

# 数字技术方法在现代城市设计中的应用\*

## Application of Digital Techniques in Modern Urban Design

王建国<sup>1</sup> 蔡凯臻<sup>2</sup>  
Wang Jianguo Cai Kaizhen

**摘要** 数字技术正在深刻影响现代城市设计的发展,尤其是实施操作层面的方法拓展和完善。本文通过对国内外该领域前沿的回顾,结合相关的案例研究,对以虚拟现实,地理信息系统,草图大师和计算机辅助设计为代表的数字技术方法在针对大尺度空间形态的城市设计中的应用进行了梳理,同时对这些技术方法的实际作业方式做了相应的剖析。

**关键词** 城市设计 数字技术 草图大师 虚拟现实 地理信息系统 计算机辅助设计

**ABSTRACT** Digital techniques are influencing deeply the development of modern urban design, especially the improvement of manipulating approaches of urban design. By the systematically review of the frontier of the field concerned and the case studies, the paper clarified and analyzed the application of the typical digital methods in urban design, in which including GIS, VR, Sketch-up and CAD, meanwhile.

**KEY WORDS** urban design, digital techniques, Sketch-up, VR, GIS, CAD

\*本文为国家自然科学基金基本资助项目(50238010, 50578040)

中图分类号 TU-18

文献标识码 B

文章编号 1000-0232(2008)02-0028-05

作者简介

<sup>1</sup>东南大学建筑学院,教授; <sup>2</sup>东南大学建筑学院,博士研究生(南京,210096)

1 当代中国城市设计发展面临尺度和信息把握的新课题

当今中国城市形态变迁的一个重要表征就是速度快、尺度大、历史肌理和结构日渐破碎。特别是这些形态改变都发生在整个城市建成区层面上的,而不是局部性的,而且,跨越了从宏观到微观各个层面的城市尺度。

目前,中国出现了大量的针对在空间规模上以平方公里计的大尺度城市设计。如此的尺度规模并不是我们能够用常规的城市设计概念、原则和技术方法可以掌控的。建立在视觉有序和美学基础上的经典城市设计的空间分析方法针对大尺度城市空间形态并不完全有效,因为这些方法忽略了产生优美空间形态背后的影响因素,尤其是土地的综合属性。而另一方面,城市规划虽然在宏观层面上以土地分配和资源安排等为工作内容,但却无法把握城市的空间形态,尤其是城市中那些诉诸视觉的形态特色,从而在城市风貌特色和质量内涵把握方面有所缺失。

因此,在城市规划针对总体性的技术策略前提下,建构针对城市形态分析的城市设计技术策略就十分紧迫。信息数字技术的发展,为上述科学问题的分析和最终解决提供了极具前景的可能。

基于数字技术成果的城市设计操作方法完善和拓展了以往城市设计专业的方法体系和作业方式,推进了城市设计的发展,特别是其同城市建设的调控、引导的管理语言有效对接的数字化技术表述方式和语言可以与城市建设的管理技术平台有效结合,推进城市建设管理的科学化进程。

2 数字技术的发展及其在城市设计中的运用

以计算机应用为基础的数字技术在发达国家的城市规划和城市设计中已经得到广泛应用。

传统的城市和建筑设计深入推敲除了通过图纸

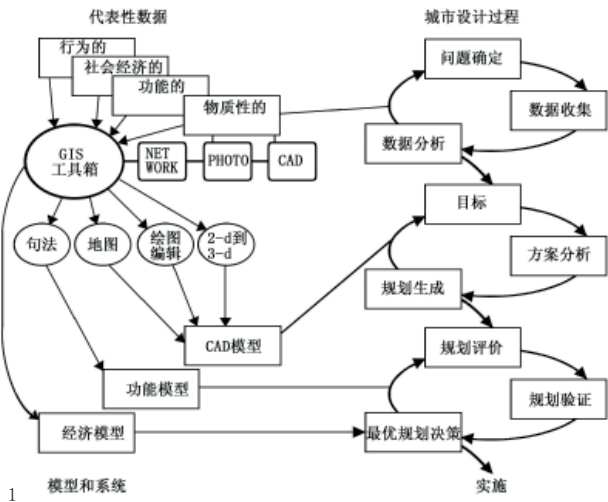
外,比较多用的是体块工作模型或者细致的方案展示模型,即以缩小的比例尺来模拟三维空间环境。

但是,这种办法只能获得鸟瞰形象,难以模拟人眼真实视点所看到的真实环境。以计算机图形学、多媒体、人工智能、多传感器及网络为基础、以创建和体验虚拟世界为目的的“虚拟现实”(VR)技术却有可能解决这一问题<sup>1)</sup>。计算机以其大容量的数据存储能力、高速化的信息传输能力和高效智慧的分析能力以及采用可视化手段所建立的仿真空间效果使规划设计成果表现更为动态和形象化,提高了规划设计的效率和科学化<sup>2)</sup>。

在具体建筑工程实践中,计算机在快速提供方案选择、环境物理属性分析并集成相关要素、启发和推动设计者思路深入方面也取得了显著的功效,人们越来越清楚地看到,数字技术是一种很有前途的城市和建筑设计分析方法。

数字技术在城市设计历史研究层面也取得瞩目进展。在相关研究方面,日本学者已经通过文献考证与计算机建模相结合的方式将历史上一些著名的城市和城市规划设计复原出来,使人们能够更加直观地来研究这些城市,如中国的元大都、嘎涅的“工业城市”、柯布西埃的“光辉城市”等。这是计算机在城市形态和建筑形式虚拟现实和数字景观研究方面取得的成果<sup>3)</sup>。在国内,清华大学毛其智等对北京街道胡同尺度历史变迁开展研究并发表相关成果、东南大学董卫等对城市历史地图数字分析技术作出了探索、东南大学陈薇等则综合历史图像研究和虚拟现实,再现了北京天安门及其周边的历史环境,对千步廊等构成的序列空间尺度有了不同于先前书本上描述的认识。

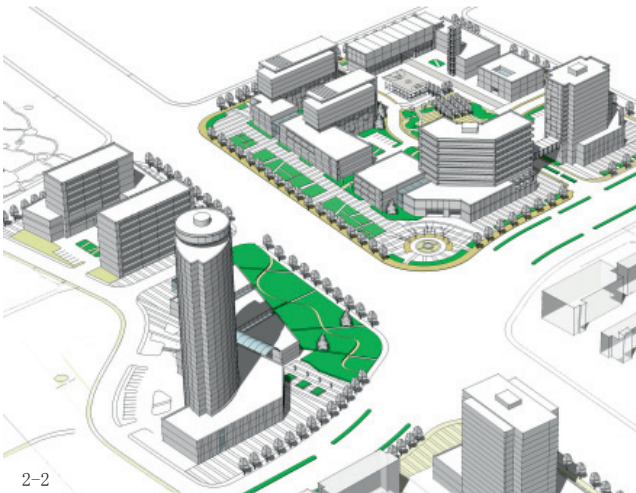
建筑和空间生成研究更带有一种探索性。如英国学者希列尔(Bill Hillier)首创的“空间句法”(Space Syntax)方法,在计算机上模拟实际的城市小区空间结构和组织,在此基础上提出城市设计方



1 模型和系统



2-1



2-2

## 1 城市设计过程的新的计算机技术

资料来源: 根据Michael Batty, Martin Dodge, Bin Jiang, Andy Smith. GIS AND URBAN DESIGN [EB/OL]. 7. <http://www.casa.ucl.ac.uk/urbandesifinal.pdf>. 整理.

## 2 城市设计中Sketch-Up应用示例

资料来源: 南京江宁某地段城市设计文本.

案, 以此作为启发与评价设计的工具。这是一种研究城市形态生成规律的著名案例。目前, “空间句法” 不仅在英国, 而且在英国以外的美国、荷兰等国得到了学界认可, 并开展了进一步的拓展研究。

勃罗德彭特 (G. Broadbent) 曾指出, “有了智能再加上计算机, 设计人员为业主和环境所做的工作就可以革命化了。……但如胆怯的人继续害怕或忽视计算机, 而热心的人又继续被计算机的复杂性所迷惑, 把最微薄的倾倒物当成圣经, 则上述一切将无法实现”<sup>4)</sup>。

目前, 计算机已经在建筑声环境、热环境、城市风向、日照分析等方面很好地利用了计算机的穷举能力, 并在实际的工程应用中取得显著成绩。相比之下, 计算机与城市设计的结合虽然已经有长足进展, 并在设计概念生成、设计发展深化、设计表达等方面对设计人员有所帮助, 但是其与必然涉及的主观价值和模糊性判定问题等方面尚有距离。

## 3 城市设计数字化辅助技术

当前, 在城市设计中, 主要运用的数字化技术有CAD技术、图形图像处理技术、虚拟现实技术和GIS辅助设计技术。同时, 这些技术与多媒体技术、网络技术相结合, 极大地丰富了城市设计分析、决策、实施、管理的手段和方法 (图1)。

## 3.1 CAD技术和图形图像处理技术

CAD辅助设计技术、图形图像处理技术及其相关计算机软件已经被普遍应用于建筑设计、城市设计和城市规划的日常实践之中, 广大设计人员对其操作技能和方法也已熟练掌握。其中, 以AUTOCAD 为代表性软件的CAD辅助设计技术以计算机绘图取代传统的手工绘图技艺, 以数字化方式存储设计相关信息及文件, 使制图精确度、信息储存量、设计成果修改及复制效率都得到了极大提高。而利用软件附带的三维建模功能, 设计人员可以建立城市空间模型, 进而生成透视图和轴测图等三维视图, 并以此进行视觉景观的初步分析。比如, 贝聿铭建筑设计事务所设计的巴黎卢浮宫扩建方案、SOM设计的休斯顿协和银行大厦、加拿大渥太华议会区城市设计等项目中都运用了这一技术, 较大程度地改变了设计方式和设计成果的表达。

图形图像处理技术的代表软件PHOTOSHOP、3D STUDIO及其换代软件3D MAX等, 通过使用计算机、图形图像输入输出设备和图形图像处理软件对静态或动态图形图像进行处理, 具有较强的建模能力和渲染能力, 既可以用二维的渲染效果图模拟城市空间的三维静态效果, 也可以通过制作动画, 模拟在城市空间中运动时的动态视觉景观。

## 3.2 Sketch-Up建模技术

近年来, 美国著名建筑设计软件开发商@Last Software公司推出一种建筑草图设计工具软件——Sketch-Up (草图大师) 引起关注。Sketch-Up直接面向设计方案创作过程, 可以迅速建构、显示、编辑三维建筑模型, 导出具有精确尺寸的透视图等平面图形, 还可以在软件内设置照像机、光线和漫游路线, 为模型表面赋予材质和贴图, 插入2D、3D配景, 进行模拟渲染及动画展示, 能够快速反映设计构思及效果, 是一种高效的设计辅助工具。与传统的图形图像处理技术相比, Sketch-Up软件具有文件小、运算快、实时性强的优点。以往的设计辅助软件一般都需要较长的运算时间, 大大滞后于设计师的思维速度, 而Sketch-Up生成的模型为多边形建模类型, 全部是单面, 非常精简, 便于向其它具备较高渲染能力的渲染软件导出, 也便于制作大型场景。Sketch-Up的动画演示功能操作简便, 运算时间短, 设计人员可以实时观察直观的三维模型。此外, Sketch-Up还可以便捷地生成任何方向的剖面和剖面动画演示, 并通过设定空间环境所处的不同季节和时间, 进行光线阴影的准确定位, 实时分析阴影, 生成阴影的演示动画。而Sketch-Up的渲染功能着重于三维模型的表达, 较为抽象和概略, 虽然欠缺细节表达, 但更利于把握城市空间形态的整体效果。相比之下, Sketch-Up软件接口简洁, 易学易用, 并可以与CAD、3DMAX等软件相互连接, 具有良好的交互性。因此, 对于城市设计而言, Sketch-Up是一种较为实用的数字化辅助技术, 正在被越来越多的



设计人员所采用(图2)。

### 3.3 虚拟现实技术

虚拟现实(Virtual Reality, 简称VR)是集成了计算机图形学、多媒体人工智能、多传感器等技术的一项综合性计算机技术。它利用计算机生成模拟环境和逼真的三维视、听、嗅觉等感觉,通过传感设备使用户与该环境直接进行自然交互式体验,主要代表性计算机软件有MULTIGEN和VRML等。

在传统的城市设计表现方法中,人们无法以正常视角获得在空间中的真正感受;效果图表现也只能提供静态局部的视觉体验,三维动画虽然有一定的动态表现能力,但不具备实时交互性。虚拟现实技术弥补了这些不足。在城市设计中运用虚拟现实技术,可以建立对一种动态的、直观的城市环境仿真模型,使用者能够置身其中,通过对视点和游览路线的控制,以动态交互的方式,从任意角度、距离、速度和尺度观察仿真环境中的目标对象,记录仿真体验的全过程。而且,在漫游过程中,还能够对建筑等环境要素进行替换和修改,实现多方案、多效果的实时切换。其优点和作用具体表现在以下几方面:

#### 3.3.1 全角度、多层次地观察城市空间

城市空间视觉景观效果是城市设计研究的重点。虚拟现实技术可以对观察视点进行设定,预定多种观察角度,不仅可以获取设计中重点控制的主要入口、空间轴线、景观视线通廊等地点的空间视觉形象,还可以从任一角度全方位观察空间,其层次涵盖了从局部到整体的全部空间范围。

#### 3.3.2 以多种运动方式感受城市空间

通过对运动速度、运动路径和观察高度进行设定,模拟人们以步行和车行等方式运动时的空间感受,从而建立对城市空间序列的连续不断的整体感受。

#### 3.3.3 城市设计元素实时编辑及控制

通过对虚拟现实技术的进一步编程开发,在运动漫游中对建筑、绿化等城市设计元素的模型对象进行整体拾取和局部拾取,对建筑等三维模型进行移位、缩放、复制、镜像、拉伸、旋转等编辑,并结合建筑材料、绿化树种、道路广场铺地、街道家具和景观小品的选择、布置、更替、变换,就可以对城市空间环境中的几乎所有要素进行实时编辑和调整,使设计人员能够实时观察空间要素的高度、体量、位移等方面的变化对城市空间环境的影响。

#### 3.3.4 辅助决策及公众参与

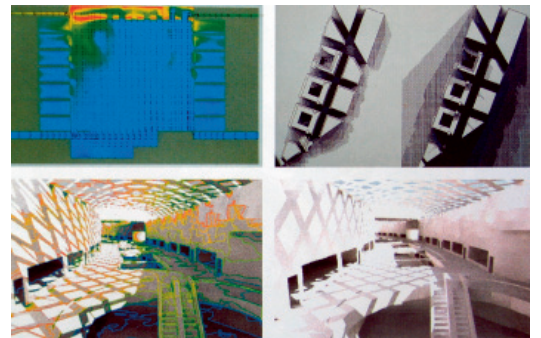
在城市设计的方案研究阶段,运用虚拟现实技术,设计者对各种不同的方案进行实时切换,进行相互比较、评判优劣,从而做出最优选择。而且,运用虚拟现实技术建立的城市三维空间虚拟环境,可以让公众和管理者更为直观和全面地把握城市空间环境的现状情况,充分理解设计者的设计意图和建成后的实际效果,大大提高了公众参与及决策的可行性和精确性。

近年来国内外许多城市设计实践都不同程度地运用了虚拟现实技术。1996年,美国Bentley公司以费城中心区35个街区为起点,利用虚拟现实技术,逐步建立费城城市模型,将整个费城的空间模型以VRML数据格式完整存储。通过Internet浏览器,城市设计人员和建筑师不仅可以获得实时空间体验,还可获得土地利用、空间形态、建筑构成、甚至三维地下管线系统等方面的信息,对虚拟的城市实景进行分析,获得美国建筑师学会(AIA)高度评价。而且,虚拟现实技术不再局限于对城市空间环境的建筑形式、视线关系等视觉分析,还进一步拓展到阳光日照、风向强弱等物理环境的模拟。柏林波茨坦广场改建分析了新建筑对公共空间小气候的影响,并参考日照模拟分析的结果确定了建筑的高度序列(图3)。深圳市中心区城市仿真系统则应用以虚拟现实技术为支持的三维实时漫游系统,通过地形地貌建模、建筑建模、特效处理等步骤,进行了市民中心尺度和位置比较研究、建筑色彩分析、中心广场设计研究、街区设计的比较研究,以及局部地段的仿真实录,成为规划、设计、决策和管理的重要手段之一(图4)。

### 3.4 GIS辅助设计技术

地理信息系统(Geographic Information System)简称GIS,由计算机系统、地理数据和用户组成,是通过采集、存储、管理、检索、表达地理空间资料,进而分析和处理海量地理信息的通用技术。

1960年代中后期,加拿大和美国学者提出建立地理信息系统的思想。1970年代,地理信息系统在美国、加拿大、英国、瑞典和日本等国家得到了大力发展,主要用于存储和处理测量数据、航空像片、行政区划、土地利用、地形地质等信息。进入1980年代,随着计算机技术和卫星遥感技术的飞速



3



原方案与屋顶提高10米后的体量和比例以及与莲花山关系之比较



左:原标高88米高的中心广场标志建筑;右:仿真分析建议将其缩小一半的高度



4



发展,GIS的应用逐渐扩大到城市规划、环境与资源评价、工程选址和紧急事件响应等领域。1990年代,GIS的发展进入用户时代,从单机、二维、封闭逐步向开放、网络化、多维的方向发展。我国地理信息系统的发展始于1980年代初。

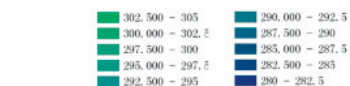
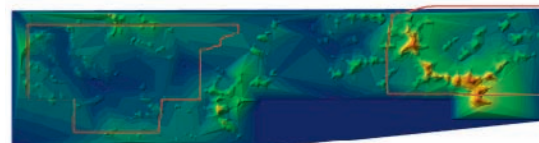
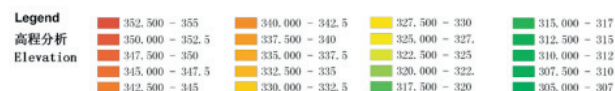
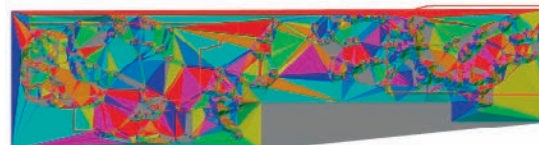
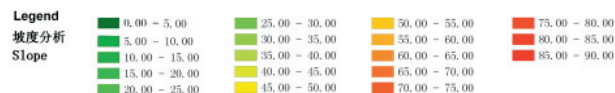
城市空间环境是城市设计的对象,GIS将计算机图形和数据库融于一体,使地理位置和相关属性有机结合,准确真实、图文并茂,凭借其空间分析功能和可视化表达,为城市设计提供了新型空间分析工具和决策辅助工具。

#### 3.4.1 基本应用

在城市设计的实践活动中,GIS软件系统主要具有数据输入、数据编辑、数据存储与管理、空间查询与空间分析、可视化表达与输出等基本应用,具体体现为:

##### ①空间数据的收集整理及空间数据库的建立

GIS不仅为城市设计者提供了数字化地图及其关联资料,还可以将通过现场踏勘、社会调查所得的各种数



3 德国波茨坦广场城市设计用计算机仿真方案的生态特性

资料来源: Sophia and S. Behling. Sol Power. Prestel. 1996, 229.

4 深圳市中心区城市仿真一组

资料来源: 计算机仿真技术在深圳市中心区城市规划与设计中的探索和应用.

<http://www.86vr.com/case/cityplanning/200411/4524.html>.

5 重庆大学城总体城市设计中利用GIS技术进行的用地适宜性分析

资料来源: 重庆大学城中心总体城市设计文本.

5

据及数据与数字化地图数据进行系统化整合,并对相关信息进行贮存、编辑、管理及可视化处理,建立城市设计所需的空间、社会、历史数据数据库,主要包括:

- 物质性空间数据: 主要是指城市空间环境系统的数据集成,包括建筑系统数据库、开放空间系统数据库、景观系统数据库、道路交通系统数据库等,其内容涵盖建筑物的平面、高度、面积、年代、材质、色彩,开放空间的几何特征、接口形态,景观系统中绿化及树木的类型、高度、树冠尺寸、林相、郁闭度,道路交通的层级构成、空间分布、形态结构等实体与空间环境的特征数据。

- 社会经济资料: 主要包括与作为设计对象的空间环境相关的社会、经济、环境及历史信息,比如建筑及土地权属、税收、收入及产权变更等经济信息,交通流量等行为活动信息,使用者及居民的文化水平、阶层分布等人口统计信息;气候、水文等环境信息等相关数据。

建立数据库一般要经过三个步骤。首先,将运用空间数据采集技术和调查所得的地图数据、统计数据 and 文字说明等数据信息以多种方式进行数据输入,转换成可以通过计算机处理的数字形式。然后,通过数据编辑和处理,完成图形编辑和属性编辑。最后,必须确定空间与属性数据的连接结构,

采用空间分区、专题分层的数据组织方法管理空间数据,用关系数据库管理属性数据。

#### ②空间查询与分析

对于城市设计而言,空间查询和分析功能是GIS系统最重要的功能。GIS数据库建立完成后,既可按照横向系统类型进行分项查询、逐层迭加,把握空间系统及各个空间要素的构成关系,也可以按照发展历程的时间维度进行纵向检索,全面认识空间形态演变过程。而且,GIS技术平台通过与其它分析工具相结合,有效整合了城市空间的物质形态、尺度和时间多种维度的相关信息,从而为城市设计者系统分析海量城市空间数据信息提供了有力保障,这主要表现在以下三个层次:

##### • 空间要素及属性检索:

凭借GIS的基础数据输入和管理功能,可以便捷地查询相关数据信息。根据城市设计的具体要求,可以从空间位置检索建筑、地块及景观要素等及其相关属性,也可以以属性作为限制条件检索符合要求的空间物体,并生成相应的图像信息,从而为相应的空间分析提供全面而直观的基础数据。

##### • 空间特征及拓扑迭加分析

通过GIS,还可以按照空间特征的不同属性进行分类,并通过相互迭加和拓扑分析,使不同类型的空间要素及其形态特征(点、线、面或图像)相

交、相减、合并,建立特征属性在空间上的连接,进而对空间构成、形态肌理、要素关系进行详尽分析,从而发现城市空间系统的优点与缺陷。

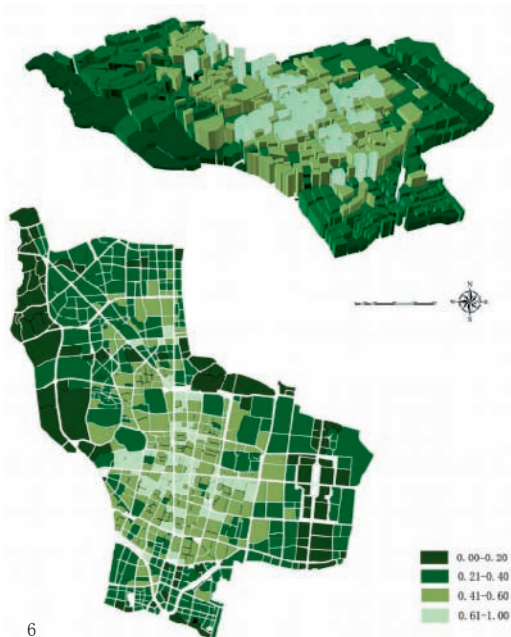
##### • 空间系统及模型分析

在对空间系统中的单个对象以及空间特征的信息数据进行逐项分析的基础上,利用GIS技术平台,设计者可以建立空间系统模型,并结合模型进行分析,比如三维模型分析、数字元地形高程分析,以及针对不同专业取向的特殊模型分析等。通过多种模型分析与统计计算,即可完成针对空间系统的多要素综合分析,为城市空间环境整体优化提供可靠依据。

东南大学完成的重庆大学城总体城市设计项目中的用地适宜性评价及选择就集中体现了GIS技术的综合分析能力。研究小组以卫星图片、地形图和调研数据为基础,利用GIS技术平台建立基地数字元三维模型,分别对基地地形的高程、坡度、坡向等方面进行分析,并迭加道路、水系、已建设用地、高压电线等现状要素,进行三维可视化分析,然后依据加权因子评价法,通过计算获得综合适宜度数值,以此为依据划分适宜建设、基本适宜建设和不适宜建设用地,为建设选址、生态资源保护、景观视线分析提供了科学依据(图5)。

而在东南大学完成的南京老城高度控制城市设





6 南京老城高度空间形态研究成果  
资料来源：南京老城高度控制城市设计研究文本。

计研究中，则以经典城市景观分析研究为基础，选取历史、景观、人口密度、可达性、地价、可建设程度和等六方面因子，综合运用GIS和CAD技术，进行了一系列带有空间属性的数据分析，形成一套适应于我国城市建设管理的城市设计研究成果，为南京城市建设管理提供了有效的技术支持（图6）。

### ③可视化表达与输出

在城市设计中，通过GIS处理空间数据，其中间过程和最终结果都能够以可视化方式表达和输出。而且，GIS是人机交互的开放式系统，设计者可以主动选择显示的对象与形式，不仅可以输出包括全部信息在内的全要素地图，也可以分层输出各种专题图、各类统计图表等数据，相应的图形化空间数据还可放大或缩小显示，这就为城市设计者提供了全面、系统、直观的分析工具。以往的GIS技术更多关注于二维图像数据，近年来3D-GIS的迅速发展使GIS三维可视化表达达到了新的高度，而三维可视化对于城市设计分析、构思、评价都是至关重要的。

#### 3.4.2 拓展功能

近年来，通过开发能够与GIS相连接的软件，将某些空间分析理论和工具植入GIS技术平台，以及与CAD、虚拟现实等数字化技术的综合运用，GIS在城市设计中的应用范围和相关功能得到了相应拓展。

### ①空间句法分析

GIS能够提供大量空间数据，对于空间句法的发展和运用是一种十分适合的技术平台。近来，以美国学者巴蒂（M. Batty）为代表的学者利用ArcView软件系统，将空间句法和GIS相结合，形成了以空间句法理论为基础的ArcView GIS的拓展。通过使用ArcView GIS，设计研究人员能够在GIS内的地图中绘制轴线地图，以此为依据计算联系度、整合度、深度等空间句法的量度，并与其它图形数据层进行比较，找寻连通性和整合度之间的关联，然后以图式方式显示。GIS新增的分析功能，为城市设计者带来了功能更强大、使用更便捷的形态分析工具，如笔者等在GIS技术平台下利用空间句法对浙江桐庐城市空间街道演化所进行的研究、李江等利用GIS技术对武汉城市空间形态的研究等。

### ②3DGIS仿真

3DGIS仿真以GIS三维可视化功能为基础，通过诸如ArcView、3-D Analyst以及Arc Globe等软件中的实用工具，运用虚拟现实等仿真技术对GIS进一步拓展，将3D城市模型与多种GIS数据相结合，不仅可以生成完全真实的3D全景仿真场景，还提供3D物体属性数据的快速查询和分析。建立3DGIS一般需完成录入GIS数据库、3D城市模型化和3D全景视觉仿真等步骤。

### ③ Web GIS

Web GIS是GIS技术与Internet技术相互融合形成的。Web GIS的用户可以同时访问多个位于不同地方的服务器上的最新数据，更易于实现多数据源的数据管理和合成。Web GIS能够通过网络建立联机共享参与系统，设计者、使用者和管理者可以通过网络登录服务器，加载网络GIS软件，运行地图展示、查询空间数据、审查构思草图等功能，通过相关网页与CAD、虚拟现实系统和多媒体工具相连接，利用网络与他人进行对话、讨论、交流，协同完成设计工作，这也是GIS在城市设计运用方面的重要发展方向之一。

对于城市设计而言，GIS是集成的数字化数据库，是高效的城市空间分析方法及设计辅助技术，也是公众参与和管理决策的平台。随着相关软件的升级换代，其数据集成能力、空间分析能力和三维表现处理能力也日趋完善，GIS也将成为城市设计的重要分析研究工具。

### 4 结语

当1930年代计算机问世时，很少有人能预见它会如此迅速发展及广泛应用。数字技术在城市设计中正在发挥着对于方法论而言具有革新意义的重要作用，大大提高了设计成果及决策过程的准确

性、科学性、可行性及适应性。

数字技术促进了城市设计学科自身的发展，使人们思考和理解空间的角度发生了巨大的转变。数字技术在自身系统不断完善、技术水准逐步提高的同时，也表现出集成化的趋势。可以预见，CAD辅助设计、图形图像处理技术、虚拟现实技术、多媒体技术、GIS、统计分析工具、数学模型、网络技术、乃至卫星遥感技术等多种技术的交叉融合，必将极大拓展城市设计研究方法和分析手段，甚至可能促进新的城市设计理论的形成。 ■

### 注释

- 1) 迟伟，虚拟现实技术在城市设计中的实践，世界建筑，2000（10）：56。
- 2) 参见：<http://www.arch.oite-u.ac.jp/a-kei/urban>
- 3) 参见：<http://www.arch.oite-u.ac.jp/a-kei/urban>
- 4) [英] G. 勃罗德彭特著 张伟译，建筑设计与人文科学，中国建筑工业出版社，305。

### 参考文献

- [1] 王建国，城市设计（第二版）[M]。南京：东南大学出版社，2004。
- [2] 王建国，高源，胡明星。基于高层建筑管控的南京老城空间形态优化[J]。城市规划，2005，1：45~53。
- [3] 迟伟。虚拟现实技术在城市设计中的实践[J]。世界建筑，2000，10：56~60。
- [4] 姚静，顾朝林，张晓祥，等。试析利用地理信息技术辅助城市设计[J]。城市规划，2004，8：75~78。
- [5] 钮心毅。地理信息系统在城市设计中的应用[J]。城市规划汇刊，2002，4：41~45。
- [6] 李江，郭庆胜。基于句法分析的城市空间形态定量研究[J]。武汉大学学报(工学版)，2003，4：69~73。
- [7] 计算机仿真技术在深圳市中心区城市规划与设计中的探索和应用[EB/OL]。 <http://www.86vr.com/case/cityplanning/200411/4524.html>，2004-11-29。
- [8] Michael Batty, Martin Dodge, Bin Jiang et al. GIS AND URBAN DESIGN [EB/OL]。 <http://www.casa.ucl.ac.uk/urbanDESIGNfinal.pdf>，1998，6。
- [9] Martin Dodge, Dr Bin Jiang. Geographical Information Systems for Urban Design: Providing new tools and digital data for urban designers [EB/OL]。 [http://www.casa.ucl.ac.uk/publications/learning\\_spaces/](http://www.casa.ucl.ac.uk/publications/learning_spaces/)，1998，4。