城市设计定量分析方法研究概述

An Overview of the Quantitative Analysis Methods in Urban Design

牛强 鄢金明 夏源
Niu Qiang, Yan Jinming, Xia Yuan

摘要: 城市设计中的定量分析方法相对匮乏, 因为其研究对象往往可意会却难以精准描述。但定量分析对于深入认识城市设计对象、提高其科学性和可实施性具有重要作用, 所以仍有大量学者致力于这方面的研究, 近年来取得了越来越丰富的成果。为了促进该领域的研究, 本文基于文献研究法, 从视觉维度、认知维度、社会维度、功能维度、形态维度、时间维度等六个维度总结归纳了国内外城市设计定量分析的主要研究视角和最新研究成果, 梳理出 60 余种定量指标和 40 余种常用方法; 发现近年来城市设计定量研究发展迅速, 研究内容更加全面, 视角更加综合, 方法更加多元。最后, 结合目前的一些研究热点以及一些新的技术手段的引入, 本文对城市设计定量分析的发展趋势进行了展望。

Abstract: As the research objects of urban design are often imaginable but indescribable, the quantitative analysis methods in urban design are relatively scarce. But the quantitative analysis plays an important role in giving a good insight into the objects of urban design, improving its scientificity and practicability, so there are still a large number of scholars working in this area. In recent years, scholars have made more and more achievements in quantitative analysis of urban design. In order to promote the research in this field, based on the literature research method, this paper summarizes the main research perspectives and the latest domestic and international research results in urban design quantitative analysis from six dimensions: visual dimension, perceptual dimension, social dimension, functional dimension, morphological dimension, and temporal dimension, and sums up about 60 kinds of indices and 40 kinds of quantitative methods, which shows that the research content is becoming more comprehensive, perspective is becoming more diverse. Combining with the current research hot spots and the new technical means, this paper makes a prospect of the quantitative analysis in urban design.

关键词: 城市设计; 定量分析; 概述

Keywords: Urban Design; Quantitative Analysis; Overview

国家自然科学基金“基于规划信息模型的数字规划设计方法研究”(51308422)

作者: 牛强 (通信作者), 博士, 武汉大学城市设计学院城市规划系, 副教授。
niuqiang61@126.com

鄢金明, 硕士, 广州市城市规划勘测设计研究院

夏源, 武汉大学城市设计学院硕士研究生

引言

城市设计一度被看作难以测度和言表的空间设计, 但从考工记提出的“九经九纬, 经涂九轨”到当代对街道高宽比、贴线率等指标的应用, 量化思想一直蕴含于城市设计过程当中。随着近年来分析技术手段的发展、数据采集技术的进步、多学科融合以及城市设计相关理论的深化, 城市设计定量分析逐渐成为主流手段, 相关技术方法开始广泛应用于视觉优化、感知分析、活力测度、可步行性评价、网络结构分析等诸多方面。这些定量分析旨在对各类城市设计要素的数量特征、数量关系与数量变化进行细致研究, 是城市设计定性分析的有力补充, 加深了对城市环境品质的认识, 提高了城市设计成果的科学性和有效性, 便利了城市设计实施的定量管理与评价, 日益成为城市设计领域的一个研究热点。

本文旨在对国内外城市设计定量分析方法作综合梳理。由于城市设计涉及的研究对象过于宽泛, 同时定量分析方法众多, 为了方便整理, 笔者参考马修·卡尔莫纳 (Matthew Carmona) 提出的城市设计六个维度来进行方法分类^[1], 分别是: 视觉维度、认知维度、社会维度、功能维度、形态维度和时间维度。当然正如卡尔莫纳本人所说, 这并不是一种绝对分类, 维度之间很难完全独立, 所以下文中归入某一类型的定量分析有可能也可以归入其他相关类别。

通过文献研究法广泛地收集、整理和分析, 本文最终梳理出 60 余种定量指标和 40 余种常用方法, 为城市设计定量分析研究和应用提供了参考借鉴。在此基础上, 本文最后对城市设计定量分析的发展趋势进行了简要展望。

1 视觉维度的定量分析方法

从视觉维度对城市进行定量分析由来已久,早期对于城市设计的定量研究多是基于艺术美学的空间几何形态研究,从中抽象出城市设计中的尺度、比例等数量关系。例如,具有“城市设计之父”之称的卡米洛·西特(Camillo Sitte)总结了城市建设艺术原则,涉及城市建筑、街道、广场等的尺度和相互关系等,用于构建宜人的空间^[2];罗伯·克里尔(Rob Krier)则从类型学角度总结了广场空间的三种原型——矩形、圆形与三角形,并阐释了这三种广场空间与街道的关系^[3]。

随着城市设计理论不断丰富,特别是对街道空间研究的逐步深入,越来越多的针对视觉效果的空间形态量化指标被提了出来。例如关于街道界面,已经有了诸如街道尺度^[4]、界面密度^[5]、贴线率、连续性^[6]、开窗率^[7]等一系列的形态指标。其中贴线率最早来源于美国建筑师阿特金森(Atkinson)提出的街道墙概念^[8],其目的是为了确保沿街建筑立面的连续性,以创造优质的街道界面效果。这在纽约市1916年实行的《分区法》中得到重要体现,国内引入此概念始于1998年美国SOM公司所做的深圳市中心区22、23-1街坊城市设计,之后贴线率在国内控制性详细规划、城市设计中逐渐成为重要的控制要素,也是近年来定量分析的一个重点^[9]。之后,在这些单个形态指标的基础上,不断有学者尝试综合多个指标来开展评价。例如,扬·盖尔(Jan Gehl)从人对街道底层立面的视觉感知角度提出了街道评价指标体系,包括一定长度(一般100 m)街段上建筑形式、开窗率以及建筑小品形式^[7]。方智果提出将贴线率和建筑密度相结合的方法,对空间界面连续性进行参数量化,并构建了包括街道绝对尺度、街道相对尺度、沿街建筑高度、街道贴线率、建筑后退红线、建筑形式等方面的城市设计控制指标体系^[10]。

除了通过空间形态指标来量化分析空间的视觉效果,还有一些学者基于统计学方法建立了复杂的数学模型,以研究城市天际线、街道建筑轮廓线等更为复杂的空间对象。台湾学者李俊利在对城市天际线的量化研究中,运用统计学方法将天际线视觉映像简化成量化描述中的直方图,建立起可供评估的天际线量化描述模型,为城市设计提供指导^[11]。钮心毅、李凯克从视觉影响分析入手,提出天际线的曲折度和层次感两个指标定量描述天际线,并结合GIS的视域分析,形成定量评价天际线形态的量化方法^[12]。丁沃沃和童滋雨(Wowo Ding & Ziyu Tong)提出了一种基于视域研究街道建筑轮廓线的视觉统计图表法(VSD: Visual Statistical Diagram)(图1),该方法可将临街建筑界面的凹凸变化根据可视频率转换成统计图表,从而定量反映出街道的几何特征和视觉特征^[13]。

总之,城市设计视觉维度的定量研究历史相对悠久,但仍在不断发展,经历了由基于美学、艺术层面的简单几何量化到多侧面、系统性定量分析的、逐步丰富完善的过程,在这个过程中涉及的量化对象越来越复杂,量化指标也越来越精细,一定程度上提高了形态设计的科学性。

2 认知维度的定量分析方法

城市设计认知维度关注个体的心理感知,认为个体对城市环境的感知结果反映了城市空间的特点和设计的品质。艾伦·雅各布斯(Allan Jacobs)在《伟大的街道》中提出可以给人带来美好知觉体验的是适宜的空间特性,包括适宜的平立剖面、尺寸、细部、肌理和清晰的边界等^[4]。之后凯文·林奇(Kevin Lynch)采用认知地图法研究了人对城市的心理感知^[6];唐纳德·爱坡雅(Donald Appleyard)对城市居民感知地图类型进行了实证研究^[14];高里奇(Golledge)基于点一面理论研究发现居民对城市的感知是不断深入的,包括联接发展、邻里描绘和等级秩序^[15]三个发展阶段。这些研究从不同角度揭示了个体感知与城市空间的关系并得到了广泛的认同;但也存在一定的局限性,如研究方法过于复杂,调研工作量大,研究多停留在现象描述阶段,定量化程度低,对实践指导性不强等^[16]。

针对这些局限,城市设计认知研究逐渐在两个方面引入了定量分析方法。一方面是对城市设计认知指标的完善。芦原义信应用格式塔心理学中的图底关系对街道进行研究,提出了街道界面的宽高比(D/H)和面宽比(W/D)指标,认为街道的这些指标不同,人对街道的感受也不同^[17]。其他从认知角度评判街道的指标还包括舒适性、围合性、趣味性、标志性、庇护感等。里德·尤因和苏珊·汉迪(Reid Ewing &

图1 街道视域及其视觉统计图表

资料来源:参考文献[13]

Susan Handy) 对这些指标进行梳理, 从中总结了 51 个城市设计感知品质指标, 并筛选出最具代表性的 5 个指标——意象性、围合性、人性尺度、透明度和复杂性进行深入研究, 对每个品质指标设置了相应的可操作的量化指标, 被称为“黄金标准”(Gold Standard)(图 2)^[18]。随后里德·尤因和奥托·克莱门特(Otto Clemente)对 22 个研究城市的街道进行了视频采集, 使用专家小组对视频场景评级的方法来衡量街道物质环境特征和城市设计的 5 个品质, 并分析了两者之间的关系^[19]。

另一方面, 为了定量测度个体对城市环境的感受这一抽象事物, 心理学定量研究方法——SD 法——得以引入。SD 法(Semantic Differential)又名语义分析法, 是查尔斯·埃杰顿·奥斯古德(Charles Egerton Osgood)于 1957 年提出的一种将语言作为尺度测定心理感受的方法, 可将抽象的知觉感受具体分级、量化。近些年来涌现了许多基于 SD 法的城市设计量化研究, 如张昀利用 SD 法从宏观和微观两方面定量研究了人们对于城市和街道空间的印象, 具体做法是选取形容词对作为语义差别量表进行 SD 法评价, 将人们对于街道的主观感受量化以图表的形式展示出来(图 3)^[20]。苟爱萍、王江波则利用 SD 法定量分析评价了人们对街道活力的感知, 作者选取了热闹度、色彩活跃度、遮荫度等 12 个评价因子, 每个因子划分为 7 级评价尺度进行打分、汇总, 应用 SD 法

对南京 9 条街道进行了空间活力感知的评价^[21]。

SD 法还可与虚拟现实技术结合起来。徐磊青、刘宁根据经典城市设计理论在虚拟现实环境中搭建了 3 种不同面积大小、5 种不同视角的 15 个广场场景, 让受试人员在不同空间尺度的虚拟广场上行进、浏览和体验, 记录他们对不同尺度广场空间的偏好和感受, 以完成人们对广场感受的定量分析及评价, 用于指导广场设计(图 4)^[22]。

上述这些城市环境认知指标的提出和衡量心理感受的心理学定量方法的引入, 大大深化了城市设计对环境认知的研究, 使城市设计能够更加准确地把握个体对环境的认知效果和心理感受, 落实人本主义思想。

3 社会维度的定量分析方法

空间与社会是密切相关的, 城市设计通过塑造建成环境影响着人类行为和社会生活模式。因此, 城市设计除了关注空间, 还应秉承特定的价值观来创造社会价值, 例如塑造城市活力、促进社会交往和融合、保障空间公平正义、空间安全等。通过梳理发现, 目前在城市活力和空间公平正义方面的量化分析方法相对比较成熟, 简要介绍如下。

城市活力的营造是一个复杂的问题, 后文功能维度中论及的用地功能混合、公共空间可达性等都与之相关。城市活力的营造最早由简·雅各布斯(Jane Jacobs)在《美国大城

图2 城市街道品质定量分析概念框架

资料来源：参考文献[18]

图3 基于SD法的街面活力评价折线图

资料来源：参考文献[20]

图4 模拟实验建构的25 m × 25 m和50 m × 50 m广场的9°和14°视角场景

资料来源：参考文献[22]

市的死与生》里提出, 她认为城市活力是城市最重要的生长源泉^[23]。其后大量学者就城市活力问题展开了广泛的定量研究。姜蕾构建了一套街道活力定量评估指标体系, 由街道活力表征和街道活力构成两个维度组成, 其中活力表征包括活动人数与驻留时间, 活力构成包括街区的宏观环境和微观环境, 并且从城市活力构成角度提出了城市设计要注重可达性及功能的混合^[24]。叶宇等 (Ye, et al.) 认为城市空间必须具有良好的街道可达性、适宜的建设强度与建筑形态、足够的功能混合度才能营造良好的城市活力^[25], 他们将 GPS 记录的居民活动强度作为城市活力的表征, 在荷兰代尔夫特和丹麦奥尔堡两地实证了该结论。该研究一方面将城市活力量化为居民的活动轨迹密度, 另一方面深入分析了城市形态与城市活力间的关系, 提供了营造城市活力的城市设计策略。龙瀛、周焱以成都为例把通过手机信令数据获取的人口密度作为街道活力大小的外在表征, 将其与区位、街道肌理、周边地块性质、开发强度、交通可达性、功能混合度等 8 个因子作相关分析, 发现对于不同类型的街道如公共管理与公共服务类街道、商业街道以及住区街道, 影响它们活力的关键因子也不相同, 进而提出针对不同街道的城市设计策略^[26]。除了这些客观评价方法, 前述 SD 法作为测度活力的主观评价方法也经常研究中采用。城市活力本身是一个难以量化的概念, 这些创新性的研究, 提出了城市活力的评价指标和基于 GPS、手机信令大数据、心理学 SD 的测度方法, 有助于我们从不同侧面了解城市活力的高低以及影响城市活力的因素, 进而从城市设计角度提高城市活力水平。

在空间公平正义方面, 城市设计作为一种空间实践工具, 其维护社会公平正义的手段主要通过确保城市设计对象如绿地、广场等公共空间的可达性均等和使用机会公平来实现。早期的研究强调地域分布平等, 后来逐渐强调服务对象的公平性, 即强调社会平等。例如埃尔基普 (Erkip) 以安卡拉为例, 基于不同社会群体享有公园服务的便捷性, 评估公园及休闲服务业的空间分布与利用效率, 为实现服务的公平性提出建议^[27]; 又如尹海伟、徐建刚以上海市为例, 运用最小邻近距离法对研究区域公园的空间可达性进行了定量评价, 并结合人口普查数据, 采用需求指数, 分析研究区域各街道居民对城市公园的需求情况, 采用定序变量相关分析和因子空间叠置分析两种方法定量测度了公园布局的空间公平性程度^[28]。公平的理念现在逐渐走向了正义, 即强调要更关注弱势群体的利益, 例如唐子来、顾姝基于社会正义的理念, 运用 GIS 技术分析上海市老龄群体和外来低收入群体享有的公共绿地资源份额与社会评价份额间的大小关系, 据此判断中心城区公共绿地分布的正义性^[29]。由此可见, 从公平正义角度对城市公共空间布局的评价经历了从地域平等到社会平等、从社

会公平到社会正义的深化过程, 而定量分析在其中起到了关键作用。目前形成的这些定量分析方法, 对于指导城市设计空间布局, 提升城市设计的社会价值具有重要作用。

4 功能维度的定量分析方法

除了关注视觉效果、心理认知和社会价值之外, 作为对这三者的支撑, 城市设计还十分关注城市空间具体功能的发挥效果。功能维度牵涉的层面很多, 其中定量分析成果比较丰富的议题主要有土地功能的发挥、公共空间的可达性、街道的可步行性和物理环境的舒适性等等, 简要介绍如下。

土地功能的发挥方面, 目前的关注重点在用地功能混合。功能混合是针对功能分区模式下城市出现的各种问题而提出的, 可以更好地满足居民需求, 提高城市多样性、安全性和活力。为衡量用地的功能混合程度, 洛蕾塔·利斯 (Loretta Lees) 提出了混合利用指标 (MXI: Mixed-use Index), 它通过地块中居住、工作、设施这三种主要功能的建筑面积的比值来界定该地块的功能混合度高低^[30]。用地功能混合的定量研究尽管相对简单, 但它在城市空间活力、空间安全、空间价值等方面的研究中应用广泛, 并且被普遍接受。

公共空间可达性方面, 美国学者沃尔特·汉森 (Walter Hansen) 于 1959 年第一次提出了可达性的概念, 认为可达性是“交通网络中各节点相互作用的机会大小”^[31]。安·范·赫泽勒 (Ann Van Herzele) 在研究城市公共空间时, 将可达性定义为居民克服距离和旅行时间等阻力到达一个服务设施或活动场所的愿望和能力的定量表达, 并把城市公共设施可达性看作衡量其空间分布合理性的一个重要指标^[32]。

可达性的分析方法经历了从最小临近距离法 (根据公共空间与服务对象间直线距离评价可达性)、缓冲区分析法 (根据公共空间缓冲区是否覆盖服务对象来判断可达性), 到网络分析法 (根据公共空间与服务对象的实际交通距离判断可达性)、行进成本法 (根据公共空间到服务对象的距离时间金钱成本来判断可达性), 再到吸引力指数法 (认为公共空间自身等级规模也会影响其可达性) 的发展, 上述大多数方法都可以通过 GIS 技术来实现。除此之外, 近期应用比较广泛的还有约翰·雷德克和穆兰 (John Radke & Lan Mu) 开创的两步移动搜索法 (2SFCA: Two-step Floating Catchment Area Method), 这也是一种基于 GIS 的可达性度量方法^[33]。其创新性体现在同时考虑了供给与需求两方面, 综合两次搜索结果, 克服了传统供需法、早期移动搜寻法的缺陷, 考虑到内在区域的空间差异和人口分布问题, 更合理地从公平角度评价可达性。程岩、刘敏等以南京市郊雨花台区公园绿地为研究对象, 运用两步移动搜索法, 计算研究区域公园绿地可达性指数, 从而探讨雨花台区绿地空间可达性的改善方法

与生态环境建设发展方向^[34]。这些可达性分析方法，从其发展历程来看，是一个不断深化、复杂化、拟真化的过程。尽管它们存在差异，但还是从不同侧面反映了公共空间布局方面的属性，所以目前大多都还在被使用。

街道功用方面，现行量化研究多关注街道步行环境的分析和营建。比较有代表性的研究有美国马龙·博纳等（Marlon Boarnet et al.）提出的欧文—明尼苏达目录（IMI: The Irvine Minnesota Inventory），它用于全方位测度对出行活动（尤其是步行）具有潜在影响的建成环境特征，共计 213 项指标^[35]；之后博纳等利用 IMI 的改良版本分析了密度、街道模式、混合利用、行人设施以及各种社会经济要素对步行的影响^[36]。此外，国际环保组织自然资源保护协会（NRDC）在 2016 年发布了《中国城市步行友好性评价报告》，创建了国内首套城市步行友好性评价体系。该评价体系共设置了 4 个维度，即人们行走的安全性、舒适性、便捷性以及政策与管理，并采用多种定量分析手段对步行空间进行测度（图 5）^[37]。前文里德·尤因和奥托·克莱门特提出的关于街道环境品质量化指标体系（“黄金标准”）也是评价街道可步行性的比较客观、全面的定量分析方法^[18]。这些步行环境评价方法的提出，为客观、大批量、统一标准地评价和衡量城市街道步行环境，开展有针对性的整改等提供了有效工具。尽管已经有了一些实践，但仍不够普及，限制其使用的关键因素是指标数量和指标效力。因此，如何根据具体城市的特点构建数量合理、易于测度但解释效力强的指标体系是未来的研究方向。

由于街道环境的复杂性和分析因子的多样性加大了现场环境数据采集与测评的难度，一些测度街道环境，及其与居民身体活动之间关系的工具与新技术手段被研发出来。澳大利亚学者泰里·皮科拉等（Terri Pikora, et al.）开发了一个行人和自行车骑行环境系统性扫描仪器（SPACES: the Systematic Pedestrian and Cycling Environmental Scan instrument），扫描的数据包括道路类型、路面形式、路宽、交通容量、车速等街道级别的细节数据，以定量分析这些物理环境因素与步行、自行车出行之间的关系^[38]。凯利·克里夫顿等（Kelly Cliftona, et al.）在 SPACES 的基础上进一步提出了一个完整的环境评价方案——行人环境数据扫描（PEDS: the Pedestrian

Environmental Data Scan），PEDS 具备易于管理、数据质量高、数据输入简单、手持方便、搭载 GPS 并能结合 GIS 运用等诸多优势，并在马里兰大学学院公园的使用中验证了其有效性^[39]。英国学者凯瑟琳·米林顿等（Catherine Millington, et al.）开发了一个能够客观记录与城市步行密切相关的物质环境要素的工具：苏格兰可步行性评估工具（SWAT: the Scottish Walkability Assessment Tool）^[40]。布朗温·泰勒等（Bronwen Taylor, et al.）运用 Google 街景以及 Google 地球空中摄影技术开发了一个公共开放空间工具（POST: the Public Open Space Tool）以评价街道开放空间的环境品质。该工具一方面能够使用全方位成像技术模拟人们开车或步行状态下的视野情景，相比航空摄影或卫星影像更加真实；另一方面相比于田野调查法更加省时省力^[41]。这些定量侦测工具和方法极大地节省了调研工作量，提供了格式化、客观和高质量的数据，有力地支撑了街道环境的相关研究。

在功能维度方面，城市设计还十分关注公共空间物理环境的舒适性，包括热、风、声等。很多学者对这些微环境及其与城市空间形态间的关系进行了研究，其定量分析多是基于仿真软件的微环境模拟。如，热环境研究上，武文涛建立和应用中尺度气象模型 HOTMAC 和 Fluent 软件模拟分析 CBD 内的热环境，并提出排热效率这一新指标定量分析城市热气候以指导城市设计^[42]。刘艳红等运用流体动力学数值（CFD: Computing Fluid Dynamics）模拟方法分析城市绿地空间格局对城市热环境的影响，以指导城市绿地空间布局^[43]。孙欣运用迈克尔·布鲁斯（Michael Bruse）开发的 ENVI-met 软件^[44]建立理想城市空间形态模型，定量分析建筑密度、建筑高度、街道高宽比等指标对热环境的影响机理，提出热环境缓解的城市设计措施^[45]。风环境研究上，里卡尔多·布科列里（Riccardo Buccolieri）基于城市冠层原型模型模拟气流变化，探讨城市密度与城市透气度的关系，提出了基于高度、密度的迎风面密度算法^[46]。声环境研究上，李平杰和康健（Pyoungh Jik Lee & Jian Kang）提出了一种城市声环境仿真方法，并用该方法分析了城市高宽比对街道声环境的影响，这种方法基于射线追踪和像源建模的综合计算机模拟技术，可以仿真声压等级、混响时间以及早期衰减时间等^[47]。这些环境模拟方法结果客观、分析简便，正在被越来越多地应用到实践项目之中，体现了精细化城市设计的要求。

5 形态维度的定量分析方法

除了对上述中微观层面城市空间的研究，城市设计也关注大尺度的城市形态，主要包括城市用地形态和网络空间形态两方面。

城市用地形态上，国内外学者提出了一系列定量指标

图 5 NRDC 步行友好性评价体系

资料来源：参考文献^[37]

对其进行测度与评价,包括形状率(Form Ratio)、圆形率(Circularity Ratio)^[48]、紧凑度(Compactness Ratio)^[49]、椭圆率指数(Ellipticity Index)^[50]、放射状指数(Radial Shape Index)、延伸率(Elongation Ratio)、标准面积指数^[51]、城市布局分散系数等等,可以对区域、城市或乡村居民点以及水域河道等大尺度城市设计要素进行定量分析。这些指标对于城市设计具有指导意义,可以加深对土地形态的认识,也为城市设计提供了评判标准。例如紧凑度可以度量城市集中紧凑发展趋势,放射状指数可以度量城市区域间联系特征等。

网络空间形态方面,主要是对道路网的定量分析,开始于对街道断面宽度、街道长度、路口数量等指标的分析。但这些指标对街道的描述是局部的、片段的,人们逐渐意识到应该从城市网络角度对区域范围内的街道整体进行研究。美国城市设计学家克里斯托弗·亚历山大(Christopher Alexander)在《城市并非树形》一文中将城市结构抽象为半网络结构和树形结构^[52]。受此思想影响,大量学者从网络的角度研究街道空间,形成了一套街道网络密度分析方法,提出了街道网络线密度、面密度、渗透性等指标来分析街道空间^[53]。

随着拓扑学的兴起,拓扑学的研究方法也被引入网络空间形态研究。比尔·希利(Bill Hillier)教授及其同事在1970年代开创了一种新的城市空间形态研究方法——空间句法。空间句法引入深度值(Depth)、集成度(Integration)、可理解性(Intelligence)等拓扑特征指标来描述街道空间^[54,55],通过对包括建筑、聚落及景观在内的人居空间结构的可达性或连通性等特征的量化描述,揭示空间形态演变的内在机理,研究空间组织与人类社会之间的关系^[56]。空间句法应用广泛,例如索菲亚·普萨拉等(Sophia Psarra et al.)提出了一套应用空间句法揭示街道网络如何影响城市繁荣兴旺与收缩衰败的方法,并以底特律为例系统分析了城市里街道网络与城市产业、有轨电车运输、零售活动之间的关系,以便指导设计师进行城市空间设计^[57]; 法尔哈纳·菲尔多斯(Farhana Ferdous)基于空间句法描绘了达卡的城市网络结构、功能、形态增长和城市系统的演化模式,为基于未来城市增长的城市设计提供了指导^[58]; 杨一帆、邓东等利用空间句法分析了苏州市的城市结构、街道场所与民众活动的关系,并提出一套大尺度城市设计定量方法体系,指导了苏州市的城市设计^[59]; 苑思楠基于空间句法,采用GIS、Depthmap建立起一套街道空间的定量分析方法体系,以指导街道设计^[60]。

之后,史蒂芬·马歇尔(Stephen Marshall)继承空间句法的研究提出了“路径结构分析”(Route Structure Analysis)技术,提出连续性、连接性、深度、复杂性等指标来分析网络路径^[61]。这些指标与空间句法的指标互为补充,共同搭建起一套系统化的城市网络结构认知理论体系以及相应定量描述

方法,深刻影响了现行的城市网络空间形态研究。

现行的空间句法和路径结构分析方法也并非完美,面临的问题主要有:(1)对于现实空间中的距离和速度考量不足;(2)空间句法中轴线图模型的构建带有较强的主观性;(3)注重城市二维平面而忽视三维空间等^[62,63]。

6 时间维度的定量分析方法

时间维度上城市空间被看作一个进化、成长着的复杂系统,同时人也是动态活动和变化的。一方面时间无时无刻不对城市空间产生着影响,场所的形态延续性体现着城市的社会记忆;另一方面人们也对城市生活进行时间上的安排,设计师在组织活动场所时必须协调活动的时间性。凯文·林奇认为城市设计中“活动的时间安排”与“活动的空间安排”同等重要^[64]。

时间维度的城市设计定量分析也主要围绕这两个方面展开,即用动态模拟的方法来模拟城市的有机生长,和对城市要素活动的时空变化进行定量研究。近年来,大量模拟、预测和仿真的研究方法被引入城市设计研究,如元胞自动机(CA)、多主体模型(MAS)、时间地理学(Time-Geography)等。杨大伟将自组织理论与元胞自动机模型结合构建了一个城市增长仿真模型,将元胞自动机模型应用于西安市最具历史文化特色的区域中,形成自下而上的城市设计规划模型^[65]。关美宝将GIS地理计算与三维地理可视化应用跟时间地理学相结合,实现将人类活动模式三维可视化,该方法对基于人群活动的城市设计具有重要的指导作用^[66]。萧世等针对经典时间地理学对信息通信技术影响下的人类活动与互动行为研究不支持的问题,发展了一套时空地理信息系统(Space-Time GIS)体系结构,它能支持在时空背景下将复杂的人类活动与互动数据作为连续的时空过程进行组织、管理与分析,并结合手机信令数据等基于位置服务数据研究街道空间人群活动的时空特征^[67]。这些动态模拟和分析方法为我们提供了从时间的跨度上去认识城市发展和人们行为的方法技术,加深了我们对于城市和城市人的认识。

7 结论及展望

随着多学科的融合、技术手段的持续发展,城市设计定量分析取得了长足的发展,已经深入到了传统城市设计的各个维度(表1),推动城市设计朝着更科学、更具实施性的方向发展。视觉维度、认知维度和形态维度的城市设计定量分析是城市设计一直以来关注的焦点,目前已经形成一系列公认的量化指标,在实践中对城市设计发挥了重要的指导作用,如宽高比(D/H)、面宽比(W/D)、贴线率等,此外空间句法、指标体系法、语义差别法等研究方法也得到了普遍的应

表 1 国内外城市设计定量分析指标及方法

维度	相关指标	研究方法技术
视觉维度	形状、比例、街道尺度、界面密度、贴线率、连续性、街道绝对尺度、街道相对尺度、沿街建筑高度、街道贴线率、建筑后退红线、建筑形式、建筑数量、功能种类、开窗率、建筑小品质量、天际线的曲折度、层次感	指标体系法、天际线量化描述模型法、街道建筑轮廓线的视觉统计图表法
认知维度	宽高比 (D/H)、面宽比 (W/D)、舒适性、围合性、趣味性、标志性、庇护感、意象性、人性尺度、透明度、复杂性、热闹度、色彩活跃度、遮荫度	认知地图、指标体系法、“黄金标准”、专家评审法、语义分析法 (SD 法)、虚拟现实
社会维度	街道活力表征指标、街道活力构成指标、可达性、街道肌理、周边地块性质、开发强度、功能混合度	相关性分析、街道活力定量评估、GPS、大数据分析、SD 法、GIS、最小邻近距离法、定序变量相关分析、因子空间叠置分析、公共资源享用份额分析法
功能维度	混合利用指标、设施可达性、行走的安全性、舒适性、便捷性、热排效率	欧文—明尼苏达目录 (IMI)、步行友好性评价体系、“黄金标准”、环境扫描仪 (SPACES、PEDS)、SWAT、POST、最小临近距离法、缓冲区分析法、网络分析法、行进成本法、吸引力指数法、两步移动搜索法、HOTMAC、CFD、ENVI-met、迎风面密度算法、城市声环境仿真方法
形态维度	形状率、圆形率、紧凑度、椭圆率指数、放射状指数、延伸率、标准面积指数、标准面积指数和城市布局紧凑度、街道断面宽度、街道长度、沿街建筑高度、街道高宽比、街道网络线密度、面密度、渗透性、连接值、控制值、深度值、集成度、可理解性、复杂性	几何分析法、空间句法、路径结构分析
时间维度	—	元胞自动机、多主体模型、基于 GIS 的时间地理学方法

资料来源：作者整理

用；社会维度和功能维度中对街道活力及舒适性的研究成为近年来城市设计关注的热点，其中基于位置的大数据和仿真模拟成为该类研究重要的技术支撑；时间维度的定量分析开始得到重视，随着人们对城市空间演变和个体行为活动的关注，该类研究将会愈发重要，其中 CA、MAS、时间地理学等研究方法将会发挥巨大的作用。

但是目前仍存在着一些不足之处，如城市设计定量分析的覆盖面仍不够，研究较多停留在对实体空间和行为感知的测度，对社会、经济、文化背景的量化分析仍然缺乏，这些是影响城市设计地域性特征的重要因素；再者，现有的定量分析多为揭示现象与联系，若要用于具体的城市设计工作，许多成果还有待转化。

综合国内外城市设计定量分析的发展历程和既有研究成果，它的发展表现出以下趋势。

一是更加注重以人为本，尤其是关注个体感知、个体行为和社会价值。城市设计的初衷即为人们提供高品质的城市空间，改进城市生活质量，无论城市设计从感性转向理性、从纯空间转为综合研究，以人为本的本质只会强化而不会削弱，城市设计定量研究也会紧紧围绕这个方向。

其次，城市设计定量研究会更加注重多学科之间的相互借鉴，利用心理学、社会学、地理学等相关学科理论支撑其分析工作。城市设计的综合性对多学科借鉴提出了更高的要求，多学科的融合有助于解决城市设计定量分析的方法论问题。

再者，城市设计会引入更多新技术、新手段来辅助城市设计定量分析，比如街道传感器、VR 技术、大数据、物联网等，

以增强城市设计定量分析的科学性和可信度。城市设计研究的步伐将会紧密跟随科技手段的发展脚步，信息技术的应用将会为城市设计定量分析注入新的活力。

最后，城市设计定量分析工作将会更加注重其实践性，定量分析的结果最终会反馈到城市设计各工作阶段。城市设计定量分析的目的，归根到底还是要解决城市问题，提升城市空间品质，加强环境改造和治理，改善人居环境。UPI

参考文献

[1] Carmona M, Heath T, Oc T, et al. Public Places, Urban Spaces: The Dimensions of Urban Design[M]. Kidlington: Architectural Press, 2003.

[2] Sitte C. The Art of Building Cities: City Building according to its Artistic Fundamentals[M]. Reinhold Publishing Corporation, 1945.

[3] 克里尔·R. 城市空间 [M]. 钟山, 译. 上海: 同济大学出版社, 1991.

[4] Jacobs A B. Great Streets[J]. University of California Transportation Center Working Papers, 1993, 1(3).

[5] 沈磊, 孙洪刚. 效率与活力: 现代城市街道结构 [M]. 中国建筑工业出版社, 2007.

[6] Lynch K. The Image of the City[M]. MIT Press, 1960.

[7] Architects G, Copenhagen U Q C. Places for People[J]. City of Melbourne & Gehl Architects (Melbourne 2004), 2004.

[8] 金广君. 城市街道墙探析 [J]. 城市规划, 1991(5): 47-52.

[9] 周钰. 街道界面形态规划控制之“贴线率”探讨 [J]. 城市规划, 2016, 40(8): 25-29.

[10] 方智果. 基于近人空间尺度适宜性的城市设计研究 [D]. 天津大学, 2014.

[11] 李俊利. 都市设计中天际线之量化研究 [D]. 国立成功大学, 1996.

[12] 钮心毅, 李凯克. 基于视觉影响的城市天际线定量分析方法 [J]. 城市规划学刊, 2013(03): 99-105.

[13] Ding W, Tong Z. An Approach for Simulating the Street Spatial Patterns[J]. Building Simulation, 2011, 4(4): 321-333.

[14] Appleyard D. Styles and Methods of Structuring a City[J]. Environment and Behavior, 1970.

- [15] Golledge R G. Learning About Urban Environments[J]. *Timing Space and Spacing Time*, 1978, (1): 76-98.
- [16] 王德, 张昀. 基于语义差别法的上海街道空间感知研究[J]. *同济大学学报: 自然科学版*, 2011, 39(7): 1000-1006.
- [17] 芦原义信. 街道的美学[M]. 尹培桐, 译. 天津: 百花文艺出版社, 2006.
- [18] Ewing R, Handy S. Measuring the Unmeasurable: Urban Design Qualities Related to Walkability[J]. *Journal of Urban Design*, 2009, 14(1): 65-84.
- [19] Ewing R, Clemente O. Measuring Urban Design: Metrics for Livable Places[M]. Island Press, 2013.
- [20] 张昀. 基于SD法的城市空间感知研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.
- [21] 苟爱萍, 王江波. 基于SD法的街道空间活力评价研究[J]. *规划师*, 2011, 27(10): 102-106.
- [22] 徐磊青, 刘宁, 孙澄宇. 广场尺度与空间品质——广场面积、高宽比与空间偏好和意象关系的虚拟研究[J]. *建筑学报*, 2012 (2): 74-78.
- [23] Jacobs J. The Death and Life of Great American Cities[M]. Vintage, 1961.
- [24] 姜蕾. 城市街道活力的定量评估与塑造策略[D]. 大连理工大学, 2013.
- [25] Ye Y, Van Nes A. Quantitative Tools in Urban Morphology: Combining Space Syntax, Spacematrix, and Mixed-use Index in a GIS Framework[J]. *Urban Morphology*, 2014, 18(2): 9.
- [26] 龙藏, 周垠. 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.
- [27] Erkip F B. The Distribution of Urban Public Services: The Case of Parks and Recreational Services in Ankara[J]. *Cities*, 1997, 14(6): 353-361.
- [28] 尹海伟, 徐建刚. 上海公园空间可达性与公平性分析[J]. *城市发展研究*, 2009, 16(6): 71-76.
- [29] 唐子来, 顾殊. 再议上海市中心城区公共绿地分布的社会绩效评价: 从社会公平到社会正义[J]. *城市规划学刊*, 2016(1): 15-21.
- [30] Lees L. Planning Urbanity[J]. *Environment and Planning A*, 2010, 42(10): 2302-2308.
- [31] Hansen W G. How Accessibility Shapes Land Use[J]. *Journal of the American Institute of Planners*, 1959, 25(2): 73-76.
- [32] Van Herzele A, Wiedemann T. A Monitoring Tool for the Provision of Accessible and Attractive Urban Green Spaces[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2003, 63(2): 109-126.
- [33] Radke J, Mu L. Spatial Decompositions, Modeling and Mapping Service Regions to Predict Access to Social Programs[J]. *Geographic Information Sciences*, 2000, 6(2): 105-112.
- [34] 程岩, 刘敏, 李明阳, 等. 基于2步移动搜索法的城市郊区公园绿地空间可达性分析[J]. *中南林业调查规划*, 2011, 30(3): 31-35.
- [35] Boarnet M G, Day K, Alfonso M, et al. The Irvine-Minnesota Inventory to Measure Built Environments: Reliability Tests[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2006, 30(2): 144-152.
- [36] Boarnet M G, Forsyth A, Day K, et al. The Street Level Built Environment and Physical Activity and Walking: Results of a Predictive Validity Study for the Irvine Minnesota Inventory[J]. *Environment and Behavior*, 2011: 0013916510379760.
- [37] 自然资源保护协会. 2015年中国城市步行友好性评价报告[EB/OL]. 2016. <http://www.nrdc.cn/information/informationinfo?id=49>.
- [38] Pikora T J, Bull F C L, Jamrozik K, et al. Developing a Reliable Audit Instrument to Measure the Physical Environment for Physical Activity[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2002, 23(3): 187-194.
- [39] Clifton K J, Smith A D L, Rodriguez D. The Development and Testing of an Audit for the Pedestrian Environment[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 80(1): 95-110.
- [40] Millington C, Ward T C, Rowe D, et al. Development of the Scottish Walkability Assessment Tool (SWAT)[J]. *Health & Place*, 2008, 15(2): 474-481.
- [41] Taylor B T, Fernando P, Bauman A E, et al. Measuring the Quality of Public Open Space Using Google Earth[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2011, 40(2): 105-112.
- [42] 武文涛. 城市区域热环境及建筑排热影响的模拟及评价[D]. 哈尔滨工业大学, 2008.
- [43] 刘艳红, 郭晋平, 魏清顺. 基于CFD的城市绿地空间格局热环境效应分析[J]. *生态学报*, 2012(6): 1951-1959.
- [44] Bruse M. ENVI-met website[OL]. 2004. <http://www.envimet.com>.
- [45] 孙欣. 城市中心区热环境与空间形态耦合研究[D]. 东南大学, 2015.
- [46] Buccolieri R, Sandberg M, Di Sabatino S. City Breathability and Its Link to Pollutant Concentration Distribution within Urban-like Geometries[J]. *Atmospheric Environment*, 2010, 44(15): 1894-1903.
- [47] Lee P J, Kang J. Effect of Height-to-Width Ratio on the Sound Propagation in Urban Streets[J]. *Acta Acustica United with Acustica*, 2015, 101(1): 73-87.
- [48] Haggett P. Locational Analysis in Human Geography[J]. Edward Arnold Ltd, 1997: 309.
- [49] Richardson H W. The Economics of Urban Size Lexington[M]. Farnborough and Lexington, Mass, 1973.
- [50] Stoddart D R. Growth and Structure of Geography Institute of British Geographer. 1967.
- [51] Lee D R, Sallee G T. A Method of Measuring Shape[J]. *Geographical Review*, 1970, 60(14): 555-563.
- [52] 克里斯托弗·亚历山大. 城市并非树形[J]. *建筑师*, 1985, 24(11): 206-224.
- [53] Haggett P, Chorley R J. Network Analysis in Geography[M]. London: Edward Arnold, 1969.
- [54] 段进, 比尔·希利, 等. 空间句法与城市规划[M]. 南京: 东南大学出版社, 2007.
- [55] 牛强. 城市规划GIS技术应用指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [56] 王建国. 基于城市设计的大尺度城市空间形态研究[J]. *中国科学: 技术科学*, 2009(5): 830-839.
- [57] Psarra S, Kickert C, Pluviano A. Paradigm Lost: Industrial and Post-industrial Detroit—An Analysis of the Street Network and Its Social and Economic Dimensions from 1796 to the Present[J]. *Urban Design International*, 2013, 18(4): 257-281.
- [58] Ferdous F. The Spatial Analysis and Morphological Evolution of the ‘Bazaar Streets’ and Urban Structure of Dhaka City[J]. *Urban Design International*, 2012, 17(3): 206-220.
- [59] 杨一帆, 邓东, 肖礼军, 等. 大尺度城市设计定量方法与技术初探——以“苏州市总体城市设计”为例[J]. *城市规划*, 2010(5): 88-91.
- [60] 苑思楠. 城市街道网络空间形态定量分析[D]. 天津大学, 2012.
- [61] Marshall S. Streets and Patterns[M]. Routledge, 2004.
- [62] 肖扬, Alain Chiaradia, 宋小冬. 空间句法在城市规划中应用的局限性及改善和扩展途径[J]. *城市规划学刊*, 2014(5): 32-38.
- [63] 张晓瑞, 程志刚, 白艳. 空间句法研究进展与展望[J]. *地理与地理信息科学*, 2014, 30(3): 82-87.
- [64] Lynch K. Good City Form[M]. MIT Press, 1984.
- [65] 杨大伟, 黄薇, 段汉明. 基于元胞自动机模型的城市历史文化街区的仿真[J]. *西安工业大学学报*, 2009, 29(1): 79-83.
- [66] 关美宝, 申悦, 赵莹, 等. 时间地理学研究中的GIS方法: 人类行为模式的地理计算与地理可视化[J]. *国际城市规划*, 2010, 25(6): 18-26.
- [67] 萧世珩, 于洪波, 陈洁. 基于GIS的物质—虚拟混合空间中个体活动与互动的时空地理学研究[J]. *国际城市规划*, 2010, 25(6): 27-35.

(本文编辑: 秦潇雨)