

成实, 张潇涵, 成玉宁. 数字景观技术在中国风景园林领域的运用前瞻 [J]. 风景园林, 2021, 28 (1): 46-52.

数字景观技术在中国风景园林领域的运用前瞻

Prospect of the Application of Digital Landscape Technology in the Field of Landscape Architecture in China

成实 张潇涵 成玉宁

CHENG Shi, ZHANG Xiaohan, CHENG Yuning

开放科学 (资源服务)
标识码 (OSID)



中图分类号: TU986

文献标识码: A

文章编号: 1673-1530(2021)01-0046-07

DOI: 10.14085/j.fjyl.2021.01.0046.07

收稿日期: 2020-10-15

修回日期: 2020-12-10

成实 / 男 / 博士 / 东南大学至善博士后 (城乡规划流动站) / 铸牢中华民族共同体意识视觉研究基地 (国家级智库) 研究员 / 研究方向为城市设计、风景园林规划设计
CHENG Shi is a postdoctoral researcher in the School of Architecture, Southeast University, and a researcher at Southeast University Research Base for Fostering a Strong Sense of Community for the Chinese Nation. His research focuses on urban design, landscape planning and design.

张潇涵 / 男 / 东南大学建筑学院景观系在读硕士研究生 / 研究方向为风景园林规划与设计
ZHANG Xiaohan is a master student in the Department of Landscape Architecture, School of Architecture, Southeast University. His research focuses on landscape planning and design.

成玉宁 / 男 / 博士 / 东南大学风景园林学科带头人, 景观学系系主任、特聘教授、博士生导师 / 本刊编委 / 研究方向为风景园林规划设计、风景园林设计、景园历史及理论、数字景观及技术
CHENG Yuning is a leader of landscape architecture discipline, the director, distinguished professor and doctoral supervisor in the Department of Landscape Architecture, Southeast University, and an editorial board member of this journal. His research focuses on landscape planning and design, landscape architecture design, landscape history and theory, digital landscape and technology.

摘要: 随着数字时代的到来, 数字景观技术已成为有效解决现阶段风景园林领域所面临问题的主要途径之一, 并呈现出愈发多元化发展的趋势。将现阶段风景园林领域所面临的核心科学问题归纳为: 生态与形态的协同、人群需求的满足、设计与实践的革新。为寻求出解决上述核心科学问题的对应数字景观技术手段, 首先, 以 Web of Science 中 2010—2020 年发表的 5 328 篇论文作为研究对象, 采用知识图谱计算工具 Citespace 软件开展定量研究; 其次, 结合文献研究的方式, 理清全球范围内数字景观技术的发展方向及新兴技术手段, 并探讨新兴的数字景观技术在解决现阶段中国风景园林领域相关问题时的具体作用; 最终, 提出“跨学科、跨领域”的技术方法融合以及“全流程、精准化”的设计实践协同, 将是数字景观技术在我国风景园林领域的未来发展应用趋势。

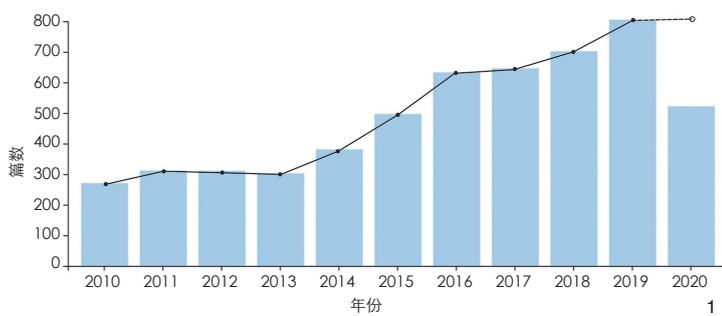
关键词: 风景园林; 数字景观技术; Citespace; 运用策略; 生态形态; 公众需求; 设计实施

Abstract: Digital landscape technology has become one of the main ways to effectively solve the problems faced by landscape architecture along with the coming of the digital era. This paper summarizes the core scientific issues faced by landscape architecture currently as the coordination of ecology and morphology, the satisfaction of human needs and the innovation of design and practice. In order to find the corresponding digital landscape technology to solve the above core scientific problems, 5,328 papers from 2010 to 2020 in Web of Science are taken as the research object firstly. Then Citespace software is adopted for quantitative research together with the literature research methodology, to sort out the development trends and emerging techniques globally and discuss the specific role of the emerging digital landscape technology in solving current problems of Chinese landscape architecture. In the end, it is proposed that the integration of “interdisciplinary and cross-domain” technical methods and the collaboration of “whole-process and precision” design practice will be the development and application trend of digital landscape technology in the field of landscape architecture in china.

Keywords: landscape architecture; digital landscape technology; Citespace; application strategy; ecological and form; public demand; design and construction

风景园林学一直关注于风景园林形态及其背后的内在动因, 追求艺术与科学二者之间的高度统一。随着数字时代的到来, 数字景观技术已成为当下风景园林规划设计中的重要方法, 不仅影响着风景园林专业人员的工作方式和思维模式, 也不断拓展着风景园林领域的研究边界, 专业人士们开始尝试通过定量技术手段解决风景园林环境所面临的复杂问题, 以真正实现“艺术”与“科学”的相互协调^[1]。

就目前的研究成果来看, 不难发现对于数字景观技术的研究愈发呈现出多元化的趋势, 围绕“数字景观”议题的学术论文、专著以及讨论层出不穷^[2-8]。相关研究不再局限于对新设备或新技术的探索尝试, 数字景观技术已真正融入全尺度的风景园林规划设计中, 成为解决当下城市发展过程中风景园林环境所面临的种种问题的有效途径, 大幅度地提升了景观评价、管控的效率及精准度。



注：2020年发文量统计至2020年9月30日。

1 研究文章年发表量统计
Annual publication volume of papers

1 中国风景园林领域所面临的核心挑战及应对

在快速城市化时期，城市空间的迅速扩张造成对自然生态、人群诉求等方面的忽视，从而引发一系列城市环境问题。因此，当下风景园林领域所关注的核心议题在于自然生态、城市形态以及人群诉求三者间的和谐发展。数字景观技术的推广及运用，为科学解决现阶段存在的问题提供了有效途径。具体而言，目前我国风景园林领域所面临的核心挑战主要体现在以下3个方面。

1.1 过往城市发展与自然演进规律间的矛盾

在快速城市化阶段，我国城市建成空间的迅速扩张使城市发展违背了自然演进规律，从而引发城市生境破坏、生态网络割裂等一系列问题。在新一轮的国土空间规划大范围推广的当下，生态文明建设成为我国风景园林领域发展的首要任务，提倡生态保护优先以及高品质、精细化的城市环境营造，注重自然生态本底与城市空间形态间的动态平衡发展。与此同时，第3次国土空间调研中大范围的三维实景空间模型采集，也为后续国土空间的全覆盖分析研究以及生态服务系统的全方面建构提供了精细化的空间数据模型基础。

1.2 风景园林领域研究对于公众诉求认知的局限

过往城市开发建设中对于公众空间诉求数据的获取多依赖于问卷、访谈等传统调研方式，无法切实地捕捉到公众对于风景园林环境的真实感知反馈抑或行为规律，导致风景园林环境的塑造仍趋于设计师主观意识的

传递。当下，随着人本主义等高品质发展理念的不断推广与强化，风景园林环境的塑造愈发注重满足公众的不同需求。为塑造出全尺度下的人性化风景园林环境，不少学者开始尝试使用大数据技术、生理监测技术等数字景观技术手段，对风景园林环境中人群行为规律、身心诉求进行量化采集、获取与分析，为人性的风景园林设计提供判断依据。

1.3 传统风景园林规划设计及实践缺少精细化的引导

过往风景园林规划设计受限于绘图技术以及建造方式，方案多依赖于专业人员的自身经验及审美取向，且设计与建造存在环节衔接不当所造成的实施低效化问题。当下，风景园林专业人员开始逐步尝试依托于参数化等规划设计辅助技术，建立全程可控、交互反馈的风景园林设计方法体系，以促进风景园林“规划设计、实施建造、监控管理”的精准化与科学化。

2 数字景观技术研究梳理

2.1 研究方法

数字景观技术的运用是“数字景观”领域最为重要的特征之一^[9]，技术的进步也带来了数字景观领域研究范畴与方向的不断变革^[10]，为解决上文所述问题提供了新方法与新途径。本研究基于文献计量学，通过知识图谱计算工具 Citespace 软件开展定量分析，在理清当下数字景观研究与数字技术运用热点的基础上，试图从中挖掘、归纳应对既有三大挑战的数字技术手段，并对数字景观技术在我国风景园林领域运用与发展的方向进行前瞻。

本研究数据来源于 Web of Science 核心集数据库，首先以主题 = “digital landscape” 进行检索，时间跨度为 2010—2020 年，经筛选检索出共 5 328 篇论文形成本次研究的样本库。进而，通过 Citespace 软件展开主题词共现网络、主题词聚类 and 引文突现等文献定量分析并绘制出知识图谱，借助可视化分析的方式将全球范围内数字景观领域的研究现状直观呈现，并选取当下全球范围内数字景观技术的研究与运用的热点文献。

2.2 文献量分析

从研究样本库中的文献发表年限来看，近 10 年文献年发表量总体呈现出上升趋势，“数字景观”领域的相关研究愈发引起业界学者及专业人员的关注。值得一提的是，自 2014 年开始，文献年发表量进一步快速增长，年增长率已超过 20%（图 1）。

2.3 数字景观研究方向识别

本研究利用 Citespace 软件对“数字景观”研究方向进行研判，得到主题词共现图^①。出现频次较多的词语依次有：数字高程模型、空间分布、地理信息、土壤性质、空间格局、社会媒介、地理信息系统、人类活动、参数化等。通过 LLR 聚类算法得出知识图谱，结合对过往学者的研究成果的系统解读，对“数字景观”的研究热点加以存量总结与归纳整理，从宏观视角将相关研究归为：风景园林空间形态与生态、人类行为活动、设计与实践方法三大方向^[11-15]。

2.4 数字景观技术研究热点判断

从分析得到的主题词中提取“数字技术”，并以上文所述的三大研究方向为分类依据进行归纳整理（图 2）。数字技术呈现多元化的态势，彼此相互交织，往往是多种数字技术共同解决同一个研究问题。目前对于风景园林形态与生态研究的数字技术数量最多，以地理与测绘等方面的技术为主。

聚焦于近 5 年数字景观技术的研究与运用热点，对各主题词进行引文突现分析并筛选（表 1）。发现自 2015 年开始，与空间数据采集与数字化分析、大数据、虚拟现实、参数化设计等方向相关的主题词热度较高，其中以空间数据采集与数字化分析、大数据 2 方

面的研究成果居多。同时，数字人文（适用于景观遗产保护相关研究）、数字建造等也正逐渐成为学者们的关注热点。与此同时，为筛选出近5年间学者们最为常用的数字景观技术手段，通过观察研究样本库中各文献引文突现强度，去除检索结果中“数字技术”等描述性词语，得出排名前5的数字景观技术手段依次为：社交媒介、随机森林、机器学习、数字化平台及人工智能。

3 数字景观技术对于当下风景园林领域的作用

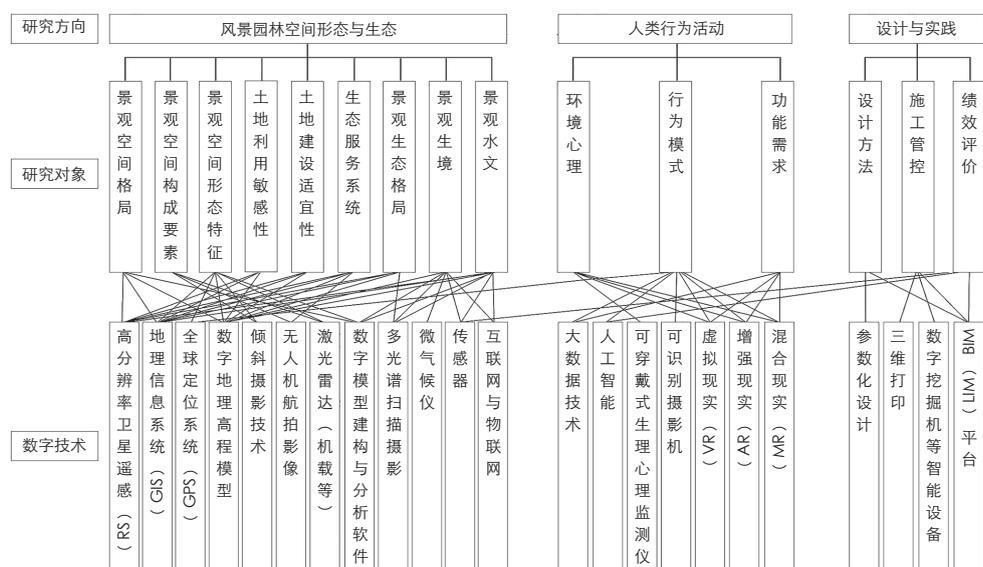
3.1 生态与形态的协同：风景园林环境的量化采集、模拟与分析

城市化的进程带来了日益严重的环境问题，城市的生态本底遭到了破坏。对城市形态与生态进行科学、准确的认知显得越发重要。传统的实地调研、勘测及人工感性判断在效率与准确性上已无法满足当下风景园林的发展诉求，数字化的环境信息采集与量化模拟评价成为助力城市生态与形态协同发展的途径。

3.1.1 数字化环境信息采集：提升调查研究的效率与精准性

风景园林环境的数字化采集与分析技术正逐渐改变传统的空间调研方式，卫星遥感影像识别与三维的空间数据采集成了数字景观技术的发展热点及重点^[19]。至2010年，卫星遥感、航拍影像、地理信息模型等技术手段在风景园林专业中已得到广泛运用。回归树（regression tree）、随机森林（random forest）等算法的出现更为精确解译遥感卫星图中的植物类别、植被长势、土地利用类型等信息提供了多种可能^[17-18]。

随着机载激光雷达（airborne lidar）技术运用的普及，风景园林空间的数据采集与建模愈发精确化^[19]。近年来，航拍无人机的普及更是大大降低了空间数据采集的成本与难度，不仅可以对城市绿地、街道、山体等空间形态加以精细化获取，更可实现对于矿坑、陡坎等特殊场地的空间数据采集。如Luo Wei通过无人机遥感技术对中国西南喀斯特山地集水区环境因子进行了调研^[20]；EllEt Nicholas



2 数字技术归纳
Digital technology conclusion

表1 引文突现表
Tab. 1 Quotation highlights

主题词	强度	起始年份	结束年份	发展趋势 (2015—2020年)	主题词	强度	起始年份	结束年份	发展趋势 (2015—2020年)
高分辨率数字地形模型	5.05	2015	2017	■■■■■	数字信息	4.28	2016	2017	■■■■■
地面激光	7.33	2015	2017	■■■■■	无人驾驶飞行器	10.42	2016	2020	■■■■■
大数据	9.24	2015	2020	■■■■■	反射辐射仪	3.17	2016	2020	■■■■■
社交媒介	16.37	2015	2020	■■■■■	数字技术	20.84	2016	2020	■■■■■
数字地图	3.15	2015	2020	■■■■■	媒介景观	6.59	2016	2020	■■■■■
信息技术	4.30	2015	2017	■■■■■	形态学参数	4.28	2016	2017	■■■■■
新媒体	5.94	2015	2020	■■■■■	随机森林	14.32	2017	2020	■■■■■
数字媒介	4.63	2015	2016	■■■■■	数字媒介景观	6.51	2017	2020	■■■■■
虚拟现实	4.96	2015	2020	■■■■■	数字工具	9.85	2017	2020	■■■■■
通信技术	8.72	2015	2020	■■■■■	数字人文	6.08	2017	2020	■■■■■
机载激光雷达数据	3.57	2015	2016	■■■■■	遥感技术	4.43	2017	2020	■■■■■
增强现实	7.74	2015	2018	■■■■■	数据输入	5.41	2018	2020	■■■■■
航空影像	5.43	2015	2016	■■■■■	回归树	5.67	2018	2020	■■■■■
三维模型	4.60	2016	2018	■■■■■	数字革命	3.84	2018	2020	■■■■■
数据采集	8.12	2016	2020	■■■■■	机器学习	12.83	2018	2020	■■■■■
米分辨率	4.07	2016	2020	■■■■■	未来方向	5.11	2018	2020	■■■■■
地形数据	3.47	2016	2017	■■■■■	数字平台	11.05	2018	2020	■■■■■
高分辨率数字高程模型	3.17	2016	2017	■■■■■	人工智能	11.05	2018	2020	■■■■■
移动数据	5.47	2016	2018	■■■■■					
未来学习	3.17	2016	2020	■■■■■					

注：表中红色部分表示发展活跃期；蓝色部分表示发展平缓期。

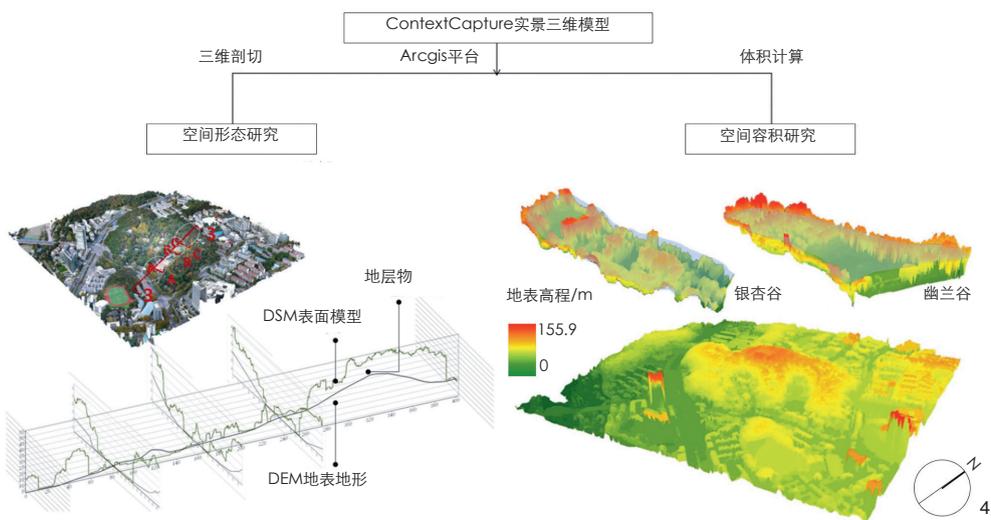
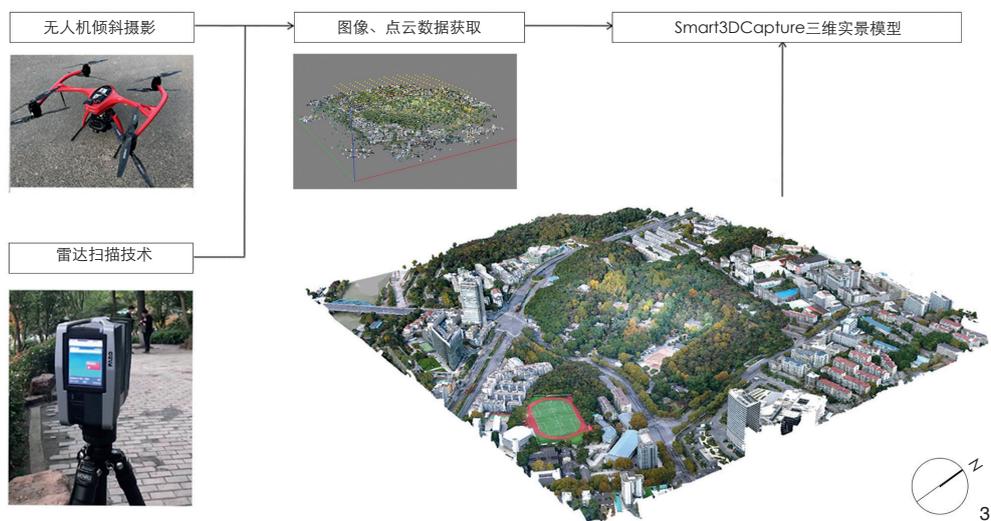
利用无人机建立了基于Sfm-MVS的泥石流冲刷河道5cm分辨率的数字高程模型，用以研究灾害对景观的影响^[21]。近年来，多个国家和机构开展国土点云扫描研究，如纽约大学于2017年发布了都柏林城市的高分辨率点云数据集等。

物联网与土壤水分、土壤酸碱度、温度、湿度等传感器配合，对植物的生长、道路的透水率、微气候情况等进行检测，构建风景园林的实时监测系统；也为风景园林师们评估、检验设计的效能提供了客观、有效的途径。

3.1.2 环境量化模拟与评价：实现对环境要素与自然过程的科学解读

随着计算机技术的发展，各类软件平台

的出现为处理、分析景观环境数据创造了条件。最早由杰克·丹杰蒙德及其团队所开创的GIS技术平台，改变了风景园林规划设计的方式，对于数字技术在风景园林领域的运用具有里程碑式的意义^[22]。长期以来，GIS在地质地貌分析、土地利用评价、水文模拟、生态格局构建与大尺度景观规划等方面发挥着重要的作用^[23]。随着计算能力的提高，点云已不仅是三维成像，可以直接进行点云数据编辑，模拟、辅助景观设计。Schade于2015年提出了在地理空间层面上的点云数据的储存、处理、识别、预测及可视化的方法与技术，以及将其与人工智能、机器学习结合的需求。苏黎世联邦理工学院景观可视化



3 清凉山公园南片区景观空间建模图^[25]

Space modeling of South Area of Qingliangshan Park^[25]

4 清凉山公园南片区景观空间分析图^[25]

Space analysis of South Area of Qingliangshan Park^[25]

与建模实验室开发的人工智能与语义分割等技术，可以直接进行点云的修改与可视化^[24]，实现了对点云数据处理的巨大突破并将带来景观领域的革新。

东南大学成玉宁教授团队在南京市清凉山公园南片区规划研究中，通过无人机五轴倾斜摄影与雷达扫描技术获取场地点云数据，并结合 ContextCapture、ArcGIS 等分析软件对场地空间形态与空间容积展开量化研究，进而对场地提出空间形态与容量层面的优化策略（图 3~4）^[25]。

在国土空间规划背景下，风景园林学的研究范畴扩大、精度变高。从宏观角度

来看，精准的数字景观环境模型将可能带来 2 方面的变革：1）植被或绿地空间发展趋势预测，基于第 3 次国土空间规划调研采集所获取到的大范围、高精度空间模型，结合计算机算法分析、模拟出不同时段下的植被生长趋势，以便于后续的科学防控及管理；2）特殊地貌片区的自然生态条件分析，从中微观的角度看，以点云为代表的景观空间模拟、修改及可视化技术为实现高品质景观空间提供了新的途径。

3.2 公众诉求的满足：人群在风景园林环境中行为活动的采集与分析

随着城市发展过程中人本主义概念的

不断强化，风景园林环境的建设不再局限于人群对于空间的审美感受，更侧重于建成环境中人群的感知体验。公园城市提出要以人民为核心，力争满足各类人群的个性化需求^[26]。而面对复杂的风景园林空间，人性化已不再停留在过往通过实地观察、问卷调查、经验推测等所获得的结论，需要数字技术的运用来寻求其背后的规律并指导规划设计。从技术方法的运用角度来看，有宏观上的大数据技术及微观上的生理检测与虚拟仿真技术等。

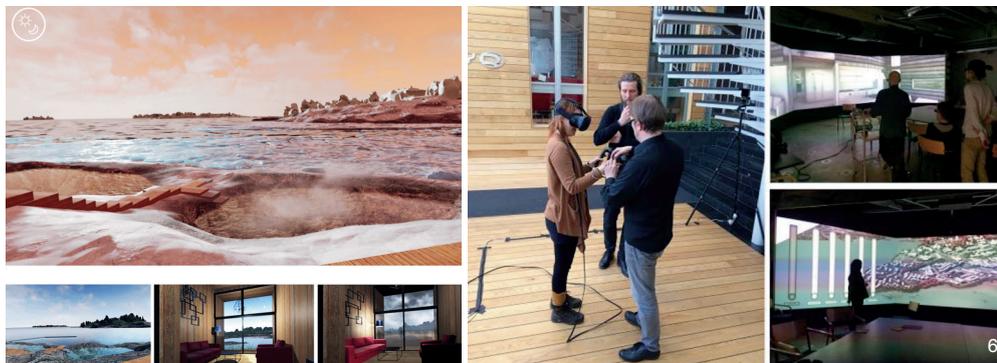
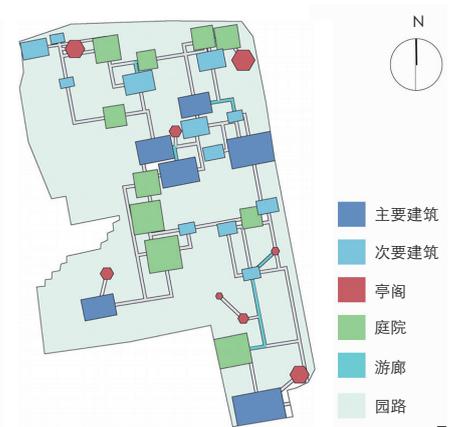
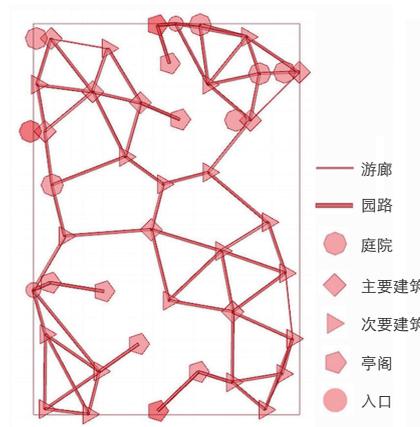
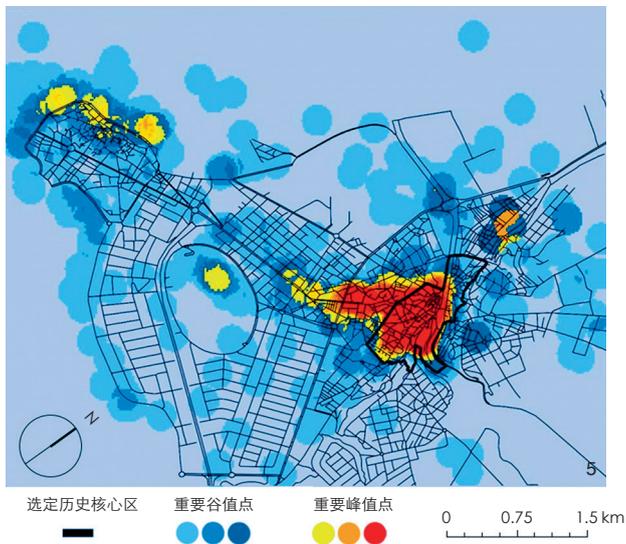
3.2.1 大数据技术：探究风景园林环境的社会属性

与传统调研获取数据的方式相比，大数据技术具有信息体量大、及时、微观等特点^[27]。随着社交媒介、网络媒体、移动通信等大数据来源的出现，大数据的运用突破了空间及时间范畴的桎梏，人的行为活动规律及风景园林环境的社会属性愈加被研究者们所重视^[28]。研究对象覆盖城市绿地空间、生态服务设施、风景名胜区等各类型及尺度下的风景园林环境。通过计算机软件与算法等技术对手机定位数据、地图服务 POI 数据、社交网络数据、交通传感数据等开放数据展开分析，以解决空间品质评估、绿道规划选址及选线、绿地空间使用规律及影响因素评估等相应问题。如 Ginzarly、李方正等通过分析 flickr（图 5）、微博等社交软件上发布的照片及签到数据，对城市景观特征的感知及公园的使用情况加以评估^[29-30]。随着大数据获取壁垒被打破以及挖掘、处理数据技术的成熟，大数据分析的精度与准确度将会显著提高。

3.2.2 生理监测技术与虚拟仿真技术：构建环境行为数据与空间特征的关联

眼动仪、皮电仪及脑电仪等生理数据监测仪器的运用，量化了人在景观环境中的生理心理感知。医学及神经认知学研究中循证试验的研究方式能够精确地识别、分析出影响人群身心健康的风景区要素特征^[31]。

虚拟现实（virtual reality, VR）技术的运用旨在探讨人机交互进行设计迭代的可能性，为建构人在风景园林环境中的行为心理与空间特征的关联提供了新的平台。近年来，VR、增强现实（augmented reality, AR）与混合现实



5 Flickr 照片数据量化图^[29]
Quantization of flickr photo data^[29]

6 沉浸式体验及运用 VR 探索景观空间的时间维度^[34]
Explore the time dimension of landscape space by using Immersive experience and VR^[34]

7 豫园的参数化生成^[38]
Parametric generation of Yu Garden^[38]

(mixed reality, MR) 领域中人群与大规模环境数据流进行交互的开创性应用研究也正在持续进行^[32], 不仅从时间、交互、视觉和音效等方面对风景园林环境展开了全方位的研究, 也改变了公众及专业人员对环境感知的途径^[33]。阿尔托大学 Frickeer Pia 教授于 2017 年所创立的数字景观实验室旨在研究 MR 领域中的数据驱动设计, 并与影像学、神经学等其他学科合作展开了空间沉浸式数据交互的系列研究(图 6)^[34]。

随着 AR 技术的发展, 风景园林可视化方式发生了巨大改变, 现实环境影响与数字化可视影响的叠合, 为景观评估提供了新的途径, 同时为人们提供了与虚拟环境动态交互的途径, Eckart Lange 等利用 AR 技术为沟通洪水风险进行了探索^[35-36]。

虚拟呈像技术存在更加多元化发展的可能性, 可结合其他感观媒介进一步发展; 也

可通过数字建模技术采用三维扫描仪和全息相机将由人类行为或机器驱动所激发的模型变化反馈到数字模型环境中, 从而将人群的实时感知变化融入设计和决策过程中, 并将相应虚拟数据成果融入实况卫星数据或野外实景数据中, 进行统一决策与优化, 以此增强设计的有效性及真实性等^[37]。

3.3 设计与实践的革新: 风景园林设计、建造与测控的系统化

3.3.1 参数化设计: 促进方案生成及决策的高效化

近年来参数化(peremetric)技术已成为解决多尺度规划与设计问题的有效途径之一。通过计算机软件和脚本编写, 实现空间形态与自然过程的分析与模拟, 短时间多方案的生成与比较, 大大提高了方案决策的效率。Yu Rongrong 等通过 grasshopper 结合空间句法与分形分析对中国古典园林平面方案的生成

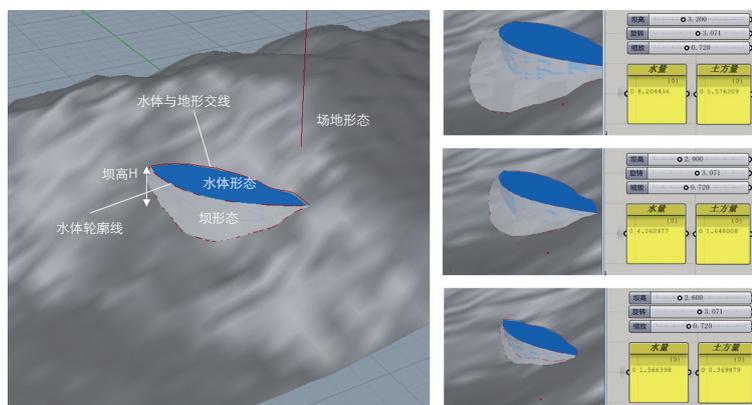
进行研究(图 7)^[38]。同时, 可通过将自然规律转译成计算机程序语言, 动态模拟自然形态与生态过程, 进而得到拟自然的景观规划设计, 如袁旻洋等基于逻辑算法进行了拟自然水景营造的探究(图 8)^[39]。

3.3.2 数字化建造: 控制工程实施的精准化

数字化建造技术的发展为风景园林工程实施提供了新的途径。智慧工地管理系统将多种智能数字技术融入工程监测、管控、决策等方面, 促进工程精细化发展。以数字挖掘机、机械臂为代表的工程器械能够精准地执行计算机命令, 大大缩小了施工的误差; 3D 打印技术为建造复杂景观构筑物提供了可能^[40-41]。

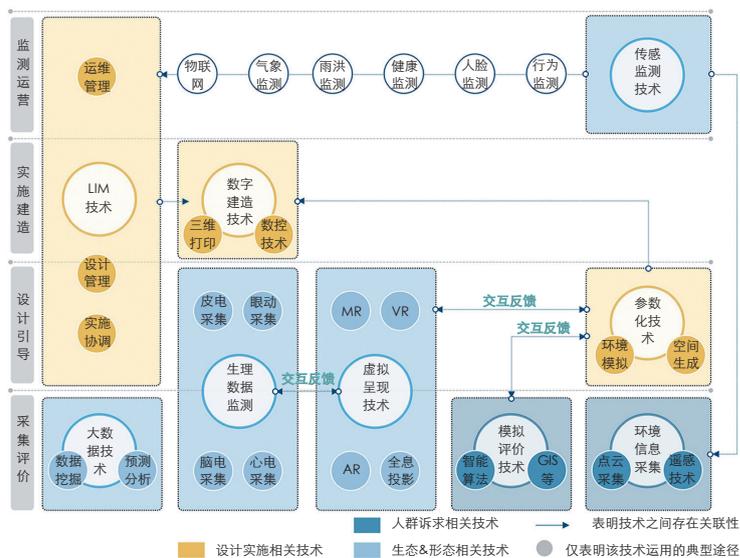
3.3.3 LIM 平台: 实现设计、建造及运营管理的一体化

风景信息模型(landscape information model, LIM)的运用将实现风景园林工程项目的设计、施工、运营管理全过程的信息化, 通过



8 “坝高一水量”的算法规则^[39]
Rule for the “Dam Height-Water Quantity” algorithm^[39]

9 风景园林实践过程中数字技术的协同运用
Collaborative application of digital technology in landscape architecture practice



三维建模方式，全面统筹把控设计的生命周期。Cianci 等提出通过 LIM 来对复杂的风景园林系统进行解读与干预，展现出 LIM 在处理复杂要素与动态过程方面的优势^[42]。虽然目前 LIM 在我国仍处于起步阶段，但风景园林领域的信息化建设将成为整体趋势^[43]。

4 数字景观技术在我国风景园林领域的应用趋势及前瞻

基于对全球视野下“数字景观技术”发展动向的系统分析，聚焦于我国风景园林领域现阶段的主要研究方向，发现目前我国风景园林领域的相关研究多聚焦于国土空间规划、绿地空间规划及管理、人文景观塑造等多个方面，而数字技术则在各研究方向上均得到充分运用。综合考量全球范围内新兴的数字景观技术与我国风景园林领域的现阶段研究重点，试图探讨时下新兴的数字景观技术对于我国风景园林领域研究所起到的积极促进作用，以及未来可能的研究及实践发展趋势。

数字时代的到来不仅提升了风景园林领域的研究精度及效率，也带动了数字景观技术的多样化发展，更拓展了研究的广度与方向。正如前文所述，当下我国风景园林领域正面临着生态及形态不协同、人群诉求不满足等诸多问题，尤其在 5G 信息技术飞速发展的当下，技术本身的突破不仅带动了城市中

人群生活方式、交通运输途径等多个方面的革新，也将联系起物联网、增强现实、虚拟现实、通信网络等诸多技术领域^[44]，使得数字景观技术在未来城市发展过程中可以更好地化解现阶段我国风景园林领域所面临的具体问题，也逐渐改变着既有的研究途径以及实施结构。

从国内数字技术相关方面的应用需求及趋势来看，现阶段空间建模技术、大数据技术及参数化技术等技术手段已在我国风景园林研究领域有所运用和尝试。其中，动态大数据技术在我国风景园林研究领域更显现出突出的研究优势，并得到广泛的运用。现阶段，随着国土空间规划编制工作的大范围展开，“公园城市”“城市双修”等理念的广泛推行，我国风景园林领域的研究与实践秉承着“生态为底、提升品质、激发活力”的发展目标，注重精细化、科学化发展。因此，在应对我国风景园林领域中生态、形态及人群活力等方面的问题时，诸如三维空间信息采集技术、大数据技术以及虚拟成像技术等精细化分析技术手段将会得到更为长远和深入的运用、推广及协同发展。

从数字景观技术在我国风景园林领域的应用前瞻来看，笔者认为数字景观技术对于解决我国风景园林领域现阶段“生态与形态协同”“人本诉求满足”以及“设计、实施一

体化”3 个方面诉求均具有积极作用。在未来风景园林领域发展中，无论是在技术方法层面抑或实践操作层面，数字景观技术均展现出显著发展优势，具体体现在以下 2 方面。

1) 技术方法层面：“跨学科、跨领域”的技术方法融合。现阶段在风景园林的实践过程中对于数字景观技术的探讨多局限于单一层面的技术运用，虽有学者尝试进行跨学科的多技术融合，但目前尚未形成系统化的研究方法。而风景园林环境实际上受到形态、生态、人群等多方面因素间的复杂影响，须依托于多技术手段展开深度融合的技术试验。近年间，随着 LIM 技术应用体系的发展，其将包含勘察设计技术、规划设计技术等多种专业技术的应用，例如场地基础数据的收集和涉及工程测绘技术等内容^[44]，为“跨学科、跨领域”的多技术融合应用提供了基础条件。

2) 实践操作层面：“全流程，精准化”的设计实践协同。在未来风景园林领域的实践过程中，将依据“评价—设计—实施—监控”的设计全流程，从“生态与形态协同”“人本诉求满足”“设计、实施一体化”3 个方面入手，结合所适宜的各类数字景观技术手段，展开全尺度下的风景园林环境协同设计(图 9)，逐渐实现风景园林设计的精准化、集约化及标准化。

注释 (Notes):

① 该图已上传至开放科学平台 (Open Science Identity, OSID)。

参考文献 (References):

[1] 成玉宁. 刊首语 [J]. 中国园林, 2017, 33 (10) : 1.

[2] 刘颂, 章舒雯. 数字景观技术研究进展: 国际数字景观大会发展概述 [J]. 中国园林, 2015, 31 (2) : 45-50.

[3] 徐宁. 中国第二届数字景观国际研讨会在东南大学召开 [J]. 中国园林, 2015, 31 (11) : 109.

[4] 成玉宁. 数字景观: 中国第四届数字景观国际论坛 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2019.

[5] AGOURIS P, STEFANIDIS A. Integrated Spatial Databases: Digital Images and GIS[M]. Berlin: Springer, 1999.

[6] MACH R, PETSCHKE D I P. Visualization of Digital Terrain and Landscape Data[M]. Berlin: Springer, 2007.

[7] 包瑞清. 编程景观 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2015.

[8] CANTRELL B E, HOLZMAN J. Responsive Landscapes: Strategies for Responsive Technologies in Landscape Architecture[M]. Abingdon: Routledge, 2015.

[9] 刘颂, 张桐恺, 李春晖. 数字景观技术研究应用进展 [J]. 西部人居环境学刊, 2016, 31 (4) : 1-7.

[10] 李哲, 成玉宁. 数字技术环境下景观规划设计教学改革与实践 [J]. 风景园林, 2019, 26 (S2) : 67-71.

[11] URECH P R W, DISSEGNA M A, GIROT C, et al. Point Cloud Modeling as a Bridge between Landscape Design and Planning[J]. Landscape and Urban Planning, 2020, 203: 103903.

[12] FENG Y, ROBINSON I, JUÁREZ N, et al. Remote Sensing and Statistical Analysis of the Effects of Hurricane María on the Forests of Puerto Rico[J]. Remote Sensing of Environment, 2020, 247: 111940.

[13] YI J, DU Y, LIANG F, et al. Mapping Human's Digital Footprints on the Tibetan Plateau from Multi-Source Geospatial Big Data[J]. Science of the Total Environment, 2019, 711: 134540.

[14] WANG K, LI Z, ZHANG J, et al. Built-up Land Expansion and its Impacts on Optimizing Green Infrastructure Networks in a Resource-Dependent City[J]. Sustainable Cities and Society, 2020, 55: 102026.

[15] WANG Y Z. Application Research on Urban Cultural Landscape Heritage Protection Using Digital Technology[C]// IEEE. IEEE 2017 International Conference on Robots and Intelligent Systems (ICRIS). Hualian: IEEE, 2017: 58-61.

[16] 成玉宁, 袁畅洋. 当代科学技术背景下的风景园林学 [J]. 风景园林, 2015 (7) : 15-19.

[17] SCHNEIDER M, GOSS K-U. Prediction of the Water Sorption Isotherm in Air Dry Soils[J]. Geoderma, 2012, 170: 64-69.

[18] LATIFI H, NOTHDURFT A, STRAUB C, et al. Modelling Stratified Forest Attributes Using Optical/LiDAR Features in a Central European Landscape[J]. International Journal of Digital Earth, 2012, 5(2): 106-132.

[19] SILLERO N, GONCALVES-SECO L. Spatial Structure Analysis of a Reptile Community with Airborne LiDAR Data[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2014, 28(7-8): 1-14.

[20] LUO W, XU X, LIU W, et al. UAV Based Soil Moisture Remote Sensing in a Karst Mountainous Catchment[J]. Catena, 2019, 174: 478-489.

[21] ELLETT N G, PIERCE J L, GLENN N F. Partitioned by Process: Measuring Post-Fire Debris-Flow and Rill Erosion with Structure from Motion Photogrammetry[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2019, 44(15): 3128-3146

[22] DANGERMOND J. GIS: Providing the Geographic Perspective[J/OL]. Geoforum Perspektiv, 2006, 5(10) [2020-10-15]. <https://journals.aau.dk/index.php/gfp/article/view/359/282>.

[23] 戴菲, 姜佳怡, 杨波. GIS 在国外风景园林领域研究前沿 [J]. 中国园林, 2017, 33 (8) : 52-58.

[24] RICHARD A, VOGEL C, BLAHA M, et al. Semantic 3D Reconstruction with Finite Element Bases[C]// British Machine Vision Conference 2017. London: BMVC, 2017.

[25] WANG Y J, CHENG Y N. Construction and Analysis of 3D Scene Model of Landscape Space Based on UAV Oblique Photography and 3D Laser Scanner[J]. Journal of Digital Landscape Architecture, 2018: 283-290.

[26] 成实, 成玉宁. 从园林城市到公园城市设计: 城市生态与形态辩证 [J]. 中国园林, 2018, 34 (12) : 41-45.

[27] 李德仁, 姚远, 邵振峰. 智慧城市中的大数据 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2014, 39 (6) : 631-640.

[28] 党安荣, 张丹明, 李娟, 等. 基于时空大数据的城乡景观规划设计研究综述 [J]. 中国园林, 2018, 34 (3) : 5-11.

[29] GINZARLY M, RODERS A P, TELLER J. Mapping Historic Urban Landscape Values Through Social Media[J]. Journal of Cultural Heritage, 2019, 36: 1-11.

[30] LI F, LI F, LI S, et al. Deciphering the Recreational Use of Urban Parks: Experiments Using Multi-Source Big Data for All Chinese Cities[J]. Science of the Total Environment, 2020, 701: 134896.

[31] FRICKER P. Developing New Computational Methodologies for Data Integrated Design for Landscape Architecture[C]//CAADence in Architecture. Budapest: Budapest University of Technology and Economics Press, 2016.

[32] 李闯. 虚拟现实技术在风景园林设计中的应用研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.

[33] NASAR J L, CUBUKCU E. Evaluative Appraisals of Environmental Mystery and Surprise[J]. Environment and Behavior, 2011, 43(3): 387-414.

[34] FRICKER P. Virtual Reality for Immersive Data Interaction[J]. Landscape Architecture Frontiers, 2019, 7(2): 153-159.

[35] 兰格, 勒格瓦伊拉, 刘滨谊, 等. 视觉景观研究: 回顾与展望 [J]. 中国园林, 2012, 28 (3) : 5-14.

[36] 汤姆金斯, 兰格. 增强现实技术于洪水风险沟通中的应用 [J]. 风景园林, 2019, 26 (9) : 93-100.

[37] 弗里克. 推进沉浸式数据交互的虚拟现实技术 [J]. 景观设计学, 2019, 7 (2) : 153-159.

[38] YU R, OSTWALD M J, GU N. Parametrically Generating New Instances of Traditional Chinese Private Gardens that Replicate Selected Socio-Spatial and Aesthetic Properties[J]. Nexus Network Journal, 2015, 17(3): 807-829.

[39] 袁畅洋, 陈宇龙, 成玉宁. 基于逻辑构建与算法实现的拟自然水景参数化设计 [J]. 风景园林, 2018, 25 (6) : 101-106.

[40] 金云峰, 杨玉鹏. 数字化设计与建造技术在景观中的

应用研究 [J]. 西部人居环境学刊, 2016, 31 (1) : 95-100.

[41] 冯潇, 王文韬. 计算机辅助建造技术 (CAM) 在风景园林规划设计阶段的应用探索 [J]. 风景园林, 2016 (2) : 20-25.

[42] CIANCI M G, MOLINARI M. Information Modeling and Landscape: Intervention Methodology for Reading Complex Systems[J]. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2019[2020-10-15]. https://www.researchgate.net/publication/330771924_INFORMATION_MODELING_AND_LANDSCAPE_INTERVENTION_METHODODOLOGY_FOR_READING_COMPLEX_SYSTEMS.

[43] 郭湧. 论风景园林信息模型的概念内涵和技术应用体系 [J]. 中国园林, 2020, 36 (9) : 17-22.

[44] KOCHETKOV D M, VUKOVIC D, SADEKOV N, et al. Smart cities and 5G networks: An Emerging Technological Area?[J]. Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic SASA, 2019, 69(3): 289-295.

图表来源 (Sources of Figures and Table):

图 1~2、9 由作者绘制; 图 3~4 引自参考文献 [25]; 图 5 引自参考文献 [29]; 图 6 引自参考文献 [34]; 图 7 引自参考文献 [38]; 图 8 引自参考文献 [39]; 表 1 由作者整理绘制。

(编辑 / 王亚莺)