

基于专利分析的智能建造技术发展态势研究

吴泽洲^{1,2,3}, 刘晓泛^{1,2,3}, 邓凯文^{1,2,3}, 何秋凤^{1,2,3*}, 张佳盛⁴

¹滨海城市韧性基础设施教育部重点实验室(深圳大学) 广东深圳

²深圳市地铁地下车站绿色高效智能建造重点实验室 广东深圳

³深圳大学中澳 BIM 与智慧建造联合研究中心 广东深圳

⁴中建四局第五建筑工程有限公司 广东深圳

【摘要】厘清我国智能建造技术发展态势,对推动工程建设全要素转型升级具有重要意义。本研究基于专利分析,利用 IPC 结合主题检索的方法进行 2010-2021 年的专利采集,以构建 LDA 主题模型、主题强度及状态演化、共现网络分析的思路深入剖析智能建造技术发展态势。结果表明,我国智能建造技术涵盖六大核心主题,发展趋势向好,但主题间相关性亟待增强。研究成果可为相关企业提供创新发展方向,为政府聚焦智能建造技术热点主题进行资源合理调配和制定促进中国智能建造技术高质量发展的战略提供了参考依据。

【关键词】智能建造;技术创新;专利分析;LDA 模型

【基金项目】国家自然科学基金面上项目(No. 72371171);国家自然科学基金青年项目(No. 72001148);深圳大学深圳市地铁地下车站绿色高效智能建造重点实验室开放基金项目研究项目(ZDSYS202009231052 00001)

【收稿日期】2023 年 9 月 25 日 **【出刊日期】**2023 年 10 月 25 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20231001

Research on the development trend of intelligent construction technology based on patent analysis

Zezhou Wu^{1,2,3}, Xiaofan Liu^{1,2,3}, Kaiwen Deng^{1,2,3}, Qiufeng He^{1,2,3*}, Jiasheng Zhang⁴

¹Key Laboratory for Resilient Infrastructures of Coastal Cities, Ministry of Education (Shenzhen University), Shenzhen, Guangdong

²Key Laboratory of Green, Efficient and Intelligent Construction of Shenzhen Metro Underground Station, Shenzhen, Guangdong

³Sino-Australia Joint Research Center in BIM and Smart Construction, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong

⁴China State Construction & Engineering 4th Bureau 5th Corp Limited, Shenzhen, Guangdong

【Abstract】 Clarifying the development trend of intelligent construction technology in China is of great significance in promoting the transformation and upgrading of all elements of engineering construction. This study is based on patent analysis, using IPC combined with the method of theme search for patent collection from 2010 to 2021, and deeply analyzing the development trend of intelligent construction technology with the ideas of constructing LDA theme model, theme intensity and state evolution, and co-occurrence network analysis. The results show that China's intelligent construction technology covers six core themes, and the development trend is favorable, but the correlation between themes needs to be enhanced. The results of the research can provide an innovative development direction for related enterprises, a reference basis for the government to focus on the hot topics of intelligent construction technology, rationalize the deployment of resources and formulate a strategy to promote the high-quality development of China's intelligent construction technology.

【Keywords】 Intelligent construction; Technological innovation; Patent analysis; LDA model

作者简介: 吴泽洲(1988-), 副教授, 主要研究方向: 建筑可持续管理, 智能建造; 刘晓泛(2000-), 在读硕士研究生, 主要研究方向: 智能建造; 邓凯文(1998-), 硕士, 主要研究方向: 智能建造, 双碳管理; 张佳盛(1989-), 高级工程师, 主要研究方向: 智能建造; *通讯作者: 何秋凤(1997-), 在读博士研究生, 主要研究方向: 智能建造, 双碳管理。

引言

建筑业作为基础产业,为我国经济建设做出了巨大贡献,但同时也存在诸多问题,如信息化程度仍较低,环境污染严重,缺乏专业人才支持^[1]等,这些问题已严重制约建筑业转型升级。新一代数字技术为工程建造提供数字化、网络化和智能化的机遇,深度融合建造技术与现代信息技术,实现并行式跨越发展^[2],这将成为建筑业长期以来发展的重要方向,同时也是政策布局的焦点。

2022年,我国住房和城乡建设部在《“十四五”建筑业发展规划》中指出要我国建筑业应大力发展智能建造,并在两会期间通过多个智能建造技术相关提案。智能建造是指基于智能科学技术的新型建造模式,以土木工程建造技术为基础,融合 BIM、GIS 等智能技术^[3]。具体表现形式为智能化管理信息系统,通过虚拟建造与实物建设,对建筑物及建造过程进行感应、分析与控制,实现建筑业自动化与智能化,提高建造过程的效率和质量^[4]。

研究表明,智能建造技术对工程建造的生产要素与生产关系升级、全产业链数据流动与信息集成、复杂环境变化适应和建筑业可持续发展有正向驱动作用。厘清目前我国智能建造技术体系,识别技术关键突破点,对促进我国工程建造全要素转型升级具有重要意义^[5]。但目前与智能建造技术发展态势及创新环境相关研究较少。

在智能建造快速发展的同时,技术创新也不断涌现,专利作为衡量技术创新程度的指标,有助于剖析智能建造技术发展态势。本研究以专利数据为基础,利用 LDA 主题模型,迭代输出智能建造技术专利申请核心主题。运用社会网络分析法,研究各主题关联情况,揭示智能建造技术发展态势,从而为制定提升我国智能建造技术发展策略提供支撑。

1 数据与方法

1.1 数据来源及处理

本研究以 Incopat 专利数据库作为数据检索平台。由于发明专利申请短期内可进行公开,具有及时性^[6],因此本研究采取 IPC 结合主题检索的方式,检索时间为 2010-2021 年的申请专利。根据相关指导意见,检索关键词包含建筑信息模型、大数据、云计算等相近的表述,同时结合传统工程词汇如建筑、施工、装配式等。通过人工剔除,得到符合需

求的 9381 条专利数据。

1.2 研究方法

根据专利信息的特点,当前与专利分析相关的方法可分为点、线、面与立体四个层次,如简单统计分析、专利申请时间序列分析、专利聚类分析等^[7],这些专利分析方法常用于研究专利在时空、主题等多维度的相关性。

本研究选取智能建造技术专利申请量为研究对象,进行主题分析和网络分析两大方面的研究。首先,在主题文本挖掘部分,基于大量的智能建造技术专利文本,通过特征提取、LDA 主题聚类挖掘主题信息,获取各主题内部结构,主题是文章的核心,再进一步通过主题强度分析,明晰各主题发展趋势及所处状态。其次,在社会网络分析部分,绘制关键词共现网络,以揭示主题间关系;从专利互引角度出发,寻找智能建造技术空白点,探究技术创新路径。

2 基于 LDA 的技术主题分析

2.1 主题建模

本研究通过阅读大量文献与政策文件,总结智能建造领域专业术语并组成自定义词典,利用 Python 进行数据清洗。再构建 LDA 主题模型进行文本挖掘,旨在揭示智能建造技术专利申请的核心主题,如图 1 所示。其中各参数如下表 1 所示。

经上述处理,本研究利用困惑度指标确定主题数量,拟定在区间内获取最优主题数,最终得到的困惑度值如图 2 所示。结果显示指标呈现波动下降并趋于平稳。在困惑度指标随着主题数量持续下降的情况下,常选取局部极小值点所对应的主题数作为最优主题数^[8]。

在保证模型覆盖的主题具有差异性的前提下,本研究拟选取 K=6 作为 LDA 主题模型的最优主题数量。设定模型参数 K=6,经过 LDA 模型迭代,根据主题相对于文档的概率分布进行文档聚类^[9]。通过 pyLDAvis 输出可视化主题图,如图 3 所示。左侧为主题,右侧则为与选中主题相对应的 30 个特征词及其占比。相应地,对六大主题及对应的特征词进行汇总,如表 2 所示,并确定各主题的含义以及名称^[10]。

2.2 主题演化

主题演化包含主题强度、主题状态和主题相似

度^[11], 本研究将围绕主题强度及主题状态展开分析。

(1) 主题强度演化

为深入了解 LDA 算法确定的六大智能建造技术主题在 2010-2021 年的强度变化, 本研究通过计算文档数百分比表示主题强度^[12], 公式如下所示:

$$ST_{data,T}(k) = \frac{doc_k}{\sum_{i=0}^n doc_i} \quad (1)$$

式中, doc_k 为时间 T 时各主题专利文档个数; $\sum_{i=0}^n doc_i$ 为 2010-2021 年六大主题专利文档总数。

从图 4 中可以发现, 2014 年之前, 各主题占比波动较大, 行业处于技术探索阶段, 大方向为“施工智能化管理”; “建筑工业化”在 2014 年出现大幅增长, 得益于中建八局大力发展与建筑工业化主题相关的装配式建筑技术, 进行技术创新并申请专利; 同年, 我国提出了“BIM 应用推广计划”。此后, 各主题占比趋于稳定, “BIM”主题的专利申请数量占比最高, 成为创新热点, 其次是“施工智能化管理”, “建筑机器人”, “建筑工业化”、“智能测量”与“智能监测运维”占比处于后三位。

(2) 主题状态演化

专利主题在生命演化周期的状态分为新生、成长、收缩和消亡四种状态^[13]且状态并非固定不变的。本研究利用密度指标与向心度指标衡量主题的内外特征^[14], 以此确定主题状态, 指标计算公式如下:

$$DI_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F(t_i \rightarrow t_j) (i \neq j) \quad (2)$$

$$CI_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F(t_i \rightarrow t_E) \quad (3)$$

式中, T 表示某主题, t_i 和 t_j 为主题内特征词; $F(t_i \rightarrow t_j)$ 为主题内特征词共现次数; DI_T 为主题内特征词共现次数均值; t_E 为非主题内的特征词; $F(t_i \rightarrow t_E)$ 为主题内外特征词共现次数; CI_T 为主题内外特征词共现次数均值。

密度指标衡量主题内特征词之间联系的紧密程度, 密度值越高, 该主题越成熟。向心度指标则衡量主题间相关程度, 相关程度越高, 主题在该领域重要性越大。本研究以 x 轴为向心度指标 CI, y 轴为密度 DI, 选取各项均值为原点并构建二维图, 将四种专利主题演化状态映射其上, 如图 5。

根据 2010-2021 年专利申请数量进行智能建造技术生命周期的划分, 并深入研究六大主题在导入期、成长期和成熟期三个时间段所处演化状态, 结

果如图 6 所示。

从主题演化角度看, 在导入期, 部分主题处于新生状态, 潜力较大, “BIM”、“智能测量”等处于向热点主题过渡的阶段; 在成长期, 六大主题的成熟度较高, 但“智能监测运维”等主题发展相对孤立; 在成熟期, 大部分主题处于快速发展的状态, 智能建造发展趋势向好。

从具体主题角度看, “BIM”在三个时期的密度与向心度值均最大, 说明它在智能建造领域处于核心技术的地位。而“建筑机器人”主题的两大指标值都偏低, 目前我国建筑机器人较少且存在诸多技术与成本难题, 并且相关专业在 2018 年才开始在各高校开设。

3 智能建造技术网络分析

3.1 关键词共现网络分析

为深入研究智能建造技术六大主题的关系, 本研究构建关键词共现矩阵, 并从中获取两两关系, 最后绘制出关键词共现网络图, 详见图 7。

从图中可以明显看出, 关键词被分成了六大部分且每部分关键词联系紧密。中心部分为六大主题内容交叉处, 关键词节点越大说明其权重越大, 在共现网络中起基础且重要的作用, 如“技术”、“建筑”、“信息”、“系统”与“数据”等均是智能建造技术基础。相邻主题之间存在关键词节点团, 节点团对两大部分起支撑作用, 如图下方有“设备”、“定位”、“移动”、“平台”和“智能”关键词组成的节点团, 该节点团既是左侧“施工智能化管理”不可或缺的一部分, 又促进右侧“智能监测运维”的发展。

通过关键词共现网络图可以清晰看出智能建造技术的基础及各主题间详细关系, 从而把握智能建造行业发展方向。

3.2 专利互引网络分析

新专利通常需借鉴或引用前人优秀的专利成果并进行创新, 专利信息包含施引专利与被引专利两方面信息。通过研究智能建造技术专利申请的互引情况, 可定位到核心专利并分析技术创新路径。本研究将专利申请作为节点, 利用有向的边表示专利间互引关系, 引入时间戳得到图 8 的引文网络。其中, 点大小表示施引与被引的总量, 点颜色的深浅表示被引次数。

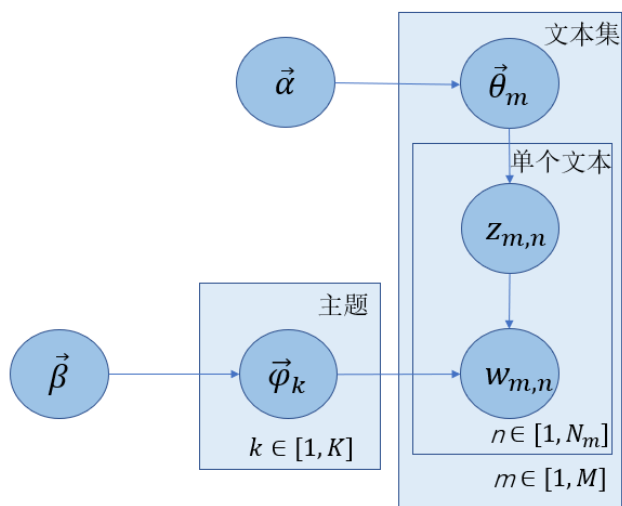


图 1 LDA 模型图

表 1 模型参数

参数	参数描述
M	文档数量
K	主题数量
N	特征数量
N_m	第 m 个文档中特征词总数
$\vec{\alpha}$	“文档-主题”分布的超参数
$\vec{\beta}$	“主题-特征词”分布的超参数
$\vec{\theta}_m$	文档 m 的主题分布参数
$\vec{\varphi}_k$	主题 k 的特征词分布参数
$z_{m,n}$	文档 m 中第 n 个特征词所属主题
$w_{m,n}$	文档 m 中第 n 个字

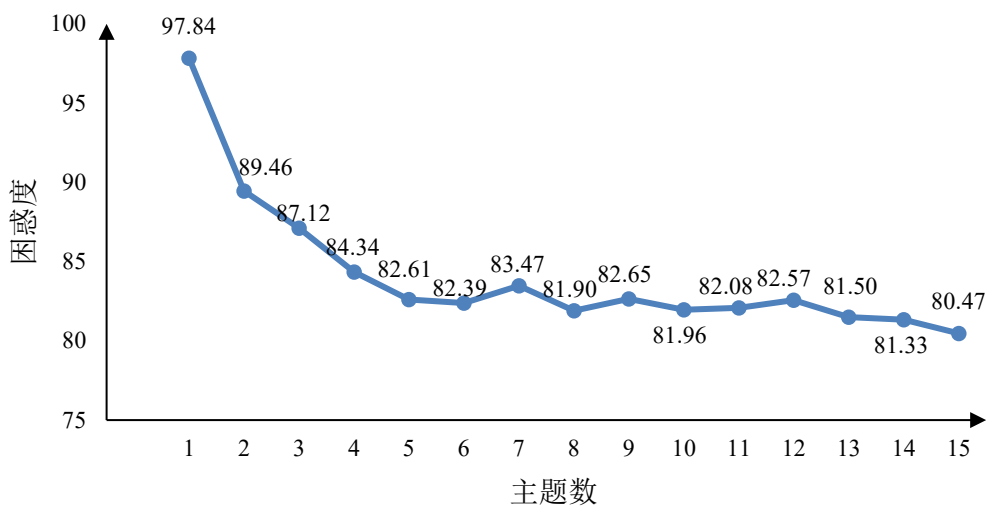


图 2 困惑度-主题数折线图

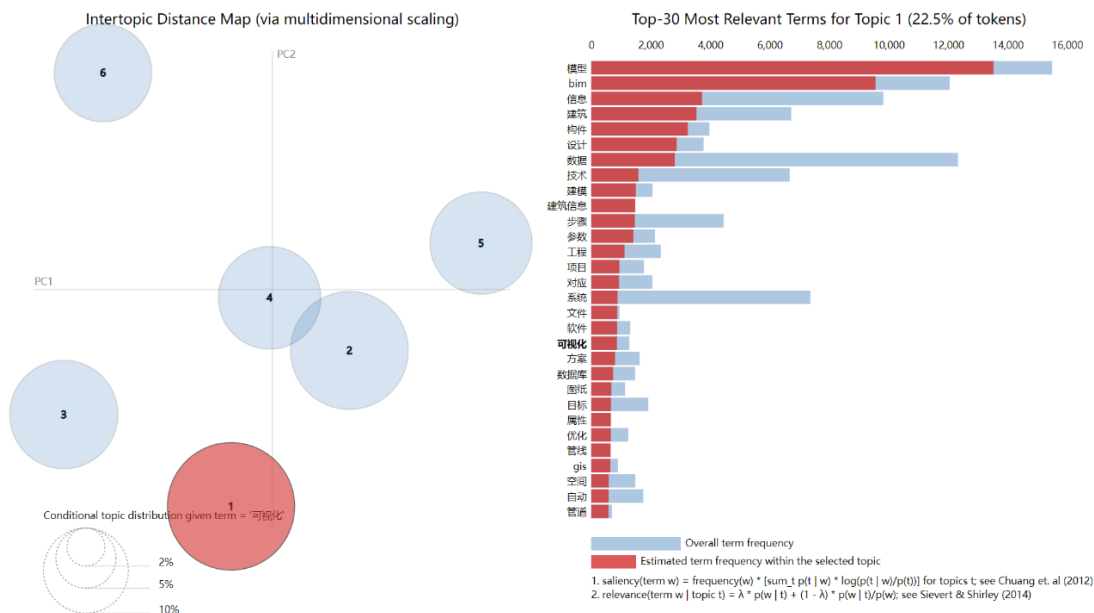


图3 Topic1 主题特征词及占比

表2 智能建造技术六大主题及其特征词

主题序	主要特征词	主题名称
Topic1	模型 bim 信息 建筑 构件 设计 数据 技术 建模 建筑信息 步骤 参数 工程 项目 对应 系统 文件 软件 可视化 方案 数据库 图纸 目标 属性 优化 管线 gis 空间	BIM
Topic2	信息 系统 管理 数据 设备 平台 监控 施工 终端 技术 人员 物联网 用户 智能 区块链 服务器 建筑 管理系统 节点 现场 项目 工程 定位 vr 施工现场 移动 网络	施工智能化管理
Topic3	施工 bim 技术 混凝土 步骤 钢筋 结构 现场 材料 3d 打印 质量 模板 过程 模型 墙体 设计 构件 加工 生产 钢结构 问题 施工进度 装配式建筑 方案 制作 吊装 装配式	建筑工业化
Topic4	数据 点云 建筑物 无人机 图像 检测 区域 测量 模型 步骤 目标 房屋 建筑 特征 信息 桥梁 激光 影像 平面 空间 技术 路径 对应 分析 距离 轮廓 算法 道路 精度	智能测量
Topic5	模块 隧道 监测 数据 单元 系统 桥梁 分析 检测 传感器 信号 结构 大数据 信息 预警 评估 技术 状态 风险 预测 断面 传输 智能 病害 监控 盾构 环境 地铁 变形 评价	智能监测运维
Topic6	装置 机器人 机构 检测 移动 组件 驱动 建筑 轨道 作业 设备 定位 本体 电机 施工 调节 技术 自动 结构 机械 工作 平台 表面 系统 传感器 方向 底座 智能 控制器	建筑机器人

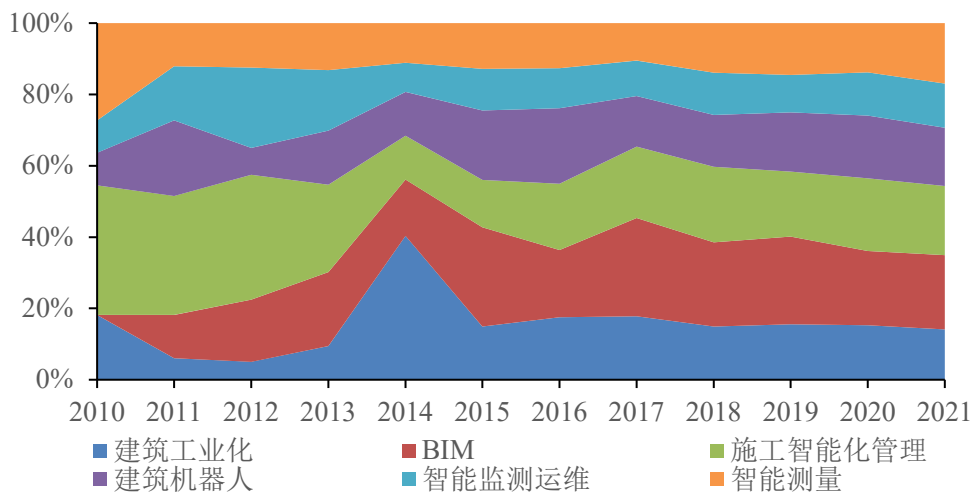


图4 基于文档数百分比的六大主题演化趋势

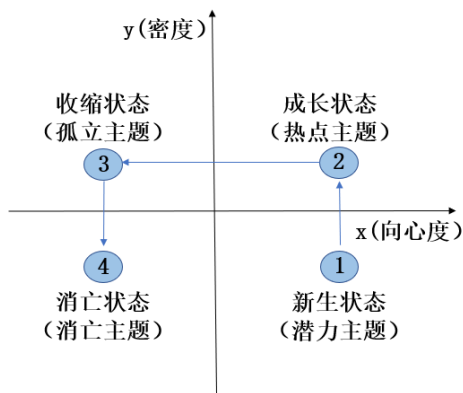


图 5 主题演化状态二维图

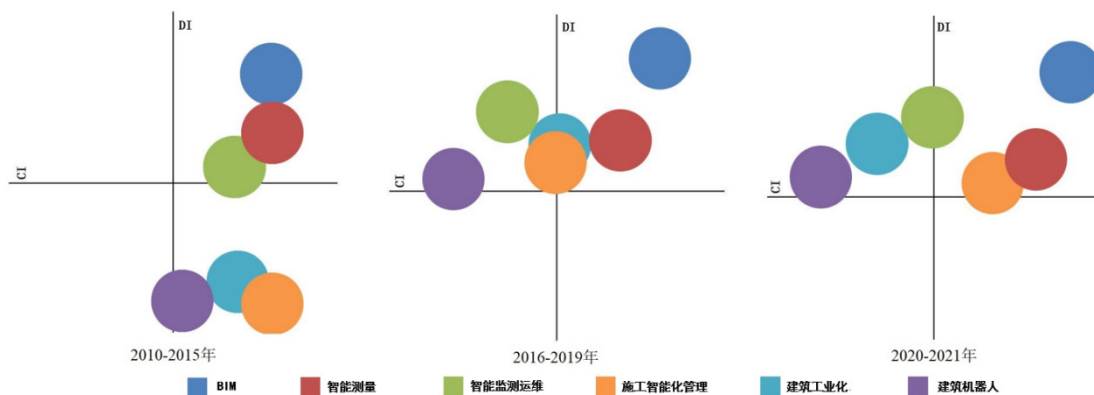


图 6 智能建造技术六大主题演化状态

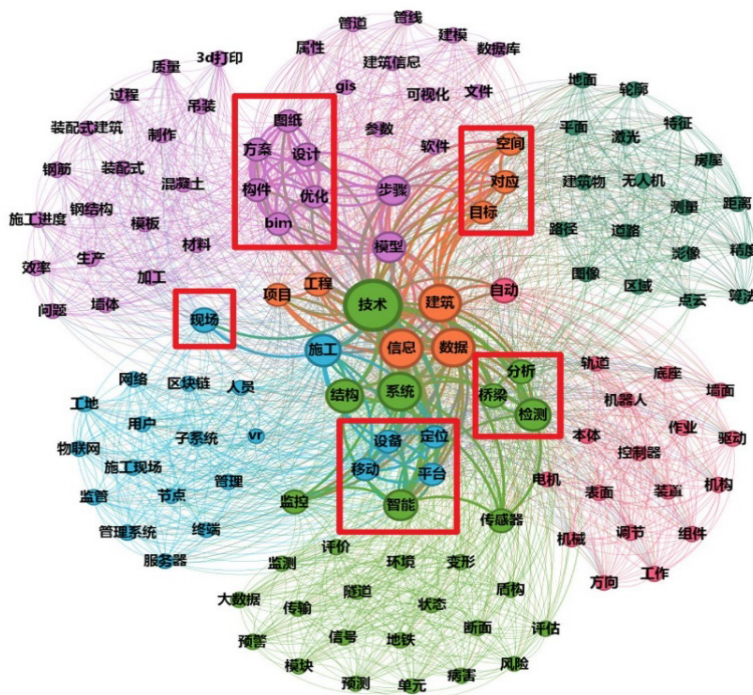


图 7 六大主题关键词共现网络图

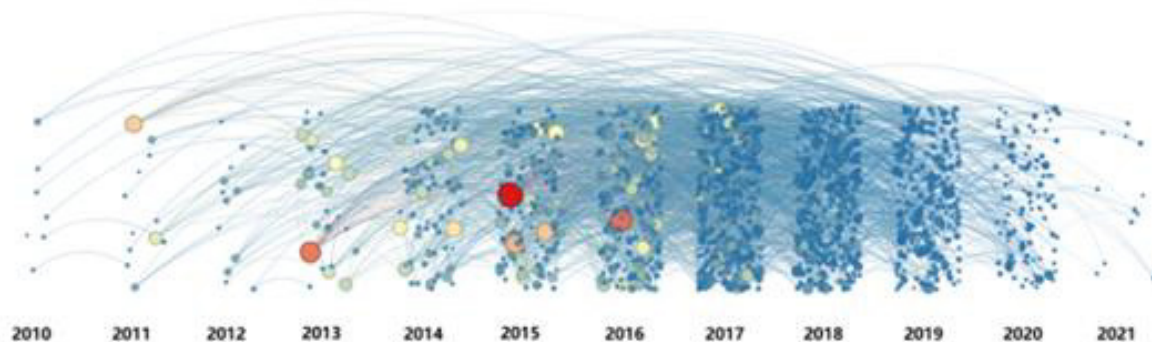


图 8 2010-2021 年智能建造技术专利互引网络

从图中可看出,专利申请大多集中在 2013-2020 年,同时这也是专利互引最密集的时期。2013-2016 年期间存在多个高被引核心专利,是智能建造行业高速发展的阶段,为后续专利申请提供借鉴思路。本研究提取出影响力较大的专利,如“基于 BIM 和大数据的装配式建筑深化设计及施工方法”^[15],主题组成为“0.48 建筑工业化+0.20BIM+0.31 施工智能化管理+0.003 建筑机器人+0.003 智能监测运维+0.003 智能测量”。影响力较大的专利大多与“BIM”相关且基于地铁隧道等大型基建项目进行申请,原因之一是处于我国基建项目快速发展的阶段,另一个是智能建造技术应用所需成本过高,需依托于大型项目。

4 总结和建议

基于 2010-2021 年的智能建造技术专利申请数据,进行智能建造技术发展态势研究。通过计量分析,表明智能建造专利申请规模不断扩大且逐渐稳定。采用文本挖掘法,将智能建造技术划分为 BIM、建筑工业化、建筑机器人、施工智能化管理、智能测量、智能监测运维六大主题。2014 年是智能建造技术的发展节点,在此之前,六大主题的程度波动较大,发展方向为传统施工结合智能化管理、建筑工业化,在“BIM 应用推广计划”出台之后,BIM 迅速成为热点主题。进一步运用共现网络分析,认识到“建筑”、“信息”和“数据”等关键词均是智能建造的基础,2013-2020 年存在多个高被引专利且与 BIM 技术联系紧密。

根据智能建造技术的发展态势,未来智能建造技术发展需加大政策扶持力度,旨在实现智能建造产业化。首先,应注重复合型技术人才培养,促进

信息化技术与传统建筑业的融合。其次,明确各主题发展演化状态进行资源合理调配,在此基础上进行核心主题创新,积极进行试点尝试,增强主题间技术交流,实现产业转型升级。最后,建立智能建造应用体系,促进目标、执行与体系的良性耦合,推动科研成果落地,以建筑业转型升级为主线,打破传统思维,提前进行专利布局。

参考文献

- [1] 薛阔. 探析建筑业信息化现状与建筑信息技术的应用 [J]. 居舍, 2023, (13): 177-80.
- [2] 丁烈云. 数字技术为工程建造转型升级提供新机遇 [J]. 施工企业管理, 2022, (01): 82-5+14.
- [3] 尤志嘉, 郑莲琼, 冯凌俊. 智能建造系统基础理论与体系结构 [J]. 土木工程与管理学报, 2021, 38(02): 105-11+18.
- [4] 刘占省, 孙啸涛, 史国梁. 智能建造在土木工程施工中的应用综述 [J]. 施工技术(中英文), 2021, 50(13): 40-53.
- [5] 毛超, 彭睿胭. 智能建造的理论框架与核心逻辑构建 [J]. 工程管理学报, 2020, 34(05): 1-6.
- [6] 谢前前. 基于多源异构数据的新兴技术演化轨迹及趋势预测研究 [D]; 北京工业大学, 2019.
- [7] 郭婕婷, 肖国华. 专利分析方法研究 [J]. 情报杂志, 2008, (01): 12-4+1.
- [8] 王晰巍, 张柳, 黄博. 基于 LDA 的微博用户主题图谱构建及实证研究——以“埃航空难”为例 [J]. 数据分析

- 与知识发现, 2020, 4(10): 47-57.
- [9] 陈美, 孙瑞乾. 政策工具视域下我国省级数字经济政策文本的量化分析——基于 LDA 的主题社会网络分析 [J]. 情报杂志, 2023: 1-9.
- [10] CHEN X, CHANG-RICHARDS A Y, PELOSI A, et al. Implementation of technologies in the construction industry: a systematic review [J]. *Engineering Construction and Architectural Management*, 2022, 29(8): 3181-209.
- [11] 王金丽. 科技文献热点主题提取及演化研究 [D]; 昆明理工大学, 2021.
- [12] 刘盛. 面向数控机床领域的多源数据主题建模及技术演化路径研究 [D]; 华中科技大学, 2021.
- [13] 刘自强, 王效岳, 白如江. 多维主题演化分析模型构建与实证研究 [J]. *情报理论与实践*, 2017, 40(03): 92-8.
- [14] CALLON M, COURTIAL J P, LAVILLE F. CO-WORD ANALYSIS AS A TOOL FOR DESCRIBING THE NETWORK OF INTERACTIONS BETWEEN BASIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH - THE CASE OF POLYMER CHEMISTRY [J]. *Scientometrics*, 1991, 22(1): 155-205.
- [15] 王能林, 楼跃清, 张欣. 基于 BIM 和大数据的装配式建筑深化设计及施工方法, CN105023201B [P/OL]. 2015-11-04-.
- 版权声明:** ©2023 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

