

国家自然科学基金项目的 煤矿瓦斯现状可视化分析

高璐, 康向涛*, 高林

(贵州大学 矿业学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 为了解国内煤矿安全生产中瓦斯研究概况, 促进该领域的进一步发展, 以 2010 年—2019 年国家自然科学基金数据库的项目为基础数据, 基于文献计量学和统计学方法, 对研究煤矿瓦斯的基金项目主持人、基金类别、研究区域以及项目结题中的关键词进行可视化分析, 并进一步描述该领域的研究热点及未来发展趋势。结果表明: 我国煤矿安全生产中瓦斯领域的研究先后经历波动发展、回落发展、回升发展 3 个阶段; 基金主持人主要以程远平、尹光志、李树刚等为核心; 瓦斯抽采、煤与瓦斯突出、瓦斯渗流等是研究中的关键词; 根据瓦斯特征进行瓦斯治理仍是煤矿安全生产中瓦斯领域的研究趋势之一。该研究成果有助于从业人员了解煤矿瓦斯领域的发展方向, 为煤矿安全生产提供基础数据, 对深入研究煤矿瓦斯具有理论意义和实用价值。

关键词: 煤矿; 国家自然科学基金; 瓦斯; 可视化; 安全生产

中图分类号: X936 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-9102(2022)01-0044-07

Visualization Analysis of Coal Mine Gas Knowledge in National Natural Science Fund Project

GAO Lu, KANG Xiangtao, GAO Lin

(College of Mining, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: In order to understand the overall situation of the researches on gas in coal mine safety production in China and promote the further development of this field, the data are based on the projects database of the National Natural Science Fun of China from 2010 to 2019, a visualzied analysis are made based on the method of literature metrology and statistics, the fund presider, the fund categorie, the research fields, and the keywords of the summerized projects. It also describes the research hotspots and future development trend of this field. Results show that the research on gas in coal mine safety production in China has gone through three development stages: fluctuation development stage, falling development stage, and rising development stage. With the fund presideers, such as Cheng Yuanping, Yin Guanzhi and Li Shugang as the research main force. The gas extraction, coal and gas outburst and gas seepage are the keywords in the research. Gas control based on the gas characteristics is still one of the research trends in the field of gas safety in coal mine production. This research achievement will help the employees in this field understand the developmental direction of the coal mine gas field and provide basic data for the coal mine's safety production, which is of both theoretical and practical significance of the coal mine gas.

Keywords: coal mine; National Natural Science Fund of China; gas; visualization; safety production

收稿日期: 2021-06-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (52064009; 52004073; 52064009)

* 通信作者, E-mail: xiaokangedu@163.com

煤炭作为我国主要的能源资源,在国民生产生活中有着无可替代的作用,然而在煤炭开采过程中,安全问题成了制约煤炭企业高效发展的共性问题.许多学者借助国家自然科学基金项目对当前煤矿安全生产中瓦斯治理领域的共性问题展开了研究,并取得了一定成就.这些基金项目中包含的信息可以从侧面折射出煤矿安全生产现有的瓦斯治理模式,但目前为止,国内还鲜有学者对煤矿安全生产中瓦斯领域进行系统而全面的分析.

自 Google 将知识图谱应用到其搜索引擎^[1],随后国内各行业先后兴起运用知识图谱方法来分析本学科的发展动态.陈悦等^[2]从设计理念、使用流程和先进技术等方面阐释了知识图谱的功能;陈孝慈等^[3]构建了煤矿安全领域知识图谱,为该领域智能搜索提供了技术支持;张宁,谭章禄等^[4-5]对比国内煤矿领域研究的优劣性,利用知识图谱对国内煤矿安全生产领域研究的整体状况及发展动态进行了宏观分析.王君玲,刘峰等^[6-7]借助 Cite Space V 分析工具,描述了国内外煤矿的主要研究力量及研究人员的分布,进一步总结了全球范围内煤矿安全研究现状和研究焦点.

基于上述分析,笔者采用文献计量法和知识图谱法,借助知识图谱分析工具,同时结合 Excel 软件,分析我国 2010 年—2019 年国家自然科学基金项目中以“煤矿瓦斯”为主题的基金项目.通过对基金项目主持者、基金金额、关键词等方面进行分析,直观地展现 10 a 来煤矿安全生产瓦斯领域的研究现状,并探讨该领域的研究热点和发展方向,得到清晰可见的瓦斯领域发展趋势图.

1 数据来源和研究方法

1.1 数据来源

笔者对 2010 年—2019 年的国家自然科学基金数据库进行项目综合查询^[8],得到煤矿瓦斯安全方向的基金项目主持者 305 位,共计主持基金 349 项,累计获得资助金额为 20 307.7 万元.此次数据来源为网络公开的国家自然科学基金项目数据库,无需人工检查排除不符合条件的新闻、会议记录、学术报告等数据,从而保证了此次研究数据的代表性和权威性.

1.2 研究方法

本文采用文献计量法和知识图谱法对基金项目主持者、基金类别和研究区域等进行对比分析.文献计量法是利用数理统计方法处理信息之间的定量关系,从基金结题中的中文关键词等外部特征出发,以定量为主的分析方法,可以合理地预测科学技术发展趋势.知识图谱法是可以显示专业学术知识发展进程的一种方法,可以把作者想表达的复杂数据信息等转化为图标的方式,对研究对象进行可视化、直观化分析,同时可形象地展示研究对象当前的研究热点、研究趋势和演化规律等之间的内在关联.

2 煤矿安全生产瓦斯领域的可视化分析

2.1 基金项目产出分析

基金项目产出是衡量一个学科发展状况和成熟程度的重要标志^[9].图 1 是煤矿安全生产瓦斯领域 2010 年—2019 年的基金项目产出图.

根据图 1 中的变化趋势,可将煤矿安全生产瓦斯领域中的研究划分为 3 个阶段:Ⅰ波动发展阶段(2010 年—2013 年)、Ⅱ回落发展阶段(2014 年—2015 年)、Ⅲ回升发展阶段(2016 年—2019 年).Ⅰ波动发展阶段,基金项目数量和基金资助金额波动起伏较大,但整体呈现出上升趋势,正好符合当时国家支持煤炭高效发展的实际情况,此阶段基金项目数量共计 131 项,占项目总数的 37.54%,累计资助金额为 6 960.5 万元,占

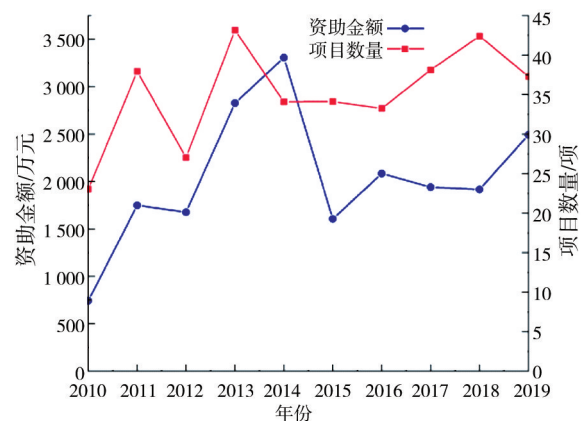


图 1 煤矿安全生产瓦斯领域基金项目产出

10 a内资助总金额的 34.28%。Ⅱ回落发展阶段,每年的基金项目数量基本维持在 34 项,但资助金额有所下降,且呈现出迂回下降的趋势,其原因可能是煤炭行业转入低迷期,同时受到当时国家政策以及行业发展趋势的影响,此阶段基金项目数量共计 68 项,占项目总数的 19.48%,累计资助金额为 4 933 万元,占 10 a 内资助总金额的 24.29%。Ⅲ回升发展阶段,该领域经过一段低速发展后,基金项目和资助金额皆有所提高,该阶段持续时间长,表明煤矿安全尤其是瓦斯安全领域的研究在不断增长,此阶段基金项目数量共计 150 项,占项目总数的 42.98%,累计资助金额为 8 414.2 万元,占 10 a 内资助总金额的 41.43%。

2.2 基金项目类别分析

据统计,本次研究涉及煤矿瓦斯领域自然科学基金资助类别的有面上项目、青年科学基金项目、联合基金项目等,共计 11 种资助类别,所有这些资助类别各有侧重,相互补充,共同构成当前瓦斯领域的自然科学基金资助体系。将这些基金项目资助类别进行统计,如表 1 所示。

表 1 瓦斯安全领域资助类别

排名	资助类别	数量	所占比例/%	累计资助金额/万元	所占比例/%
1	面上项目	167	47.85	10 705.0	52.71
2	青年科学基金项目	151	43.26	3 540.0	17.43
3	联合基金项目	10	2.86	1 021.0	5.03
4	重点项目	7	2.01	2 170.0	10.69
5	国家重大科研仪器研制项目	4	1.15	2 097.2	10.33
6	地区科学基金项目	3	0.86	96.0	0.47
7	国家杰出青年科学基金	2	0.57	600.0	2.95
8	科学部主任基金项目/应急管理项目	2	0.57	36.0	0.18
9	国际(地区)合作与交流项目	1	0.29	2.5	0.01
10	海外及港澳学者合作研究基金	1	0.29	20.0	0.10
11	数学天元基金	1	0.29	20.0	0.10

由表 1 可知:在煤矿瓦斯安全领域,面上项目在众多项目中占比最大,研究项目为 167 项,占本次研究项目总数的 47.85%,累计资助金额为 10 705 万元,占资助总金额的 52.71%。这是因为面上项目是自然科学基金最基本的资助项目类别,可重复申请,申请者相对较多,同时也与从事瓦斯安全研究的科学技术人员开展更多的创新性研究有关。青年科学基金项目在本次研究当中同样占有很大比例,研究项目为 151 项,占本次研究项目总数的 43.26%,累计资助金额为 3 540 万元,占资助总金额的 17.43%。青年学者是该领域研究人员的重要组成部分,给予青年学者大量基金项目的支持,有利于激励从事瓦斯行业的青年科学技术人员的创新和提高其科研能力。

此次重点项目虽然只有 7 项,但累计资助金额高达 2 170 万元,占总资助金额的 10.69%,平均每项资助金额 310 万元。这表明国家在该领域一贯支持从事基础研究的科学技术人员,便于学科生长点深入开展,推动该领域取得突破性的发展。国家重大科研仪器研制项目仅有 4 项,但累计资助金额高达 2 097.20 万元,占总资助金额的 10.33%,平均每项资助金额 524.3 万元。这表明我国在煤矿安全领域支持国家重大科研仪器的研制,以提升我国在该行业的原始创新能力。与此同时,该领域在国际(地区)合作与交流项目、数学天元基金、海外及港澳学者合作研究基金等均有涉足,说明该领域开始利用国际科技资源,开展实质性国际(地区)合作研究与学术交流,提高我国煤矿瓦斯研究水平和国际交流能力。煤矿瓦斯安全领域在实施源头创新战略的同时加强校企合作与海内外交流合作,可以稳定推动该领域长远发展。

2.3 基金项目机构分析

分析基金项目机构可以使煤矿安全生产瓦斯领域内的主要科研力量及其之间的合作化关系变得清晰可见,从而方便本行业各机构之间的交流合作^[10]。将煤矿安全生产瓦斯领域申请基金项目排名前十的机构整理,如表 2 所示。

分析表 2 可知:中国矿业大学、河南理工大学、西安科技大学是这领域具有代表性的机构,资助资金均

超过1 500万元,且这3所高校共获得资助资金8 972万元,占该领域所有资助资金的44.19%。其次,辽宁工程技术大学、重庆大学、中国矿业大学(北京)这3所高校的资助资金都超过1 000万元,共获得资助资金3 815万元,占总资助资金的18.80%。这表明上述6所高校是研究该领域的中坚力量。排名前十的机构累计申请项目为233项,占此次研究项目总数的66.76%,累计获得资助资金为14 208.5万元,占总资助资金的69.97%。而山东科技大学和华北科技学院,累计资助资金均不超过300万元,表明国内机构对该领域的研究具有不平衡性。但不可否认,这些机构在一定程度上促进并引领了该领域在国内的研究和发展。

表2 申请基金项目排名前十的机构

排名	机构名称	基金数量	所占比例/%	累计资助金额/万元	所占比例/%
1	河南理工大学	54	15.47	2 700.0	13.30
2	中国矿业大学	53	15.19	4 414.0	21.74
3	西安科技大学	34	9.74	1 858.0	9.15
4	辽宁工程技术大学	24	6.88	1 095.0	5.40
5	重庆大学	22	6.30	1 305.0	6.43
6	中国矿业大学(北京)	18	5.16	1 415.0	6.97
7	湖南科技大学	11	3.15	582.0	2.86
8	安徽理工大学	10	2.87	790.0	3.90
9	山东科技大学	10	2.87	299.5	1.46
10	华北科技学院	5	1.44	165.0	0.81
总计		233	66.76	14 208.5	69.97

注:机构基金数量所占比例=机构基金项目数量/基金项目总数;机构资助金额所占比例=机构累计资助金额/基金金额总数。

2.4 基金项目研究区域分析

研究项目涉及的区域可反映煤矿安全生产瓦斯领域内主要科研力量的分布,得出瓦斯领域内具有领先地位的区域,方便本行业各区域之间的交流合作^[11]。基金项目关键词涉及的区域分析如表3所示。

表3 基金项目关键词涉及的区域分析

关键词	省份	研究频数
煤与瓦斯突出	贵州、山西、四川	44
瓦斯爆炸	山西、贵州、河南	35
瓦斯渗流	陕西、贵州、河南	30
瓦斯抽采	山西、贵州、河南	24
瓦斯压力	山东、山西、内蒙古	23
瓦斯运移	山西、贵州	28
瓦斯共采	安徽、山西	6
瓦斯富集	重庆、山西	4
瓦斯水合物	贵州、山西、黑龙江	4
瓦斯浓度	贵州、河南、山西	4

由表3可知:煤矿瓦斯领域的研究主要集中在山西、贵州、河南、内蒙古、陕西、四川、重庆等地,尤其以山西、贵州和河南为代表,对瓦斯领域的研究更为广泛且研究成果更为突出。其主要原因是山西省具有丰富的煤炭资源,煤层地质构造复杂,部分地区有岩浆侵入和火山喷发,造成山高坡陡,沟壑纵横,地形切割强烈,而地质行为所产生的灾害往往不是孤立的,常在矿区的某一时段形成灾害群,且部分煤层中有中磷煤和高磷煤存在,其瓦斯含量较高,瓦斯涌出量大,导致时有瓦斯爆炸事故发生^[12]。贵州作为我国南方煤炭资源最丰富的省份,含煤面积占全省总面积的40%以上,但由于地质构造复杂,褶曲、断层发育,造成贵州煤层赋存环境复杂,大多数煤层为薄及中厚的近距离煤层群,瓦斯含量大,且煤层顶底板多属泥质粉砂岩、泥岩等,软性岩类,煤层透气性低,瓦斯抽采难度大、效果差^[13]。因此,该区域突出矿井和高瓦斯矿井占全省矿井总数的70%左右,瓦斯灾害异常严重。河南省位于中国华北石炭二叠系岩溶-裂隙水水害区,构造

上处于稳定区与活动带之间的过渡区域,且随着矿山采空区增大,受当时技术条件的限制,绝大部分老空区都是沿煤露头浅层开采且多以巷柱式开采.大多数矿井没有井巷工程的测绘资料或资料不全,瓦斯积聚情况未知,使得井下作业生产条件越来越复杂,采矿难度越来越大,经常出现掘进和回采过程中瓦斯超限、积聚的现象,为瓦斯爆炸创造了必要条件^[14],瓦斯抽采势在必行.因此,矿井瓦斯的研究与发展呈现地域不均衡性,导致煤矿安全生产瓦斯领域的研究地区分散.

2.5 基金项目主持者与资助金额分析

分析煤矿瓦斯领域的基金项目主持者,可以了解该领域的带头人,再研究这些主持者的基础成果,得到具有代表性的实用数据^[15].同时,他们主持基金项目的数量在一定程度上可代表主持者在该领域研究的深度、广度以及影响力,因此统计基金主持者科研项目有助于分析本领域发展前景^[16].现将国内煤矿瓦斯领域主持基金项目大于等于 2 项的基金主持者统计如表 4 所示.

表 4 国内煤矿瓦斯领域主持基金项目大于等于 2 项的基金主持者

排名	基金主持者	基金数量	所占比例/%	累计资助金额/万元	所占比例/%
1	程远平	4	1.15	242	1.19
2	李树刚	3	0.86	625	3.07
3	尹光志	3	0.86	473	2.32
4	张保勇	3	0.86	203	1.00
5	魏建平	3	0.86	158	0.78
6	卢义玉	3	0.86	686	3.37
7	吴强	2	0.57	345	1.70
8	许江	2	0.57	145	0.71
9	郭德勇	2	0.57	446	2.20
10	周福宝	2	0.57	260	1.28

注:基金项目主持者基金数量所占比例=主持者主持基金项目数量/基金项目总数;

基金项目主持者资助金额所占比例=个人累计资助金额/基金金额总数.

近 10 a 期间,部分基金主持者已经成为我国煤矿瓦斯安全领域研究的核心力量.如程远平、尹光志、许江和魏建平等致力于瓦斯渗流的研究,得出了含瓦斯煤蠕变渗流在应力-应变过程中存在阶段性变化,且随着温度升高呈现总体减小的趋势^[17],同时利用含瓦斯煤岩的孔隙率和渗透率的动态模型,建立能描述含瓦斯煤岩固气耦合情况下的骨架可变形性和气体可压缩性的固气耦合模型^[18];李树刚、尹光志、吴强和周福宝等致力于瓦斯抽采的研究,通过联立煤层瓦斯抽采中气体扩散-渗流、煤-氧反应以及热量传输方程,定量描述了抽采过程中场流演化,建立了抽采安全度的计算模型^[19],并利用钻孔封孔漏气检测装置,测定判断了相应测点控制区域的漏气情况^[20],之后又建立了考虑推进速度影响的采动裂隙椭抛带数学表达方程^[21],同时得出适用于含瓦斯煤岩的有效应力计算公式,成功构建了瓦斯抽采流量的负指数表达式;程远平、卢义玉、张保勇和郭德勇等致力于煤与瓦斯突出领域的研究,一致认为突出机理的趋势是由单因素向多因素发展^[22],并认为地应力是煤体破坏的主要动力^[23],进一步成功构建了煤与瓦斯突出预警技术体系^[24].目前智能矿山建设已经应用到煤炭生产中,但涉及煤矿瓦斯方面,在统计的国家自然科学基金项目中还鲜有学者对此进行立项研究,可见,国内矿山智能化需加强全面建设.

此外,袁亮院士于 2015 年—2019 年主持的《用于揭示煤与瓦斯突出机理与规律的模拟试验仪器》项目获得的资助资金最高,为 925 万元,创新性地采用全过程相似物理模拟试验,实现了世界首例大尺度模型在加载充气保压条件下巷道掘进揭煤诱发煤与瓦斯突出试验模拟,为准确揭示突出机理奠定了基础^[25].这在一定程度上折射出煤与瓦斯突出一直困扰着国内外煤矿安全生产,对煤与瓦斯突出机理和防治的研究将越来越受到该领域学者的关注.

3 基金项目研究热点

中文关键词是对基金项目研究内容最直接的体现,是文献计量研究中最重要的一环^[26].对煤矿安全

生产瓦斯领域中基金项目的中文关键词进行研究,可进一步把握该领域的研究热点和发展方向.结合表3可知,国内煤矿安全生产瓦斯领域中关键词出现频次超过20次的有5个,这些关键词所反映的都是煤矿安全生产瓦斯领域中的研究热点,根据这些关键词将该领域的研究热点分为3个方面:

1) 瓦斯动力灾害及瓦斯灾害.中文关键词中的“煤与瓦斯突出”“瓦斯爆炸”等都是国内煤矿安全生产中易发生的瓦斯灾害.在矿山压力作用下,破碎的煤与瓦斯由煤体内向采掘空间大量喷出,突出煤流可充塞巷道,摧毁巷道设施,破坏通风系统.高浓度瓦斯甚至可造成人员窒息死亡,具有极大的破坏性.而瓦斯爆炸产生的高温高压,使爆源附近的气体以极大的速度向外冲击,也可以破坏巷道和器材设施,同时可造成人员伤亡.因此在煤矿安全生产中加强瓦斯动力灾害及瓦斯灾害研究势在必行.

2) 瓦斯治理.瓦斯治理离不开高效的瓦斯抽采技术.对煤层中的瓦斯进行抽采,不仅可以降低开采过程中煤层中的瓦斯涌出量,有效预防瓦斯积聚,减少煤矿瓦斯爆炸和煤与瓦斯突出事故的发生,而且抽采提纯过后的瓦斯还可用作民用燃料、工业燃料、发电燃料等燃料,造福社会.

3) 瓦斯特征.关键词中出现的“瓦斯渗流”“瓦斯压力”,都是围绕瓦斯自身特征为主题进行的分析研究,瓦斯压力是煤层孔隙内气体分子自由热运动撞击所产生的作用力,是决定煤层瓦斯动力学特征的基本参数.而瓦斯渗流是瓦斯在多孔介质内的流动,与煤层瓦斯的突出、涌出等均有关联.系统研究煤层的渗透性能,是防止煤矿自然灾害的基础.

4 研究趋势分析

研究趋势反映某一研究领域的发展动态^[27].通过对瓦斯领域基金项目的产出、机构及关键词进行分析,可明确该领域的研究趋势,随着社会的飞速发展,对煤炭的需求量也不断增加,而煤矿瓦斯事故是制约煤炭工业安全发展和影响各地区安全稳定的突出问题,因此,各地区、企业与高校紧密合作是未来研究煤矿瓦斯治理的主流趋势.煤矿在进行瓦斯治理时,不仅要依靠现有的技术基础,还应结合煤矿实际情况采取针对性措施,将新工艺、新模式、机械化、智能化有效应用到煤矿瓦斯治理的实践中,以此来加快煤矿瓦斯安全领域智能化建设,从而提高煤矿开采的安全性,促进中国煤矿行业快速稳定发展.

5 结论

1) 我国煤矿安全生产瓦斯领域2010年—2019年的基金项目产出整体呈现出上升趋势,基金项目数量共计349项,累计资助金额为20 307.7万元,其中面上项目在众多项目中占比最大,为167项,占本次研究项目总数的47.85%.

2) 国内煤矿安全生产瓦斯领域研究广泛,热点主要集中于瓦斯动力灾害及瓦斯灾害研究、瓦斯治理研究和瓦斯特征研究,同时以源头创新为战略,推动该领域校企合作与海内外交流.

3) 国内煤矿瓦斯安全领域的研究于2010年之前已开始发展,研究力量主要集中于河南理工大学、中国矿业大学和西安科技大学等国内高校.经过近10a的研究,国内的瓦斯治理工作已取得了阶段性的成果,并进一步向智能化开采和精准开采发展.

参考文献:

- [1] 王元卓,贾岩涛,刘大伟,等.基于开放网络知识的信息检索与数据挖掘[J].计算机研究与发展,2015,52(2):456-474.
- [2] 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.
- [3] 陈孝慈,谭章禄,马琳,等.可视化安全管理知识图谱分析[J].中国安全科学学报,2017,27(4):13-18.
- [4] 张宁,盛武.基于 CiteSpace 的煤矿信息化知识图谱构建与分析[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2019,34(3):11-17.
- [5] 谭章禄,彭胜男.煤矿安全生产知识图谱分析[J].中国安全科学学报,2019,29(4):133-139.

- [6] 王君玲,盛玲玉.中国煤矿企业应急管理研究回溯与前瞻:基于 CiteSpace 知识图谱的文献计量分析[J].中国安全生产科学技术,2018,14(9):175-179.
- [7] 刘峰.煤炭行业科技创新对煤矿安全的影响研究[J].煤矿安全,2020,51(10):5-9.
- [8] 国家自然科学基金项目查询、在线查询自然科学基金查询结果(1997-2021年)-Let Pub 最新科学基金结果查询系统[DB/OL].(2021-01-17)[2021-05-28]. <http://www.letpub.com.cn/index.php?page=grant>.
- [9] 刘静,马建霞.我国管理科学研究进展分析:以国家自然科学基金立项项目及论文产出为分析依据[J].科技管理研究,2015(4):249-258.
- [10] 高璐,康向涛,王子一,等.基于 Cite Space V 的煤矿瓦斯知识图谱分析[J].矿业工程研究,2021,36(1):55-61.
- [11] 梁建国,王浩蓉.国内高职院校慕课研究现状与趋势分析:基于 CNKI 文献关键词的可视化分析[J].江苏高职教育,2020,20(1):65-69.
- [12] 唐猛,康向涛,高璐,等.基于博弈论与 TOPSIS 法煤与瓦斯突出危险性评价研究[J].山东科技大学学报(自然科学版),2021,40(5):77-86.
- [13] 钟德洋,刘勇,康向涛,等.2007—2015年贵州煤矿瓦斯事故分析与防治建议[J].煤炭工程,2016,48(11):69-72.
- [14] 李陆海,程立朝.安阳主焦煤瓦斯赋存规律研究[J].黑龙江科技信息,2009(31):46.
- [15] 张诗乐,盖双双,刘雪立.国家自然科学基金资助的效果:基于论文产出的文献计量学评价[J].科学学研究,2015,33(4):507-515.
- [16] 缪瑞生,马海群.国内图书情报领域大数据研究的文献计量分析[J].情报科学,2017,35(3):93-97.
- [17] 尹光志,李铭辉,李生舟,等.基于含瓦斯煤岩固气耦合模型的钻孔抽采瓦斯三维数值模拟[J].煤炭学报,2013,38(4):535-541.
- [18] 尹光志,何兵,李铭辉,等.采动过程中瓦斯抽采流量与煤层支承载力的相关性[J].煤炭学报,2015,40(4):736-741.
- [19] 周福宝,王鑫鑫,夏同强.瓦斯安全抽采及其建模[J].煤炭学报,2014,39(8):1659-1666.
- [20] 张天军,宋爽,李树刚,等.瓦斯抽采钻孔封孔质量检测技术与应用[J].西安科技大学学报,2017,37(5):623-629.
- [21] 李树刚,徐培耘,赵鹏翔,等.采动裂隙椭抛带时效诱导作用及卸压瓦斯抽采技术[J].煤炭科学技术,2018,46(9):146-152.
- [22] 卢连宁,张迎新,张保勇.煤与瓦斯突出机理及其区域预测技术对比[J].黑龙江科技学院学报,2007(1):33-36.
- [23] 程远平,张晓磊,王亮.地应力对瓦斯压力及突出灾害的控制作用研究[J].采矿与安全工程学报,2013,30(3):408-414.
- [24] 郭德勇,胡杰,王彦凯.煤与瓦斯突出层次-可拓预警技术及应用[J].中国安全科学学报,2017,27(1):88-92.
- [25] 袁亮,王伟,王汉鹏,等.巷道掘进揭煤诱导煤与瓦斯突出模拟试验系统[J].中国矿业大学学报,2020,49(2):205-214.
- [26] 周艳.用计算机进行文献检索的方法和策略[J].矿业研究与开发,1997(1):52-55.
- [27] 李峰,马芳珍,刘雅琼,等.面向基础和交叉学科的科研战略发展热点研究[J].大学图书馆学报,2018,36(2):37-44.