

# 中国 BIM 体系下装配式建筑可视化图谱分析

王宝令,杨丽斌

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

**摘要:**为有效解决建筑工业化和智能化协同发展所面临的问题,中国正积极促进建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)支持下装配式建筑的发展。运用了文献计量分析方法,对2011—2021年中国BIM体系下装配式建筑的研究趋势、作者和机构集群及研究热点关键词进行了可视化图谱分析,旨在提高建筑从业者对BIM体系下装配式建筑的综合认知。研究发现:跨地域机构研究承接协同、“装配式建筑-BIM-EPC”一体化及运营维护的全生命周期设计管理是未来的重点研究方向。

**关键词:**BIM;装配式建筑;图谱分析;CiteSpace

**中图分类号:**TU712

**文献标志码:**A

**引用格式:**王宝令,杨丽斌.中国BIM体系下装配式建筑可视化图谱分析[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2024,26(3):273-279.

当前,中国建筑业正处于数字化进程与工业化转型的关键期,在建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)体系支持下的装配式建筑发展模式,已成为促进建筑工业化与智能化协同发展的有效路径。随着装配式建筑及BIM研究的深入,其固有缺陷逐渐显现,即大型装配式建筑项目常因参与方众多而面临信息沟通不及时的问题<sup>[1]</sup>。

中国学术界在装配式建筑及BIM领域的文献计量研究已取得一定成果。郭晓剑等<sup>[2]</sup>通过知识图谱探索了中国建筑信息化的发展前沿;张永成等<sup>[3]</sup>通过绘制可视化图谱进行了热点分析并提出了加强技术研发和机构合作等建议。近年来,国内的研究视角由对BIM与装配式建筑领域的宽泛探讨转向了更为精细化的分析。林武等<sup>[4]</sup>将视角

转移到BIM软件开发方向,对BIM软件的发展态势进行了分析;贾玲利等<sup>[5]</sup>对比研究了国内外装配式墙体的发展,发现国外侧重于对新材料和抗震性能进行研究,国内侧重于工业建筑方向的研究。张玉琢等<sup>[6]</sup>基于BIM三维模型探究了装配式建筑的碳排放量,发现当预制率为44%时,预制装配式建筑的碳排放量最低。

当前,中国学者在装配式建筑与BIM的前沿研究中关注的领域较为单一,尚缺乏跨领域的综合类研究。鉴于此,笔者应用CiteSpace软件对2011—2021年的中国知网数据库中的核心期刊文献进行分析,并探究研究动态、总结梳理结论,以为该领域的研究提供参考。

## 一、数据来源和分析方法

笔者主要通过图表与可视化图谱技术,

分析国内 BIM 体系下装配式建筑的研究前沿。为保证数据的可靠性及研究质量,笔者选取高水平期刊文献以探究该领域的发展情况。笔者以中国知网数据库内的北大中文核心期刊与 CSSCI 期刊文献为数据来源,以“BIM”和“装配式”为关键词,共检索到 172 篇高质量的核心期刊文献作为研究样本。

文献计量分析采用由美国德雷赛尔大学陈超美教授开发的 CiteSpaceV. 5. 8. R3 软件<sup>[7]</sup>进行,利用该软件对研究领域文献的可视化图谱进行分析,以揭示该领域的研究现状与未来发展趋势。笔者导出了 2011—2021 年的国内 BIM 体系下装配式建筑核心文献,并将其导入 CiteSpace 软件,对作者、合作机构、关键词及突变词等进行图谱可视化分析。

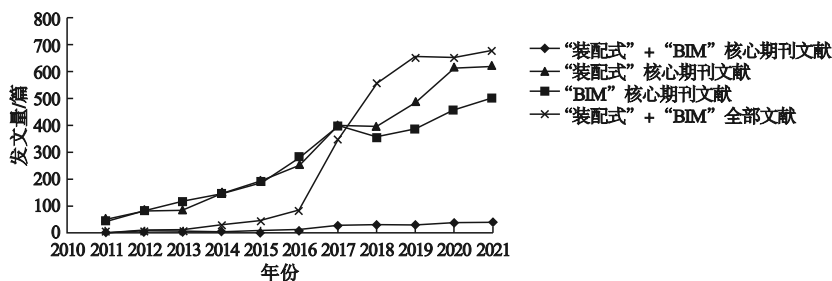


图1 相关研究发文量趋势

探索初期(2011—2016年)。曾敏敏等<sup>[10]</sup>首次明确提出了利用 BIM 技术优化装配式建筑设计的研究方向,这标志着该领域研究的开端。此后直至 2016 年,相关文献主要侧重于理论研究和运用 BIM 技术解决装配式建筑设计、施工缺陷方面。

爆发期(2017—2021年)。伴随国家相关政策的出台,BIM 技术和装配式建筑得到了重点发展,并由此推动了建筑行业科技的进步。2017 年,中华人民共和国住房和城乡建设部出台了《“十三五”装配式建筑行动方案》,发布了《建筑信息模型施工应用标准》(GB/T 51235—2017),随着鼓励、引导、发展 BIM 的政策层出不穷,该领域进入了学术研究与发文量的爆发期。研究内容扩展到协同设计、产业链、增量成本等领域,使得研究更为细化、全面。

## 2. 研究者团队现状

企业和高校对 BIM 体系下装配式建筑

## 二、国内 BIM 体系下装配式建筑文献特征分析

### 1. 发展趋势

年度发文量能够反映该领域的科研活动水平,代表每年的学术产出<sup>[8-9]</sup>。笔者对 3 075 篇 BIM 体系下装配式建筑相关文献(其中包括 172 篇核心文献),进行了发表年份的统计分析(见图 1)。BIM 体系下装配式建筑领域的文献发表量总体呈现出上升趋势,但与 BIM 和装配式建筑领域的独立研究相比,核心文献的发表量仍然较低。依据发文量的增长趋势,笔者将中国 BIM 体系下装配式建筑的研究历程划分为以下两个阶段。

的持续深入研究,有助于推动中国建筑行业的科学发展。笔者对 BIM 体系下装配式建筑领域的核心期刊作者进行了可视化图谱分析,在 CiteSpace 软件中选取“Author”节点绘制了核心作者可视化图谱(见图 2)。在核心作者可视化图谱中,作者之间的合作关系即为节点(N)之间的连线(E),线条粗细和颜色深浅都能反映作者间合作的密切程度(Density)。由图 2 可知, $N = 207$ 、 $E = 196$ 、 $Density = 0.009\ 2$ ,这表明 2011—2021 年在 BIM 体系下装配式建筑研究领域中有 196 位作者存在研究合作;作者合作的密切程度数值仅为 0.009 2,意味着部分作者虽已经形成研究团队,但团队之间的联系较弱,尚未形成较大的合作研究群。

进一步对研究领域和团队间合作关系的紧密程度进行分析。刘美霞等<sup>[11]</sup>侧重于装配式建筑政策领域的研究,并以此延伸出全过程管理、产业链和节能排碳等方向的研究;

曹江红等<sup>[12]</sup>从全过程、质量和进度方向探索了适应 BIM 装配式建筑的新型管理模式;郭海山等<sup>[13]</sup>运用 BIM 技术提高了装配式建筑结构、节点的稳定性和抗震性能;智鹏等<sup>[14]</sup>

基于实际案例对工程建造智能化进行了分析和研究。由此可以推测,研究领域的差异导致了不同团队间的合作相对较少,或使得团队间的联系不够紧密。

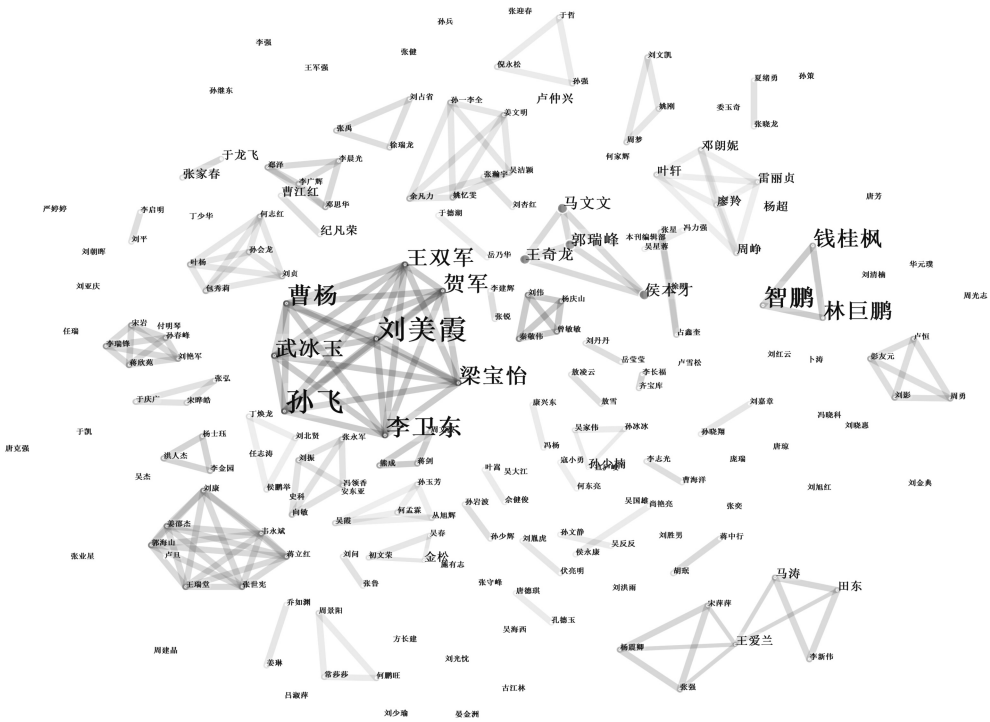


图 2 作者集群可视化图谱

3. 研究机构现状

对发文机构的区域分布情况及其合作网络进行分析,以期探究不同研究领域作者的地域集群分布特征(见图 3)。由图 3 可知,2011—2021 年共有 127 个研究机构涉足

BIM 体系下的装配式建筑研究,其中有 68 个机构展现出了合作关系。然而,这些机构间的图谱密度参数值(Density)仅为 0.008 5,这表明,虽然研究机构合作网络在一定程度上呈现出密集趋势,但不同集群间合作的紧

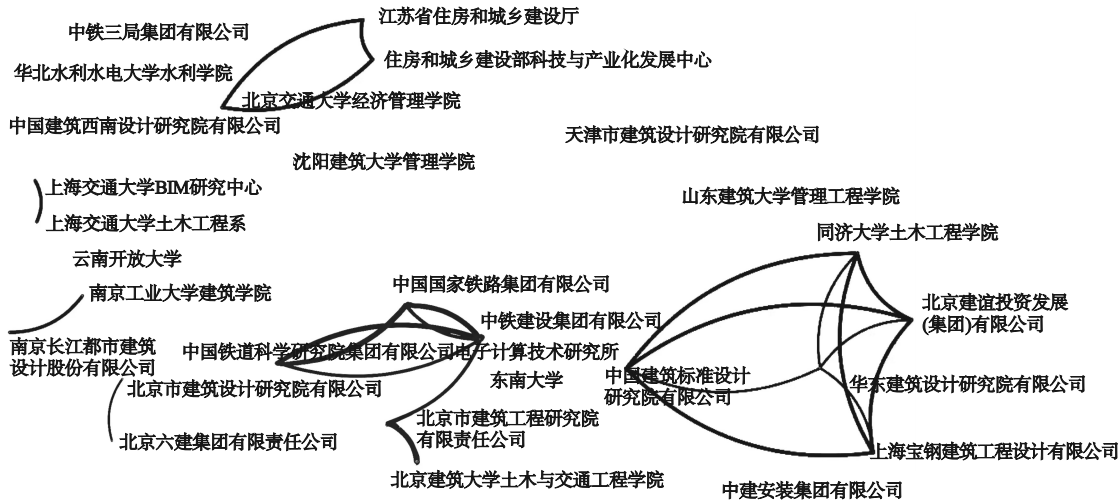


图 3 作者机构集群可视化图谱

密性不足,这可能导致信息流通不畅,对 BIM 体系下装配式建筑的快速推广将造成一定程度上的负面影响。

研究机构合作网络知识图谱能反映核心文献作者单位间的合作关系,同时能体现出各区域的研究水平。在地域内部合作方面,以北京建筑大学土木与交通工程学院、北京市建筑工程研究院有限责任公司和中铁建设集团有限公司等为核心的研究团队较为活跃;同济大学土木工程学院与华东建筑设计研究院有限公司等机构也形成了以其为核心的研究集群。在跨地域合作方面,北京建谊投资发展(集团)有限公司与华东建筑设计研究院有限公司等、江苏省住房和城乡建设厅与北京交通大学经济管理学院之间的合作显著。分析结果显示,跨区域及跨机构的合作活动主要集中在经济发达的一线城市,而在其他区域,多数研究由单一机构独立完成。在这一研究领域中,建筑类高等院校是主要的研究力量,其中同济大学和东南大学在发文量上位居前列,具体数据如表 1 所示。

表 1 建筑类高等院校发文数量

机构名称	数量/篇	首次发表年份
同济大学	7	2018
东南大学	6	2017
南京工业大学	5	2018
西安建筑科技大学	5	2019
天津城建大学	4	2018

### 三、BIM 体系下装配式建筑研究的热点和前沿

#### 1. 热点关键词分布情况

通过热点突现关键词(以下简称“关键词”)的可视化图谱分析,可以有效揭示 BIM 体系下装配式建筑在国内不同时间阶段的研究热点。在 CiteSpace 可视化软件中,聚类模块值  $Q$  大于 0.3 表示聚类结果具有显著性;聚类平均轮廓值  $S$  大于 0.5 表示聚类结果具有较高的可信度。

关键词聚类图谱(见图 4)显示, $Q$  值为 0.740 5, $S$  值为 0.99,均超过阈值,证明聚类结果合理。在时间轴图谱(见图 5)中, $Q$  值为 0.653 9, $S$  值为 0.976 6,也显示出聚类结果的合理性。在可视化图谱中,节点代表不同的分析对象,节点的大小与其出现频率成正比。聚类中所包含的突变词(Burst)越多,表示该领域的研究越活跃,同时也能反映出研究的新趋势。排名前 9 的关键词如表 2 所示,2011—2015 年铁路客站、信息化、产业发展、智能化、信息系统、工程建造等关键词较为突出,可推断此期间内研究的重点关注领域为“‘装配式’+‘BIM’”。预制构件和深化设计领域在 2016 年受到重点关注,极大地促进了后续 BIM 体系下装配式建筑的实践研究和多维研究。

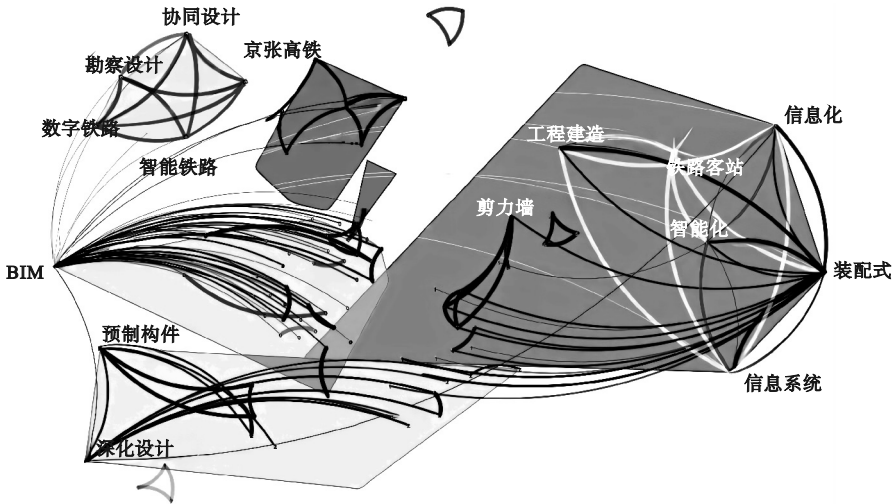


图 4 关键词聚类可视化图谱

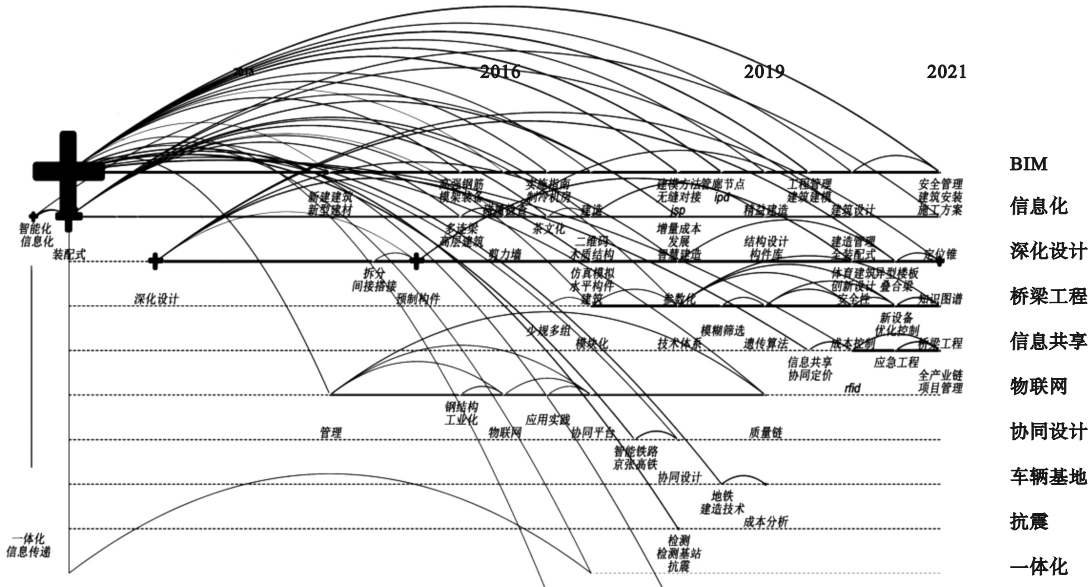


图 5 关键词时间轴可视化图谱

表 2 排名前 9 的关键词及突现度

关键词	突现度	起始年份	终止年份
铁路客站	2.76	2011	2016
信息化	2.61	2011	2015
产业发展	2.02	2011	2015
智能化	2.02	2011	2015
信息系统	2.02	2011	2015
工程建造	2.02	2011	2015
预制构件	1.11	2016	2016
深化设计	1.14	2016	2016
精益建造	1.23	2019	2021

进一步对关键词聚类 and 突变词进行综合分析。初期 BIM 与装配式建筑的结合点主要集中于铁路桥梁方面,近年来研究的重点转向了住宅与大型工程项目领域。自 2016 年起,研究方向从单维度转为多维度,如 2016—2021 年出现的预制构件、深化设计、物联网、装配式、模块化、建造、施工技术、精益建造等关键词都体现了研究的交叉融合。通过对聚类与演进的分析归纳,预计未来的研究热点将集中在一体化与全寿命周期管理、协同深化设计、预制构件应用、产业链整合及精益建造等方面。另外,虽然国内在 BIM 体系下的装配式建筑研究正处于高速发展期,但关于装配式建筑的运营与维护研究尚未在全寿命周期管理体系中独立成型,预计该领域也将成为未来的研究热点。

2. 热点研究领域分析

(1) 一体化及全寿命周期管理

随着工程实践和理论研究的持续发展,学术界普遍将装配式建筑的全产业链建设视为一项复杂的系统工程<sup>[15]</sup>,该过程包括设计、生产、运输和安装环节,这与工程总承包 (Engineering Procurement Construction, EPC) 管理模式不谋而合。装配式建筑的全产业链建设借助 EPC 管理模式,对其全寿命周期进行综合管控,以解决装配式建筑设计在全过程中可能出现的协同深化设计、预制混凝土 (Precast Concrete, PC) 构件设计、设计变更等需要多方参与协同设计的问题。该管理模式也有利于解决装配式建筑固有的 BIM 软件不协同、质量责任主体不明确等问题。基于“装配式建筑 - BIM - EPC”一体化互融的合作模式,有助于实现建筑项目的多维度协同优化目标,进一步推动装配式建筑全产业链管理的科学发展。

(2) 深化设计

2012 年,有学者提出了利用 BIM 技术对装配式建筑进行深化设计的概念,其影响周期为 2016—2017 年。装配式建筑的核心是“集成”,BIM 技术是“集成”的手段,实现“集成”的关键在于信息协同<sup>[16]</sup>。因此,对于

装配式建筑来说,信息协同是深化设计中必不可少的一部分。通过对 BIM 平台进行设计与搭建,可以精确设计信息、模拟碰撞检查;通过进一步优化复杂区域设计,可以减小误差,进而实现设计施工的一体化发展。在未来,应通过发挥深化设计技术的应用优势,转移构件生产商的部分压力。

### (3) BIM-PC 构件及其产业链

目前缺少涵盖 PC 构件设计至安装全过程的信息一体化集成理论与方法的研究,其中,跨组织跨阶段的信息传递与协同问题亟待解决<sup>[17]</sup>。PC 构件在设计、深化设计、生产、运输、安装等过程可能导致信息分裂,这会对整个工程项目造成负面影响。在深化设计至生产过程中,借助 BIM 平台能快速准确地提取各阶段所需材料的种类和用量,能有效控制所生产构件的成本和质量。

### (4) 精益建造

由表 2 可知,精益建造的影响期限为 2019—2021 年,其影响力高达 1.23。近年来,国内建筑业工程项目管理正由“粗放型”向“精细化”转型,精益建造在转型过程中显得格外重要。精益建造为 BIM 技术提供了一种先框架后应用模式,即通过构件的设计、生产、运输、装配等阶段协同应用框架,解决了流程碎片化的问题。然而,其在装配式建筑实际施工过程中暴露出了一些有待研究和解决的问题,如在安装阶段如何运用 BIM 技术实现高精度建造,如何提高预制构件的质量及如何有效缩减装配式工程预制构件吊装的时间等。

### (5) 装配式建筑运营维护

随着装配式建筑普及率的提升,其后期运营与维护也成为了一个重要的研究领域。在国内 BIM 体系中,装配式建筑的发展尚处于初期阶段,其运营维护研究常在建筑投入使用后被忽略。通过提前将运营维护的部分工作纳入建设过程,并在 BIM 平台上进行预模拟与数据保存,以此为后期的维护奠定基础,并促进 BIM 技术在装配式建筑全生命周期中的应用。研究需持续关注如何利用

BIM 与区块链技术,在建筑全生命周期内为后期运营维护设定长远目标并提供技术支持。该领域的研究应持续探讨 BIM 与区块链技术的结合使用,进而在建筑全生命周期中为后期运营维护设定长期目标并提供技术支撑。

## 四、结 论

综合以上对于 2011—2021 年 BIM 体系下装配式建筑领域的核心文献分析,国内在将 BIM 技术应用于装配式建筑研究中表现出以下特征。

从文献计量角度来看,BIM 体系下装配式建筑领域研究的潜力巨大,实践创新和技术需求将持续推动该领域研究的深入探索,并将促使研究不断细化、研究范围不断拓展。

从合作团队和研究机构角度来看,尽管许多研究者已组成研究团队,但高校与企业之间的跨界合作仍然不够充分;地域因素在这一研究领域中起到了显著作用,并导致了明显的地区间研究壁垒的形成。对于研究基础较弱的地区,相关企业与高校应在地区内加强构建“高校-科研院所-设计机构-生产企业-施工单位”的全产业链合作模式,且理论与应用研究应更加注重结合地域特性和实际经济社会条件。

从研究热点和未来发展前沿角度来看,前沿研究领域主要集中在以下 5 个关键研究热点:“一体化”“协同深化设计”“产业链”“精益建造”和“装配式建筑运营维护”。将装配式建筑的一体化、EPC 与 BIM 紧密结合,消除管理上的隔阂,优化装配式建筑的产业链结构,提升中国装配式建筑在国际工程项目领域中的地位。

## 参考文献:

- [1] 李乃旭,王浩玮,梅江钟.基于云物元理论的装配式建筑供应链风险预警[J].土木工程与管理学报,2020,37(3):123-129.
- [2] 郭晓剑,胡欢.基于 CiteSpace 的我国建筑信息化知识图谱构建和分析[J].土木工程与管理学报,2020,37(6):44-51.

[3] 张永成,何家辉,罗丽姿. 基于计量统计的装配式建筑管理与技术发展特征研究[J]. 科技管理研究,2021,41(9):89-95.

[4] 林武,张业星,斯铁冬,等. 基于 CiteSpace 的 BIM 仿真软件开发的态势分析[J]. 人民长江,2021,52(S2):274-278.

[5] 贾玲利,王琰. 国内外装配式墙体研究现状与市场应用发展分析[J]. 混凝土,2021(6):129-135.

[6] 张玉琢,郭峰,毕天平. 预制构件对建筑碳排放量的影响研究:以浙江省某预制装配建筑为例[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版),2023,25(4):386-391.

[7] 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(2):242-253.

[8] 刘二稳,赵成龙,孙浩森,等. 基于 Web of Science 的绿色建筑研究文献态势分析[J]. 山东建筑大学学报,2019,34(1):90-94.

[9] 金占勇,夏爽,黄春雷,等. 基于 CiteSpace 的国内 BIM 研究热点与趋向分析[J]. 建筑经济,2021,42(6):103-107.

[10] 曾敏敏,杨庆山,刘伟,等. 装配式临时架体的数字化信息模型研究[J]. 四川建筑科学研究,2011,37(5):251-253.

[11] 刘美霞,李卫东,曹杨,等. 城市区级装配式建筑产业链需求引导政策对比分析[J]. 建筑结构,2022,52(13):1-6.

[12] 曹江红,纪凡荣,解本政,等. 基于 BIM 的装配式建筑质量管理[J]. 土木工程与管理学报,2017,34(3):108-113.

[13] 郭海山,蒋立红,刘康,等. 装配式高层混凝土剪力墙结构新技术开发与示范[J]. 施工技术,2016,45(4):19-22.

[14] 智鹏,钱桂枫,林巨鹏. 京津冀重点客站工程建造信息化智能化技术研究及应用[J]. 铁道标准设计,2022,66(3):143-149.

[15] 刘向前,周晓璐. 关于 EPC 工程总承包在深圳市装配式建筑中的应用研究[J]. 住宅与房地产,2021(35):48-52.

[16] 王巧雯. 基于 BIM 技术的装配式建筑协同化设计研究[J]. 建筑学报,2017(S1):18-21.

[17] 王淑嫻,彭赛青,卢仲兴. 基于 BIM 的 PC 构件设计与生产信息集成及应用研究[J]. 建筑经济,2020,41(5):109-114.

# Visual Mapping Analysis of Assembled Buildings under Chinese BIM System

WANG Baoling, YANG Libin

(School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** In order to effectively solve the problems faced in promoting the synergistic development of industrialized and intelligent buildings, China is actively promoting the development of assembled buildings under Building Information Modeling (BIM). A bibliometric analysis was applied to visualize and map the research trends, clusters of authors and institutions, and hot keywords of research on assembled buildings under the BIM system in China from 2011 to 2021, in order to improve the construction workers' comprehensive knowledge of assembled buildings under the BIM system. It is found that the synergy of research undertakings of cross-regional institutions, the integration of "assembly building-BIM-EPC", the promotion of mutual integration, and the lifecycle design management of operation and maintenance are the key research directions.

**Key words:** BIM; assembly building; mapping analysis; CiteSpace

(责任编辑:徐聿聪 英文审校:林昊)