

基于 CiteSpace 的大数据技术在工程管理领域 研究综述

包慧敏, 孙 剑

(南京工业大学 土木工程学院, 江苏 南京 211816)

摘 要: 本文采用文献可视化工具 CiteSpace 对主流数据库 Web of Science 和 Scopus 中收录的 2006—2019 年发表的工程管理大数据相关文献进行分析, 通过绘制知识图谱, 描述了大数据技术在工程管理领域当前研究趋势、知识结构、研究热点和未来研究趋势。结果表明, 2014 年以来, 关于大数据技术在工程管理领域的研究态势整体呈现上升趋势, 相关研究论文的发表数量快速上升, 研究热度大幅上涨, 其中中国、美国、英国等国家的研究成果最为丰富。通过关键词共现和文章聚类分析得出, 信息管理、建筑业、BIM、风险管理、智慧城市、工程决策和数据挖掘是工程管理大数据的研究热点; 智慧可持续城市和建筑废弃物管理在当前工程管理领域受到了广泛关注并引起高度的研究兴趣。

关键词: 大数据技术; 工程管理; 知识图谱; CiteSpace

中图分类号: TU18 文献标识码: A 文章编号: 2095-0985(2020)04-0131-07

DOI:10.13579/j.cnki.2095-0985.2020.04.017

Overview of CiteSpace Based Big Data Technology in the Field of Construction Management

BAO Hui-min, SUN Jian

(College of Civil Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China)

Abstract: In view of the emerging research and application of big data technology (BDT) in construction management (CM) field, this paper uses CiteSpace, a bibliographical visualization tool, to analyze the relevant literature published during 2006–2019 that are indexed by mainstream databases (i.e. Web of Science and Scopus). On this basis, the knowledge maps of current trend, knowledge structure, hotspots and future research trend of BDT in CM are depicted. Results indicate that the research trend of BDT in CM field has shown an overall upward trend, the number of related papers has increased rapidly and the research heat has increased significantly since 2014. Among them, the countries like China, United States and United Kingdom yield the most influential academic achievements. Through the co-occurrence of key words and clustering analysis of articles, it is concluded that information management, construction industry, BIM, risk management, smart city, engineering decision-making and data mining are research hotspots of big data of construction management. Moreover, the smart sustainable city and construction waste management have received significant attention and attracted higher research interest in the current construction management field.

Key words: big data technology; construction management; knowledge maps; CiteSpace

随着互联网、云计算、物联网的快速发展, 大数据技术受到广泛关注, 工程管理领域也掀起了大数据的研究热潮。蒋妃枫^[1]基于学术期刊的

视角分析了大数据技术在建筑和城市工程领域的应用现状, 并在此基础上提出发展建议; 桂宁等^[2]梳理了基于大数据技术和云技术的 BIM

收稿日期: 2019-09-17 修回日期: 2020-01-07

作者简介: 包慧敏(1996-), 女, 安徽合肥人, 硕士研究生, 研究方向为工程项目管理(Email: 156869304@qq.com)

通讯作者: 孙 剑(1969-), 男, 黑龙江海林人, 博士, 教授, 研究方向为建筑经济与工程项目管理(Email: sunjian9808@163.com)

(Building Information Modeling) 论文与实践,将现有的 Cloud-BIM 应用架构主要归纳为数据层、服务层和应用层三个层次,并指出不同层次上的主要研究进展和应用障碍;Wong 等^[3]对 84 篇大数据技术结合 BIM 的相关论文进行了综述和比较后发现,很少有研究涉及开发基于大数据技术和 BIM 的管理工具并应用于建筑物维修、翻新和拆卸阶段;Safa 等^[4]通过对建筑大数据的调研,得出数据分析、数据挖掘和 BIM 是未来工程管理的的发展趋势。

综观现有的研究成果,有关工程管理大数据的研究热点分布广泛,土木工程信息化建设发展已初具规模,形成了较为完善的理论体系并开发了诸多实用技术^[5],但相关的研究脉络与未来发展的整体分析较少。本文以 Web of Science 和 Scopus 数据库为基础,检索 2006—2019 年中关于大数据技术在工程管理领域研究的文献,运用 CiteSpace 软件对其进行知识图谱量化分析,通过绘制一系列相关知识图谱,展现大数据技术在工程管理领域的研究概况和研究动态,以期为未来的工程管理大数据研究提供参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

CiteSpace 软件由美国 Drexel 大学陈超美教授开发,是在科学计量学、数据和信息可视化背景下发展起来的、最具特色和影响力的信息可视化分析软件之一^[6]。它不仅能提供引文空间的挖掘,还能提供其他知识单元之间的共现分析功能,如作者、机构、国家/地区的合作等^[7]。本文利用 CiteSpace 软件作为研究的可视化工具,绘制一系列相关知识图谱,分析大数据技术在工程管理领域的研究概况与研究动态。

1.2 数据来源

本研究以 Web of Science 核心合集和 Scopus 数据库为数据来源,文献检索时间为 2019 年 5 月。将“big data”“project management”“construction management”“engineering management”“cloud computing”作为检索主题词,检索时间设置为 2006—2019 年,文献类型为“all document types”,并对研究领域加以选择。使用 Endnote 软件对文献检索原始数据进行人工识别及筛选,剔除与本次研究主题无关的论文。将管理之后的 Scopus 标准数据与 WOS 数据进行合并以及除重,最终得到 400 篇论文作为本次研究的分析对象。对所得

文献(2019 年除外)进行初步的年度分析,得到发文数量时间分布图(图 1)。

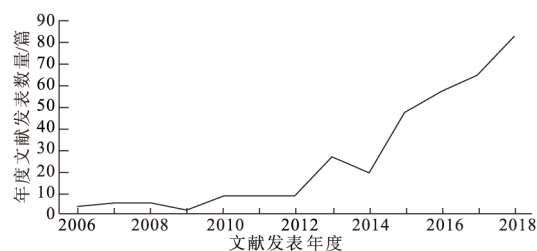


图 1 发文数量时间分布

由图 1 可知,关于大数据技术在工程管理领域的研究态势整体呈现上升趋势,2010 年首次出现峰值,2014 年以来,相关研究论文的发表数量快速上升,研究热度大幅上涨。其中,2006—2013 年共发表文献 70 篇,2014—2018 年共发表文献 274 篇,占整体研究对象的 66.8%。

2 工程管理大数据研究基本情况

2.1 国家(地区)合作分析

将整理之后的数据导入 CiteSpace 软件中,节点类型选择 Country,运行软件得到国家(地区)合作图谱,如图 2 所示,主要合著国家(地区)信息如表 1 所示。由图表可知,大数据技术在工程管理领域研究影响力较大的国家为中国、美国 and 英国。中国在发文频次和中心性两个指标上都领先于其他国家,是开展研究最活跃的国家,在国际合作研究中起着重要的作用。其次,美国、英国的中



图 2 国家(地区)合作图谱

表 1 合著国家(地区)频次及中心性

国家	频次	中心性
中国	98	0.33
美国	87	0.36
英国	39	0.20
德国	22	0.09
法国	14	0.19
澳大利亚	14	0.01
韩国	12	0.02
意大利	11	0.14
马来西亚	10	0.01
瑞士	9	0.01

心性和发文频次也都较高,表明他们不仅相关文献产出量高,而且在文献合著上有比较高的关联性。随着大数据技术在工程管理领域研究与应用的推广,预计将来研究的文献数量会呈现上升趋势,国内外专家学者们将进行更为广泛和深入的研究。

2.2 期刊共被引分析

节点类型选择 Cited journal,运行软件后得到期刊共被引图谱,如图 3 所示,显示了相关研究引用期刊的分布,并在表 2 中列出了被引频次前 15 位的期刊信息。被引频次最多的期刊为《Automation in Construction》,涉及方向为信息技术与建筑工程,影响因子为 4.313。中心性是测量节点在网络中重要性的一个指标,通过它可以发现和衡量节点的重要性^[8]。中心性最高的期刊是《Communications of the ACM》,涉及方向为计算机科学与

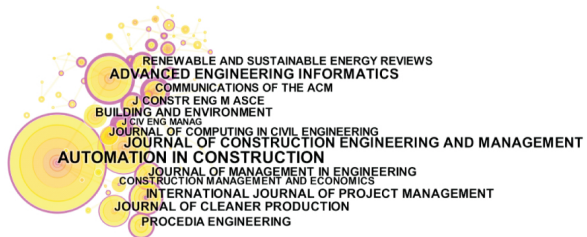


图 3 期刊共被引图谱

表 2 被引频次前 15 位的期刊信息

频次	期刊名称	中心性	国家
116	Automation in Construction	0.26	荷兰
63	Journal of Construction Engineering and Management	0.16	美国
56	Advanced Engineering Informatics	0.47	英国
39	International Journal of Project Management	0.27	美国
36	Journal of Cleaner Production	0.17	美国
31	Journal of Management in Engineering-ASCE	0.37	美国
30	Building and Environment	0	英国
29	Procedia Engineering	0.22	荷兰
26	Communications of the ACM	0.68	美国
25	Renewable and Sustainable Energy Reviews	0.45	荷兰
24	Journal of Computing in Civil Engineering	0.21	美国
19	International Journal of Operational Research	0.17	英国
16	European Journal of Operational Research	0.22	荷兰
16	Expert Systems with Applications	0.47	英国
18	Construction Management and Economics	0	英国

方法,影响因子为 5.410。其次是期刊《Advanced Engineering Informatics》,涉及方向为工程领域的信息与决策研究应用,影响因子为 3.772。根据综合被引频次与中心性,《Automation in Construction》《Communications of the ACM》和《Advanced Engineering Informatics》是大数据技术在工程管理领域研究的重要核心期刊。

2.3 文献共被引分析

运用 CiteSpace 软件,节点类型选择 Reference,绘制文献共被引图谱,如图 4 所示,展示了大数据技术在工程管理领域的研究中具有一定影响力的文献,在表 3 中列出了共被引频次前 10 位的文献信息。

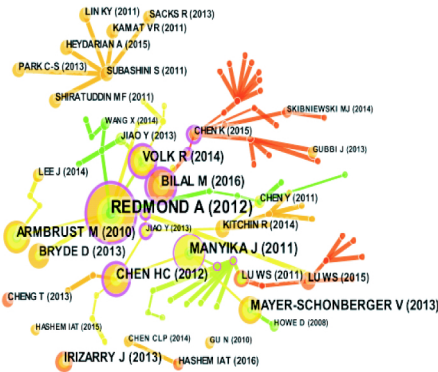


图 4 文献共被引图谱

表 3 共被引频次前 10 位的文献信息

频次	第一作者	文献类型	研究主题
15	Redmond A	研究论文	BIM
10	Manyika J	研究报告	大数据
9	Bilal M	综述论文	大数据与建筑行业
8	Mater-Schonberger V	出版书籍	大数据
8	Chen H C	研究论文	商业智能
6	Lu W S	研究论文	建筑垃圾
5	Chen M	综述论文	研究现状与发展
5	Lu W S	研究论文	建筑垃圾
5	Kitchin R	研究论文	智慧城市
4	Lu W S	研究论文	建筑垃圾

研究报告和出版书籍的主要内容均为关于大数据技术为各行各业乃至整个社会所带来的变革与契机,是进行大数据技术相关研究的基础。麦肯锡全球研究院(MGI)在研究报告《Big Data: The Next Frontier for Innovation, Competition and Productivity》一文中首次正式提出了“大数据”的概念,强调了大数据技术探索与研究的意义和价值^[9]。Mayer-Schonberger^[10]在其编著的《Big Data: A Revolution》一书中前瞻性地指出,大数据带来的信息风暴正在变革我们的生活、工作和思维,大数据开启了一次重大的时代转型。

综述论文从多种角度对既有的研究成果进行

总结与分析,为后续研究提供参考与指引。Bilal 等^[11]认为,大数据技术的普遍适用性使得它近些年在建筑行业中得到广泛应用,同时 BIM、物联网、云计算、智能建筑、AR(Augmented Reality) 等许多新兴技术进一步扩大了它的适用范围,但更敏捷、更强大的大数据技术应用更新过程较缓慢。Chen 等^[12]提出了大数据技术在工程管理领域研究中仍存在理论研究、技术开发、实际应用和数据安全等方面的局限,同时对发展趋势做出预测——未来将面临规模更大、多样性更高、结构更为复杂的数据集,跨学科的合作研究将会是必然,可视化和数据导向研究等同样也会成为研究热点。

高被引研究论文展现了近些年对大数据技术在工程管理领域研究具有着重推动作用的研究成果或实践进展,从这些论文的题目、摘要与关键词等信息中不难发现,BIM、建筑垃圾管理和智慧城市是近年来热度比较高的研究主题。Redmond 等^[13]提出将云计算作为 BIM 应用“云 BIM”的集成平台,以增强不同施工应用程序之间操作的交互性。Lu 等^[14~16]致力于研究将大数据技术应用于建筑垃圾管理领域,建筑垃圾管理领域的大数据研究仍处于起步阶段,面临着诸多挑战,尤其是相关信息的获取和更为高效的挖掘方法。通过实证研究发现,建筑垃圾的主要来源是杂类废物、木材和混凝土,大量的建筑垃圾产生于建筑物的拆除阶段;作为衡量指标的垃圾产生率(WGR)能够反映实际产生的废物量,是建筑垃圾管理工作中一项重要指标。同时,Lu 等针对性地提出了减少建筑垃圾的具体建议,并强调应制定关于提高建筑垃圾管理效率的公共政策。智慧城市中的大数据研究同样有待进一步完善,Kitchin^[17]认为,大数据技术有助于人们的日常生活和决策,并赋予城市发展更多的可能性,但其同时也存在着诸多政治、商业层面的顾虑。

3 工程管理大数据研究动态

3.1 关键词共现分析

关键词是对论文研究主题的高度凝练,高频关键词反映了特定时间段内相关研究的热点^[11]。以 Keyword 为节点类型,运行软件并合并同义词后通过 Timezone View 功能,得到工程管理大数据关键词时区图谱,如图 5 所示。总体来看,工程管理大数据相关研究呈现出三个递进阶段:第一阶段,2006—2008 年,由于相关技术发展不完善和

实践案例不足,这一时期的研究较为概括,但也为此后的研究提供了参考;第二阶段,2009—2014 年,这一时期的文献发表数量有所增加,研究人员着手于将大数据技术融入于建设工程全生命周期管理之中;第三阶段,2015 年至今,研究人员将大数据技术与物联网、机器学习等新兴技术结合,对建筑可持续性、垃圾管理、智慧城市等领域以及数据的获取与分析进行更为深入的研究。高频关键词集中反映了研究中的热点问题,根据 Donohue^[18]由齐普夫定律推导出的关键词临界值模型统计词频: $T = \frac{1}{2}(-1 + \sqrt{1 + 8I_1})$ 。式中: I_1 表示词频为 1 的关键词个数; T 为高、低频词的词频临界值。利用文献题录信息统计分析工具 SATI 软件对样本中关键词频次进行统计,频次为 1 的关键词的个数为 576,计算得 $T = 33.445$,所以定义词频大于等于 34 次的关键词为本次研究的高频词,如表 4 所示。

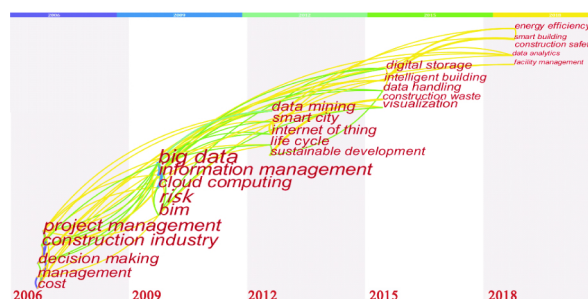


图 5 关键词时区图谱

表 4 高频关键词信息

关键词	词频	中心性
information management	90	0.16
construction industry	73	0.19
BIM	69	0.11
risk management	54	0.11
smart city	43	0.03
decision making	42	0.03
data mining	34	0.09

注:已剔除核心检索词 big data(178 次),project management (106 次)和 cloud computing(92 次)。

(1) 信息管理(information management)

信息技术在工程管理领域的应用与发展,加速了工程管理领域及整个建筑行业的现代化进程。Fitz 等^[19]通过研究证实,随着建筑行业的数字化转型、BIM 的普及以及其他相关流程的广泛应用,关于建筑大数据的数据质量和准确性的研究愈发重要。杨青等^[20]提出大数据技术在工程项目管理中应用的主要难点是:如何提取、处理不同类型的大量数据,以及与实际问题相结合的预测与优化方法。

(2) 建筑业(construction industry)

大数据技术为建筑行业带来了新的发展契机与动力。Tang 等^[21]为建筑行业的大数据研究提供了一个新的数据收集视角——社交媒体, 社交媒体数据能够在一定程度上更完善地呈现建筑行业的实际情况、提供解决问题的新角度和预见可能出现的状况, 并辅助工程管理工作和制定相关政策。

(3) 建筑信息模型(BIM)

大数据技术与 BIM 的结合, 使其不再局限于解决安装工程的碰撞和成本控制等问题, 而是渗透到建设工程全生命周期的管理之中。Arslan 等^[22]提出并开发了一个使用 BIM 软件和无线传感器技术以实现主动安全管理的系统, 有效地为管理者提供决策所需信息的数据可视化, 并在设施管理阶段减少安全隐患。Wong 等^[3]提出将大数据与基于云技术的 BIM 相融合, 对建筑物的整个生命周期进行环境可持续性监测和管理。

(4) 风险管理(risk management)

建设工程的风险会因项目所在地区不同而产生一定的差异。Dang 等^[23]确定了越南路桥建设的 51 个风险因素的具体概率和影响, 并将其分为承包商相关风险、项目相关风险、业主相关风险和外部风险。Valipour 等^[24]利用 SWARA(Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis) 和 COPRAS(Complex Proportional Assessment of Alternatives) 方法进行风险评估, 并确定施工安全风险、地质条件不利、管理经验不足、应急预案不完善、地面沉降等是设拉子地区开挖工程的主要风险。

(5) 智慧城市(smart city)

智慧城市中产生的数据体量巨大、处理要求高, 大数据技术为智慧城市提供支撑环境, 实现智慧应用管理和数据关联分析等功能。Deren 等^[25]总结了智慧城市的代表性特征, 并以智慧城市监管、智慧交通、智慧环境监测、智慧旅游为例进行论证, 说明智慧城市在提供技术证券和智能服务方面具有优势。Osman 等^[26]提出了一个新的应用于智慧城市的大数据分析的框架——智慧城市数据分析面板, 相对于既有的框架, 其增加了模型管理和模型聚合两个功能。

(6) 决策(decision making)

建设工程的复杂性导致了决策的不确定性, 建设工程参与主体的多元化也进一步加剧了信息不对称和方案冲突, 将大数据技术融入决策过程可以在很大程度上缓解甚至解决上述问题。El-gendy 等^[27]将大数据分析集成到决策过程中, 使

用大数据分析来增强和支持决策制定, 最终开发了“大数据、分析和决策”框架。Ma 等^[28]通过灰色理论和 TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) 计算方法, 确定了实现利益相关者共同利益最大化的五项指标——技术转让、尊重文化栖息地和传统、环境污染控制、提高生产效率、建立信任和牢固的关系。承包商选择决策支持系统作为项目管理的一个组成部分, Semaan 等^[29]提出了一个选择承包商的模型, 该模型结合了问题的管理和技术方面, 并通过实例分析验证了该模型的可行性。

(7) 数据挖掘(data mining)

建筑业作为数据量最大的行业之一, 数据的收集与挖掘是工程管理领域大数据技术研究与应用的重难点之一。Pasini 等^[30]定义了一个数字化操作认知建筑的框架, 以建筑的使用阶段为重点, 通过收集并分析运营过程中的实时信息, 将预测的性能与实际测量相关联, 从而估计和弥补建筑性能的不足。

3.2 文章聚类分析

采用对数似然算法(Log-Likelihood Ratio, LLR) 从文献摘要中提取聚类标签, 得到文献共被引网络聚类图谱, 如图 6 所示, 图谱中网络密度为 0.0312, 聚类整体模块度为 0.7435, 平均轮廓值为 0.6245, 参数均在合理范围之类, 说明聚类结果具有高可信度且网络社团结构稳定, 在一定程度上显示了当前相关研究的主要领域。



图6 文献共被引网络聚类图谱

最大的群组(#0) 为智慧可持续城市(smart sustainable cities), 轮廓值为 0.799。大数据技术及其应用在实现智慧可持续城市的运营和服务、优化自然资源、基础设施的智能管理等方面发挥重要作用。群组中最活跃的是 Bibri 等^[31]对智慧可持续城市背景下物联网及相关大数据应用的研究, 提出了一个针对有关概念、分析和整体层面, 以及对特定技术及其新应用的研究分析框架, 为城市规划者、相关专家学者和其他城市利益相关者提供所需信息, 让他们更为深入详细地了解物联网和大数据技术应用于实施智慧可持续城市项

目时可以获得效益。

第二大群组(#2) 为建筑垃圾处理(waste management) 轮廓值为 0.98。建筑垃圾的可持续处理已成为世界范围内一个日益紧迫的社会、环境和经济问题。群组中最活跃的是 Jin 等^[32]以建筑垃圾处理相关论文为基础,确定了在建筑垃圾处理研究中最具影响力的期刊、学者、文章和国家,揭示了 BIM、装配式建筑、大数据等新兴研究课题,讨论并总结了主流研究领域和研究缺口,并提出了相关框架研究说明。

第三大群组(#3) 为建筑行业(construction industry) 轮廓值为 0.884。大数据技术已经广泛应用于包括建筑行业在内的各行各业,但在建筑行业的研究与应用起步较晚,发展较为滞后。群组中最活跃的是 Bilal 等^[11]在建筑行业的背景下,对统计学、数据挖掘与仓储、机器学习、大数据分析等领域的文献进行了广泛的跨学科综述,为未来的研究工作提出了可行方向和潜在陷阱。

4 结 语

从 Web of Science 核心合集和 Scopus 数据库中检索并筛选出符合本次研究要求的文献,利用 CiteSpace 软件构建了一系列知识图谱,得出以下结论:

(1) 从文献时间和地区来看,2014 年以来,大数据技术在工程管理领域的相关研究文献年度发表数量明显增加,中国在发文频次和中心性两个指标上都明显领先于其他国家,科研成果丰富,在相关研究的国际合作中起着重要的作用。

(2) 根据期刊共被引分析可知,在相关研究中有着重大贡献和影响的期刊包括《Automation in Construction》《Communications of the ACM》和《Advanced Engineering Informatics》。

(3) 通过对关键词的共现分析、文章聚类分析可知,信息管理、工程决策、BIM、风险管理、数据挖掘和智慧城市等是大数据技术在工程管理领域研究中提及频次最高的关键词。根据文献摘要进行聚类,其中最大的三个群组分别是智慧可持续城市、建筑垃圾管理和建筑行业,与高共被引频次文献的研究主题一致,这在一定程度上显示了我国目前相关研究的主要领域。

综上所述,国内外学者对于工程管理大数据已经展开了较为深入的研究,并取得了一定的科研成果,本研究通过对现有成果的梳理和分析,厘清了工程管理大数据的研究脉络和研究热点,为

相关学者今后的研究提供了参考。由于检索策略选择和软件运行过程中少量文献数据未被识别,本研究在研究对象的完整性上还存在着一些局限。值得关注的是,未来工程管理大数据与 BIM、物联网、云技术等新兴技术的研究与应用不可分割,将共同致力于智慧城市与绿色建筑的实现与发展。因此,学者们在后续的研究工作中应更多地尝试跨学科合作研究,从而进一步推进工程管理大数据研究的发展。

参 考 文 献

- [1] 蒋妃枫. 大数据在建筑和城市工程领域的应用及发展综述[J]. 价值工程, 2017, (4): 205-207.
- [2] 桂 宁, 葛丹妮, 马智亮. 基于云技术的 BIM 架构研究与实践综述[J]. 图学学报, 2018, 39(5): 817-828.
- [3] Wong J K W, Zhou J. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: a review[J]. Automation in Construction, 2015, 57: 157-165.
- [4] Safa M, Hill L. Necessity of big data analysis in construction management[J]. Strategic Direction, 2019, 35(1): 3-5.
- [5] 孙 璐, 葛敏莉, 李易峰, 等. 土木工程信息化发展综述[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2013, 43(2): 436-444.
- [6] Chen C. CiteSpace II: detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2006, 57(3): 359-377.
- [7] 李 杰, 陈超美. CiteSpace: 科技文本挖掘及可视化(第2版)[M]. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2017.
- [8] 李 杰. CiteSpace 中文指南[EB/OL]. (2017-07-18) [2019-02-25]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-554179-1066981.html>.
- [9] Manyika J, Chui M, Brown B, et al. Big Data: The Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity[R]. McKinsey Global Institute, 2011.
- [10] Mayer-Schonberger V, Cukier K. Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work and Think[M]. London: Hodder Export, 2013.
- [11] Bilal M, Oyedele L O, Qadir J, 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.
- [12] Chen M, Mao S, Liu Y. Big Data: a survey[J]. Mobile Networks and Applications, 2014, 19: 171-209.
- [13] Redmonda A, Horeb A, Alshawic M, et al. Exploring

- how information exchanges can be enhanced through cloud BIM [J]. *Automation in Construction*, 2012, 24: 175-183.
- [14] Lu W, Yuan H, Li J, et al. An empirical investigation of construction and demolition waste generation rates in Shenzhen city, South China [J]. *Waste Management*, 2011, 31: 680-687.
- [15] Lu W, Chen X, Peng Y, et al. Benchmarking construction waste management performance using big data [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2015, 105: 49-58.
- [16] Lu W, Chen X, Ho D C W, et al. Analysis of the construction waste management performance in Hong Kong: the public and private sectors compared using Big Data [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112: 521-531.
- [17] Kitchin R. The real-time city? Big data and smart urbanism [J]. *GeoJournal*, 2014, 79: 1-14.
- [18] Donohue J C. *Understanding Scientific Literatures: a Bibliometric Approach* [M]. Cambridge: MIT Press, 1973.
- [19] Fitz D V, Saleeb N. Examining the quality and management of non-geometric building information modeling data at project hand-over [J]. *Architectural Engineering and Design Management*, 2019, 15(4): 297-310.
- [20] 杨青, 武高宁, 王丽珍. 大数据: 数据驱动下的工程项目管理新视角 [J]. *系统工程理论与实践*, 2017, 37(3): 710-719.
- [21] Tang L, Zhang Y, Dai F, et al. Social media data analytics for the U.S. construction industry: preliminary study on Twitter [J]. *Journal of Management in Engineering*, 2017, 33(6): 04017038-1-15.
- [22] Arslan M, Riaz Z, Munawar S. Building Information Modeling (BIM) Enabled Facilities Management Using Hadoop Architecture [C]//*Proceedings of 2017 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*, PICMET, 2017: 1-7.
- [23] Dang C N, Le-Hoai L, Kim S Y, et al. Identification of risk patterns in Vietnamese road and bridge construction [J]. *Built Environment Project and Asset Management*, 2017, 7(1): 59-72.
- [24] Valipour A, Yahaya N, Noor N M D, et al. Hybrid SWARA-COPRAS method for risk assessment in deep foundation excavation project: an Iranian case study [J]. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2017, 23(4): 524-532.
- [25] Deren L I, Shan J, Shao Z, et al. Geomatics for smart cities—concept, key techniques, and applications [J]. *Geo-spatial Information Science*, 2013, 16(1): 13-24.
- [26] Osman A M S. A novel big data analytics framework for smart cities [J]. *Future Generation Computer Systems*, 2019, 91: 620-633.
- [27] Elgendy N, Elragal A. Big data analytics in support of the decision-making process [J]. *Procedia Computer Science*, 2016, 100: 1071-1084.
- [28] Ma L, Wang L, Wu K, et al. Assessing co-benefit barriers among stakeholders in Chinese construction industry [J]. *Resources, Conservation & Recycling*, 2018, 137: 101-112.
- [29] Semaan N, Salem M. A deterministic contractor selection decision support system for competitive bidding [J]. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2017, 24(1): 61-77.
- [30] Pasini D, Ventura S M, Rinaldi S, et al. Exploiting Internet of Things and Building Information Modeling Framework for Management of Cognitive Buildings [C]//*Proceedings of 2016 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*. IEEE, 2016: 1-6.
- [31] Bibri S E. The IoT for smart sustainable cities of the future: an analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability [J]. *Sustainable Cities and Society*, 2018, 38: 230-253.
- [32] Jin R, Yuan H, Chen Q. Science mapping approach to assisting the review of construction and demolition waste management research published between 2009 and 2018 [J]. *Resources, Conservation & Recycling*, 2019, 140: 175-188.