

基于 CiteSpace 的国内外装配式建筑施工安全 研究现状与趋势对比

杨 彦¹, 祝连波¹, 石振群¹, 许小进¹, 黄一雷²

(1. 苏州科技大学 土木工程学院, 江苏 苏州 215000; 2. 美国南达科他州立大学, 南达科他州 SSO 202B)

摘要:为了系统、科学地对比分析国外和国内装配式建筑施工安全领域的研究现状,运用知识图谱分析软件 CiteSpace 对来自 Web of Science 和 CNKI 数据库的 345 篇相关文献进行计量与可视化分析,绘制关键词聚类图谱、核心作者与共被引文献聚类图谱、研究时区图等。研究表明:近年来,国内外关于装配式建筑施工安全的研究文献呈不断上升趋势;通过聚类图谱及词频分析发现,国内外装配式建筑施工安全的研究都较多地涉及“安全管理”和“BIM 技术”;关于研究热点,国外学者聚焦“场外施工”“复合材料结构”“物联网技术”等高新技术的实际应用,而国内学者则通过“层次分析法”“模糊综合评价”等研究方法理论建立安全管理体系;对核心作者进行分析发现,国外学者间交流密切,已形成较稳定的合作网络,而国内学者以独自研究为主,尚未形成稳定的研究网络;关于研究趋势,国外学者更关注装配式建筑安全相关理论与工程实践的结合,国内学者以理论研究、方法和经验总结为主。根据上述对比分析结果,提出了推动中国装配式建筑施工安全科学发展的对策和建议。研究成果为中国装配式建筑施工安全研究和进一步发展提供借鉴和参考。

关键词:装配式建筑;施工安全;知识图谱;CiteSpace;对比分析

中图分类号:X92; TU714 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)01-0375-09

2020 年 8 月,住房和城乡建设部等九部门联合印发了《关于加快新型建筑工业化发展的若干意见》,强调要以新型建筑工业化带动建筑业全面转型升级,提出加强系统化集成设计、优化构件和部品部件生产、推广精益化施工等要求^[1]。这是自 2016 年公布的《国务院办公厅关于大力发展装配式建筑的指导意见》后又一重要政策^[2]。该文件的发布意味着装配式建筑将由高速发展阶段进入高质量发展阶段。但是,根据中国住房和城乡建设部对中国房屋市政工程安全生产事故情况的统计显示(图 1),2015—2019 年这 5 年间,发生安全事故总计 3275 起,死亡人数 3 840 人,事故数量和死亡人数呈现逐年增长的趋势。

装配式建筑领域进行安全施工属于房屋市政工程的一部分,如何在装配式建筑领域进行安全施工,降低安全事故率显得尤为重要。国内外学者对

于建筑施工安全的研究已取得一定成果,Maryam 等^[3]对美国近些年装配式建筑安全事故的数据进行了统计分析,指出装配式构件连接点的失稳问题导致高空坠落事故是影响安全施工的主要因素。Muhannad 等^[4]对美国装配式建筑施工问题及死亡人数进行了统计,认为改善安全行为是建筑领域的首要任务。丛为一、张守健等^[5]以不安全行为的监测和预防为主题,以 Web of Science 数据库为基础,通过整理分析了建筑工程不安全行为的研究趋势和热点。蒋元苗^[6]采取系统动力学的方法,对中国大中城市 85 个项目施工现场危险源管理现状进行分析,总结了装配式建筑施工安全生产事故数据,概括了以危险源辨识与控制为基础的新型建筑施工工艺与传统施工工艺危险源各自的特点。但上述研究缺乏对装配式建筑施工安全研究成果的总结分析,尤其缺乏对该领域国内外学者研究成果的

收稿日期:2021-09-15

基金项目:江苏省住建厅项目(2018ZD165);江苏省社会科学基金(18GLC003);江苏省中外合作办学高水平示范建设项目;苏州科技大学人才引进项目;2018 年苏州科技大学科研与实践创新项目(SKSJ18_008);2019 年江苏省研究生科研与实践创新项目(SJCX19_0841)。

作者简介:杨彦(1996—),男,江苏苏州人,苏州科技大学土木工程学院,硕士研究生,研究方向为装配式建筑、建筑施工安全;祝连波(1973—),女,湖南湘乡人,苏州科技大学土木工程学院,教授,博士,硕士研究生导师,研究方向为装配式建筑管理及建筑信息模型。

对比分析。因此。本文使用信息可视化软件 CiteSpace,基于 Web of Science 和 CNKI(中国知网)数据库的相关文献,通过绘制关键词聚类图谱、核心作者与被引文献聚类图谱、时区视图等,以知

识图谱的方式对国内外装配式建筑施工安全的研 究热点和研究趋势进行分析,以期揭示国内外对该 领域的研究差异,并为中国装配式建筑施工安全的 研究和进一步发展提供建议。

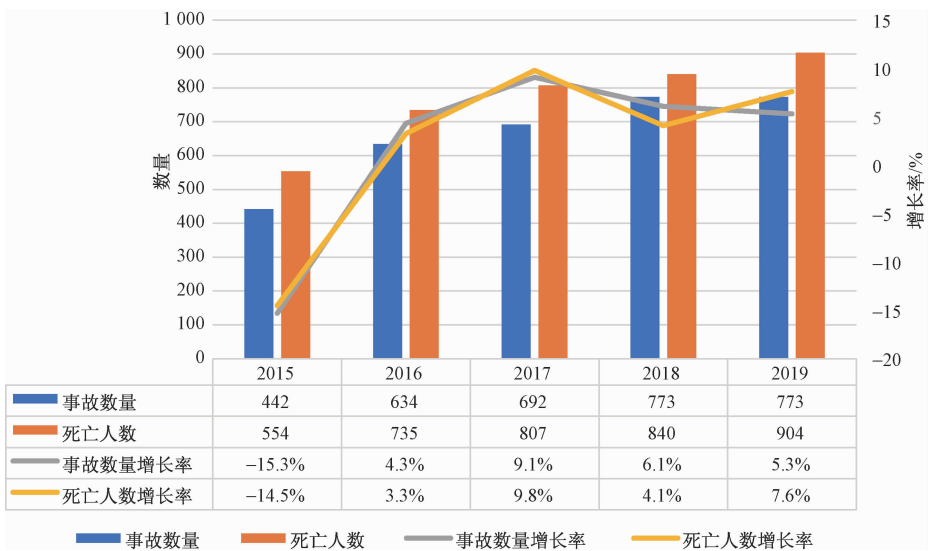


图 1 2015—2019 年房屋市政工程事故数和死亡人数统计

1 基础数据来源及研究方法

1.1 数据来源

本文应用 CiteSpace 软件对 Web of Science 和 CNKI(中国知网)中的核心期刊进行检索(表 1)。Web of Science 中,在建筑安全领域的背景下以 Prefabricated Construction、Modular Construction 为关键词进行搜索,并对文献进行筛选,最终得到 145 篇装配式建筑施工安全研究的国外研究文献,其中最早研究文献出现在 2012 年,最终选取时间区间为 2012—2020 年。中国知网(CNKI)中,在装配式建筑领域的背景下以施工安全为关键词进行检索,并对文献进行筛选,最终得到 200 篇装配式建筑施工安全研究的国内文献,其中最早研究文献出现在 2015 年,所以最终选取时间区间为 2015—2020 年。

表 1 数据来源

数据库	Web of Science	CNKI
检索方式	主题检索	主题检索
检索词汇	Prefabricated Construction or Modular Construction+Construction Safety	装配式建筑+施工安全
时间区间	2012—2020 年	2015—2020 年
文献数量	145	200

1.2 研究方法

采用计量可视化与定量分析的方法,使用

CitesSpace 软件对装配式建筑施工安全的前沿热点进行探索。基于关键词词频、关键词聚类、中心度分析^[7]的方法对关键词之间的相关性进行分析,探索关键词之间的亲疏关系,以发现该领域内的研究热点^[8]。基于研究作者和研究机构聚类对该领域的主要研究内容和作者的合作关系进行分析,以发现该领域内的研究关联性。基于时间线视图和时区视图对装配式建筑施工安全不同时期研究热点进行分析,以发现该领域的研究前沿和未来发展趋势。

2 装配式建筑施工安全的国内外研究热点分析

2.1 国外装配式建筑施工安全的研究热点分析

在 Web of Science 中以“Prefabricated Construction or Modular Construction+ Construction Safety”为关键词进行高级搜索,去除 news item、proceeding paper 以及与研究主题不相关的文献后,最终得到 145 篇有效的相关文献,如图 2 所示。关于装配式建筑施工安全的研究始于 2012 年,且相关的研究文献呈稳步上升的趋势。

采用 Citespace 软件对上述 145 篇的文献进行全面、深入地分析。将 Web of Science 中的数据库中的文献导入软件,以 Keywords 作为节点类型,2012—2020 作为时间切片范围,并对近义词和同义词进行合并,最终得到国外装配式建筑施工安全文

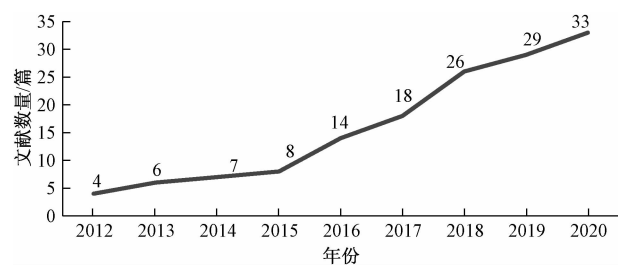


图 2 2012—2020 年国外装配式建筑施工安全的研究文献数量变化

献研究的关键词共现图谱(图 3)与关键词聚类及词频表(表 2)。国外装配式建筑施工安全领域研究关键词共现图谱中显示的节点数量 $N=309$ 个,其中节点大小表示关键词出现频率的高低,关键词之间的连线数 $E=559$,网络密度为 0.011 7, Q 值为 0.744 4 (>0.3),mean silhouette 值为 0.569 9 (>0.4)表明聚类的结构合理且同质性较好。

结合图 3 的关键词聚类图谱和表 2 的词频统计,并将涉及必要关键词(Prefabricated Construc-

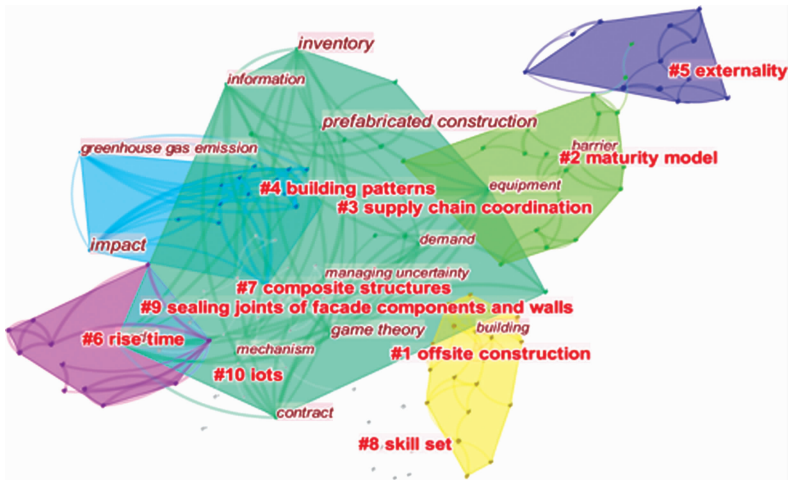


图 3 国外装配式建筑施工安全研究文献关键词聚类图谱

表 2 国外装配式建筑施工安全研究的典型聚类及关键词词频统计

聚类编号	聚类名称	关键词	词频	占比/%
# 1	Offsite construction	Prefabricated Construction	89	25. 43
# 2	Maturity model	Greenhouse gas emission	62	17. 71
# 3	Supply chain coordination	Safety assessment	41	11. 71
# 4	Building patterns	BIM	34	9. 7
# 5	Externality	Game theory	33	9. 42
# 6	Rise time	Managing uncertainty	25	7. 14
# 7	Compositestructures	Risk management	21	6
# 8	Skill set	Contract	15	4. 3
# 9	Sealing joints of façade components and walls			
# 10	Iots			

tion or Modular Construction)的聚类图谱和关键词词频去除后可知,国外对于装配式建筑的研究和应用较早,已经形成较为完善的行业标准和体系,研究热点包括“场外施工”“供应链协同”“复合材料结构”“物联网技术”等新型工业化建筑技术,Li等^[9]通过演化博弈的方法对供应链中的设计方、施工方和建筑商的知识共享稳定策略进行研究;Wang等^[10]设计了供应商和零售商的双方博弈模型,通过该模型提出了供应链碳减排的最优策略;Annan等^[11-12]对现浇建筑与钢模块建筑的结构性能进行了对比,指出提升建筑抗震的性能的关键是各模块

间竖向连接情况;Goulding等^[13]认为将VR技术与施工现场结合,通过虚拟现实的方式改变传统施工过程中安全交底时施工人员只听不做的状况,实现非施工现场建设(offsite construction)。Ray等^[14]指出装配式建筑施工过程中,吊运过程极易引发安全事故,通过引入物联网技术,实时获取人员、设备等的位置,以减少安全危险。

2.2 国内装配式建筑施工安全的研究热点分析

在中国知网(CNKI)中以“装配式建筑+施工安全”为关键词进行高级检索,以SCI、CSSCI、CSSCD、EI以及核心期刊为检索条件,除去会议论文、

报道以及与研究主题不相关的文献后,最终得到 200 篇有效的相关文献,如图 4 所示。关于装配式建筑施工安全的研究始于 2015 年,且相关的研究文献数量处于稳步上升的趋势。

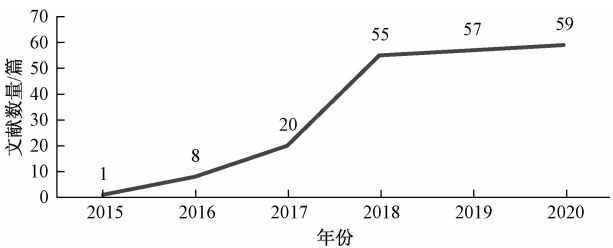


图 4 2015—2020 年国内装配式建筑施工安全研究文献关键词聚类图谱

采用 CiteSpace 软件对上述 200 篇文献进行全面、深入地分析。将 CNKI 数据库中的文献导入软件,以 Keywords 作为节点类型,2015—2020 年作为时间切片范围,并对近义词和同义词进行合并,最终得到国内装配式建筑施工安全文献研究的关键词共现图谱(图 5)与关键词聚类及词频表(表 3)。国内装配式建筑施工安全领域研究关键词共现图谱中显示的节点数量 $N=179$ 个,其中节点大小表示关键词出现频率的高低,关键词之间的连线数 $E=283$,网络密度为 0.018, Q 值为 0.750 4 (>0.3),mean silhouette 值为 0.702 4 (>0.4)表明聚类的结构合理且同质性较好。

结合图 5 的关键词聚类图谱和表 2 的词频统计,并将涉及必要关键词(装配式、装配式建筑)的聚类图谱和关键词词频去除后可知,由于国内对于装配式建筑的研究还处于上升期,行业标准和体系还未完全形成,研究热点包括“层次分析法”“模糊综合评价”“熵权法”等研究方法及“安全评价”“安全管理”等研究内容。杨爽^[15]使用属性数学的方法,



图 5 国内装配式建筑施工安全研究文献关键词聚类图谱

表 3 国内装配式建筑施工安全研究的典型聚类及关键词词频统计

聚类编号	聚类名称	关键词	词频	占比/%
# 1	施工安全	装配式建筑	125	31.25
# 2	安全管理	施工安全	68	17
# 3	安全评价	安全管理	56	14
# 4	层次分析法	风险评价	42	10.5
# 5	多级可拓	BIM	29	7.25
# 6	安全	安全影响因素	22	5.5
# 7	BIM 技术	层次分析	12	3
# 8	施工安全风险	熵权法	9	2.25
# 9	吊装			
# 10	装配式建筑工程			
# 11	模糊综合评价			

对装配式建筑施工阶段的风险因素进行了分析,对单指标属性测度和多指标综合属性测度进行了分析,建立了安全属性综合评价系统;杨斯玲等^[16]从人、物、环境、管理、技术的角度构建了施工安全评价指标,结合 Baye 近似法修正理论对装配式建筑施工安全进行多层次递阶评价;冯亚娟等^[17]使用了熵权法确定指标权重,使用集对分析对装配式建筑施工安全状况进行预测,构建 EW-SPA 的施工安全模型;陈伟等^[18]基于系统动力学的方法构建了装配式建筑施工安全事故应对的因果关系图,并使用多目标规划的方法对事故的安全资源投入进行了分析与评价,研究结果表明提升装配式建筑的构件吊装技术水平是施工安全管理重点。

2.3 国内外装配式建筑施工安全领域的研究共同性分析

通过上述聚类及词频分析可以看出,国内外装配式建筑施工安全的研究都涉及“安全管理”“风险评价”“BIM 技术”等关键词。

“风险”是项目系统中的不确定因素^[19]也是安全事故产生的直接原因,装配式建筑的施工可以划分为 4 个阶段,即预制构件的工厂生产阶段、物流运输阶段、堆放阶段、装配阶段^[20]。多维作业空间的并行施工和复杂的新型施工工艺极易叠加安全风险,因此,为了保证装配式建筑施工安全,必须对施工风险的规律性进行研究和量化分析,找出安全事故危害所在,对每个危害的风险做出评估^[21]。

“BIM 技术”即建筑信息模型化(building information modeling)是在过去 CAD 软件的基础上拓展的建筑多维信息模型,它通过数字信息模拟仿真建筑所包含的基础、柱、梁、板等全部构件^[22],实现了以三维的方式展示整个建筑。在装配式建筑施工过程中,项目的参与者众多,导致了项目施工过

程的信息量巨大、类型复杂、来源广泛,而 BIM 具有协作性的特点,它将建筑工程所有基本对象的信息都放在同一的数据库中,参与者在此平台上提取和更改信息,将相关意见反馈给施工单位,及时、准确地优化施工方案,进一步完善施工安全计划。依托于 BIM 的“碰撞检查”“施工模拟”功能,可以将施工进度计划和建筑模型导入 BIM 软件中,实现 4D 甚至 5D 的动态施工模拟,通过仿真模拟,检测施工过程中存在的坠落、碰撞等安全隐患,提升项目的整体安全性^[23]。

2.4 国内外装配式建筑施工安全领域的研究热点对比

为实现建筑业由粗放式到精细化发展的产业转型升级,建筑工业化的发展势在必行^[24],而装配式建筑则是实现建筑工业化的重要举措。随着装配式建筑的发展,建设过程中的许多问题也暴露出来,其中施工安全问题首当其冲,如何减少甚至避免安全事故,成为当今社会日益关注的问题。

装配式建筑施工安全的国外研究方面,图 3 的 #1 聚类“Offsite construction”包括“PPVC”“Pre-finished Volumetric Construction”“Construction industrialization”等关键词。预制预装修厢式建筑是预先把整个房间在与预制工厂进行加工,完成结构与装修(包含墙面、栏杆、吊顶灯)部分,形成独立模块,将这些模块运输至吊装现场,进行现场吊装^[25]。模块化建筑是在装配式建筑的基础上进行再深化,将预制率达到最大。由于与内装工作皆是在工厂内采取流水线作业的方式完成,相比传统施工方式,大大减少了所需工人数量,且由于工程的施工环境可控性,能够有效地减少材料浪费,并且模块单元的制造受季节和天气的制约影响较小,大大减少了工期延误发生的可能性,缩短了建设时间。

装配式建筑施工安全的国内研究方面,图 5 的 #4 聚类“层次分析法”包括“AHP”“The Analytic Hierarchy Process”等关键词,层次分析法是一种定性和定量相结合的、系统的、层次化的分析方法^[26]。该方法可以根据拟解决问题的性质,将问题分成不同的组成因素,并按照因素的相关性及隶属关系将各因素按不同的层次进行聚合,形成多层次的分析结构模型,从而使问题归结为由最低层(供决策的方案、措施等)相对于最高层(拟解决问题目标)的权重值的确定或相对次序的确定。

图 5 的 #2 聚类“安全管理”包括“安全管理体系”“安全管控”“危险源控制”等关键词,装配式建

筑在施工过程中运用了大量的新工艺和新技术,这会导致装配式建筑施工过程中不确定因素增加,进而诱发施工事故的发生^[27]。虽然中国已经建立了较为完善的传统现浇式建筑施工的安全生产管理体系,但装配式建筑施工安全管理体系还处于初步开发阶段,如何使装配式建筑由高速发展阶段转向高质量发展阶段,确保安全施工,已成为社会关注的焦点。

2.5 装配式建筑施工安全研究的核心作者及被引文献分析

为了对装配式建筑施工安全领域核心作者及文献被引情况进行深入、准确地分析,需要将该领域中相关作者群的成熟度加以总结^[28],并根据被引文献查找功能找出装配式建筑施工安全领域关键文献。根据普赖斯定律^[29]推论可知,达到成熟度要求的相关领域核心作者最低论文数的计算公式为 $m \approx 0.748 \times \sqrt{n}$ (n 为发文量最多的作者论文数量, m 为核心作者最低发文量), $n \approx 4$, 故设置阈值为 4, 得到装配式建筑施工安全研究领域的核心作者与被引文献聚类图谱,如图 6 和图 7 所示。国内外研究共被引文献频次排序见表 4。

表 4 国内外研究共被引文献频次排序

序号	共被引文献	被引次数	共被引文献	被引次数
1	Mohamed Alhussin (2013)	20	常春光(2017)	21
2	Yu Bai(2019)	17	吴溪(2018)	12
3	Wei Pan(2019)	15	张程城(2018)	10
4	Ahmed Bouferguene(2014)	15	姜东民(2017)	7
5	Wonkee Hong(2017)	12	徐峰(2019)	6
6	Jeonghoon Lee(2019)	10	孟霄(2018)	6
7	Carl Haas(2017)	8	付杰(2016)	5
8	Mohammad Nahangi(2017)	8	马辉(2020)	5
9	JY Richard Liew(2020)	6	乔治(2018)	3
10	XiaoMeng Dai(2017)	4	丁小虎(2017)	2

根据核心作者及共被引文献聚类图谱可知国外关于装配式建筑施工安全的研究起步较早,关键文献发表日期起步于 2013 年,且核心作者之间合作交流密切,如 Mohanmed Nahangi 与 Jeffrey West, Carl Hass、Ahmed Bouferguene 与 Zhen Lei 等。而国内装配式建筑施工安全研究的关键文献集中在 2017—2018 年,起步较晚,且核心作者之间虽存在一些合作与抱团,如付杰与杨劼、常春光与吴溪,刘娇、吴小竣与李颖,李峰等,但并未形成紧密合作的网络,随着装配式建筑施工安全的研究深入,应当加强学术团队的交流与合作,深化不同成员间的沟通交流。

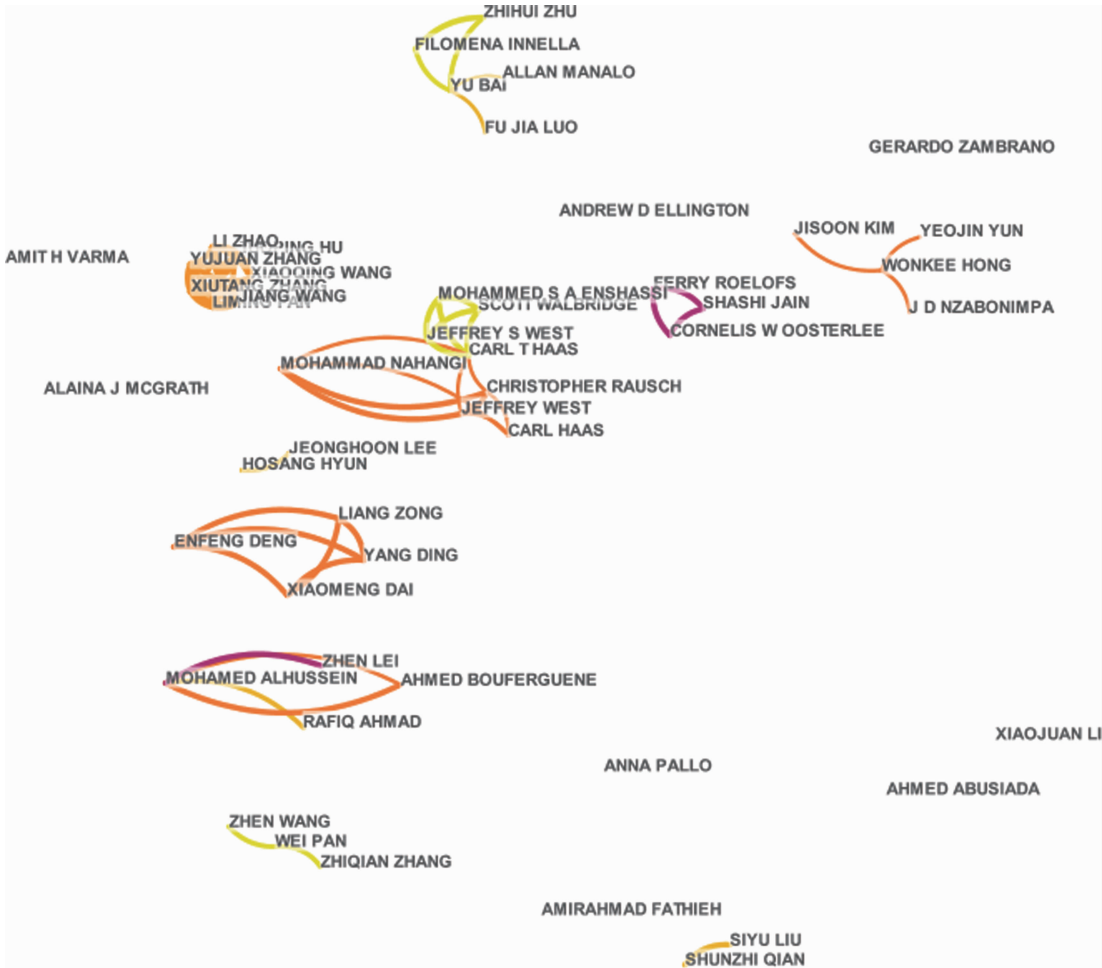


图 6 国外核心作者与共被引文献聚类图谱

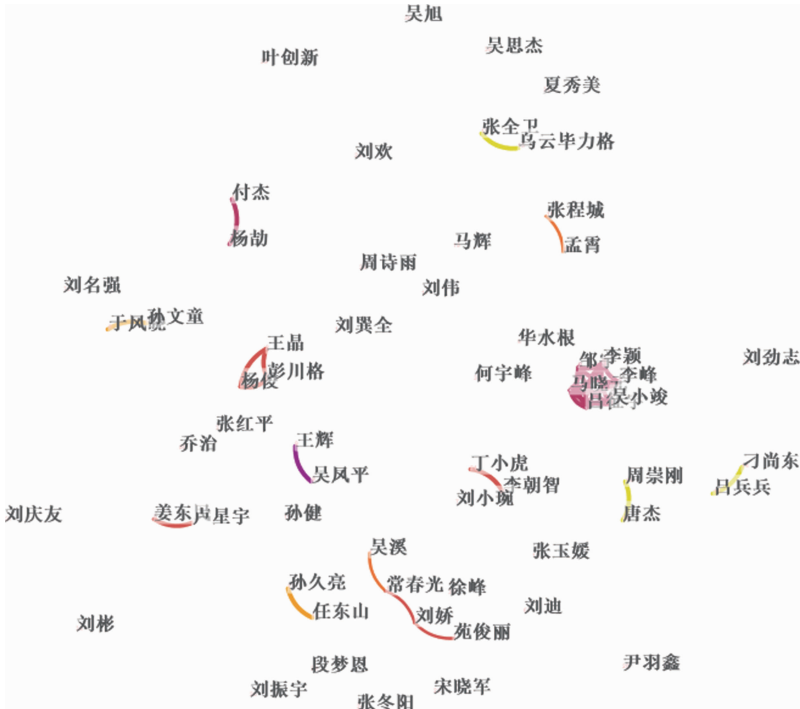


图 7 国内核心作者与共被引文献聚类图谱

3 装配式建筑施工安全的国内外研究趋势对比

使用 CiteSpace 软件绘制装配式建筑施工安全的时区视图以研究该领域国内外的研究发展趋势。时区视图是以装配式建筑施工安全研究的发展脉络为主线,横坐标代表时间区间,各节点表示研究

主题,自下而上的展示该领域的研究趋势与发展脉络。在 CiteSpace 软件中对于国内外文献分别设置时间跨度为 2012—2020 和 2015—2020,时间切片均为 1 年,Node Types 设置为“Keywords”,Prening 选择“Pathfinder”。完成的国外与国内装配式建筑施工安全研究的时区视图如图 8、图 9 所示。

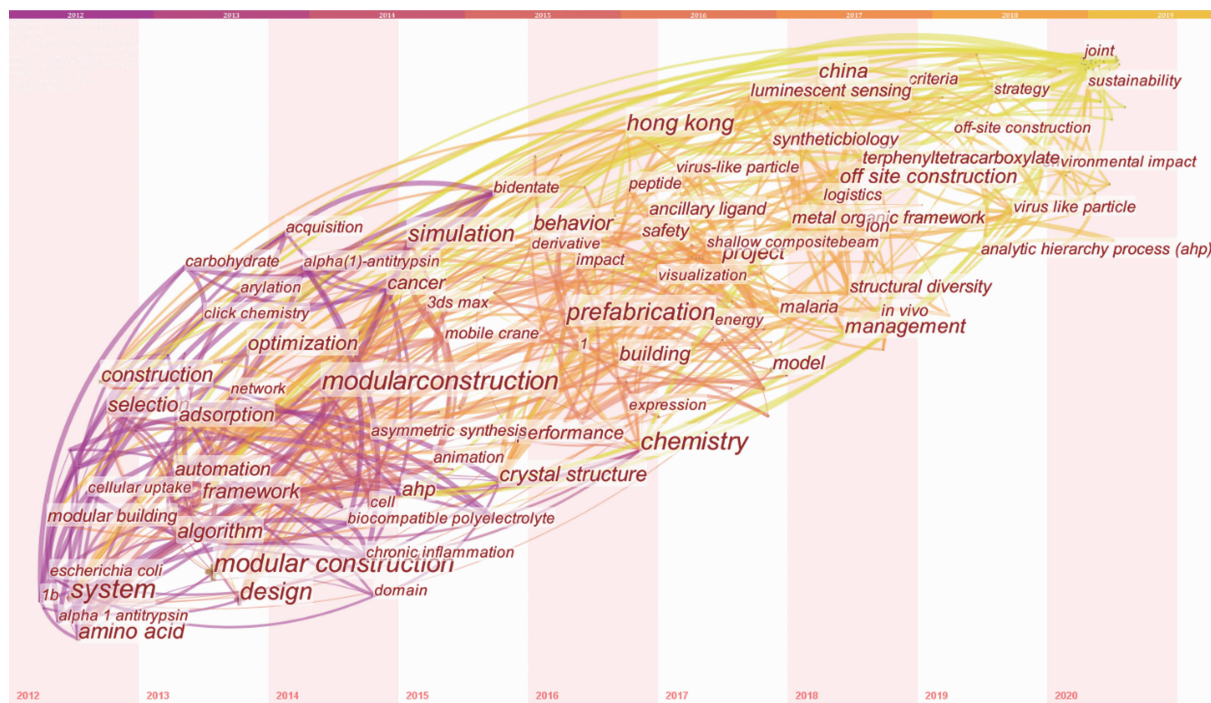


图 8 国外装配式建筑施工安全研究时区图

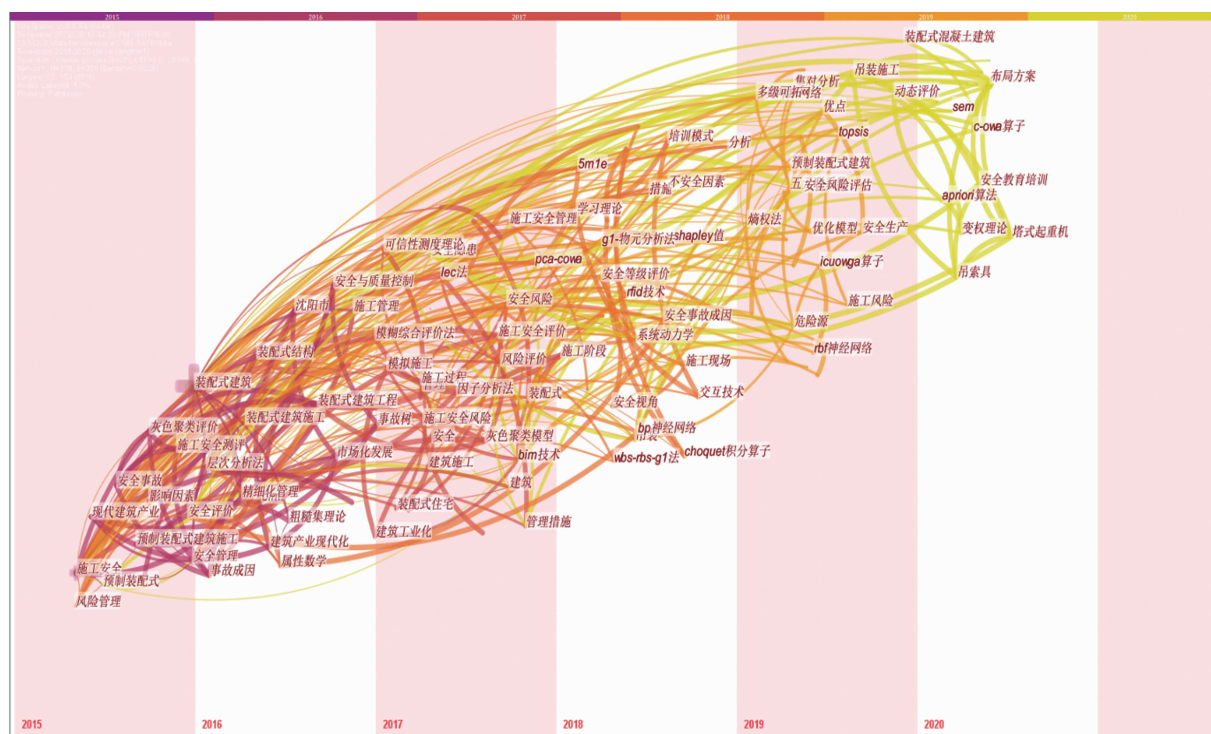


图9 国内装配式建筑施工安全研究时区图

根据图8、图9的装配式建筑施工安全研究时区图可以看出,国内外关于装配式建筑施工安全的研究趋势变化及研究阶段的差异性较大。

装配式建筑施工安全的国外研究方面可以划分为4个阶段。第一阶段为2012—2013年,主要是针对“modular building/construction”“design”“framework”等装配式建筑的结构、框架、设计进行定义和分析,处于基础研究阶段。第二阶段为2014—2016年,研究内容上针对“simulation”“behavior”“performance”进行了扩展,开始使用了“AHP”“3ds max”等研究方法。第三阶段为2017—2018年,装配式建筑施工安全的研究内容进一步扩大,涉及“energy”“model”等方面,且研究范围进一步扩大,新增了“Hong Kong”“China”,说明以中国装配式建筑为核心的相关研究成为国外热点,且上升趋势明显。第四阶段为2019—2020年,“off-site construction”逐渐成为这一时期的研究主题,研究内容方面也更多地针对“criteria”“strategy”等宏观政策方面。

装配式建筑施工安全的国内研究方面,由于起步较晚,可以划分为两个阶段。第一阶段为2015—2017年,这一阶段装配式建筑施工安全研究较为局限,研究内容多是在传统现浇建筑施工安全研究的基础上发展而来的,主要包括“风险管理”“安全与质量控制”“安全测评”,研究方法上集中在“模糊综合评价”“层次分析法”“因子分析法”“粗糙集理论”等建筑领域常用的研究理论,针对装配式建筑施工特点进行的相关研究还较少。第二阶段为2018—2020年,这一阶段国内装配式建筑研究内容主要包括“培训模式”“吊装施工”“安全生产”等具有装配式建筑施工特点的研究,研究方法部分包括“交互技术”“SEM结构方程”“topsis算法”等,针对装配式建筑的施工特点逐渐展开研究,为后续发展奠定了基础。

4 结论

使用知识图谱分析软件CiteSpace基于Web of Science和CNKI数据库对国内外装配式建筑施工安全研究的345篇文献,进行了文献计量与可视化分析,绘制了关键词聚类图谱、核心作者及被引文献聚类图谱、研究热点时区图。对装配式建筑施工安全领域的研究热点、核心作者、关键文献、研究趋势进行了综合分析,研究结果表明,国内外装配式建筑施工安全研究存在较大差异。

1)研究热点部分,根据关键词聚类图谱及词频

统计分析,国内外对于装配式建筑施工领域的“安全风险”的识别、分析和预防均非常重视,且在研究方法上BIM技术的应用频次达29和34次,成为国内外研究装配式建筑施工安全的重要手段。差异部分,根据关键词聚类图谱分析,国外更加关注如何通过发展“场外施工”“物联网技术”“复合材料结构”等高新技术的应用来确保装配式建筑施工安全,而国内更倾向于通过使用“层次分析法”“熵权法”等研究方法理论建立装配式建筑施工安全管理体系。

2)研究作者及引文情况部分,根据核心作者及被引文献图谱分析,国外关于装配式建筑施工安全的研究学者之间已经形成了一定程度上的合作网络,学术研究关系较为紧密。而国内虽存在一些小范围内的学术合作,但并未形成规模,合作网络整体上仍是处于松散状态。

3)研究趋势部分,根据时区图分析,国外在装配式建筑施工安全领域的相关研究起步较早,已有一定程度的积累,且研究内容、研究对象和研究方法三者结合较为紧密,研究范围方面也将中国装配式建筑施工安全纳入研究重点。国内关于装配式建筑施工安全的研究起步较晚,整体上仍是以研究方法和研究理论作为重点,针对装配式建筑施工的特点进行相关研究的文献较少。

参考文献

- [1] 住房和城乡建设部. 关于加快新型建筑工业化发展的若干意见[EB/OL]. 2020-09-07. http://www.mohurd.gov.cn/zxydt/202009/t20200907_247107.html.
- [2] 闫帅平,张杰. 基于ICUOWGA-RBF神经网络的装配式建筑施工安全评价[J]. 安全与环境工程, 2019, 26(3): 121-126.
- [3] MARYAM M F, SEVVED A T, CHARLES J, et al. Safety concerns related to modular/prefabricated building construction[J]. International Journal of Injury Control and Safety Promotion, 2017, 24(1): 14.
- [4] MUHAMMAD S I, MADHAV P N, MARTIN S, et al. Current research trends and application areas of fuzzy and hybrid methods to the risk assessment of construction projects[J]. Advanced Engineering, 2017, 33: 112-131.
- [5] 丛为一, 张守健, 苏义坤. 建设工程领域安全行为管理研究综述[J]. 工程管理年刊, 2019(9): 3-14.
- [6] 蒋元苗. 基于系统动力学的建筑施工危险源控制研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2016.
- [7] MITIHASHI K. Assessment of technological capability in science industry linkage in China by patent database[J]. World Patent Information, 2008, 30(3): 225-232.
- [8] 李玲燕, 赵月溪, 高伯洋. 基于知识图谱的国际和国内装配式建筑文献对比[J]. 土木工程与管理学报, 2020, 37

- (2);50-58.
- [9] LI H B, WANG Y L. Evolutionary game analysis of knowledge sharing in the industrial chain of construction industrialization [C]//International Conference on Construction and Real Estate Management 2019. Banff; ASCE, 2019; 543-553.
- [10] WANG Q P, ZHAO D Z, He L. Contracting emission reduction for supply chains considering market low carbon preference[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 120 (5):72-84.
- [11] ANNAN C D, YOUSSEF M A, NAGGAR M H. Seismic vulnerability assessment of modular steel buildings[J]. Journal of Earthquake Engineering, 2009, 13 (8): 1065-1088.
- [12] ANNAN C D, Youssef M A, El NAGGAR M H. Experimental evaluation of the seismic performance of modular steel-braced frames[J]. Engineering Structures, 2009, 31 (7):1435-1446.
- [13] GOULDING J, NADIM W, PETRIDIS P, et al. Construction industry of site production[J]. Engineering Informatics, 2012, 26(1):103-116.
- [14] RAY Y, ZHONG Y P, JI F, et al. Towards physical internet-enabled prefabricated housing construction in Hong Kong[C]//15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM 2015.
- [15] 杨爽. 装配式建筑施工安全评价体系研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2016.
- [16] 杨斯玲, 黄和平, 刘伟, 等. 基于结构熵权和修正证据理论的装配式建筑施工安全风险评价[J]. 安全与环境工程, 2019, 26(6): 6-21.
- [17] 冯亚娟, 都思竹, 张竞一. 基于 EW-SPA 的装配式建筑施工安全评价及预测[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(5): 85-90.
- [18] 陈伟, 乔治, 熊付刚. 装配式建筑施工安全事故预防 SD-MOP 模型[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(1): 19-24.
- [19] 成虎, 陈群. 工程项目管理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [20] 付杰. 装配式建筑工程施工安全风险评价[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2017.
- [21] 常春光, 颜蕊蕊. 装配式建筑施工安全风险评价及管理措施[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2017(4): 399-403.
- [22] 吴迪迪. 基于 BIM 技术的施工阶段应用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [23] NA L, THOMAS K. Implementation of building information modeling in modular construction: benefits and challenges[J]. Construction Research Congress, 2010: 1136-1145.
- [24] 文林峰. 大力推广装配式建筑必读: 制度政策国内外发展[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [25] LAWSON R, MARK O, RAY G, et al. Application of modular construction in high-rise buildings[J]. Journal of Architectural Engineering, 2012, 18(2): 148-154.
- [26] 元云丽. 基于模糊层次分析法(FAHP)的建设工程项目风险管理研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2013.
- [27] 田容凡. 装配式混凝土结构施工危险源管理及安全管控研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2017.
- [28] 黄亚江, 李卓敏, 张子晨, 等. 基于 CiteSpace 文献计量法的国内装配式建筑研究可视化知识图谱分析[J]. 项目管理技术, 2019, 29(3): 40-47.
- [29] 彭云, 阮鹏. 一种定量评价方法在医学科技论文评价中的应用[J]. 科技管理研究, 2009, 29(5): 183-186.

Comparative the Current Situation and Trend of International and Domestic Prefabricated Building Construction Safety Research Based on CiteSpace

YANG Yan¹, ZHU Lianbo¹, SHI Zhenqun¹, XU Xiaojin¹, HUANG Yilei²

(1. School of Civil Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou Jiangsu 215000, China;

2. South Dakota State University, South Dakota State SSO 202B)

Abstract: In order to systematically and scientifically compare and analyze the research status of international and domestic prefabricated building construction safety, 345 related literatures from Web of Science and CNKI database were measured and visualized by using CiteSpace, and the key words cluster map, the core authors and co-cited literatures cluster map, research time zone map and so on were drawn. The results show that: in recent years, the research literature on the construction safety of prefabricated buildings in China and other countries is on the rise. Through clustering and word frequency analysis, we can see that the research on construction safety of domestic and overseas prefabricated buildings involves “safety management” and “BIM technology”; With regard to research hotspots, foreign scholars focus on the application of “offsite construction”, “composite structure” and “iots”, while domestic scholars establish some safety management systems through the research methods such as “analytic hierarchy process” and “fuzzy comprehensive evaluation”; By analyzing the core authors, it is found that foreign scholars communicate closely and have formed a stable cooperation network, while domestic scholars mainly study independently and have not yet formed a stable research network; With regard to research trends, foreign scholars pay more attention to the combination of prefabricated building safety related theories and engineering practice, while domestic scholars focus on theoretical research, methods and experience summary. Based on the above comparative analysis results, the paper puts forward countermeasures and suggestions to promote the scientific development of prefabricated building construction safety in China. The research results of will provide relevant reference for the research and further development of prefabricated building construction safety in China.

Keywords: prefabricated buildings; construction safety; knowledge map; CiteSpace; contrastive analysis