全数字化城市设计的理论范式探索

Exploration on Theoretical Paradigm of All-digital Urban Design

杨俊宴
Yang Junyan

摘要: 数字化城市设计为城市规划学科提供了令人振奋的机遇, 也向城市设计的理论建构与实践应用提出了新的命题。信息时代的城市设计, 各类空间相关的基础信息都存在于异构的各种数据系统中, 且具有多时态、多坐标、多量纲和多格式等特征, 不利于进行数据协同和深度设计挖掘, 迫切需要将多源大数据整合于统一规范的空间平台, 协同分析城市发展规律。本文在多源大数据的基础上, 阐述了全数字化城市设计的概念。通过构建全数字化城市设计框架, 研究全数字化城市设计的工作方法——基础性工作包含采集、调研、集成; 核心性工作包含分析、设计与表达; 实施性工作包含报建、管理与监测。据此可建立基于全数字化流程的城市设计理想范式, 以适应不同城市的实践应用。

Abstract: Digital urban design provides exciting opportunities for urban planning disciplines. It also puts forward a new proposition to theoretical construction and practical application of urban design. All kinds of basic spatial information in urban design are present in various isometric information systems, and have characteristics of multi-temporal, multi-coordinate, multi-dimension and multi-format. This is not conducive to data collaboration and design mining. Therefore, it is very urgent to unify multiple big data in space platform to help analyze the laws of city. This article is based on multiple big data and elaborates the concept of all-digital urban design. Through the construction of an all-digital urban design frame and the studies on the working method of all-digital urban design, we have come to the conclusion that the basic works of all-digital urban design include collection, investigation and integration, core works include analysis, design and expression, implementation works include application, management and monitoring. The significance of this paper is to establish the ideal paradigm of urban design based on all-digital process to adapt to the practices of different cities.

关键词: 全数字化; 城市设计; 理论范式; 多源大数据

Keywords: All-digitization; Urban Design; Theoretical Paradigm; Multi Big Data

作者: 杨俊宴, 东南大学建筑学院教授, 博导; 中国城市规划学会学术工作委员会委员, 城市设计学术委员会委员。yjy-2@163.com

引言: 城市设计的数字化趋势

在当下全球化和信息化的时代语境中, 城市空间的内涵与形态正在发生日新月异的变革, 通过传统的城市设计方法对城市空间进行整合和谋划变得越来越力不从心。城市设计在数字技术的推动下, 应对城市这一复杂巨系统的新需求, 做出方方面面的变革, 从而获得新生。国际城市设计学界和业界在百年的演进脉络中, 也逐渐出现新一代城市设计的趋势, 以数字化的人机互动为核心特征, 被称为“第四代城市设计”^[1]。

数字化城市设计为城市规划学科提供了令人振奋的机遇, 也向城市设计的理论建构与实践应用提出了新的命题。一方面, 数字技术的发展必将导致传统的城市设计在理论、方法、内容等各方面发生变化, 使之成为适应信息时代需要的“全数字化城市设计”, 城市设计将如何发展? 规划师在城市设计实践中的角色会发生如何的变化? 另一方面, 城市设计在接受数字化技术全面介入的过程中, 数据和信息如何为数字化城市设计的实现提供必要的技术支持? 这些问题都需要我们扎根于城市发展的实践问题, 探讨城市设计的发展目标。中国城镇化进程在取得巨大成就的同时, 也出现了种种令人关注的问题, 包括整体空间结构与形态的无序、城市空间增长边界紊乱、城市山水格局破坏、人的实际感知和真实生活体验品质不高等, 尤其在当前“降速—提质”转型过程中, 应对民众追求美好生活的追求, 对于空间形态的品质和特色提出了更高的要求。城市设计从上帝视角转向蚂蚁视角, 其数字化转型趋势受到越来越多的学者关注。孙钊等学者对三维数字技术在城市规划中的应用进行简要总结, 重点分析如何运用三维数字技术辅助城市设计, 并结合实践, 介绍基于三维数字技术城市设计的工作方法^[2]。黄烨勃、孙一民也对微观尺度的城市设计的量化, 提供了具有一定数字化意味的方法支撑——街区适宜尺度的判定特征及量化指标^[3]。

洪成与杨阳对于城市设计中的主要技术平台——GIS，将承担起多种技术、多种软件平台、多来源信息、多个工作阶段相互整合的重要作用^[4]。曹哲静与龙瀛对于数据自适应城市设计的基本概念和基本流程进行了详细的讲解，并且将长期的规划设计评估转换为短周期的空间反馈与空间干预^[5]。

既有研究分别从技术或实践层面探讨了城市设计的数字化技术，在数字技术介入城市设计的过程中，不仅要关注技术层面的不断拓展创新，以及因此带来的城市设计工作在效率和内容的提升，也要关注由于数字技术的介入使得城市设计整体方法论变化的趋势，这种整体性趋势主要体现在以下方面：

(1) 全流程的整体介入。改变只在专题分析等单一阶段切入城市设计的模式局限。数字化技术应该是贯穿于城市设计的整体过程，这样才能真正实现城市设计全流程的可评价、可量化、可分解。

(2) 全尺度的综合判断。数字化技术全面融入城市设计并不是唯技术论，而是有重大实际价值的城市设计方法优化，可以打破各种尺度空间的信息壁垒，使之在统一的数字化平台上实现全尺度设计，有效提高了城市设计的效率，并为设计提供了更多元的价值判断视角。

(3) 精准交互的跨学科转译，传统的城市设计方法难免局限于规划、建筑和景观的学科思维内，其成果语境缺乏跨学科的包容性和开放度，通过数字化的技术手段不仅促进了规划学

科与其他更广泛学科的积极互动，也为其他学科提供了新的精准对接途径。同时，大量相关学科诸如文化、社会、历史、生态等诸多以往定性模糊分析领域也有相当一部分可以通过数字化手段实现数理模型化与可视化，无缝纳入城市设计对接范畴。

在理论思考的基础上，笔者尝试总结新世纪以来承担的上海、南京、杭州、郑州、芜湖、蚌埠等不同类型城市的城市设计实践，对全数字化城市设计的相关技术手段予以应用和验证，改变以往城市设计数字化技术应用往往缺乏大量有效实际数据和足够成果检验的问题。在总结实践反馈的同时，探索数字化城市设计全流程的理论范式。

1 全数字化城市设计的框架建构

全数字化城市设计源于信息时代丰富的多类型大数据涌现，“万物皆数”为城市设计的底层架构提供了坚实的基础。我们将数字化城市设计的技术轮廓按照工作流程概括为三个主要类型——基础性工作、核心性工作和实施性工作，其中基础性工作包括数字化采集、数字化调研、数字化集成；核心性工作包括数字化分析、数字化设计、数字化表达；实施性工作包括数字化报建、数字化管理、数字化监测。在城市设计的全过程进行数字化提升，实现了数字化技术对于城市设计全过程的整体覆盖，并以此构建了全数字化城市设计的技术谱系（图1）。

图1 数字化城市设计全流程图

全数字化城市设计的基础性工作包括：采集流程的数字化方式包括建筑空间抓取技术、高清遥感影像技术、高程、等高线抓取技术等，其传统方式为人工实地采集、测绘；调研流程的数字化方式包括 GPS 定位技术、天空可视域技术、延时摄影技术，其传统方式为人工问卷调查、访谈；集成流程的数字化方式包括格式、量纲、坐标系、集成平台和手机信令在建筑面积的分配，其传统方式为人工数据汇总、纸质资料收集。

全数字化城市设计的核心性工作包括：分析流程的数字化方式包括中心体系技术、眺望体系技术、手机信令大数据技术、业态 POI 大数据技术等，其传统方式为专题分析；设计流程的数字化方式包括空间特色技术、空间原型技术、虚实骨架技术、多情景分析技术、多因子叠加技术、参数化平台技术等，其传统方式为草图控制；表达流程的数字化方式包括全息图技术、三维建模技术、场景渲染技术、动态表达技术，其传统方式为计算机表现、实体模型建构。

全数字化城市设计的实施性工作包括：报建流程的数字化方式包括多尺度空间沙盘技术、多方案比选技术等，其传统方式为传统报建模式；管理流程的数字化方式包括形态分区技术、高度控制技术、强度控制技术、密度控制技术、导则技术、特色意图区划定技术、项目化技术等，其传统方式为多部门管理；监测流程的数字化方式包括限制性因素审核技术、公众参与技术等，其传统方式为人工监测模式。

2 全数字化城市设计的基础性工作：采集、调研、集成

2.1 数字化采集

数字化采集指通过数字化技术，对城市空间的数据（如建筑、道路、山体、水系等）进行计算机全自动或半自动抓

取的方法。常见的此类采集技术包括建筑空间抓取技术、高清遥感影像技术、高程等高线抓取技术、物理环境数据抓取技术等。基于数字化的城市基础数据采集技术不仅可以在较短时间内获取城市基础空间数据和相关资料的一手资料，还可保证数据的时效性。与传统数据采集相比，数字化采集具有用时短、精度高、采集面广、即时更新等显著优点，同时极大程度弥补了传统人工采集导致的数据误差、坐标偏离、更新周期长等问题。数字化采集在城市设计实际工作中的应用首先是城市空间基础数据的采集，此类数据通常包括城市建筑、道路、山体、水系等类型，如通过高程抓取技术获取山体的三维模型数据形成数字高程模型（DEM: Digital Elevation Model）^①实现对地面地形的数字化模拟。又如城市空间环境数据的采集，此类数据通常包括风、声、热等物理环境，主要以现场实测数据和物理环境模拟（如 Cadna/Ecotect 等软件）相结合的方式获取城市的物理环境资料，为城市设计中的物理环境优化提供依据（图 2）。

以等高线抓取技术为例解析数字化采集的工作流程。首先进入地理空间数据云并下载 DEM 高程数据，并将 IMG 格式的栅格数据导入 ArcMap 中^②。然后将栅格数据进行等值分析，从而得出地形的等值线，其中包含了数据的镶嵌、裁剪及提取三个核心性工作。最后将数据导出 DWG 得到所需的地形等高线数据，可进行矢量化模拟。当然，若需要得到地形的三维可视化表达，也可将得到的等高线数据导入 Arcscene 进行栅格表面浮动，从而得到理想的可视化效果。

等高线数据的采集在城市设计实际工作中有着广泛的应用。不仅能够对地块地形有更深入、更直观的了解，亦能辅助于城市设计的各个阶段，例如模型的构建、设计结合地形推敲方案、城市山水格局等自然环境的分析、城市视廊际

图 2 数字化采集的技术类型

资料来源：作者绘制

① 数字高程模型是用一组有序数值阵列形式表示地面高程的一种实体地面模型，从而得到包括高程在内的各种地貌因子，如坡度、坡向、坡度变化率等因子在内的线性和非线性组合的空间分布。

② 值得注意的是，研究范围若跨越多个数据边界需全部下载自行拼接。

线的控制等等,最大限度地保证城市设计与自然地形的有机结合。例如在某城市设计中,通过等高线的抓取并建立三维数据库定量分析发现,该城市的地形很有特色,城市整体上平坦没有特别大的地形起伏,也没有很高的山,但有很密集的点团状山丘和小型下凹地形(图3)。基于这一发现,城市设计在对山体和水面分形分析基础上,提出“千湖点丘”作为城市空间特色,未来的城市空间形态围绕精致山水组团格局展开。这不仅契合该城市自身的特点,也为城市未来的发展方向提出了新的可能性。

2.2 数字化调研

数字化调研指通过互联网、无人机、倾斜摄影机、激光雷达设备、延时摄影机等数字化设备,在实地调研过程中对

图3 基于等高线抓取技术的山地三维效果图

城市空间进行现场数字化记录的方法。常见的此类调研技术包括GPS定位技术、网络问卷技术、无人机航拍技术、360度全景技术、倾斜摄影建模技术、天空可视域技术、延时摄影技术等。在实地调研过程中,数字化调研技术能辅助调研者获取和记录更多的调研感受,从鸟瞰视角、人眼视角、环形视角、仰视视角等不同角度强化人对空间的感知,将调研场所的空间特质更加完整、具象地记录下来,从而弥补传统调研手绘记录所造成的细节丢失、感知范围小、标准不统一等缺陷。同时,通过数字化调研采集的现场数据,更便于设计者进行二次整理。数字化调研在城市设计实地调研中的应用首先是数字化定位技术,通过GPS基站定位或手机导航定位,能够获得更加精准的空间定位;其次是互联网问卷技术的应用,不仅极大缩减传统问卷发放所用的时间,同时通过网络问卷的统计,在实地调研中更具有目的性和针对性;最后是三维摄取技术,灵活运用多种拍摄设备,一方面从不同视角包括VR全景来感知城市空间,另一方面运用不同摄取技术调研城市空间的详细三维形态、街景空间细节、不同时间的活动特征等问题(表1)。

以GPS定位技术为例,解析数字化调研的工作流程。首先是基站点的选取,通常选取临近设计基地范围的较为开阔地段设立GPS信号基站,以获得准确的GPS定位。其次是定位定点,通常会将设计地块进行栅格化处理,对每个栅格的交点进行GPS定位,并记录调研观测的数据,可以采

表1 数字化调研的技术类型

<p>3.1 GPS 定点评价技术</p> <p>GPS 定位调研: 通过设立现场GPS定位基站,通过多个终端设备的接收定位波获取高精度定位的技术,尤其适用于大规模湖泊水面</p>	<p>网络问卷调研: 通过微信、微博等网络平台发放调研问卷,予以一定的奖励,亦可寻求问卷公司发放网络问卷</p>	<p>无人机+倾斜摄影航拍调研: 通过携带高清摄像头、倾斜摄影多镜头或红外遥感摄像头的无人机,对城市空间进行大面积航拍、建模的技术</p>
<p>360度全景调研: 基于配有360度全景摄像头的相机对周边环境进行360度全方位拍摄,模拟人眼观看形成VR全景图 其他数字化调研例如噪声实地测取技术等</p>	<p>天空可视域测度调研: 基于配有广角鱼镜头的相机对城市天空进行拍摄,以分析天空在拍摄点的可视范围</p>	<p>延时摄影调研: 通过单反的延时摄影功能,对某处城市特色空间场所进行长时间摄影而获取的人流动态活动规律</p>

用拍照、手绘记录、空间注记等多种方式。最后将调研数据进行计算机汇总及整理,在GIS中对每个GPS点数据赋值,生成渐变的火山图。

GPS定位技术最大的优势在于调研坐标的精确定位,辅以多种数字化方法,达到精确调研的目的。尤其在大型河湖水面、旷野郊外、丘陵山区等不易以标志物定位的地区,通过GPS定位技术可以精确确定观测点位置,并对整个空旷地段进行网格化图像获取,最后将各点图像及各点坐标输入计算机进行链接,可以获得精确而完整的场地内各点的空间信息。如某城市滨水空间城市设计中(图4)^[6],将湖面进行栅格化,以250m为基本单元进行纵横向划分,网格交汇点为子视点并编号,以手摇船为代步工具,运用GPS定位系统确定每一个水面视点的准确湖面位置,各视点均以滨水的两处标志性塔楼为界,环拍水面观测到的城市景观。最终得到湖面有效全景照片130张。然后对每一子视点所观察到的城市滨水立面进行评价,再将子视点坐标、编号及分数一并输入计算机进行综合计算,运用等视线划分技术进行等高线的立体生成,从而得到三维分值图像,并与地形图叠合,最终得到该湖泊及沿湖堤岸各景观点看城市景观的综合评价图。

综合统计

综合统计是将堤岸部分和湖面部分的计分点分值统一合并输入到计算机中进行综合计算,进行等高线的立体生成,从而得到三维分值图像,与地形图叠合。最终得出西湖及沿湖堤岸各景观点看西湖东岸城市景观的综合评价图

计算机等高线生成图

等高线生成过程演示

2.3 数字化集成

数字化集成指不同量纲、坐标、单位、格式的数据进行集成处理,得到统一的可用以城市设计的时空数据,通常包含格式集成、量纲集成、坐标转换、集成平台等工作方法。通过调研和采集而来的各种数字化数据通常存在量纲、格式、纬度等多方面的差异性,通过数字化集成可将这些数据以某一量纲或是格式为基准,进行多种数据的融合处理,从而得到统一化的数据,便于多源数据的交叠分析。与传统人工进行多源数据集成分析不同,数字化集成更具科学性、系统性、精确性,有效避免了人工判断所带来的误差,同时提高了数据来源的广度与深度,为更多源的数据集成提供了可能性及可行性(图5)。

以手机信令数据和空间单元数据的量纲转译集成为例,解析数字化集成的工作流程^①。首先按照分析需求对原始手机信令数据进行数据时间的选取,并进行初步的数据采集提取。其次对提取的数据进行清洗处理,并将清洗后的数据以统一的坐标系导入ArcGIS。最后利用Thiessen多边形将静态数据与用地—建筑为基本单元的空间形态数据进行叠合,其中包含了计算每个基站服务的信令小区范围、计算手机用户密度、将Thiessen多边形与城市用地地块、建筑形态图层关

图4 基于GPS定位技术的滨水空间望城景观评价图

① 手机信令大数据是一种集空间坐标、时间轴、用户信息为一体的数据类型,此处以手机信令静态坐标数据与城市空间单元两种不同量纲数据的集成为例。

联叠加、统计叠加后的空间碎片的三维活动空间总面积、将统计好手机用户总数的用地地块与原始空间数据库进行关联等几个关键步骤，经过现场校核，和实际密度的匹配度打到88%以上。

通过量纲集成技术, 可以将不同量纲的数据转译为同一种数据语境并加以分析, 实现了城市不同维度数据统一分析的可能性。例如, 在某城市城市设计中(图 6, 图 7), 将手机信令数据叠合到城市空间用地中, 发现人群的分布在空间上呈现明显的分布特征, 同时不同时段人群在空间上的分布也各不相同。以此为基础, 将不同时段人群集中区对应到用地功能, 得出城市人群活动在不同时段的公共空间及资源的需求, 从而对城市用地功能及配套设施进行优化; 另一方面可以得到上下班高峰期人群的出行规律, 从而为城市公共服务设施的配置、公共交通的优化及道路的调整提供设计依据。

3 全数字化城市设计的核心性工作：分析、设计与表达

3.1 数字化分析

数字化分析指通过数字化软件、技术及分析体系对城市空间、格局、景观、人文、环境等一系列要素进行模拟及分析。

数字化分析方法大致包含五种类型：第一类为都市分析类，包括中心体系分析、眺望体系分析、地标门户分析、景观互动分析等；第二类为景观分析类，包括山水格局分析、生境网络分析、绿地匹配分析等；第三类为人文分析类，包括历史地图分析、历史资源包络分析、空间演替分析、建筑谱系分析等；第四类为物理环境分析类，包括热环境分析、风环境分析、噪声环境分析等；第五类为大数据分析类，包括手机信令大数据分析、业态 POI 大数据分析、词频语义大数据分析、街景照片大数据分析等（表 2）。

数字化分析技术弥补了传统城市设计分析以人工判断为主观性强、缺乏科学依据的不足,呈现出数据面广、分析更为精准、结论更为客观等特征优势。基于数字化的分析技术不仅可揭示出空间形态背后的规律,还可规避主观定性判断导致城市设计分析与实际情况相脱节的问题,提高设计师对城市问题研判的准确性、时效性、客观性及可操作性。

数字化分析在实践中的应用首先是对城市物质空间的各项判断,包含城市都市、山水及人文三大层面。如历史资源包络分析技术,通过将历史文保单位通过包络线进行联系,分析资源点之间的关联度,进而将城市空间划分为不同层级的关联片区,为历史资源评价的科学理性分析提供了可能性。

图 5 数字化集成的技术类型

图6 人群三维空间活动图

图 7 手机信令与空间单元叠合图

表 2 数字化分析的技术类型

<p>中心体系分析：</p> <p>对城市不同等级、不同类型的职能中心进行分类与分级，比较中心在空间中的布局规律及中心之间的体系关系</p>	<p>眺望体系分析：</p> <p>标出城市中观景点与景观点的坐标，并将其有选择地连成眺望视廊，形成城市景观眺望体系</p>	<p>景观互动分析：</p> <p>通过计算机对“观”与“景”进行关联与评估，获取“观—景”等视线划分的分析成果^[6]</p>
<p>山水格局分析：</p> <p>将城市的山体、水系等自然元素进行抽离，单独分析其格局形胜，挖掘形态特色</p>	<p>生境网络分析：</p> <p>通过城市地形、城市建筑与道路、城市山水等不同要素的叠加，分析城市自然本地的技术</p>	<p>绿地分析：</p> <p>通过 Arcgis 分析绿地与城市各项指标的关联性，通常包含绿化覆盖面积、公园绿地匹配度、绿地与居住区耦合度等相关内容</p>
<p>历史地图分析：</p> <p>通过古籍查阅城市不同朝代的城市平面图，对比研究城市扩张与发展的历程，找出城市未来的生长方向</p>	<p>历史资源包络分析：</p> <p>指城市空间中各级历史文保单位两两联系，线条的颜色及粗细代表联系的强弱</p>	<p>空间演替分析：</p> <p>在历史地图的基础上，对城市不同年代的空间布局进行抽象化表达，进而比较其空间布局的演替发展规律</p>
<p>热环境分析：</p> <p>通过 ecotect 等热环境模拟软件，结合设计地块三维模型，对地块的热环境进行模拟，得出冷热岛分布规律</p>	<p>风环境分析：</p> <p>通过 Cadna/A 等风环境模拟软件，结合设计地块三维模型，对地块的流体进行模拟，得出风廊道分布规律</p>	<p>噪声环境分析：</p> <p>通过 Cadna/A 等声环境模拟软件，结合设计地块三维模型，对地块的噪声进行模拟，得出宁静区、嘈杂区分布规律</p>

<p>手机信令大数据分析：</p> <p>分为静态与动态两类，静态一般包含以基站为基本单元，各个时段的手机用户数量的txt文件，动态手机信令一般指的是OD数据，包含各用户为基本单元在不同时间段的起始空间位置记录数据</p> <p>其他数字化分析例如词频语义大数据技术等</p>	<p>业态POI大数据分析：</p> <p>即通过相关软件采集并整合处理而得的海量城市业态坐标数据及空间分布的数据资料，资料的内容包含所有业态点的地理坐标、业态名称、关键词等相关信息</p>	<p>街景照片大数据分析：</p> <p>基于城市街景图像大数据，通过机器深度学习的人工智能技术对所采集到的图片数据进行智能的分割识别和占比等指标的计算。可以基于街景图片识别技术对城市空间进行更加人本层面的解读</p>

其次是对城市物理环境的分析判断。如噪声环境分析技术，以现场噪声数据实测和噪声模拟软件 Cadna/A 软件相结合的方式对城市噪声环境进行模拟，开展以城市空间为主体的不同尺度、不同类型的模拟研究，使用模拟噪声数据与实测采样数据比照，提高噪声模拟的准确性，构建城市三维噪声地图，为城市微气候优化提供依据。同时，大数据也在分析实践中有着广泛应用。例如词频语义分析技术，通过采集获取并整合处理而得的城市中各个特色要素在互联网搜索引擎中作为关键词的搜索量集合而成的大数据资料，通过百度词频大数据可以探寻城市中各特色要素在网络中的搜索热度，构建城市意象的认知体系。

以声环境分析技术为例，解析数字化分析的工作流程。城市中声环境影响最大的是交通噪声，城市声环境模拟分析技术即通过对城市噪声进行实测和模拟，对城市中噪声敏感区进行声学仿真。首先是空间格栅样本点的现状实测数据，并将实测数据与模拟数据进行校核。其次，将实测数据进行整理并录入至 Cadna/A 软件中，在输入建筑、道路、轨道、三维视角等一系列参数后，对地块进行整体的噪声环境模拟计算。最后依据国家及各城市噪音控制标准划分噪声分区。通过声环境的模拟分析，能够对整个设计地块的噪声值分布有更加直观、清晰的了解，进而在设计过程中辅助对地块环境进行空间优化，营造交通宁静区、控制交通嘈杂区。同时也能通过对设计方案的声环境模拟来客观评判，进而优化调整。例如在某城市火车站地区城市设计中（图8），对地块声环境进行模拟分析以划分声环境强弱分区，发现大量线形空间廊道的平均噪声分贝明显高于正常标准，严重影响了周边居民的正常生活。基于这一现象，在方案设计中通过场地环境的再设计、隔音墙的布置、沿街植被的选取等一系列手段，有目的地降低轨道交通对周边环境的影响。接着将设计

图8 城市设计方案噪声模拟及修改反馈

方案输入声环境分析软件，进一步验证方案能否削弱噪声，发现第一轮的方案没有取得良好的效果，在此基础上对方案进行调整，对关键街区的建筑体量、形态排布、沿街绿地宽度、绿化覆盖率等一系列指标进行调整。通过多轮验证修改，将交通噪声对城市空间的影响降到最低。

3.2 数字化设计

数字化设计指通过建立完整的数字化技术方法对城市空间的结构框架和三维形态进行设计，通常包含空间特色判定、空间原型分析、虚实骨架建构、多元情景分析、因子叠加模型布局、参数化设计平台等（表3）。数字化设计最显著的特征是在设计各个环节建立完整的逻辑框架，以指导后续的设计工作，相比传统设计方法具有指导性更强、逻辑性更缜密、体系更完整等特征优势。以空间原型为例，城市空间原型是将城市空间形态在全球城市空间数据库的基础上进行分析计算，找出构成本城市形态的最核心要素，进而将其拓朴演绎为高度抽象的数理模型。在此基础上，对同一城市不同

时期的空间形态进行比较,可以得到城市在生长过程中空间原型控制下的演替规律,以此为城市未来发展提供参考。不仅可揭示城市拓展现象背后的规律,还可降低主观判断导致方向判断错误的几率,促使城市设计朝着更客观严谨的方向发展。

以空间原型分析为例,解析数字化设计的工作流程。空间原型即城市的基本空间形态模式,以平原型城市为例,首先采集国际上典型平原型城市空间大数据,建立该类型的空间谱系,解构其空间形态的构成模式,并进行拓扑抽象分析,得出空间原型的基本类型,大致可以分为多中心空间模式、格网棋盘街坊式、环形圈层放射式及轴线关联式等。接着分析每一种空间形态模式的特点、优势、不足及适用条件。最后,对所设计的城市空间进行结构分析和多情景模拟,评估不同的空间原型在该城市发展的可能性,并进行对比分析,找出最适合该城市的空间原型。

该技术可以辅助设计者了解国内外与设计地块相似的城市空间形态模式,全面解析不同城市原型对城市带来的利弊及影响,并以此为基础进行多情景模拟,通过不同类空间原型的极化方案比选,找出适合设计地块的空间形态原型。例

如在某总体城市设计中(图9)^[7],发现该城市面临着城市空间的“平凡”、城市拓展的“平铺”以及城市特色的“平淡”,针对这些问题,同时基于对该城市水系、铁路、道路、组团等既定要素的整合分析,建构平原型城市的空间原型对该城市总体空间形态进行4种情景模拟。结果发现,该城市若采用中轴对称式形态,则是一种轴向展开的核心空间功能片区布局模式;若采用主副轴模式形态,则是一种统领有力的

图9 城市空间原型多情景比较图

表3 数字化设计的技术类型

<p>空间特色判定: 通过构建空间特色谱系,建立一套完整的城市空间特色设计方法,通常包含山水特色、城市特色、人文特色三大方面</p>	<p>巨型城市空间原型归纳</p> <p>空间原型分析: 将城市的空间形态进行整理和归纳,找出构成城市形态的基本要素,进而将其演绎为简单的数理模型</p>	<p>虚实骨架建构: 包含城市的实骨架与虚骨架两个部分,是构成城市结构的核心要素。通畅实骨架是城市的都市要素构成,虚骨架由水绿要素构成</p>
<p>多元情景分析: 设计过程中结合不同情景设计不同的方案,最终通过必选和讨论得出最终方案</p>	<p>多因子叠加模型: 将构成城市形态、功能、结构的不同因子进行叠加,结合权重辅助与设计过程</p>	<p>参数化设计平台: 将城市中某一类型的不同物质空间要素转译为参数,并通过参数化平台正和到同一张地图中,形成这一类型的全息图</p>

其他数字化设计例如多体系叠合技术等

的主副串联空间结构；若采用中心放射式形态，则是一种特色鲜明的环形放射空间格局；若采用组团连接式形态，则是一种功能明确的特色空间板块发展态势。综合考虑以上 4 种情景模式的特征及优劣势，基于对城市现状空间问题的回应以及对城市发展战略目标的统筹考虑，确定该城市总体城市空间结构为“以主副轴为主格局，兼顾组团式发展”的模式，对该城市的空间形态起到了整体性的支撑作用。

3.3 数字化表达

数字化表达指运用全息交互、VR 虚拟现实等技术方法，多向互动地展现设计成果的表达式，通常分为静态、动态和交互表达技术。静态表达包含全息图展示、场景渲染展示等；动态表达包含多媒体动画展示、动态结构展示、VR 交互展示等。数字化表达通常运用在设计成果展示阶段，展示对象往往是非专业人士，相比于草图勾勒、图纸文本展示等传统表达方式，运用上述多种数字化表达技术，可清晰直观地表达设计师的意图，亦可最大限度使公众了解城市设计成果，辅助决策判断。如 VR 交互技术运用 360 度全景可视，模拟人眼视角观察设计地块的全景，使人能够最直观地感受地块的内部场景，以期达到使人身临其境的目的，进而可以在真实场景中进行即时交互的设计修改，使得城市设计优化

过程非常直观（表 4）。

以手机信令 OD 大数据交互平台展示为例，解析数字化表达的工作流程（图 10）。首先对原始数据进行清洗，处理为能够转移成动态表达的数据模式，一方面针对每位用户，根据其一天 24 小时内的记录，提取用户驻留点；另一方面对每位用户的驻留点，根据时域相邻进行两两组合，生成

原始信令数据格式：

用户 id	时间	基站编号	手机号归属地	记录有效性标志
9fd526	20151109083215	1234	25	1
9fd526	20151109100215	1536	25	1
.....				

1. 驻留点识别：筛选出连续两条记录时间间隔大于某阈值（如 15 分钟）的记录

用户 id	街区	到达该街区的时间	离开该街区的时间
9fd526	1481	20151109085212	20151109093536
9fd526	2191	20151109100232	20151109154208
.....			

2. 生成 OD 链

用户 id	目的地街区 id	到达目的地时间	出发地街区 id	离开出发地时间
9fd526	2191	20151109100232	1481	20151109093536
9fd526	2502	20151109154208	2191	20151109100232
.....				

图 10 原始信令数据生成 OD 数据

表 4 数字化表达的技术类型

<p>全息图展示： 运用数据迭代的方式，对同一体系下的所有数字化分析成果进行集成化表达</p>	<p>三维建模展示： 对城市建筑、道路等基础数据运用 CAD、Arcgis 等软件进行三维立体建模，模拟城市建成环境</p>	<p>场景渲染展示： 运用 Photoshop、3DMAX 等软件，对城市空间进行场景渲染，使场景更加真实、美观的一种表达技术</p>
<p>交互平台展示： 运用数据交互可视化平台，将研究成果进行动态交互展示的表达式</p>	<p>动态结构展示： 将某一时间维度内不同时段的城市结构图进行堆叠，动态展示结构变化过程</p>	<p>VR 交互设计展示： 运用 360 度场景技术，模拟人眼视角观察设计地块全景，并进行交互修改空间形态，使人直观感受真实景观的表达方式</p>
其他数字化表达例如 AR 技术等		

OD 对。然后根据所有用户的 OD 对,生成 OD 矩阵数据,最后建构后台数据库并打开前端交互可视化系统,即可进行交互动态展示。

交互平台技术是表达设计意图及最终成果的最普适、直观的方法,能帮助非城市规划专业的其他人员在短时间内了解设计师的意图,加深对方案的认识及认同感。如在某城市设计的成果表达阶段,通过直观可视化的交互平台来展示城市人群动态分布的一般规律(图 11)。使用者选取要查看的时段;再点击设计范围内任意街区,可即时查看该街区在此时段内的人群流入情况;亦可点击左下角流出模式,查看这个街区在此时段内的人群流出状态。这使原本复杂的人群活动规律变得简单易懂并具有操作性,决策者可根据自己的需要点击不同的时段、地块来观察人群多动信息,最终获得了完整的感受。

4 全数字化城市设计的实施性工作:报建、管理与监测

全数字化城市设计的实施性工作包含城市设计过程式参与、城市设计数字化监测与管控、城市设计辅助决策、城市

图 11 信令数据 OD 数据交互平台

设计数字化报建、城市设计空间基础沙盘、城市设计基础大数据可视化、城市设计数字化智能评估等大量纷繁复杂的内容,它们是城市设计成果得以实现的关键。

4.1 数字化报建

数字化报建指通过城市设计的数字化管理平台,设计单位或其代理机构将城市设计项目向当地规划行政主管部门或其授权机构进行报建的工作方法。通过构建完整的空间形态谱系,将城市设计成果蓝图无损转译为数字化标准和规则,在多尺度空间沙盘基础上,既可以单个设计方案的数字化审查,也可以多设计方案进行评估比选。数字化报建与一般城市设计管理最大的不同在于,数字化报建是基于网络数字化管理平台的一种报建方式,实现设计数据共享,打破设计成果信息孤岛的问题,增强各部门之间协作沟通,极大提高了报建审批的效率(图 12)。

以多尺度空间沙盘技术为例,解析数字化报建的工作流程。该工作的核心是通过城市设计数字化谱系分解,将城市设计三维空间形态建构为多尺度、多精度的城市空间沙盘,与自然山水骨架相叠合,帮助管理者对设计方案的审查。例如在某城市设计的成果报建阶段,将设计成果融入城市空间沙盘,从总体宏观尺度、片区级中观尺度及街道级微观尺度等多个尺度展示设计的核心成果(图 13)。总体尺度的城市沙盘是将城市整体建模作为三维底图,叠加结构性要素、边界性要素(水系、行政边界等)以及道路结构,以构成宏观的城市沙盘;片区级空间沙盘是将某个片区数字化建模作为三维底图,并在上面叠加轴线、廊道、功能分区等系列要素,以构成中观尺度空间沙盘;街道级城市沙盘是将某街道进行数字化建模并作为底图,在上面叠加三维建筑群落组合、特色意图区及空间性要素,以构成微观尺度空间沙盘。通过多

图 12 数字化报建的技术类型

尺度城市沙盘的构建，不仅便于城市决策者对方案进行审查及评估，也便于接手后续工作的城市设计单位获取相关数据进行进一步设计。

4.2 数字化管理

数字化管理指运用城市设计的数字化管理平台，对重点地区的三维空间形态等管控指标进行整体控制，达到精细化管理的目的。通常包含空间形态分区、三维图文导则、高度密度控制、城市设计数字化审批、地块数字化技术要点等（表5）。数字化管理最大的特点在于其管理实施的精确性，运用数据集集成将城市设计管控数据形成智能规则群，以精细化的颗粒度保证全尺度空间的三维控制精准度，提高管理效率与

质量。如管理单元导则控制分为街区三维形态控制、地下开发控制、景观风貌控制，开敞空间等部分，对街区空间的沿街立面、道路景观、开放空间布局、建筑组团风格、景观视廊等一系列要素提出针对性控制，并与整体天际轮廓线、城市眺望体系、山水视觉廊道、门户节点三维形象、历史文化保护区观望等大尺度空间的要求无缝衔接，弥补了常规城市设计导则在城市空间品质、街道景观、建筑整体风貌方面控制力薄弱的不足。

以特色意图图区划定为例，解析数字化管理的工作流程。其工作分为两步走，第一步是通过空间形态分区对城市进行切分，切分成若干空间单元；第二步是单元特色评估，得到每个地块的城市设计特色指数，基于分数的高低划定特

图 13 多尺度空间沙盘图

表 5 数字化管理的技术类型

<p>空间形态分区： 以城市空间不同街区的街区形态、肌理等要素为基准，划定城市的形态分区，对不同分区提出不同的形态控制策略</p>	<p>高度分级阈值控制： 以高度作为研究对象对高度划分层级，以此为依据划定城市的高度分区，对不同分区提出不同的建设管控策略</p>	<p>强度分级阈值控制： 以强度作为研究对象对强度划分层级，以此为依据划定城市的强度分区，对不同分区提出不同的建设管控策略</p>
<p>密度分级阈值控制： 以密度作为研究对象对密度划分层级，以此为依据划定城市的密度分区，对不同分区提出不同的建设管控策略</p>	<p>三维城市设计导则： 在传统导则的基础上，结合数字化三维建模对街区的空间形态提出三维立体管控策略</p>	<p>涂色意图图划定： 运用单元赋值评分法，结合城市边界要素、总规控规相关内容以及近期重点规划项目，划定近期管控的重点区域</p>
其他数字化管理例如眺望体系控制技术		

色意图区单元。该方法主要用于城市规划面积较大但是建成度各不相同而需要分级管理的情况。如某城市的城市设计导则编制过程中(图14,图15),发现该城市欠缺空间特色、城市设计成果难以满覆盖到整体建成区,因此通过划定特色意图区作为重点管理单元,在城市重点地块首先进行试点示范。基于数字化平台引入特色要素评估、单元赋值和层次分析法,依据该城市“宜居、宜业、宜游”的整体定位和“东方山水园林城市”的空间特色,将总体城市设

图14 特色意图区划定为重点管理单元

计中的空间骨架和专项体系的各点、线、面要素在GIS中进行落实,构建城市设计要素数据库,将各项要素落实到控规划分的80个管理单元中,并对各项要素进行特色评估和赋值,最终得出各个单元的城市设计特色指数,作为特色意图区划定的依据。将该市各区近期重点建设的策略翻译为成为各项特色要素,结合城市设计特色指数共同形成7个因子,运用SPSS分层次分析特色单元的重要性,最终得出特色意图区的划定结果,进一步升级为重点管理单元全面落实城市设计相关内容。

4.3 数字化监测

数字化监测指运用城市设计数字化管理平台为城市管理部门及社会公众监督管理城市设计实施的一种工作方法。通常包含限制性因素自动审核、公众动态参与及历史性地段分级监测等。对于规划管理部门而言,数字化监测系统能够协助核查城市设计要点,对建设项目进行管控,同时对实施情况进行检测反馈;对于社会公众而言,数字化监测系统是展现城市设计方案的最佳选择,也是众筹收集反馈意见的最佳途径(图16)。

例如在某历史地区的城市设计(图17)中提出,为达

图15 重点管理单元内的城市设计落实

到预防性保护的目标，有效进行历史文化保护的管理和城市设计实施，需要建构针对历史文化要素的动态监测体系。针对该地区文保单位范围大、种类多、破坏因素存在差异、保护与开发情况不同等一系列现状问题，提出了对历史文化点分类监测、对破坏因素分区位监测、将监测扩展至更大背景、

提出重点监测时段的总体策略目标。在此基础上，在全市部署监测点并将监测点划分为一、二、三级，不同监测等级的监测点的保护价值、文物价值、结构风险、材料风险都存在差异性。同时注重重点地段的监测，使用客户端或无线网络定点技术，选择时间点间隔测定文保单位保护范围内人流量，

图 16 数字化监测的技术类型

图 17 历史地段分级监测（左）及人群活动热力度监测（右）
资料来源：参考文献 [8]

统计得到人流量分布,并通过GIS平台形成“人流热力图”,确定游人影响主要时段,在此时段内对人流量进行合理控制。通过该数字化监测方法,不仅提高了历史文化保护区监测的管控质量,更改善了传统监测范围难以全覆盖、监测实施阻碍多难度大的问题。

5 结语

伴随着信息化技术的不断进步,中国城市设计实践也逐渐呈现出精细化、定量化、集成化等新特征趋势,因此探索全数字化城市设计的理论范式,在城市设计的转型与提升中具有重要的现实意义。本文总结笔者过去十年的规划实践与探索总结,将全数字化城市设计的全流程概括为九个环节,有助于推动数字化技术在城市设计中的深层运用,包括集数字化采集、调研、集成为一体的基础性工作;集数字化分析、设计、表达为一体的核心性工作;集数字化报建、管理、监测为一体的实施性工作。

应当看到,在城市设计的项目实践中,新的数字化技术正在不断被开发,而对于数字化城市全流程的系统总结以及理论构建还有待完善和提升。本文构建的全数字化城市设计理论范式是步入新时代的中国城市设计总结与探索,为城市设计的创作与判断提升提供了更科学的“理性沙盘”。同时,全数字化城市设计理论范式是基于实践的总结,所提到的技术类型亟待补充与完善,新的数字化工作方式亦值得进一步探索。**UPI**

注:文中未标注资料来源的图表均为作者绘制。

参考文献

- [1] 王建国.中国城市设计发展和建筑师的专业地位[J].建筑学报,2016(7):146.
- [2] 孙钊,吴志华,熊伟.基于三维数字技术的城市设计研究与应用[J].城市规划学刊,2009(z1):239-241.
- [3] 黄烨勃,孙一民.街区适宜尺度的判定特征及量化指标[J].华南理工大学学报(自然科学版),2012,40(9):131-138.
- [4] 洪成,杨阳.基于GIS的城市设计工作方法探索[J].国际城市规划,2015,30(2):100-106.
- [5] 曹哲静,龙瀛.数据自适应城市设计的方法与实践——以上海衡复历史街区慢行系统设计为例[J].城市规划学刊,2017,(4).
- [6] 赵烨,王建国.滨水区城市景观的评价与控制——以杭州西湖东岸城市景观规划为例[J].城市规划学刊,2014(4):80-87.
- [7] 王建国,杨俊宴.平原型城市总体城市设计的理论与方法研究探索——郑州案例[J].城市规划,2017,41(5):9-19.
- [8] 京杭大运河杭州段两岸城市景观提升工程[R].东南大学城市规划设计研究院,2015.

(本文编辑:许玫)