

基于专利分析的岩爆防治技术现状与发展趋势研究

蒲兴兴¹, 谢洪涛¹, 郭小雄², 常 凯²

(1. 昆明理工大学 管理与经济学院, 昆明 650093; 2. 中国铁道科学研究院集团有限公司, 北京 100081)

摘要:岩爆防治是深部地下空间开发利用过程中的技术难题,亟须进一步明确技术创新发展方向。采集 incoPat 数据库中岩爆和冲击地压防治技术相关专利数据,运用 LDA 主题聚类、专利地图等方法,从技术主题、技术活跃度、核心技术和技术进化方向 4 个方面开展研究。技术主题分析表明岩爆防治技术可归类为 7 个主要领域。技术活跃度分析表明岩爆防治技术具有波浪式发展特征,而专利技术拥有者以科研院所为主,企业的活跃度相对较低。在诸多技术主题中,施工卸荷技术与岩爆监测预警技术是主要的核心技术。岩爆防治技术总体呈螺旋式上升发展势态。

关键词:岩爆;冲击地压;专利分析;技术现状;预测

中图分类号:TD325 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)06-0026-08

岩爆是高地应力地下硐室开挖卸荷过程中,储存在硬脆性围岩中的弹性应变能猛烈释放,且产生爆裂脱落、剥离、弹射甚至抛掷性等破坏现象的一种常见动力失稳施工地质灾害^[1]。适用于金属矿山、深部隧道、水电站工程等工程硬岩条件下的岩石爆裂现象^[2]。冲击地压主要发生在煤矿领域,通常将其定义为:储存在矿山井巷和采场周围煤岩体变形能的剧烈释放,并伴随煤岩体突然、急剧、猛烈破坏为特征的现象^[3]。岩爆和冲击地压均是深部工程建设诱发的地质体破坏现象,同属于典型的深部工程地质灾害^[4]。对于岩爆和冲击地压内涵的界定和适用范围,不同学者进行了研究。钱七虎认为冲击地压究其发生机制,是与断裂滑移型或剪切型岩爆为同一类型,也是广义岩爆的一类,在矿井中,这类岩爆习称为冲击地压^[5]。周辉等^[6]把岩爆和冲击地压并列看待。宫凤强等^[4]认为,岩爆和冲击地压是并列的两类地质体动力破坏现象,两者之间不存在隶属关系。杜学领和王涛^[2]认为:广义的岩爆包含的范围更大,冲击地压是一种强烈显现的岩爆,但在狭义上,应将二者区别对待、联系研究。以下内容不涉及机理研究,因此采用广义岩爆概念,认为冲击地压属于岩爆的一种,后文统一用岩爆替代岩爆和冲击地压。

在修建大深度矿井和隧道时,岩爆已成为普遍问题^[7],岩爆对施工人员与设备的安全产生直接威胁,对施工进度产生不利影响。围绕岩爆的防治,国内各类科研与工程单位已经开展大量研究,在岩爆的孕育与演化机理^[5,8-9]、岩爆的监测预警^[10-11]、岩爆的等级预测^[12-13]、倾向性判别^[14-15]等方面取得大量技术成果。然而,由于岩爆发生机制与诱发因素的复杂性和岩爆显现的突发性及随机性^[16],目前岩爆防治技术仍有很大的进步空间。近年来随着中国交通、矿山、水利等行业对地下空间的开发向地球深部延伸^[17-18],重大工程建设对岩爆防治技术提出了更大的挑战,亟待全面梳理岩爆领域已经取得的技术成果,分析当前岩爆防治技术的现状与特征,为下阶段岩爆防治技术创新指明发展方向。

科技论文与专利是基础研究成果和技术创新成果的两种不同表现形式^[19]。专利是世界上反映科技发明最全面的信息资源^[20],人类 80% 以上的现代技术知识均记录在专利文献中。专利文献为不同领域技术发展状况分析提供了客观、真实的数据资料。技术创新是创新的重要组成部分,而对专利数据的分析是研究各种技术创新的重要手段之一^[21],文本分析与专利地图是目前专利分析的主流方法,以大量专利文献信息的数据挖掘为基础,按

收稿日期:2022-11-08

基金项目:国家自然科学基金(72162026,71942006,71761021)。

作者简介:蒲兴兴(1997—),男,四川南充人,昆明理工大学管理与经济学院,硕士研究生,研究方向为技术创新管理;通信作者谢洪涛(1974—),男,湖南涟源人,昆明理工大学管理与经济学院,教授,博士,研究方向为复杂项目管理、技术创新管理;郭小雄(1985—),男,陕西延安人,中国铁道科学研究院集团有限公司,副研究员,硕士,研究方向为隧道工程;常凯(1991—),男,河南商丘人,中国铁道科学研究院集团有限公司,助理研究员,硕士,研究方向为隧道工程。

照事先设定的条件筛选、加工整理、归纳和系统分析,以数据的形式归类到相应的图表之中,供人们分析、研究^[22],为不同领域技术态势分析、技术发展趋势分析提供了可靠的方法。前人围绕地下工程岩爆的基础性研究状况进行过多次综述^[23-25],或是对具体的岩爆典型场景和案例进行研究^[26-27],而从专利视角对岩爆防治技术的研究尚不多见,基于专利分析的研究有助于了解岩爆防治技术发展阶段、发展趋势等,进而推动技术创新系统的优化。本文采用文本分析与专利地图法,系统研究了岩爆防治技术专利申请趋势、技术生命周期、技术构成功效、专利权人的技术构成等,力争为岩爆防治技术创新活动提供信息支撑。

1 研究数据与研究方法

1.1 数据来源

利用 incoPat 全球专利数据库进行专利检索。该数据库收录了全球 120 个国家和地区超 1.6 亿件基础专利数据,拥有专利全文,信息内容准确可靠,数据质量高。

设置专利来源为全球,检索时间为 2000 年 1 月 1 日至 2021 年 12 月 31 日,检索专利类型为“发明申请”与“实用新型”。通过多次试检索,最终确定检索式为“TI=(岩爆 NOT 围岩爆破 NOT 凿岩爆破 NOT 围岩爆炸) OR TI=(冲击地压)”。按照上述检索式依次检索,在去除不相关专利后共得到 980 条专利信息,包括中国专利 932 条,世界知识产权组织专利、南非各 9 条,波兰、韩国、美国等国家专利共 30 条有效专利信息,作为研究的基础数据源。

1.2 研究方法

本文主要采用文本分析与专利地图两种方法进行研究,主要研究步骤包括数据采集及处理、专利分析、结果解读 3 部分,如图 1 所示。

具体研究包括:①数据采集及处理,采用数据库检索和人工排查相结合的方式进行数据采集与数据清洗,并运用文本分析进行数据预处理;②技术主题分析,采用 LDA(latent Dirichlet allocation)模型进行主题聚类,并对技术主题进行可视化分析,识别本领域的重点技术主题;③技术活跃度分析,基于专利数据样本,从专利时间、技术生命周期、不同技术持有人的研发趋势等方面进行分析,揭示本领域技术发展状况;④核心技术分析,基于专利引文分析与专利转让数据分析,识别核心技术;⑤技术进化方向分析,基于 IPC(international patent classification,国际专利分类)进行专利技术

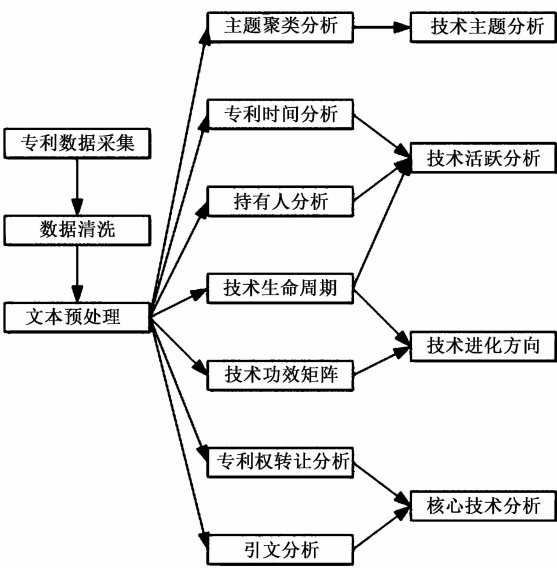


图 1 主要研究内容

功效矩阵分析,并对不同类别技术进行技术生命周期分析,综合提出技术进化方向。

2 技术主题分析

2.1 基于 LDA 的专利主题聚类

LDA 模型是由 Blei 等^[28]于 2003 年提出的一种基于概率模型的主题模型算法,LDA 是一种非监督机器学习的文本挖掘技术,可以用来识别大规模文档集或语料库中的潜在隐藏的主题信息。

将 incoPat 数据库中搜索到的专利文献转换为 CSV 格式文件,并进一步剔除不相关文献,从专利文献提取标题、关键词、摘要、权利要求书信息构成 LDA 模型的语料来源。运用 Python 的 Jieba 分词组件对语料来源文件进行分词操作,进而获得“文档—词”矩阵。运用 Python 软件中的 Sklearn 包,进一步构建 LDA 模型。在聚类分析前先要确定最优主题数,本文采用评价函数 Perplexity(困惑度)作为确定最优主题数的主要参数^[29]。运行 LDA 模型得到不同主题数的困惑度,选取困惑度最低的主题数 7 作为最优主题数。LDAvis 是一种主题可视化方法,运用 Python 软件中的 LDAvis 包对聚类主题进行可视化,能够帮助人们从整体的视角观察各个主题之间的关系^[30],如图 2 所示。

在分析过程中发现部分提取的主题词无实际含义,通过设置停用词排除无关词汇后,得到 7 个主题及主题词分布,见表 1。

2.2 岩爆防治技术的研发主题归类

聚类分析表明,岩爆防治技术研究主题主要围绕表 1 所示的 7 个方面展开,根据不同主题中主要词汇含义,进一步对 7 个技术主题进行命名。

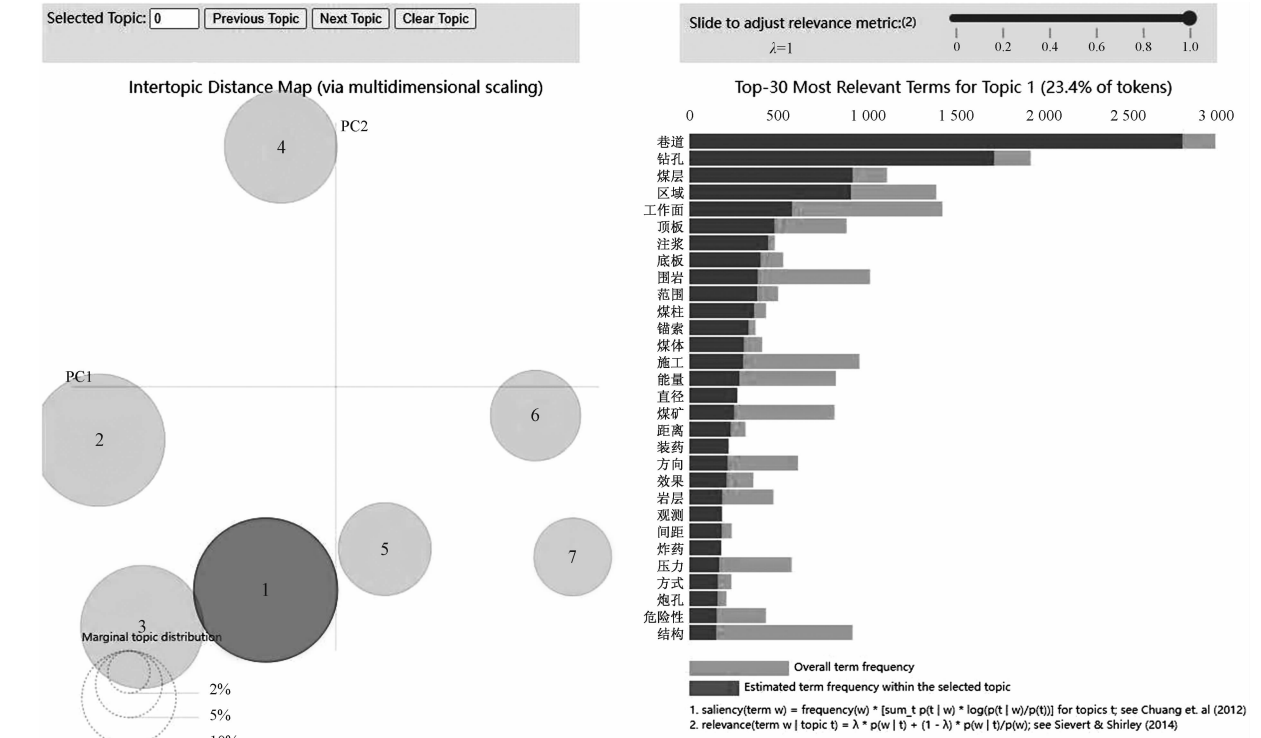


图 2 LDAvis 主题可视化图

表 1 主题聚类与主题词分布

序号	主题词
Topic 1 # (264)	钻孔劈裂、卸荷钻孔、煤层、区域、注浆、高压注水、爆破、压裂、应力释放
Topic 2 # (166)	监测、微震、预警、传感器、信号、数据、系统、模块、声发射、预测
Topic3 # (149)	步骤、预测、机器学习、数学模型、数据分析、指标、评价、参数、危险性
Topic 4 # (138)	防护网、螺纹、表面、柔性支护、支护体系、防护装置、液压支架、支柱
Topic 5 # (113)	锚杆、隧道、限位支架、防护钢板、耗能、消能、吸能、可缩钢架、混凝土
Topic 6 # (83)	TBM、装置、设备、限位、滑动、装置、预处理、底座、壳体、钢板、掌子面
Topic 7 # (67)	倾向性、弹簧、框架、套筒、三轴试验、装置、系统、导向、试件、杆体

注：括号内数值为专利申请量。

Topic1 # 主要围绕地层高地应力的释放措施，因此该主题命名为“施工卸荷技术”，共有 264 项专利围绕该主题展开；Topic 2 # 的主要内容为岩爆的监测预警，该技术主题命名为“监测预报技术”，包含 166 项相关专利；Topic3 # 主要围绕岩爆的危险性评估、评价展开，因此命名为“岩爆危险性评价技术”，包含 149 项相关专利；Topic 4 # 主要与岩爆的柔性防护有关，因此命名为“柔性防护技术”，共包含相关专利 138 项；Topic 5 # 主要与具有消能、吸

能的锚杆、可缩钢架等相关，故命名为“消能锚杆支架”，相关专利有 113 项；Topic 6 # 的主题词大都与 TBM 的岩爆防护措施、防护装置相关，故命名为“TBM 岩爆防护装置”，包含 83 项相关专利；Topic 7 # 主要与岩爆倾向性的试验装置相关，命名为“岩爆试验装置”，包含相关专利 67 项。

按照此归类方法可以给出典型实例说明主题，例如名为“弱岩爆冲压地层垂向应力监测装置及其监测方法”的专利属于“监测预报技术”主题；“一种立井侧壁围岩岩爆卸压防治方法”专利属于“施工卸荷技术”主题；“一种基于围岩应变软化特性的抗冲击地压支护及监控设备”既属于“监测预报技术”主题又属于“柔性防护技术”主题。

3 技术活跃度分析

3.1 专利时间分析

岩爆防治技术专利的年度申请量如图 3 所示，专利申请量总体呈上升趋势。

2008 年前发展缓慢，占总量的 1.22%；2009 年开始年稳步增长发展，至 2016 年出现第一个增长高峰，2008—2016 年专利申请量占总量的 30.92%；2017 年出现一次大的回落，专利申请量从 2016 年的 93 项下降为 2017 年的 52 项，2017—2020 年专利申请量呈现第二个增长高峰，2017—2020 年专利申请量占总量的 48.78%；2021 年再次出现回落，从

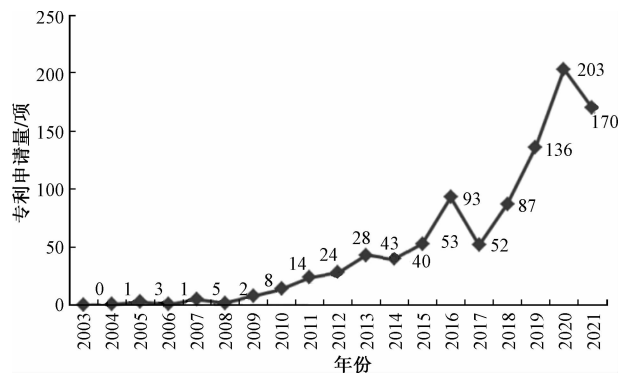


图 3 2003—2021 年专利申请量

2020 年的 203 项下降为 2021 年的 170 项。

3.2 专利持有人分析

在所有检索到的 980 项专利中,有 932 项来自中国,占总数的 95.10%。专利持有人排名前 10 的单位以具有矿业背景的高校为主,包括山东科技大学、辽宁工程技术大学、中国矿业大学、中国矿业大学(北京)、西安科技大学、东北大学等 6 所高校;其次还包括 1 个研究所以及 1 所交通行业背景的高校;此外另有 2 家企业,如图 4 所示。

排名前 10 的专利持有人的专利申请量占总数的 36.5%,总体看来,专利申请人的类型构成如图 5

所示,大专院校数量最多,占总数的 47.04%;企业的数量次之,占总数的 40.20%。

3.3 技术生命周期分析

专利既是技术创新活动中重要的制度安排,更是贯穿整个技术生命周期的重要成果产出^[31],因此可以通过技术生命周期得出专利技术的发展状态和趋势。技术生命周期分析如图 6 所示,岩爆防治技术的发展总体经历了 3 个阶段。第一阶段:2000—2016 年的快速生长期;第二阶段:2016—2017 年出现了短暂的瓶颈期;第三阶段:2017 至今的复苏与第二次增长期。

综合专利时间分析与技术生命周期分析的结果可知,岩爆防治技术的发展具有典型的阶段性特征,在一段时间的快速发展后出现短暂的停滞,之后在新技术的推动下继续增长,目前岩爆防治技术仍有较大的成长空间。而专利持有人分析表明,岩爆防治技术的研发主体主要集中于数所中国高校,企业在技术创新中的主体作用尚未得到充分发挥。

4 核心技术分析

4.1 专利权转让分析

在全部专利技术中,涉及权利转让的专利共有 23 项,占专利总数的 2.35%;其中涉及中国专利

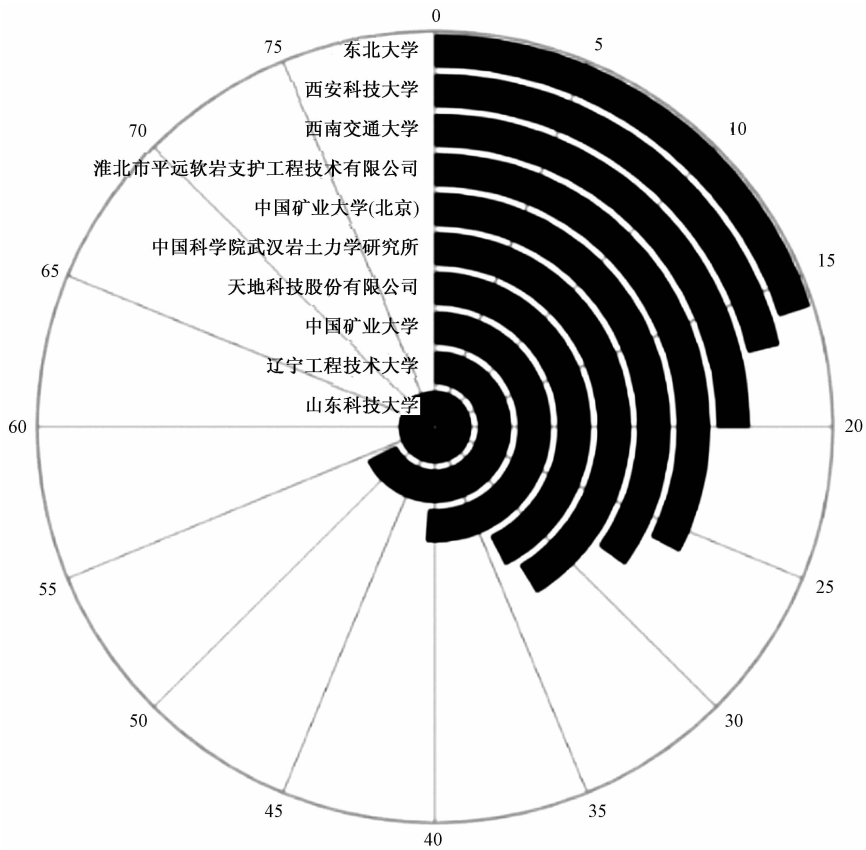


图 4 排名前 10 的专利申请人

19 项,美国专利 4 项。涉及 30 名技术转让人与 26 名技术受让人,全部为中国的法人或个人。23 项权利转让的专利技术领域如图 7 所示,根据这些专利的

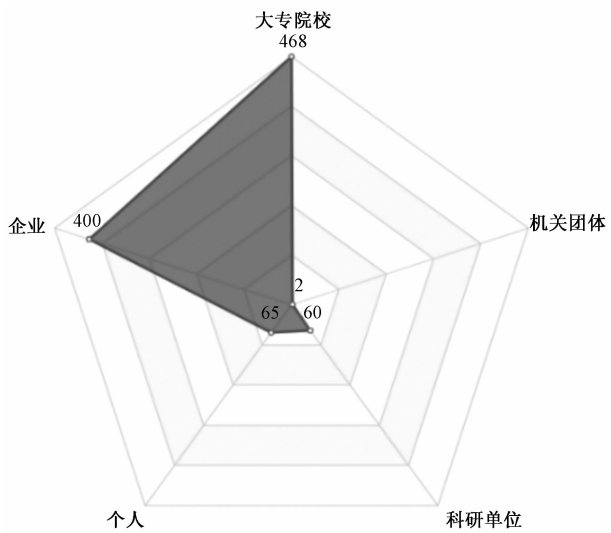
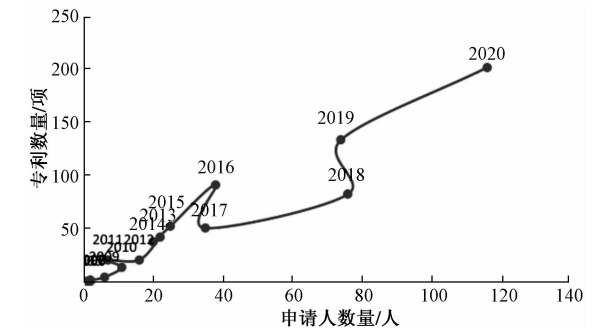


图 5 专利申请人类型构成



图中数字代表年份

图 6 总体技术生命周期

IPC 代码可以判断 23 项专利中有 19 项与地下洞室岩爆的施工卸荷技术相关,另外 4 项与岩爆监测评估相关。

4.2 专利引文分析

被引次数排名前 10 的专利共有 11 项,见表 2。在这 11 项专利中,有 7 项专利的技术主题与岩爆的施工卸荷相关,3 项专利与岩爆的监测预警相关,1 项为岩爆的模拟实验方法。

综合专利权转让分析与专利引文分析的结果可知,在岩爆防治技术领域,岩爆施工卸荷技术与岩爆监测预警技术是本领域的核心技术,具有较高的市场价值。

5 技术进化分析

5.1 技术功效矩阵分析

本文以 IPC 分类方法从大组层级对不同大组专利申请量进行统计,申请量排名前 10 位的技术类别见表 3。

从 IPC 分类的大组层级对技术进行进一步合并,得到 5 个技术领域,分别为地下工程施工、支护与衬砌、锚杆锚索、测试预警、爆破技术。技术功效方面拆分为 10 个方面:安全提高、复杂性降低、便利性提高、成本降低、效率提高、速度提高、准确性提高、稳定性提高、可靠性提高、强度提高;基于技术与功效的对应关系,进一步构建了技术功效矩阵,见表 4。

从表 3 和表 4 可见,在岩爆施工技术领域,提高岩爆地段施工的安全性是地下工程施工的主要技术研发方向,此外降低施工技术的复杂性、提高施工

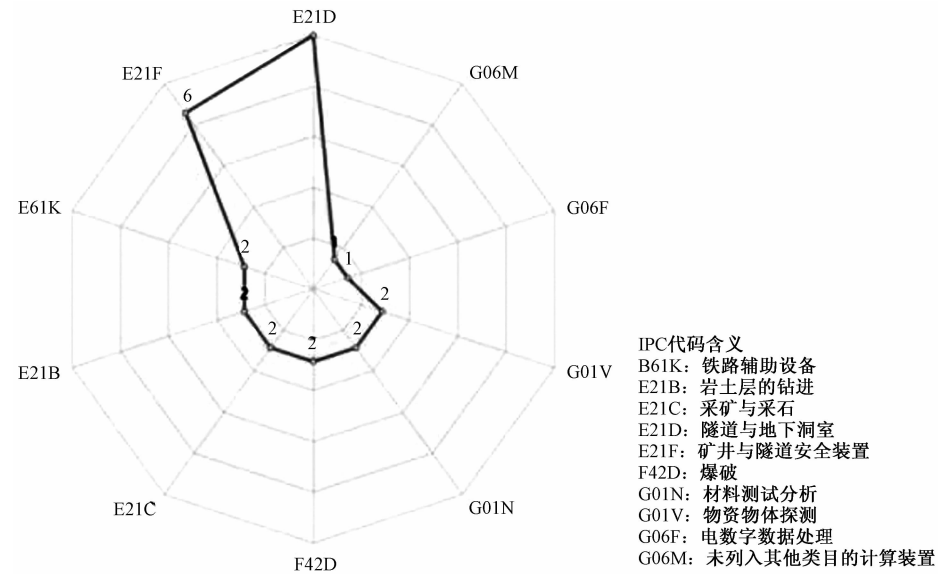


图 7 专利权转让的技术领域

表 2 被引用次数排名前 10 的专利

序号	标题	申请人	IPC 分类	被引次数
1	煤矿孤岛煤柱冲击地压控制方法	清华大学	E21C	56
2	冲击地压卸压解危方法	河南大有能源股份有限公司	E21C	49
3	深部煤巷冲击地压卸压与加固协同防治方法	山东科技大学	E21B	45
4	冲击地压预测预警方法	河南大有能源股份有限公司	E21F	44
5	分布式煤矿冲击地压监测方法	中国矿业大学	G01V	42
6	煤矿深部全煤巷道冲击地压解危方法	天地科技股份有限公司;煤炭科学研究总院	E21C	42
7	一种深部岩爆过程模型实验方法	中国矿业大学(北京)	G01N	41
8	人造空间缺陷体防治冲击地压方法	山东科技大学	E21C	40
9	煤矿构造应力区层状巷道底板冲击地压防治方法	兖州煤业股份有限公司	E21C	37
10	煤矿冲击地压分源综合预警方法	天地科技股份有限公司	E21F	31
10	一种掌子面强或极强岩爆防治开挖方法	中国水电顾问集团华东勘测设计研究院	E21D	31

表 3 申请量前 10 位 IPC 类别的专利申请量

IPC 分类号(大组)	专利申请量/项
E21F17(非常规矿井或隧道施工方法)	188
E21D11(隧道、平硐或其他地下洞室的衬砌)	139
E21C41(地下或地面采矿方法)	131
E21D20(安装锚杆)	100
E21D9(隧道或平硐掘进方法或设备)	98
G01N3(用机械应力测试固体材料的强度特性)	88
E21D21(顶板、底板或竖井衬砌保护用锚杆)	86
F42D3(爆破技术的特定应用)	83
F42D1(爆破方法或设备)	59
G01V1(地震或声学的勘探或探测)	52

表 4 专利技术功效矩阵

	地下工 程施工	支护与 衬砌	锚杆 锚索	测试 预警	施工 爆破
研发方向	E21F17、 E21C41、 E21D9	E21D11	E21D20、 E21D21	G01N3、 G01V1	F42D3、 F42D1
安全性提高	183	69	89	17	58
复杂性降低	78	27	35	32	11
便利性提高	55	24	43	27	15
成本降低	67	21	23	19	19
效率提高	70	19	25	13	14
速度提高	40	27	41	12	15
准确性提高	41	2	3	25	3
稳定性提高	29	31	54	13	9
可靠性提高	32	10	24	15	5
强度提高	38	25	37	0	13

效率、降低施工成本也是地下工程施工的技术发展热点;而在地下工程的支护与衬砌领域,通过衬砌结构提高岩爆地段的安全性也是主要技术研发方向,而提高岩爆地段衬砌结构的稳定性、降低衬砌结构的复杂性、提高施工速度也是支护与衬砌领域的技术研发热点;在锚索和锚杆领域,利用锚杆、锚索提高岩爆地段的安全性也是本领域的主要技术研发方向,而提高锚杆的稳定性、提高锚杆施工的便利性、提高锚杆施工速度是锚杆锚索技术的研发热点;而在地应力测试与岩爆预警领域,降低测试

技术的复杂性、提高测试的便利程度、提高测试结果的准确性是本领域的主要技术热点;施工爆破最主要的技术发展热点主要是提高岩爆地段的安全性,此外降低爆破施工成本、提高施工速度与施工效率也是爆破技术的主要研发方向。

5.2 不同类别技术进行技术生命周期分析

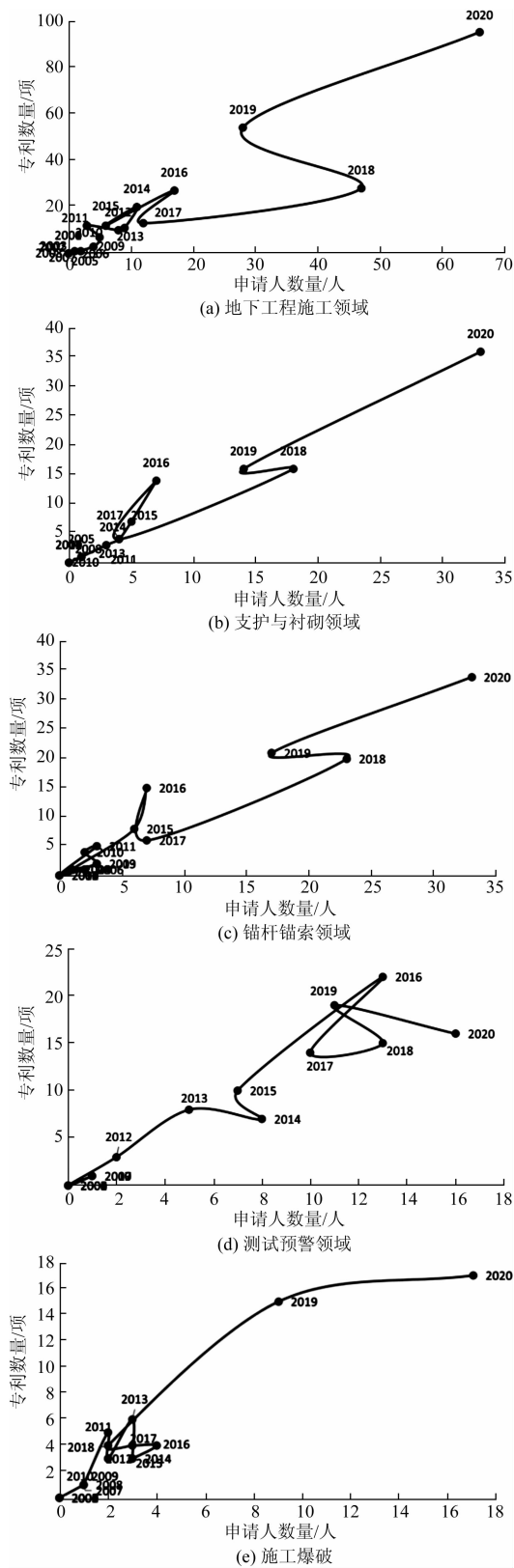
针对上述 5 个技术领域,进一步针对不同技术领域进行技术生命周期分析。因数据库更新速度较慢,存在 1 年左右的专利数据滞后期,因此 2021 年的数据不能全面反映当年专利申请情况,故在技术生命周期分析时,未考虑 2021 年的影响,5 个技术领域的技术生命周期如图 8 所示。

分析表明,地下工程施工、支护与衬砌、锚杆锚索、爆破技术 4 个技术领域呈现出螺旋式上升的发展势态,自 2000 年起,总体处于技术成长期,期间经历了数次短暂的停滞期,之后迅速复苏进入新的成长阶段,预计短期内遭遇停滞又能复苏并开创一个新的成长期;而测试预警技术在 2000—2012 年经历了快速成长阶段,自 2013 年起技术趋于成熟,预计该技术在短期内难以实现快速成长。

6 结论

1)根据技术主题分析,岩爆防治技术可聚类为 7 个主题,按专利数量排序,“施工卸荷技术”的专利数量最多,“监测预报技术”次之,其后依次为“岩爆危险性评价技术”“柔性防护技术”“消能锚杆支架”“TBM 岩爆防护装置”“岩爆试验装置”。

2)从技术活跃度分析结果来看,在专利申请量方面,总体呈上升趋势,发展由慢到快,其中 2016、2020 年为两个申请高峰,高峰之后有回落,回落后又迅速攀升,表现出波浪式发展特征。在专利人持有方面,排名前 10 的专利持有人以具有矿业背景的高校为主,专利申请人的类型以科研院所为主,企业申请的专利数量相对较少,企业在技术创新中的



图中数字为年份
图 8 不同类别技术生命周期

主体作用还有很大的发挥空间。

3)从核心技术分析结果来看,“施工卸荷技术”与“监测预警技术”是岩爆领域的核心技术,在本领

域内受到广泛的关注。

4)技术功效矩阵分析,进一步界定了主要技术研发方向和研发热点;技术生命周期分析表明,地下工程施工、支护与衬砌、锚杆锚索、爆破技术 4 个技术领域呈现出螺旋式上升的发展势态;而测试预警技术已经逐步趋于成熟,如果没有新的技术动力,预计在短期内难以实现快速成长。

参考文献

[1] 徐林生. 地下工程岩爆发生条件研究[J]. 重庆交通学院学报, 2005(3): 31-34.

[2] 杜学领,王涛. 冲击地压、岩爆与矿震的内涵及使用范围研究[J]. 煤炭与化工, 2017, 40(3): 1-4.

[3] BLAKE F. Rockburst mechanics[J]. Quarterly of Colorado School of Mines, 1972, 67: 1-64.

[4] 宫凤强,潘俊锋,江权. 岩爆和冲击地压的差异解析及深部工程地质灾害关键机理问题[J]. 工程地质学报, 2021, 29(4): 933-961.

[5] 钱七虎. 岩爆、冲击地压的定义、机制、分类及其定量预测模型[J]. 岩土力学, 2014, 35(1): 1-6.

[6] 周辉,杨凡杰,张传庆,等. 岩爆和冲击地压数值模拟与评估预测方法[M]. 北京: 科学出版社, 2015.

[7] STACEY T R. Dynamic rock failure and its containment [C]//Proceedings of the First International Conference on Rock Dynamics and Applications. Lausanne: CRC Press, 2013: 57-70.

[8] 冯夏庭,陈炳瑞,明华军,等. 深埋隧洞岩爆孕育规律与机制: 即时型岩爆[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(3): 433-444.

[9] 严鹏,陈拓,卢文波,等. 岩爆动力学机理及其控制研究进展[J]. 武汉大学学报(工学版), 2018, 51(1): 1-14, 26.

[10] 马天辉,唐春安,唐烈先,等. 基于微震监测技术的岩爆预测机制研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35(3): 470-483.

[11] 王旭. 深埋长隧洞岩爆微震监测、预警与防控技术探讨[J]. 西部探矿工程, 2022, 34(3): 182-186.

[12] 王永福. 高原地区高地应力隧道岩爆预判方法[J]. 铁道建筑, 2014(10): 22-26.

[13] 刘德军,戴庆庆,左建平,等. 基于 Stacking 集成算法的岩爆等级预测研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2022, 41(S1): 2915-2926.

[14] 刘健,王晓军,徐莎莎,等. 基于声发射 RA-AF 值识别不同岩爆倾向性灰岩破裂特征[J]. 金属矿山, 2022(10): 16-23.

[15] 张传庆,卢景景,陈珺,等. 岩爆倾向性指标及其相互关系探讨[J]. 岩土力学, 2017, 38(5): 1397-1404.

[16] 李夕兵. 岩石动力学基础与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2014.

[17] 杨军,闵铁军,刘斌慧,等. 深部开采灾害及防治研究进展[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(36): 14767-14776.

[18] 谢和平,高峰,鞠杨. 深部岩体力学研究探索[J]. 岩石

力学与工程学报,2015,34(11):2161-2178.

[19] 刘龔龙,刘进长,唐莉,等. 基于论文和专利的微创手术机器人领域研发现状及前沿热点分析[J]. 科学技术与工程,2022,22(1):250-258.

[20] 李娜,李存金. 基于专利数据的中国石墨烯技术创新区域特征研究[J]. 科技和产业,2022,22(9):43-52.

[21] NGUYEN N,MOEHRLE M G. Technological drivers of urban innovation:a T-DNA analysis based on US Patent Data[J]. Sustainability,2019,11(24):6966-6992.

[22] 王佳,潘宗诚. 超级电容器的专利趋势分析[J]. 科技和产业,2022,22(4):83-90.

[23] 徐林生,王兰生,李天斌. 国内外岩爆研究现状综述[J]. 长江科学院院报,1999(4):25-28,39.

[24] 李果,周承京,张勇,等. 地下工程岩爆研究现状综述[J]. 水利水电科进展,2013,33(3):77-83,94.

[25] 巩江峰,田四明,杨治刚. 我国高地应力区隧道岩爆研究现状 & 分析[J]. 铁道标准设计,2022,66(5):95-99,105.

[26] 唐泽林,罗春,张志强,等. 成兰铁路特长深埋隧道岩爆段应力特征[J]. 科学技术与工程,2022,22(3):1233-1242.

[27] 孙晓明,袁俊超,许永震,等. 基于多重判据的高楼山隧道岩爆倾向性判别[J]. 科学技术与工程,2021,21(11):4621-4626.

[28] BLEI D M,NG A Y,JORDAN M I. Latentdirichlet allocation[J]. The Journal of Machine Learning Research,2003(3):993-1022.

[29] 赵公民,吕京芹,武勇杰. 基于 LDA 模型的新能源汽车政策文本量化分析[J]. 科技和产业,2021,21(1):49-55.

[30] 李保利,杨星. 基于 LDA 模型和话题过滤的研究主题演化分析[J]. 小型微型计算机系统,2012,33(12):2738-2743.

[31] AALDERING L J,SONG C H. Tracing the technological development trajectory in post-lithium-ion battery technologies:a patent-based approach[J]. Journal of Cleaner Production,2019,241:118343.

Research on Current Situation and Development Trend of Rock Burst
Prevention Technology Based on Patent Analysis

PU Xingxing¹, XIE Hongtao¹, GUO Xiaoxiong², CHANG Kai²

(1. Faculty of Management and Economics,Kunming University of Science and Technology,Kunming 650093,China;
2. China Academy of Railway Sciences Corporation Limited,Beijing 100081,China)

Abstract: Rock burst prevention is a technical problem in the development and utilization of deep underground space, and it is urgent to further clarify the direction of technological innovation and development. Patent data related to rock burst and coal burst prevention technology in inco-Pat database is collected, and LDA theme clustering, patent map and other methods are used to carry out research from four aspects: technology theme, technology activity, core technology and technology evolution direction. Technical theme analysis shows that rock burst prevention technology can be classified into 7 main fields. The analysis of technical activity shows that rock burst technology has the characteristics of wave like development, while the patent technology owners are mainly scientific research institutes, and the activity of enterprises is relatively low. Among these technical topics, construction unloading technology and rock burst monitoring and early warning technology are the main core technologies. Rock burst prevention and control technology is in a spiral development trend.

Keywords: rock burst; coal burst; patent analysis; technical status; forecast