

国内外建筑工业化研究进展与趋势 ——基于 Cite Space 的可视化分析

马 辉, 董美红, 王炜文, 黄冰倩

(天津城建大学 经济与管理学院, 天津 300384)

摘 要: 分析国内外建筑工业化相关文献的研究热点与发展趋势, 有利于更好地推动建筑工业化的发展。本文以 SCI 数据库和 CNKI 数据库为主要数据来源, 搜集了 2009—2018 年国内外有关建筑工业化的文献, 并运用 Cite Space 文献计量方法对该领域文献的年代数量、作者、机构、研究热点及演进趋势进行知识图谱的绘制和分析。结果表明: 国内外的研究热点大致相同, 但是研究的进度和方向各有不同; 国外研究工作率先进入了管理、优化、信息和安全方面的研究, 而国内呈现出追随国际相关研究热点的趋势。预测未来建筑工业化的发展方向为: BIM、大数据、互联网等信息技术和方法与建筑工业化相结合, 实现设计、建造与运营一体化的协同管理与模式创新。

关键词: 建筑工业化; 引用地图; 文献计量方法; 研究热点; 研究方向

中图分类号: F416.9; TU741 文献标识码: A 文章编号: 2095-0985(2020)01-0043-07

DOI:10.13579/j.cnki.2095-0985.2020.01.006

Research Progress and Trend of Architecture Industrialization at Home and Abroad: Visualization Analysis Based on Cite Space

MA Hui, DONG Mei-hong, WANG Wei-wen, HUANG Bing-qian

(School of Economics and Management, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China)

Abstract: Analyzing the research hotspots and development trends of related literature on building industrialization at home and abroad can contribute to the development of building industrialization. With SCI database and CNKI database as the main data sources, this paper collected domestic and foreign literatures on building industrialization from 2009 to 2018, and used cite space literature measurement method to draw and analyze the knowledge map of the number of years, authors, institutions, research hotspots and evolution trend of literatures in this field. The results show that domestic and international research hotspots are roughly the same, but the research progress and direction are different. The international research takes the lead in management, optimization, information and security, while domestic research shows a trend of following international research hotspots. The predicted direction is that BIM, big data, internet and other information technologies and methods would combine with the construction industrialization to achieve the collaborative management and mode innovation of integrated design, construction and operation.

Key words: building industrialization; reference maps; bibliometric method; research hotspot; research direction

“建筑工业化”是一种通过现代化工厂制造、运输、安装和科学管理的建筑建造方式, 具有标准化、规模效应等的工业化生产特点^[1]。凭借其显

著的优点, 建筑工业化成为国内外建筑领域的发展热点, 近年来得到了国家的大力推广, 同时也受到了学者们的广泛关注, 随之而来的是该领域学

收稿日期: 2019-05-27 修回日期: 2019-09-09

作者简介: 马 辉(1979-), 女, 山西太原人, 博士, 副教授, 研究方向为工程管理与可持续发展(Email: tdmahui@tju.edu.cn)

通讯作者: 董美红(1992-), 女, 山东菏泽人, 硕士研究生, 研究方向为绿色建造、运营管理、工程项目管理(Email: 906704927@qq.com)

基金项目: 天津市科技重大专项与工程(17ZXCXSF00040); 天津市教委社会科学重大项目(2017JWZD26); 天津市高等学校创新团队(TD13-5006)

术研究的蓬勃发展。随着相关文献的增加,越来越多的学者开始探讨工业建筑中被忽视的关键领域,因此有必要了解近年来国内外建筑工业化的发展现状和研究热点,从而找出该领域的发展趋势及发展方向,这将对该领域的理论研究及我国建筑工业化的实践应用起到积极的指引和促进作用。

本文通过“科学知识图谱”的方法,对近年来的研究现状进行客观和定量的审查,从全知视角绘制和识别工业建筑领域研究的热点和趋势,以期工业建筑领域的理论与实践应用提供指导和借鉴。

1 研究方法及数据来源

1.1 研究方法

本文采用定性和定量相结合的方法进行研究,定性分析主要是对文献的相关内容梳理。定量分析是利用 Cite Space 作为研究的分析工具^[2~4],绘制有关关键词、作者、机构、和时序的网络图谱,从而分析建筑工业化领域的研究热点和演进趋势。

1.2 数据来源

本文采用 Web of Science(SCI) 数据库和中国知网(China National Knowledge Infrastructure, CNKI) 数据库作为主要的数据检索平台,检索期刊为核心及以上期刊,检索时间定义为 2009—2018 年(其中 2018 年的数据不全)。考虑到由于国内外文献检索的差异性及数据的有效性,在数据库中剔除了有关生物、物理、化学、医学等不相关领域的文献,在 CNKI 数据库中删除了相关的会议新闻、征稿通知等方面的文献。最终确定了 255 篇外文文献和 347 篇中文文献。数据来源情况见表 1。

表 1 数据来源

数据库	Web of Science 核心合集	CNKI 核心及 以上期刊
检索方式	主题检索	主题检索
检索词汇	Prefabricated construction; Construction industrialization; Housing industrialization; Building industrialization; Modular construction; Prefabricated house construction; Industrialized building system(IBS); Industrialized architecture; off-site construction	装配式建筑; 建筑产业化; 建筑工业化; 住宅产业化; 住宅工业化
检索时间	2009—2018 年	2009—2018 年
文献类别	Article	期刊
检索结果	255	347

2 国内外建筑工业化研究的时空分布特征

2.1 时间分布特征

科学文献的数量反映了科学知识的发展情况,科学文献数量的增长速度则反映了该领域的研究水平及发展速度^[3]。通过分析 2009—2018 年国内外有关建筑工业化研究文献的时间分布,发现建筑工业化领域的研究工作整体呈现上升趋势。根据文献数量增长变化情况,大致可以分为三个阶段:

(1) 2009—2011 年,该阶段的文献数量较少,同时每年的发文数量几乎没有变化。2009 年前后装配式建筑、建筑产业化等概念再一次被提起,但该领域的研究仍未引起学者们的广泛关注。

(2) 2012—2015 年,该阶段的研究态势呈现出震荡上升的趋势,在 2012 年发文量大幅提高,而 2013 年的发文量又有所下降。说明建筑工业化已经开始取得学者们的关注,但仍未形成稳定的研究群体,发文数量难以得到保证。直到 2013 年全国建设工作会议首次提出“促进建筑产业现代化”的发展要求,以建筑业转型升级为目标的发展理念,一些有远见的企业与学者加大了对建筑工业化研究领域的重视,关于建筑产业现代化逐渐增多。

(3) 2016 年至今,该阶段建筑工业化领域的文献呈迅猛增长的趋势,其主要原因在于国家对于环境问题的关切,同时在国家层面出台了許多有关建筑工业化的政策,如:2016 年 9 月颁布的《国务院办公厅关于大力发展装配式建筑的指导意见》;2017 年 2 月颁布的《国务院办公厅关于促进建筑业持续健康发展的意见》,随后各地相继出台了相应的激励政策与法律法规。在国家政策的引导下,建筑工业化引起了广大企业和研究学者们的重视,从而相应的研究迅猛增长。

图 1 为 2009—2018 年 SCI 和 CNKI 中有关建筑工业化研究文献的年代分布。

2.2 空间分布特征

2.2.1 作者分布

研究者是推动学科发展的主体,核心作者是指某学科中发文较多,影响力较大的作者集合,而核心作者群是指那些发文量较多,影响较大的作者集体。核心作者乃至核心作者群的出现可从侧面反映该领域的研究热度与研究成熟度^[5]。通常发展较为成熟的研究领域会出现多个核心作者

如图 4 所示,从高产机构和发文情况看,发文数量较多的为我国建筑专业在全国高校中排名靠前的学校,分别为同济大学、东南大学、重庆大学及沈阳建筑大学,他们形成了国内对建筑工业化领域的主要研究机构。在机构之间用线连接的表明有合作关系,从图中可以看到具有合作关系的机构群有 9 个,其中节点最多并最大的是东南大学和南京工业大学;同时有些机构也和社会团体之间形成了协作关系,这也是近年来我们所倡导的。然而有些节点独立存在,之间没有连线的则说明这些研究机构的活跃程度较低,反映了这些机构具有一定的孤立性,即表明这些机构研究人员之间缺乏知识的沟通与交换,这也是当前建筑工业化领域中发现的一大问题。



图 4 我国建筑工业化领域研究机构合作情况

与国内机构相比,国外机构之间的合作相对紧密和集中,从图 5 中可以看到,其中发文量最多、连接最紧密的群体为 Univ Hong Kong, Chongqing Univ, Shenzhen Univ, Univ Auckland 等组成的群体,这说明国外建筑工业化领域的研究越来越注重国家之间的知识交流,从另一个角度也说明我国建筑工业化发展之快。但在图 5 中,没有观察到涉及建筑工业化的主要知名机构及其之间的合作情况,这反应了这些主要的研究机构具有孤立性,同时机构的研究者之间缺乏一定的知识交流。

3 国内外建筑工业化的研究热点与演进趋势分析

3.1 研究热点分析

关键词代表了所发表文献的核心内容,描述了在该领域的研究范围及作者所表达的核心思想^[8~12]。本文根据文献所研究对象以及研究背景作为划分依据,将文献划分为研究国内建筑工



图 5 国际建筑工业化领域研究机构合作情况

业化相关问题和研究国外建筑工业化相关问题两大类,通过运用 Cite Space 软件分别绘制国内外建筑工业化研究问题的关键词共现网络,并在此基础上进行研究热点的分析。

(1) 国内研究热点

对以国内建筑工业化为研究对象的文献关键词进行词频与相关关系分析,如图 6 所示。根据分析结果可见与装配式建筑相关的关键词有:企业信息化、EPC、建筑产业化、工业化、BIM、设计、施工技术等;与住宅产业化相关的关键词包括:可持续发展、钢结构、施工技术、抗震性能、装配式、保障性住房等;与建筑工业化相关的关键词有:绿色建筑、物联网、抗震性能、预制构件等。通过 Cite Space 热点图从整体上看,除建筑工业化、住宅产业化、工业化建筑等具有相同或相近含义的关键词外,反映研究热点的关键词主要集中在装配式建筑、建筑信息模型、预制构件、抗震性能、钢结构、深化设计及施工技术等方面。

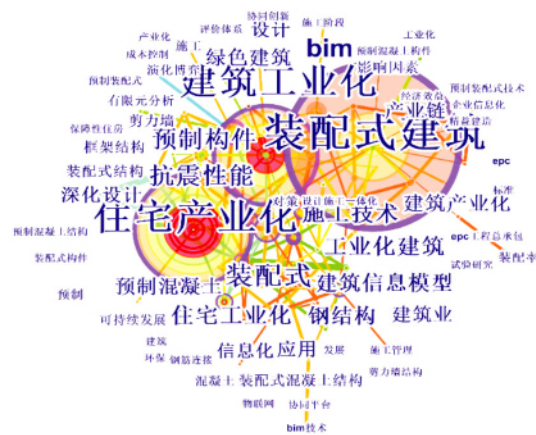


图 6 我国建筑工业化领域的关键词共现图谱

通过对建筑工业化领域关键词出现的频次、中心度以及出现时间等信息进行综合分析(见表 4),发现在该领域的研究初期国内学者们主要以抗震性能、预制构件、施工技术等技术研究为主。后来随着国家对装配式建筑的大力推动,学

者们开始提出将装配式建筑与 BIM、建筑信息模型等现代信息技术联系起来,同时认识到设计工作在装配式建筑中的重要作用,成为近几年新的研究热点,推动着该领域相关研究的不断深入与拓展。

表4 我国建筑工业化领域研究高频词

序号	频次/次	中心度	年份	关键词
1	103	0.38	2014	装配式建筑
2	68	0.37	2009	住宅产业化
3	57	0.17	2012	建筑工业化
4	21	0.21	2012	装配式
5	17	0.14	2012	抗震性能
6	14	0.19	2012	预制构件
7	13	0.04	2016	BIM
8	13	0.1	2013	施工技术
9	12	0.24	2012	住宅工业化
10	12	0.02	2014	绿色建筑
11	9	0.33	2017	建筑信息模型
12	7	0.02	2017	深化设计
13	6	0.07	2017	信息化
14	6	0.16	2016	钢结构
15	6	0.08	2015	建筑产业化

(2) 国外研究热点分析

对以国外建筑工业化为研究对象的文献关键词通过 Cite Space 进行词频与相关关系分析,得到国外建筑工业化的关键词共现网络图谱,如图7所示。该图谱由97个节点和264条连接线组成,体现了国外建筑工业化的主要研究领域。



图7 国际建筑工业化领域的关键词共现图谱

从图7中可以看出,国外对建筑工业化的研究早期主要集中在预制、预制建筑、设计、持续性和性能等方面,现阶段的关注点在预制结构、模块化结构、方法、BIM等方面。

从知识图谱中可以看到有关建筑工业化领域的研究已经拓展到了不同的研究方向,但仔细观察又会发现不管是国内还是国外学者们对建筑工业化的研究主要集中在硬件方面的研究,而对建

筑工业化战略等方面的关注较少。从本质上说,与建筑工业化的硬技术相比,其管理和战略方面的影响要大得多,这也表明在现有的文献中缺少对这些领域的关注,即现有的研究主要集中在建筑工业化的“产品”和“硬件”特性上,而不是在“操作”和“过程”方面。项目管理、资源调度、优化、供应链、安全和项目规划排在网络图的边界,而预制、工业化等在网络的中心位置^[10]。这也在一定程度上说明了国内外建筑工业化研究的方向,但 Hosseini^[10]认为由于知识体系的局限性及脆弱性使得文献计量方法很难去触及到如何促进建筑工业化的可持续发展和融入行业主流所需的未来方向及行业适应性等长期问题。

表5列出了国际建筑工业化领域的研究高频词。

表5 国际建筑工业化领域研究高频词

序号	频次/次	中心度	年份	关键词
1	39	0.21	2009	prefabrication
2	37	0.31	2009	construction
3	34	0.13	2014	hong kong
4	30	0.14	2012	system
5	21	0.05	2015	performance
6	21	0.06	2014	management
7	20	0.23	2012	design
8	19	0.19	2010	industry
9	17	0.07	2012	simulation
10	16	0.15	2013	behavior
11	14	0.1	2009	sustainability
12	12	0.02	2015	project
13	11	0.25	2012	off-site construction
14	9	0.25	2011	construction industry
15	8	0.06	2017	bim

3.2 研究趋势分析

将 Cite Space 中的关键词图谱页面以“Time-zone”的方式打开,得到建筑工业化领域关键词的时序图,如图8所示。时序图是从时间维度展示建筑工业化领域的研究热点及演进趋势。从图8中可以看出,国内的建筑工业化领域近10年的发展大致可以分为理论分析、应用、深化研究三个阶段。

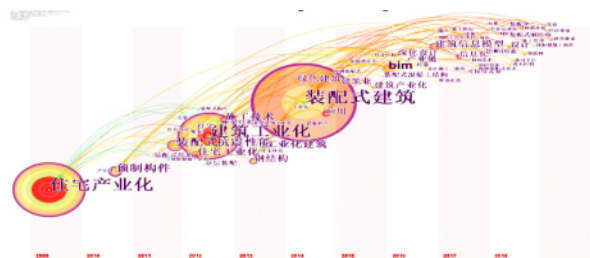


图8 国内建筑工业化领域研究热点词演进

第一阶段为 2009—2011 年,此阶段处在装配式建筑的理论分析时期,由于节约型社会的转型升级,建筑业为了减少劳动力及建筑垃圾的排放,提高建筑效率及品质,建筑业再一次开始了建筑工业化的尝试,随之学术界开展了建筑工业化可行性的理论研究。该阶段发表的高被引文献的主要代表有蒋勤俭、杨嗣信等人。蒋勤俭^[13]总结了国内外装配式混凝土建筑的发展状况,提出了未来中国装配式建筑行业发展的技术路线和思路;杨嗣信^[14]指出我国实现建筑工业化的必要性和紧迫性,并提出了相应的措施以求加快建筑产业化发展;王建廷等^[15]提出以绿色建筑为目标的住宅产业化发展途径。

第二阶段为 2012—2015 年,该阶段学术界主要针对装配式建筑技术、预制结构及应用方面的研究,万科和远大等地产在北京、上海、深圳等城市进行装配式建筑试点工程,经过几年的实践和探索取得了相应的成果。该阶段发表的高被引文献的主要代表有陈建伟、纪颖波等人。陈建伟等^[16]主要从装配式建筑的整体性和抗震性方面考虑,提出了装配式结构的研究方向及研究重点;纪颖波等^[17]论述了 BIM 在建筑工业化中的重要作用;李丽红等^[18]用混合方法分析了装配式建筑 and 传统建筑之间的成本差异,并提出其成本居高不下的原因。

第三阶段为 2016—2018 年,2016 年国务院颁发了《国务院办公厅关于大力发展装配式建筑的指导意见》,积极推广应用装配式建筑。之后两年国家在建筑工业化上的支持力度不断增加,也使得建筑工业化的发展向各个方面拓展^[19]。从图 9 中可以看到,2016 年的关键词主要为深化设计、产业链、BIM;2017 年进一步演进为信息化、建筑信息模型、EPC、可持续发展和协同创新;2018 年研究范围扩展到施工管理、BIM、装配式与物联网及大数据的结合应用、经济效益及评价体系方面。



图9 国际建筑工业化领域研究热点词演进

反观国外的热点研究趋势,如图9所示,2009—2010年为建筑工业化领域的爆发阶段,该时期有关装配式建筑文献量急剧增加,其文献研

究几乎都集中在装配式建筑的创新性及理论研究方面,但也有学者开始关注装配式建筑的可持续性、精益生产和供应链等方向。从高被引文献中发现,Sacks等^[20]在该阶段提出了装配式建筑精益生产的概念,同时提出运用信息技术“KanBIM”建立一个可控的信息交流及工作平台;Chen等^[21-22]确定了基于三重底线和可持续性指标体系,并应用于施工方式决策中;Eriksson^[23]将精益思想引入供应链中并加以验证。2011—2013年,“model”“design”“system”“simulation”等关键词突现,同时“construction management”“behavior”等关键词也相应出现,说明该阶段国外除了更加注重产品性能和可持续性等方面的研究之外,也开始了管理方面的研究。2014—2015年,突现“management”“supply chain”“performance”,在该阶段施工管理、装配式建筑供应链等开始成为了重点研究趋势,可持续性和精益生产也开始被学者们重视,同时开始关注中国建筑工业化的发展情况。其中Bonamente等^[24-25]对装配式建筑全生命周期的能源消耗进行分析;Arashpour等^[26]用仿真方法优化了非现场施工的集成策略和多技能资源的使用;Nenad等^[27]讨论了工业化建筑供应链中的信息流集成问题。2016—2018年,突现“BIM”“implementation”“greenhouse gas emission”“energy efficiency”“off site construction”,如Aban-da等^[29]探讨了BIM对非现场制造的影响,这是国外在建筑工业化领域研究的新方向,结合了现代信息技术,并将装配式建筑的绿色环保纳入研究行列。

通过对国内外建筑工业化的热点演进趋势进行比较分析,发现国外在建筑工业化方面的研究较为进步且成果丰富,而中国研究脚步主要是跟随发达国家。从国内外建筑工业化关键词的演进趋势来看,研究热点已经从建筑工业化建造技术应用切换到以信息技术为基础的现代建造技术的研究中,BIM、深化设计、精益生产、供应链、现代施工技术 etc 研究热点皆体现出设计、供应链、物流与施工等多环节的集成,而以 BIM 技术为代表的现代信息技术成为集成的关键。由此可以预测,建筑工业化未来几年的研究方向可能会集中在 BIM 集成、大数据分析等信息技术与装配式建筑设计、预制构件生产、施工等过程的深度融合,同时,在建筑工业化发展过程中,新技术、新工艺与新模式也给传统的施工项目管理技术带来了巨大的挑战,结合信息技术的施工项目管理、可持续协同创新等方面的研究也将受到更多学者的关注。

4 结 语

本文运用 Cite Space 软件对 2009—2018 年建筑工业化领域的国内外文献进行可视化对比分析,绘制了国内外建筑工业化领域的知识图谱,并从时空视角和热点趋势视角进行分析,主要结论如下:

(1) 从文献数量的年代分布来看,国内外的文献分布趋势大致相等,并且从 2013 年呈现出迅猛增长的趋势,这说明从 2013 年开始在建筑工业化领域的研究已经成为国内外的研究热点,且我国近几年的发文量增长明显。

(2) 从研究作者情况来看,核心作者以高校老师为主。从作者的合作情况来看,不管是国内还是国外都表现为群体内合作频繁,但群体间的合作少见的特点。

(3) 从研究机构来看,国外机构之间的合作较为紧密和集中,国内还没有形成具有国际影响力的研究机构,且机构间合作较为分散,因此我国应该加强各高校与国际相关研究机构之间的合作,以提高我国在建筑工业化领域的研究深度。

(4) 从研究热点来看,国际建筑工业化领域的高频关键词之间的联系比较紧密,形成了较多交叉研究领域,相关文献持续关注对基本理论的深入探讨和研究,同时侧重应用功能、信息技术、项目管理、可持续建设等方面的探讨。而国内现阶段的研究热点还主要局限于施工技术、抗震性能、BIM 等技术研究,表现为对国际研究热点的追随。

(5) 从研究趋势来看,建筑工业化的研究经历了理论探讨、技术应用以及系统集成等阶段。未来,大数据、BIM 等信息技术与建筑工业化的进一步融合,将逐渐成为新的研究方向,同时伴随着建筑工业化的不断发展与创新而不断涌现的相关管理与安全问题,也将受到学者们的更多关注。

针对以上研究结论,本文提出以下建议:首先,不论是学术界还是企业都应密切关注国外的发展状况及研究动向,并加强信息管理及集成应用研究;再者,应形成以企业为主体,以政策为导向的行业发展,加强管理和技术创新,逐步实现建筑工业化向信息、集成、协同、多角度等方面发展。由于本文数据主要来源于 Web of Science 数据库和 CNKI 数据库,无法完全覆盖建筑工业化领域的相关研究,因此可能会存在一定的遗漏;另外在研究热点和研究趋势方面仅选取相应有代表性的

关键词进行分析,具有一定的局限性。这些将在今后的研究中继续完善,提高研究的客观性。

参 考 文 献

- [1] 韩言虎,罗福周. 产业链整合对建筑工业化协同创新绩效的影响研究[J]. 工业技术经济, 2017, (3): 28-35.
- [2] 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, 2014, 57(3): 359-377.
- [3] 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.
- [4] Zhuang Y, Liu X, Nguyen T, et al. Global remote sensing research trends during 1991—2010: a bibliometric analysis [J]. Scientometrics, 2013, 96: 203-219.
- [5] 刘国兵,常芳玲. 基于 CiteSpace 的国内语料库翻译学研究知识图谱分析[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2018, 46(6): 111-120.
- [6] 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.
- [7] 肖黎明,肖沁霖. 国内外绿色创新研究进展与热点——基于 CiteSpace 的可视化分析[J]. 资源开发与市场, 2018, 34(9): 1212-1220.
- [8] 叶楠,张潇. 基于 Cite Space 的国内可持续消费研究知识图谱分析[J]. 南京工业大学学报(社会科学版), 2018, 17(5): 87-96.
- [9] 赵蓉英,许丽敏. 文献计量学发展演进与研究前沿的知识图谱探析[J]. 中国图书馆学报, 2010, 36(189): 60-68.
- [10] Hosseini M R, Martek I, Zavadskas E K, et al. Critical evaluation of off-site construction research: a Scientometric analysis [J]. Automation in Construction, 2018, 87: 235-247.
- [11] Yalcinkaya M, Singh V. Patterns and trends in building information modeling (BIM) research: a latent semantic analysis [J]. Automation in Construction, 2015, 59: 68-80.
- [12] Li Z, Shen G Q, Xue X. Critical review of the research on the management of prefabricated construction [J]. Habitat International, 2014, 43: 240-249.
- [13] 蒋勤俭. 国内外装配式混凝土建筑发展综述[J]. 建筑技术, 2010, 41(12): 1074-1077.
- [14] 杨嗣信. 关于建筑工业化问题的探讨[J]. 施工技术, 2011, 40(347): 1-3.
- [15] 王建廷,李迎迎. 我国住宅产业化绿色发展路径研究[J]. 科技进步与对策, 2010, 27(19): 12-15.

(下转第 56 页)

- [24] 韩庆兰, 闵雨薇. 环境不确定性、管理者过度自信与研发投入[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2018, 24(6): 132-139.
- [25] 梁洪松. 基于企业生命周期的组织创新动因作用机理研究[M]. 北京: 中国商务出版社, 2011.
- [26] 李明强. 通向全面风险管理之路: 风险管理理论与实践感悟[M]. 北京: 中国金融出版社, 2014.
- [27] 闫存岩. 风险管理基础知识[M]. 北京: 经济管理出版社, 2018.
- [28] 陈国辉, 孙莉儒, 孙 剑. 环境不确定性、高管权力与权益资本成本[J]. 财经问题研究, 2017, (6): 79-85.
- [29] 何郁冰, 陈 劲. 技术多元化战略与企业竞争优势关系研究述评[J]. 科研管理, 2013, 34(5): 10-20.
- [30] 肖振红, 李 妍. 隐性知识对企业竞争优势作用机理的实证研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2014, 35(2): 256-260.
- [31] 许 炳, 朱海龙. 我国建筑产业集中度现状及影响因素分析——基于进入壁垒视角[J]. 建筑经济, 2015, 36(2): 5-9.
- [32] 刘贵文, 贺 玲, 周 滔. 中国城市房地产市场发展潜力评价——基于时序多指标综合评价方法[J]. 科技进步与对策, 2010, 27(19): 153-157.
- [33] Kim Hongbum, Lee Daeho, Hwang Junseok. Measuring the efficiency of standardisation policy using meta-frontier analysis: a case of mobile platform standardization[J]. International Journal of Mobile Communications, 2016, 14(1): 79-98.
- [34] 潘东华, 孙 晨. 产业技术创新战略联盟创新绩效评价[J]. 科研管理, 2013, 34(s1): 296-301.
- [35] 吴瑞林. 结构方程模型中估计收敛问题的 Monte Carlo 仿真[J]. 统计与决策, 2010, (6): 32-34.
- [36] Bentler P M. Comparative fit indexes in structural models[J]. Psychological Bulletin, 1990, 107(2): 238-246.

+++++

(上接第 49 页)

- [16] 陈建伟, 苏幼坡. 预制装配式剪力墙结构及其连接技术[J]. 世界地震工程, 2013, 29(1): 38-48.
- [17] 纪颖波, 周晓茗, 李晓桐. BIM 技术在新型建筑工业化中的应用[J]. 建筑经济, 2013, (8): 14-16.
- [18] 李丽红, 耿博慧, 齐宝库, 等. 装配式建筑工程与现浇建筑工程成本对比与实证研究[J]. 建筑经济, 2013, (9): 102-105.
- [19] 张守峰. 设计施工一体化是装配式建筑发展的必然趋势[J]. 施工技术, 2016, 45(16): 1-5.
- [20] Sacks R, Radosavljevic M, Barak R. Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction[J]. Automation in Construction, 2010, 19: 641-655.
- [21] Chen Y, Okudan G E, Riley D R. Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings[J]. Automation in Construction, 2010, 19: 235-244.
- [22] Oliveira L A, Burattino Melhado S, Vittorino F. Selection of building technology based on sustainability requirements-Brazilian context[J]. Architectural Engineering and Design Management, 2015, 11(5): 390-404.
- [23] Eriksson P E. Improving construction supply chain collaboration and performance: a lean construction pilot project[J]. Supply Chain Management: an International Journal, 2010, 15(5): 394-403.
- [24] Bonamente E, Merico M C, Rinaldi S, et al. Environmental impact of industrial prefabricated buildings: carbon and energy footprint analysis based on an LCA approach[J]. Energy Procedia, 2014, 61: 2841-2844.
- [25] Hong J, Shen G Q, Mao C, et al. Life-cycle energy analysis of prefabricated building components: an input-output-based hybrid model[J]. Journal of cleaner production, 2016, 112: 2198-2207.
- [26] Arashpour M, Wakefield R, Blismas N, et al. Optimization of process integration and multi-skilled resource utilization in off-site construction[J]. Automation in Construction, 2015, 50: 72-80.
- [27] Čuš-Babič N, Rebolj D, Nekrep-Perc M, et al. Supply-chain transparency within industrialized construction projects[J]. Computers in Industry, 2014, 65: 345-353.
- [28] Abanda F H, Tah J H M, Cheung F K T. BIM in off-site manufacturing for buildings[J]. Journal of Building Engineering, 2017, 14: 89-102.