

基于外文文献的国际数字景观领域研究进展与趋势

Research on the Progress and Trend of Foreign Digital Technology in the Field of Landscape

胡雅琴 唐 文*
HU Yaqin TANG Wen*

(昆明理工大学建筑与城市规划学院, 昆明 650000)
(Faculty of Architecture and City Planning, Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650000)

文章编号: 1000-0283(2022)02-0077-08
DOI: 10. 12193 /j. laing. 2022. 02. 0077. 011
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2021-05-26
修回日期: 2021-12-29

摘 要

国外数字景观研究经历了长期且完整的体系构建和研究领域的扩展与深入, 对其进行全面系统的梳理总结, 将对国内数字景观研究有重要的参考价值。利用科学计量软件CiteSpace, 以“Web of Science”数据库中2000–2020年的SCI核心期刊内的外文文献作为研究对象, 分析国际领域数字化景观研究的国别差异、机构分布、学科合作网络、研究趋势、知识基础和热点前沿。研究表明: (1) 国外数字化景观的发展程序完整, 欧美国家学者构筑了知识网络早期的知识骨架, 中国学界起步较晚但发展势头迅猛; (2) 研究方向多样, 网络体系完整, 方法上借鉴了多个学科的前沿技术和模型方法, 具有明显的多学科交叉集成特征; (3) 数字景观领域各个阶段研究热点方向差异大, 现阶段基于人群体感舒适度的环境气候改善研究、以社交媒体为代表的新信息来源媒介数据在景观的分析研究和机载雷达(LiDAR)的应用为热点研究领域。

关键词

数字化; 风景园林; 研究热点; 前沿展望; 可视化软件

Abstract

Foreign digital landscape research has experienced long-term and complete system construction and the expansion and in-depth research field. A comprehensive and systematic review of it has important reference value for domestic digital landscape research. Using the scientific metrology software CiteSpace, the foreign literature in the SCI core journals from 2000 to 2020 in the “Web of Science” database are used as the research object to show the national differences, institutional distribution, disciplinary cooperation networks, research trends, knowledge base and hot frontiers of international digital landscape research. Studies have shown that: (1) The development process of digital landscape abroad is complete. Scholars in Europe and the United States have built the early knowledge framework of knowledge networks. Chinese academic circles started late but have a rapid development momentum; (2) The research direction is diverse, the network system is complete, and the methods are used for reference. The cutting-edge technologies and model methods of multiple disciplines have obvious characteristics of interdisciplinary integration. (3) The research hotspots of various stages in the field of digital landscape are very different. At this stage, research on environmental and climate improvement based on the comfort of human groups, new information sources represented by social media and data in landscape analysis and research LiDAR is a hot research field.

Keywords

digitalization; landscape architecture; research hotspots; frontier perspectives; CiteSpace

胡雅琴
1995年生 / 女 / 湖南人 / 在读硕士研究生 /
研究方向为数字景观、景观大数据

唐 文
1966年生 / 男 / 云南人 / 教授 / 研究方向为
民族环境艺术、建筑美术

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: 341740935@qq.com

“数字化景观”一般是指景观各个过程结合了如GIS、遥感、多媒体、人工智能、虚拟现实等数字化技术的产物^[1]。其作为新兴技术理念与景观学科的结合, 受到国内外业

内人士与学术界的热切关注。数字化技术的发展也辅助风景园林研究实现从定性到定量、感觉到知觉的转变^[2]。由于“数字化”这一方向的技术理念更新迭代快, 在近几年新

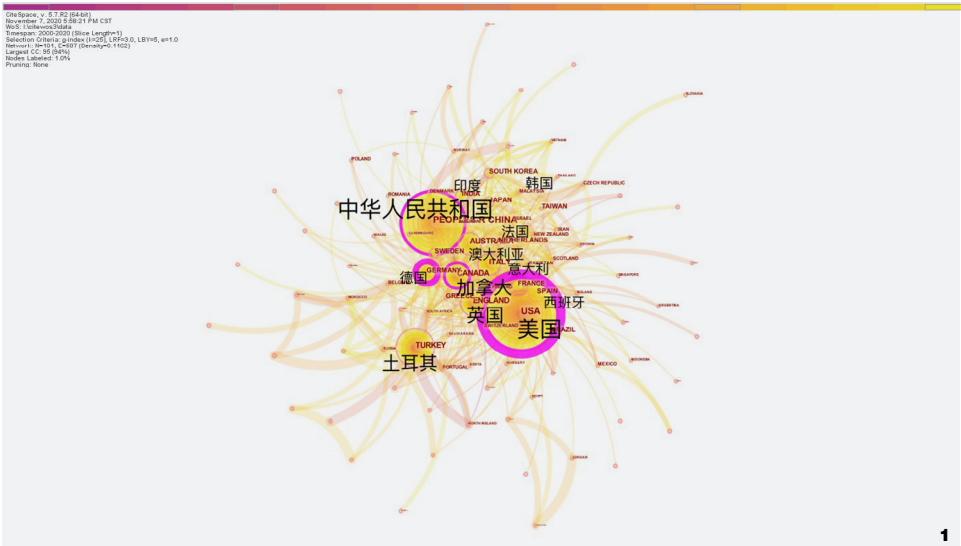


图1 国家/地区共现知识网络
Fig. 1 Country/region co-occurrence knowledge network

技术新概念更是层出不穷，故数字化景观方向具有极强的时效性，对近年热点与演进趋势的剖析介绍便显得十分必要。

文章利用可视化知识图谱软件CiteSpace，基于国际已有的学术成果，结合文献计量方式和传统的文献综述写作方式，试图挖掘数字化景观的发展历程、抓取国际领域内现阶段的热点前沿、分析数字化景观的发展趋势。研究旨在清晰直观地展示这一研究领域的研究概况，对中国数字化景观研究提供参考。

1 研究方法数据来源

1.1 研究方法

CiteSpace是由陈超美教授研发的基于java的文献数据挖掘和可视化软件，包括关键词共现、聚类分析等多种方法。本文主要借助CiteSpace（版本：5.7R2）软件对样本文献的关键词、所属国家机构以及引用文献信息生成不同类型的图谱表格，将繁杂的信息可视化，以此来研究探测目标领域的知识基础、发展前沿、研究热点以及演化路径等^[3]。软件参

数选取Selection Criteria为g-index，k值设定为默认的25。Time Slicing中时间跨度为2000-2020年。为了使可视化结果能尽量显示全貌，操作过程中未使用剪切功能（pruning）。CiteSpace根据网络结构和聚类的清晰度，提供了Q和S两个指标，用以评判图谱绘制的效果，Q值意为模块值，Q>0.3时表示得到的聚团结构是显著的；S值为平均轮廓值，当S>0.5时聚类就可认为是合理的^[4]。中介中心性表示网络中所有最短路径经过该节点的数量，是节点在整个网络中发挥连接作用大小的度量。

需提到的一点是，因软件本身识别模式的原因，所有的“GIS”在关键词一项中都被识别成了“GI”。考虑到数据的原真性和完整性，故不对原数据库进行修改。文中所有图片内的“GI”节点，实际皆为“GIS”。

1.2 数据来源

本文所使用的数据来自“Web of Science”，根据在知网文献库中的出现词频高低，“数字化”方向选择“digital”“digitalization”和

“digitization”三个词作为搜索词，“景观”方向由于英文词语的多义性，单纯检索“landscape”会出现大量的其他学科严重离题的检索结果，为保证所得到数据结果的严谨性，选择“landscape architecture”和“landscape design”作为搜索词。

考虑到数字化技术的时效性，检索平台的检索时间范围定为“2000-2020”。文献的具体检索方式为：在Web of Science网站选择“Web of Science核心数据库”，文献类型选择Article和Review，依次检索数据化方向和景观方向的检索词，再在Web of Science网站的高级搜索功能中分别将两个主题的检索词用“or”连接词组团，此时得到的是分属两个主题的相对完全的文献组。接着在高级搜索中将两个文献组用“and”连接词链接。对搜索结果创建引文报告后，筛除不符合要求的领域，此时得到的结果即是在尽最大可能查全的基础上兼具客观性与准确性的文献集合（检索日期：2020年10月25日）。

对检索结果进行整理去重筛选后，共得到1 866篇Sci核心文献作为研究样本。

2 总体特征

2.1 国家分布

图1显示，景观数字化技术的研究力量来自全世界百余个国家和地区，美国以452篇文献居于榜首，中国413篇紧随其后，属于第一集团；属于第二集团的是土耳其（160）、英国（126）、加拿大（107），论文数量为100~200篇；第三集团的论文数量为50~99篇，共有7个，分别是澳大利亚（96）、意大利（91）、西班牙（88）、德国（87）、韩国（61）、法国（60）、印度（57）；第四集团论文数量为10~49篇，共26个国家和地区的文献数目在此区间内；其余国家地区的文献数目在9篇及

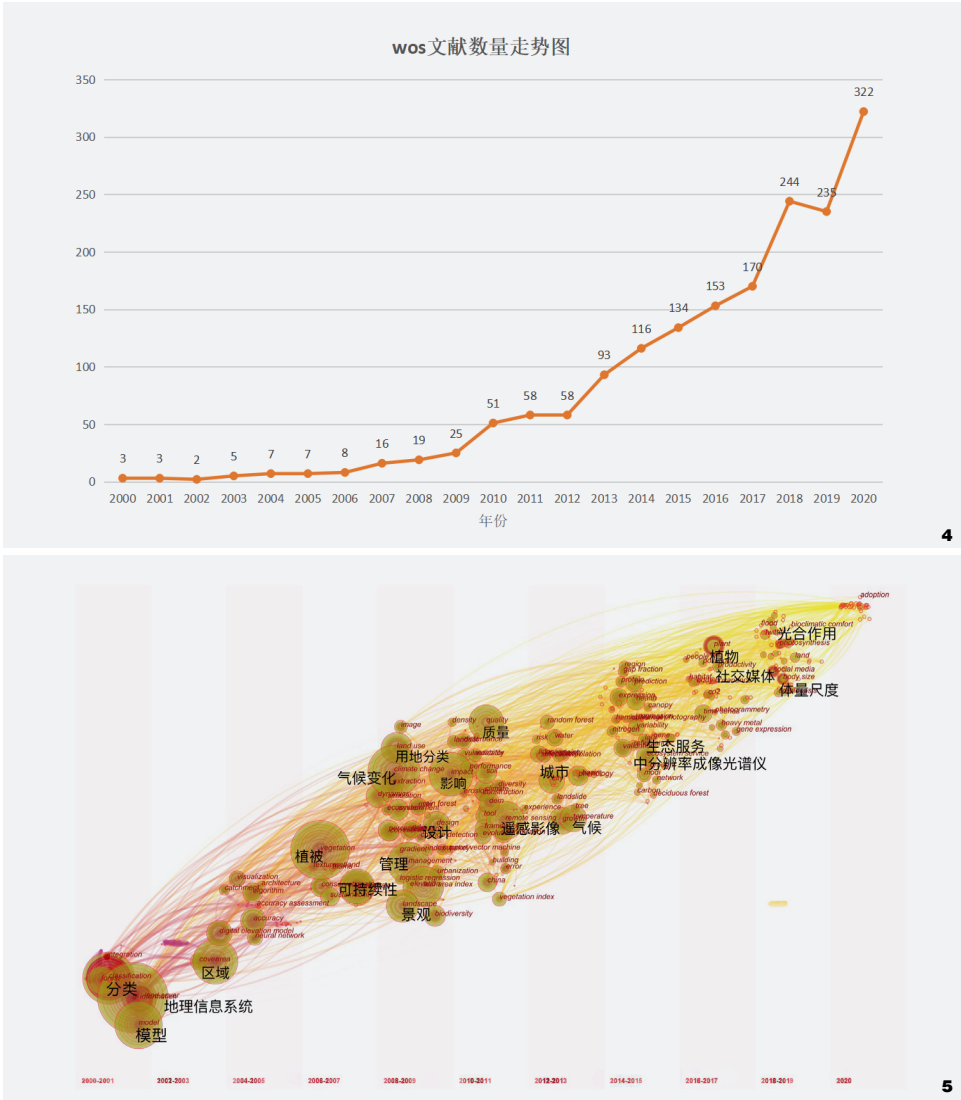


图4 WOS数字化景观文献数量年度变化
Fig. 4 Annual change of WOS digital landscape literature quantity

图5 WOS关键词共现时区分布
Fig. 5 Co-occurrence area distribution of WOS keywords

的文献数量除了2002年和2019年有小幅回落外，一直呈增长的态势（图4）。对文献发表年份做分阶段讨论：

（1）2006年以前可以看作是景观数字化的萌芽阶段，文献数量少，年发表量在10篇以下浮动。2000-2006年的文献中，出现频率最高的关键词为“Classification”“Information”和“GIS”。同时，近20年景观数字化领域文

献内出现次数排名前10的关键词有4个（图5），分别为“GIS（地理信息系统）”“Model（模型）”“Classification（分类）”“Area（区域）”。图中节点的大小代表了该关键词出现的频次高低，节点所在时间区间是该关键词首次出现的时间。一项可利用遥感数据、空间纹理以及基于GIS的土地利用数据和数字高程模型等数据的专家系统被应用于对目标地块的土

地覆被类型的分析归类和绘制^[5]。一种被称为“距离衰减可视度”的方法于2005年被提出，该方法利用GIS实现森林景观静态可视化三维场景的合成。在GIS中计算三维场景上投影模型的点分布，以分配一个适当的“能见度衰减常数”，将观测点到植被的距离与函数中植被的细节水平联系起来^[6]。早期的研究文献多是属于其他学科，期间有涉及景观，其成果亦位于其他学科与景观的交界。

（2）2007-2012年为起步阶段，文献数量缓缓上升，出现频率最高的关键词为“GIS”“Vegetation（植被）”“Classification（该阶段一般指遥感影像分类）”。从图5可看到“Climate change（气候变化）”“Vegetation（植被）”“Impact（影响）”“Remotesensing（遥感）”等众多重要关键词在这一阶段首次出现。景观可视化是该阶段的热点，Stephen R.J.于2009年以某可视化和共享3d环境数据的软件为切口，从道德守则、软件设计和元数据模板的角度，讨论了景观可视化的阈值^[7]。Christopher J.P.团队开发了一套景观可视化系统，并采用案例研究的方式，让现在用户（景观规划的管理者、设计者和研究人员）和未来用户（相关专业学生）参与评价景观视觉化，以更好地了解可视化的优缺点。最后，提出了景观可视化科学和环境建模成果交流的一些未来方向^[8]。

（3）2013-2016年是发展阶段，文献数量稳步上升。出现频次最高的关键词是“Model（模型）”。Masselink R于2013年的文献中将具有不同景观形态的数字高程模型输入演化模型LAPSUS，从而量化连通性和复杂性之间的关系。旨在更好地理解景观复杂性随景观形态复杂性的增加而降低的结论^[9]。Bethanna J及其团队开发了一个名为Polyscape的

地理信息系统制图框架，能为多种生态系统服务进行有效且空间明确的景观规模评估^[10]。

(4) 2017年至今是激增阶段，文献数增长迅速，尤其2018年及2020年增幅超过了百篇，2017-2020年产出文献数约占该领域文献总数的54%。文献出现频率最高的关键词为“Climate change (气候变化)”。该阶段有4个突现热点关键词：“Plant (植物)”“Body size (体量尺度)”“Social media (社交媒体)”“Photosynthesis (光合作用)”。Kuper R是该阶段的活跃作者，于2017年1月发表的文献中阐述了数字景观模型设计中的景观偏好、复杂性和连贯性评估，利用色彩数字景观模型视图将特定植物种类数量（即复杂性）的变化，转化为香农信息熵位值，以及描述了野外区、住宅区域和城市区域中匀质、集群的和散点的三种植物组团连贯性方式^[11]；又于同年11月发表的文献中测验了业内外受众对给出的数字景观模型视图的偏好程度是否于每个模型各自的客观指标有关，并研究了模型化环境中与喜好程度可能有关的客观指标对非业内人士的恢复潜力(RP)评分的潜在影响^[12]。

3.2 知识基础与热点前沿

3.2.1 知识基础

一般概念中，一个领域的知识基础是由高被引文献组成的，本文利用软件中的“Reference”功能提取分析了1 007篇共被引文献。前5的共被引次数依次是：118、60、60、59和52，值得提到的是，该5篇文献皆来自同一位作者 Cetin M^[12-17]。图6为景观领域数字化应用的文献共被引聚类时间线图谱，两个节点间若存在连线，就表示该两篇文献被同一篇文献引用过，这两篇文献是共被引的关系。利用软件对原始数据的参考文献进

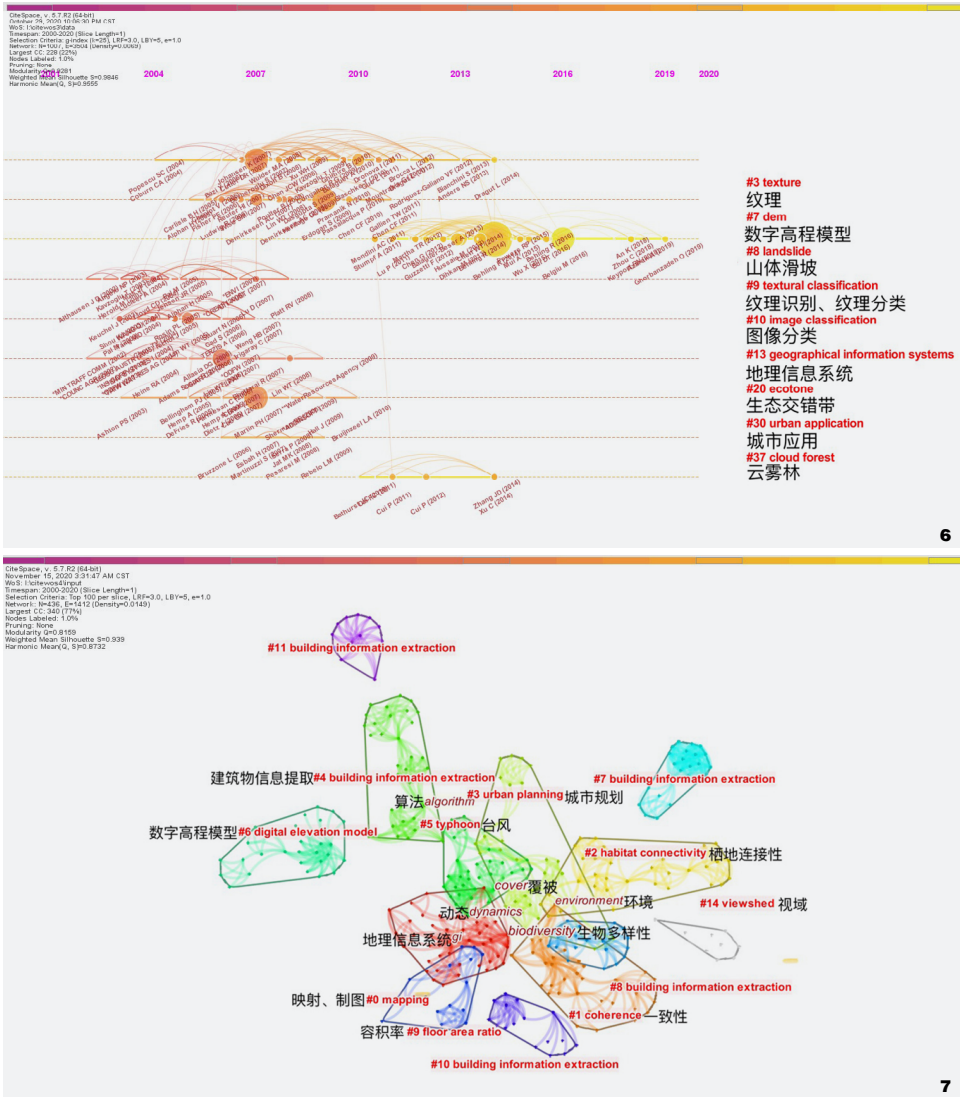


图6 WOS文献共被引时间线聚类图谱
Fig. 6 Cluster map of WOS literature co-cited timeline

图7 WOS近180天热点文献聚类图谱
Fig. 7 Cluster atlas of WOS hot literature in recent 180 days

行分析，对这些参考文献提取关键词作为聚类命名，并如图6所示以时间线的形式呈现，节点面积越大代表该文献被原始文件共被引的次数越多。节点所在的实线与上方的时间标度对应，为该聚类的持续时间。左上角可看到该图谱Q=0.9281，S=0.955，此处的S是所有能够成立的合理聚类的S值的平均数，表明该聚类网络结构十分显著且高效令

人信服。
数字景观领域知识基础文献的研究方向可分为4个大类：遥感影像、地理信息系统(GIS)、灾害和生态。
聚类3(纹理)、聚类9(纹理识别，纹理分类)与聚类10(图像分类)可被归为一个大类，即：利用含有景观要素的遥感影像，围绕其分类方法、器材手段与结果分析

的各类研究。该大类与地理、遥感、计算机算法等学科领域联系得相当紧密。聚类3主要关注于以随机森林(Random forest)^[18-19]、最大似然估计法(ML)^[20]、Adaboost^[21]等为代表的机器学习算法在遥感影像纹理分类上的应用；聚类9聚焦于基于遥感影像分类的植被覆盖分析^[22-23]；聚类10在利用遥感影像进行纹理分类的基础上另关注着自然灾害对土地覆被的影响^[24]。聚类7(数字高程模型)与聚类13(地理信息系统)可归为一个大类，即地理信息系统工具(GIS)的应用。聚类7主要关注于基于地理信息系统的地理高程模型(Dem)的构造方式和优化手段^[25-26]，该共被引文献聚类可认为是国内外2007年起始的长时间共同的研究热点即景观三维可视化的知识基础。聚类7与聚类13，前者着眼于三维的塑造，后者是二维领域的分析^[27]。土地利用、景观格局等热门领域可被认为一定程度脱胎于这两个大类。

上文提到的聚类10、研究方向为景观在动态、变化状态下的测绘和信息捕捉^[28-29](出现频率最高的变化原因即是灾害)的聚类8(山体滑坡)和聚焦讨论汶川地震对植被与环境的影响^[30]的聚类37(云雾林)构成了知识基础中的灾害模块。而生态这一项除了以群落过渡带为关键词的聚类20(生态交错带)外，更是紧密结合于各个大类中。

不难发现，组成景观数字化领域知识基础的文献中有大量的其他学科的学术成果，如地理信息、计算机科学、工程、遥感和生态等。考虑到共被引文献在整个知识体系内的位置，这一现象除了表明该领域与其他学科联系密切以外，更说明景观数字化相关的学术成果本就是汲取了多个学科的土壤所成长起来的，进一步突显了国际数字景观领域研究视角具有的多学科交叉与集成的特征。

3.2.2 热点前沿

Web of Science网站内排序功能中有对近180 d使用次数从高到低排列的选项，是指最近180 d内某篇文献的全文访问或是对记录进行保存的次数。该计数会随着固定时段结束日期的推进而上升或下降。可以衡量用户对于Web of Science平台上一个特定项目的关注程度。故近180 d使用次数靠前的文献研究内容可被认为是近期的热点前沿。获得最近180 d使用次数最高的50篇文献(搜索日期：2020年11月16日)，对该批文献的篇名、关键词和摘要分析，出现频次最高关键词依次是Design、Model、GIS、Landscape、Classification、Management、Area、Biodiversity等。用CiteSpace软件对其进行聚类分析，结果如图7所示。

对近180 d使用次数排前位的论文进行阅读分析后，得到的前沿热点领域有：(1)微气候的分析：Ng E等利用ENVI-met模拟比较了33种不同绿化策略和建筑高度下，行人层面的环境空气温度^[31]；Atwa S等以调查人群的热舒适度水平对某商业园区现状进行了模拟，提出了一种在炎热气候下的商业园区中树木位置的选择与环境参数之间关系的模式^[32]。(2)景观格局与城市热岛效应的关系：Estoque RC等研究了东南亚数个大都市地区的LST(地面温度)与不透水地面和绿地斑块的丰度和空间格局之间的关系^[33]；Li JX等通过分析地表温度与归一化差异植被指数、植被分数和不透水表面积百分比的关系研究大都市地区的景观组成和配置如何影响城市热岛^[34]。(3)遥感影像在景观格局变化和植被动态监测上的应用：Mu SJ等应用OBIA和随机森林分类器考察了1987-2017年低水位季节鄱阳湖的土地覆盖构成及其变化^[35]；Taddeo S等采用断点分析法检测从Landsat获得的增强植被指数所估计的植被像素的发

展阶段以寻找一套对植被动态反应最灵敏的景观指标^[36]。(4)机载雷达(LiDAR)的应用：Mahdianpari M等将一种基于对象的随机森林算法应用于WorldView-4、Geeye-1和LiDAR数据，以描述城市地区内的多个湿地类别，获得了极高的总体精度和湿地地表水流量连通性^[37]；Sankey T等使用了从机载雷达收集高分辨率多光谱数据，研究了在生态交错带中的激光雷达-高光谱图像融合方法，该方法可广泛应用于植被和地形的渐变地带，以监视经历大规模变化的景观^[38]。(5)社交媒体数据与景观的结合：Gosal AS等利用社交媒体公开的图像文本开发了一个空间模型，预测并帮助绘制了一个大型自然保护区的景观美学价值梯度地图^[39]；Song XP等根据公园内的社交媒体照片的视觉内容，分析了公园的空间属性及其与在线共享照片的数量和内容的关系，比较了依据社交媒体数据得出的公园受欢迎程度与当地居民自我报告的偏好的区别^[40]。

从宏观的整个城市角度的分析，到中观的城市公园绿地，再到微观的精确到单棵树木的微气候，可以看出国际上目前的景观数字化领域的热点前沿覆盖面广，分析研究的方法手段多样。其中地理信息系统(GIS)工具、以Python为代表的编程算法语言、遥感影像的获取以及如随机森林等的机器学习工具，出现频次之高，几乎可以说是现阶段在数字化景观方向渴望有所建树的学者们的必备技能。

4 结论

本文利用文献可视化工具CiteSpace对近20年来国际上数字景观领域研究的Sci核心文献进行知识图谱分析，分别研究了其研究力量的国家分布、机构贡献、学科合作网络、

研究趋势及热点、知识基础构成和近现阶段
的热点前沿。研究结论及建议如下：

(1) 国际数字景观的发展历程中经历了
萌芽期、起步期、发现期、激增期4个阶段，
发展历程脉络清楚。欧美国家学者构筑了知
识网络早期的知识骨架，以Cetin M为代表的
几个关键学者贡献突出。早期研究成果主要
产生自其他学科中与景观交叉的领域，属于
别家土地生长出的自家果实，随着景观学科
对多种手段方法的纳入，情形才开始不同。

(2) 研究方向多样，网络体系完整，早
期的知识基础到中期的研究主题再到新近的
研究热点，脉络清晰，有迹可循。研究视角
不乏有社会道德评价、医疗保健、灾后重建
等似乎与景观相去甚远的研究角度。研究尺
度从精确到单棵树的局域气候到洲际尺度的
生态研究皆有涉及，研究内容不断铺陈深
入。研究方法有如地理学、计算机科学、地
质学、生态学、遥感科学等学科结合深入，
借鉴了多个学科的前沿技术和模型方法，能
明显看出多领域学者合作的痕迹。随着理论
的进步和技术的突破，方法手段与时俱进，
考虑到数字景观特殊的时效性、前沿性，国
内学者想在这方面有所建树，单纯在一门一
类上钻研恐将力有不逮，需放宽视野，关注
其他学科领域的热点前沿尖精技术，以他山
之玉攻于景观研究应是方便之途。

(3) 各个阶段研究热点方向大相径庭，
20年间热点从景观可视化长时间一枝独秀到
近年四面开花至气候变化、社交媒体、空间
设计网络等多个方向。纵使国际数字景观研
究发展几度转型，GIS与遥感影像在景观领域
的应用仍是数字景观方向上无阻于时代更迭
的长青热点，这两个工具在数字景观领域可
以说是基石般的存在。目前国外该领域处于
文献的激增阶段，且随着环境气候的变化、

新工具手段的诞生兴起、对弱势群体关注的
增加和社会矛盾的多样，未来基于人群体感
舒适度的环境气候改善研究、借助新数据
新度量手段的社会学角度的景观资源分配研
究、机载雷达(LiDAR)的应用、以社交媒体
为代表的新信息来源媒介数据与景观的分析
研究预计仍然将会是未来数年受重点关注的
方面。

中国目前发文量已达到世界第二，起步
较晚但发展势头迅猛。针对以上结论，为促
进我国数字景观发展提出相关建议：(1) 学
术界应及时掌握国际领域内的最新动向，加
强相关标准的制定、掌握数据方法渠道的更
新迭代趋势以及集成应用研究。(2) 应以我
国国情及所在地为主体，以此为基准，对模
型的构建、选择设定算法以及参数等环节进
行修正与适配。(3) 鼓励多学科合作，结合
遥感、城乡规划、计算机科学、医学和社会
科学等多学科的相关知识，实现整体社会效
益的最大化。

参考文献

[1] 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(04): 1-7.
[2] 成玉宁, 袁旻洋. 当代科学技术背景下的风景园林
学[J]. 风景园林, 2015(07): 15-19.
[3] 陈悦, 陈超美, 胡志刚. 引文空间分析原理与应用
[M]. 北京: 科学出版社, 2014..
[4] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace知识图谱的方
法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(02): 242-253.
[5] WILLIAM L S, MICHAEL S R, PHILIP R C. Moni
toring Urban Land Cover Change: an Expert
System Approach to Land Cover Classification of
Semiarid to Arid Urban Centers[J]. Remote Sensing
of Environment, 2001, 77(2): 173-185.
[6] KUMSAP C, BORNE F, MOSS D. The Technique
of Distance Decayed Visibility for Forest Landscape
Visualization[J]. International Journal of

Geographical Information Science, 19(6): 723-744.
[7] STEPHEN S R J, PETR C. The Ethics of Google
Earth: Crossing Thresholds from Spatial Data
to Landscape Visualisation[J]. Journal of
Environmental Management, 2009, 90(6): 2102-2117.
[8] CHRISTOPHER J P, CHRISTOPHER M R,
BRETT A B, et al. Identifying Strengths and
Weaknesses of Landscape Visualisation for
Effective Communication of Future Alternatives[J].
Landscape and Urban Planning, 2011, 100(3): 231-
241.
[9] MASSELINK R, KEESSTRA S D, TEMME A J A
M. Linking Landscape Morphological Complexity
and Sediment Connectivity[J]. Earth Surface
Processes and Landforms, 2013, 38(12): 1457-1471.
[10] BETHANNA J, TIMOTHY P, FERGUS S, et al.
Polyscape: A GIS Mapping Framework Providing
Efficient and Spatially Explicit Landscape-scale
Valuation of Multiple Ecosystem Services[J].
Landscape and Urban Planning, 2013, 112: 74-88.
[11] KUPER R. Evaluations of Landscape Preference,
Complexity, and Coherence for Designed Digital
Landscape Models[J]. Landscape and Urban
Planning, 2017, 157: 407-421.
[12] KUPER R. Restorative Potential, Fascination, and
Extent for Designed Digital Landscape Models[J].
Urban Forestry & Urban Greening, 2017, 28: 118-
130.
[13] CETIN M. Using GIS Analysis to Assess Urban
Green Space in Terms of Accessibility: Case Study
in Kutahya[J]. International Journal of Sustainable
Development & World Ecology, 2015, 22(5): 420-424.
[14] CETIN M, ADIGUZEL F, KAYA O, et al. Mapping
of Bioclimatic Comfort for Potential Planning Using
GIS in Aydin[J]. Environ Dev Sustain, 2018, 20: 361-
375.
[15] CETIN M. Determining the Bioclimatic Comfort
in Kastamonu City[J]. Environ Monit Assess, 2015,
187(10).
[16] CETIN M. Sustainability of Urban Coastal Area
Management: A Case Study on Cide[J]. Journal of
Sustainable Forestry, 2016, 35(7): 527-541.
[17] CETIN M, ZEREN I, SEVİK H. et al. A Study on
the Determination of the Natural Park's Sustainable
Tourism Potential[J]. Environ Monit Assess, 2018,
190(3).
[18] CUTLER D R, EDWARDS T C, BEARD K H, et
al. Random Forests for Classification in Ecology[J].
Ecology, 2007, 88(11): 2783-2792.
[19] RODRIGUEZ-GALIANO V F, GHIMIRE B,

- ROGAN J, et al. An Assessment of the Effectiveness of a Random Forest Classifier for Land-cover Classification[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2012, 67: 93-104.
- [20] BERBEROGLU S, CURRAN P J, LLOYD C D, et al. Texture Classification of Mediterranean Land Cover[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2007, 9(3): 322-334.
- [21] CHAN J C W, PAELINCK X D. Evaluation of Random Forest and Adaboost Tree-based Ensemble Classification and Spectral Band Selection for Ecotype Mapping Using Airborne Hyperspectral Imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(6): 2999-3011.
- [22] CINGOLANI A M, RENISON D, ZAK M R, et al. Mapping Vegetation in a Heterogeneous Mountain Rangeland Using Landsat Data: an Alternative Method to Define and Classify Land-cover Units[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 92(1): 84-97.
- [23] CERNA L, CHYTRY M. Supervised Classification of Plant Communities with Artificial Neural Networks[J]. Journal of Vegetation Science, 2005, 16(4): 407-414.
- [24] NICHOL J, WONG M S. Satellite Remote Sensing for Detailed Landslide Inventories Using Change Detection and Image Fusion[J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(9): 1913-1926.
- [25] VALERIANO M M, KUPLICH T M, STORINO M, et al. Modeling Small Watersheds in Brazilian Amazonia with Shuttle Radar Topographic Mission-90m Data[J]. Computers & Geosciences, 2006, 32(8): 1169-1181.
- [26] YÜKSEL A, AKAY A E, GUNDOGAN R. Using ASTER Imagery in Land Use/cover Classification of Eastern Mediterranean Landscapes According to CORINE Land Cover Project[J]. Sensors, 2008, 8: 1237-1251.
- [27] LIN W T, TSAI J S, LIN C Y, et al. Assessing Reforestation Placement and Benefit for Erosion Control: A Case Study on the Chi-Jia-Wan Stream, Taiwan[J]. Ecological Modelling, 2008, 211(3-4): 444-452.
- [28] CHEN G, HAY G J, CARVALHO L M T, et al. Object-based Change Detection[J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(14): 4434-4457.
- [29] MUI A, HE Y H, WENG Q H. An Object-based Approach to Delineate Wetlands across Landscapes of Varied Disturbance with High Spatial Resolution Satellite Imagery[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2015, 109: 30-46.
- [30] ZHANG J D, HU L V, HUANG J Y, et al. Natural Recovery and Restoration in Giant Panda Habitat after the Wenchuan Earthquake[J]. Forest Ecology and Management, 2014, 319: 1-9.
- [31] NG E, CHEN L, WANG Y N, et al. A Study on the Cooling Effects of Greening in a High-density City: An Experience from Hong Kong[J]. Building and Environment, 2012, 47: 256-271.
- [32] ATWA S, IBRAHIM M G, IBRAHIM M G. Evaluation of Plantation Design Methodology to Improve the Human Thermal Comfort in Hot-arid Climatic Responsive Open Spaces[J]. Sustainable Cities and Society, 2020, 59: 102198.
- [33] ESTOQUE R C, MURAYAMA Y, MYINT S W. Effects of Landscape Composition and Pattern on Land Surface Temperature: An Urban Heat Island Study in the Megacities of Southeast Asia[J]. Science of the Total Environment, 2017, 577: 349-359.
- [34] LI J X, SONG C H, CAO L, et al. Impacts of Landscape Structure on Surface Urban Heat Islands: A Case Study of Shanghai, China[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(12): 3249-3263.
- [35] MU S J, Li B, YAO J, et al. Monitoring the Spatio-temporal Dynamics of the Wetland Vegetation in Poyang Lake by Landsat and MODIS Observations[J]. Science of the Total Environment, 2020, 725: 138096.
- [36] TADDEO S, DRONOVA I. Landscape Metrics of Post-restoration Vegetation Dynamics in Wetland Ecosystems[J]. Landscape Ecology, 2020, 35(2): 275-292.
- [37] MAHDIANPARI M, GRANGER J E, MOHAMMADIMANESH F, et al. Smart Solutions for Smart Cities: Urban Wetland Mapping Using Very-high Resolution Satellite Imagery and Airborne LiDAR Data in the City of St.John's, NL, Canada[J]. Journal of Environmental Management, 2021, 280: 111676.
- [38] SANKEY T, DONAGER J, MCVAY J, et al. UAV Lidar and Hyperspectral Fusion for Forest Monitoring in the Southwestern USA[J]. Remote Sensing of Environment, 2017, 195: 30-43.
- [39] GOSAL A S, ZIV G. Landscape Aesthetics: Spatial Modelling and Mapping Using Social Media Images and Machine Learning[J]. Ecological Indicators, 2020, 117: 106638.
- [40] SONG X P, RICHARDS D R, HE P J, et al. Does Geo-located Social Media Reflect the Visit Frequency of Urban Parks? A City-wide Analysis Using the Count and Content of Photographs[J]. Landscape and Urban Planning, 2020, 203: 103908.