

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, Ph.D., 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)

通信作者邮箱(Corresponding author Email): zhanglz@hku.hk

ZHANG Lingzhu, born in 1985 in Zhejiang Province, Ph.D., 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, Ph.D., 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, Ph.D., 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理念，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^[3-4]。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^[3, 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 with 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

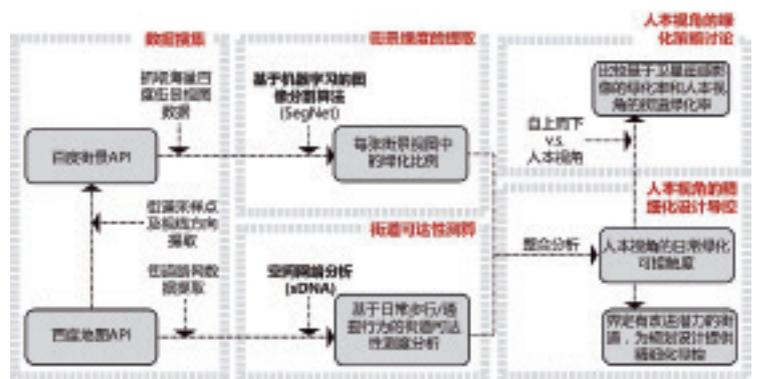
1998—2015 年期间，市区绿化覆盖率从 19 % 增加至 38%，人均公共绿地面积也增加了 4 倍。尽管如此，中心城区特别是内环以内的绿化建设仍处于还历史旧账阶段。上海市中心城区人口密度高、开发强度大，在该区域展开研究，能为城市高密度地区空间品质提升提供指导意义。

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 13 672 条街道段，总长 2 611 079 m，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所提供的时戳(Timestamp)的协助下对于冬季照片做筛选或替换^⑥。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^[5],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街道可达性分析

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)^[14]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^[13];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^[15];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

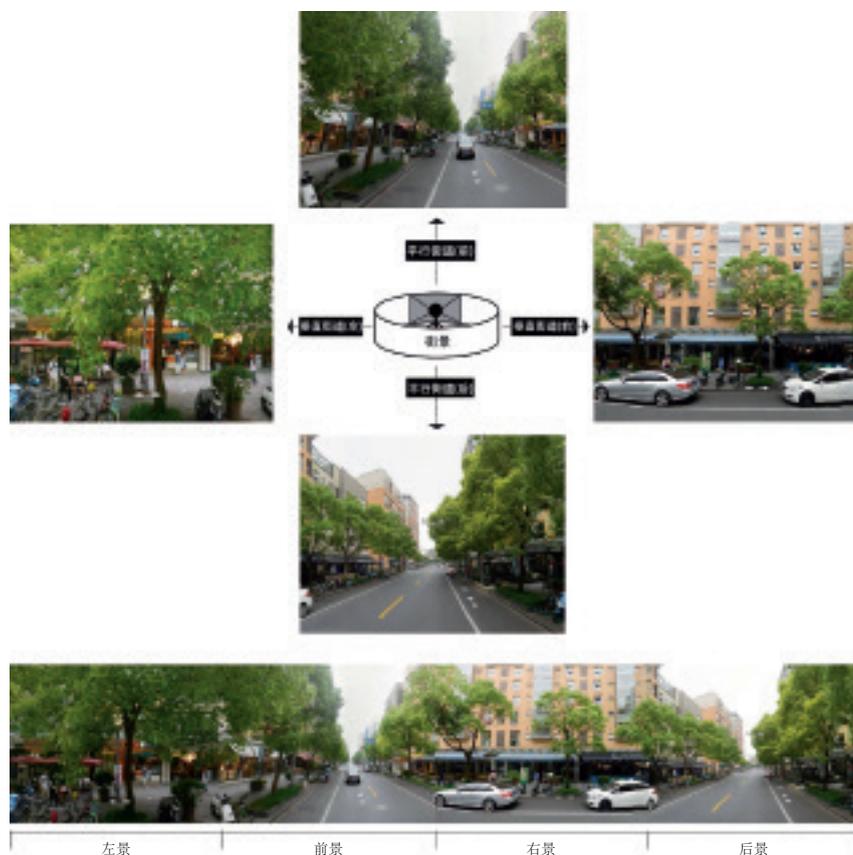
图5为中心城区各采样点的绿化可见度,以及整合了样本点数据的每条街道的绿化可见度值。通过将各个采样点的数值赋给其最邻近的各个街道段,以平均值计算可得到各街道段的绿化可见度值。中心城区所有街段的平均绿化可见度为20.8%,其中,绿化可见度值最大的为63.1%(表1)。内环以内区域的街道长度占总街道长度的45.9%,绿化可见度比例占总数的55.8%,内环与中环之间街段的绿化可见度相对较差(街道长度占54.1%,绿化可见度比例为45.2%)(图5)。

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



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



3

叉点较多的区域；当分析半径为 6 000m 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）。

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）。

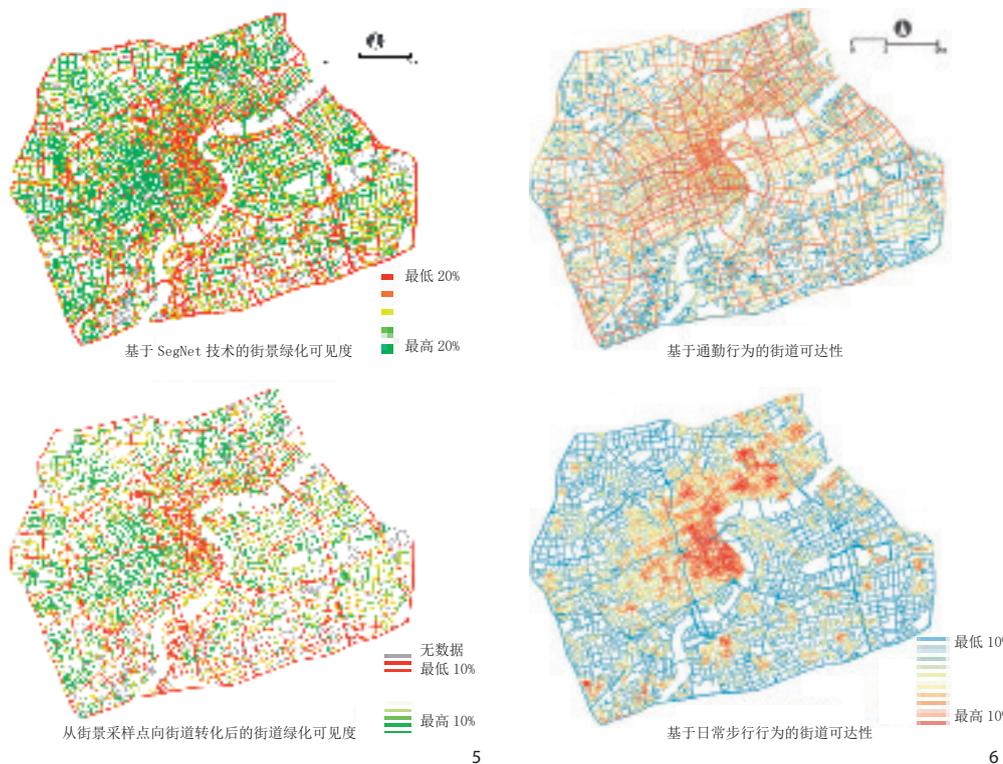
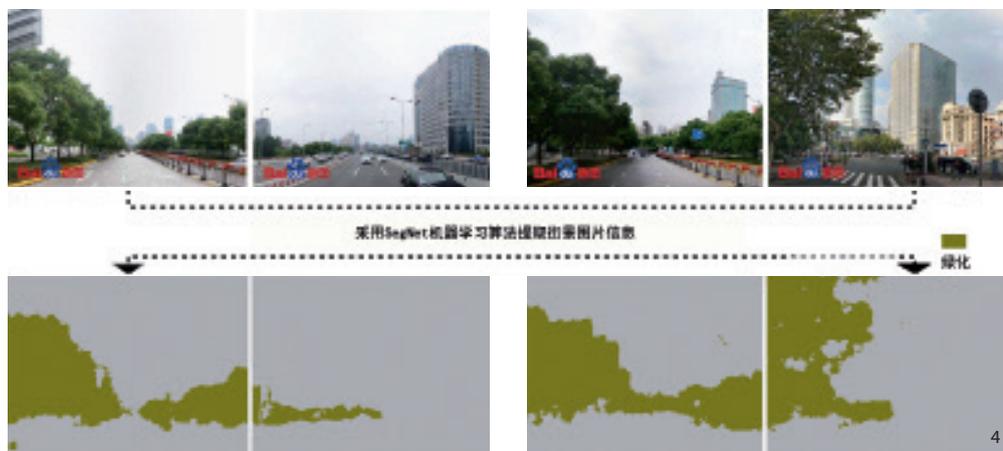


表 1 上海中心城区街景绿化可见度
Tab. 1 Street greenery of central Shanghai

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

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限制，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段上的垂直绿化建设，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，让街景绿化不再仅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，这一分析框架有望运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覆盖率指标与街景绿化可见度之间的相关度较为一般，

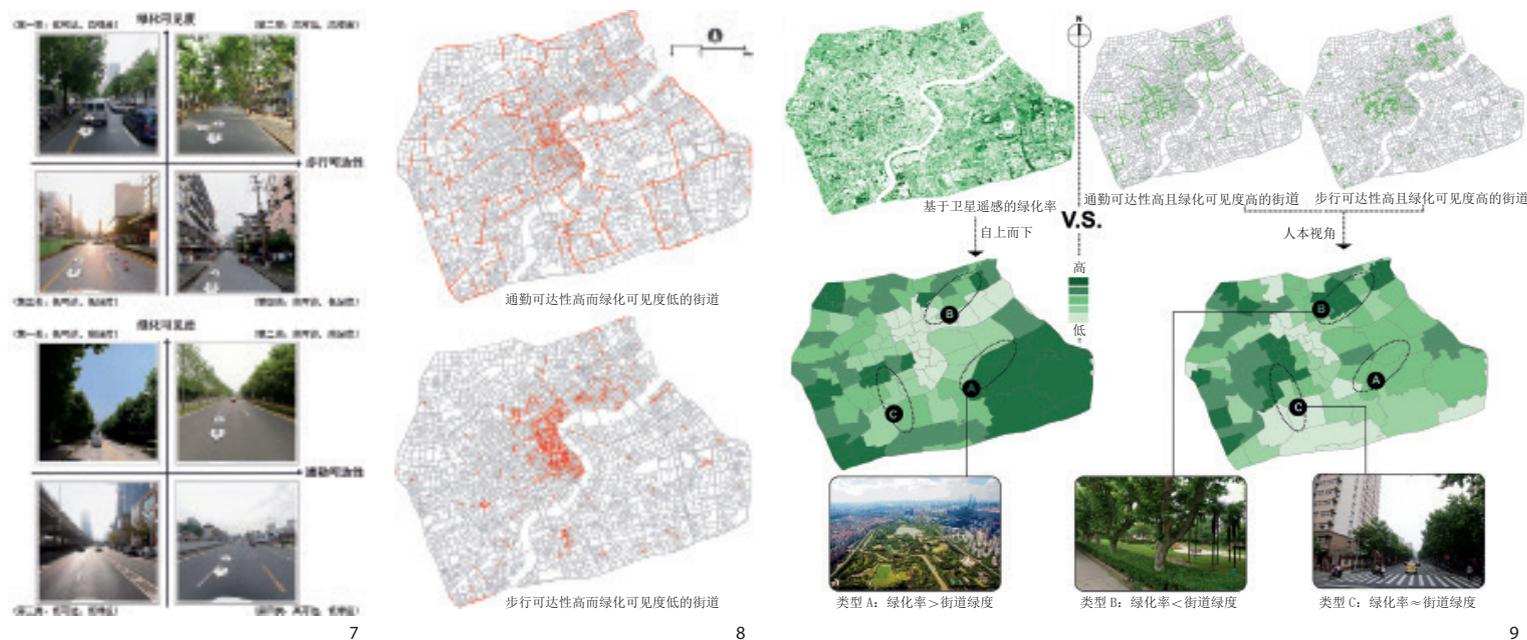


表2 上海中心城区片区绿化率与街道绿化品质的相关性（以街道办为单位）

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

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拔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、更易接触的道路绿化。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的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^[16]。

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。

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^[8]，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，该视线角度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, PHILIPPOOM 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] 唐婧娴, 龙瀛. 特大城市中心区街道空间品质的测度: 以北京二三环和上海内环为例[J]. 规划师, 2017, 33(2): 68-73.
- TANG Jingxian, 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)