

基于专利文本挖掘的中国煤矿智能化技术演化分析

余蕊卉

(安徽理工大学经济与管理学院, 安徽 淮南 232001)

摘要: 研究中国煤矿智能化领域技术的整体现状和发展方向, 对于企业技术研发和政策制定有着重要意义。以煤矿智能化技术专利为研究对象, 运用 LDA 主题模型, 从专利计量和技术主题等方面展开研究并预测发展趋势。结果表明, 中国煤矿智能化技术处于发展期; 专利被划分为 10 个技术主题, 其中“智能采掘工作面”专利申请数量最多且持续增加, 是研发热点。“灾害防治”“智能运输调度系统”“智能视频监控”“智能集中控制系统”和“智能算法”专利申请数量较多, “地质监测”和“瓦斯煤尘监测”增长速度快, 以上技术发展前景较好。“信息基础设施”的申请数量较少且无明显变化, “矿用特种机器人”申请数量较低, 研发应用能力亟待提升。

关键词: 煤矿智能化; LDA 主题模型; 专利挖掘

中图分类号: G203 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)04-0187-06

煤炭行业是我国能源行业的支柱。煤矿智能化发展是我国煤炭行业高效绿色安全生产的必由之路。《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》提出 2035 年, 智能化煤矿基本全面实现。然而智能化煤矿发展尚处于初级阶段^[1], 政府和企业需要进行更多探索。通过探究智能化煤矿技术发展现状及发展趋势, 为政府政策标准和企业研发方向的制定提供参考。

煤矿智能化是指煤矿开拓设计、地测、采掘、运输、分选、安全保障、生产管理为主要系统具有自感知、自学习、自决策与自执行的基本能力^[2], 其发展应用直接关系煤炭行业的转型升级和重大安全战略的实施。已有文献对煤矿智能化技术的发展现状和未来趋势进行研究。孙继平等^[3]研究煤矿瓦斯和煤尘爆炸识别方法和地质灾害感知报警方法^[4]。谭章禄和王美君^[5]构建数据治理的概念模型和技术架构并提出建议。王国法等^[6]梳理总结了煤矿智能化技术的发展阶段和瓶颈, 提出开发煤炭资源条件适应性智能化开采技术, 同时建议制定智能化建设标准和法规并加强短板技术及重大设备的研发工作。姜全乐^[7]结合郭家湾智能煤矿的实践, 提出智能煤矿建设思路, 为煤矿智能化技术发展提供参考。王国法^[8]分析不同煤层赋存条件下的智能煤矿实践, 阐述不同开采模式, 并提出矿井智能化改造的任务和政策建议。已有文献对煤矿信息化技术的分析多集中于研究作用机理和应用, 对其具体现

状、热点和未来趋势尚未梳理。

有效运用专利情报, 能够缩短研发时间 60%, 节省研发费用。学者运用 LDA(latent dirichlet allocation)主题模型探究交叉学科领域的研发现状与热点, 如数字文旅^[9]、智慧应急技术^[10]和水利工程^[11]等。在煤炭领域利用 LDA 模型分析相关技术的研究较少, 石晓敏和栗继祖^[12]采用 LDA 模型分析我国洁净煤技术的研发现状。

目前尚未有学者从专利视角对煤矿智能化技术的发展进行综合分析。因此, 本文以中国煤矿智能化技术相关专利为研究对象, 基于专利计量、技术热点和技术主题视角, 运用 LDA 模型进行聚类分析, 梳理中国煤矿智能化技术的现状及发展趋势, 为政府和投资者制定相关政策以及合理配置资源提供参考。

1 中国煤矿智能化技术发展现状

近年来, 中国在煤矿智能化领域取得了显著成就, 成为煤炭产业转型升级的关键驱动力。截至 2024 年 5 月, 该领域投资总额超 1 120 亿元, 彰显了国家的高度重视与大力支持, 为技术研发与应用奠定了坚实基础^[1]。政府多部门协同制定政策, 构建完善体系, 地方与企业积极响应, 推进标准化与评估机制建设, 加速了智能化进程。

技术上, 中国煤矿智能化实现了 AI、物联网、云计算、大数据、智能机器人等技术的深度融合, 技术

收稿日期: 2024-07-10

基金项目: 国家自然科学基金(51874003); 安徽省自然科学基金(1808085MG221)

作者简介: 余蕊卉(1998—), 女, 安徽安庆人, 硕士研究生, 研究方向为信息管理与矿山智能化。

体系日臻成熟。众多煤矿企业通过智能化改造,显著提升了生产效率和作业安全,促进了行业的高质量发展。

实践层面,各地涌现多样化的智能化煤矿典范,提供了宝贵经验。政府、企业、市场协同作用,精准施策,产学研用深度融合,推动了技术可持续发展。

然而,发展仍面临建设不均衡、基础设施薄弱、技术支撑不足、系统稳定性待提升及人才短缺等挑战^[2]。为应对这些挑战,需加大投资、完善基础设施、优化技术体系、提升系统性能,并强化队伍建设,以保障煤矿智能化技术的持续健康发展。本文旨在分析当前现状与挑战,为相关领域投资与政策制定提供参考。

2 研究方法 with 数据获取

2.1 整体思路

以智慧芽全球专利数据库为数据来源,检索煤矿智能化相关技术,获取专利申请生命周期等基本特征。然后通过 LDA 模型提取文本隐含的技术主题,区分中国煤矿智能化技术专利的主要类别。

2.2 文本分析方法

2.2.1 文本预处理

通过 Jieba 库进行分词处理以及采用 TF-IDF 算法进行文本向量化等一系列科学严谨的方法,对煤矿智能化专利摘要进行深入的文本分析,为后续的技术趋势预测和创新热点挖掘奠定坚实的基础。

2.2.2 文本挖掘

LDA 模型以文本-主题-词语的三层贝叶斯结构来实现文档中主题及词汇生成^[13]。其基本假设:文档集合中存在 K 个相互独立的主题;文档与各主题相关,且文档主题为多项分布,相关参数服从 Dirichlet 分布;主题与各主题词相关且主题词为多项分布,相关参数服从 Dirichlet 分布^[14]。采用困惑度(perplexity)确定 LDA 主题模型的主题个数。当困惑度曲线出现“肘部”形状时,主题数目为模型最佳主题数。

2.3 专利检索和筛选

筛选了 2003—2020 年标题或摘要含“煤矿或矿山”与“智能与信息化相关术语”的专利,剔除不相关、重复、无摘要及英文专利后,获得 1 520 条有效数据。

3 研究结果与分析

3.1 专利特征统计分析

3.1.1 专利申请技术生命周期

根据专利生命周期划分方法^[15],中国煤矿智能化领域技术发展大体经历以下阶段:在 2012 年之前

相关专利较少,处于“技术萌芽期”;2013 年后专利申请数量逐渐增加,进入“技术发展期”;感知矿山物联网的概念和技术体系形成,我国进入煤矿物联网应用阶段。2016 年出台的《能源技术革命创新行动计划(2016—2030)》为之后的专利申请数量的快速增长奠定了基础。如图 1 所示。

3.1.2 专利申请人

煤矿智能化专利地域分布显示,沿海与中部省份领先,具备人力资源充沛、科研实力强劲及创新政策优势,如图 2 所示。

煤矿智能化专利申请主力为企业与学校,个人与研究机构次之,政府贡献度低。校企重技术创新,企业侧重应用价值,政府则主监管,技术研发能力待提升,如图 3 和表 1 所示。

3.1.3 专利技术领域

专利技术领域分析旨在通过专利的国际专利分类号(IPC),为后续的专利分析研究提供参考,分析结果如图 4 所示。E21F 小类专利是占比最多的专利,应用于矿山安全生产。其次是 G05B 和 G06F。相关专利涉及的技术领域复杂,学科交叉性极强。

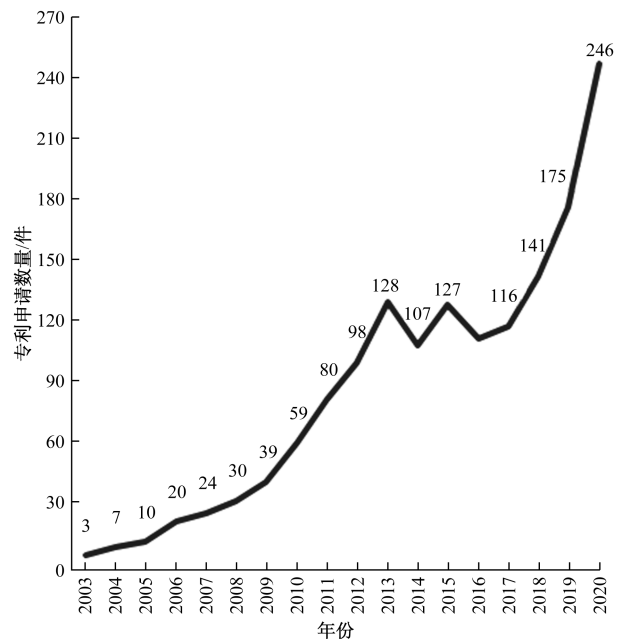


图 1 专利申请趋势

表 1 专利申请类型分布

主体	专利/件	授权发明/件	实用新型/件	发明专利/实用新型
企业	797	267	530	0.50
学校	532	360	172	2.09
个人	162	34	128	0.26
研究机构	139	97	42	2.30
政府	9	5	4	1.25

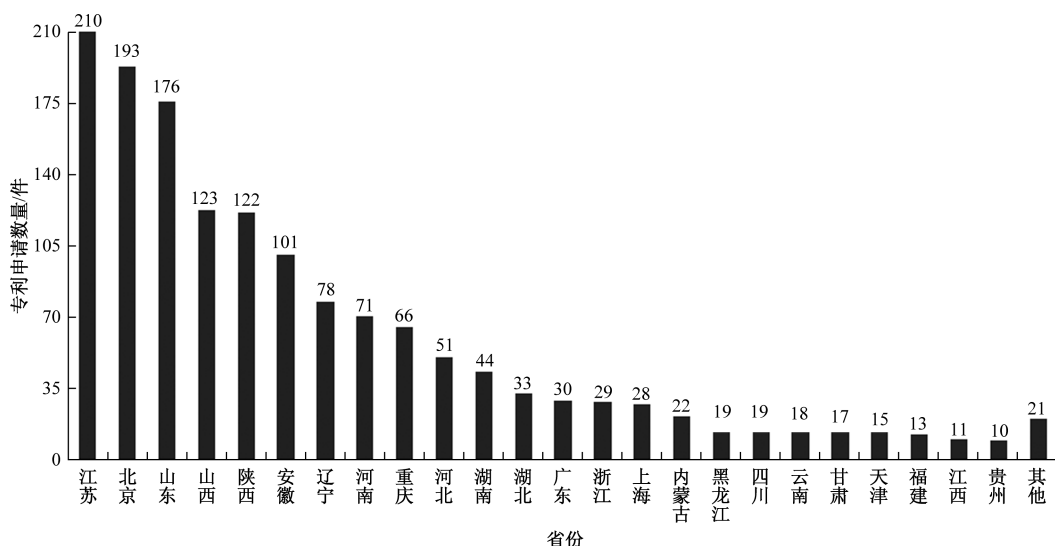


图2 专利申请地域分布

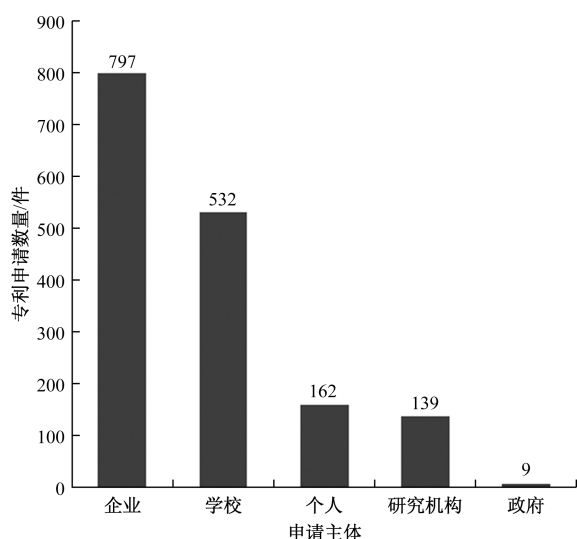


图3 专利申请人分布

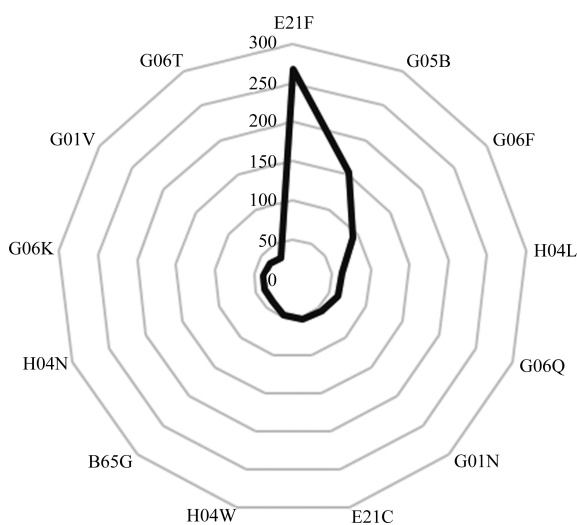


图4 专利 IPC 分布

3.2 基于文本挖掘的专利主题分析

当主题数为10个时困惑度达到局部最小,且当主题数继续增加后困惑度未明显减少(图5),故最终确定主题数为10个。依据专利国际专利分类号(IPC)和高概率关键词,进行主题归纳(表2)。

根据“采煤”“掘进”和“综采”等词,归纳主题1对应的技术主题为“智能采掘工作面”。抽样阅读专利文献进行验证,CN111927518B号专利介绍了一种综采工作面液压支架自动调直方法,促进综采工作面的自主纠偏。

结合国际专利分类表和主题2的关键词,归纳主题2对应的关键技术主题为“智能集中控制系统”。智能集中控制系统是自治性远程集中控制系统,为智能化建设奠定基础^[16]。通过抽样阅读文献验证,CN111946341B号专利介绍了一种边帮成套采煤设备远程控制系统及开采方法。CN209083330U、CN213746036U、CN109859982B等专利频繁出现保护、防爆、单片机、通信、电流等关键词。

归纳主题3对应的关键技术主题为“信息基础设施”。结合专利文献验证技术归纳合理性,如CN103244189B号专利介绍了一种煤矿灾后井下网络恢复与重建方法。同时CN102573058B、CN101697502B、CN101505546B等专利均多次出现无线、定位、通信、网络等关键词。

结合国际专利分类表、关键词和相关资料,归纳主题4对应的关键技术主题为“智能视频监控系统”。CN109376673B号专利介绍了一种利用监控视频识别煤矿井下不安全行为方法。同时CN109948935B、

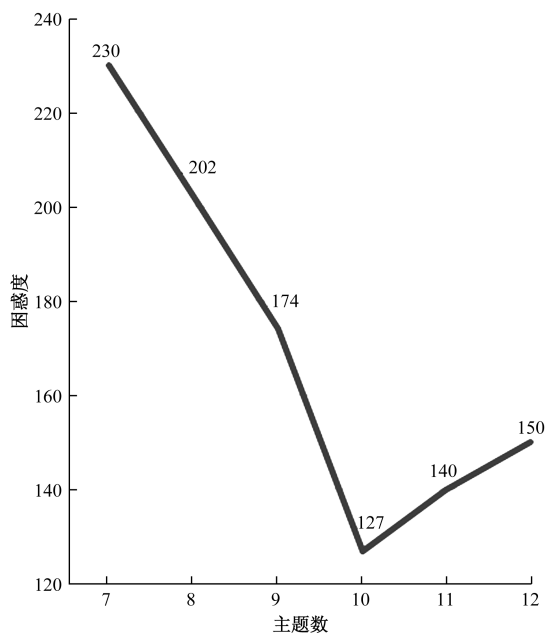


图 5 不同主题数的模型困惑度

表 2 专利主题—关键词分布

序号	高概率关键词	技术主题
1	采煤、掘进、综采、运输、皮带、液压、支架、输送机、液压支架、激光	智能采掘工作面
2	保护、单片机、防爆、通信、隔离、电流、总线、芯片、排水、编程	智能集中控制系统
3	无线、定位、节点、通信、网络、基站、无线通信、收发、无线网、路由	信息基础设施
4	视频、监控、设备、图像、语音、报警、交换机、分站、以太网、摄像机	智能视频监控系统
5	监测、充填、测量、位移、光纤、危险、预警、光栅、变形、突水	地质监测
6	监测、瓦斯、浓度、监控、气体、报警、温度、粉尘、处理器、信息	瓦斯煤尘监测
7	通风、模型、模拟、开采、灾害、预警、地质、煤层、三维、分析	灾害防治
8	预测、图像、模型、边坡、识别、应力、钻孔、训练、算法、目标	智能算法
9	机器人、救援、信息、虚拟、路径、爆破、位置、定位、导航、矿石	矿用特种机器人
10	管理、车辆、调度、信息、服务器、监控、终端、指挥、平台、自动化	智能运输调度系统

CN109977843B、CN108764032B 等专利均多次出现视频、监控、图像、报警等关键词。以上专利摘要说明技术主题归纳合理。

根据关键词和相关文献,归纳主题 5 的技术主题为“地质监测”。CN112284280B 号专利介绍了一种通过光电信号建立水下和地下表面变形三维模型的方法。同时 CN109598102B、CN110175194B、CN111006607B 等专利频繁出现监测、测量、危险、预警等词。

根据关键词和相关文献,归纳主题 6 的技术主题为“瓦斯煤尘监测”。CN112343646B 号专利介绍了一种高浓度瓦斯抽采的方法。CN103454196B 号专利介绍了一种精度高稳定且寿命长的矿井粉尘浓度监测装置。同时,监测、瓦斯、浓度等关键词在 CN108182642B、CN110130990B、CN110513138B 等专利中频繁出现。

根据关键词和相关文献,归纳主题 7 的技术主题为“灾害防治”。关键词中出现通风、三维、地质等词具有合理性。在专利文献方面,CN108510112B 号专利中介绍了一种通过三维地质模型进行矿山灾害预测预警的方法,提高了时空准确性。同时,CN111502726B、CN112211662B 等专利频繁出现通风、模型、模拟、开采、预警等关键词。以上专利摘要阅读结果证明技术主题归纳合理。

根据关键词和相关文献,归纳主题 8 的技术主题为“智能算法”。通过该主题专利文献的抽读,验证主题归纳的合理性。如 CN105913445B 号专利提出了一种利用机器视觉进行煤岩界面识别进行定位的方法。同时,CN101806229B、CN103969162B、CN104008374B 等算法中多次出现预测、模型、算法、识别等词。

根据关键词和相关文献,归纳主题 9 的技术主题为“矿用特种机器人”。CN108805327B 号专利介绍了一种基于虚拟现实的机器人路径规划与环境重建的方法。同时,CN111352415B、CN101975079B、CN102288176B 等专利摘要含有机器人、救援、定位、导航等关键词。

根据关键词和相关文献,归纳主题 10 的技术主题智能运输调度系统。智能运输调度系统实现辅助运输的智能化,是煤矿智能安全生产的关键环节^[17]。CN106127600B 号专利介绍了一种利用物联网进行运输车辆秩序维护管理的方法。同时,CN109507969B、CN214031454U、CN211844574U 等专利摘要中多次出现管理、车辆、调度等关键词。以上说明主题 10 的主题归纳合理。

在发展期(2013 年至今)中国煤矿智能化专利的主题强度演化如图 6 所示,采用热力图的色块变化展示 10 个技术主题的主题强度演化。

“智能采掘工作面”主题强度最高,是目前最受关注的研发方向。“灾害防治”和“智能运输调度系统”专利 2020 年的主题强度仅次于“智能采掘工作面”,是目前的研究热点。“灾害防治”专利致力于通过通风网络优化和三维地质建模等方式,降低动

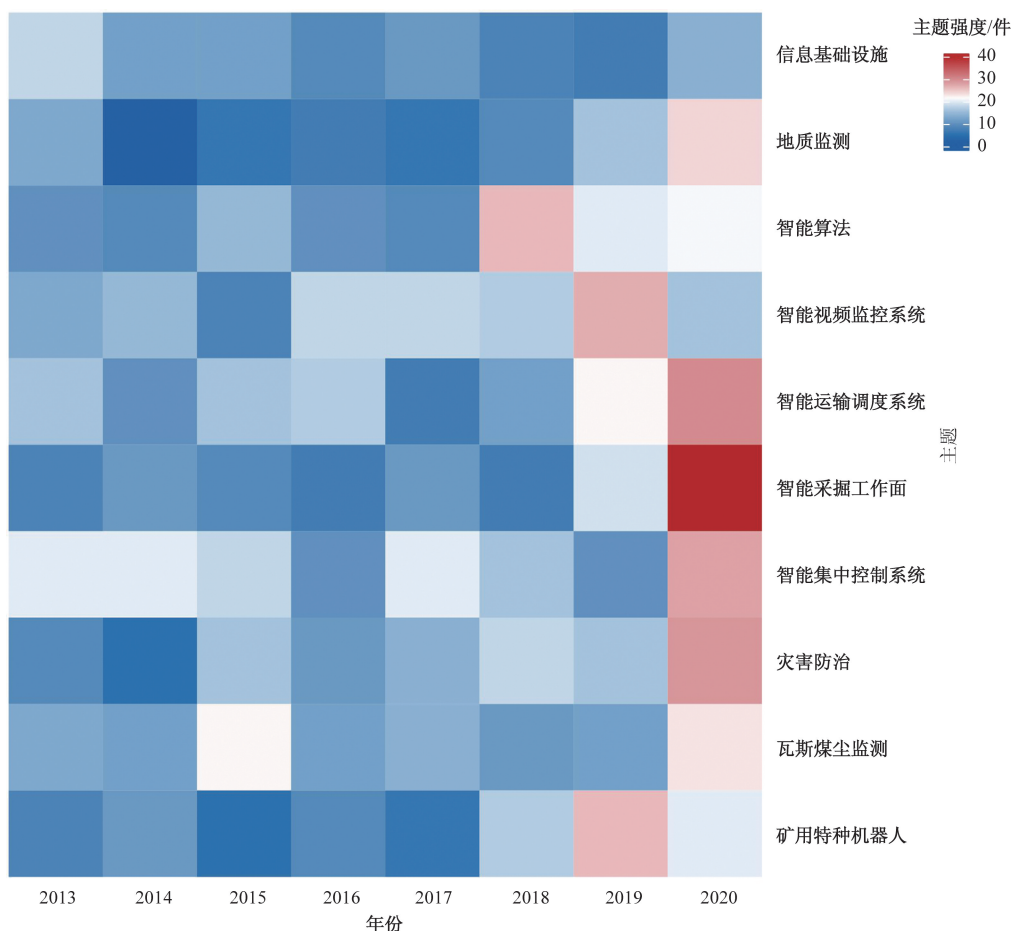


图6 专利技术主题强度演化热力

力灾害和瓦斯等灾害的发生率^[18-19]。而“智能运输调度系统”进行车辆和作业人员的全程管控和实时调度,保障运输安全。基于建设安全型煤矿需要,“灾害防治”和“智能运输调度系统”专利未来依然是研究重点。

“地质监测”和“瓦斯煤尘监测”近年来的主题强度增长较快。这两类专利为灾害的防治提供基础数据,是重点专利。“智能视频监控系统”“智能集中控制系统”“智能算法”和“信息基础设施”是智能化煤矿发展的基础。“智能集中控制系统”是煤矿生产远程控制的技术保障^[16,20],是目前的研究热点。“智能算法”通过机器学习的算法处理复杂海量多源异构数据,为矿山提高智能安全生产和管理水平提供保障。“智能视频监控系统”是机器视觉技术的“硬件”,在煤矿各生产领域都有重要应用。由于我国目前煤矿开采环境逐渐复杂化,“智能算法”和“智能视频监控系统”技术将会快速发展。

“信息基础设施”的主题强度最低。其作为智

能化发展的基础支撑,需要研发防爆高保障的通信网络和定位设备技术。“矿用特种机器人”的主题强度较低,覆盖诸多领域,在未来将有重要发展^[21],相关专利价值有较高研发价值。

4 结论与展望

本文以信息化煤矿专利为研究对象,运用专利计量和 LDA 主题模型等方法工具,研究煤矿信息化技术的现状及发展趋势,得出以下结论:一是当前我国煤矿智能化技术处于发展期;二是将中国煤矿智能化专利划分为“智能采掘工作面”“智能集中控制系统”“信息基础设施”“智能视频监控系统”“地质监测”“瓦斯煤尘监测”“灾害防治”“智能算法”“矿用特种机器人”和“智能运输调度系统”10个技术主题(表2)。其中,“智能采掘工作面”专利申请数量最多且持续增加,是研发热点。“灾害防治”“智能运输调度系统”“智能视频监控系统”“智能集中控制系统”和“智能算法”专利强度高,“地质监测”和“瓦斯煤尘监测”增长速度快,相关技术发展前景较好。“信息基础设施”的申请数量较少且无

明显变化,专利热度较低。“矿用特种机器人”申请数量较低,机器人研发应用能力亟待提升。本文深入挖掘中国煤矿智能化技术主题,对煤矿智能化发展具有重要参考意义。但本文也存在不足之处,专利技术主题分析方面,未探究分析不同主题的相关关系。在后续研究中将探究技术主题的相关关系,揭示创新技术的发展路径。

参考文献

- [1] 王国法,王虹,任怀伟,等. 智慧煤矿 2025 情景目标和发展路径[J]. 煤炭学报, 2018, 43(2): 295-305.
- [2] 王国法,刘峰,孟祥军,等. 煤矿智能化(初级阶段)研究与实践[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(8): 1-36.
- [3] 孙继平,余星辰,王云泉. 基于声谱图和 SVM 的煤矿瓦斯和煤尘爆炸识别方法[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(2): 366-376.
- [4] 孙继平,程继杰. 煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出感知报警方法研究[J]. 工矿自动化, 2022, 48(1): 1-6.
- [5] 谭章禄,王美君. 智能化煤矿数据治理概念模型及技术架构研究[J]. 矿业科学学报, 2023, 8(2): 242-255.
- [6] 王国法,张良,李首滨,等. 煤矿无人化智能开采系统理论与技术研发进展[J]. 煤炭学报, 2023, 48(1): 34-53.
- [7] 姜全乐. 郭家湾煤矿智能化信息系统建设研究[J]. 工矿自动化, 2022, 48(S1): 58-60.
- [8] 王国法. 煤矿智能化最新技术进展与问题探讨[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(1): 1-27.
- [9] 李勇,欧志梅,黄格,等. 基于专利挖掘的数字文旅关键技术识别和趋势分析[J]. 图书馆论坛, 2023, 43(1): 121-130.
- [10] 张艳丰,张钰玲,彭丽徽,等. 基于专利数据挖掘的我国智慧应急关联技术识别与发展趋势研究[J]. 情报科学, 2023, 41(8): 139-146.
- [11] 熊谦,唐文哲. 基于文本挖掘的水利工程建设管理信息化专利分析[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2023, 63(2): 223-232.
- [12] 石晓敏,栗继祖. 基于专利数据的我国洁净煤技术研发现状与热点研究[J]. 技术与创新管理, 2023, 44(2): 151-158.
- [13] 李子彪,张莉. 基于 LDA 模型的钢铁材料专利技术主题演化研究[J]. 科技管理研究, 2020, 40(24): 175-183.
- [14] BLEI D M, NG A Y, JORDAN M I. Latent Dirichlet Allocation[J]. Journal of Machine Learning Research, 2003, 3(4-5): 993-1022.
- [15] 郭婕婷,肖国华. 专利分析方法研究[J]. 情报杂志, 2008(1): 12-14.
- [16] 刘明,颜书君,胡顺勇. 智能集中控制技术在屯宝煤矿智能化建设中的应用[J]. 工矿自动化, 2022, 48(S2): 33-36.
- [17] 常凯,刘志更,袁晓明,等. 煤矿辅助运输系统智能化现状分析及框架设计研究[J]. 工矿自动化, 2022, 48(6): 27-35.
- [18] 张平松,李洁,李圣林,等. 三维地质建模在煤矿地质可视化中的应用分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(5): 1725-1740.
- [19] 丁恩杰,俞啸,夏冰,等. 矿山信息化发展及以数字孪生为核心的智慧矿山关键技术[J]. 煤炭学报, 2022, 47(1): 564-578.
- [20] 葛世荣,郝尚清,张世洪,等. 我国智能化采煤技术现状及待突破关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(7): 28-46.
- [21] 葛世荣,胡而已,李允旺. 煤矿机器人技术新进展及新方向[J]. 煤炭学报, 2023, 48(1): 54-73.

Analysis on the Evolution of Intelligent Technology in China's Coal Mines Based on Patent Text Mining

YU Conghui

(School of Economics and Management, Anhui University of Science & Technology, Huainan 232001, Anhui, China)

Abstract: It is of great significance to study the overall status and development direction of China's coal mine intelligent technology for enterprise technology research and development and policy formulation. Taking the patent of intelligent technology in coal mine as the research object, the LDA theme model was used to carry out research and predict the development trend from the aspects of patent measurement and technical theme. The main results show that the intelligent technology of coal mines in China is in the development stage. Patents are divided into 10 technical topics, among which "intelligent mining face" has the largest number of patent applications and continues to increase, which is a hot spot for R&D. "Disaster prevention and control" "intelligent transportation dispatching system" "intelligent video surveillance system" "intelligent centralized control system" "intelligent algorithm" patent applications are relatively large, "geological monitoring" "gas and coal dust monitoring" are growing rapidly, and the development prospects of the above technologies are good. The number of applications for "information infrastructure" is small and has not changed significantly, and the number of applications for "mining special robots" is low, and the R&D and application capabilities need to be improved urgently.

Keywords: intelligent coal mine; LDA topic model; patent mining