

国际建筑业数字化技术研究现状与演化趋势

王世明 李彩云

(辽宁工程技术大学 工商管理学院,葫芦岛 125105)

【摘要】随着数字经济时代的到来,数字化转型研究成为国际建筑业领域的热点问题。以“Web of science”核心数据库为数据来源,选取2010-2020年期间发表的181篇文献进行时空分布、知识基础、研究热点和发展趋势分析,梳理国际建筑业数字化技术发展脉络。研究结果表明:虽然国际关于建筑业数字化的研究产出逐年递增,但作者、研究机构和国家之间的合作程度仍有较大的进步空间;目前建筑业领域对数字化技术的研究主要聚焦于BIM技术,其他新型数字化技术也逐渐得到了学者的重视;研究热点除了数字化技术本身以外,还包括数字化技术的具体应用阶段和应用价值;研究前沿包括数字化、数字化转型、用户采纳等方面,预测未来建筑业数字化技术的研究将呈现“数字化技术的发展—数字化技术的采纳与应用—应用过程中的挑战—提出对应的解决方案”的循环发展态势。研究结果旨在为国内建筑业数字化技术的发展提供参考和借鉴,推动我国逐步实现建筑业数字化转型。

【关键词】建筑业;数字化技术;CiteSpace;桑基图

【中图分类号】TU18 **【文献标识码】**A

【版权声明】文集数据被中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录,被本刊录用并在中国知网网络首发正式出版,严禁侵权转载。

引言

当前,数字经济已成为驱动我国经济实现又好又快增长的新引擎和新动能。在此背景下,纷繁复杂的数据和迅速发展的信息技术推动了大数据、云计算、物联网、区块链和人工智能等新时代数字化技术的产生,各行业以此为工具不断发展、转型与进步,疫情之下,更突显了数字化技术巨大的生机活力和广阔的发展前景。

建筑业是国民经济的重要物质生产部门,它与整个国家经济的发展、人民生活的改善有着密切的关系。根据国家统计局数据显示,2017年以来建筑业增速逐渐放缓,但产业增加值仍呈现稳步上升趋势。在我国大力建设数字中国的宏观背景下,数字化技术的扩散使当代组织在受到影响的同时需要不断适应^[1],这也决定了传统建筑业必须与数字化技术融合发展,以推动行业加快转型升级步伐,迈上高质量发展之路。近年来,BIM技术成为我国建

筑业数字化技术的重要基础,主要用于实现复杂造型建筑的设计、不同专业模型碰撞检查等,对于中小型建设项目的应用较少。而且BIM技术应用并没有覆盖到建设项目全生命周期,集中在建筑设计阶段^[2]。同时,其它数字化技术也逐渐与BIM技术融合使用,如增强现实技术(AR)、VR技术、云计算、大数据、物联网、3D打印技术等^[3-5],但我国相关研究较少,仅有的研究表明BIM技术与其他数字化技术融合的应用水平处于初级阶段,存在理论和技术上的问题。

放眼世界才能引领世界,建筑业数字化研究不仅要有中国特色,更需具备世界视野。目前国内学者对建筑业数字化的研究虽方兴未艾,但尚缺乏国际比较的视野,尤其缺少对世界建筑业数字化的系统研究和整体研究。为此,本研究以“Web of science”核心数据库为数据来源,利用CiteSpace对181篇相关文献进行时空分布、知识基础、研究热点和发展趋势四部分文献计量分析,通过可视化知识图谱揭示国际建筑业关于数字化技术的演化趋势、研

【基金项目】国家自然科学基金项目(编号:71801119);2020年度葫芦岛哲学社会科学研究课题(编号:HLDISKY2020052)

【作者简介】王世明(1979-),男,管理学博士,硕士生导师,主要研究方向:工程创新与管理;李彩云(1998-),女,在读硕士研究生,主要研究方向:工程管理。

究现状与热点前沿,从而为国内建筑业数字化技术的研究与实践提供有益的参考。

1 数据与方法

1.1 研究方法

CiteSpace 是近年来应用较多的文献计量分析软件,是一款基于 Java 平台开发的科学知识图谱分析软件,能够通过文献共被引和耦合分析、科研合作网络分析、主题和领域共现分析等梳理研究主题的脉络、热点、前沿和趋势。本文借助 CiteSpace 软件对国际建筑业近 10 年关于数字化技术的研究进行数据挖掘和计量分析,明确国际相关研究的演化路径、研究热点和未来趋势。

1.2 数据来源

本文分析的国际文献来自 Web of science 核心合集数据库,该数据库收录文献类型多、数量大、内容丰富且影响力较强,基本能够全面反映各学科学术发展的历史和前沿动态,而且 CiteSpace 分析的数据是以 Web of science 数据为基础的,其他数据库收集的数据都要进行转换。研究资料的检索方式参考陈超美教授提出的通用检索策略^[6],首先在 Web of science 核心数据库中输入检索式“construction industry or construction business”,然后再次输入检索式“digital technology or digital technique*”,两次文献类型均选取 Article Or Review,语种选择 English,将两次检索结果进行 and 组配,得到 315 篇文献,剔除与主题不相关研究,最终得到 184 条文献。利用 CiteSpace 对检索结果进行除重处理,最终得到 181 篇有效文献,本文基于这 181 篇文献进行可视化分析。

2 研究时空分布

2.1 时间分布

科学文献数量的增长反映科学知识和科学实践的发展速度,利用 Web of science 的 Analyze Results 功能,得到年发文量变化趋势如图 1 所示。通过分析 2010 - 2020 年国际有关建筑业数字化技术研究文献的时间分布,可以发现建筑业对数字化技术的研究工作整体呈上升趋势。根据文献数量增长趋势,可分为三个阶段。

(1)2010 - 2014 年。由图可知,该阶段的文献

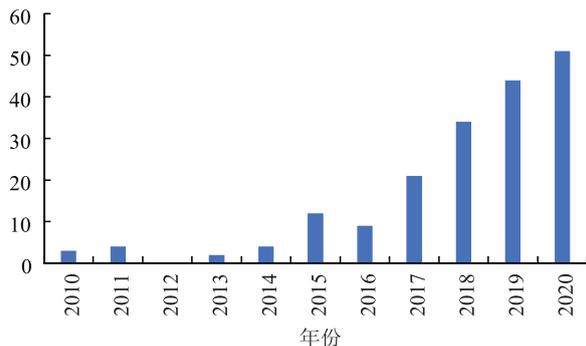


图 1 文献时间分布

数量较少,年发文量均未超过 5 篇,而且其中 2012 年根本没有相关研究,说明此阶段建筑业对于数字化技术的关注度非常低,传统建造方式仍占据主导地位。

(2)2015 - 2016 年。2015 年发文量突然增长至 12 篇,2016 年又下降至 9 篇。这说明有学者开始关注建筑业的数字化技术问题,但未产生稳定持续的研究群体,所以年发文量呈现波动态势。详细分析文献可知,BIM 技术在该阶段出现的频率最高,是该领域学者比较关注的话题,零星出现了大数据等^[7]数字化技术的研究。

(3)2017 年至今。该阶段年发文量呈现大幅递增趋势,均超过 20 篇,与之前形成较大反差。通过对现有文献分析可知,2018 年出现了施工现场机器人^[8]、精益建造技术^[9]等数字化技术,2019 年区块链^[10]技术、BIM5D^[11]等逐渐在建筑业中出现,3D 打印技术^[12-14]、物联网^[15]等数字化技术也在 2020 年具体应用到建筑业中。值得注意的是,BIM 技术一直都是建筑业使用频率最高的基础数字化技术,其他新型数字化技术与建筑业融合使用仅处于萌芽或起步阶段,这也说明存在极大的理论与应用空白。

2.2 空间分布

CiteSpace 提供了三个层次的科学合作网络分析,分别为微观的学者合作网络(Co - author),中观的机构合作网络(Co - institutions)和宏观的国家或地区合作网络(Co - country/territory)。本研究从上述三个层次进行空间分布分析。

(1)微观层:作者合作网络

作者合作网络图谱旨在识别为同一研究目的共同工作的学者、明确该领域的核心研究者、分析研究者之间的合作强度。为得到更准确的结果,选取时间切片为 4 年,得到作者合作网络图谱如图 2

所示,图中共有 100 个节点和 77 条连线,网络密度为 0.0156。

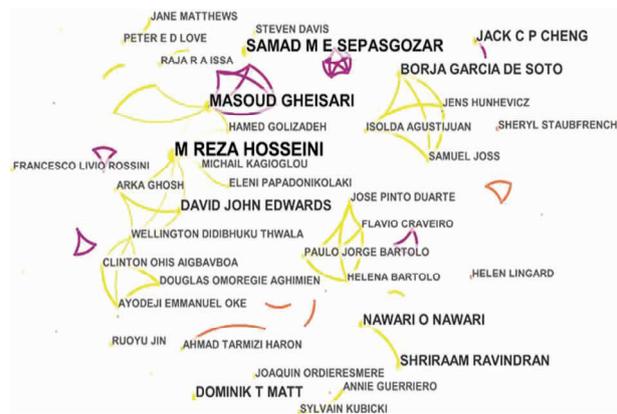


图2 作者合作网络

从发文量角度来看,作者合作网络图谱中年轮大小表示研究者出现的频次,按照普赖斯定律计算可知,发文量在 2 篇及 2 篇以上的可以看作核心作者^[16]。在国际现有相关研究中,发文量在 2 篇及以上的作者包括 M REZA HOSSEINI、SAMAD M E SEPASGOZAR 等 36 位作者,其中仅发表 2 篇文献的作者占比 75%,说明核心作者的研究产出仍然相对较少,研究者发文量仍有较大的提升空间。从连线密度来看,目前该领域以 M REZA 为中心形成了与 MASOUD、DAVID 等学者的合作研究网络,连线强度系数在 0.5 左右,表明目前国际在建筑业数字化技术相关研究领域逐渐形成核心作者群,但核心学者之间的合作紧密程度一般,而分别以这三位学者为中心形成的合作网络连线密度较强(均大于 0.75),由此说明缺乏跨团队或跨机构合作。其中 M REZA 任职于澳大利亚迪肯大学,研究领域是施工管理和土木工程,目前研究兴趣是数字工程、BIM、物联网等数字化技术的应用;MASOUD GHEISARI 是来自美国佛罗里达大学的助理教授,他专业研究领域为施工管理、土木工程和房屋建筑。其余作者之间的合作程度较低,仅形成了几个较有影响的合作团队,如 BORJA 等四人形成的合作网络连线密度较大,均大于 0.8,说明该团队合作程度较高;PAULO 等四人也形成五条连线密度均为 1 的紧密合作网络。整体来看,在建筑业数字化技术相关研究领域,国际学者之间的合作情况处于起步阶段,虽然存在一定的合作关系,但紧密程度较差,同时应加强科研团队与团队之间的交流合作,共谋建筑

业数字化转型的发展。

(2) 中观层:研究机构合作网络

在同一篇论文中,同时出现不同的研究机构,那么它们之间就具有合作关系。研究机构合作网络能够清楚地了解当前研究机构的重要程度以及彼此之间的合作关系。利用 CiteSpace 的“co-institution”功能得到研究机构合作网络,选取时间切片为 4 年,得到图 3 图谱,其中节点数有 97 个,65 条连线,网络密度为 0.014。



图3 研究机构合作网络

在研究机构合作网络图谱中,节点大小与研究机构发文量情况成正相关关系,连线粗细与研究机构合作发文量也成正相关关系。从单一机构发文量角度分析,节点 Univ Florida(佛罗里达大学)的显著性最强,即该机构发文量最多,MASOUD GHEISARI 就在这所学校的建筑管理学院任职,其次是 Deakin Univ(迪肯大学)、UCL(伦敦大学学院),这三所大学发文量都在 5 篇以上,该领域著名学者 M REZA 是 Deakin 大学的副校长,可见高校是建筑业数字化技术研究的主力军。从研究机构合作情况分析,Univ Florida 虽然发文量最多,但其仅与 Deakin Univ、Birmingham City Univ(伯明翰城市大学)和 Univ Teknol Malaysia(马来西亚理工大学)三所大学有合作,且合作强度较弱。发文量较多的 Deakin Univ 和 UCL 与其他科研机构的合作较多,但二者相比,UCL 与其他科研机构的合作程度更紧密。除此之外,也有几个合作比较紧密的科研机构,如 Univ Manchester(曼彻斯特大学)与 Polytechnic Inst Leiria(莱利亚理工学院)等三所大学形成的研究网络;还有中国的香港理工大学、华南理工大学与英国的布莱顿大学构成的科研网络等。由此可知,科研机构之间合作的紧密程度还有很大的上

升空间,而且现有合作基本都发生在高校之间,缺乏与社会企业等非高校机构之间的合作。

(3) 宏观层:国家/地区合作网络

国家/地区合作网络是指不同国家/地区之间为同一研究目的所进行的合作。通过国家/地区合作网络图谱,可以比较国家/地区发文数量以及不同国家/地区的合作关系及强度。利用 CiteSpace 的“co - country”功能得到国家/地区合作网络,选取时间切片为 4 年,运行结果如图 4 所示,其中节点数有 49 个,54 条连线,网络密度为 0.0459。

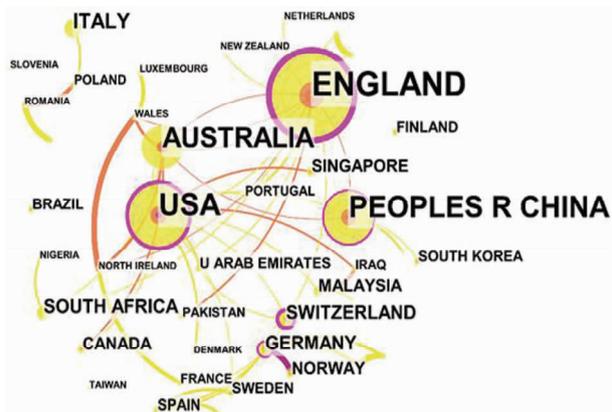


图 4 国家/地区合作网络

由图 4 可知,图谱显示的结果基本都是国家之间的合作,目前对于建筑业数字化技术的研究分布广泛,但明显集中在少数几个国家。以发文数量为依据,可以看出英国发文量最多,其次是美国、中国和澳大利亚,论文发表量在 20 篇以上的国家只有这四个。从国家之间的合作情况角度分析,英国与 14 个国家有合作关系、美国与 11 个国家存在合作关系、中国与 5 个国家有合作、澳大利亚与 7 个国家存在合作关系,明显可以看出中国与其他国家之间的合作程度较低,上述四个国家之间两两均有合作,但所有合作关系的连线密度均未超过 0.5,说明合作关系的紧密程度较弱。在图中,合作紧密程度最高的是德国和挪威,他们之间的连线密度为 1。对于节点的重要性,由图可知英国、美国、中国、瑞士和德国是关键节点(紫色外圈),他们的中介中心性分别为 0.41、0.35、0.11、0.22、0.17,均大于 0.1,表示在各国对于建筑业数字化技术研究的合作中处于关键地位。综上所述,目前国家之间的合作范围正在慢慢扩大,随着合作广度的展开,合作深度也应逐步加深。

3 知识基础

3.1 期刊共被引分析

期刊共被引分析能定位和评价学术期刊,识别研究领域的核心期刊。通过 CiteSpace 的“Cited Journal”功能进行期刊共被引分析,得到图 5,其中共有节点 398 个,连线 1 776 条,网络密度为 0.0225。



图 5 期刊共被引网络

由图 5 可知,建筑业数字化技术相关研究大部分集中在《Automation In Construction》期刊中,高达 123 频次,代表了该领域的研究热点和前沿。除此之外,《Journal of information technology in construction》、《Journal of Construction engineering and management》、《Advanced engineering informatics》等期刊也是该领域的核心发表期刊。根据 2020 年中科院 SCI 分区表可知,《Automation In Construction》、《Journal of Construction engineering and management》、《Advanced engineering informatics》和《International Journal of Project Management》期刊都属于一区,影响因子分别为 5.669、2.347、3.879、6.62,而且《Automation In Construction》是建筑工程信息化领域的国际顶级期刊之一,这说明数字化技术的研究在建筑业领域是被高度认可和关注的。根据结果的中介中心性来看,图中有 3 个明显的紫色外圈节点,中心度值均 ≥ 0.1 ,说明这三种影响力较大的期刊在网络中处于关键位置,所刊载的论文在目前建筑业数字化技术的研究中占有重要地位。

3.2 文献共被引分析

文献共被引分析是指两篇文献共同出现在第三篇施引文献的参考目录中,则这两篇文献形成共被引关系,通过文献共被引网络可以明确某一学科的发展和演进动态。本文从时间角度,通过

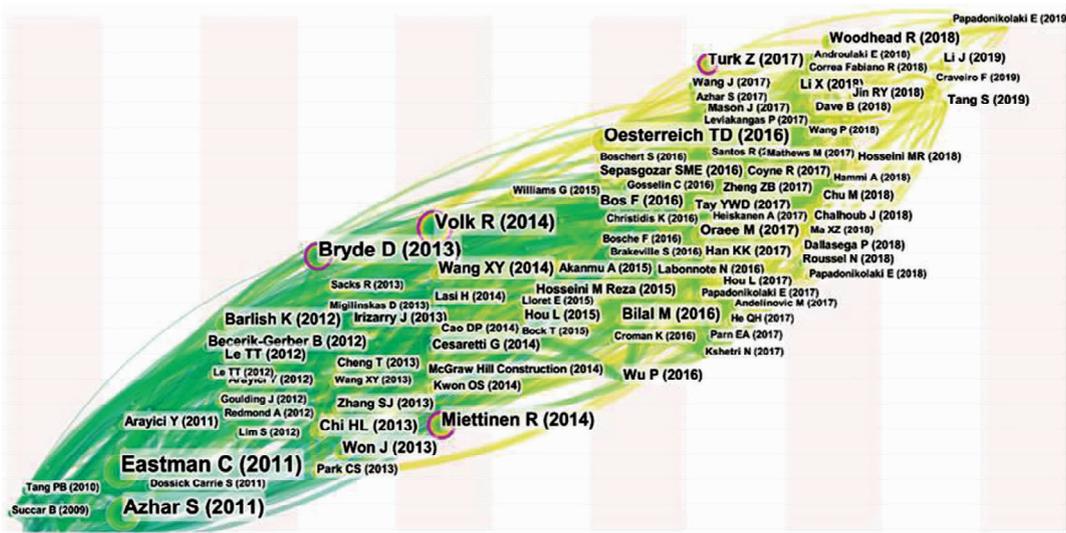


图 6 文献共被引网络的时区图

表 1 共被引图谱中的关键节点文献

作者(年份)	文献名称	文献来源	Centrality
Miettinen R& Paavola S (2014)	Beyond the BIM utopia; Approaches to the development and implementation of building information modeling	Automation in construction	0.13
Turk Z & Kline R(2017)	Potentials of Blockchain Technology for Construction Management	Procedia Engineering	0.13
Bryde D et al. (2013)	The project benefits of Building Information Modelling (BIM)	Procedia Engineering	0.12
Volk R et al. (2014)	Building Information Modeling(BIM) for existing buildings – Literature review and future needs	Automation in construction	0.11

CiteSpace 的文献共被引分析形成时区图谱,设置时间切割为 1 年,探究国际建筑业数字化技术研究的发展历程,明确关键研究成果和该研究领域的知识基础。结果如图 6 所示,其中共有节点 381 个,连线 1235 条,网络密度为 0.0171。

文献共被引时区图谱能反映研究领域的高被引论文、关键文献节点以及研究的演化趋势。从论文被引频次角度分析,由图 6 可知,Eastman C 发表的《BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors》文献被引频次最高(20)该文章是对 BIM 手册的书评,文中从 BIM 功能、技术展望、流程和业务等方面对 BIM 手册内容进行了简短概括;其次是 Azhar S 等人发表的《Building Information Modeling(BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry》(被引频次为 17),该文献中系统地讨论了 BIM 技术在建筑工程行业的当前趋势、益处、可能的风险和未来挑战,为该领域从业者提供有用的专业信息;Bryde D 和 Volk R 发表的文章被引频次都大于 12 次。具体分析文章内容发现,上

述四篇文章都是研究建筑业中的 BIM 技术,可见 2011 - 2015 年 BIM 技术是建筑业领域比较热点的话题。

分析文献共被引的关键节点,罗晓梅等^[17]认为通过梳理关键节点文献,能够反映研究领域核心理论的发展脉络,关键节点一般可以通过 Sigma 值或 centrality(中介中心性)等进行识别。本文根据时区图谱所得的 centrality 进行关键节点判定,表 1 是以时间为序列,列举了共被引图谱中节点 centrality ≥ 0.1 的关键节点文献。除了关键节点文献,图中也有几个影响相对较大的节点,如作者 Oesterreich TD (2016) Barlish K (2012) Eastman C (2011) Azhar S (2011) Bos F(2016)发表的文献 centrality 均在 0.07 以上且被引频次在 6 篇以上。

以关键节点文献为核心,其他相关文献为辅助,梳理国际建筑业数字化技术研究的发展历程。首先,随着 2010 年第二版 BIM Handbook 的出版, BIM 技术被学者广泛关注,Eastman C 等学者从技术、未来发展、流程和业务等方面对 BIM Handbook (second edition)进行内容概括和评价,肯定了该手

册的实用性^[18],在此基础上,Azhar S 等人从微观层面探索 BIM 技术的优点和缺点,从宏观层面明确 BIM 技术的发展趋势及挑战^[19]。Barlish K 等进行了更进一步的研究,提出了一种衡量 BIM 技术价值的计算模型,以投资和回报两个变量为测量指标,利用三个独立的案例验证模型的有效性,最后发现在半导体制造的工具安装部门应用 BIM 技术能使利益最大化^[20]。由于项目的一次性、复杂性等特点,实际上项目的投资和回报是因项目而异,并非一概而论。由以上研究做铺垫,Bryde D 深化了 Barlish K 对项目绩效的研究,通过 35 个使用 BIM 技术的建设项目收集数据,形成一组项目成功评判标准,并使用内容分析来确定每个项目满足标准的程度,探索 BIM 技术的使用给建设项目的各方面带来了多大程度的实际效益,结果发现应用 BIM 技术能有效地降低成本和时间,但 BIM 技术自身还需不断改进和完善,最后提出项目的成本/效益分析、提高员工认识以及对员工的教育和培训是应对 BIM 技术使用挑战的重要活动^[21]。Bryde D 的这篇研究既是对前人研究理论的深刻总结,也是为后续 BIM 技术相关实证研究打下基础。虽然建筑业一直在大力发展 BIM 技术,但是其应用情况并不乐观,在接下来对 BIM 技术的研究中,Volk R 综述了关于 BIM 技术研究的 180 多种出版物,总结了现有建筑中较少应用 BIM 技术的原因,指出过程自动化和 BIM 技术适应现有建筑要求是具有挑战性的研究机会^[22]。Miettinen 将新技术得到充分实施时实现的优势称为 BIM 技术的“乌托邦”,提出了超越 BIM 技术“乌托邦”的开发和实施途径,即依赖不同级别的指南和需要响应特定环境、项目规模、合作伙伴的组成以及所使用的软件工具集的解决方案,通过开发竞争软件平台和工具及实践的本地配置实现差异化,进而进行 BIM 技术的开发与实施^[23]。工业 4.0 最早出现在德国,旨在提高生产率和质量,但 Oesterreich 观察到了这一概念在建筑业并没有得到太多关注,所以探讨了工业 4.0 相关技术在建筑业中的现状和实践。他指出建筑行业 4.0 包括 BIM、云计算或物联网等核心技术,在建筑价值链的全生命周期实现建筑过程的数字化、自动化和集成化,这能提高生产率、效率、质量、协作、安全行及可持续性^[24]。该研究突破了建筑业对 BIM 技术的研究,提出了正在发展的新型数字化技术。Bos F 等概述了建筑用添加剂制造 (AMoC) 的潜力后,详细

描述了 3D 混凝土印刷 (3DCP) 设施,该研究将 3D 打印运用于混凝土建筑中,开辟设计可能性的新途径^[25]。2014 年“区块链 2.0”成为一个去中心化区块链数据库的术语,逐渐被应用到不同行业,其中最有趣的应用是“智能合同”,Aggarwal 和 Kumar^[26]将它们描述为嵌入条款和合同条件的计算机协议,这些条款和条件被编译成在网络上运行的计算机代码。在建筑业中,Shemov 等^[27]通过一个案例研究,从绩效和安全两层面说明区块链平台能够改善整个建筑业,尤其是建筑供应链 (CSC),解决生产力和生产效率的问题,同时加强利益相关者之间的联系。Turk Z 的研究^[28]也是基于区块链概念进行的,他认为区块链有可能解决一些阻碍建筑业使用 BIM 技术的问题,其更有可能被构建到通用的信息技术基础设施中,在此基础上构建建筑应用程序,并非直接使用建筑相关软件。Jennifer Li 等^[29]做了这方面的实证研究,将 BIM 模型与区块链技术融合使用后,发现这促进了协作和信息共享,解决了建筑项目中的信任问题,并鼓励了 BIM 技术的进一步应用。

通过上述对四篇关键文献以及其他重要文献的分析,国际建筑业数字化技术研究的发展历程可以从研究对象和研究内容两个角度进行概括总结。首先,从研究对象角度出发,首先是 BIM 技术的采纳与应用,然后是 3D 打印技术在工程施工中的应用,再是区块链技术的应用,不断涌现的新型数字化技术逐渐在建筑业中得到有效地应用,传统建筑业的生产方式将出现颠覆性的改变。从研究内容的演进来看,初期明确了 BIM 技术概念及内涵,理论分析了 BIM 技术在建筑业中应用的适切性,然后以项目绩效为落脚点实证分析了应用 BIM 技术的实际意义,逐步扩展到面临的问题和解决方案,直至新型数字化技术在建筑业中开始崭露头角。

4 研究热点分析

4.1 研究热点分析方法

关键词是文章研究核心的高度凝练和总结,所以通过 CiteSpace 的关键词共现分析功能可以发掘国际建筑业数字化技术的研究热点问题,为我国该领域的发展提供参考。具体操作:时间切片设置为 1 年,Node Types 选择 Keyword,连线强度选择 Cosine,网络裁剪使用 Pathfinder + Pruning sliced net-

works + Pruning the merged network,同时对重复涵义的关键词进行合并,如 bim 与 building information modelling,最终得到关键词共现网络图谱如图 7 所示,其中共有节点 281 个,520 条连线,网络密度为 0.0132。



图 7 关键词共现网络

关键词共现网络反映两方面的信息,即关键词的频次和具有重要作用的关键词,节点圆圈大小与关键词出现频次呈正比,外圈为紫色的节点表示关键词在共现网络中占有重要地位。选取关键词出现频次不少于 10 的热点词语有 19 个,见表 2。

4.2 研究热点分析结果

结合图 7 和表 2 可知,关键词频次最高的为“bim”,这表明建筑领域学者对 BIM 技术是十分重视的,其余高频关键词为:施工 (construction)、设计 (design)、技术 (technology) 等 19 个热点关键词,详细分析关键词对应的施引文献,可将现有研究归纳为数字化技术的应用阶段和数字化技术的应用价

值两个热点问题。

(1) 数字化技术的应用阶段

BIM 技术是最早出现在建筑业中的数字化技术,在建筑业中一直处于重要地位,随着科技革命的发展,由图可知近几年大数据、增强现实 (AR)、区块链和 3D 打印技术等也逐渐成为建筑业数字化技术研究的热点。在项目建设过程中,数字化技术常被应用于建筑设计 (design)、施工 (construction) 和管理 (management) 等阶段,传统的建筑设计和施工阶段具有利益相关者众多、物资需求量庞杂、工序复杂等特点,数字化技术能够有效地改进传统建造模式中存在的各类问题,所以目前建筑业领域对于数字化技术在设计与施工阶段的应用研究是热点问题。

(2) 数字化技术的应用价值

数字化技术不仅要有理论上的可行性,还要有实际意义。目前建筑业领域较多学者研究数字化技术应用对合作、创新和绩效等结果变量的意义。对于合作指标,学者认为数字化技术作为连接虚拟和现实的桥梁,能实现利益相关者之间无处不在的数字信息共享,激活密集的组织间合作^[30]。对于创新指标,学者认为新型数字化技术能够帮助建筑企业形成自身的竞争优势,提高核心竞争力,是建筑业创新发展的基本保证。对于绩效指标,学者从建设项目角度考虑,数字化技术能直接对项目绩效产生积极影响,从而间接地提升建筑企业绩效^[31]。

5 发展趋势

桑基图是一种特定类型的流程图,能够展现数据的流动情况,通常应用于能源、材料成分、金融等

表 2 高频关键词

序号	关键词	频次	中心度	序号	关键词	频次	中心度
1	bim	65	0.09	11	augmented reality	15	0.11
2	construction	41	0.29	12	performance	14	0.19
3	design	39	0.24	13	collaboration	13	0.02
4	technology	31	0.09	14	framework	12	0.01
5	system	23	0.09	15	industry	11	0.05
6	management	23	0.01	16	model	11	0.02
7	implementation	22	0.03	17	architecture	10	0.13
8	construction industry	20	0.06	18	adoption	10	0.05
9	innovation	19	0.09	19	big data	10	0.03
10	information	17	0.05				

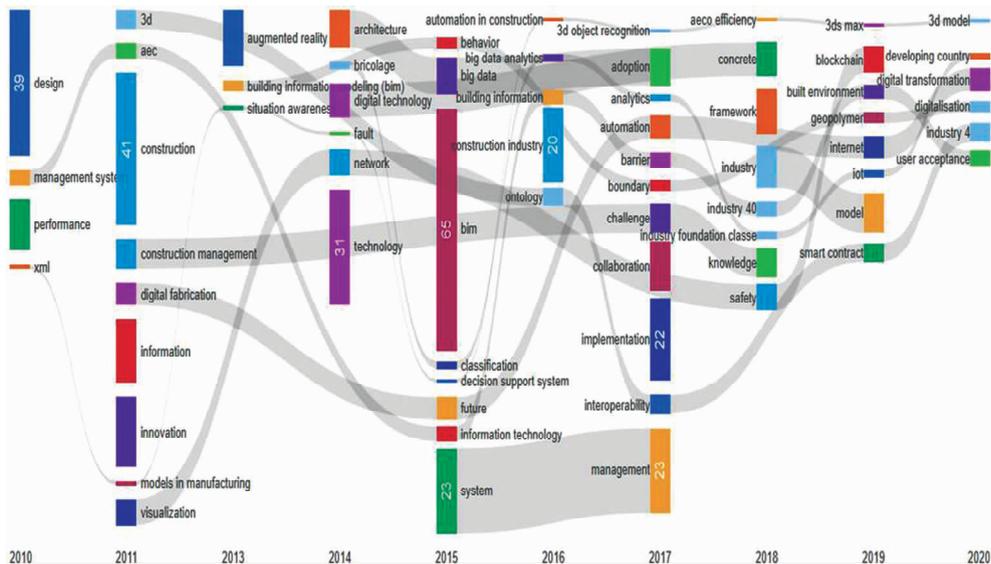


图 8 桑基图

数据的可视化分析。本文利用桑基图,从时间维度分析 2010 - 2020 年不同文献中关键词的活跃程度和变化流程,进行建筑业数字化技术研究发展趋势预测。

图中柱形色块表示关键词出现的频次,色块之间的连线表示研究的演化路径。整体来看,研究主题的数量随着时间的变化表现出初始—增加—融合的趋势。对于关键词活跃程度,“设计 (design)”、“绩效 (performance)”和“创新 (innovation)”等初始关键词较为活跃,说明项目实践的过程和结果是建筑业领域学者研究的根本问题,以此为数字化技术发展的前提是十分必要的。随着时间的变化,学者逐渐重视增强现实技术、BIM 技术、大数据、互联网和区块链等技术自身及其应用价值,其中“BIM”出现的频次最高,由此可见 BIM 技术在建筑业中占有重要地位。在最新的研究中,“数字化转型 (digital transformation)”和“数字化 (digitalisation)”概念的出现反映了全球建筑业的发展方向从传统的建造模式转向以数字化技术为基础的生产方式,同时“用户采纳 (user acceptance)”等活跃关键词也表明了学者将前期进行的理论研究逐渐落到实处,从用户视角探索数字化技术的具体采纳问题。由图 8 可明确研究的变化流程,数字化技术实现了从 BIM-3D - AR - Big data-Blockchain - IOT 的发展,通过查阅文章发现,近几年建筑业领域相关研究呈现多种数字化技术融合使用的趋势,而且研究内容整体呈现“数字化技术的发展—数字化技术在建筑业不同阶

段 (方面) 的应用—应用价值以及挑战—数字化技术融合使用”的循环模式,所以随着物联网 (IOT) 等新兴数字化技术的发展,必然会研究其在建设项目中的应用以及应用过程中存在的问题与瓶颈,进而提出解决方案或融合使用新的数字化技术以解决现存问题。

6 结论

为系统梳理国际建筑业数字化技术研究成果,以“Web of science”核心数据库中 2010 - 2020 年发表的 181 篇相关文献为研究对象,通过 CiteSpace 文献计量软件进行可视化分析,主要结论如下:

(1) 目前建筑业领域的作者、研究机构以及国家之间均形成了合作网络,但网络的紧密程度和联接范围仍有较大的提升空间;

(2) 建筑业数字化技术的研究热点除了以 BIM 技术为基础、不断涌现出 AR 等新型数字化技术之外,还包括数字化技术在建筑设计和施工等阶段的具体应用以及数字化技术对合作、创新和绩效等评价指标的影响;

(3) 当前建筑业数字化领域相关研究呈现多种数字化技术融合使用的态势,未来研究可能以“数字化技术的发展——以 BIM 技术为基础的新型数字化技术在建筑业中的采纳与应用——应用过程中的挑战——提出解决方案”为主题循环发展。

參考文獻

- [1] Correani A, De Massis A, Frattini F, Petruzzelli A, Natalicchio A. Implementing a digital strategy: Learning from the experience of three digital transformation projects[J]. *California Management Review*, 2020, 62: 37-56.
- [2] 丰景春, 赵颖萍. 建设工程项目管理 BIM 应用障碍研究[J]. *科技管理研究*, 2017, 37(18): 202-209.
- [3] 何波, 张慎, 邱文航, 等. 增强现实技术在工程施工中的应用综述[J]. *土木工程与管理学报*, 2020, 37(2): 93-98.
- [4] 张云翼, 林佳瑞, 张建平. BIM 与云、大数据、物联网等技术的集成应用现状与未来[J]. *图学学报*, 2018, 39(5): 806-816.
- [5] 季安康, 王海飙. 基于 BIM 的 3D 打印技术在建筑行业的应用研究[J]. *科技管理研究*, 2016, 36(24): 184-188.
- [6] Chen, C. Science Mapping: A Systematic Review of the Literature[J]. *Journal of Data and Information Science*. 2017, 2(2): 1-40.
- [7] Muhammad Bilal a, Lukumon O. Oyedele a, Junaid Qadir b, et al. Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2016(30): 500-521.
- [8] Buchli Jonas, Giffthaler Markus, Kumar Nitish, et al. Digital in situ fabrication—Challenges and opportunities for robotic in situ fabrication in architecture, construction, and beyond[J]. *Cement and Concrete Research*, 2018(112): 66-75.
- [9] Camacho Daniel Delgado, Clayton Patricia, O'Brien William J, et al. Applications of additive manufacturing in the construction industry – A forward-looking review[J]. *Automation in Construction*, 2018(89): 110-119.
- [10] Nawari, N. O. and S. Ravindran. Blockchain and the built environment: Potentials and limitations[J]. *Journal of Building Engineering*, 2019(25): 16.
- [11] Hasan, A. N. and S. M. Rasheed. The Benefits of and Challenges to Implement 5D BIM in Construction Industry[J]. *Civil Engineering Journal-Tehran*, 2019, 5(2): 412-421.
- [12] Beltagui, A., et al. Exaptation in a digital innovation ecosystem: The disruptive impacts of 3D printing[J]. *Research Policy*, 2020, 49(1)
- [13] Garcia-Alvarado, R., et al. Projections of 3D – printed construction in Chile[J]. *Revista Ingenieria De Construcción*, 2020, 35(1): 60-72.
- [14] Xu, Z., et al. Combining IFC and 3D tiles to create 3D visualization for building information modeling[J]. *Automation in Construction*, 2020, 109.
- [15] Ghosh, A, et al. Patterns and trends in Internet of Things (IoT) research: future applications in the construction industry[J]. *Engineering Construction and Architectural Management*, 2020.
- [16] 宗淑萍. 基于普赖斯定律和综合指数法的核心著者测评—以《中国科技期刊研究》为例[J]. *中国科技期刊研究*, 2016, 27(12): 1310-1314.
- [17] 罗晓梅, 黄鲁成, 王凯. 基于 CiteSpace 的战略性新兴产业研究[J]. *统计与决策*, 2015(6): 142-145.
- [18] Eastman C, Teicholz P, Sacks R, Liston K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors [M]. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.
- [19] Azhar, S. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry [J]. *Leadership and Management in Engineering*, 2011, 11(3): 241-252.
- [20] Barlish K, Sullivan K. How to measure the benefits of BIM – A case study approach[J]. *Automation in Construction*, 2012, 24: 149-159.
- [21] Bryde D, Broquetas M, Volm J M. The project benefits of Building Information Modelling (BIM) [J]. *International Journal of Project Management*, 2013, 31(7): 971-980.
- [22] Volk R, Stengel J, Schultmann F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs[J]. *Automation in Construction*, 2014, 38: 109-127.
- [23] Miettinen R, Paavola S. Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling [J]. *Automation in Construction*, 2014, 43: 84-91.
- [24] Oesterreich T D, Teuteberg F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry[J]. *Computers in Industry*, 2016, 83: 121-139.
- [25] Bos F, Wolfs R, Ahmed Z, Salet T. Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing[J]. *Virtual and Physical Prototyping*, 2016, 11(3): 209-225.
- [26] Shubhani Aggarwal, Neeraj Kumar. Blockchain 2.0: smart contracts[J]. *Advances in Computers*, In Press, available online 3 October 2020.
- [27] Shemov G, Garcia de Soto B, Alkhzaimi H. Blockchain applied to the construction supply chain: A case study with

- threat model [J]. *Frontiers of Engineering Management*, 2020.
- [28] Turk Z, Klinc R. Potentials of Blockchain Technology for Construction Management [J]. *Procedia Engineering*, 2017, 196:638-645.
- [29] Li J, Greenwood D, Kassem M. Blockchain in the built environment and construction industry: A systematic review, conceptual models and practical use cases [J]. *Automation in Construction*, 2019, 102, 288-307.
- [30] Jin R, Hancock C M, Tang L, Wanatowski D. BIM Investment, Returns, and Risks in China's AEC Industries [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2017, 143(12): 1-13.
- [31] Sepasgozar S, Davis S. Construction Technology Adoption Cube: An Investigation on Process, Factors, Barriers, Drivers and Decision Makers Using NVivo and AHP Analysis [J]. *Buildings*, 2018, 8(6):74.

The Research Status and Evolution Trend of Digital Technology in the International Construction Industry

Wang Shiming, Li Caiyun

(*School of Business Administration, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China*)

Abstract: With the advent of digital economy, digital transformation has become a hot issue in the international construction industry. Using the core database of "Web of science" as the data source, 181 papers published between 2010 and 2020 were analyzed for their spatial and temporal distribution, knowledge base, research hotspots and development trend, and the development of digital technology in the international construction industry was sorted out. The research results show that: although the international research output on digitization in the construction industry is increasing year by year, there is still more room for progress in the degree of cooperation among authors, research institutions and countries; the current research on digitization technology in the construction industry mainly focuses on BIM technology, and other new digitization technologies are also gradually gaining the attention of scholars; the research hotspots include not only the digitization technology itself, but also the The research hotspots include not only the digital technology itself, but also the specific application stage and application value of digital technology; the research frontiers include digitalization, digital transformation, user adoption, etc. It is predicted that the future research on digital technology in the construction industry will show a cyclic development trend of "development of digital technology-adoption and application of digital technology-challenges in the application process-corresponding solutions". The research results aim to provide reference for the development of digital technology in the domestic construction industry and promote the digital transformation of the construction industry in China gradually.

Key Words: Construction Industry; Digital Technology; CiteSpace; Sankey Diagram