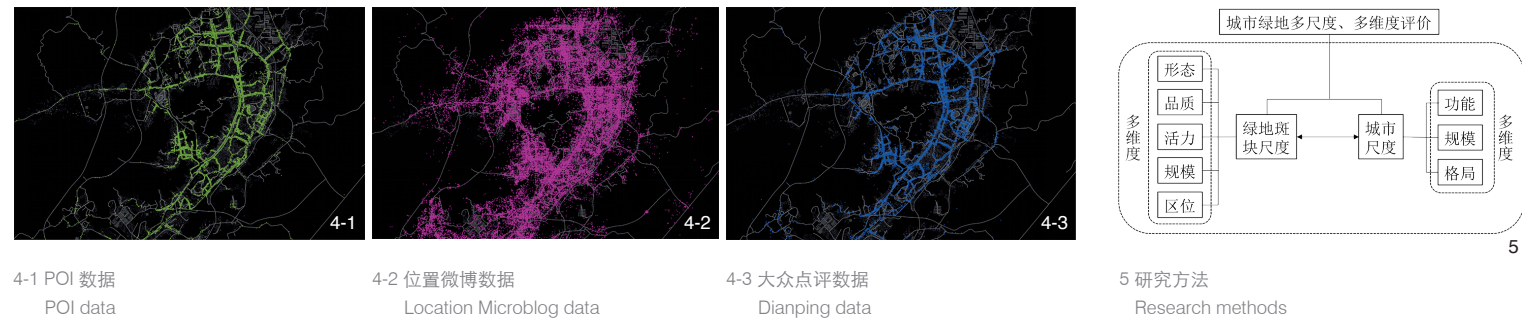


表1 绿地空间品质测度的典型方法及代表性研究内容

Tab. 1 Typical methods and representative research contents of green space quality measurement

评价指标	指标内涵
人性化尺度	物理环境的尺度、比例, 包括铺装的形式、植被、小品等将影响使用者心理感受的尺度
整洁度	是否整洁, 若有垃圾、气味, 将会影响整洁度, 进而干扰使用者的心理
可意象化	空间的可知、可识别、有特色的品质
可参与性与趣味性	提供基本的设施进而促使人们使用、参与和体验的空间
安全感	各项设施是否运转状况良好, 路灯是否明亮, 有无断头路
通透性	使用者可以看到公共空间中所发生活动的程度, 界面的材质、植物的种类以及是否有围墙、篱笆等将影响通透性
多样性	物种多样性、景观多样性

据点)、腾讯宜出行数据(共8166个数据点), 用于评估城市绿地的活力(图4)。

3 研究方法

3.1 指标体系构建

为深入挖掘城市绿地品质、活力、形态、功能及格局等, 本文对城市绿地的评估分别从2个尺度展开: 绿地斑块尺度和城市尺度。

针对绿地斑块尺度, 可以从5个维度评价, 包括: 1) 品质: 街景打分; 2) 活力: 在线点评密度、微博签到密度、热力图、消费价格等; 3) 规模: 面积、优势度; 4) 区位: 绿地斑块中心点距城市中心的直线距离及相对距离; 5) 形态: 绿地形状指数等。

针对城市尺度可以从4个维度评价, 包括: 1) 功能: 绿地服务水平; 2) 规模: 绿地覆盖率、人均绿地面积; 3) 格局: 景观破碎化指数、景观连通性、最近邻指数; 4) 多样性: 景观多样性、植被结构等。

在考虑数据的可获取性的前提下, 具体选择指标如下: 绿地斑块尺度的品质、活力、区位及形态, 城市尺度的功能、规模及格局(图5)。

3.2 指标体系量化

本文绿地评价具体指标如下:

1) 绿地品质与活力。

对绿地品质的评价主要基于Ewing和Clemente构建的街道测度指标^[18], 通过使用主观评价的方式, 利用街景图片结合实地调研对各项测度指标进行打分(0分或1分), 最终综合各维度的得分形成对绿地品质的评价结果。

由于绿地的情况与街道有所不同, 因此在构建评价指标时做了适度调整, 增加了“多样性”“可参与性与趣味性”和“安全感”

作为绿地品质的评估指标(表1)。

公共空间的价值在于人的使用, 一个受市民喜爱的街道或城市广场会吸引众多市民的长时间逗留。因此可以从社会学的角度, 利用人对公共空间的使用频率来判断它们的活力。在新数据环境下, 可以利用多源开放数据如手机信令数据、大众点评数据、腾讯宜出行数据等对绿地进行活力的测算。通过计算公园绿地500m半径内各项数据的分布密度, 可以得到各个公园绿地的活力情况。

2) 绿地距城市中心直线距离。

用ArcGIS的Spatial Join工具计算出绿地斑块与其所在城市中心点的直线距离。

3) 绿地距城市中心相对距离。

用来衡量绿地斑块距城市中心点的远近程度, 具体公式如下:

$$d_i = \frac{d_{ic}}{d} \quad (1)$$

其中, d_i 为绿地斑块*i*距所在城市中心相对距离, d_{ic} 为绿地斑块*i*距城市中心点的直线距离, d 为该城市的中心城半径, d_i 越大表示绿地斑块离城市中心越远。

4) 绿地形状指数。

绿地形状指数(Landscape Shape Index,

简称LSI)代表绿地的形状, 紧凑或圆形的绿地在保护内部资源方面具有高效性, 而以游憩和保护自然环境为目的的绿地, 其形状应尽量弯曲和突起, 增大与城市景观基质的接触面, 提高绿地使用效率, 绿地形状指数计算的具体公式为:

$$LSI_i = \frac{2\sqrt{\pi} * A_i}{P_i} \quad (2)$$

式中, LSI_i 表示绿地斑块*i*的形态指数, 其中 P_i 是绿地斑块*i*的周长, A_i 是绿地斑块*i*的面积。LSI_i 值位于0~1之间, 其值越大, 越接近于1, 形态越接近于圆形, 紧凑性也就越高; 反之, 紧凑性越低^[19]。

5) 绿地服务水平。

绿地服务水平(Park Service Quality, 简称PSQ)用于衡量绿地资源分配程度, 体现城市公共服务资源的服务能力, 具体公式如下:

$$PSQ_i = \frac{\sum_{j=1}^k SA_j}{A_i} \quad (3)$$

PSQ为城市*i*的绿地服务水平; SA_j 为绿地斑块缓冲区范围内的面积, 本文按照《城市绿地分类标准》(CJJ/T 85-2002)中的绿地类型和面积标准, 分别对20hm²以上、2~20hm²及2hm²以下的绿地设置2000m、1000m及500m

的缓冲区, 缓冲区重叠面积不重复计算; k 为该城市绿地的块数; A_i 为该城市中心城范围的面积。

6) 最近邻指数。

最近邻分析法最早由生态学家Clark和Evans提出^[20], 通过计算最近邻指数来衡量要素在空间中的邻近状态, 其测算研究范围内每个要素与其最近邻要素间的欧式距离, 并取其平均值^[21], 具体公式如下:

$$R = \frac{r_1}{r_{1E}} = \frac{r_1}{1/(2\sqrt{n/A})} = 2\sqrt{D} * r_1 \quad (4)$$

式中, r_1 为研究区内要素的实际平均最近邻距离; r_{1E} 为理论最近邻距离; n 表示研究范围内要素个数; A 为研究区域面积; D 为要素密度; R 为最近邻指数, 在 z 得分和 p 值显著的前提下, 当 $R>1$ 时, 空间要素呈均匀分布, $R=1$ 时, 空间要素呈随机分布, $R<1$ 时, 空间要素呈集聚分布^[22]。本文借助ArcGIS软件, 以每个城市为研究范围, 计算城市绿地的最近邻指数。

4 结果分析

4.1 基于绿地斑块尺度的评价

4.1.1 针对绿地品质与活力的研究——以遵义市为例

由于部分城市绿地存在无法被街景图片覆盖的情况, 需要使用户辅以实地调研的方式完善对场地情况的认知, 并进行人工打分。因此本文选取了遵义作为案例城市, 对其城市绿地进行了品质和活力的评价。

首先以遵义市内的纪念公园为例, 通过实地调研结合各项指标对其进行了品质维度的打分, 整体品质非常高, 在5个维度上均得分为1, 表现都很好(图6)。该公园整体整洁度非常高, 同时有着丰富多样的植被和活动地点。此外公园内有大量雕塑、亭台等标志性景观, 使得公园的可意象化水平较高。而公园内廊柱式的建筑结合稀疏有致的植物布局提升了公园中视线的通透性。同时公园内还有许多人文化尺度的座椅和街道家具等。综合整洁度、多样性、通透性、可意象化和人性化尺度来看, 遵义纪念公园在这5个维度均可得分, 反映出其有着较高的空间品质。

此外, 本文利用多源开放数据对遵义市内共120块绿地斑块进行了空间活力的测算。利用微博签到次数计算出的遵义市中心城区范围内社会活力较高的公园绿地主要为滨江绿带(图7)以及香港路周边的几处碎片化绿地;

利用在线评价密度数据计算出经济(消费)活力较高的公园绿地主要为滨江绿带和遵义医学院内部绿地; 利用大众点评数据计算出的绿地平均消费价格显示, 经济活力较高的公园绿地主要为凤凰山北侧的滨江绿带以及苏州路附近的绿地。

综合各项活力指标来看, 遵义市活力最

高的绿地为凤凰山南侧的滨江绿带、中华南路和香港路周边的碎片绿地。

4.1.2 针对绿地形态、规模及区位维度的研究——以中国287个城市为例

本研究利用中国287个城市中心城的16936块绿地斑块数据, 计算出中国城市绿地形态、规模及区位等相关属性值的平均值、中位数以及分布范围等(表2)。通过统计结果表明, 在形态维度上, 中国绿地形态指数平均值为0.69, 表明中国绿地紧凑度较高, 绿地形态指数在空间分布上差异较大, 呈现出中心区域绿地紧凑度较高、周边区域紧凑度较低的分异态势, 其中面积较小的绿地其紧凑度普遍较高, 反之, 面积较大的绿地其紧凑度普遍较低。

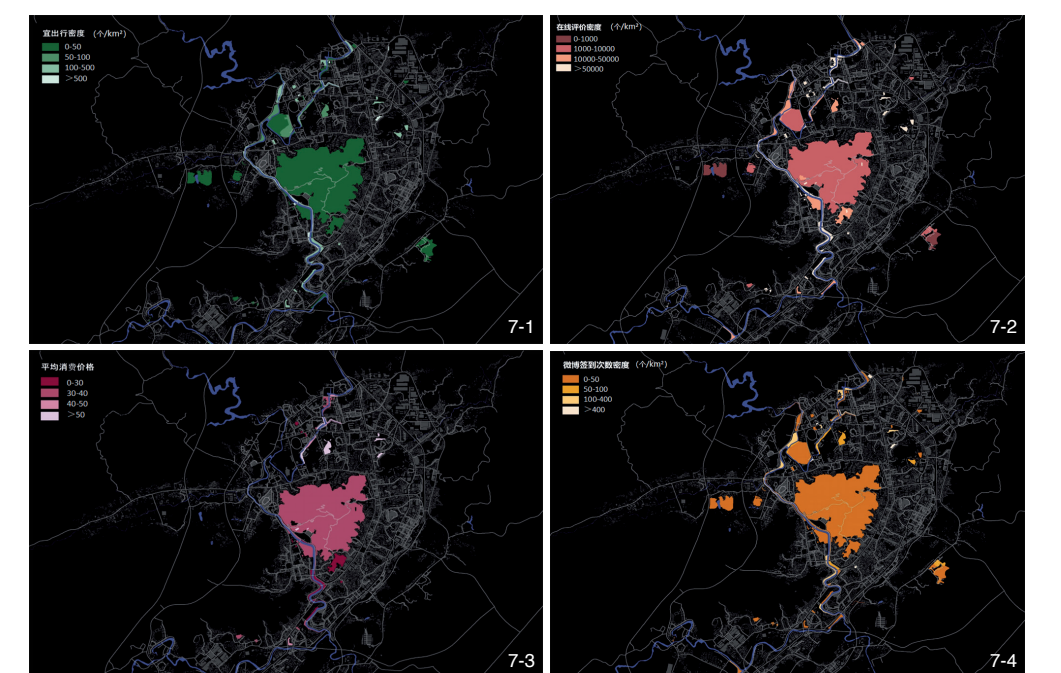
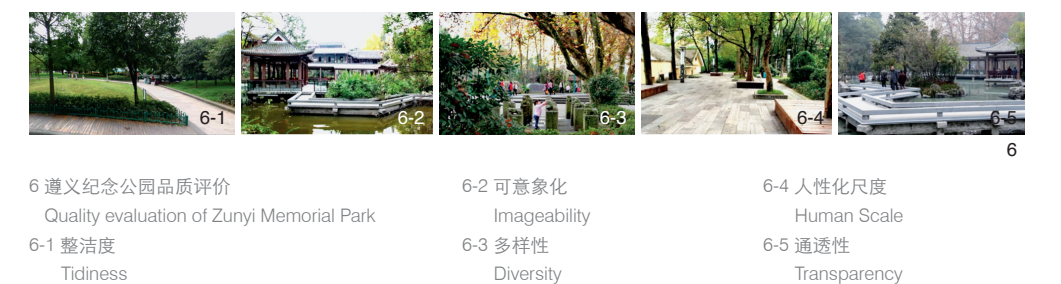
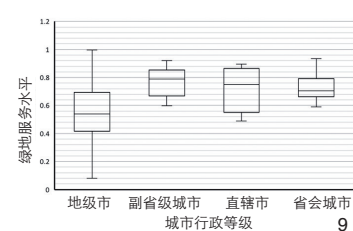
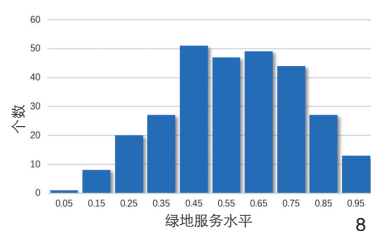


表2 全国绿地属性分布表

Tab. 2 Distribution table of national green space attributes

绿地形状指数分布					绿地面积分布 /hm ²					绿地离所在城中心直线距离分布 /m					绿地离城中心相对距离分布					
平均值	标准差	中位数	最大值	最小值	平均值	标准差	中位数	最大值	最小值	平均值	标准差	中位数	最大值	最小值	平均值	标准差	中位数	最大值	最小值	
0.69	0.18	0.74	1.00	0.09	8.36	354	413.35	1.38	269	3.22	0.01	7	510.78	6	495.53	5	559.90	48	511.94	0.00



8 城市绿地服务水平分布
Distribution of urban green space service level

9 不同行政等级城市绿地服务水平统计
Statistics of urban green space service levels in cities of different administrative levels

在规模维度上，中国绿地平均面积为 8.36hm²，按绿地面积大小排列去掉前后 5% 的数据后，其平均面积为 2.80hm²，这表明在中国城市绿地中，其面积规模两极化较严重。由于城市间自然位置条件及经济发展程度存在差异，使其绿地斑块的规模分布不同，对比各城市绿地平均面积与标准差值可以看出，西安、天津、上海及哈尔滨等城市其绿地多为规模较小的破碎化中小型绿地，而南京、深圳及广州等城市有零星大规模绿地和小规模绿地均匀分布，形成面积规模两极化较严重的空间格局。

在区位维度上，中国绿地距其所在城市中心点绝对距离呈偏态分布，平均距离为 7 510.78m，峰值为 2 034m；绿地距所在城市中心相对距离分布平均值为 0.70，但峰值为 0.34，表明大多数绿地处于离中心点较近区位。

4.2 基于城市尺度的评价

本文计算中国 287 个地级及以上城市的城市绿地服务水平，结果表明，287 个城市绿地服务水平平均值为 57.45%，绿地服务水平呈正态分布（图 8），城市绿地服务水平高于 50% 的城市占所研究城市的 62.72%，其中四川省广安市绿地服务水平最高，为 99.61%，河南省三门峡市次之，为 97.87%；针对不同行政等级的城市进行分析发现（图 9），直辖市城市绿地服务水平最高，平均为 72.15%，省会城市绿地

服务水平平均为 72.42%，副省级城市的城市绿地服务水平为 76.81%，地级市城市的城市绿地服务水平最低，为 55.05%，这表明副省级城市对绿地建设较其他等级城市最为完善，而地级市等级的城市绿地建设最为欠缺。中国城市绿地的服务水平尚未达到《城市绿地分类标准》（CJJ/T 85—2002）中 100% 的目标。

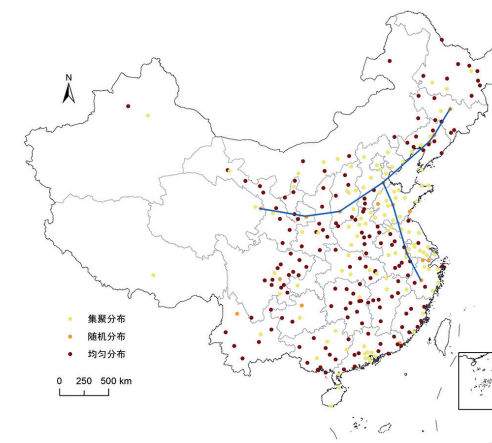
本文通过对中国 287 个地级及以上城市绿地进行最近邻指数计算，衡量城市内绿地的空间分布情况。中国城市最近邻指数为 0.036，表明中国绿地整体为集聚分布。在 z 得分和 p 值显著的前提下，所研究的 287 个城市中，163 个城市最近邻指数大于 1，绿地呈均匀分布，占 57%；106 个城市最近邻指数小于 1，呈集聚分布，占 37%；最近邻指数等于 1 的城市呈随机分布，占 6%；绿地整体呈“多数有规律、少数随机”的特征。所研究城市中，均匀分布的城市主要为银川、伊春、宁德、绥化及定西等，由于这些城市经济发展水平相对较低，对绿化的破坏程度较少；对于集聚分布的城市多为枣庄、南京、天津、临沂、哈尔滨及上海等经济发展较好的城市，说明政策及经济的发展对绿地的空间分布有着重要的影响。在空间分布上（图 10），同省内城市绿地有趋同性，例如山东省的主要城市都为集聚分布型；湖南省多为均匀分布型，这与

每个省有着趋同的发展模式及自然条件有关。在空间上，城市绿地呈集聚分布的城市集中在华东地区（山东、江苏、浙江），其他地区零星分布；城市绿地呈随机分布的城市，呈“人”字分布于内陆城市；城市绿地呈均匀分布的城市，较为普遍，集中分布在华南地区，如湖南、江西、福建、广西省。

5 讨论与结论

本研究利用中国 287 个地级及以上城市中心城范围内的 16 936 块城市绿地数据，进行多尺度、多维度的绿地空间评价。在绿地斑块尺度上，通过计算发现中国绿地紧凑度较高，绿地形态在空间分布上差异较大，呈现出中心斑块绿地紧凑度较高、周边紧凑度较低的分异态势；绿地面积规模两极化较严重；大多数城市绿地位于所在城市中心点相对距离 0.34 的较近区位。本文进一步对城市绿地品质及活力进行评价，以遵义市城市绿地为例，结果表明遵义纪念公园的品质最高，凤凰山南侧的滨江绿带、中华南路和香港路周边的碎片绿地的活力最高，同时为评价城市绿地品质及活力方面提供可借鉴的方法。

在城市尺度上，中国 287 个城市绿地服务水平平均值为 57.45%，绿地服务水平的个数分布呈正态分布，副省级城市绿地服务水



10 不同城市绿地类型空间分布
Spatial distribution of different urban green space types

平最高，地级市最低，较全国绿地服务水平 100% 的目标还有一定差距；根据城市绿地的最近邻指数将绿地分成均匀分布、随机分布及集聚分布 3 种，并进一步分析其空间分异，结果发现中国城市绿地分布方式主要是均匀分布，其中绿地为集聚分布的占 37%，多位于华东地区，绿地均匀分布的城市占 57%，多位于华南地区，绿地随机分布的城市仅占 6%，呈“多数有规律，少数随机”的分布模式。

传统城市绿地研究中，大多利用城市的行政边界来确定研究范围，其中涵盖了大量低密度开发的郊区、农业用地及村庄。本研究脱离了行政地域上的城市，选取中心城区作为研究范围，从而使得研究更具针对性、科学性。与此同时，本文充分利用开放数据，通过研究中国 287 个城市的中心城范围内的绿地，使得不同城市间具有横向可比性，从而提供认识中国城市绿地分布的一般规律及差异性的途径，为打造健康城市提供数据支持。

本研究中针对城市绿地空间品质的评估仍处于初步探索阶段，旨在构建针对城市绿地品质的测度指标，而在应用环节暂时采取人工打分的主观测度方法。期望随着图像识别技术的进一步提升，未来针对绿地品质的研究能够向更加客观及智能化的方向拓展。与此同时，本研究仅从一个时间维度进行探讨，是单时段的对比，后期将进行多时段的动态分析，以期对城市绿地时空变异规律与影响因素进行更为深入的探究。

注释：

- ① 如需要 287 个城市中集聚分布、随机分布和均匀分布所包含的城市请联系本文作者。
- ② 文中表 2 图片来源于街景图片和作者实地调研；其余图片和表格均由作者自绘。

参考文献 (References):

[1] TZOULAS K, KORPELA K, VENN S, et al. Promoting Ecosystem and Human Health in Urban Areas Using Green Infrastructure: A Literature Review[J]. Landscape & Urban Planning, 2007, 81(3): 167-178.

[2] XIANG W N, STUBER R M B, MENG X. Meeting Critical Challenges and Striving for Urban Sustainability in China[J]. Landscape & Urban Planning, 2011, 100(4): 418-420.

[3] 石晓丽, 王卫. 生态系统功能价值综合评估方法与应用: 以河北省康保县为例[J]. 生态学报, 2008, 28 (8): 3998-4006.

SHI Xiaoli, WANG Wei. Evaluation Method of Integrated Valuation of Ecosystem Functions and Its Application: A Case Study of Kangbao County, Hebei Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3998-4006.

[4] 岳德鹏, 王计平, 刘永兵, 等. GIS 与 RS 技术支持下的北京西北地区景观格局优化[J]. 地理学报, 2007, 62(11): 1223-1231.

YUE Depeng, WANG Jiping, LIU Yongbin, et al. Landscape Pattern Optimization Based on RS and GIS in Northwest of Beijing[J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(11): 1223-1231.

[5] 何兴元, 陈玮, 徐文铎, 等. 沈阳城区绿地生态系统景观结构与异质性分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14 (12): 2085-2089.

HE Xingyuan, CHEN Wei, XU Wenduo, et al. Structure and Heterogeneity of Urban Vegetation Landscape in Shenyang[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(12): 2085-2089.

[6] 杨鑫, 张琦, 吴思琦. 特大城市绿地格局多尺度、系统化比较研究: 以北京、伦敦、巴黎、纽约为例[J]. 国际城市规划, 2017, 32 (3): 83-91.

YANG Xin, ZHANG Qi, WU Siqi. Comparative Research on Multi-scale and System of Metropolis Green Space Pattern: Case Studies of Beijing, London, Paris and New York[J]. Urban Planning International, 2017, 32(3): 83-91.

[7] 许士翔, 宋清欣. 数字化技术在城市绿地调查中的应用[J]. 风景园林, 2014 (4): 34-36.

XU Shixiang, SONG Qingxin. Application of Digital Technology in Urban Green Space Investigation[J]. Landscape Architecture, 2014(4): 34-36.

[8] 陈华丽, 蒋华平. GIS 在城市绿地系统规划中的应用[J]. 风景园林, 2005 (4): 46-49.

CHEN Huali, JIANG Huaping. The Application of GIS in Urban Green Space System Planning[J]. Landscape Architecture, 2005(4): 46-49.

[9] 张立伟, 傅伯杰, 吕一河, 等. 基于综合指标法的中国生态系统服务保护有效性评价研究[J]. 地理学报, 2016, 71 (5): 768-780.

ZHANG Liwei, FU Bojie, LY Yihe, et al. The Using of Composite Indicators to Assess the Conservational Effectiveness of Ecosystem Services in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(5): 768-780.

[10] 姚亚男, 李树华. 基于公共健康的城市绿色空间相关研究现状[J]. 中国园林, 2018 (1): 118-124.

YAO Yanan, LI Shuhua. Review on Research of Urban Green Space Baswd on Public Health[J]. Chinese Landscape Architecture, 2018(1): 118-124.

[11] WOLCH J R, BYRNE J, NEWELL J P. Urban Green Space, Public Health, and Environmental Justice: The Challenge of Making Cities 'Just Green Enough'[J]. Landscape & Urban Planning, 2014, 125: 234-244.

[12] PATAKI D E, CARREIRO M M, CHERRIER J, et al. Coupling Biogeochemical Cycles in Urban Environments: Ecosystem Services, Green Solutions, and Misconceptions[J]. Frontiers in Ecology & the Environment, 2011, 9(1): 27-36.

[13] 董仁才, 张娜娜, 李思远, 等. 四个可持续发展实验区绿地系统可达性比较研究[J]. 生态学报, 2017, 37 (10): 3256-3263.

DONG Rencai, ZHANG Nana, LI Siyuan, et al. A Comparative Study of Green System Accessibility in Four Sustainable Development Experimental Zones[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(10): 3256-3263.

[14] SHEN Y, SUN F, CHE Y. Public Green Spaces and Human Wellbeing: Mapping the Spatial Inequity and Mismatching Status of Public Green Space in the Central City of Shanghai[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2017, 27: 59-68.

[15] 尹海伟, 孔繁花, 宗跃光. 城市绿地可达性与公平性评价[J]. 生态学报, 2008, 28 (7): 3375-3383.

YIN Haiwei, KONG Fanhua, ZONG Yueguang. Accessibility and Equity Assessment on Urban Green Space[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3375-3383.

[16] 龙瀛, 吴康, 王江浩, 等. 大模型: 城市和区域研究的新范式[J]. 城市规划学刊, 2014 (6): 52-60.

LONG Ying, WU Kang, WANG Jianghao, et al. Big Models: A Novel Paradigm for Urban and Regional Studies[J]. Urban Planning Forum, 2014(6): 52-60.

[17] World Health Organization. Urban Green Spaces and Health: A Review of Evidence[R]. World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2016.

[18] EWING R, CLEMENTE O. Measuring Urban Design: Metrics for Livable Places[J]. Journal of Urban Design, 2013, 20(2): 1-2.

[19] MOSER D, ZECHMEISTER H G, PLUTZAR C, et al. Landscape Patch Shape Complexity as an Effective Measure for Plant Species Richness in Rural Landscapes[J]. Landscape Ecology, 2002, 17(7): 657-669.

[20] CKARK P J, EVANS F C. Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationship in Populations[J]. Ecology, 1956, 35: 445-453.

[21] 角媛梅, 肖笃宁, 马明国. 绿洲景观中居民地空间分布特征及其影响因子分析[J]. 生态学报, 2003, 23 (10): 2092-2100.

JIAO Yuanmei, XIAO Duning, MA Mingguo. Spatial Pattern in Residential Area and Influencing Factors in Oasis Landscape[J]. Acta Ecologica sinica, 2003, 23(10): 2092-2100.

[22] 刘昌雪, 汪德根. 城市创意旅游资源空间效应及发展模式: 以苏州市中心城区为例[J]. 地理研究, 2016, 35 (5): 977-991.

LIU Changxue, WANG Degen. Spatial Effects and Development Pattern of Creative Tourism Resource: A Case Study of Center City of Suzhou[J]. Geographical Research, 2016, 35(5): 977-991.

(编辑 / 刘玉霞)

基于手机健身数据的城市街道健康服务功能研究

Urban Street Health Service Function Based on Mobile Fitness Data

余洋 唐晓婷 刘俊环 陆诗亮*
YU Yang, TANG Xiaoting, LIU Junhuan, LU Shiliang*

中图分类号: TU986
文献标识码: A
文章编号: 1673-1530(2018)08-0018-06
DOI: 10.14085/j.fjyl.2018.08.0018.06
收稿日期: 2018-05-22
修回日期: 2018-06-29

余洋 / 1976 年生 / 女 / 黑龙江人 / 博士 / 哈尔滨工业大学建筑学院景观系副教授 / 黑龙江省寒地景观科学与技术重点实验室 / 研究方向为风景园林规划与设计、环境与健康 (哈尔滨 150006)
YU Yang, born in 1976 in Heilongjiang Province, Ph.D., is an associate professor in the Department of Landscape Architecture, School of Architecture, Harbin Institute of Technology, a research member of the Heilongjiang Cold Region Landscape Science Key Laboratory. Her research focuses on landscape architecture design, urban planning, environment and public health (Harbin 150006).

唐晓婷 / 1993 年生 / 女 / 四川人 / 哈尔滨工业大学建筑学院景观系在读硕士研究生 / 黑龙江省寒地景观科学与技术重点实验室 / 研究方向为风景园林规划与设计 (哈尔滨 150006)
TANG Xiaoting, born in 1993 in Sichuan Province, is a graduate student in the Department of Landscape Architecture, School of Architecture, Harbin Institute of Technology, a research member of the Heilongjiang Cold Region Landscape Science Key Laboratory. Her research focuses on landscape architecture design (Harbin 150006).

刘俊环 / 1990 年生 / 男 / 黑龙江人 / 哈尔滨工业大学建筑学院城乡规划系在读博士研究生 / 黑龙江省寒地城乡人居环境科学重点实验室 / 研究方向为开放数据在城市规划中的应用 (哈尔滨 150006)
LIU Junhuan, born in 1990 in Heilongjiang Province, is a doctoral student in the Department of Urban and Rural Planning, School of Architecture, Harbin Institute of Technology, a research member of Heilongjiang Cold Region Urban-Rural Human Settlements Science Key Laboratory. His research focuses on applications of open data in urban planning (Harbin 150006).

陆诗亮 / 1972 年生 / 男 / 黑龙江人 / 博士 / 哈尔滨工业大学建筑学院建筑系副教授 / 黑龙江省寒地建筑科学与技术重点实验室 / 研究方向为体育建筑创作及其理论研究、大空间公共建筑创作研究 (哈尔滨 150006)
通信作者邮箱 (Corresponding author Email): lsl761120@163.com
Lu Shiliang, born in 1972 in Heilongjiang Province, Ph.D., is an associate professor in the Department of Architecture, School of Architecture, Harbin Institute of Technology, a research member of the Heilongjiang Cold Region Architectural Science Key Laboratory. His research focuses on sports building design and theory, large public building design (Harbin 150006).

摘要: 城市街道是城市空间的基本单元, 承载着多元的城市生活。本研究基于手机 APP 共享的健身数据, 以街道线性体育活动为研究对象, 从健康视角认知街道空间属性和特征。运用 VGI-GIS 的方法, 在信息矢量化和可视化的基础上, 从时间和空间 2 个维度, 对城市街道的健康服务功能进行描述。基于运动热点空间的分布格局, 研究在空间集聚、建成环境和人群收入 3 个层面上进行分析。结果表明, 街道的空间连续性对健身活动有促进作用, 大型公园和高校对健身活动有巨大的吸引力, 公交站点对健身活动有多方面的影响, 不同收入阶层健身活动差异明显。多元化的热点空间模式为提升街道的健康性提供了因地制宜的可能性。以健康为导向的城市设计探索采用临时封闭街道, 在商业和办公区域周边增设户外体育设施等措施, 提升街道的健康服务功能。

关键词: 风景园林; 城市街道; 健康服务功能; 线性体育活动; 时空行为
基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (编号 51578173); 国家自然科学基金面上项目 (编号 51678180)

Abstract: Urban streets are the basic units of urban space, which carry a diversity of city life. The study is based on fitness data shared by mobile phone applications, taking street linear sports activities as the research object, as well as recognizing street space attributes and features from the perspective of health. Under the VGI-GIS method and on the basis of information vectorization and visualization, the health service functions of urban streets are described in two dimensions: time and space. Based on the distribution pattern of popular sports space, the research is conducted on the three levels of spatial, which include agglomeration, built environment and crowd income. The results show that the spatial continuity of the street has a positive effect on fitness activities. Large parks and universities have great attraction for fitness activities. Bus stops have many influences on fitness activities. The diversified popular space models provide the possibility of improving the health of the street in accordance with local conditions. In health-oriented urban design, measures should be taken to temporarily block streets, adding outdoor sports facilities around commercial and office areas to enhance health services of the streets.

Keywords: landscape architecture; urban street; healthy service function; outdoor physical activity; spatio-temporal behavior

Fund Items: National Natural Science Foundation of China (NO. 51578173); National Natural Science Foundation of China (NO. 51678180)

1 研究背景与目的

2016 年国务院印发《全民健身计划 (2016—2020 年)》, 将健身跑、健步走、骑行等活动纳入到大力发展的活动项目行列。作为城市空间的基本单元, 街道俨然成为了公共开放的体育活动场所之一, 健走、跑步、骑行等健身活动广泛开展。作为城市研究和建设的热点, 步行环境品质^[1]、可达性等成为街道研究的核心问题。随着共享单车的普及, 可骑行性也成为研究关注的重点。同时, 街道生活是城市活力的表现^[2], 体现街道活力的是以步行为基础的, 从事各种街道活动的人^[3], 也包括在街道上进行健身活动的人群。

在数据化和智能设备普及的背景下, 健身行为通过手机 APP 等方式进行记录和社会交往。手机数据具有运动类型丰富、数据量大、活动时间精准、空间定位准确等特点, 对个体行为可以进行精细化的时空信息管理。这种自发地理信息数据的开放性和普及性拓展了对健身行为的观察途径, 可以更便捷地在大尺度上进行时间和空间的数据采集和分析, 在城市尺度下的绿道、高校等户外体育活动的行为分析中有所应用^[4-5]。相较于观察、调研和问卷等传统方法, 手机数据可以和城市道路、建成环境要素等直接关联, 为城市尺度的健身活动时空研究提供新的数据途径和分析方法。

本文旨在通过手机健身数据的采集, 从线性体育活动的时空行为角度, 分析什么样的街道尺度和形态适合进行线性体育活动^[6], 街道的建成环境对活动有什么影响, 人群聚集特征如何, 对这些关键问题的研究都有助于阐明城市街道对线性体育活动的支持能力和对城市的健康服务功能, 为“多渠道增加全民健身场所和设施”的规划和设计提供理论支撑, 为健康城市的街道空间规划和设计提供参考。

2 研究方法和数据采集

本研究分为两个阶段, 第一个阶段是基于个体行为的手机数据采集和预处理, 第二个阶段是基于 TSP 模型 (Time-Space-People, 时间粒度—空间集聚—人群特征) 的人群聚集时空行为分析。

根据街道健身活动和自发地理信息数据的特点, 第一阶段的研究过程分为数据采集和数据预处理。自发地理信息数据采集依托咕咚运动软件数据平台[®]随机进行。每条运动路径数据的属性包括运动类型、距离、日期、起始时间、持续时间, 以及使用者的年龄和性别等。研究区域为北京中心城六区。数据预处理包括矢量化地理信息数据和建立非地理信息数据库, 通过 ArcGIS10.2.2 空间分析, 建立包含地理信息的空间信息与非地理信息的时距信息的联系。本次数据采集时间为 2016 年 11 月至 2017 年 10 月, 共回收样本 478 份, 有效样本 413 份, 有效数据 1 185 条。剔除活跃度低、个体属性信息和运动信息缺失、专业训练 (如马拉松) 等无效数据, 筛选后得到 1 092 条有效数据。数据人口结构与北京常住人口结构基本一致, 可以对北京中心城人群健身行为进行解释。

第二阶段的研究主要是基于人群集聚的时距特征和空间特征进行分析。在时间分析层面, 时间粒度分为日、周 2 种时间单元。以日作为时间单元, 可分为早、中、晚; 以周作为时间单元, 分为工作日和节假日, 节假日包含周末的双休日及研究时间范围内国务院办公厅发布的节假日; 在空间分析层面, 研究围绕空间集聚、建成环境和不同收入人群空间分布进行分析。空间集聚体现了运动者对城市空间的选择偏好, 进而分析适宜的街道尺度与形态; 建成环境体现了街道要素对活动的干扰和介入; 不同收入人群空间分布可以解释阶级分层对空间使用的差异。

3 线性体育活动的时距特征

3.1 不同时间粒度下的时距特征

一日之内, 运动数据呈现双波峰的趋势, 运动数据主要集中在 04:00—21:59, 其中 04:00 前和 21:00 后运动人数锐减, 06:00—06:59 与 19:00—19:59 达到运动数据峰值, 且明显高于其他时间段, 而 13:00—13:59 运动人数最少。运动早高峰时段出现在 06:00—08:59 间, 运动晚高峰时段出现在 16:00—20:59 间 (图 1)。一周内运动时段呈现工作日集中分布, 节假日相对分散分布的特点。工作日运动时段集中在

上班前和晚饭后, 午休时段运动者占比较小; 节假日运动时段主要集中在 06:00—07:59 间, 下午没有特定集中时段, 午休时段运动者与工作日一样占比较小 (图 2)。

就平均运动时长而言, 节假日明显长于工作日; 就运动距离而言, 节假日的日均运动距离明显长于工作日的日均运动距离; 同时, 节假日的运动时段明显晚于工作日。这表明工作日的运动时间受到工作时间的明显制约, 可支配的非工作时间决定了线性体育活动的运动时间多少。当人们有足够的运动时间, 或者与家人朋友共同运动时, 运动时间会延长, 户外体力活动在健康和社交 2 个层面发挥作用。

3.2 不同类型运动的时距特征

对总体运动数据频次进行分析, 10km 距离的运动占比最高, 5km 次之。对运动类型进行分组分析, 健走的众数为 5km, 跑步的众数为 10km, 骑行的众数为 12km。在总体数据和分组数据中, 5km 和 10km 的频率均较为突出, 可能与跑团、健走团等团体式活动以及咕咚运动组织的健身竞赛等有关, 说明健身运动可以聚集众多参与者, 具有集体社交功能。

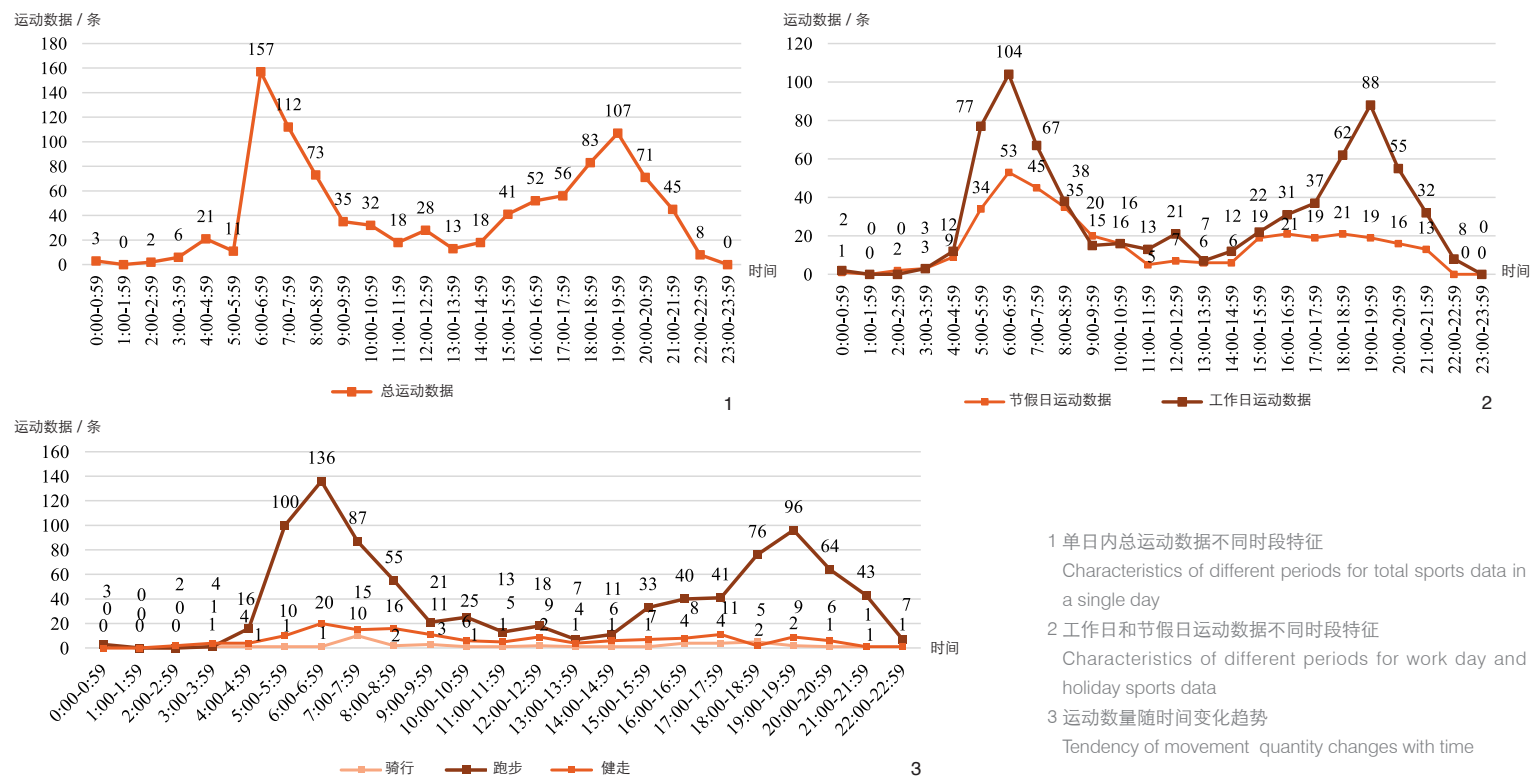
在运动时段方面, 3 类运动者倾向于清早进行活动。跑步运动时间集中程度高, 主要集中在 05:00—07:59 和 18:00—20:59, 同时还有超过 3 成以上的跑步运动发生在夜晚。健走和骑行时段较为均匀, 健走在 06:00—06:59 稍多于其他时段, 骑行在 07:00—07:59 稍多于其他时段, 骑行时段与通勤早高峰时间较为靠近, 样本中可能包含了较多的通勤活动 (图 3)。

在运动时长方面, 健走的日均时长约为 100min, 跑步约为 68min, 骑行约为 67min, 这 3 类运动平均运动时长均超过 1h, 均达到中等强度体育活动强度, 且健走平均时长明显高于其他两类运动。运动距离方面, 骑行的运动距离最长, 跑步次之, 健走的运动距离最短。这说明运动者并非简单的以运动距离作为判断标准, 存在以时间作为衡量运动标准的可能性。

4 线性体育活动的空间特征

4.1 空间集聚特征

在空间分布上, 3 类运动的活动路线基本覆盖了从城市中心向外扩散的大部分中心城



区域。以长安街及其延长线作为城市空间的南北分界线，则北部分布数量多于南部；以城市中轴线作为东西分界线，则西部分布数量多于东部，呈现出“北密南疏，西密东疏，内密外疏”的整体特征（图4）。

通过线密度进一步分析活动的空间集聚特征。首先用路径闭合描述运动轨迹的形态属性，该属性可以通过路径起点之间的直线距离与运动距离的比值进行判断。采用自然间断点的方式将比值从小到大依次分为闭合路径、半开放路径和开放路径3个类型。在3种运动类型中，健走和跑步大多属于闭合路径，而骑行大多属于开放路径。其次，确定活动密度搜索距离^③。分析数据显示，运动热点位于海淀区和朝阳区，在北五环奥林匹克森林公园最为集中，西三环附近的集中程度次之，在西北方向大学校园较为集中的区域呈现出高密度的蔓延，东侧密度处于中等水平，南侧密度很低，二环内部分区域已低至2.2km/km²以下，部分地区的运动分布出现空心现象（图5）。

健走运动主要发生在北五环奥林匹克森林公园、西三环玉渊潭公园及其西侧、东南处

的明城墙遗址公园3处（图6）；跑步运动的整体密度最高，在北五环最为集中，在玉渊潭公园和朝阳公园也呈现一定程度的集中分布（图7）；骑车数据由于多为长距离的开放路径，在对应的搜索距离下没有显示出鲜明的密度差异。

4.2 建成环境特征

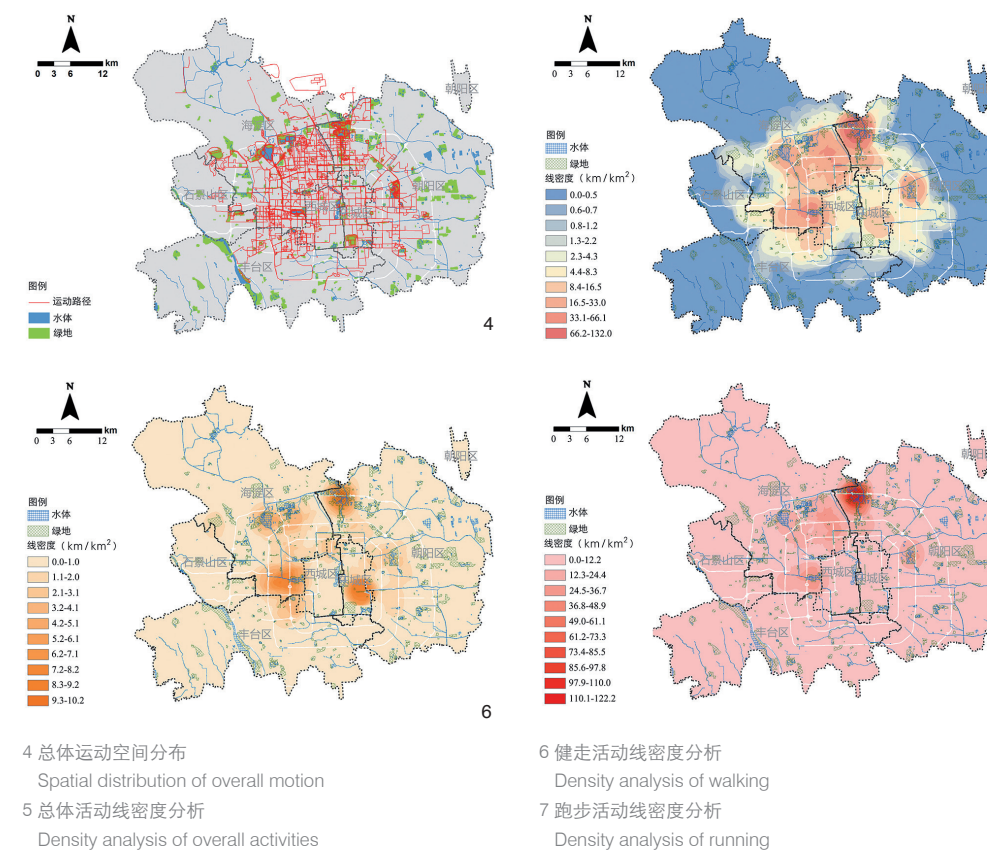
虽然高可达性往往易于催生高城市活力^④，但是街道可达性在城市活力演化中趋向于相对保持稳定^⑤，对于北京中心城而言，城市空间形态和用地功能对线性体育活动有更直接的影响。参考龙瀛的研究^⑥，选取公共绿地、街道网络、高校体育设施和公交车站作为建成环境要素进行分析。研究在北京市支路及以上级别的道路上建立空间句法线段模型^⑦，对途经该路段的运动路径总数、健走运动路径数和跑步运动路径数进行统计，计算该路段周边2.5km缓冲区范围内的绿地比例以及至最近绿地的距离、路口密度和公交车站密度。

提取健走和跑步的线密度，将数值较高的区域作为活动热点^⑧，发现健走运动热点3个，跑步运动热点4个（图8），在热点区域

统计缓冲区内的绿地面积、道路长度、路口数量和公交站数量进行分析。

健走和跑步运动热点区域的建成环境差异显著。位于奥林匹克森林公园的热点除了绿地比例外均不具优势，但其健走吸引力丝毫不弱于其他两个热点，说明了大规模城市公园对于引发健身运动的有力影响；而北京站周边的热点则正好相反，除绿地比例外均处于最高水平，说明小街区密路网也能够绿地空间不足的情况下引发健走运动（图9）。在4个跑步运动的热点中，奥林匹克森林公园以及玉渊潭公园的热点与健走运动基本重合。除奥林匹克森林公园的热点之外，其余热点的公交站数量十分接近；朝阳公园的绿地比例较高，在一定程度上验证了跑步运动对于环境的要求；海淀高校区域的热点在建成环境方面的优势并不突出，其成为热点的原因一方面是高校人群使用APP的比例较高，数据样本量大，另一方面是校园环境吸引了周边居民进入校园进行运动，形成热点（图9）。

总体而言，健走运动对公园的依赖性不强，对公园距离有一定程度上的依赖。跑步运动相对于健走运动而言，对绿地、水系等



自然资源的依赖性更加明显，除了校园集中区域外，跑步运动多集中在公园和河流附近；考虑到骑车运动数据的数量以及前述的潜在偏差，本研究中暂不做进一步的讨论。

4.3 街道类型特征

街道类型多种多样，可从交通角度、规划设计角度^⑩、步行适宜性角度^⑪、POI数据角度^⑫进行不同的分类。在《上海市街道设计导则》中，街道分为商业街道、生活服务街道、景观休闲街道、交通性街道、综合性街道5种类型^⑬。依据本文的研究目标和数据类型，选择更适合中国的上海街道分类作为依据。

在热点区域内，城市次干道和支路承载了大量的线性体育活动，是活动发生的主要空间场所。提取运动数据≥3条的街道，通过百度地图街景进行街道类型识别，发现热点区域内的街道主要以综合性街道为主，数量占比超过总体的40%，其次是交通性街道、景观休闲街道、商业街道、交通性街道、生活服务街道。通过对热点区域与街道类型进行交叉分析，发

现位于奥林匹克公园和北京站的热点区以综合性街道为主，位于玉渊潭公园和海淀高校区的热点区以交通性街道和综合性街道为主，朝阳公园热点区各街道类型数量占比差别不明显。同时发现5个热点区域内街道混合度较高，至少包含了4种街道类型，其中玉渊潭公园街道类型更为丰富，5种类型都包含其中（图10）。

4.4 不同收入人群的空间分布特征

健身数据本身无法体现路径与人群收入之间的关系，为了研究不同收入人群的线性体育活动，采用住房价格和房价收入比等数据，折算家庭收入水平。基本公式为：

$$\text{家庭年收入} = (\text{住房每平方米价格} \times \text{人均住房面积} \times \text{家庭平均人口数}) / \text{房价收入比}$$

通过公式计算^⑭，发现中等收入阶层的运动路径主要分布在三环至五环之间，二环内几乎没有分布，运动路径在大型公园和文化广场的集中程度较高，如西侧的五棵松公园、文化体育广场、玉渊潭公园、莲花池公园，以及北侧的奥林匹克森林公园和东侧朝阳公园等，并且中等收入阶层的活动范围的房价

大都在约5.5万元以下（图11）。高收入阶层的运动路径和中等收入阶层相比更加向中心靠拢，主要分布在城市北部，二环至五环均有分布，对于公园广场等空间的使用，北至奥林匹克森林公园，西北至颐和园，西至玉渊潭公园，东至朝阳公园，运动路径在海淀区高校集中区域的分布也较为密集，这些区域的房价普遍在4.2~8万元之间（图11）。超高收入阶层的活动范围进一步收窄，总体上也分布在城市北部二环至五环之间，但对于公园广场等空间的使用则明显减少，仅颐和园和玉渊潭公园有部分运动路径，而奥林匹克森林公园和朝阳公园等则几乎没有运动路径，除公园地区外，其活动范围的房价主要在约6.7万元以上（图11）。

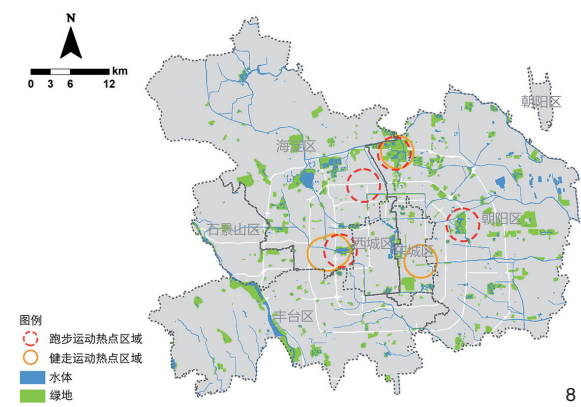
5 结论与讨论

5.1 街道空间具有重要的健康服务功能

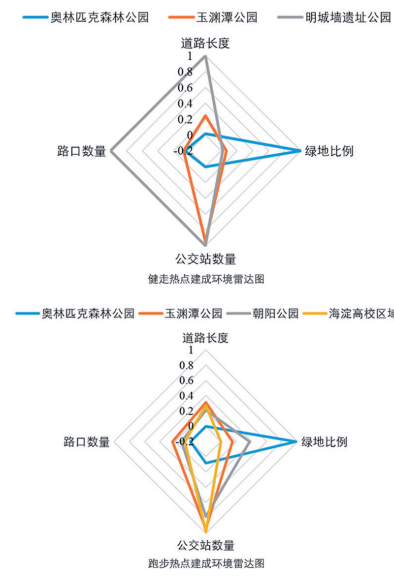
时空数据分析充分证明了街道空间对线性体育活动的有力承载，并在不同的时间区间和地理空间发挥着不同的作用。早晚运动高峰的变化趋势说明了通勤与健身共存的可能性，适宜步行或者骑行的街道空间更有助于促进两种行为的结合；街道夜跑的普遍存在需要更安全的街道满足健身公众的需求；节假日的时距特征呈现出明显的分散性，说明了节假日的弹性活动时间可以促进活动选择的多样性，以及人们与街道空间接触的广泛性。而且，活动者往往以运动时间作为活动标准，可支配的运动时间越长，活动者与街道的接触越紧密，街道空间越可以提供更多的健康服务功能。同时，手机APP中的跑团和健走团等集体活动，将街道运动从单纯的线性体育活动拓展到社会交往，从生理的健康层面拓展到社会交往的健康层面。

5.2 街道空间形态和类型是关键影响因素

街道空间形态对活动行为具有明显的影响。健走路径总数与路口密度关系密切，街区路网的渗透性越高，越容易诱发街道的健走体育活动；跑步运动对于街道路径的完整性和连续性要求较高；同时，高校体育设施对街道线性体育活动具有明显的促进作用，高校周边街道承载了活动者进入校园之前的运动行为。



8 健走和跑步运动热点缓冲区
Popular buffers of walking and running
9 健走和跑步热点建成环境雷达图
Environment radar map for walking and running hot sports



8

9

绿地面积、道路长度、路口数量和公交站数量均有可能促进街道的健康活动。小街区密路网适合引发健走运动；运动场地增强了跑步活动；绿地、水系等自然资源对线性体育活动也有明显的支持作用，尤其是跑步活动更依赖于自然的空间。

热点区域内的街道类型呈现出明显的多元化与混合性。空间分析并未表现出特定类型街道对体育活动有明显的吸引力和空间依赖。可见，线性体育活动对街道类型并没有明显的偏好。但是，街道类型的丰富组合对促进线性体育活动有明显的促进，街道空间的多元变化提升了线性体育活动过程的体验感。

5.3 不同收入人群的空间分化明显

数据显示不同收入人群的健身空间分布具有明显的差异，基本呈现从城市中心向城市边缘扩散的圈层分布结构。一方面，城市房价对不同收入人群的居住空间分布具有约束性；另一方面，随着收入阶层的提高，使用者对于公园广场等公共空间的使用比例在逐步降低。这说明高收入阶层，特别是超高收入阶层对健身环境或许有特别的要求。这些群体对使用者成分较为复杂的公共空间表现出排斥性，可能是出于安全或者人群密度的考虑。另外，各个收入阶层的活动范围很少跨越房价差距较大的区域，一方面可能与运动距离及闭合运动方式有关，另一方面则显示出各阶层对

与其居住地近似运动环境的偏好。

5.4 城市街道空间规划设计建议

对微观形态的讨论是对街道作为日常生活空间的重视^[13]。有助于步行、跑步和骑行的街道环境可以大力促进市民在日常生活中保持有活力的城市生活。

1) 健康服务功能是街道更新改造的重要内容。健康出行与空间规划同步协调的内容应包括：关注街道绿地和场地的设计，为健身活动提供更多的可能性；降低影响健走、跑步和骑行速度的街道交通信号密度，在特殊时段限制运动集聚街区的机动车行驶速度，保障健身和出行活动的连续性和体验性；增强公交车站与周边公园、绿地的可达性，提升线性体育活动的便捷程度；通过混合设计的方式，在办公区域增设户外体育设施，提高工作闲暇时段锻炼和线性体育活动的可能性；应根据个体特征差异和运动社交功能，设置街道户外体育设施。

2) 街道健康服务设施需要进行多元化设计。在城市次干道和支路的规划设计中，应关注并提供线性体育活动的支持条件，比如活动路线、指示标牌等；较长的街道可分段设计为多种街道类型的混合空间，提升街道运动的空间体验感；老旧街区更新时，可因地制宜地结合原有街道特色进行改造；在公园附近的街道，应根据街道的可达性特征，统筹沿

街公园的出入口布局，改善开放空间和公园绿地的可进入性，拓展街道步行的空间场所，降低街道机动车的速度^[14]。

3) 利用节假日促进街道的多功能使用。美国的“游玩街道”项目，通过限时进行街区道路封闭，为学生和社区其他成员提供游玩的空间^[15]，街道封闭甚至促进了缺乏运动习惯的人开始散步、跑步、骑行和进行群体活动^[16]。日本的秋叶原也在特殊时段将部分街道封闭，提供可进行特色城市活动的步行街道。回归非机动车使用的方式，重新关联了城市街道与身体活动，是健康城市设计的新途径。

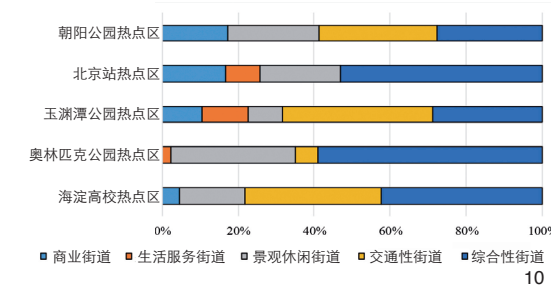
街道的健康性研究拓展了街道价值的维度，也对街道设计提出了更精细的要求。例如，在公交换乘密集区周边建设步行友好的环境，推进街道与公园绿地的连通性；在街道设置健康信息标识，进行公众教育；城市街道峡谷等空间要素对大气颗粒物浓度具有影响^[17]；将街道绿化作为新的街道可步行性评价指标^[18]；政府应根据健康战略目标和专家建议制定促进线性体育活动的健康街道准则等。

5.5 研究局限

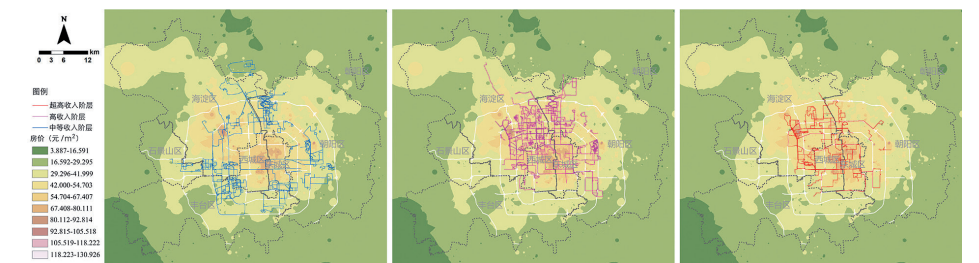
咕咚平台对 19 岁以下的未成年人群和 55 岁以上的老年人群的活动解释力度不强，本研究无法分析未成年人群和老年人的运动状况。同时，数据清洗去掉了活动数据不稳定的的人群，街道的健康服务功能会被低估。

6 结语

本研究基于 TSP 模型(时间—空间—人)，从不同时间粒度与空间尺度探究了北京中心城街道线性体育活动的时空间行为特征。通过对 VGI 数据的街道线性体育活动行为的研究，讨论街道的健康服务功能，阐明街道健康性的重要作用。缺乏体力活动已经成为高收入国家引起非传染性疾病(NCDs)的主要原因，并且在低收入的国家有上升的趋势。城市规划、交通系统、公园和道路所涉及的社会与物理环境也是导致体力活动缺乏的原因之一^[19]。公园里的健身步道远远不能满足日常体育活动的需求，利用街道引导人们进行体育活动是廉价而便捷的城市建设途径。



10 热点区域街道类型百分比
Percentage of street at type in hot spot regions



11 不同收入阶层运动路径
Movement paths of people of different incomes

如何让街道充满更多的吸引力，如何让街道成为人们希望去的公共空间是我们应当牢记和遵循的设计之道。

注释：

- ① 线性体育活动是健走、跑步和骑行等活动的总称，它们的运动轨迹为线性，具有运动起始点、运动速度、运动时间、运动距离等运动属性。
- ② 咕咚软件(Codoon App)在线注册人数超过 8 000 万，用户总量占运动类 App 首位，使用活跃度最高。咕咚运动的 GPS 功能支持多种运动数据的运动员轨迹记录，基础数据真实可靠，可以提供大量而丰富的 VGI 数据。
- ③ 由于大部分的活动路径呈闭环，因此，线密度分析搜索距离除骑行数据取 6km 外，其余均取 2.5km。
- ④ 空间句法线段模型以 500m 为间隔计算 500~10 000m 和全局的穿行度(NACH)指标，以任意相邻路口之间的路段为统计单元。
- ⑤ 分别取 80%~100% 和 20%~100% 识别活动热点，以缓冲区 2.5km 作为研究范围，对全部统计数据采用 Min-Max 标准化进行处理。
- ⑥ 北京市 2013 年住房价格数据来自于北京城市实验室(BCL)，原始数据源为赶集网。将闭合路径的起讫点位置与住房价格数据之间按邻近关系进行属性链接，共得到 572 条有效数据。采用自然间断点方式将其分为 3 类，依次为超高收入阶层(家庭年收入约为 38~60 万元)、高收入阶层(家庭年收入约为 27~37 万元)和中等收入阶层(家庭年收入约为 11~26 万元)。
- ⑦ 文中图片均由作者团队绘制。

参考文献(References)：

- [1] 徐磊青, 孟若希, 陈等. 迷人的街道: 建筑界面与绿视率的影响[J]. 风景园林, 2017(10): 27-33.
- XU Leiqing, MENG Ruoxi, CHEN Zheng. Fascinating Streets: The Impact of The Building Facades and Green View[J]. Landscape Architecture, 2017(10): 27-33.
- [2] MONTGOMERY J. Making a City: Urbanity, Vitality and Urban Design[J]. Journal of Urban Design, 1998, 3(1): 93-116.
- [3] 陈喆, 马水静. 关于城市街道活力的思考[J]. 建筑学报, 2009(S2): 121-126.
- CHEN Zhe, MA Shuijing. Research on The Vitality of Urban Streets[J]. Architectural Journal, 2009(S2): 121-126.
- [4] KUN Liu, KIN Wai, Michael Siub, et al. Where Do Networks

- Really Work? The Effects of the Shenzhen Greenway Network on Supporting Physical Activities[J]. Landscape and Urban Planning, 2016(152): 49-58.
- [5] 余洋, 唐晓婷, 陆诗亮. 大学校园的健康服务功能及要素构成[J]. 风景园林, 2018(3): 38-45.
- YU Yang, TANG Xiaoting, LU Shiliang. Healthy Service Functions and Elements of Universities: Taking Beijing as an Example[J]. Landscape Architecture, 2018(3): 38-45.
- [6] 孟昭昭. 北京中心城街道线性体育活动时空间行为特征研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.
- MENG Zhaojing. Research on the Spatial Behavior of Linear Sports Activities in Beijing Central City Street[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2017.
- [7] KARIMI K. A Configurational Approach to Analytical Urban Design: "Space Syntax" Methodology[J]. Urban Design International, 2012, 17(4): 297-318.
- [8] 叶宇, 庄宇. 新区空间形态与活力的演化假说: 基于街道可达性、建筑密度和形态以及功能混合度的整合分析[J]. 国际城市规划, 2017, 32(2): 43-49.
- YE Yu, ZHUANG Yu. A Hypothesis of Urban Morphogenesis and Urban Vitality in Newly Built-up Areas: Analyses Based on Street Accessibility, Building Density and Functional Mixture[J]. Urban Planning International, 2017, 32(2): 43-49.
- [9] 龙瀛, 周焱. 街道活力的量化评价及影响因素分析: 以成都为例[J]. 新建筑, 2016(1): 52-57.
- LONG Ying, ZHOU Yin. Quantitative Evaluation on Street Vibrancy and Its Impact Factors: A Case Study of Chengdu[J]. New Architecture, 2016(1): 52-57.
- [10] Michael R. Gallagher. 追求精细化的街道设计: 《伦敦街道设计导则》解读[J]. 王紫瑜, 编译. 城市交通, 2015(4): 56-64.
- GALLAGHER M R. Topursue Delicate Street Design: Discussion on Streetscape Guidance: a Guide to Better London Streets[J]. WANG Ziyu, translation. Urban Transport of China, 2015(4): 56-64.
- [11] 张久帅, 尹晓婷. 基于设计工具箱的《纽约街道设计手册》[J]. 城市交通, 2014, 12(2): 26-35.
- ZHANG Jiushuai, YIN Xiaoting. Toolbox Based New York Street Design Manual[J]. Urban Transport of China, 2014, 12(2): 26-35.
- [12] 《上海市街道设计导则》[R]. 上海市规划和国土资源管理局, 2016.
- Shanghai Street Design Guidelines[R]. Shanghai Municipal Administration of Planning and Land and Resources, 2016.
- [13] 韩冬青, 方榕. 西方城市街道微观形态研究评述[J]. 国际城市规划, 2013, 28(1): 44-49.
- HAN Dongqing, FANG Rong. An Overview of Researches

- on Street Form in the West with Micro Measure[J]. Urban Planning International, 2013, 28(1): 44-49.
- [14] KACZYNSKI A T, KOOHSARI M J, STANIS S A, et al. Association of Street Connectivity and Road Traffic Speed with Park Usage and Park-based Physical Activity[J]. American Journal of Health Promotion, 2013, 28(3): 197.
- [15] LEE K K. Developing and Implementing the Active Design Guidelines in New York City[J]. Health & Place, 2012, 18(1): 5-7.
- [16] WOLF S A, GRIMSHAW V E, SACKS R, et al. The Impact of a Temporary Recurrent Street Closure on Physical Activity in New York City[J]. Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine, 2015, 92(2): 230.
- [17] 王兰, 赵晓菁, 蒋希冀, 等. 颗粒物分布视角下的健康城市规划研究: 理论框架与实证方法[J]. 城市规划, 2016, 40(9): 39-48.
- WANG Lan, ZHAO Xiaojing, JIANG Xiji, et al. Study on Healthy City Planning From The Perspective of Particulate Matter Distribution: Theoretic Framework and Empirical Methodology[J]. City Planning Review, 2016, 40(9): 39-48.
- [18] 郝新华, 龙瀛. 街道绿化: 一个新的可步行性评价指标[J]. 上海城市规划, 2017(1): 32-36, 49.
- HAO Xinhua, LONG Ying. Street Greenery: A New Indicator for Evaluating Walkability[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2017(1): 32-36, 49.
- [19] BAUMAN A E, REIS R S, SALLIS J F, et al. Correlates of Physical Activity: Why are Some People Physically Active and Others Not?[J]. The Lancet, 2012, 380(9838): 258-271.

(编辑 / 宋恬恬)

街道绿化品质的人本视角测度框架 ——基于百度街景数据和机器学习的大规模分析 Measuring Street Greening Quality from Humanistic Perspective: A Large-scale Analysis Based on Baidu Street View Images and Machine Learning Algorithms

叶宇 张灵珠* 颜文涛 曾伟
YE Yu, ZHANG Lingzhu*, YAN Wentao, ZENG Wei

中图分类号: TU986
文献标识码: A
文章编号: 1673-1530(2018)08-0024-006
DOI: 10.14085/j.fjyl.2018.08.0024.06
收稿日期: 2018-05-23
修回日期: 2018-06-27

叶宇/1987年生/男/湖北人/博士/同济大学建筑与城市规划学院助理教授/研究方向为大数据与新技术环境下的城市形态与设计(上海200092)
YE Yu, born in 1987 in Hubei Province, is an assistant professor in College of Architecture and Urban Planning, Tongji University. His research focuses on urban morphology and design (Shanghai 200092).

张灵珠/1985年生/女/浙江人/博士/香港大学建筑学院在站博士后/研究方向为空间设计网络分析对城市设计的决策支持(香港999077)
通讯作者邮箱 (Corresponding author Email): zhanglz@hku.hk
ZHANG Lingzhu, born in 1985 in Zhejiang province, is a post-doc fellow in Architecture Faculty, the University of Hong Kong. Her research focuses on spatial design network analysis and urban design (Hongkong 999077).

颜文涛/1970年生/男/浙江人/博士/同济大学建筑与城市规划学院教授/研究方向为生态城市规划理论(上海200092)
YAN Wentao, born in 1970 in Zhejiang Province, is a professor in College of Architecture and Urban Planning, Tongji University. His research focuses on ecological urban planning theory (Shanghai 200092).

曾伟/1989年生/男/安徽人/博士/中国科学院深圳先进技术研究院副研究员/研究方向为计算机可视化(深圳518055)
ZENG Wei, born in 1989 in Anhui province, is an associate professor at Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences. His research focuses on computer visualization (Shenzhen 518055).

摘要: 新技术条件下测度街道绿化品质, 实现人眼视角绿化可见度与街道可达性的整合分析。抓取上海的大规模街景数据, 基于机器学习算法提取绿化可见度, 将其与基于空间网络分析的街道可达性开展叠合分析, 并与基于卫星遥感影像的绿化率比较, 发现绿化率难以准确展现市民日常生活中绿化接触度。运用新技术和新数据推动精细化规划导控, 实践上能实现大规模分析并保证高精度结果, 理论上能为规划政策的人本视角转型提供支撑。

关键词: 风景园林; 街道绿化; 百度街景; 机器学习; 人本视角; 空间网络分析
基金项目: 国家自然科学基金青年项目“街道空间界面宜步行性的精细化测度及设计导控研究——以上海为例”(编号51708410); 上海市浦江人才计划(编号17PGC107); 住房和城乡建设部科学技术计划北京建筑大学北京未来城市设计高精尖创新中心开放课题资助项目“基于多源城市大数据与深度学习的城市空间品质评价与设计导控”(编号UDC2017010412); 同济大学高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室开放课题

Abstract: This paper proposed an approach for quantifying daily exposure of urban residents to eye-level greenery. 280,000 street view images in Shanghai central area are collected for greenery analyses via machine learning. The integration of the street greenery with street accessibility helps to provide detailed guidance for better spatial quality on streets and efficient urban greenery planning. The comparison between this new index and the traditional urban green cover shows that the latter one might not accurately reflect accessed greenery for citizens. This study helps to achieve the co-present of large-scale but also high-resolution analysis. Moreover, it makes a step forward for a more human-centered planning policy.

Keywords: landscape architecture; street greenery; BAIDU street view; machine learning; human-centered perspective; spatial network analysis

Fund Items: National Natural Science Foundation “Walkability of Street Interfaces: A Fine-scale Measurement and Design Control Methods: Case Study Shanghai” (No. 51708410); Shanghai Pujiang Program (No. 17PGC107); Science and Technology Plans of Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People’s Republic of China, and Opening Projects of Beijing Advanced Innovation Center for Future Urban Design, Beijing University of Civil Engineering and Architecture “Measuring Spatial Quality and Assisting Design Control via Multi-sourced urban big data and deep learning” (No. UDC2017010412); Open Grant from Key Laboratory of Ecology and Energy-saving Study of Dense Habitat (Tongji University), Ministry of Education

1 引言

1.1 街道绿化: 重要性及实践导控难点

在近年来宏观政策强调以人为本的背景下, 城市设计实践与导控逐步从“增长优先”向“品质提升”转型, 市民日益提升的空间品

质需求催生了对于人本视角的街道绿化品质的研究。国际实证研究显示, 具有高可见度的街道绿化能直接改善市民对于所在社区的空间品质感受和可步行性, 更易接触的城市绿化还能有效增进场所感、舒缓压力和促进户外活动与

交往^[1]。在中国, 中央城市工作会议和国家新型城镇化规划所推动的“以人为本”的转型也正是这一需求的映射。在宏观政策有相应要求的同时, 当前中国城镇化也正走入对于空间品质需要日益提升的阶段, 人本视角的街道空间品质, 包括街道绿化, 正成为关注重点之一^[2]。

尽管如此, 当前国内外的规划导控仍以依赖卫星遥感影像的绿化率作为绿化程度高低的核心标准, 但这种自上而下的鸟瞰视角测度不一定与市民的实际感受相一致^[3]。从人本视角出发的街道绿化测度整合了人眼视角的绿化可见度与可达性的结果, 在理论上能更好地反映市民实际感受到的绿化程度和街道空间品质, 但在规划导控实践中往往难以操作。

以往人本视角的街道绿化研究大多是基于手工拍摄的街道图片来开展, 不满足规划实践所需的规模性和时效性; 也有学者通过图像处理软件来逐一提取街道图片中的绿色像素点比例, 从而实现更为细致的测度^[4]。这类基于手工的分析能准确地开展小规模的研究, 但由于技术所限在数据搜集和处理方面较为繁琐, 难以满足规划实践需求, 进而导致实践中推广运用困难。

1.2 新技术下的新可能性

随着以计算机技术和多源城市数据为代表的新技术和新数据的迅猛发展, 新城市科学(New Urban Science), 即依托深入量化分析与数据计算途径来研究城市的学科模式, 在过去的10年中正逐渐兴起。近年来以百度街景、谷歌街景等为代表的街景数据的普及为高精度街景数据的迅速获取提供了新的可能^[5,6]。这一新数据已被运用在街道安全程度^[7], 街道绿化率测度^[8,9], 以及城区片区中的街道空间品质高低^[10,11]等研究上。

与此同时, 机器学习技术的迅猛发展为准确、自动化地提取街景图片中的绿色特征提供了新的可能。以SegNet等为代表的机器学习算法运用深度卷积神经网络构架能准确实现街景图片信息的深度处理, 能有效识别图片中的天空、人行道、车道、建筑、绿化等多种要素^[12]。而以支持向量机等为代表的机器学习算法则能根据图片特征对于街景数据进行高效清洗和特征识别。这类技术能够实现对于多类、多色绿化要素(如灰色树干、红色花朵等)的整体提取和测度, 不再局限于以往类似研究中所使用的色彩区间提取法易被干扰的问题, 提升了绿化品质感受测量的准确度。

此外街道绿化的可接触程度也有了更为合适的分析技术来协助测度。以往研究常常将绿化的可接触度简化成为服务半径分析, 而忽视了对于市民日常生活中散步、通勤等典型行为的考量。换言之, 市民通行于城市街道中的每一刻都在感受绿化的影响, 这是相对于到访公园更为高频度的感受体验。空间网络分析, 作为对于街道空间结构特征抽象和可达性测度的工具, 可以有效测度由街道空间结构所决定的可达性高低^[13]。

在一系列新技术的推动下, 对于人本视角的街道绿化开展高效、大规模的测度, 进而协助精细化的规划导控实践已成为可能。

2 研究方法与实验设计

2.1 研究案例与分析框架

本文的研究范围为上海市中环线以内区域, 总面积约400km²。在

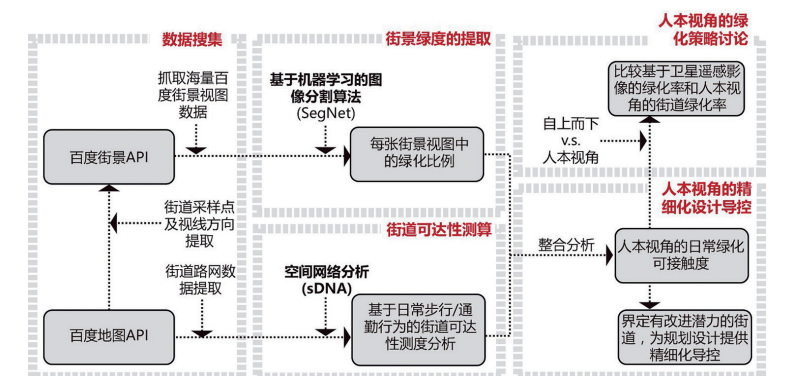
1998—2015年期间, 市区绿化覆盖率从19%增加至38%, 人均公共绿地面积也增加了4倍。尽管如此, 中心城区特别是内环以内的绿化建设仍处于还历史旧账阶段。上海市中心城区人口密度高、开发强度大, 在该区域展开研究, 能为城市高密度地区空间品质提升提供指导意义。

研究分5个步骤进行(图1)。首先通过百度地图API提取街道路网数据, 基于此确定各个街景数据采样点的地理坐标数据以及各个采样点的视线方向, 最终通过HTTP URL形式调用百度街景API来实现海量的街景数据获取。随后采用基于机器学习相关算法进行数据清洗和图像分割, 对街景数据进行处理, 剔除容易影响绿化率判读的季节因素进而提取每一个采样点的绿化可见度。随后采用空间网络分析工具对街道的日常行为^[1]与通勤行为可达性进行量化测算。随后将街景绿化可见度与可达性进行整合分析, 根据街道可达性与街景绿化可见度的匹配程度, 得到街道的“日常绿化可接触度”指标, 从而识别具备进一步发展潜力的街道。最后, 从人本视角出发的、基于街景数据的街道绿化可见度评价也会与传统上普遍使用的, 基于卫星遥感影像的片区绿化率测度开展比较。

2.2 基于百度街景的大规模街景数据获取与清洗

研究基于百度地图数据来获取上海中心城区(中环以内)道路网络数据, 并基于此在百度街景API协助下等间距抓取了近7万个采样点。中心城区范围内共有13672条街道段, 总长2611079m, 平均采样间距约为40m。图2为分布在道路网络上的所有取样点, 放大区域可清楚看到每一个样本点的具体位置(图2)。

街景视图获取是通过HTTP URL来调用百度街景的API查询获得。通过输入视线水平和垂直方向的角度以及视点位置数据, 可以抓取每一个样本点的街景视图, 每张图片包含了位置点唯一标示符、经纬度、视线的水平角度和垂直角度等信息。为了获取贴近人本视角的绿化可见度, 每一个样本点的视线垂直角度统一设置为0°, 即平视^[2]。在视线水平角度方面, 先根据每一个采样点位置及街道路网形态计算平行和垂直于道路方向的视角, 然后根据计算所得的特定视角分别抓取平行于道路(前、后)和垂直于道路方向(左、右)共4张街景视图, 每个视线方向的视角为90°。这样的采集形式正好可以对视点周围的建



1 研究设计框架
Research framework

成环境形成全面囊括(图3)。每张图片大小为480×360像素。

本研究所中街景数据的抓取在2017年春季开展。在百度地图API所提供的数据库(Timestamp)的协助下对于冬季照片做删除或替换^③。通过这一操作,季节变化对于街景绿化产生的影响可以被较好的控制,提升了街景数据对于实际情况的代表性。

2.3 基于机器学习的街景绿化可见度分析

对街景视图绿化可见度的解析采用基于机器学习算法的卷积神经网络工具(SegNet)提取图像特征(图4)。其将图片中的像素点识别为天空、人行道、车道、建筑、绿化等要素类型,在此基础上可计算每张图片中绿化要素所占的比例。本研究直接沿用了SegNet提出机构(剑桥大学)的识别模型和训练图片库。考虑到现有的探索性研究在中国城市中直接运用这一工具的识别效果良好^④,故未基于中国图片数据开展进一步的图像标定和再训练。

2.4 基于空间网络分析的道路可达性分析

在图论基础上衍生出的城市空间网络表

示方法为交通网络的全局可达性考量提供了多种可能。本研究采用基于ArcGIS平台的空

间设计网络分析软件(sDNA)^④分析路网的可达性,其采用GIS平台建立道路中心线模型,与目前能获取的大多数地图兼容性较好。

sDNA对最“短”路径的考量可基于拓扑、角度或米制距离的变化,由于基于角度距离的可达性值已被证实与观测到的人车行为分布具有很好的相关性,因此本研究采用基于角度距离的中间性(Angular Betweenness)作为道路网络可达性的度量值。

在空间网络分析中,不同分析半径下的可达性结果对应着相应距离出行行为对道路的选择度。如果在小尺度的半径限制下计算,则计算只考虑该半径范围内的街道段,这意味着系统只能识别街道段之间的局部关系。反之,大尺度的半径将更大的区域纳入分析,可以突出通勤可达性高的主要道路。在上海,500m常被认为是步行舒适距离^⑤;根据最新的城市出行半径大数据报告,截至2016年12月,上海市平均工作日出行半径的中位数是

6.2km^⑥;因此这2个距离被选则作为日常步行与通勤行为的分析半径。

3 分析与结果

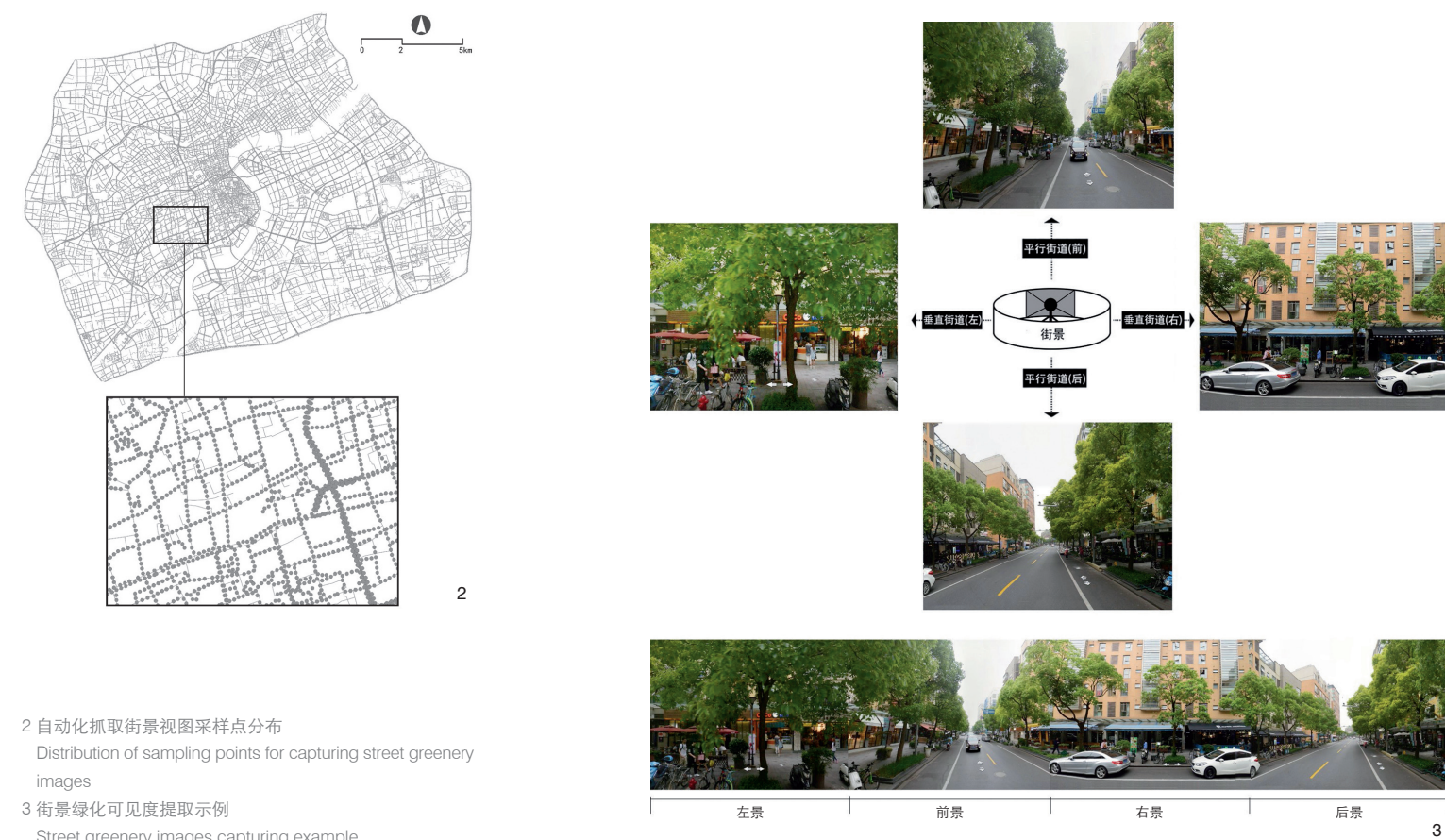
3.1 人本视角的街景绿化测度:绿化可见度与可接触度的整合

图5为中心城区各采样点的绿化可见度,以及整合了样本点数据的每条街道的绿化可见度值。通过将各个采样点的数值赋给其最邻近的各个街道段,以平均值计算可得到各街道段的绿化可见度值。中心城区所有街段的平均绿化可见度为20.8%,其中,绿化可见度值最大的为63.1%(表1)。内环以内区域的街道长度占总街道长度的45.9%,绿化可见度比例占总数的55.8%,内环与中环之间街段的绿化可见度相对较差(街道长度占54.1%,绿化可见度比例为45.2%)(图5)。

图6为基于日常步行和通勤2种分析半径测算的上海中心城区道路网络可达性。可以看到,当分析半径为500m时,可达性较高的道路大多集中在核心城区街道较短、交

叉点较多的区域;当分析半径为6000m时,可达性较高的道路在整个范围内分布较为均匀,主要为贯穿各区的城市主干道与次干道。两种分析半径结果可大致反映不同出行距离

时的道路流量潜力分布:短距离出行往往选择生活性街区,以日常步行行为为主;远距离出行往往选择主要道路,以通勤行为为主(图6)。



2 自动化抓取街景视图采样点分布
Distribution of sampling points for capturing street greenery images
3 街景绿化可见度提取示例
Street greenery images capturing example

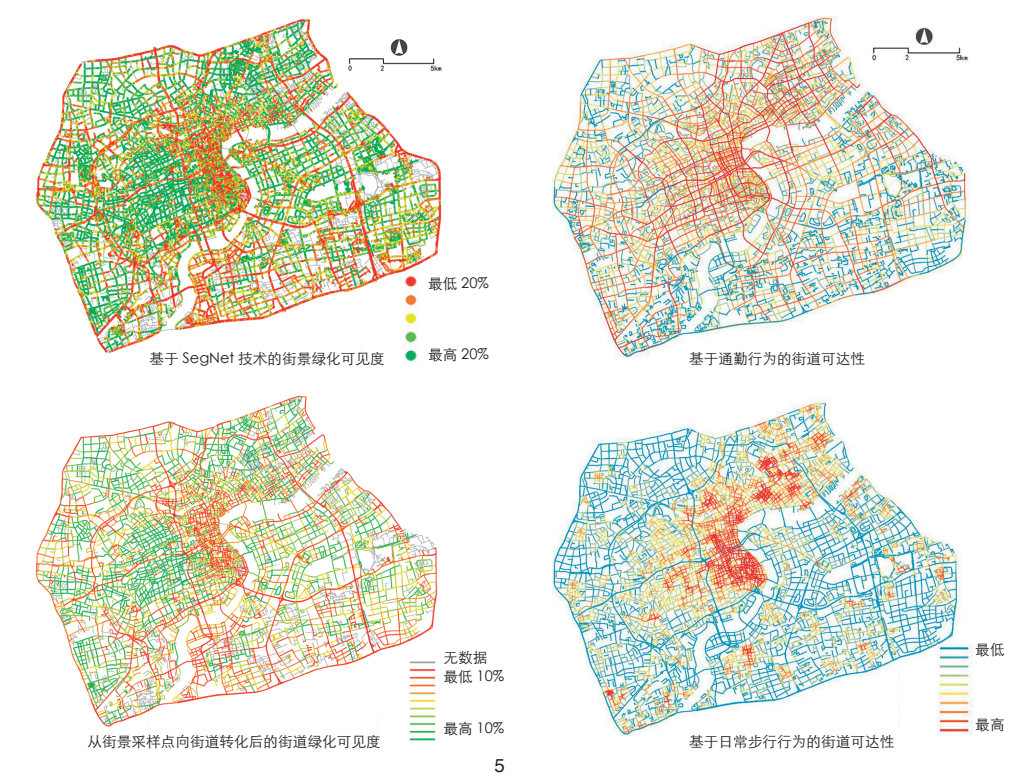
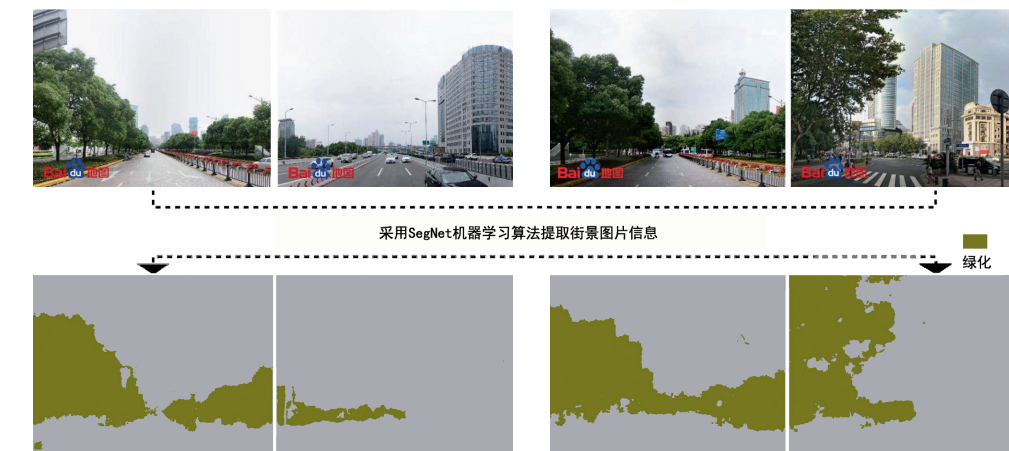


表1 上海中心城区街景绿化可见度
Tab.1 Street greenery of central Shanghai

范围	街段总长度/m	街段总长度 占总数的比例/%	绿化可见度 占总数的比例/%	绿化可见度平均/%	绿化可见度最大/%
中心城区 (内环+中环)	2 159 128	100	100	20.8	63.1
内环以内	991 613	45.9	55.8	21.03	63.1
内环与中环之间	1 167 515	54.1	45.2	20.2	61.08

根据街景绿化可见度以及可达性的不同可将街道分别等分为高中低3类,对街景绿化度最优或最劣的1/3街道与步行/通勤可达性最高或最低的1/3街道进行叠合分析,可以得到“步行绿化可接触度”及“通勤绿化可接触度”等概念的直观展现,例如步行可达性高且街景绿化度高、步行可达性高但街景绿化度低、通勤可达性高且街景绿化度高、通勤可达性高但街景绿化度低等系列类型(图7)。其中比较值得注意的是两类情况。一类是将绿化可见度最低与可达性最高的街道进行叠合从而得到具有高选择度但缺乏绿化可见度的街道,这是绿化规划亟待改善的重点区域。反之将绿化可见度最高与可达性最低的街道进行叠合则代表了具有高选择度且有较好绿化可见度的街道。基于此,图8的红色线段代表了具备进一步发展潜力的街道,这些街道具备较高的步行或通勤可达性,但同时缺乏绿化可见度(图8)。

3.2 人本视角 V.S. 自上而下: 基于街景图像的绿化品质测度与基于卫星遥感影像的片区绿化率

本研究利用卫星遥感影像数据测定研究区域内96个街道办的绿化覆盖率指标,并与相应街道办的街景绿化可见度指标进行比较。对于基于卫星遥感影像的绿化覆盖率指标(NDVI)与基于人本视角的街景绿化可见度的相关性进行分析显示(表2),基于卫星遥感影像的绿化率与街景绿化可见度之间的相关关系较弱($r=0.492, n=96$)。计算各片区内“通勤绿化可接触度”和“步行绿化可接触度”高的街道数量或长度与区域内街道总数量或总长度的比值,将其和片区的绿化覆盖率进行相关性分析,发现它们之间并不存在相关关系。这意味着以往传统上单纯依赖卫星影像绿化率作为核心考核指标的做法存在一定不足,不论对于日常步行还是通勤行为,基于卫星遥感影像的绿化率提升,不一定会

4 街景绿化可见度提取示例
Street greenery extraction examples
5 上海中心城区街景绿化可见度分析
Street greenery of central Shanghai
6 上海中心城区街道可达性
Street accessibility of central Shanghai

带来绿化可接触度高的街道数量增加。城市绿地系统规划时，增加绿化覆盖率主要是以面块的形式，缺乏对街道绿化的考虑。然而，人眼可见的绿化才是与居民生活品质直接相关的因素，纳入街景视角的街道绿色可见度，可提供人本视角的绿化评价指标。

图9中对于上海中心城区绿化覆盖率与绿化可见度的进一步分析显示，大块的城市公园能有效提升基于卫星遥感影像的片区绿化率，但对于市民在日常生活中的绿色可接触度则未必有帮助，如图9中的类型A区域。而具有相对细密路网和道路绿化的类型B区域则与之相反，人本视角的街道绿化可见度水平则可能高于自上而下视角的片区绿化率（图9）。

4 讨论与展望

4.1 上海市中心城区的街景绿化评价

分析显示，尽管核心城区（内环以内）

的平均街景绿化可见度（21.03%）要略高于非核心城区（20.22%），但从绿化可接触度的分布情况来看：步行行为中具有高可接触度而低绿化可见度的街道有82%分布在核心城区，仅有18%分布在非核心城区；相比较而言，通勤行为中具有高可接触度而低绿化可见度的街道有68%位于核心城区，32%位于非核心城区。可见上海中心城区的街景绿化分布在人本视角下并不均衡，其中核心城区由于高密度开发对绿化种植面积的制约，使得其绿化可接触度的提升显得尤为迫切。

鉴于此，在空间资源有限的城市区域，应考虑积极采用其他形式在潜力街道上提升街景绿化可见度。可考虑在街道微更新中着力推动若干重点街道上的垂直绿化建设，也可考虑在控规中通过容积率转移条件来鼓励街头绿地的进一步建设。分析结果表明，分析区域的街景绿化品质在通勤尺度和步行

尺度上都有很大的提升空间，通过量化测度识别街景绿化可见度与可接触度之间的差异，有望进一步鉴别可提升绿化潜力的空间，协助规划导控。

4.2 迈向人本视角的街景绿化测度与导控

上述分析可见，将街景绿化可见度分析与空间网络分析结合是有效度量市民绿化体验较为快速和直接的方法，使得在短时间内开展大规模且高精度的精细化街景绿化测度与导控成为可能，让街景绿化不再局限于小规模研究层面，而能够迅速向大规模的实际导控迈进。考虑到街景数据源的普遍性，这一分析框架有望用于有百度或腾讯街景覆盖的多个大中城市。

此外，街景绿化测度的另一优点在于其优先考虑人眼视角的绿化可见度。当前广泛使用的，基于卫星遥感影像的绿化率指标与街景绿化可见度之间的相关度较为一般，

这一结果指出了当前城市规划中容易被忽视的一个问题，即如何同步提升城市绿化覆盖率与人眼视角所能感受到的街景绿化可见度？若是一味地以基于卫星遥感影像的绿化率作为核心指标，在政策导向上很可能会促使规划实施偏向可以轻易抬高片区绿化率的大型公园，而相对忽视对于市民来说更常见、更易接触的街道绿化。虽然市中心的大型公园一直是市民很受欢迎的休闲徒步空间，但出于用地现状考虑，目前中国大中城市基本不太可能在市中心新设大型公园，片面对于城市绿化率强调和争创各类园林城市的需求可能会在一定程度上推动远郊大型公园的过度发展。这样固然可以迅速提高城市总体绿化率，但市民在日常生活中能频繁接触的绿色未必能有效增加。

由此可见，增加人本视角的绿化测度指标可以为全面的城市绿化评估提供决策支持，可成为现有规划导控的必要补充，进而助推“以人为本”的规划导控的落实。具体来说，在总体规划和绿地系统规划层面上应完善指标配比，将人本视角的绿化测度指标与基于卫星影像的绿化率相结合。在控制性规划和城市设计导则的层面进一步鼓励和推动街角绿地的建设，提升人本视角的绿化品质。社区更新背景下的社区花园建设亦可成为一个有效途径^[10]。

4.3 研究局限、未来改进与实践导控拓展

本文的研究及方法仍有一定的局限性。首先，街景图像数据是通过街景采集车为基础获得。部分适宜居民步行的空间不适宜机动车辆通行，因而导致这部分空间缺乏街景图片数据而不能纳入整体分析，可能会在一定程度上影响分析结果。后续计划将通过手工和无人机采集的方式进行补充。其次，本研究中街景图片数据的采集点视高为车载街景采集系统的高度，相较于大部分人的视线高度略高。在未来的研究中考虑尝试投影变换的方法对原生街景数据做修正。再次，目前研究在绿化可见度的高、低划分上缺乏系统的实证分析支撑。由于实际规划管理中“个体视觉感知”标准差异较大，因此目前的高、低标准需要进一步细化。后续计划采用大规

模网络问卷与小样本专家打分的形式综合确定各类绿化可见度的归属区间。

未来的进一步研究将考虑扩大分析的时间范围及内容，如获取历史街景视图数据，以监测绿色可接触度随时间的变化；或在调查城市绿化对居民健康和幸福感的影响时，将街道绿化可见度值纳入分析要素。现有文献对不均衡的城市绿化分布与居民健康之间的关系已经有所研究^[9]，精细化尺度的街景绿化度评估有望为这方面研究带来全新的视角。

总的来说，新城市科学所衍生的数据获取和分析技术等方面的协同进步，极大程度上深化了我们对于城市空间特征及其影响的评价精度与粒度，进而使“人本”设计不再只是口号性的呼吁，而是首次使基础数据采集、设计生成与使用评价等各方面均具备可操作性^[17]。在这一趋势下，必将涌现越来越多新的数据环境和新方法，将应用于规划设计实践中，为以人为本的高品质场所营造提供新的途径。

注释：

- ① 这里“日常行为”指的是居民的各种日常活动，如上班、回家、购物等习惯性行为，偶发性活动不在本文的考虑之列。
- ② 尽管将拍摄角度设为0°在少部分有高大树冠的场景中会缺失部分绿化信息，但鉴于本文的研究重点是人们对绿化环境的体验度而非对树冠绿量精细测量，该视角可基本满足研究的需要。
- ③ 文中图表均由作者自绘。

参考文献 (References):

[1] 陈箐, 董楠楠, 刘颂, 等. 上海城市公园使用对健康影响研究[J]. 风景园林, 2017 (9): 99-105.
CHEN Zheng, DONG Nannan, LIU Song, et al. Study on the Impacts of Urban Park Use on Public Health in Shanghai[J]. Landscape Architecture, 2017 (9): 99-105.
[2] 龙瀛, 叶宇. 人本尺度城市形态: 测度, 效应评估及规划设计响应[J]. 南方建筑, 2016 (5): 41-47.
LONG Ying, YE Yu. Human-scale Urban Form: Measurements, Performances, and Urban Planning & Design Interventions[J]. South Architecture, 2016 (5): 41-47.
[3] JIANG B, DEAL B, PAN H Z, et al. Remotely-sensed Imagery V.S. Eye-level Photography: Evaluating Associations among Measurements of Tree Cover Density[J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 157: 270-281.
[4] YANG J, ZHAO L, MCBRIDE J, et al. Can You See Green? Assessing the Visibility of Urban Forests in Cities[J]. Landscape and Urban Planning, 2009, 91(2): 97-104.

[5] LONG Y, LIU L. How Green are the Streets? An Analysis for Central Areas of Chinese Cities Using Tencent Street View[J]. PLOS One, 2017, 12(2): e0171110.
[6] 叶宇, 戴晓玲. 新技术与新数据条件下的空间感知与设计运用可能[J]. 时代建筑, 2017 (5): 6-13.
YE Yu, DAI Xiaoling. Spatial Perception and Design Potentials in the Context of New Analytical Techniques and New Data[J]. Time + Architecture, 2017(5): 6-13.
[7] NAIK N, PHILIPOOM J, RASKAR R, et al. Streetscore: Predicting the Perceived Safety of One Million Streetscapes[C]// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2014: 779-785.
[8] LI X, ZHANG C, LI W, et al. Assessing Street-level Urban Greenery Using Google Street View and a Modified Green View Index[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2015, 14(3): 675-685.
[9] 郝新华, 龙瀛. 街道绿化: 一个新的可步行性评价指标[J]. 上海城市规划, 2017, (1): 32-49.
HAO Xinhua, LONG Ying. Street Greenery: A New Indicator for Evaluating Walkability[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2017(1): 32-49.
[10] SHEN Q, ZENG W, YE Y, et al. Street Vizor: Visual Exploration of Human-scale Urban Forms Based on Street Views[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2017.
[11] 唐婧娟, 龙瀛. 特大城市中心区街道空间品质的测度: 以北京二环路和三环环为例[J]. 规划师, 2017, 33 (2): 68-73.
TANG Jingjuan, LONG Ying. Metropolitan Street Space Quality Evaluation: Second And Third Ring Of Beijing, Inner Ring Of Shanghai[J]. Planners, 2017, 33(2): 68-73.
[12] BADRINARAYANAN V, KENDALL A, CIPOLLA R. Segnet: A Deep Convolutional Encoder-decoder Architecture for Image Segmentation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, 39(12): 2481-2495.
[13] HILLIER B, PENN A, BANISTER D, et al. Configurational Modelling of Urban Movement Network[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1998, 25(1): 59-84.
[14] CHIARADIA A, CRISPIN C, WEBSTER C. sDNA a Software for Spatial Design Network Analysis[EB/OL]. (2014-06-15) [2018-05-12]. www.cardiff.ac.uk/sdna/.
[15] 企鹅智酷. 北上广深哪里最拥挤? 腾讯发布一线城市出行大数据报告 (更新版) [EB/OL]. (2017-02-13) [2018-05-12]. http://tech.qq.com/a/20170213/006139.htm#p=1.
[16] 刘悦来, 尹科变, 魏闽, 等. 高密度中心城区社区花园实践探索: 以上海创智农园和百草园为例[J]. 风景园林, 2017 (9): 16-22.
LIU Yuelai, YIN Keluan, WEI Min, et al. Community Garden Practice in High-density Central Cities: A Case Study of KIC Garden and Herb Garden in Shanghai[J]. Landscape Architecture, 2017 (9): 16-22.
[17] YE Y, LI D, LIU X. How Block Density And Typology Affect Urban Vitality: An Exploratory Analysis in Shenzhen, China[J]. Urban Geography, 2018, 39(4): 631-652.

(编辑 / 陈汪丹)

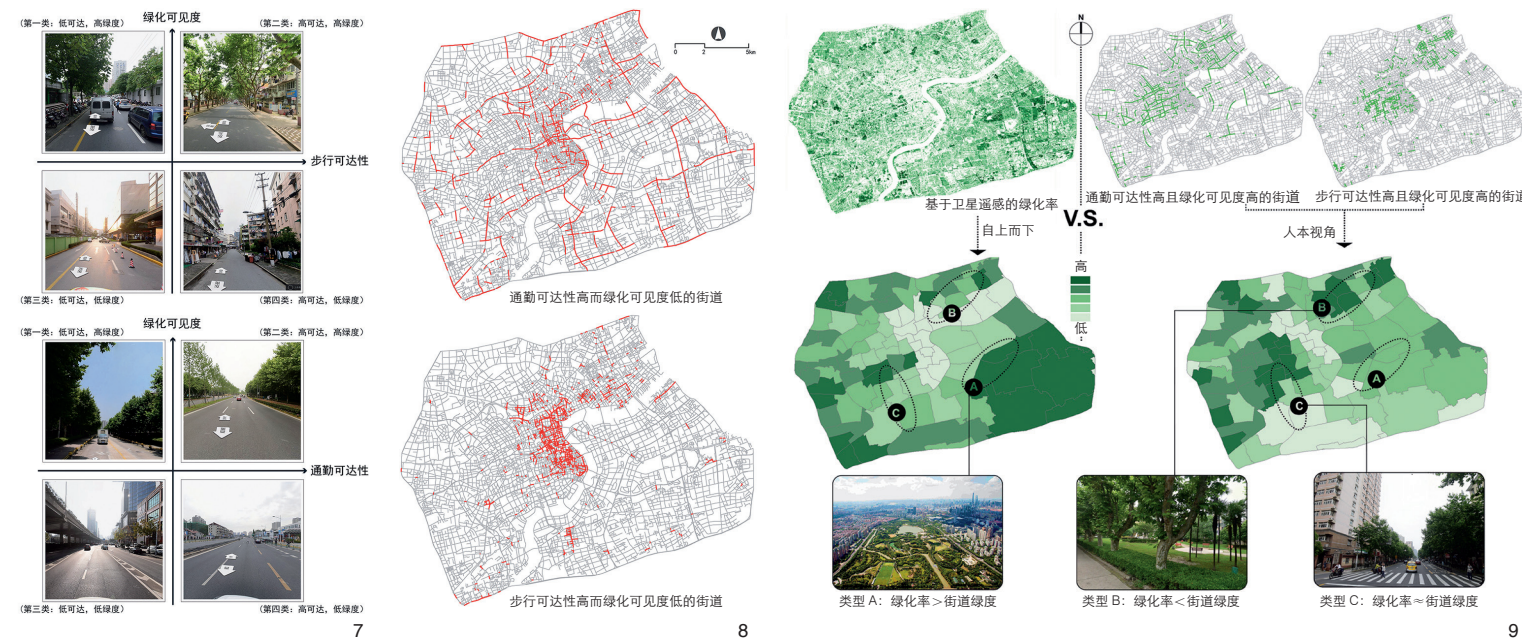


表2 上海中心城区片区绿化率与街道绿化品质的相关性（以街道办为单位）

Tab. 2 Correlation analyses between green coverage and street greenery (in unit of sub-district)

	街景绿化可见度 (平均)	通勤绿化可接触度高 (数量比值)	日常步行绿化可接触度高 (数量比值)	通勤绿化可接触度高 (长度比值)	日常步行绿化可接触度高 (长度比值)
Pearson 相关性	0.492*	0.144	0.038	0.141	-0.012
NDVI 显著性 (双侧)	0.000	0.162	0.712	0.169	0.906
N	96	96	96	96	96

注:* 在0.05水平上显著相关。

7 上海中心城区街景绿色可达类型

Types of street green accessibility of central Shanghai

8 上海中心城区街道可达性与绿化可见度叠合分析

Streets with high accessibility and low greenery

9 上海中心城区绿化覆盖率与绿化可见度叠合分析

Green coverage and street greenery of central Shanghai

大数据背景下北京市大型居住区通勤绿道选线研究 Big Data-based Commuter Greenway Selection in Large Residential Areas of Beijing

梁军辉 杜洋* 赛金波 黄昱然
LIANG Junhui, DU Yang*, SAI Jinbo, HUANG Yuran

中图分类号: TU986
文献标识码: A
文章编号: 1673-1530(2018)08-0030-06
DOI: 10.14085/j.fjyl.2018.08.0030.06
收稿日期: 2018-05-23
修回日期: 2018-07-03

梁军辉 /1989 年生 / 男 / 河南人 / 硕士 / 北京清华同衡规划设计研究院规划师 / 研究方向为大数据挖掘与分析 (北京 100085)
LIANG Junhui, born in 1989 in Henan Province, is an urban planner with a master's degree in the Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning and Design Institute. His research focuses on big data mining and analysis (Beijing 100085).

杜洋 /1991 年生 / 男 / 河南人 / 硕士 / 北京清华同衡规划设计研究院规划师 / 研究方向为行为地理 (北京 100085)
通讯作者邮箱 (Corresponding author Email): duyang@thupdi.com.
DU Yang, born in 1991 in Henan Province, is an urban planner with a master's Degree in the Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning and Design Institute. His research focuses on behavioral geography (Beijing 100085).

赛金波 /1992 年生 / 女 / 山东人 / 硕士 / 北京清华同衡规划设计研究院景观规划设计师 / 研究方向为风景园林规划与设计 (北京 100085)
SAI Jinbo, born in 1992 in Shangdong Province, is a landscape architect with a master's degree in the Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning and Design Institute. Her research focuses on landscape planning and design (Beijing 100085).

黄昱然 /1991 年生 / 男 / 湖南人 / 北京大学政府管理学院在读博士研究生 / 研究方向为区域经济 (北京 100871)
HUANG Yuran, born in 1991 in Hunan Province, is a doctoral candidate in the School of Government, Peking University. His research focuses on regional economies (Beijing 100871).

摘要: 近年来,随着城市交通拥堵和环境污染等问题的日益凸显,自行车作为通勤出行方式的地位逐渐上升,通勤者对建立不受机动车干扰的、连续的、具备通勤功能的城市绿色道路的需求也在不断增加。绿色道路的线路建设不仅要保障空间可实施性和交通环境质量,还要与居民的通勤出行需求紧密结合,实现绿道使用的综合效益最大化。基于此,研究以北京市回龙观地区为对象,采用与居民出行行为有关的数据,识别郊区居民中短程通勤特征,划定主要通勤范围,探究基于居民真实出行的多源大数据的选线方法,通过基于通勤出行需求强度与吸引强度的绿道节点甄选与路段适宜性的评价分析。最后,通过 GIS 网络分析功能进行最优线路选择,并结合城市公园、绿地、河流等资源的分布情况进行修正,形成一条满足居民通勤需求的、完整互联的、安全的且具备较强实施性的绿色通道。最终达到降低居民通勤时耗、提升区域可达性、完善城市慢行系统网络的目的。
关键词: 风景园林; 绿道; 通勤绿道; 选线; 大数据; 北京市

Abstract: In recent years, the problems of urban traffic congestion and environmental pollution have become increasingly more obvious, which makes bike riding more popular in big cities. The need to build a continuous, non-motorized greenway for commuters is increasing in many cities. The construction of greenway should not only ensure the space availability and quality of traffic environment, but also meet the needs of residents for maximized comprehensive benefits. Based on this, with Huilongguan communities in Beijing as the research object, we evaluate and analyze the node elements of demands and attractions, in view of the metropolitan suburban short and medium-distance commuting requirements, to explore greenway selection method, based on real commuting big data of the residents. Finally, the best route is selected with the aid of GIS, and the attracting nodes are modified according to the distribution of resources such as city parks, green land, rivers, in order to build a well-connected and safe commuting greenway equipped with good infrastructures. The greenway may save commuting fare and time, improve the region accessibility and non-motorized traffic of big cities.

Keywords: landscape architecture; greenway; commuting greenway; route selection; big data; Beijing

绿道是“以自然要素为依托和构成基础,串联城乡游憩、休闲等绿色开敞空间,以游憩、健身为主,兼具市民绿色出行和生物迁徙等功能的廊道”^[1],是城市规划中一种重要的空间类型,与城市居民的生活息息相关。近年来,随着城市交通拥堵和环境污染等问题的日益凸显,居民健康意识的快速提升,人们寻求绿色、低碳出行方式的愿望愈加强烈。城市绿道的建设发展正是人们为改善城市绿色空间环境、倡导绿色健康出行以及践行低碳出行方式所采用的

一种重要措施,这对于缓解城市交通拥堵、提升居民出行满意度和实现城市资源的有效利用具有重要意义^[2-3]。然而,已有城市绿道多以休闲游憩为主要功能,随着骑行作为通勤出行方式地位的上升,特别是在2016年之后,兴起的“共享单车”更是将居民的骑行出行热潮推向一个新高度,通勤者对建立与居民通勤出行需求紧密结合绿色道路建设提出了新的挑战。

因此,研究所指的“通勤绿道”正是以居民通勤出行为主要出发点提出的绿道概念,属

于交通型城市绿道,是城市慢行交通系统的一部分。即在居民通勤出行的密集区域,依据居民通勤出行需求特征,构建在满足居民自行车+步行出行需求的主要条件下,又兼具展示城市地域景观或历史特性、休闲游憩、城市生态资源保护等功能于一体的、一条不受机动车干扰的、安全的、完整连续的上下班通行专用绿道^[4-5]。那么,如何在有限的土地资源、破碎的绿色空间架构下,通勤绿道如何选线对于重新构建高效的道路绿色通勤功能显得尤为重要。

中国城市绿道网络规划依靠自上而下的政府决策,对选线落地缺乏科学支撑,同时由于行政界线和规划片区的分割,对网络结构、形态以及空间联系上缺乏整合,客观上强化了绿道的破碎化^[6]。近年来,基于多因素模拟评估的选线方法逐步受到重视,比较成熟的包括适宜性分析法、AHP层次法、德尔菲专家打分法等,选线流程概括为:评价各项资源—论证连接路径—得分计算与处理—依据得分选线^[7]。已有基于这些方法的研究,都在试图构建多因素模型,模拟绿道空间对使用者感受的影响,努力实现空间意义上绿道线路的最优。但是,由于数据获取的局限,研究往往缺乏对绿道使用者的研究以及对居民自身习惯的学习和出行需求的认知^[8-9]。

随着大数据分析方法与数据采集方法的发展,在城市微观尺度上认知居民的出行需求和出行特征成为可能,为多因素模拟评估方法的优化提供了机遇。本研究基于多源数据融合方法与GIS网络分析方法,以北京市回龙观地区为例,综合该区域居民中短程通勤出行特征、区域空间建设条件,对绿道布局的供需影响因素加以整合,来探究基于居民真实出行多源大数据的通勤绿道选线方法,为今后城市通勤绿道布局方案的规划与实施提供一定的参考。

1 基于大数据分析的通勤绿道选线技术路径

1.1 研究区域确定

本文选取包含北京郊区大型居住区的回龙观地区作为研究对象(图1),北京市最大的

居住社区——回龙观社区居住人口数量达30多万^[10],是典型的“卧城”,其大部分居民工作于上地、中关村等的商业或科技园区内,居民职住分离程度较高。据2016年调查数据显示,回龙观社区有近20%的人在中关村上班,有超过16%的人在土地工作;有超过40%的居民习惯用自驾车进行通勤出行,经常因交通拥堵而使得每天需花费1~1.5h到达目的地。而回龙观到上地的距离只有6.3km,若按照直线距离计算,骑自行车上班只需要20~30min就可到达(自行车时速一般是10~20km/h)^[11]。

1.2 研究数据

本文研究数据主要包括:

- 1) 北京市2016年9月完整2周的1km×1km手机信令网格数据,数据来源于移动电话运营商。网格数据内容主要包括居民的居住地网格与对应的工作地网格位置,以及各网格之间的联系人数。
- 2) 北京市2016年9月完整一周的公交、地铁刷卡记录,数据来源于北京市公交公司。数据内容主要包括刷卡上下车地点与对应的上下车时间等信息。
- 3) 北京市2016年9月份完整一个月的共享单车数据,数据来源于摩拜科技有限公司。数据内容主要包括单车骑行的起点、终点以及对应的起点、终点时间等信息。
- 4) 北京市2016年POI数据,数据来源于高德地图(ditu.amap.com)。数据内容主要包括北京市各类社会基础设施的类别、位置等属性信息。
- 5) 北京市DEM数据与北京市2016年9月Landsat-8遥感影像数据,数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(www.gscloud.cn)。

1.3 通勤绿道连接对象特征

通勤绿道连接对象特征从其功能类型上看,主要为城市居民提供短距离接驳公共交通和中、短距离通勤出行的服务;从空间作用上看,主要是将具有中、短距离职住需求的两地建立安全、快速的空间联系,同时兼具提升城市景观生态的功能作用。根据通勤绿道的功能特点,本文将其连接对象分为两大类,即通勤出行需求端与通勤出行吸引端。其中,通勤出行需求端是居民出行向外扩散的起点,主要是以城市社区为核心的城市居民聚集地区、公共交通站点等区域,这部分区域通勤出行最为强



1 研究区域
Research areas

烈,应优先考虑通勤绿道的建设。通勤出行吸引端是吸引居民通勤出行经过或到达的被连接对象,主要包括公司企业、科研教育机构等就业、教育资源聚集区,以及公园绿地、风景区等绿地生态型游憩资源聚集区。通常越具有吸引力的区域通勤绿道建设的价值越高。通勤绿道选线规划则是在通勤出行需求端和通勤出行行为吸引端之间建立联系,构建兼具通勤和景观生态服务的绿道网络^[8]。

1.4 基于大数据的通勤绿道选线方法

具体选线思路过程如图2所示(图2),根据通勤绿道连接对象特征,本文利用手机信令识别的回龙观地区居民居住地与就业地,研究回龙观地区有工作人口的通勤出行空间分布特征,以确定该地区有工作人口的主要通勤方向与主要通勤范围。

在此基础上,利用公交与地铁站点的刷卡数据,确定回龙观地区频率高的通勤出行需求站点与其通勤范围内频率高的通勤出行吸引站点,作为居民公共交通通勤出行的需求与吸引节点;利用共享单车数据研究居民通勤出行中单车骑行行为特征,以确定居民单车通勤出行的需求与吸引节点;利用POI数据,提取主要通勤范围内的商业大厦、公司企业、科研教育机构、公园绿地、风景区等类别进行密度计算,然后筛选出主要通勤范围内基础设施分布密集的区域,从而确定通勤绿道网络重点连接的吸引通勤出行经过或到达的上学、工作与游憩资源聚集的区域。

综合分析路段两侧一定范围内的供需信息与其他要素信息(如坡度、绿化覆盖率等),采用 AHP 方法获得通勤绿道选线所需的路段适宜性得分;利用 ArcGIS 的网络分析模块进行通勤绿道选线的最佳路径分析。在此基础上根据实地路线状况进行适当调整,最终形成的线路即为回龙观地区的通勤绿道最优选线结果。

2 通勤绿道选线规划

2.1 基于大数据分析的通勤绿道节点筛选

2.1.1 主要通勤范围分析

基于手机信数据对回龙观居民的职住关系分析可看出(图 3),回龙观地区居民的就业地主要分布在回龙观南部与西部区域,其中就业人口数量在上地街道、西北旺镇、中关村街道、清河街道等区域分布最多。基于此,本文拟选定回龙观地区主要通勤范围:如图 3 中斜线部分区域所示。回龙观地区在该范围内工作的人口数量占在全北京区域工作人口全部数量的 50.31%。

2.1.2 主要通勤范围内通勤绿道节点筛选

对应通勤绿道的功能特点,绿道的连接节点应设置在人群出行活动密集的居住区、就业/科研教育集聚区、公共交通枢纽区以及景观生态条件好的游憩资源等区域。在路线选取方面,除考虑路段两侧区域的吸引或需求强度外,还考虑路段的坡度变化、路段绿化覆盖率以及路段等级等因素。为便于对各连接功能节点进行整合叠加,最终形成通勤绿道选线的适宜性评价,本文对连续性数值的指标均采用 9 分制,并以自然间断点分级方法,将通勤出行需求端与吸引端指标按强度大小分为 5 级,各级别分值分别为 1、3、5、7、9,分值越高越适合作为通勤绿道的节点;对于离散性指标如游憩资源,按照绿地面积大小、景点级别与重要性程度进行分级赋值^[2]。

1) 通勤绿道需求端要素评价。

通勤出行需求节点评价指标如表 1 所示(表 1),数据分析发现史各庄居住社区与回龙观居住社区是回龙观地区居住人口密集区,也是共享单车需求较高的区域(图 4)。公共

交通需求水平较高区域主要位于龙泽地铁站、回龙观地铁站与霍营地铁站,以及史各庄居住社区周边的公交站点,回龙观居住社区距离地铁站较远的区域公交站点的需求水平要高于其他区域的公交站点(图 5)。

2) 通勤绿道吸引端要素评价。

通勤出行吸引端节点评价指标如表 2 所示(表 2),数据分析发现:

A: 就业集聚区域主要分布在上地街道、海淀街道、中关村街道等区域(图 6-1);科研教育集聚区域主要分布燕园街道、清华园街道、海淀街道、中关村街道以及学院路街道和花园路街道,这些街道是大学、中学以及各类科研院所的集聚区(图 6-2)。

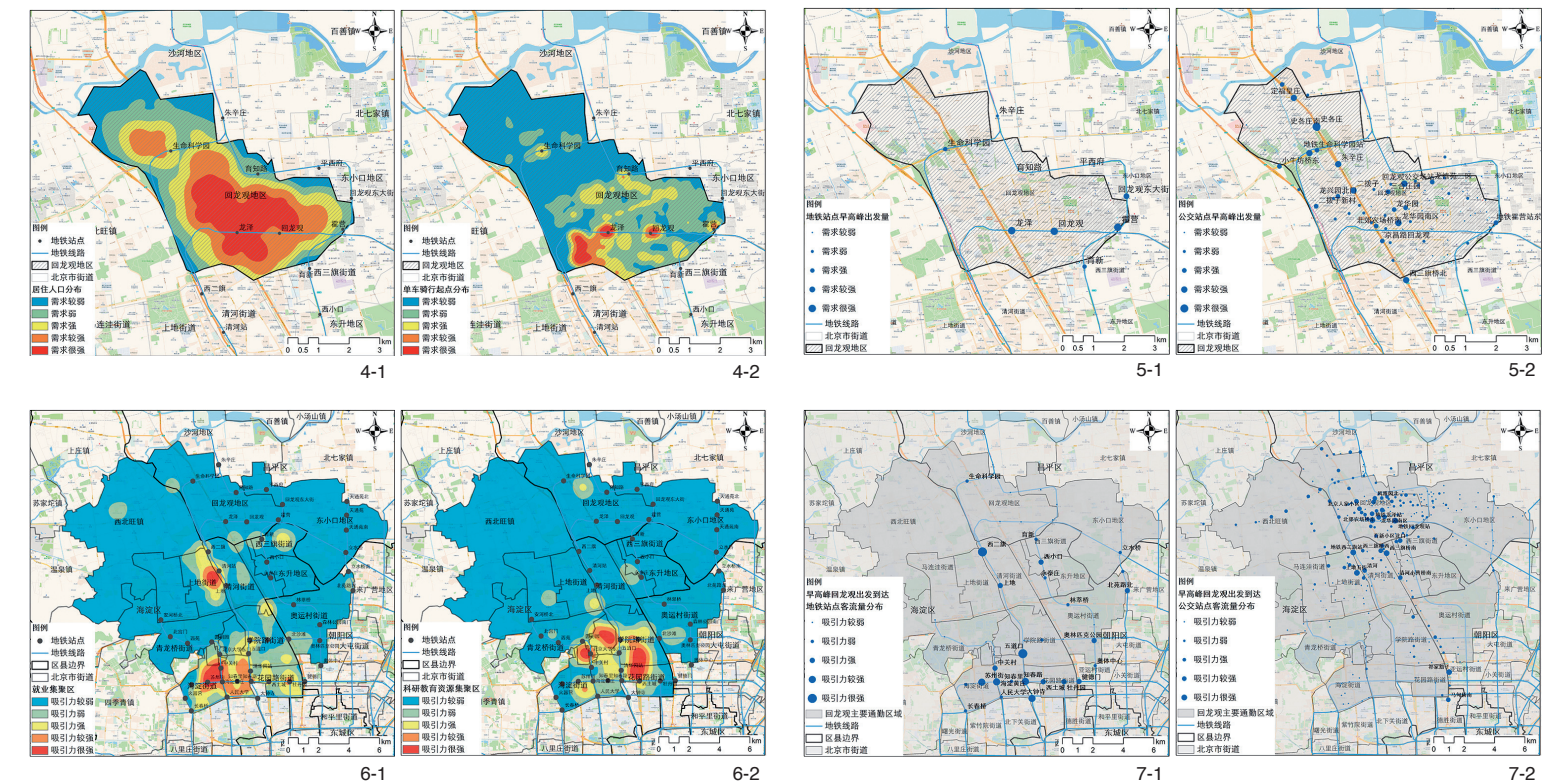
B: 公共交通下车刷卡量较大的站点主要分布在就业与教育集聚区内,如地铁下刷卡量较大的站点主要分布在西二旗站、上地站、五道口站、中关村站、知春路站、大钟寺站等站点(图 7-1)。公交出行客流量较大的站点主要分布在回龙观地区内部及其周边地铁站点周边,少部分客流量较大的站点分布在祁家豁子、马甸桥南等站点(图 7-2)。

C: 骑行主要以近距离出行为主,主要分为两类:一类是接驳回龙观地区内的地铁或公交站点,然后利用地铁或公交进行通勤,如生命科学园站、回龙观站、龙泽站等地铁站周边有非常活跃的骑行到达活动。另一类是直接利用单车骑行到达目的地,如直接到达中关村软件园、新浪总部大厦、东升科技园等就业区域(图 8-1)。

D: 游憩资源集聚区主要分布着颐和园、奥林匹克森林公园、百望山森林公园等大型公园绿地,以及零星分布的风景名胜与河湖湖泊区域(图 8-2)。

3) 通勤绿道其他相关要素评价。

根据通勤绿道具备的安全、快速、景观生态的功能作用,本文选择道路等级、道路两侧的植被覆盖状况(绿化覆盖率)以及道路坡度变化(图 9)作为连接路段适宜性的评价指标(表 3),分值计算原理如图 10 所示。其中,城市道路等级是按照《城市道路设计规范》(CJJ37-90)将城市道路分为支路、次干道、主干道和快速路。一般来说,城市快速道路车流量较大,相



4-1 回龙观地区居住人口分布
Resident distribution in Huilongguan area
4-2 回龙观地区单车骑行起点分布
Bicycle starting point distribution
5-1 早高峰回龙观地铁站点出发客流量
Departure passenger flow of Huilongguan subway station during early peak
5-2 早高峰回龙观公交站点出发客流量
Departure passenger flow of Huilongguan bus station during early peak
6-1 就业集聚区分布
Distribution of employment and research center
6-2 科研教育资源集聚区分布
Distribution of education center
7-1 早高峰回龙观出发到达地铁站点客流分布
Subway station passenger flow departed from Huilongguan during early peak
7-2 早高峰回龙观出发到达公交站点客流分布
Bus station passenger flow departed from Huilongguan during early peak

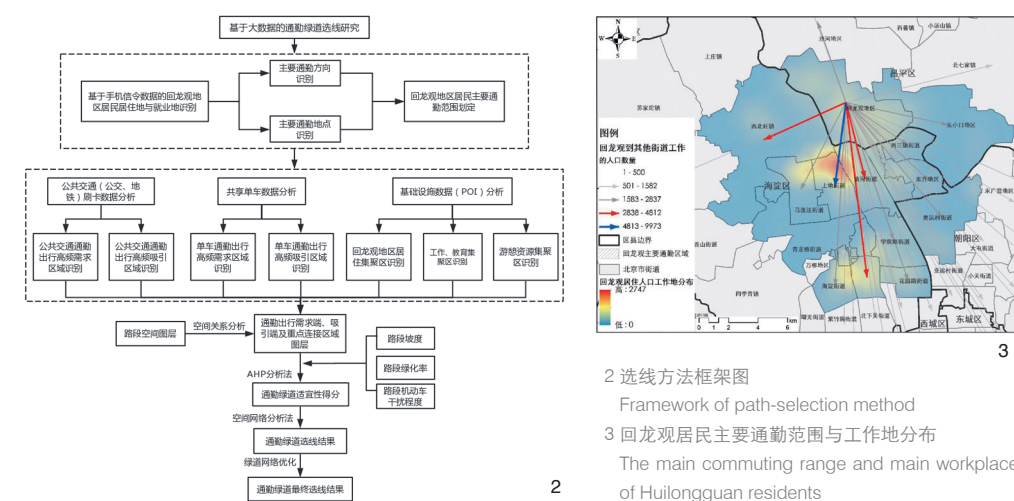
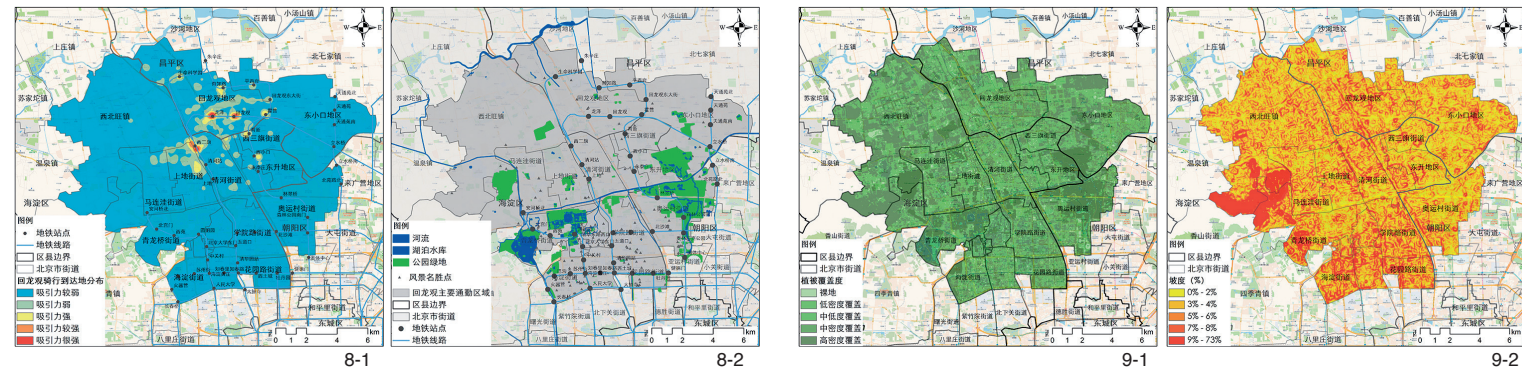


表 1 需求端节点要素分级评价
Tab. 1 Node elements grading evaluation of demand side

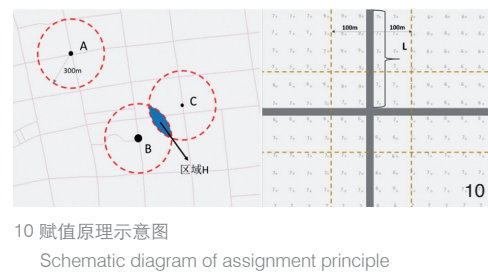
需求端节点要素类别					
早高峰公交站需求量 (上车刷卡量)/人次	早高峰地铁站需求量 (上车刷卡量)/人次	骑行需求 (核密度)	回龙观地区居住人口分布 (核密度)	通勤需求强度	需求强度得分
6~335	4 325~4 830	0~109	28~268	较弱	1
335~960	4 830~13 127	109~382	268~431	弱	3
960~1 906	13 127~13 685	382~819	431~598	强	5
1 906~3 083	13 685~19 331	819~1 452	598~773	较强	7
3 083~6 311	19 331~28 340	1 452~2 784	773~1 017	很强	9

表 2 吸引端节点要素分级评价
Tab. 2 Node elements grading evaluation of attracting side

吸引端节点要素类别						通勤吸引强度 级别	吸引强度得分
早高峰公交站吸引力 (下车刷卡量)	早高峰地铁站吸引力 (下车刷卡量)	骑行吸引力 (核密度)	就业集聚区 (核密度)	教育集聚区 (核密度)	游憩资源集聚区		
1~110	33~453	0~91	0~28	0~9	公园绿地面积小于 5hm ² ；零散的商业、体育、文化用地以及县、区级文物保护单位等	较弱	1
110~355	453~1 158	91~418	28~92	9~29	公园绿地面积介于 5~10 hm ² ；市级文物保护单位、功能区博物馆、展览馆、艺术馆等	弱	3
355~787	1 158~2 698	418~1 180	92~193	29~59	公园绿地面积介于 10~20 hm ² ；3A 级风景旅游区、省级文物保护单位、区级博物馆、展览馆、艺术馆等	强	5
787~1 329	2 698~4 563	1 180~2 433	193~358	59~102	公园绿地面积介于 20~50 hm ² ；城市主要景观河道、4A 级风景旅游区、全国重点文物保护单位、省级历史文化街区与遗址公园等	较强	7
1 329~2 398	4 563~12 853	2 433~4 630	358~600	102~158	公园绿地面积大于 50 hm ² ；世界文化遗产、国家级遗址公园、国家 5A 级旅游景区等	很强	9



道规划选线主干道总长度 159.2km。其中，回龙观到上地产业园有两条路径，从回龙观地铁站出发经龙泽地铁站或南店北路，然后一直向南到达回龙观桥后向南沿 G6 辅路进入西二旗大街，或到达西三旗桥后进入安宁庄路，最后到达上地产业园，长度均约为 5km。从回龙观地铁站到达中关村地铁站主要有一条路径，前半段与到达上地产业园路径相同，后半段主要经过上地西街—信息路—中关村北大街—中关村大街，最终到达中关村地铁站，长度在 15km 范围内。从回龙观地铁站到牡丹园地铁站与五道口地铁站线路也主要有一条线路，到达牡丹园的线路主要沿 G6 辅路经过健德门地铁站，然后向西到达；到达五道口地铁站的线路主要沿 G6 辅路经西三旗桥后再一路向南进入双清路，最后进入荷清路到达五道口站，两条路径长度分别约为 14km 与 11km。若按照 15km/h 的骑行速度计算，通勤时段从回龙观骑行到达上地、中关村、牡丹园等就业区域，



出行耗时要少于机动出行，提高了回龙观居民的出行便捷性。

3 结论与讨论

绿道的建设与发展已不再局限于满足居民的休闲、娱乐以及城市的景观生态功能，而是逐渐趋向于满足居民的通勤功能，以实现城市各区域间居民的便捷出行。本文正是根据绿道这一新的研究方向，针对大型居住区居民中短程通勤需求开展的通勤绿道选线研究。2016 年，北京市确定规划建设首条由回龙观至中关村的“自行车高速”^[11]，是通勤绿道建

8-1 早高峰回龙观地区单车出发到达地分布
Arrival distribution departed from Huiyongguan by bicycle during early peak
8-2 游憩资源集聚区
Distribution of recreational resources cluster
9-1 植被覆盖度
Vegetation coverage
9-2 地形坡度
Topographic slope

设的首次尝试，但其基于经验确定选线的方法存在一定的局限性，难以基于不同区域进行大范围多线路的选择。而本文基于多源大数据对通勤绿道选线方法的探究正弥补了这一不足之处。回龙观地区居民通勤绿道的选线案例表明，该选线方法可根据重要通勤节点区分为通勤绿道主干道与次干道，为通勤绿道的等级划分与落地实施提供一定帮助。此外，该选线方法可根据多个通勤节点之间的关系得出多种路径选择方案，且能够较为全面地覆盖区域内的主要通勤节点，并形成连续的道路网络系统。

11 路段需求及吸引强度值
Segment demand and attraction strength value
11-1 路段需求强度
Segment demand strength value
11-2 路段吸引强度
Segment attraction strength value
12 通勤绿道的最终选线方案
Final path-selection of commuting greenway

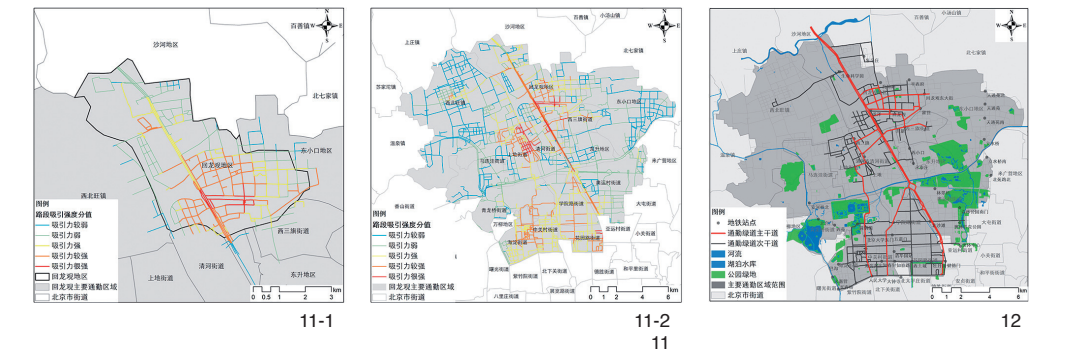


表 3 通勤绿道其他相关要素分级评价
Tab. 3 Grading evaluation of commuting greenway and other relevant elements

适宜性要素类别		路段等级	适宜性得分
坡度 / %	植被覆盖度		
8%~75%	0%~10% 裸地	-	1
6%~8%	10%~30% 低密度覆盖	快速路	3
4%~6%	30%~45% 中低密度覆盖	主干道	5
2%~4%	45%~60% 中密度覆盖	次干道	7
0%~2%	60%~100% 高密度覆盖	支路	9

表 4 通勤出行选线适宜性各指标权重
Tab. 4 Index weight of commuting path-selection suitability

指标	权重
路段两侧区域吸引强度	0.359
路段两侧地铁站吸引强度	0.241
路段两侧公交站吸引强度	0.159
路段两侧游憩资源	0.105
路段两侧植被覆盖度	0.066
路段坡度变化	0.044
路段道路等级	0.027
路段两侧区域需求强度	0.637
路段两侧地铁站需求强度	0.258
路段两侧公交站需求强度	0.105

致谢：

感谢清华同衡规划设计研究院技术创新中心副主任李砾博士在论文思路方面提供的指导。

注释：

- ① 图 10-1 为要素赋值属性给路段原理示意图，区域 H 为 B、C 两站点缓冲区交叉区域，其中 B 站点吸引/需求强度大于 C 站点，其覆盖路段取 B 站点分值；图 10-2 为面要素赋值属性给路段原理示意图，路段 L100m 缓冲区内栅格分值的均值即为 L 的分。
- ② 路段吸引强度与需求强度指标判断矩阵的一致性比率 CR 分别为 0.02 与 0.03，均小于 0.1，表明各指标权重设置较为合理。AHP 计算在该网站实现：<http://www.isc.senshu-u.ac.jp/~thc0456/EAHP/AHPweb.html>。
- ③ 文中图表均为作者根据研究结果自绘。

参考文献 (References)：

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 绿道设计导则 [Z]. 2016-9-21.
- [2] Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Guidelines for the Design of The Greenway[Z]. 2016-9-21.
- [3] 徐文辉. 城市“慢行空间”与绿道建设 [J]. 风景园林, 2012 (6) : 155-156.
- [4] XU Wenhui. Urban Non-motorized Space and Greenway Construction[J]. Landscape Architecture, 2012(6): 155-156.
- [5] 傅凡. 城市绿道与步行系统 [J]. 风景园林, 2012 (6) : 157.

- [6] FU Fan. Urban Greenway and Pedestrian System[J]. Landscape Architecture, 2012(6): 157.
- [7] 曹亚妮. 城市高校密集区通勤绿道设计研究 [D]. 武汉: 湖北工业大学, 2017.
- [8] CAO Yani. Research of Commuting Greenway Design in Urbanuniversity-intensive Areas[D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2017.
- [9] 邱健. 基于通勤出行行为的通勤绿道设计探索 [D]. 成都: 四川农业大学, 2012.
- [10] QIU Jian. Commuting Travel Behavior Theory[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2012.
- [11] 朱安娜, 王德. 基于“吸引-阻力”分析模型的城市高密度地区绿道建设选线研究 [C]// 中国风景园林学会. 中国风景园林学会 2016 年会议论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016: 312-316.
- [12] ZHU Anna, WANG De. A Research on Green Way Route Selection in Urban High-density Areas Based on 'Attract-Resistance' Analysis Model[C]// Chinese Society of Landscape Architecture. Chinese Society of Landscape Architecture Conference Proceedings 2016. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016: 312-316.
- [13] 王晓晖. 都市型绿道选线方法研究 [J]. 城镇规划, 2016 (6) : 40-57.
- [14] WANG Xiaojun. Research on Urban Green Line Selection Method[J]. Urban Planning, 2016(6): 40-57.
- [15] 周聪惠. 基于选线潜力定量评价的中心城绿道布局方法 [J]. 中国园林, 2016, 32 (10) : 104-109.
- [16] ZHOU Conghui. Layout Planning Method of Greenways

- [17] in Central Urban Area Based on Route Selection Potential Quantitative Evaluation[J]. Chinese Landscape Architecture, 2016, 32(10): 104-109.
- [18] 王树盛, 黄富民. 基于公共因子的慢行环境改善效果预评估方法: 以常州南部新城为例 [J]. 上海城市规划, 2015 (5) : 93-98.
- [19] WANG Shusheng, HUANG Fumin. Evaluation Methods of Non-motorized Transportation Environment Improvement Based on Public Factors: A Case Study of Changzhou South New Town[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2015(5): 93-98.
- [20] 许晓霞, 柴彦威, 颜亚宁. 郊区巨型社区的活动空间: 基于北京市的调查 [J]. 城市发展研究, 2010, 17 (11) : 41-49.
- [21] XU Xiaoxia, CHAI Yanwei, YAN Yaning. Activity Space of Suburban Mega-Community Residents: Evidence from Beijing Household Activity-Diary Survey Data[J]. Urban Studies, 2010, 17(11): 41-49.
- [22] [11] 耿诺. 回龙观要建全市首条自行车“高速” [N]. 北京日报, 2016-07-13(005).
- [23] GENG Nuo. Huiyongguan Wants to Build the City's First Bicycle "High Speed"[N]. Beijing Daily, 2016-07-13(005).
- [24] [12] 周年兴, 俞孔坚, 黄震方. 绿道及其研究进展 [J]. 生态学报, 2006 (9) : 3108-3116.
- [25] ZHOU Nianxing, YU Kongjian, HUANG Zhenfang. Perspectives on Greenway Development[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006(9): 3108-3116.

(编辑 / 陈汪丹)

基于社区生活圈尺度的城市绿色基础设施空间分布与居民就医行为关系研究——以福州市中心城区为例

Relationship Between Spatial Distribution of Urban Green Infrastructure and Residents' Behavior of Seeking Medical Treatment on the Scale of Community Life Circle—Case Study of Downtown Fuzhou City

马妍 马琦伟* 李苗裔 于沛洋
MA Yan, MA Qiwei*, LI Miaoyi, YU Peiyang

中图分类号: TU986
文献标识码: A
文章编号: 1673-1530(2018)08-0036-05
DOI: 10.14085/j.fjyl.2018.08.0036.05
收稿日期: 2018-05-23
修回日期: 2018-07-19

马妍/1983年生/女/青海人/博士/福州大学建筑学院副教授/研究方向为城市地理、城市定量分析与模拟、规划决策支持(福州350116)
MA Yan, born in 1983 in Qinghai Province, got Ph.D. degree, is an associate professor at the School of Architecture, Fuzhou University. Her research focuses on urban geography/city quantitative analysis and simulation/planning decision support (Fuzhou 350116).

马琦伟/1983年生/男/浙江人/清华大学建筑学院在读博士研究生/中国城市规划设计研究院创新中心规划师/研究方向为GIS相关理论方法支持下的城乡规划(北京100044)
通信作者邮箱(Corresponding author Email): maqw15@mails.tsinghua.edu.cn
MA Qiwei, born in 1983 in Zhejiang Province, is a Ph.D. student at the School of Architecture, Tsinghua University/a planner of the Innovation Center of China Urban Planning and Design Institute. His research focuses on urban and rural planning supported by GIS-related theoretical methods (Beijing 100044).

李苗裔/1987年生/男/四川人/博士/福州大学建筑学院教授/主要从事多源数据融合的城乡定量发展分析与研究(福州350116)
LI Miaoyi, born in 1987 in Sichuan Province, got Ph.D. degree, is a professor at the School of Architecture, Fuzhou University. His research focuses on the analysis and research of urban and rural quantitative development of multi-source data fusion (Fuzhou 350116).

于沛洋/1991年生/男/河北人/硕士/中国城市规划设计研究院创新中心规划师/研究方向为多源数据融合下的规划创新(北京100044)
YU Peiyang, born in 1991 in Hebei Province, got master degree, is a planner of the Innovation Center of China Urban Planning and Design Institute. His research focuses on planning innovation under multi-source data fusion (Beijing 100044).

摘要: 本研究根据对研究案例区常住居民空间行为轨迹的刻画,就社区生活圈内公园绿地、绿化水平、文化设施、体育健身设施和医疗卫生设施的空间分布与常住居民就医频次的关系进行了分析。发现评价单元内公园绿地面积和绿化水平与居民就医频次具有比较明显的负相关,而文化体育设施与居民就医频次的相关性不明显。在此基础上,进一步分析评价单元内医疗卫生设施的影响,发现其数量、可达性的提高在一定程度上提升了居民就医的频次。故此,便利易得的医疗卫生服务可能增加居民的就医频次,而城市中公园绿地的建设则对于降低居民就医频次有一定的显著作用。相较于增加集中的公园绿地面积,整体性的提高绿化水平则更有益于居民就医频次的降低。

关键词: 绿色基础设施; 建成环境; 社区生活圈; 居民就医行为
基金项目: 国家自然科学基金青年项目“电商影响下大都市商业的业态响应与功能空间重组”(编号41501181); 福建省自然科学基金项目“城市建成环境对慢性病影响的纵向研究:基于福州市市民的健康追踪调查”(编号2018J01747)

Abstract: The paper focuses on recognizing residents' daily spatial behavior, to find out the possible relationship between their medical treatment behaviors and the spatial distributions of parks, NDVI of plants, sports and culture infrastructure, and hospitals on the scale of community life circle. The analysis results show the frequency of treatment behaviors has an apparent negative correlation with park distribution, but no significant correlation with cultural and sports infrastructures. It also finds that the numerical increase of medical services and hospital accessibility will lead to the increase of residents' medical treatment.

Keywords: green infrastructure; built-up environment; community life circle; frequency of residents treatment behaviors

Fund Items: National Natural Science Foundation of China "The Commercial Form Response and Functional Space Reorganization Affected by E-Commerce" (NO. 41501181); Natural Science Foundation of Fujian Province "The Influences of Built Areas on Chronic Diseases"(NO. 2018J01747)

城市的建成环境对居民的生活习惯、空间行为特征存在着深远的影响,进而可能影响居民的身体健康^[1]。因此,国内外大量既有研究多表现出对建成环境特征与居民健康之间关系的探究,并发现高密度、功能单一、公共交通可达性差的城市区域,居民发生肥胖、心脑血管等慢性疾病的可能性更高^[2-3]。相反,步行环境友好、开发强度低、功能复合的建成空间居民慢性疾病预防发生率相对较低^[4]。此类研究的主要逻辑遵循建成环境会对居民体力活动产生影响,这一影响日积月累,进而影

响居民健康,其研究方法多采用社会调查的方式^[5]。然而,上述研究中建成环境与居民体力活动之间的互动机制往往是建立在理论假设基础之上的,对居民在建成环境中动态的、真实地活动刻画较少。因此,如何尽可能真实地刻画居民在建成环境下的体力活动则成为一个问题。

与此同时,不少的既有文献发现绿化覆盖、河流水系、文化体育设施、医疗卫生设施等建成环境要素在一定程度上与居民健康相关^[6-9]。在城市建成环境中增加公园绿地、河流水系和公交站点的可达性有助于减缓肥胖、提高居民心理健康和对自身健康状况的感知^[10-11]。然而在此类研究中,社会调查及问卷对居民健康状况的判断除却客观可度量的指标如体重、血压、医生的诊断报告外,依然有较多自我感知的成分^[12-13],这使得如何客观合理地度量建成环境中居民的健康状况成为另一个问题。

鉴于上述问题,本研究旨在从微观尺度分析建成环境中的绿色基础设施与居民健康之间的关系。重点通过对一段时期内研究区域居民出行大数据的观测,来刻画常住居民日常空间行为特征,在识别其空间活动范围的基础上,从中抽取表征绿色基础设施的建成环境要素。与此同时,基于居民在社区生活圈内就医行为构建居民就医频次这一指标用以测度其身体健康状况,降低社会调查及问卷中居民对健康状况的主观感知可能对分析结果产生的影响。并最终探讨建成环境中绿色基础设施和医疗卫生设施对居民就医频次的影响,从中识别主要影响要素及作用机制,为规划实践提供依据和参考。

1 研究方法

1.1 空间尺度的划分

在分析建成环境与居民身心健康间关系的研究中,对研究对象的空间尺度划分并没有统一的标准。既有以行政辖区作为评价单元(如大都市区、县、人口统计区)^[14],也有以被调查者的住所为中心通过设置搜索半径来划定评价单元^[15]。但上述空间尺度的划分各有利弊,不仅难以准确反映各类人群的真实活动范围,

也不利于与规划政策的空间尺度相呼应进而影响分析结果的规划实践应用。基于本研究的目的,选择“15分钟生活圈”作为空间单元的划分标准,即在居民步行15min可达的距离范围内进行建成环境要素的评价,相当于以居民居住地为中心的1000m辐射半径^[16]。这一空间尺度既有利于微观尺度的研究分析,又能较为完整地反映居民日常活动的空间范围,同时与生活圈规划保持统一的空间尺度还将有利于分析结果对规划问题的实践指导和参考。

1.2 变量关系的分析

1.2.1 影响因素及作用机制

结合既有研究对建成环境中绿色基础设施及要素的分析识别,本研究选取公园绿地、绿化水平(本文中的绿化水平指以植被NDVI值为测度,综合了植被生长状态、植被覆盖度的综合绿化水平的概念)、文化设施、体育健身设施、医疗卫生设施作为分析模型的解释变量。同时,用研究空间单元内常住居民的就医频次来测度其身体健康状况。主要逻辑是,通过统计常住居民在一定观测期间内访问社区生活圈内医疗卫生设施的次数(每次到访停留30min以上)来反映其健康状况,假设次数越多身体健康水平越低,反之则越健康(图1)。

1.2.2 基于哈夫模型的影响要素作用评估

在研究城市中某个空间单元i上常住居民的就医频次与绿色基础设施及其他公共设施之间的内在关系时,本文主要考虑2方面因素:首先,绿色基础设施及其他公共设施的规模越大,则其服务能力越强;其次,绿色基础设施及其他公共设施与某个空间单元之间的空间距离越大,则其对该空间单元的作用越小。基于此,本文引入哈夫模型(Huff 1964)来反映上述的关系。原始哈夫模型中某类设施对空间单元i的作用表述为:

$$P_{ij} = \sum_{i=1}^n \frac{S_j^\mu}{T_{ij}^\mu} \quad (1)$$

其中 S_j 为设施j的吸引力; T_{ij} 是空间单元i到设施j的空间阻力; μ 是以经验为基础估计的变数。

本文使用设施的规模来代表设施的吸引力,用空间距离来代表空间阻力,同时根据

以往经验和实际数据分析的结果,取 $\mu=1$,形成如下的哈夫模型来测度某项公园绿地或公共设施j对于空间单元i的服务能力:

$$X_{ij} = \sum_{j=1}^m \frac{S_j}{D_{ij}} \quad (2)$$

其中 S_j 是服务规模, D_{ij} 是公园绿地或公共设施j的几何中心点与空间单元i的几何中心点之间的欧氏距离。

在此基础上,将各项公园绿地或公共设施的作用进行叠加:

$$V_i = a_1 X_{i1} + a_2 X_{i2} + a_3 X_{i3} + a_4 X_{i4} + a_5 X_{i5} + \epsilon_i$$

其中, V_i 是空间单元i上常住居民在一段时间内访问城市中各医院的总频次,用以下的公式进行标准化计算得到。

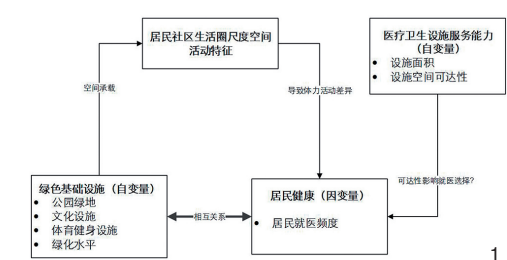
$$V_i = \frac{H_i - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \quad (3)$$

V_i 是空间单元i的常住居民就医频次, H_{min} 是所有单元的最小就医频次, H_{max} 是所有单元的最大就医频次。

X_1 、 X_3 、 X_4 、 X_5 分别代表了公园绿地、文化设施、体育健身设施和医疗卫生设施对于空间单元i的作用,计算方式见公式(2); $X_2=G_i$ 是每个空间单元的绿化水平,是以植被归一化差分植被指数(Normalized Different Vegetation Index,简称NDVI)值为测度的一项指标。影响绿化水平的绿色基础设施包括各类附属绿地、街道绿化、屋顶绿化等。

a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 是模型的5个待求解的参数,分别代表了公园绿地、单元绿化水平、文化设施、体育健身设施和医疗卫生设施对市民就医行为的效应量。

ϵ_i 是模型的残差项,代表了其他随机变



1 影响要素与居民就医频次的的作用机制
The action mechanism of influencing factors and the frequency of residents seeking medical treatment

量对居民就医行为的影响。

在该模型中, V_i 是因变量, X_1 、 X_2 是自变量, 而 X_3 、 X_4 和 X_5 则是控制变量, 分别控制文化设施、体育健身设施和医疗卫生设施对居民就医行为的影响。

基于上述模型, 本研究使用最小二乘法求解参数, 通过分析参数 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 的大小及显著性, 研究评价对象空间单元内的解释变量与被解释变量之间的关联性。

2 分析结果

2.1 研究区域概况与数据分析

2.1.1 研究区域概况

本研究的研究范围为福州市中心城区的集中建成区, 包括鼓楼区、台江区、仓山区、晋安区、马尾区和长乐区共 6 个区的大部分地区, 以及周边闽侯县的上街镇和南屿镇的部分地区, 总面积为 430.0km² (图 2)。

2.1.2 数据来源及分析

1) 就医行为数据。

本研究通过使用由百度地图慧眼大数据提供的就医行为数据, 对研究空间单元内居民的就医行为进行刻画。数据收集的时间跨度为 2018 年 2 月 21 日—3 月 13 日, 共 3 个星期, 空间上涵盖了本文研究范围内所有常住人口规模大于 0 的地区, 在大数据识别了常住居民的居住地以后, 统计每个 200m×200m 单元网格内常住居民在以其居住地为圆心 1 000m 半径内的医疗卫生设施就医的次数。这样既可以统计居民在居住地周围到访不同等级医院的情况, 又可在一定程度上控制跨区域看病的问题。

在每个空间单元网格的常住人口规模统计方面, 根据百度地图慧眼在较长的一段时间内跟踪个体的行动轨迹, 将其夜间长期驻留的地点视为该个体的居住地, 居住地点位于某一网格空间范围内的个体总和即构成该网格的常住人口规模。同时通过长期跟踪个体行为, 百度地图慧眼也识别了每个单元中就业地点为医院的人口, 本文将这部分人口从研究数据中剔除, 以保障数据的科学性。因此, 本研究中的常住人口是指空间单元内每晚长期驻留的移动端 APP 用户数, 并不是人口普查中的城市常住人口数。

从空间分布特征来看 (图 3), 就医频次归一化后的空间分布呈现明显的异质性, 频次较高的地区主要位于老城区, 特别是闽江北岸的茶亭、新港、水部等街道一带。而城市南部地区、特别是乌龙江西南侧的地区归一化就医频次相对较低。

从统计结果来看 (图 4), 福州中心城区各空间单元的归一化就医频次差异性较大, 大致呈“长尾”分布, 即少量空间单元的归一化就医频次较高, 而大部分空间单元的归一化就医频次均低于 0.25, 这暗示了城市中少量地区的公共健康水平相对不高的问题。

2) 绿色基础设施数据。

公园绿地数据由福州市中心城区城乡建设用地现状图 (2017 年) 中提取得到。从空间分布特征来看 (图 5), 公园绿地主要位于城市中心地区, 而城市边缘地区的公园绿地建设相对滞后, 且大部分公园的面积均比较小, 多为社区公园、街头游园及“口袋公园”等, 而大型综合公园的数量相对较少。

单元绿化水平以评价单元的植被 NDVI 值表示, 该数值是基于美国 USGS 网站开源的 Landsat-8 OLI/TIRS 卫星遥感影像数据, 借助 ENVI 3.5 遥感影像分析软件计算得到的, 影像拍摄时间为 2018 年 3 月 20 日。单元绿化水平的分布与公园绿地存在明显不同, 呈现城市中心区域低于郊区, 且靠近公园绿地的区域高于远离公园绿地区域的特征 (图 6)。

3) 文化设施、体育健身设施和医疗卫生设施数据。

本研究使用的文化设施、体育健身设施和医疗卫生设施数据均由福州市中心城区城乡建设用地现状图 (2017 年) 中提取得到。从空间分布上看, 各类设施均主要集中在闽江以北的五一路至西外环之间的地区, 而其他地区的分布密度相对稀疏 (图 7)。

2.2 讨论

2.2.1 分析结果

基于对公式 1 模型中因变量和自变量的相关性的基本认识, 本研究首先在 15min 社区生活圈, 即 1 000m 辐射半径尺度上, 求解公式 3 所示的多变量回归模型, 所得结果如表 1 所示 (表 1)。

从表 1 中, 我们可以得出以下结论:

首先, 在“15min 社区生活圈”的空间范围内, 公园绿地、绿化水平、文化设施、医疗卫生设施等变量的回归效应均明显, 表明上述的设施确实对居民的就医行为存在着实质性的影响。特别是公园绿地和单元绿化水平这 2 项变量的回归结果表明其与公共健康水平可能存在内在的联系。但是, 体育健身设施的回归效应十分不明显, 表明此类设施与居民就医行为关联不强。一个可能的解释是, 本研究提取的体育健身设施以体育场馆为主, 其使用主体为青壮年, 而这一年龄段的居民并非主要就医群体, 因而此类设施的贡献不显著。

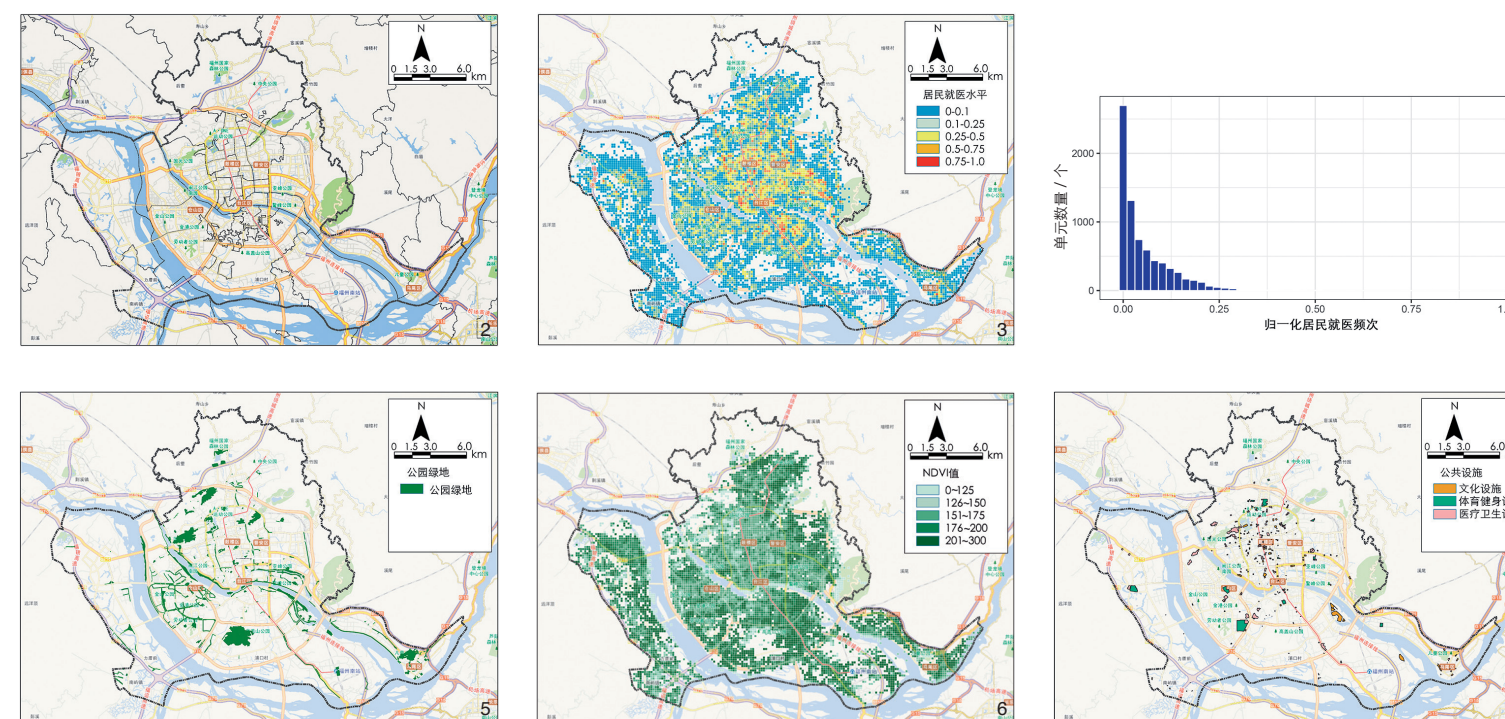
其次, 与公园绿地、绿化水平降低就医频次相反, 文化设施对于就医频次具有一定的正向作用。本研究认为原因之一是文化设施以吸引居民参加室内活动为主, 因而文化设施难以压缩居民的就医频次。同时, 本研究发现医疗卫生设施与就医频次之间存在较强的正相关, 这可能是由于当医疗卫生设施的服务能力增强时, 无论是医院规模增加带来的接待能力提升, 或是布局密度增加带来的就医距离缩短, 都会提升居民就医的便利程度, 降低就医的时间和心理成本, 从而影响居民的就医行为。

为更加深入的分析绿色基础设施对居民就医的影响, 确定公园绿地的有效服务半径, 本研究进而在不同的空间距离上求解前文提出的模型, 其结果如表 2 所示 (表 2)。

从表 2 中, 我们可以得出以下结论:

1) 在辐射半径增加到 1 500m 后, 公园绿地和单元绿化水平这 2 项变量的回归效应仍保持显著, 但效应量的大小和显著性均较 1 000m 辐射半径内的计算结果有所降低, 这表明其可在一个相当可观的空间距离上对城市居民的就医行为产生一定影响, 但此影响与空间距离呈现负相关。

2) 从变化趋势来看, 随着距离的增加, 公园绿地和单元绿化水平 2 项变量的系数均下降, 表明其效应量随距离增加而继续减小。特别是在 2 000m 和 2 500m 距离上, 系数已不显著, 表明当距离增加到一定程度后, 与其它要素相比, 这两项要素的作用趋于不明显。



2 研究区范围图

The research areas

3 研究范围内的常住居民就医频次空间分布图 (已去除常住人口数量为 0 的空间单元)

Spatial distribution of frequency of permanent residents seeking medical treatment in research areas (the spatial units with no resident have been removed)

4 归一化居民就医频次的分布直方图

Distribution histogram of the frequency of medical treatment for normalized residents

5 研究范围内的公园绿地分布图 (已去除常住人口数量为 0 的空间单元)

Distribution of park green space in research areas (the spatial units with no resident have been removed)

6 研究范围内各单元绿化水平分布图 (已去除常住人口数量为 0 的空间单元)

Distribution of greening level in each unit of the research areas (the spatial units with no resident have been removed)

7 研究范围内的文化设施、体育健身设施和医疗卫生设施分布图 (已去除常住人口数量为 0 的空间单元)

Distribution of cultural facilities, sports facilities, medical and health facilities in the research areas (the spatial units with no resident have been removed)

表 1 “15 分钟社区生活圈” (1 000m) 半径内模型分析结果

Tab. 1 Model analysis results in 15-minute community life circle (1, 000m)

变量	参数估计值	标准差	T 值	P 值
X_1	-1.003	0.405	-2.476	0.013 *
X_2	-1.515	0.407	-3.719	0.000 ***
X_3	2.836	0.401	7.071	0.000 ***
X_4	0.259	0.401	0.645	0.518 666
X_5	3.665	0.407	9.001	0.000 ***

注: “***”表示在 0.001 水平上显著, “*”表示在 0.05 水平上显著

表 2 不同空间距离下绿色基础设施变量的分析结果

Tab. 2 Analysis results of green infrastructure variables in different spatial distances

距离	变量	参数估计值	标准差	T 值	P 值
1 500m	X_1	-0.793	0.404	-1.963	0.050 *
	X_2	-1.024	0.407	-2.514	0.012 *
2 000m	X_1	-0.643	0.404	-1.592	0.111
	X_2	-0.557	0.405	-1.375	0.169
2 500m	X_1	-0.752	0.412	-1.828	0.068 .
	X_2	-0.193	0.404	-0.477	0.633

注: “***”表示在 0.001 水平上显著, “*”表示在 0.05 水平上显著, “.”表示在 0.1 水平上显著

3) 比较公园绿地和单元绿化水平 2 个变量的系数可知, 单元绿化水平对降低就医频次的作用更加显著, 公园绿地在这一方面也发挥了相当的作用, 但其贡献程度要小于单元绿化水平。

2.2.2 数据精度与可信度

百度地图慧眼大数据在本文研究范围内的实际有效用户数量约在 190 万人左右。根据福州市最新的人口统计, 百度地图慧眼大数据的人

口覆盖度在 60% 左右, 考虑年龄结构的实际分布对上述数据进行了重新抽样, 抽样后的覆盖度达到 50% 左右, 即本文研究的个体数为研究范围内总人口的一半左右。可见, 本文的数据在样本覆盖度和采样均衡性上有一定保证。

从识别精度来看, 本文的就医频次统计是以医院的空间边界为地理围栏, 将进入此围栏且停留时长超过 30min 阈值的行为记为一次就

医行为。在此过程中的精度误差主要来源于2个方面：一是因GPS信号问题导致的用户定位漂移，此漂移距离随信号强度变化，但一般不超过50m，这可能造成部分在医院邻近地区的部分个体活动被识别为就医行为，也可能导致部分在医院边缘处发生就医行为的用户被剔除。因长时间的定位漂移属于偶发现象，因而其造成的精度误差并不高；二是因用户不活跃造成采样点过于稀疏，而漏掉部分就医行为。由于在数据预处理中已预先筛选定位点过于稀疏的用户，此精度误差可控。

3 结论与展望

本研究的结果表明，公园绿地和单元绿化水平确实与居民的身体健康有显著的相关性，但其中绿化水平的显著性要高于公园绿地面积的相关性。这说明，在居民“15分钟社区生活圈”内，整体绿化水平的提高要较公园绿地的集中布局更有利于居民就医频次的降低。同时，对比不同半径的评价结果发现，随着评价半径增加，选取的建成环境要素对居民就医频次的影响显著性明显下降。这说明在居民“15分钟社区生活圈”半径内合理布局公园绿地和提高单元绿化水平对降低居民就医频度是有意义的。

因此，在规划实践中应加强“15分钟社区生活圈”的绿色基础设施建设，具体可概括为：

1) 加强附属绿地、街道绿化、立体绿化等建设，可以显著的提高每个空间单元的绿化水平，从而改善居民的就医行为。

2) 在资金和用地有限的情况下，提高绿化水平对改善居民健康的效益相对更高。特别是在人口密集、用地紧张的老城区，着力提高建成区的绿化水平可能是更加经济可行的方案。

然而，本研究尚存提升空间，主要表现为就医频次单一测度指标的使用不利于从居民就医行为中剥离出其他扰动因素，如居民的遗传因素、生活习惯、是否身患慢性疾病，以及年龄、收入、职业等。此外，尽管大数据的使用对本研究连续观测研究区域居民真实的生活轨迹更有益，同时较之问卷调查法更易于弱化调查对象对自身健康状况的主观判断，

但是在样本获取方面仍需注重采样的均衡性，同时如何准确的区分就医人员和陪同人员也是一个问题。对此在未来的研究中需要进一步探讨和改进。

注释：
文中所有图表皆为作者自绘。

参考文献 (References)：

[1] 孙斌栋, 阎宏, 张婷麟. 社区建成环境对健康的影响: 基于居民个体超重的实证研究[J]. 地理学报, 2016, 71(10): 1721-1730.

[2] SUN Bindong, YAN Hong, ZHANG Tingling. Impact of Community Built Environment on Residents' Health: A Case Study on Individual Overweight[J]. Acta Geographica Sinica. 2016, 71(10): 1721-1730.

[3] FENG J, GLASS T A, CURRIERO F C, et al. The Built Environment and Obesity: A Systematic Review of the Epidemiologic Evidence[J]. Health & Place, 2010, 16(2): 175-190.

[4] JOSHU C E, BEEHMER T K, BROWNSON R C, et al. Personal, Neighbourhood and Urban Factors Associated with Obesity in the United States[J]. Journal of Epidemiology and Community Health, 2008, 62(3): 202-208.

[5] 杨东峰, 刘正莹. 邻里建成环境对老年人身体活动的影响: 日常购物行为的比较案例分析[J]. 规划师, 2015, 31(3): 101-105.

YANG Dongfeng, LIU Zhengying. The Influence of Built Environment on Senior Behavior: Daily Shopping Activity Analysis[J]. Planners, 2015, 31(3): 101-105.

[6] 鲁斐栋, 谭少华. 建成环境对体力活动的影响研究: 进展与思考[J]. 国际城市规划, 2015, 30(2): 62-70.

LU Feidong, TAN Shaohua. Built Environment's Influences on Physical Activity: Review and Thought[J]. Urban Planning International, 2015, 30(2): 62-70.

[7] 陈箐, 董楠楠, 刘颂, 等. 上海城市公园使用对健康影响研究[J]. 风景园林, 2017(9): 99-105.

CHEN Zheng, DONG Nannan, LIU Song, et al. Study on the Impacts of Urban Park Use on Public Health in Shanghai[J]. Landscape Architecture, 2017(9): 99-105.

[8] LIU K, SIU K W M, GONG X Y, et al. Where Do Networks Really Work? The Effects of the Shenzhen Greenway Network on Supporting Physical Activities[J]. Landscape & Urban Planning, 2016(152): 49-58.

[9] 佩德罗·卡尔拉萨·马汀尼兹, 路易斯·里贝罗, 邝嘉儒. 浅谈西班牙中型城市绿色基础设施战略如何为公众健康带来福祉: 拉科鲁尼亚案例分析[J]. 风景园林, 2013(6): 78-87.

MARTÍNEZ P C, RIBEIRO L, KUANG J. Assessing Public Health Benefits through Green Infrastructure Strategies in Medium-sized Cities in Spain Case Study: La Coruña[J]. Landscape Architecture, 2013(6): 78-87.

[10] SUGIYAMA T, FRANCIS J, MIDDLETON N J, et al. Associations between Recreational Walking and Attractiveness, Size, and Proximity of Neighborhood Open Spaces[J]. American Journal of Public Health, 2010, 100(9): 1752-1757.

[11] XU Y, WEN M, WANG F. Multilevel Built Environment Features and Individual Odds of Overweight and Obesity in Utah[J]. Applied Geography, 2015, 60(S1): 197-203.

[12] 谭少华, 洪颖. 居住绿地的使用与城市居民健康的关系研究[J]. 建筑与文化, 2015(2): 108-109.

TAN Shaohua, HONG Ying. The Relationship of Residents Health and Utilization of Green Space[J]. Architecture & Culture, 2015(2): 108-109.

[13] 张华. 居民对城市绿色空间的游憩需求与健康效益感知研究: 以杭州城市公园为例[J]. 北京林业大学学报(社会科学版), 2014, 13(2): 87-92.

ZHANG Hua. Residents' Recreation Needs for Urban Green Space and Perception of Health Benefits: A Case Study of Urban Parks in Hangzhou City[J]. Journal of Beijing Forestry University (Social Sciences Edition), 2014, 13(2): 87-92.

[14] REID C E, CLOUGHERTY J E, SHMOOL J, et al. Is All Urban Green Space the Same? A Comparison of the Health Benefits of Trees and Grass in New York City[J]. International Journal of Environmental Research & Public Health, 2017, 14(11): 1411.

[15] SCHWARTZ K A C, STOCKARD J, DOYLE S, et al. Is Sprawl Unhealthy? A Multilevel Analysis of the Relationship of Metropolitan Sprawl to the Health of Individuals[J]. Journal of Planning Education and Research, 2004, 24(24): 184-196.

[16] JAMES P, BERRIGAN D, HART J E, et al. Effects of Buffer Size and Shape on Associations between the Built Environment and Energy Balance[J]. Health & Place, 2014, 27(3): 162-170.

[17] 李萌. 基于居民行为需求特征的“15分钟社区生活圈”规划对策研究[J]. 城市规划学刊, 2017(1): 111-118.

LI Meng. The Planning Strategies of a 15-minut Community Life Cycle Based on Behaviors of Residents. Urban Planning Forum, 2017(1): 111-118.

(编辑 / 陈汪丹)

基于多源数据的城市生境网络规划方法研究与实践 Research and Practice of Urban Habitat Network Planning Method Based on Multi-source Data

张东旭 程洁心 邹涛* 程玺悦
ZHANG Dongxu, CHENG Jiexin, ZOU Tao, CHENG Xiyue

中图分类号: TU986
文献标识码: A
文章编号: 1673-1530(2018)08-0041-05
DOI: 10.14085/j.fjyl.2018.08.0041.05
收稿日期: 2018-05-23
修回日期: 2018-07-04

张东旭/1991年生/女/黑龙江人/北京清华同衡规划设计研究院有限公司生态城市研究所规划师/研究方向为生态规划(北京100085)
ZHANG Dongxu, born in 1991 in Heilongjiang Province, is an urban planner in Department of Sustainable City Planning, Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning & Design Institute. Her research focuses on ecological planning (Beijing 100085).

程洁心/1988年生/女/江苏人/硕士/北京清华同衡规划设计研究院有限公司生态城市研究所规划师/研究方向为生态规划(北京100085)
CHENG Jiexin, born in 1988 in Jiangsu Province, is an urban planner in Department of Sustainable City Planning, Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning & Design Institute. Her research focuses on ecological planning (Beijing 100085).

邹涛/1977年生/男/广东人/博士/北京清华同衡规划设计研究院有限公司生态城市研究所所长/研究方向为可持续城市规划(北京100085)
通信作者邮箱 (Corresponding author Email): zoutao@vip.sina.com
ZOU Tao, born in 1977 in Guangdong Province, PhD, is the director of Department of Sustainable City Planning, Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning & Design Institute. His research focuses on sustainable city planning (Beijing 100085).

程玺悦/1989年生/女/安徽人/硕士/北京清华同衡规划设计研究院有限公司生态城市研究所规划师/研究方向为生态规划(北京100085)
CHENG Xi-yue, born in 1989 in Anhui Province, is an urban planner in Department of Sustainable City Planning, Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning & Design Institute. Her Research focuses on ecological planning (Beijing 100085).

摘要：生态文明建设导向下的城镇发展建设，需要切实平衡人与自然的空间发展矛盾，应用多源数据分析和判断如何建设一个体系更健康、结构更合理、功能更完善的城市绿色空间体系，具有重要的规划探索和实践意义。选定目标物种，研究建立其潜在生境空间参数指标体系，运用多源数据分析潜在生境、廊道和踏脚石增设需求。构建以鸟类生境为代表的特定类型生境网络、指导城市绿色空间布局。随着多源数据获取成本的逐步降低和物种类群生境参数的逐步深化发展，该方法在研究城市生境网络构建和绿色空间布局上的作用还将进一步提升。

关键词：风景园林；生境网络规划；多源数据；生物多样性

Abstract: Urban development under the guidance of ecological civilization construction needs to balance the contradiction between man and nature in space development. It is of great planning exploration and practical significance to apply multi-source data to analyze and judge how to build a city green space system that is more healthy, more reasonable in structure and more perfect in function. We can select the target bird species, study and establish their potential habitat spatial parameter index system, and use multi-source data to analyze the potential habitat, corridor and additional stepping-stone demands. We can construct a special habitat network represented by bird habitat and guide the urban green space layout. With gradual cost reduction in multi-source data acquisition and the deepening of habitat factors and parameters of species groups, this method will show greater value in the study of urban habitat network planning, and the optimization of urban spatial structure.

Keywords: landscape architecture; habitat network; multi-source data; biodiversity

城市绿色空间的生态系统服务功能众多，其中生物多样性保护是一项容易受到忽视的重要基本功能。尤其在中国华东沿海地区，城市往往与重要候鸟迁徙通道相重叠，现代化的都市生活与濒危物种的活动之间的冲突比人们普遍理解的状况更为严重。生态文明建设导向下，城镇发展建设需要切实平衡人与自然的空间发展矛盾。因而，建设一个体系更健康、结构更合理、功能更完善的城市绿色空间体系，通过生境网络的规划和建设，构建更为良好的城市生物多样性保护格局是一个重要课题。然而，既有的方法存在诸如调查研究不便、数据覆盖不全、难以

得到有效空间结论等问题，而应用多源数据分析和判断物种潜在栖息地条件，科学支撑生境网络的规划，确有其显著优势。

1 生境网络规划的发展

生境网络的概念起源于20世纪80年代。随着景观生态学蓬勃发展，岛屿生物地理学和复合种群理论被广泛引入景观生态学的研究^[1]。一些学者意识到，需要从景观尺度上考虑种群动态变化，并开展了大量研究工作。研究表明，生境网络在保障不同生境间物种交流和能量交换、降低生境破碎化影响、支持物种长期存活等方面具有重要意义^[2]。基

于此，以生境网络建设和优化为主要内容的生境网络规划应运而生。

生境网络规划在国外发展较早，经过多年研究与实践，基本形成4种方法，包括物种导向的生境网络规划、多功能型生境网络规划、以生态保护要求约束土地使用以及构建人工廊道支持物种运动迁移^[1]。

中国生境网络规划的研究起步较晚，相关研究尚不多见，目前大致分为3个方向。1) 基于生境网络思想进行城市绿色空间和生态格局规划。相关研究有，吕晓芳等基于生境网络思想构建大连旅顺口区西部临港新城绿色空间体系^[2]、谭瑛基于生境网络打造蚌埠市山水城市生态格局模式^[3]。2) 基于特定物种类群，进行生境网络规划和生境营造。相关研究有，赵振斌通过多尺度结合，进行西安产瀋河湿地水鸟生境保护规划^[4]、黄越以北京市为例进行城市绿地鸟类生境规划与营造的研究^[5]。分析生境网络时空变化成因以及保护、优化策略。相关研究有，吴未等在2015—2018年间以白鹭为例，分析了土地利用变化、建设用地扩张对苏锡常地区白鹭生境网络的影响，并从廊道构建方法比较、新增生境节点成本—收益分析等角度提出了生境网络优化方法^[6-10]。

上述研究在生境网络规划研究方法和技术手段上有重要指导意义，但学科背景主要分布在风景园林、景观规划、自然地理、土地管理等方向。以生物生态行为构建参数模型，进行生境识别，进而构建生境网络的规划研究并不常见。该类研究较为典型的是吴未在进行白鹭生境识别时，提出构建生境斑块约束条件模型^[10]。模型中考虑了自然地理因素、生物因素和人为干扰因素等对湿地鸟类生境形成的影响。该模型在理论层面较为完整，但受数据影响，实际运用过程中有所简化。本研究认为，多源数据的运用，可以部分地弥补数据问题带来的不足，从而可以提出一种基于多源数据的城市生境网络规划方法。

2 研究方法 with 数据采集

2.1 研究方法

基于多源数据的城市生境网络规划方法，是对传统基于目标物种研究进行生境网络规划

方法的改进与提升。该方法具体包括4个方面工作任务。1) 选取对特定生态类群生境选择具有代表性的目标物种，根据目标物种生态行为研究，构建目标物种潜在生境分析指标体系。2) 运用多源数据进行目标物种生境选择。3) 构建生境网络规划。生境网络规划的构成要素包括生境源地体系、生境廊道体系、踏脚石体系(图1)。4) 结果校验。

2.2 数据采集

本研究采用的数据为多源数据。多源数据包括国土调查数据、林业调查数据、遥感影像数据、POI和手机信令数据、公众观鸟大数据等。国土调查数据和林业数据由研究区域所属管辖区的国土部门和林业部门提供；遥感数据可由专业数据公司购得；POI、手机信令数据、观鸟大数据可从互联网获取或从专业机构购买。

3 研究内容

研究内容分为4个部分。1) 目标物种选择与生境选择指标体系构建，具体分为目标物种选择和潜在生境分析指标体系构建；2) 生境斑块识别，包括自然条件下潜在生境斑块的选择，和自然与人类活动双重干扰下潜在生境选择；3) 生境网络规划，具体包括生境源地体系构建、生境廊道体系构建、踏脚石体系构建；4) 分析结果的校验。

3.1 目标物种选择与潜在栖息地分析指标体系构建

3.1.1 目标物种选择

随着城市化进程加快，城市中建设用地逐渐蚕食山体、湿地等自然生境，其中湿地与城市发展的矛盾最为突出。本研究选择了湿地生物多样性的显性指标——水禽作为研究对象，进行城市湿地生境网络规划。

目标物种选择需遵循两项原则：1) 目标物种对人类活动保有中高敏感度(图2)，2) 目标物种对于特定生态类群的物种生境选择具有一定代表性。

基于高度敏感物种进行研究，如丹顶鹤(*Grus japonensis*)、东方白鹳(*Ciconia boyciana*)，可以指导规划保留物种核心保护区域；基于中度敏感物种进行研究，如白鹭(*Egretta garzetta*)、苍鹭(*Ardea cinerea*)，

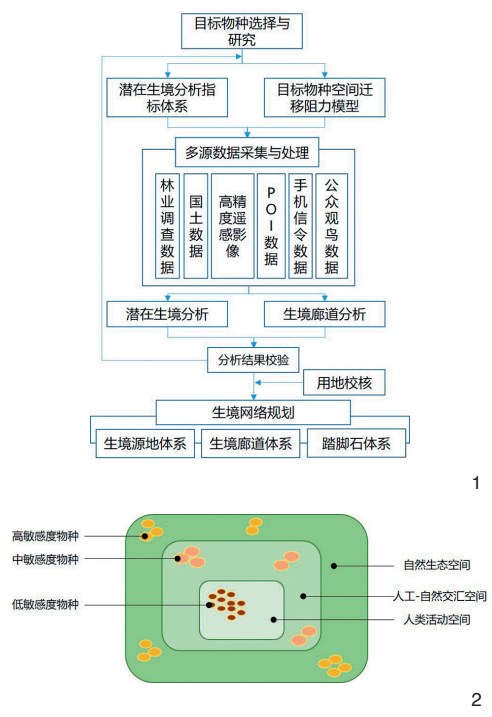
有助于指导规划保护和利用人类与野生动物的共享空间；基于低敏感物种进行研究，如麻雀(*Passer domesticus*)、白头鹎(*Pycnonotus sinensis*)，可以指导规划改善城市人居环境，但对于物种保护层面意义有限。另外，可参考文化价值、景观美学价值等进行选择。

综合考虑以上因素，本研究确定以白鹭为目标物种，进行生境网络规划。白鹭常与苍鹭、夜鹭(*Nycticorax nycticorax*)、大白鹭(*Egretta alba*)、中白鹭(*E. intermedia*)、白琵鹭(*Platalea leucorodia*)等涉禽混居，其生境选择对于湿地生境具有一定代表性。白鹭属于中高敏感度物种，既常出现于人类活动的空间，又与人类保持一定距离。而且，学术界关于白鹭生态行为的研究较多，有利于筛选生境选择指标。

3.1.2 潜在生境分析指标体系构建

对选定的目标物种进行生态行为研究，通过文献查阅，总结出影响目标物种生境选择的主要因素。研究表明，距离因子、植被因子是研究白鹭生境选择的主要因素^[11]。以

1 技术路线图
Technical roadmap
2 不同敏感程度物种空间分布示意图
Schematic diagram of spatial distribution of species with different sensitivity



此为基础，建立包括距离影响因子、植被影响因子两大项，距水面距离、距觅食地距离、距人工干扰距离、植被覆盖度、优势树种、巢树高度、巢树胸径等15小项在内的潜在生境分析指标体系(表1)。

3.2 潜在生境斑块识别

3.2.1 自然条件下潜在生境识别

首先，在 ArcGIS 平台上，对收集到的林业调查数据进行整理。将所有属性完全一致的小斑融合成一个要素后，利用拆分工具将该要素拆分成单独的要素，该过程可使相互连接的同类小斑聚集在一起。然后，依据指标体系(表1)中列出的植被指标和林业调查数据中的具体属性，分别筛选出符合栖息地和觅食地植被因子要求的林地斑块。之后，依据除人工干扰以外的距离因子和土地利用数据，对白鹭潜在生境进行二次筛选，得出自然条件下白鹭潜在生境分布。

3.2.2 自然与人类活动双重影响下的潜在生境识别

首先，根据 POI 数据或手机信令数据，分析出城市中人类活动情况，与土地利用数据中的人工干扰要素，如道路、建设用地、村庄、设施农用地等进行叠加分析，结合指标体系(表1)中的人工干扰因素形成人工干扰地图。然后，再与3.2.1中得出的自然条件下的潜在生境进行叠加分析。则在人工干扰范围外的区域为自然条件与人类活动双重影响下的白鹭潜在栖息地分布。

3.3 生境网络规划

被广泛认可的生境网络一般包括核心保护区、自然和半自然的生境斑块、具有连接作用的廊道以及跳板结构^[1]。也有学者认为，生境网络是生境斑块与迁移廊道的结合^[10]。本研究认为，生境网络中应包括生境源地体系、生境廊道体系和踏脚石体系，将这3个体系的结构和功能相互连通，从而形成生境网络。

生境保护网络与研究的尺度密切相关，本研究主要针对宏观、中观尺度，而涉及踏脚石层面的生境设计为微观层面的具体内容。

3.3.1 生境源地体系

生境源地体系包括3部分。除了通过前文所述方法识别出的潜在生境外，还包括已确定

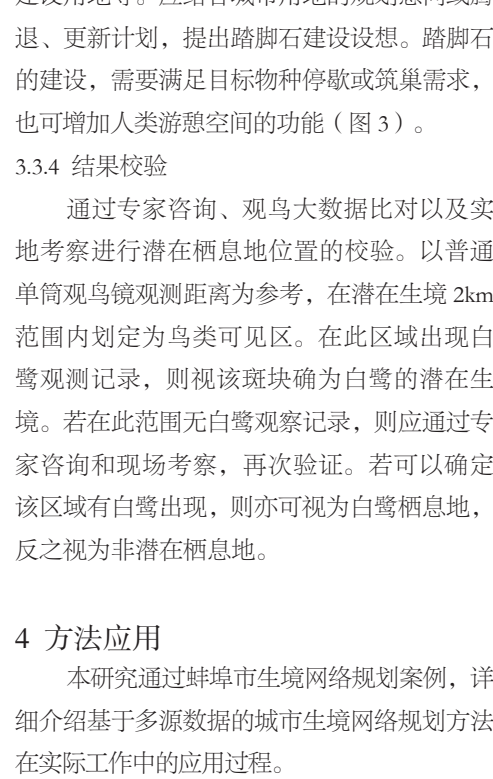
表1 目标物种潜在生境分析指标
Tab.1 Index of potential habitat of target species

生境类型	影响因子
栖息地	距离因子 距明水面距离、距觅食地距离、距高干扰距离、距低干扰距离
	植被因子 优势树种、巢树胸径、巢树高度、植被覆盖度、郁闭度、郁闭度、林带长度、林带宽度
觅食地	距离因子 距明水面距离、距栖息地距离、距人工干扰距离
	植被因子 遮蔽度、农田作物类型

表2 目标物种迁移阻力系数表
Tab.2 Migration resistance coefficient of target species

类别	阻力因子	阻力系数
R1	滩涂沼泽	0
	湖泊河流	0.2
	沟渠	0.5
R2	有林地	0.7
	灌木林地	2.4
	其他林地	3.6
	采伐迹地	6
R3	水田	0.6
	水浇地	1.8
	园地	3.6
	旱田	6
R4	设施农用地	8.4
	未利用土地	9.6
	城区绿地	3.6
R5	次要道路	7.8
	居住区	8.4
	主要道路	10.1
	商业区	18

注：根据林永红等有关于水鸟飞行阻力格局研究制定。



3 生境营造概念图
Habitat creation concept map
4 蚌埠市生境网络规划
Habitat network planning of Bengbu City

4.1 项目背景

蚌埠市位于安徽省北部，总面积 5 952km²，淮河主流穿城而过，地理气候独特，生态资源良好。随着长三角城市群加速发展，蚌埠市的人与自然矛盾日益凸显。生境的破坏和消失，极大地威胁着当地的生物栖息地环境。在蚌埠市的发展过程中，城市中的湿地生境受损尤为严重，本项目以白鹭为目标物种，规划构建具有湿地生境保护功能的生境网络（图 4）。

4.2 生境网络规划

4.2.1 生境源地体系

通过文献研究，得出蚌埠市白鹭潜在生境分析指标体系^[11,13]（表 3）。根据林业调查数据筛选出优势树种为枫杨（*Pterocarya Stenoptera*）、桧树（*Sabina Chinensis*）等高大乔木、平均胸径 ≥ 13.5cm、高度在 7~10m 间、植被覆盖率 ≥ 0.5、郁闭度在 0.6~0.9 间、林带坡度 ≤ 0.2、林带宽度 ≥ 20m × 100m 或 30m × 50m、距明水面距离 S1 ≤ 40m、距觅食地距离 S2 ≤ 5 000m、距高干扰距离 S3 ≥ 500m、距低干扰距离 S4 ≥ 60m 的林地斑块作为自然条件下白鹭潜在栖息生境（图 5）；筛选出距河流、湖泊、水塘距离 S5 ≤ 300m、距离栖息地 S6 ≤ 2 000m、距离人工干扰 S7 ≤ 60m 的水田、河漫滩作为自然条件下白鹭潜在觅食地。

基于 POI 数据密度进行人类活动强度研究，结合指标体系（表 3）中距离人工干扰指标，绘制人类活动干扰的空间分布图（图 6）。将自然条件下的潜在生境与人类活动干扰进行叠加分析，最终得出蚌埠市白鹭潜在生境分布（图 7）。

4.2.2 生境廊道体系

根据土地利用和人为干扰对白鹭空间迁移的阻力建立阻力系数表（表 2），以此为基础，构建最小阻力计算模型的的阻力面，以生境源地为核心斑块，计算生态廊道（图 8）。与《蚌埠市城市总体规划》《蚌埠市控制性详细规划》《蚌埠市绿地系统规划》以及蚌埠市生态建设工程等对接后，调整廊道走向，构建生境廊道体系（图 9）。

4.2.3 踏脚石体系

依据白鹭飞行距离分析白鹭可达区域。尽管白鹭飞行距离较远，但研究表明白鹭倾向于在距离巢穴 2 000m 左右的区域内觅食^[2]。以分析出的生境源地为中心，建立 2000m 缓冲区，缓冲区范围内为白鹭可到达区域，缓冲区范围外则需增设踏脚石。踏脚石可沿生态廊道布设（图 10）。

蚌埠市生境网络规划是《蚌埠市城市生态网络规划》重要组成部分之一。将生境网络规划纳入生态网络规划的编制，既有利于完善蚌埠城市生态系统，也可以提高生态空间的生态服务功能，同时还可以按规划界定的思路，对生境景观设计有所指导，从而也将有助于提升公众对城市中自然生境的保护意识。

5 结论与讨论

本文基于多源数据进行生境网络构建，一方面比传统生物多样性保护更节约时间成本，对于规划行业从业者也更具实操性，另一方面，也可进一步促进城市绿色空间形成全面网络化结构，提升整体生态效益。

表 3 蚌埠市白鹭潜在生境分析指标体系

Tab. 3 Indicators for potential habitat for egrets in Bengbu City

生境类型	影响因素	
	距离因子	植被因子
栖息地	距明水面距离 S1 ≤ 40m	优势树种：杨树、桧树等
	距觅食地距离 S2 ≤ 5000m	巢树胸径 D ≥ 13.5cm
	距高干扰距离 S3 ≥ 500m	巢树高度 7m ≤ H ≤ 10m
觅食地	距低干扰距离 S4 ≥ 60m	植被覆盖率 ≥ 0.5
	—	郁闭度 0.6~0.9
	—	林带坡度 ≤ 0.2
	—	林带宽度 ≥ 20m × 100m 或 30m × 50m
觅食地	距离河流、湖泊、水塘 S5 ≤ 300m	遮蔽度（受多种因素影响）
	距离栖息地 S6 ≤ 2000m	作物类型（限农田觅食地）：水田作物
	距离人工干扰 S7 ≤ 60m	—

注：根据熊豪关于四川湿地公园白鹭生境研究、李永民等鹭鸟巢址特征研究等制定。

但就本文中论述的方法而言，仍存在一定改进空间。1) 湿地仅是城市中高生态价值的空间之一，仅规划湿地生境网络还不足以满足城市整体生境保育需求，应同时考虑其他类型生境保护；2) 根据规划场地实际情况选择有地方特色的目标物种存在一定难度，且目标物种在生物学界是否被广泛研究也将直接影响栖息地分析指标体系的制定；3) 目前的公众观鸟数据以主观填报为主，存在一定空间局限性和显著误差的可能，在进行校验结果校核时，可能会出现误差。但随着多源数据获取成本的逐步降低和物种种群生境参数的逐步深化发展，本方法在研究城市生境格局和绿色空间布局方面的价值还将进一步提升。

构建生境网络是防范因生境破碎化导致城市生物多样性降低的重要途径之一。然而，城市的生物多样性本就不不同于纯粹自然生态条件下的生物多样性，仅做到栖息地保护是远远不够的，仍需要对城市内生物多样性的构成和保护机制进行更深入的研究。

致谢：

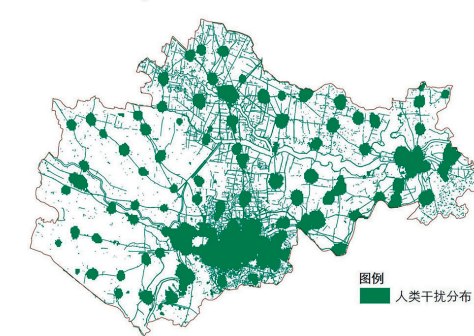
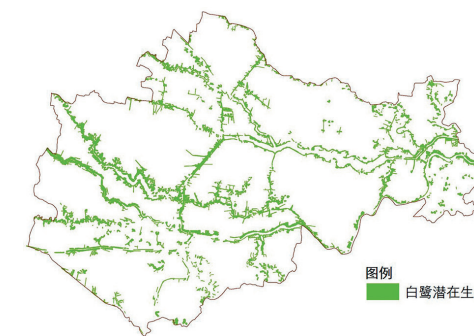
感谢清华大学生态规划与绿色建筑教育部重点实验室支持。

注释：

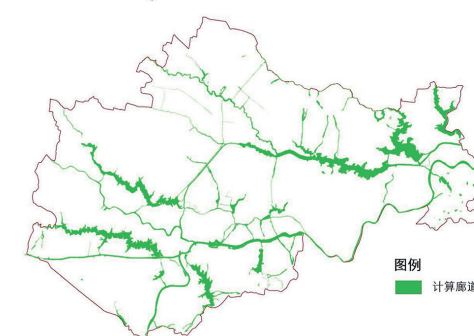
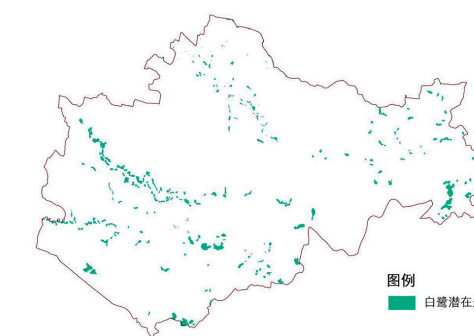
表 1 根据熊豪关于四川湿地公园白鹭生境研究制定；表 2 根据林永红等关于水鸟飞行阻力格局研究制定；表 3 根据熊豪关于四川湿地公园白鹭生境研究、李永民等鹭鸟巢址特征研究等制定；文中所有图纸均为作者自绘。

参考文献 (References)：

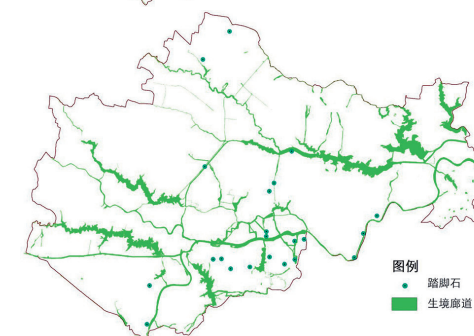
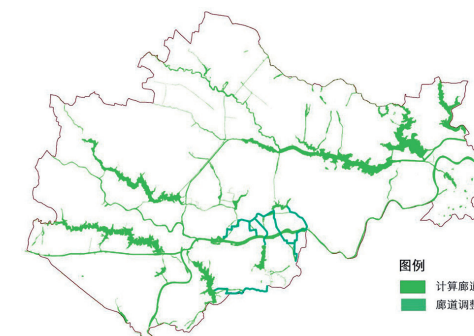
[1] 何文捷, 李晓玲, 胡希军. 德国生境网络规划的发展与启示 [J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31 (7) : 190-194, 208.
HE Wenjie, JIN Xiaoling, HU Xijun. Development of the Habitat Network Planning in Germany and its Enlightenment[J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2011, 31(7):190-194, 208.
[2] JONGMAN R H. G., BOUWMA I M. JONES-WALTERS L, et al. The Pan European Ecological Network: PEEN[J]. Landscape Ecology, 2011, 26(3): 311-326.
[3] 吕晓芳, 胡洁. 与自然共同生长的城市绿色空间：基于生境网络视角的城市绿色空间规划思路探讨[C]// 中国城市科学研究会, 天津市滨海新区人民政府. 2014 (第九届) 城市发展与规划大会论文集: S10 城市基础设施规划与生态环境建设和投融资改革, 2014: 4.
LV Xiaofang, HU jie. Urban Green Space Growing With Nature: Analysis of Planning Process Diagram of Urban Green Space on the Perspective of Habitat Net works[C]// China city scientific research association, the tianjinbinhai new area people's government. 2014 (9th) urban development and planning conference proceedings: S10 urban infrastructure planning and



5 自然因素影响下的白鹭潜在生境分布
Distribution of potential habitats of egrets under the influence of natural factors
6 基于 POI 的人类干扰空间分布
Spatial distribution of POI-based human interference



7 自然条件与人类干扰双重因素影响下的白鹭潜在生境分布
Distribution of potential habitats of egrets under the influence of natural conditions and human interference
8 基于最小阻力模型的城市生境廊道体系
Urban habitat corridor system based on minimum resistance model



9 对接规划后的城市生境廊道体系调整
Urban habitat corridor system adjusted after actual land-use
10 踏脚石空间分布
Spatial distribution of tread stones

ecological environment construction, investment and financing reform Chinese academy of sciences, tianjinbinhai new area city people's government, 2014: 4.
[4] 谭斌, 姚青杉. 基于生境网络的山水城市生态格局模式研究 [J]. 中国园林, 2015, 31 (5) : 92-96.
TAN Ying, YAO Qingshan. Research on the Ecological Pattern of Shan-shui Cities Based on Habitat Network[J]. Chinese Landscape Architecture, 2015, 31(5): 92-96.
[5] 赵振斌, 赵洪峰, 田兴华, 等. 多尺度结合的西安市产鹳河湿地水鸟生境保护规划 [J]. 生态学报, 2008 (9) : 4494-4500.
ZHAO Zhenbin, ZHAO Hongfeng, TIAN Xianhua, et al. Multiple Scale Protection Planning of Waterbird Habitats in Xi'an Chanba River Wetland[J]. Journal of ecology, 2008(9): 4494-4500.
[6] 黄越. 北京城市绿地鸟类生境规划与营造方法研究 [D]. 北京: 清华大学, 2015, 81-117.
HUANG Yue. The Methodology of Bird Habitats' Making and Planning at Beijing Urban Green Spaces[D]. Beijing: Tsinghua University, 2015, 81-117.
[7] 吴未, 范诗薇, 胡余挺, 等. 基于成本收益分析的生境网络优化：以苏锡常地区白鹭为例 [J]. 生态学报, 2017, 37 (6) : 1786-1795.
WU Wei, FAN Shiwei, HU Yuting, et al. A Cost-benefit Analysis Approach to Habitat Network Optimization: a Case Study of the Little Egret (*Egretta garzetta*) in the Su-Xi-Chang Area[J]. Journal of ecology, 2017, 37(6): 1786-1795.
[8] 吴未, 胡余挺, 范诗薇, 等. 不同鸟类生境网络复合与优化：以苏锡常地区白鹭、鸳鸯、雉鸡为例 [J]. 生态学报, 2016, 36 (15) : 4832-4842.
WU Wei, HU Yuting, FAN Shiwei, et al. Recombination and Optimization of Bird Habitat Networks: a Case Study of the Little Egret (*Egretta garzetta*), Mandarin Duck (*Aix galericulata*)

and Ring-necked Pheasant (*Phasianus colchicus*) in Su-Xi-Chang Srea[J]. Journal of Ecology, 2016, 36(15):4832-4842.
[9] 吴未, 张敏, 许丽萍, 等. 基于不同网络构建方法的生境网络优化研究：以苏锡常地区白鹭为例 [J]. 生态学报, 2016, 36 (03) : 844-853.
WU Wei, ZHANG Min, XU Liping, et al. Study on Habitat Network Optimization Based on Different Network Construction Methods: A Case Study of Egrets in Suxichang Area[J]. Journal of Ecology, 2016, 36(3): 844-853.
[10] 吴未, 张敏, 许丽萍, 等. 土地利用变化对生境网络的影响：以苏锡常地区白鹭为例 [J]. 生态学报, 2015, 35 (14) : 4897-4906.
WU Wei, ZHANG Min, XU Liping, et al. Effects of Land Use Change on Habitat Network: a Case Study of Egrets in Suxichang Area[J]. Journal of Ecology, 2015, 35(14): 4897-4906.
[11] 熊豪. 四川城市湿地公园白鹭生境选择研究 [D]. 成都: 四川农业大学, 2014, 35-39.
XIONG Hao. A Study on Egret Habitat Selection in Urban Wetland Park of Sichuan[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2014, 35-39.
[12] 林永红, 徐鹏, 廖星, 等. 滨海湿地水鸟飞行阻力格局及空间管制策略：以深圳市深圳湾为例 [J]. 生态学杂志, 2015, 34 (11) : 3182-3190.
LIN Yonghong, XU Peng, LIAO Xing, et al. Coastal Wetland Waterbird Flight Resistance Pattern and Spatial Control Strategy: Taking Shenzhen Bay of Shenzhen as an Example[J]. Ecology Journal, 2015, 34(11): 3182-3190.
[13] 李永民. 芜湖市鸟类多样性研究及鹭鸟巢址特征分析 [D]. 安徽: 安徽师范大学, 2006: 39-46.
LI Yongmin. Study on Avian Diversity and Analysis of Nest Site Characteristics of Herons in WuHu City[D]. Anhui: Anhui Normal University, 2006: 39-46.

[14] 张青萍, 杨柳, 焦洪赞. 基于最小累积阻力模型的西南山地城市建设用地扩展路径研究：以贵阳市为例 [J]. 西南大学学报 (自然科学版), 2016, 38 (12) : 89-94.
ZHANG Qingping, YANG Liu, JIAO Hongzan. Reconstruction Route of Mountainous Region, Southwest of China Land Space Based on Improved Minimum Cumulative Resistance Model: A Case Study of Guiyang City[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2016, 38(12): 89-94.
[15] 俞孔坚, 张蕾. 基于生态基础设施的禁建区及绿地系统：以山东菏泽为例 [J]. 城市规划, 2007 (12) : 89-92.
YU Kongjian, ZHANG Lei. Forbidden Construction Area and Green Space System Based on Ecological Infrastructure: Taking Heze in Shandong Province as an Example[J]. City Planning Review, 2007(12): 89-92.
[16] 胡望舒, 王思思, 李迪华. 基于目标物种的北京市生物保护安全格局规划 [J]. 生态学报, 2010, 30 (16) : 4266-4276.
HU Wangshu, WANG Sisi, LI Dihua. Biosafety Security Pattern Planning Based on Focus Species in Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(16): 4266-4276.
[17] 何昉, 汪永华. 区域性环城绿地生态规划理念探讨：以北京水乡体系和珠江三角洲为例 [J]. 风景园林, 2005 (1) : 75-79.
HE Fang, WANG Yonghua. The Concept on Ecological Planning for Regional Green Space Around City With Cases on the Water Regions of Beijing and the Pearl River Delta[J]. Landscape Architecture, 2005(1): 75-79.
[18] 邓一荣, 肖荣波, 黄柳菁, 等. 城市生物多样性恢复途径与实例研究 [J]. 风景园林, 2015 (6) : 25-32.
DENG Yirong, XIAO Rongbo, HUANG Liujing, et al. Approaches and Case Study of Urban Biodiversity Restoration[J]. Landscape Architecture, 2015(6): 25-32.

(编辑 / 刘昱霏)

基于多源数据分析的北京市中心城绿色空间时空演变研究 (1992—2016)

The Spatio-temporal Evolution of Green Spaces in Central Beijing Based on Multi-source Data (1992—2016)

李方正 解爽 李雄*
Li Fangzheng, XIE Shuang, Li Xiong*

中图分类号: TU986
文献标识码: A
文章编号: 1673-1530(2018)08-0046-06
DOI: 10.14085/j.fjyl.2018.08.0046.06
收稿日期: 2018-01-04
修回日期: 2018-04-19

李方正/1989年生/男/山东人/博士/北京林业大学园林学院讲师/研究方向为城市绿色空间生态系统服务权衡与协同、风景园林与公共健康(北京 100083)
Li Fangzheng, born in 1989 in Shandong Province, got Ph.D. degree, is a lecturer in School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University. His research focuses on ecosystem service tradeoffs and synergies of urban green spaces, landscape architecture and public health (Beijing 100083).

解爽/1995年生/女/山东人/北京林业大学园林学院在读硕士研究生/研究方向为风景园林规划设计与理论(北京 100083)
XIE Shuang, born in 1995 in Shandong Province, is a master student in School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University. Her research focuses on landscape planning and design (Beijing 100083).

李雄/1964年生/男/山西人/博士/北京林业大学副校长、园林学院教授/本刊编委会主任/研究方向为风景园林规划设计与理论(北京 100083)
通信作者邮箱 (Corresponding author Email): bearlixiong@sina.com
Li Xiong, born in 1964 in Shanxi Province, got Ph.D. degree, is the vice-president of Beijing Forestry University, professor in the School of Landscape Architecture, and editorial committee director of this journal. His research focuses on landscape planning and design (Beijing 100083).

摘要: 随着城市化不断推进,北京市中心城社会经济发展和环境破坏严重威胁着绿色空间发展,理清绿色空间的演变机制为绿地系统规划方案制定提供重要的理论依据。研究以北京市中心城为对象,选择1992年、2000年、2008年和2016年4个重要节点,对其遥感影像进行解译,探究北京中心城绿色空间的时空变化并分析其转变影响因素。研究表明,研究期北京市中心城耕地、林地和湿地及水域面积减少,草地面积增加,总绿色空间大面积减少;中心城用地间的转换主要集中在耕地向建设用地、林地的转换,林地和草地向建设用地的转换上;社会经济发展对北京市中心城绿色空间面积演变影响显著,自然因素对绿色空间演变起到一定限制作用,政策因素对于结构性大型绿色空间的构建具有积极的推动作用。

关键词: 风景园林;北京市中心城;绿色空间;演变;时空
基金项目: 国家自然科学基金“基于森林城市构建的北京市生态绿地格局演变机制及预测预警研究”(编号31670704);北京市共建项目;国家自然科学基金青年项目“基于可行性的城市绿色空间修补研究——以北京市海淀区为例”(编号51708030)

Abstract: Rapid urbanization, along with social and economic development and environment disruption, has seriously threatened the green space of central Beijing. Figuring out its evolution mechanism could provide an important theoretical basis for decision-making. Four time node (1992, 2000, 2008 and 2016) remote sensing images from 1992 to 2016 in central Beijing are applied to characterize the spatial-temporal change of green space and analyze its influence factors. The research indicates that the area of farmland, woodland, wetland and water area have decreased during the research period, while the grassland has increased, leading to drastic green space loss during the 24 years. The conversion of land use is mainly focused on the transition from farmland to construction land and woodland as well as from woodland and grassland to construction land. The results show the social, economic development has a significant impact on the evolution of green space area. Natural factors have restrictive effect on the evolution of the changes of green space area. And planning and government decision-making mechanism have a positive role in the construction of structural green space.

Keywords: landscape architecture; central Beijing; greenspace; evolution; temporal-spatial
Fund Items: National Science Foundation of China: Research on the mechanism change and hazard warning of ecological green space patterns of Beijing based on the construction of Forest City (No. 31670704); The Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment Supported by the Special Found for the Beijing Common Construction Project; National Natural Science Foundation of China "Research on Urban Green Space Renovation Based on Walkability" (No. 51708030)

北京市中心城是京津冀区域近20年来快速城市化的典型区域,也是城市扩张最明显的区域之一,社会经济的发展 and 环境的破坏使得北京市中心城建设用地迅速扩张,而部分绿色空间被大面积侵蚀,各用地类型的演变使得该区域成为研究土地利用/覆被的典型区域。目前北京市政府

采取了一系列政策措施如“副中心建设”“留白增绿”和“雄安新区”建设等缓解北京城市化进程中的问题,其中“留白增绿”是对中心城绿色空间保护的重要策略。相较于针对城乡规划体系中的狭义绿地,绿色空间中具有更多具有生态、游憩功能的潜力空间^[1-2],对绿色空间进行演变

研究,探究其演变空间机制,充分发挥其生态、游憩功能,指导绿色空间规划和“留白增绿”实施具有重要意义。

中国现有的针对绿色空间或绿地演变的相关研究主要集中于绿色空间在时间序列上的面积变化、各绿色空间类型面积转换分析、景观格局分析等3个方面。其中,时间序列的面积变化包括了基于遥感、地理信息系统技术,利用信息熵、扩展速度、扩展系数等指标计算绿色空间的时间变化^[3-4]在时间序列上的扩展规律等^[5-6]。绿色空间转换分析包括利用动态变化度及转移矩阵分析绿色空间的动态变化^[7-9],运用动态度和洛仑兹系数分析绿色空间数量变化和空间结构变化的特征等^[10]。采用景观生态学指数和缓冲区密度探究城市绿色空间时空演变过程,并揭示主导的影响因子和驱动机制^[11-15]。但目前对绿色空间演变机制的研究普遍缺乏针对具体空间位置的转换分析,无法精准反映出绿色空间的转换,其结果不能落地指导不同区位的绿色空间规划与用地调整。本研究基于遥感技术和地理信息系统将绿地演变和转换结果表达在空间上,绿色空间的时空演变得以充分体现。相较现有研究,本研究在尺度上聚焦中心城,分析不同空间上绿色空间具体的转换情况,时间期限上有延续性,尤其是延续到近2年内,为北京“留白增绿”的实施具有指导意义。

1 研究区域及数据

1.1 研究区域

本文研究区域为北京市中心城,参考《北京城市总体规划(2004—2020)》,中心城总面积1088km²(图1)^[16-18]。

1.2 绿色空间的界定

本研究的研究对象绿色空间为广义的绿地概念,参考1992年由中国科学院和农业部在“国家资源环境遥感宏观调查与动态研究”中建立的中国土地资源分类系统分类体系,根据遥感分类和遥感数据精度对绿色空间种类进行重新组合,本文将北京市中心城的土地利用/覆被分为耕地、林地、草地、湿地及水域、建设用地和未利用地6种类型,其中绿色空间包括耕地、林地、草地和湿地及水域。

1.3 数据来源

本研究选取北京市城市化快速发展的近20年间的绿色空间演变情况作为研究基本数据,选择1992—2016年作为研究期限。研究获取了能够有效反映植被覆盖的归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index,简称NDVI),并对北京市中心城1992—2016年的NDVI值进行回归分析,得出其变化模拟趋势曲线(图2),最终选取1992年、2016年2个起始点和2000年、2008年2个NDVI变化的重要节点作为研究节点,进行绿色空间分析。

为分析北京市中心城1992年、2000年、2008年和2016年4个时间节点的绿色空间覆盖变化,研究利用遥感影像数据作为基础数据。研究选取原始卫星分辨率为30m×30m,并通过Gram-Schmidt Spectral Sharpening方法融合处理后,提高数据精度为15m×15m。通过对这4个时期5—10月植物生长旺季遥感影像进行筛选后,最终选择以下时段遥感影像作为解译数据源(表1)。

2 研究方法

2.1 遥感影像解译

为分析绿色空间覆被变化,本研究通过

遥感解译获得基础数据。首先将获取的遥感影像数据通过ERDAS IMAGINE软件进行几何校正和大气校正。通过Arcgis平台进行数据处理、运算、检验,4个时期的检验结果精度值分别达到83.21%、86.35%、85.87%和84.91%,均满足精度要求。最后进行可视化表达,得到1992年、2000年、2008年和2016年的土地利用解译图(图3)。

2.2 动态度计算

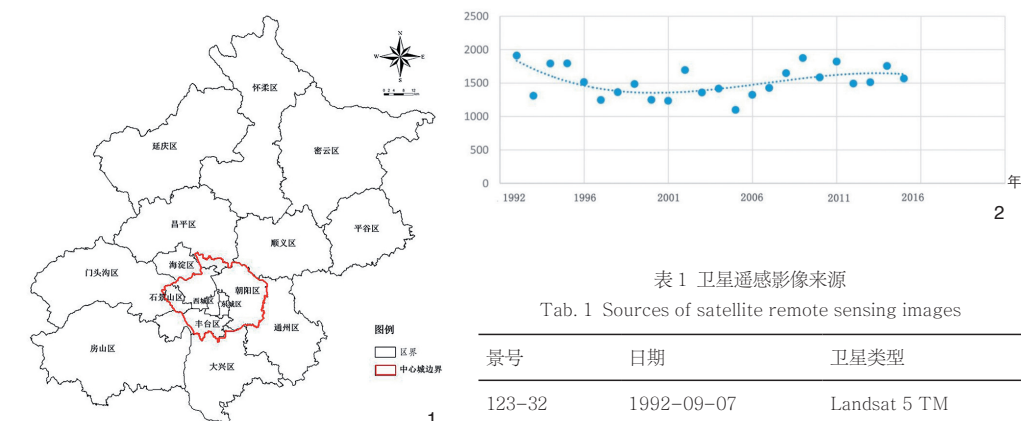
本研究利用动态度表达绿色空间面积变化速率,单一绿色空间动态度能反映在研究区内某种绿色空间类型的数量在一定时间段内的变化速率。其计算方式为^[19]:

$$IR = \frac{S_{a1} - S_{a2}}{S_{a1}} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

其中,IR表示研究区在该时间段内单一绿色空间类型的变化速率即动态度,S_{a1}为该种绿色空间类型在研究时间段起点的面积,S_{a2}为该种绿色空间类型在研究时间段终点的面积,T为时间间隔年份。

2.3 转移矩阵模型

转移矩阵可以具体细致地描述研究范围内土地利用的结构和方向。通过Overlay进行数据空间叠加,使用Statistics功能便可具体、细致地计算出各种土地类型之间相互转化面积。

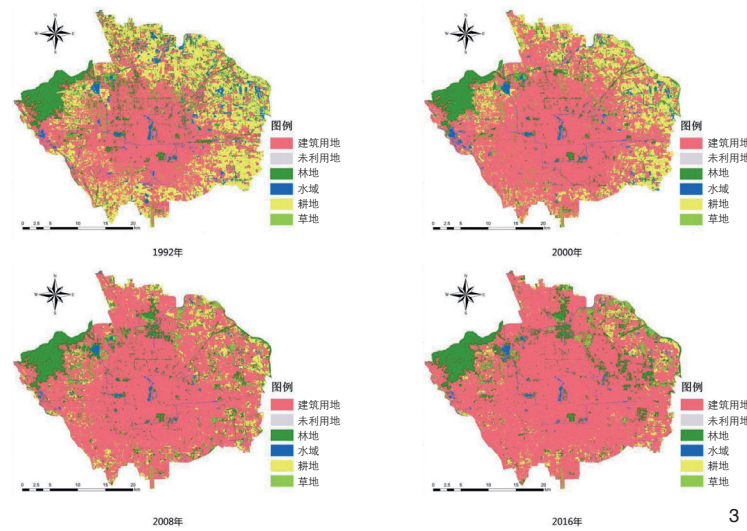


1 北京市中心城范围
The scope of central Beijing
2 北京市中心城1992—2016年NDVI值变化趋势
NDVI value change trend in central Beijing (1992—2016)台 (http://www.gscloud.cn);云覆盖率5%以下

表1 卫星遥感影像来源
Tab. 1 Sources of satellite remote sensing images

景号	日期	卫星类型
123-32	1992-09-07	Landsat 5 TM
123-32	2000-05-16	Landsat 7 ETM
123-32	2008-08-02	Landsat 7 ETM
123-32	2016-10-11	Landsat 8 OLI

注:数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台 (http://www.gscloud.cn);云覆盖率5%以下



3 北京市中心城 1992—2016 年土地利用解译结果
Land use interpretation results in central Beijing (1992—2016)

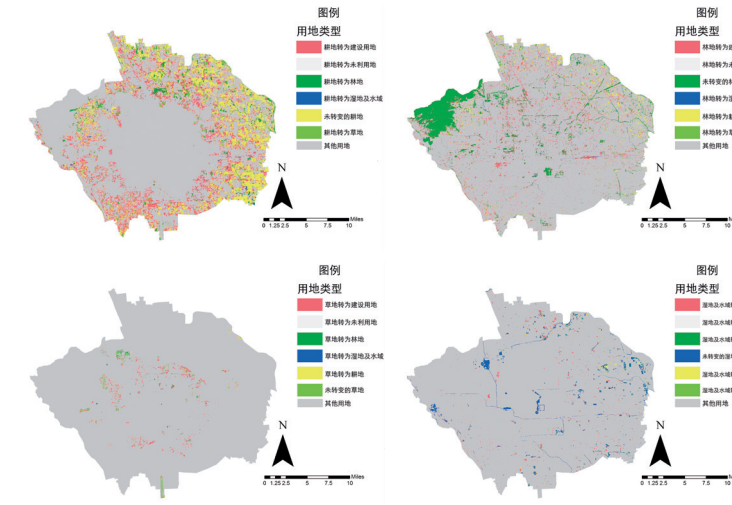
表 2 土地利用解译数据统计表
Tab. 2 Statistical table of land use interpretation data

用地类型	1992 年		2000 年		2008 年		2016 年	
	面积 /hm ²	百分比 /%	面积 /hm ²	百分比 /%	面积 /hm ²	百分比 /%	面积 /hm ²	百分比 /%
绿色空间								
草地	1 837	1.69	1 919	1.76	2 094	1.92	2 248	2.06
耕地	32 254	29.61	21 171	19.44	10 452	9.60	6 251	5.74
林地	16 419	15.07	12 402	11.39	14 561	13.37	14 176	13.01
湿地及水域	3 865	3.55	2 929	2.69	1 322	1.21	1 438	1.32
非绿色空间								
建设用地	54 539	50.07	70 499	64.72	80 492	73.89	84 811	77.86
未利用地	16	0.01	10	0.01	8	0.01	5	0.00

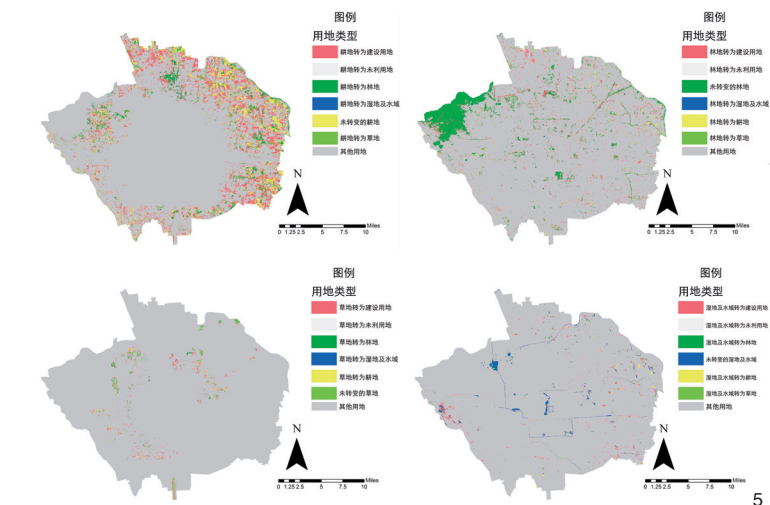
表 3 各类用地面积变化动态度
Tab. 3 Dynamic degree of land use change in different types of land

用地类型	1992—2000 年		2000—2008 年		2008—2016 年	
	面积变化 /hm ²	动态度 / (%/a)	面积变化 /hm ²	动态度 / (%/a)	面积变化 /hm ²	动态度 / (%/a)
绿色空间						
草地	81.83	0.56	175.42	1.14	154.34	0.92
耕地	-11 083.30	-4.30	-10 718.42	-6.33	-4 201.76	-5.02
林地	-4 016.72	-3.06	2 158.62	2.18	-385.01	-0.33
湿地及水域	-935.93	-3.03	-1 607.04	-6.86	116.08	1.10
非绿色空间						
建设用地	15 960.19	3.66	9 993.33	1.77	4 319.21	0.67
未利用地	-6.07	-4.73	-1.92	-2.41	-2.87	-4.46
总计	-15 954	-3.67	-9 992	-3.25	-4 316	-1.90

3.2.1 1992—2000 年各类型绿色空间的面积转换分析
在 1992—2000 年期间, 4 种绿色空间面积共转出 28 649.56 hm², 共转入 12 695.44hm², 因此最后绿色空间共减少 15 954.12hm² (表 4)。
在 1992—2000 年, 耕地和林地转向建设用地、耕地转向林地成为北京市中心城主要的绿色空间转换方式。1992—2000 年 8 年间, 北京市中心城耕地面积以减少为主, 耕地的转出主要去向是建设用地, 转入主要来源于林地。这一时期的北京市中心城林地面积以减少为主, 转出量远超过转入量, 林地主要转向建设用地, 转入以耕地和建设用地为主。北京市中心城草地面积出现少量增加。湿地及水域面积减少速率较高。
在 1992—2000 年间, 耕地在北京市中心城四环外呈环状减少, 主要表现为在中心城北部转为建设用地和林地, 在南部主要转为建设用地 (图 4)。耕地转换为建设用地主要受北京建设向四环外扩张影响, 集中的出现在北部清河的部分建设区域、海淀三山五园东部的建设区域、万柳及中关村部分区域、朝阳区金融街及中央商务部分区的建设区域和南城大红门南部、南苑西部区域。耕地转换为林地则主要受城市公园建设和造林活动影响, 主要出现在温榆河西南部、大屯北部和玉泉山周边区域。
在 1992—2000 年间, 林地呈线性和块状减少, 但减少区域较为分散。林地转出主要表现为在中心城转为建设用地。林地转为线性建设用地主要为交通廊道的建设, 集中出现在八达岭高速建设区域、长安街东



4 北京市中心城 1992—2000 年各绿色空间类型转换空间分布
Spatial distribution of green space into various types of land use in central Beijing (1992—2000)



5 北京市中心城 2000—2008 年各绿色空间类型转换空间分布
Spatial distribution of green space into various types of land use in central Beijing (2000—2008)

表 4 1992—2000 年地类转移矩阵 /hm²
Tab. 4 Land use transfer matrix in 1992—2000

用地类型	绿色空间			非绿色空间			面积减少	面积变化合计
	草地	耕地	林地	湿地及水域	建设用地	未利用地		
绿色空间								
草地	—	108.64	222.67	13.41	1 088.56	0.00	1 433.27	81.83
耕地	738.64	—	2 754.74	277.16	12 847.08	0.00	16 617.61	-11 083.3
林地	294.14	2 941.15	—	232.27	5 148.29	1.49	8 617.35	-4 016.72
湿地及水域	38.40	3 19.83	364.55	—	1 258.54	0.00	1 981.33	-935.93
非绿色空间								
建设用地	443.92	2 164.69	1 255.16	522.56	—	0.00	4 386.33	15 960.19
未利用地	0.00	0.00	3.51	0.00	4.05	—	7.56	-6.067
面积增加	1 515.10	5 534.31	4 600.63	1 045.40	20 346.52	1.49		

注: 表中横向地类为 1992 年地类, 纵向地类为 2000 年地类。所有纵向数据表示地类从 1992—2000 年的增加量, 横向数据表示地类从 1992—2000 年的减少量。

延区域。林地转为块状建设用地较为明显的区域为 1996 年建成的北京西站等。
在 1992—2000 年间草地在北京市中心城的三环四环之间出现一定面积的转出, 其中以北部转出为主。湿地及水域在北京市中心城呈现零星状转出, 相对明显的区域分布在大红门北部、万泉河经海淀一块状水面和海淀与昌平交界处和昌平区两块小水面。
结合北京市中心城 1992 年和 2000 年土地利用解译图 (图 3) 分析可知, 绿色空间在部分区域也出现一定的增加, 但多为小型城市绿色空间建设。相比 1992 年, 耕地在 2000 年在东部和北部出现片状分布, 西山为最大面积的林地, 草地零星分布。
3.2.2 2000—2008 年各类型绿色空间的面积转换分析
在 2000—2008 年期间, 4 种绿色空间面积共转出 23 294.84hm², 共转入 13 303.42hm², 因此最后绿色空间共减少 9 992.42hm² (表 5)。
2000—2008 年, 由耕地转向建设用地、由建设用地和耕地转向林地和草地、湿地及水域的大比例转出成为北京市中心城绿色空间转换的核心特征。其中, 该阶段耕地面积继续以减少为主, 大量转化为建设用地, 耕地的转入主要来源于林地和建设用地。这一时期的北京市中心城林地面积出现明显的增加趋势, 其主要转入来源为耕地和建设用地, 转出主要以建设用地为主。同期北京市中心城草地面积增加量明显提升, 湿地及水域面积则继续减少。
在 2000—2008 年间, 耕地在北京市中心城五环外呈环状减少, 主要表现为在中心城北部和东部大量耕地转为建设用地和林地 (图 5)。耕地转为建设用地的区位呈环状的外移也成为北京市中心城城市化的显著特征。而耕地转化

为林地则主要用于郊野公园建设和造林活动, 以及四环五环之间第一道绿化隔离地区的建设, 集中出现在西郊三山五园和东郊的郊野公园建设区域。
在 2000—2008 年间林地在北京市中心城减少分布较为破碎, 林地转出主要表现为在中心城转为建设用地, 主要分布在城市中心城区北部边缘。林地主要转为线性建设用地如西北五环路的建设和部分块状用地建设。
在 2000—2008 年间草地在北京市中心城减少分布集中, 主要分布在城市中心城区朝阳西北部和丰台北部。湿地及水域则依旧呈现零星状转出, 其中相对明显的区域分布在西部边缘石景山区与丰台区交界处, 主要是因为永定河流经该区域的水域被占用建设。
结合北京市中心城 1992 年和 2000 年土地利用解译图 (图 3) 分析可知, 在 2000—2008 年间除了部分绿色空间小类大量转出外, 在部分区域也出现一定的增加, 尤其是林地和草地的增加较为突出。这与 2001 年北京市申奥成功后点状城市公园如奥林匹克森林公园的建设相关。线性公园的建设包括京承线、航空走廊、奥运场馆周边交通线等绿色廊道的建设。此外, 为了限制城市的无序扩张和生态环境提升。北京市于 2000 年在四环和五环之间规划了第一道绿化隔离带, 主要建设形式通过将耕地转为林地, 建成郊野公园。在 2003 年北京又在“一道绿隔”外边线一直到六环的外延一公里范围内

