

城市街道空间品质大规模量化测度研究进展*

LARGE-SCALE QUANTITATIVE MEASUREMENT OF THE QUALITY OF URBAN STREET SPACE: THE RESEARCH PROGRESS

龙 瀛 唐婧娴

LONG Ying; TANG Jingxian

【摘要】伴随我国人居环境建设从重“量”走向提“质”，城市建成环境的科学评估与定量研究亟待展开，街道作为重要的公共领域，其空间品质与活力成为重要的方向之一。本文从街道空间品质的概念、大规模量化方法和空间品质测度方法三个方面切入，梳理了国内、国外街道空间品质量化研究方法的进展。总体而言，街道物质空间的测度在不同的方面已有一定的方法积累，但少有多种方法的集成应用，利用可获得性高的街景图片进行街道空间测度是国际上新兴的研究方向，空间品质的影响机理研究还有待深入，已有研究少有以科学认识为基础的规划设计方法讨论。

【关键词】大数据；品质；测度；建成环境；公共空间

ABSTRACT: The new normal era witnesses the policy shifting from growth planning to quality management. It is in urgent need to carry out the scientific assessment and quantitative research on the built environment. As street is an important public domain, its quality and vitality become one of the major research directions. Focusing on street space, this paper analyzes the existing quantitative approaches of street space in China and abroad from three aspects: the concept of street space quality, the large-scale quantification method, and the measurement method of street space quality. In conclusion, there are a number of measurement approaches for physical street space in various aspects, but the integrated application of the approaches is limited. It is a new research direction in the world to use street view pictures with high availability to conduct street space measurement. The influencing mechanism of the quality and vitality of street space still requires in-

depth research, and the discussion about scientific research-based street planning and design methods is lacked in existing studies.

KEYWORDS: big data; quality; measurement; built environment; public space

1 引言

1.1 街道空间的品质和活力研究是街道人居环境改善的重要基石

街道作为慢行交通的主要载体和重要的城市公共空间，在建筑设计、城市规划与设计、社会学领域和设计实践中广受关注。为提高宜居性和吸引力，世界上许多知名城市提出了建设友好型街道空间的策略，如大伦敦《更好的城市》(Better Streets)，波特兰《绿色街道》(Green Streets)，哥本哈根自行车交通策略，以及上海的《街道设计导则》等。街道设计的重要性已经形成共识。2015年中央城市工作会议指出，“城市设计是落实城市规划、塑造城市特色风貌的有效手段”，而优质的城市设计不仅依赖于设计师的经验积累，还需要精准、科学的测度方法作为支撑。街道，这一重要公共空间的品质与活力测度，将辅助设计师更好地落实“创新”“绿色”“共享”的建设理念，促进形成安全、健康、便利的人居环境。

1.2 街道空间的科学化、精准化定量研究有待丰富

回溯街道空间的研究进程，以雅各布斯(Jacobs)和列斐伏尔(Lefebvre)等为代表的一系列城市研究先驱者在20世纪60年代即开展了街道空

* 国家自然科学基金面上项目(51778319)、重点项目(71834005)，清华大学自主科研计划和国家科技重大专项(2017ZX07103-002)共同资助。

【文章编号】 1002-1329
(2019)06-0107-08

【中图分类号】 TU984

【文献标识码】 A

【doi】 10.11819/cpr20190616a

【作者简介】

龙 瀛(1980-)，男，清华大学建筑学院、清华大学恒隆房地产研究中心，特别研究员、博士生导师，中国城市规划学会城市规划新技术应用学术委员会委员。

唐婧娴(1991-)，女，清华大学建筑学院，博士研究生。

【修改日期】 2019-05-30

间及其社会、经济效应的讨论^[1, 2]。随后,设计领域的专家开始关注街道的空间特征、街道的设计手法以及如何利用街道来提供更好的城市品质与活力,如盖尔(Gehl)、怀特(Whyte)、林奇(Lynch)和蒙哥马利(Montgomery)等从不同角度所做的定性归纳^[3-6]。

然而,时至今日,大多数街道空间的研究工作隶属于定性研究范畴,量化研究比例偏低,街道空间的设计主要依赖于设计师的经验和主观判断,缺乏科学支撑,这主要归结于两个方面的原因。其一,街道尺度的微观数据获取困难,研究者很难通过实地调研获取大范围街道空间的属性数据;其二,受制于城镇化快速发展期的认识局限,对微观环境的重视程度不足,常以粒度较粗的社区地块研究来代表原本内涵丰富的微观环境^[7],侧重于空间的社会属性,缺乏人本视角下对街道等空间品质与活力的针对性科学解读,低估了具体类型的公共空间在城市意象营造和提升城市活力方面的作用。

聚焦到街道空间的研究领域,尤因和克莱蒙特^[8]指出,街道空间形态测度(measurement)及其效应(performance)的系统研究是更好地营造场所与公共生活的必要前提。在“测量不可以测量”的呼吁声中^[9],近期国内外出现了街道空间测度的热潮。加之全球范围内新数据环境的形成,地图、图像处理的技术突破以及相关领域测度技术的介入,进一步为街道空间量化研究的精细化提供了可能^[10-12]。

因此,本文拟围绕街道空间多个方面的测度,选取国内外权威期刊或高引文献,分类综述街道物质空间的大规模量化(含所处的环境特征)方法、空间品质的测度方法和街道空间活力测度三个方面的进展。文末对既有研究的特点展开评述,总结近期的研究动态,为我国街道空间测度的研究及实践提供初步的研究基础。

2 街道空间品质的定义

街道是指城镇范围内、非交通为主、能承载人们日常社交生活的道路;而街道空间既包括街道本身,还包括与街道相接的对街道活力有直接影响的建筑底层商铺、开敞空间、服务设施等。空间品质(quality of space)是反映城市人群对城市空间综合需求而形成的评价概念,其作为空间的总体质量,反映了城市空间各组成要素在“量”和“质”两方面对城市人群和城市社会经济生活的适宜程度^[13]。空间品质的综合性带来了界定和测度的困难。环境心理学和行为学认为,使用主体的感受依赖于空间形态的适宜性,而空间品质可以通过主观感受来反映。因此,既有的

理论和实证研究大多采用解构的方式据此进行还原和简化——或从街道形态对于行人的适应性来评价品质,或从使用者主观感知的角度来阐述“品质”。前者一般通过街道若干构成要素的特征和服务水平来反映总体的质量;后者则以“人”为媒介,调查使用者在空间之中的感知。

好的空间形态是街道活动的载体,合适的尺度、绿化水平、休憩空间安排、界面的连续性、光线等,均会对人的活动、人与人的交往产生影响。如连续性的街道将会形成一种友好、完整的秩序;绿化有助于减缓使用者在空间中的压力,影响感知安全性^[14];街道的高宽比和围合度会影响行人感知到的尺度规模从而影响他们的停留意愿,一条过度开敞的街道往往意味着高水平的机动化,即高危险性、空气污染、噪音污染和交通事故等,而相比之下,狭窄的街道对步行、日常休息和公众休闲都更为友好;街道的天空比率将影响视线,进而对愉悦感和压力产生一定影响。所以,品质可以借助这些方面的变量来表现,如建筑密度、绿化率、围合性、开敞度、连续性、连接性、高宽比、尺度、整洁度、破败程度等^[15-19]。

感知角度的品质一般可以通过主观的采访与调查直接获得。弗林^[20]强调,好的街道空间品质应当是安全性、保障性、连续性、舒适性和吸引力的协同。黄建中和胡刚钰^[21]将街道步行可达性、便捷性、舒适性和安全性纳入了街道评价的体系之中。可见,街道空间的舒适性和安全性在感知视角最受关注。舒适是指使用主体物质、心理、生理上的满足^[22],安全则是指所有年龄群体在街道中不受威胁。街道形态、声光热环境条件、活力等是影响感知品质的重要要素,如尺度、绿化、景观、车辆速度、障碍物、高差、休息设施、温度、噪音、光线等。街道形态和使用者感知的相关理论奠定了空间品质测度的方法论基础。

3 街道物质空间的量化评价

街道空间一般由街道两侧的建筑(如裙房、住宅和公共建筑等)或构筑物围合(如围墙和栅栏等)而成,形成车行空间和人行空间,植被、小型服务设施都是其重要的构成要素(图1)。已有研究利用不同的数据源对街道物质空间进行量化^[23],下面进行展开。

3.1 基于实地调查数据的测度

传统的建成环境研究多采取社会学、统计学常用的问卷调研、实地调查法,采集物质空间要素特征及其服务水平的信息。问卷调研、实地调

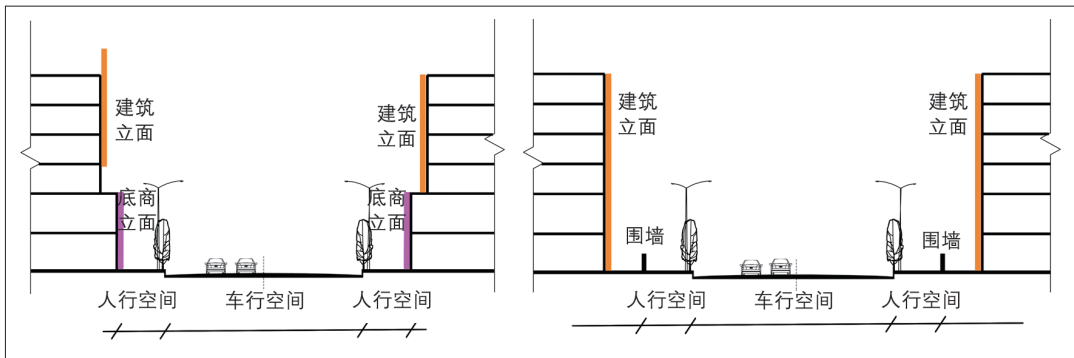


图1 街道物质空间的基本构成要素(左:有底商;右:有围墙)
Fig.1 Basic components of the physical street space (left: with storefronts; right: with walls)

查法通过使用者的反馈,总结街道的特征、使用效率,还可开展设计前需求评估和设计后的效果反馈采集,是一种应用普遍且可靠的方法,缺点是可采集的范围小。王德等^[24]采用实地调查、社区委托调查和网络调查相结合的方式,调查街道设施使用类型、使用频率、使用多样性、容忍时间等,以此为基础进一步构建可步行性的评价方法。陈泳和赵杏花^[25]以上海淮海路为案例,采集商业性街道的底层界面周边步行逗留活动,寻找其与界面变量的关系,归纳形态特征对街道活动的作用。类似的还有徐磊青和康琦^[26]对上海南京路的实证研究。

3.2 基于基础地理信息数据的测度

日渐普及的城市基础地理信息(geographical information system, GIS)数据为大规模的街道物质空间及街道所处环境的测度提供了较好的条件。例如开放街道地图(open street map, OSM)、腾讯地图等,在中国城市的数值质量日益提高,方便了城市街道的基础信息获取。

另外,上述地图的开放数据可获得性日益提高,从而进一步增强了街道功能评价的可行性,如借助各种类型的兴趣点(points of interest, POIs),龙瀛和周垠^[27]、郝新华等^[28]分别针对成都和北京的大规模街道进行了测度,涵盖街道长度、宽度和街道功能密度、功能混合度和主导功能等指标。Shen和卡里米^[29]也同样利用社交网站的兴趣点及其签到数据评价了街道的功能密度和混合度。兴趣点还可用于街道可步行性(walkability)的测度。国际上惯常的方法是构建步行指数(walk score),主要考虑日常设施的种类和空间分布以及街道长度等因素^①。

3.3 基于街景图片的测度

新兴的街景图片(street view pictures, SVPs)等以人视为基准视角的海量数据,为街道研究提供了一个重要的数据源,街景所采集的信

息量在视觉方面几乎无异于传统调查,但暂时无法反映温度、气味、声音等其他环境要素信息。其数据获取的方式便捷,不受天气、时间、地点的限制。它的出现得益于近十年以来地图服务类互联网公司的探索。目前,街景图像已经被广泛接受,作为测量建成环境(如社区、街道)的有效手段^[30, 31]。另外,计算机领域机器学习、图像分割、智能识别方向的进展对建成环境研究形成了正向的溢出效应,研究者可以基于图像分割和大规模图像数据的学习技术自动识别出街道要素,继而开展研究,如利用行人、汽车、建筑、绿化和天空等要素比例^[10, 32, 33],测度大规模样本的街道的空间构成。龙瀛和周垠^[34]还提出了图片城市主义的呼吁,认为其是基于体现客观世界和主观认知的大规模量化城市研究的一种方法论。计算机视觉在客观上已经嵌入了城市环境认知评价、建成环境与社会经济耦合分析等实践领域^[35]。

实证研究方面, Li等^[36]提出了一个基于谷歌街景图片的自动评估城市街道尺度绿化的框架,并将其应用于曼哈顿市纽约区东村的实践中。郝新华和龙瀛^[37]在此基础上进行修正,提出了街道绿化这一指标,用于成都3万多条街道的指标计算,并对其影响因素进行了分析,在此基础上,龙瀛和刘浏^[38]针对中国主要城市的中心区的街道绿化进行了测度。Liu等^[39]利用百度街景图片自动评价北京五环内街道两旁的建筑风貌。

动态街景使得大尺度范围街道空间短期内(如2~3年)的变化评价成为了可能,如唐婧娴等^[40]、李诗卉等^[41]、李智和龙瀛^[42],对观察区域连续2~3年间街道尺度的城市形态的变化进行了人工识别和影响因素判别。

3.4 基于三维建筑数据的测度

街道两侧建筑的形态、比例、尺度等对街道物质空间的景观塑造起到了重要作用。对于人的感受至关重要。哈维等^[43]提出了基于街道两侧

建筑的三维数据,自动识别街道中心线和街道边缘,进而逐步对街道与建筑几何形态相关的12个街道景观变量进行测度,包括街景宽度、街道长度、街道两侧建筑平均高度、横截面街道与建筑的宽高比、沿街建筑连续度、沿街两侧建筑数量、沿街两侧建筑高度标准差、沿街建筑突入街景范围比例、街道曲度等。此外,姜洋等^[44]还对此方法进行了改进,应用于济南的街道界面连续性研究。

另外,LiDAR成像等精细化的三维测量技术使得建筑的高精度三维数据获取与分析变得简便易行,为基于建筑数据评价街道形态提供了重要支持^[45]。三维建筑数据目前的瓶颈在于批量获取的难度及成本较高,推广较为缓慢。

3.5 基于街道数据的空间句法评价

作为一种描述建筑与城市空间模式的语言,空间句法(Space Syntax)已经作为一种成熟的方法,广泛应用于城市空间形态的量化评价。线段

模型(segment)和自然街道模型(natural street)的出现,使街道整合度、选择度等指标可用于街道的大规模评价。伴随着近年来计算技术的提高和计算方法的改进,部分国家已利用空间句法完成整个国家的大规模街道/道路评价,如英国^[46]和中美欧的多个国家^[47]。

4 街道空间品质测度

街道空间品质测度的传统方法主要是依赖于设计师团队调查的主客观评价,近期,又涌现了基于街景图片的智能评价和基于生物传感器的智能测度等方法,经过梳理拣选,本文选出较为典型的方法及代表性研究内容(表1)^[8, 15, 33, 40~42, 48~59],并围绕三个方面做简要评述。

4.1 基于调查的主客观评价

基于调查的主客观评价主要通过问卷调查或当面访谈,获得被访者对观测地点三维环境品

表1 街道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 researches for the measurement of street space quality

方法	文献	研究内容
基于调查的主观评价	阿普尔亚德和林特尔(1972)	采用现场调查与观察方法对街道环境品质的影响因素进行判断
	盖尔和亨里克(1996)	基于PLPS方法对公共生活(public life, PL)和公共空间(public space, PS)进行调研,涵盖公共空间品质、沿街立面质量、人流量和停驻活动等方面
	尤因和克莱门特(2013)	构建城市设计质量评价体系,将街道空间品质分解为五个维度,由受访者对街道影像进行评分
	唐婧娴等(2016)	采用对大量多年度街景进行停驻意愿打分的方法,评价街道空间品质及其变化
	李诗卉等(2016)	类似唐婧娴等(2016)的研究,针对多年度历史街区的街景进行停驻意愿评价并给出设计策略
	李智和龙瀛(2018)	观测齐齐哈尔街道空间品质的变动,映射收缩城市的微观空间特点表征
基于街景图片的智能评价	朗德尔等(2011)	利用街景图片评价街区(neighborhood)环境的美感(aesthetics)和其他物质空间指标
	萨利西斯等(2013)	基于地点脉冲(Place Pulse)项目的数据,从社会阶层、安全感和独特性三个维度评价街道空间品质
	乃克等(2014)	以地点脉冲项目的数据为训练集,对美国21个城市的100万张街景图片进行深度学习,测度街道空间的感知安全度(streetscore)
	乃克等(2015)	在乃克等(2014)研究基础上,计算了大量街道在2007和2014年的Streetscore指数并对其变化进行评价
	张帆等(2018)	基于深度学习方法评估街道的感知品质,开展北京、上海实证研究,讨论感知品质与视觉要素的关联
	哈维等(2015)	利用地点脉冲项目的纽约数据,分析街道两侧的建筑构成的形态参数对Streetscore的影响
	唐婧娴和龙瀛(2017)	利用图像分割技术对街景进行分割,提取街道要素,对尤因和克莱门特(2013)的五个维度的空间品质进行评价
	龚芳颖等(2018)	利用深度学习方法量化高密度建成区街道环境的物质性要素水平
利用生物传感器的智能测度	唐婧娴和龙瀛(2018)	构建街道空间视觉品质测度的新方法论,结合街景图像、二维空间数据、主观调查验证方法的可行性,对北京二环内胡同空间品质进行主客观评价和变动识别
	阿斯皮诺尔等(2015)	观测步行群体对不同环境(如建筑物较多的城市环境与自然环境)的脑电特征差异
	江滨等(2014)	采用唾液皮质醇测度行人在绿色街道环境中的感知压力变化
	杜邦等(2014)	利用眼动仪观测使用者对景观图像的反馈

质、物质空间特征(实景或影像)的意见和认识,一般观测地点范围较小。这种研究方法的优点是地地对应,调查的信息较为可靠,以此为基础积累了若干经典的品质评价指标体系,推动了理论的逐步前进。具有代表性的如阿普尔亚德和林特尔^[48]在旧金山三条街道通过现场调查与观察研究交通流量如何影响街道环境品质;盖尔和亨利克^[49]的PLPS调查法主要以实地调查的方式,测度人流量、公共空间的停驻活动、公共空间的品质和街道沿街立面的品质;尤因和克莱门特^[8]构建的城市设计质量评价体系,通过分析受访者对街道影像的评分,对围合性(enclosure)、人性化尺度(human scale)、通透性(transparency)、整洁度(tidiness)、意象化(imageability)五个空间品质因子进行量化评价。唐婧娴等^[40]、李诗卉等^[41]针对北京部分地区的街景图片,从停驻意愿角度进行了街道空间品质的设计师主观评价,而唐婧娴和龙瀛^[55]则进一步将空间品质按照尤因和克莱门特^[8]提出的五个维度进行分解,进而进行人工评分。但是,数据样本的规模限制了调查主客观评价的可测度范围,效率不高,难以应用于城市尺度。

4.2 利用街景图片的智能评价

街景图片并非一种方法,但是其成为传统设计理论和调查方法与计算机技术、生物技术等结合的“媒介”。利用街景图片针对街道空间品质的智能评价引起越来越多学者的关注。朗德尔等(2011)^[50]以纽约37个可步行性很高的街区为对象,利用谷歌街景图片对街道的美观程度进行评价,并与实地调研结果对比,证实街景评价与主观调查具有较好的一致性。在麻省理工学院媒体实验室(MIT Media Lab)的项目“城市脉冲”(Place Pulse)中,针对采集到的大规模街景图片数据,利用众包方法,通过在线网站(<http://pulse.media.mit.edu>)由访问者从不同维度评价两两图片体现的品质差异,进而形成机器学习数据集,应用于对更多街道空间的品质评价中。在城市脉冲2.0版本中,品质指标的维度扩展到安全性(safe)、活泼(lively)、富有(wealthy)和漂亮(beautiful)等,萨利西斯等^[51]、乃克等^[52, 53]、张帆等^[54]、哈维等^[15]和李晓江等^[38]都是基于这一项目的论文。唐婧娴和龙瀛^[55]利用肯德尔等^[32]所开发的SegNet图像分割工具,将北京和上海中心区的街道空间分解为12项要素(如天空、建筑、道路、树木和汽车等),并与尤因和克莱门特提出的5个空间品质因素进行关联,进而计算分维度的空间品质,唐婧娴和龙瀛^[56]构建街道空间视觉品质的多维综合定量测度框架,将街景图像数据、二维空间数据、主观调查相结

合,拓展了街道空间品质的方法和维度。

此外,部分研究还涵盖街道多年度动态变化的间接测度和街道空间品质影响机制研究。在传统调研方法的支撑下,空间的变化测度最多细化到社区尺度,利用二维平面属性来代替三维空间属性,通过归纳演绎来分析空间动态变化与社会属性变化之间的关系。街景和机器学习技术的融合带来了这一方向的方法突破。一些学者已经实现了基于机器学习的感知品质动态变化的测度,如乃克等^[53]借助两个年度的街景,测度城市的安全性变化系数(urban change coefficient),从而量化了社区三维空间的质量,继而探寻美国5个大城市街道空间与人口、经济变化之间的交互作用机制,发现人口密度、教育水平的提升将促进街道环境品质的改善,街道空间品质的影响符合伯吉斯的“同心圆”(Invasion)理论。另外,在空间品质量化的基础上,机制的研究也不再仅仅局限于理论讨论。哈维等^[15]构建了街道安全感知度与物质空间要素之间的回归模型,研究发现,街道两侧建筑构成的形态特征能够解释街道空间品质安全维度的42%,街道绿化和贴线率都对空间品质具有正向影响。类似地,李晓江等^[34]则回答了街道绿化对安全性维度的街道空间品质的影响。

4.3 借助理传感器的智能测度

与此同时,以眼动追踪技术(eye-tracking metrics, ETM)、唾液皮质醇(salivary cortisol)、脑电波(electroencephalogram, EEG)、核磁共振和荷尔蒙测试等为代表的生物传感器的成熟化和移动化^[54-56],为街道空间品质的智能测度提供了新的手段。这些技术在一定程度上可以突破现场和业内针对影像评价的主观成分,使实时采集人的实景实地感受信息成为可能。相比城市建成环境,目前的研究更多关注自然环境。

5 研究述评与展望

上述已有研究显示:(1)定量研究的数据采集方式日渐丰富,研究基础得以充实,基础地理信息、街景图像、精细化三维建筑等数据形式的介入拓展了街道量化研究的广度和可行性。(2)街道物质空间的大规模测度方法已有若干探索,如利用街景图像批量测算三维空间的形态特征,综合GIS空间分析计算二维层面的属性,或借助理传感器以“人”为媒介,智能评价街道某一单一特征。街道单一物理属性或社会属性的定量测度方法已经初具规模,随着新技术、新方法、新数据源的涌现还可以继续深化。街道空间品质测度的探索以主观评价与客观评价的结合为研究热点,缺点在于少有方法间的横向对比研究,空

间品质的影响机理研究还有待深入。从趋势来看,利用可获得性日益提高的街景图片和精细建筑数据进行街道空间测度已成为国际上新兴的研究方向。在此基础上,更多借助穿戴式设备、生理传感设备探索建成环境与个体行为交互的方法将会涌现^[60]。(3)总体上,已有的研究多肇始于西方的空间形态研究,国内的研究多为“引介—应用”,直接立足于中国发展阶段、文化社会背景和形态特征的话语体系和方法框架并不清晰。相较于街道的理论讨论,目前量化方面还较少出现多维度因子的有效集成,属性与属性之间的划分多有重叠,相互的影响关系不够明确,尚需依据既有理论讨论梳理各维度要素之间的关系,构建合理的集成模型。(4)此外,既有研究在规划设计辅助支持方面的直接作用还有待加强。

针对已有研究对街道物质空间、品质测度探讨的上述问题,未来需要在已有基础上增强本土研究的理论性,改进量化模型在集成方面的弱点,重视基本量化前提下的规律研究,重视建成环境、社会环境、经济活力之间的相关机制,继而在规划设计中以科学、精准的结论指导高品质街道空间的营造。此外,规划设计研究与从业者自己采集街道空间的相关数据如街景和视频,进行形态与品质测度,并用于实践,预计将是未来的一个趋势。

注释(Notes)

① <https://www.walkscore.com>。

参考文献(References)

- JACOBE Jane. The Death and Life of Great American Cities[J]. New York: Pandom House, 1961.
- LEFEBVRE Henri. Introduction to Modernity: Twelve Preludes, September 1959—May 1961[M]. London and New York: Verlo, 1995[1962].
- GEHL Jan. Life Between Buildings: Using Public Space[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987.
- WHYTE William H. The Social Life of Small Urban Spaces[M]. Washington, DC: Conservation Foundation, 1980.
- LYNCH Kevin. Good City Form[M]. Cambridge: MIT Press, 1984.
- MONTGOMERY John. Making a City: Urbanity, Vitality and Urban Design[J]. Journal of Urban Design, 1998, 3(1), 93—116.
- 龙瀛. 街道城市主义:新数据环境下城市研究与规划设计的新思路[J]. 时代建筑, 2016(2): 128—132.
LONG Ying. Street Urbanism: A New Perspective for Urban Studies and City Planning in New Data Environment[J]. Time+Architecture, 2016(2): 128—132.
- EWING Reid, CLEMENTE Otto. Measuring Urban Design: Metrics for Livable Places[M]. Washington, DC: Island Press, 2013.
- EWING Reid, HANDY Susan. Measuring the Unmeasurable: Urban Design Qualities Related to Walkability[J]. Journal of Urban Design, 2009, 14(1): 65—84.
- LIU Mingyu, LIN Shuoxin, RAMALINGAM Srikumar, et al. Layered Interpretation of Street View Images[J]. Computer Science, 2015(10): 393—396.
- 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.
- 叶宇, 张昭希, 张啸虎, 等. 人本尺度的街道空间品质测度——结合街景数据和新分析技术的大规模、高精度评价框架[J]. 国际城市规划, 2019, 34(1): 18—27.
YE Yu, ZHANG Shaoxi, ZHANG Xiaohu, et al. Human—Scale Quality on Streets: A Large—Scale and Efficient Analytical Approach Based on Street View Images and New Urban Analytical Tools[J]. Urban Planning International, 2019, 34(1): 18—27.
- 周进. 城市公共空间建设的规划控制与引导: 塑造高品质城市公共空间的研究[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
ZHOU Jin. Planning Control and Guidance of Urban Public Space Construction: Research on Creating High Quality Urban Public Space[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005.
- LI Xiaojiang, ZHANG Chuanrong, LI Weidong. Does the Visibility of Greenery Increase Perceived Safety in Urban Areas? Evidence from the Place Pulse 1.0 Dataset[J]. ISPRS International Journal of Geo—Information, 2015, 4(3): 1166—1183.
- HARVEY Chester, AULTMAN—HALL Lisa, HURLEY Stephanie E, et al. Effects of Skeletal Streetscape Design on Perceived Safety[J]. Landscape and Urban Planning, 2015, 142: 18—28.
- ARNOLD Henry F. Trees in Urban Design[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993.
- ALEXANDER Christopher, ISHIKAWA Sara, SILVERSTEIN Murray, et al. A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction[M]. New York: Oxford University Press, 1977.
- MONIRUZZAMAN Md, PÁEZ Antonio. A Model—Based Approach to Select Case Sites for Walkability Audits[J]. Health & Place, 2012, 18(6): 1323—1334.
- SAELENB Brian E, SALLIS James F, FRANK Lawrence D. Environmental Correlates of Walking and Cycling: Findings from the Transportation, Urban design, and Planning Literatures[J]. Annals of Behavioral Medicine, 2003, 25(2): 80—91.
- FRUIN John. Pedestrian: Planning and Design[M]. New York: Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.
- 黄建中, 胡刚钰. 城市建成环境的步行性测度方法比较与思考[J]. 西部人居环境学刊, 2016, 31(1): 67—74.
HUANG Jianzhong, HU Gangyu. Comparison and Thinking of the Walkability Measure Methods on Urban Built Environment[J]. Journal of Human Settlements in West

- China, 2016, 31(1): 67-74.
- 22 SLATER Kathy. Human Comfort[M]. Springfield, Illinois: Charles C. Thomas Publisher, 1985.
- 23 HARVEY Chester, AULTMAN-HALL Lisa. Measuring Urban Streetscapes for Livability: A Review of Approaches[J]. The Professional Geographer, 2016, 68(1): 149-158.
- 24 王德, 卢银桃, 朱玮, 等. 社区日常服务设施可步行性评价系统开发与应用[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2015(12): 1815-1822.
WANG De, LU Yintao, ZHU Wei, et al. Development and Application of a Computer Assisted Walkability Evaluation System at the Perspective of Daily Community Service Facilities[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2015 (12): 1815-1822.
- 25 陈泳, 赵杏花. 基于步行者视角的街道底层界面研究——以上海市淮海路为例[J]. 城市规划, 2014(6): 24-31.
CHEN Yong, ZHAO Xinghua. Research on Ground-Floor Interfaces Along Streets from the Perspective of Pedestrians: A Case Study of Huaihai Road in Shanghai[J]. City Planning Review, 2014(6): 24-31.
- 26 徐磊青, 康琦. 商业街的空间与界面特征对步行者停留活动的影响——以上海市南京西路为例[J]. 城市规划学刊, 2014(3): 104-111.
XU Leiqing, KANG Qi. The Relationship Between Pedestrian Behaviors and the Spatial Features Along the Groud-Floor Commercial Street: The Case of West Nanjing Road in Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2014(3): 104-111.
- 27 龙瀛, 周琅. 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.
- 28 郝新华, 龙瀛, 石森, 等. 北京街道活力: 测度、影响因素与规划设计启示[J]. 上海城市规划, 2016(3): 37-45.
HAO Xinhua, LONG Ying, SHI Miao, et al. Street Vibrancy of Beijing: Measurement, Impact Factors and Design Implication[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2016(3): 37-45.
- 29 SHEN Yao, KARIMI Kayvan. Urban Function Connectivity: Characterisation of Functional Urban Streets with Social Media Check-In Data[J]. Cities, 2016, 55: 9-21.
- 30 ODGERS Candice L, CASPI Avshalom, BATES Christopher J, et al. Systematic Social Observation of Children's Neighborhoods Using Google Street View: A Reliable and Cost Effective Method[J]. Journal of Child Psychology and Psychiatry, 2012, 53(10): 1009-1017.
- 31 KELLY Cheryl M, WILSON Jeffrey S, BAKER Elizabeth A, et al. Using Google Street View to Audit the Built Environment: Inter-Rater Reliability Results[J]. Annals of Behavioral Medicine, 2013, 45(1): 108-112.
- 32 KENDALL Alex, BADRINARAYANAN Vijay, CIPOLLA Roberto. Bayesian Segnet: Model Uncertainty in Deep Convolutional Encoder-Decoder Architectures for Scene Understanding[EB/OL]. arXiv preprint arXiv: 1511.02680. 2015.
- 33 GONG Fangying, ZENG Zhaocheng, ZHANG Fan, et al. Mapping Sky, Tree, and Building View Factors of Street Canyons in a High-Density Urban Environment[J]. Building and Environment, 2018, 134: 155-167.
- 34 龙瀛, 周琅. 图片城市主义: 人本尺度城市形态研究的新思路[J]. 规划师, 2017(2): 54-60.
LONG Ying, ZHOU Yin. Pictorial Urbanism: A New Approach for Human Scale Urban Morphology Study[J]. Planners, 2017(2): 54-60.
- 35 刘伦, 王辉. 城市研究中的计算机视觉应用进展与展望[J]. 城市规划, 2019, 43(1): 117-124.
LIU Lun, WANG Hui. Application of Computer Vision in Urban Studies: Review and Prospect[J]. City Planning Review, 2019, 43(1): 117-124.
- 36 LI Xiaojiang, ZHANG Chuanrong, LI Weidong, 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.
- 37 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.
HAO Xinhua, LONG Ying. Street Greenery: A New Indicator for Evaluating Walkability[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2017(1): 32-36.
- 38 LONG Ying, LIU Liu. How Green Are the Streets? An Analysis for Central Areas of Chinese Cities Using Tencent Street View[J]. PLoS ONE, 2017, 12(2), e0171110.
- 39 LIU Lun, WANG Hui, WU Chunyang. A Machine Learning Method for the Large-Scale Evaluation of Urban Visual Environment[EB/OL]. arXiv preprint arXiv:1608.03396. 2016.
- 40 唐婧娴, 龙瀛, 翟炜, 等. 街道空间品质的测度、变化评价与影响因素识别——基于大规模多时相街景图片的分析[J]. 新建筑, 2016(5): 110-115.
TANG Jingxian, LONG Ying, ZHAI Wei, et al. Measuring Quality of Street Space, Its Temporal Variation and Impact Factors: An Analysis Based on Massive Street View Pictures[J]. New Architecture, 2016(5): 110-115.
- 41 李诗卉, 杨卓, 梁潇, 等. 东四历史街区: 基于多时相街景图片的街道空间品质测度[J]. 北京规划建设, 2016(6): 39-48.
LI Shihui, YANG Zhuo, LIANG Xiao, et al. Dongsi Historic Block: Measuring the Quality of Street Space Based on Massive Street View Pictures[J]. Beijing Planning Review, 2016(6): 39-48.
- 42 李智, 龙瀛. 基于动态街景图片识别的收缩城市街道空间品质变化分析——以齐齐哈尔为例[J]. 城市建筑, 2018(6): 21-25.
LI Zhi, LONG Ying. An Analysis on Variation of Quality of Street Space in Shrinking Cities Based on Dynamic Street View Pictures Recognition: A Case Study of Qiqihar[J]. Urbanism and Architecture, 2018(6): 21-25.
- 43 HARVEY Chester, AULTMAN-HALL Lisa, TROY Austin, et al. Streetscape Skeleton Measurement and Classification [J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2017, 44(4): 668-692.
- 44 姜洋, 辜培钦, 陈宇琳, 等. 基于GIS的城市街道界面连续性研究——以济南市为例[J]. 城市交通, 2016(4): 1-7.
JIANG Yang, GU Peiqin, CHEN Yulin, et al. Continuity of Street Facade Analysis with GIS: A Case Study of

- Jinan City[J]. Urban Transport of China, 2016(4): 1—7.
- 45 YU Bailang, LIU Hongxing, WU Jianping, et al. Automated Derivation of Urban Building Density Information Using Airborne LiDAR Data and Object-Based Method[J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 98(3—4): 210—219.
- 46 SERRA Miguel, HILLIER Bill, KARIMI Kayvan. Exploring Countrywide Spatial Systems: Spatio-Structural Correlates at the Regional and National Scales[C]//SSS 2015—10th International Space Syntax Symposium. Space Syntax Laboratory, The Bartlett School of Architecture, UCL (University College London), 2015.
- 47 杨滔. 网络聚集的厚度——区域物质空间形态分析初探[J]. 城市设计, 2016(5): 56—67.
YANG Tao. The Thickness of Networking Clustering: A Preliminary Study on the Physical Form of Regional Spaces[J]. Urban Design, 2016(5): 56—67.
- 48 APPELVAARD Donald, LINTELL Mark. The Environmental Quality of City Streets: The Residents' Viewpoint[J]. Journal of the American Institute of Planners, 1972, 38(2): 84—101.
- 49 GEHL Jan, GEMZØE Lar. Public Spaces, Public Life[M]. Copenhagen: Danish Architectural Press, 1996.
- 50 RUNDLE Andrew G, BADER D M Michael, RICHARDS Catherine A, et al. Using Google Street View to Audit Neighborhood Environments[J]. American Journal of Preventive Medicine, 2011, 40(1): 94—100.
- 51 SALESSES Philip, SCHECHTNER Katja, HIDALGO César A. The Collaborative Image of The City: Mapping the Inequality of Urban Perception[J]. PLoS ONE, 2013, 8(7): e68400.
- 52 NAIK Nikhil, PHILIPOOM Jade, RASKAR Ramesh, 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.
- 53 NAIK Nikhil, KOMINERS Scott Duke, RASKAR Ramesh, et al. Do People Shape Cities, or Do Cities Shape People? The Co-Evolution of Physical, Social, and Economic Change in Five Major US Cities[R]. National Bureau of Economic Research, 2015.
- 54 ZHANG Fan, ZHOU Bolei, LIU Liu, et al. Measuring Human Perceptions of a Large-Scale Urban Region Using Machine Learning[J]. Landscape and Urban Planning, 2018, 180: 148—160.
- 55 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(2): 19—24.
TANG Jingxian, LONG Ying. Metropolitan Street Space Quality Evaluation: Second and Third Ring of Beijing, Inner Ring of Shanghai[J]. Planners, 2017(2): 19—24.
- 56 TANG Jingxian, LONG Ying. Measuring Visual Quality of Street Space and Its Temporal Variation: Methodology and Its Application in the Hutong Area in Beijing[J]. Landscape and Urban Planning, 2018.
- 57 ASPINALL Peter, MAVROS Panagiotis, COYNE Richard, et al. The Urban Brain: Analysing Outdoor Physical Activity with Mobile EEG[J]. Br J Sports Med, 2015, 49(4): 272—276.
- 58 JIANG Bin, CHANG Chun-Yen, SULLIVAN William C. A Dose of Nature: Tree Cover, Stress Reduction, and Gender Differences[J]. Landscape and Urban Planning, 2014, 132: 26—36.
- 59 DUPOUT Lien, ANTRON Marc, VAN EETVELDE Veerle. Eye-Tracking Analysis in Landscape Perception Research: Influence of Photograph Properties and Landscape Characteristics[J]. Landscape Research, 2014, 39(4): 417—432.
- 60 ZHANG Zhaoxi, LONG Ying. Application of Wearable Cameras in Studying Individual Behaviours in Built Environments[J]. Landscape Architecture Frontiers, 2019, 7(2): 22—37.

(上接第106页)

- 间结构研究——以上海中心城区为例[J]. 城市规划, 2016(4): 33—40.
WU Zhiqiang, YE Zhongnan. Research on Urban Spatial Structure Based on Baidu Heat Map: A Case Study on the Central City of Shanghai[J]. City Planning Review, 2016(4): 33—40.
- 16 秦箫, 甄峰, 朱寿佳, 等. 基于网络口碑度的南京城区餐饮业空间分布格局研究——以大众点评网为例[J]. 地理科学, 2014(7): 810—817.
QIN Xiao, ZHEN Feng, ZHU Shoujia, et al. Spatial Pattern of Catering Industry in Nanjing Urban Area Based on the Degree of Public Praise from Internet: A Case Study of Dianping.com[J]. Scientia Geographica Sinica, 2014(7): 810—817.
- 17 王波, 甄峰, 张浩. 基于签到数据的城市活动时空间动态变化及区划研究[J]. 地理科学, 2015(2): 151—160.
WANG Bo, ZHEN Feng, ZHANG Hao. The Dynamic Changes of Urban Space-Time Activity and Activity Zoning Based on Check-in Data in Sina Web[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015(2): 151—160.
- 18 方家, 王德, 谢栋灿, 等. 上海顾村公园樱花节大客流特征及预警研究——基于手机信令数据的探索[J]. 城市规划, 2016(6): 43—51.
FANG Jia, WANG De, XIE Dongcan, et al. Research on Dynamic Change and Early Warning of Large Tourist Flow Based on Mobile Signal Data Analysis: A Case Study of Gucun Park Sakura Festival in Shanghai[J]. City Planning Review, 2016(6): 43—51.
- 19 JACOBS-CRISIONI Chris, RIETVELD Piet, KOOMEN Eric, et al. Evaluating the Impact of Land-Use Density and Mix on Spatiotemporal Urban Activity Patterns: An Exploratory Study Using Mobile Phone Data[J]. Environment and Planning A, 2014(11): 2769—2785.
- 20 海道清作. 紧凑型城市的规划与设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
KAIDO Kiyonobu. Planning and Design for Compact Cities[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.