

\* 1

## 我国煤矿安全领域研究现状及发展趋势

潘理虎<sup>1</sup>,张佳宇<sup>1</sup>,张英俊<sup>1</sup>,谢建林<sup>2</sup>

(1.太原科技大学 计算机科学与技术学院,太原 030024;

2.太原科技大学 环境与安全学院,太原 030024)

**摘要:**针对我国煤矿安全领域的研究现状,以CNKI期刊数据库1998—2017年收录的4 479篇煤矿安全领域核心文献为数据来源,运用科学文献计量法——可视化分析方法(CiteSpace V)对该领域的研究力量、研究热点等进行可视化处理与分析。结果表明:所提方法能够从整体上梳理我国煤矿安全领域研究的前沿问题、演进脉络,在一定程度上能够推动我国煤矿安全的理论与实践发展。

**关键词:**煤矿安全;CiteSpace;可视化;知识图谱

中图分类号:TD82

文献标识码:A

### Research Status and Development Trend of Coal Mine Safety in China

PAN Lihu<sup>1</sup>, ZHANG Jiayu<sup>1</sup>, ZHANG Yingjun<sup>1</sup>, XIE Jianlin<sup>2</sup>

(1. College of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Science and Technology,

Taiyuan 030024, China; 2. College of Environment and Safety, Taiyuan University of

Science and Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** In order to clarify the research on the safety in coal mines in China, taking 4 479 research articles about coal mine safety ranging from 1998 to 2017 in the CNKI journal database as the data source, a bibliometric method (CiteSpace V) is used to visualize and analyze the strengths and hotspots of the research in this field. The results show that the method can sort out the frontier issues and evolution of the safety research as a whole, which can promote the development of theory and practice of the coal mine safety in China.

**Key words:** safety in coal mine; CiteSpace; visualization; knowledge map

煤炭行业是国家能源的主要来源之一,也是国家经济的重要支柱之一,是国民经济发展的基础,在我国具有重要地位。“十二五”期间,煤炭产量总体上不断增加,煤矿事故次数、死亡人数、百万吨死亡率也呈逐年降低趋势<sup>[1]</sup>,我国煤矿安全形势逐年好转,但仍存在一些重特大事故。且随煤炭开采深度化的发展趋势,煤矿安全形势越来越难以预测与控制<sup>[2,3]</sup>。目前,国内外相关领域的学者已对煤矿安全进行了大量的研究<sup>[4]</sup>,并不断为改善煤矿安全形

势提供新的思路和方法,但仍缺乏对煤矿安全研究知识结构体系全面系统的分析。

科学知识图谱是一种用于显示科学知识发展脉络与结构的图像,基于可视化的方法,能够形象地揭示知识的发展进程和规律,提升用户对于知识获取的体验<sup>[5]</sup>。面对海量数据,只有通过科学的方法对其进行整理分析,才能更好地对该领域进行深入探究。为此,本文借助科学文献计量法——可视化分析方法(CiteSpace V)<sup>[6]</sup>,以量化的方式探究上述问题。

\* 收稿日期:2018-11-27

作者简介:潘理虎(1974—),男,河南上蔡人,博士,副教授,从事智能软件技术及应用研究。

## 1 数据获取与研究方法

以 Cnki 期刊数据库为来源数据库进行检索,主题=“煤矿安全”,时间跨度=“1998—2017”,检索时间为 2018 年 1 月 25 日,经人工筛选,去除与煤矿安全主题不相关文献,最终得到相关核心文献 4 479 篇,以此作为数据来源,并采用关键路径算法(Pathfinder)对其进行机构、作者及关键词等方面的特征对比与分析。

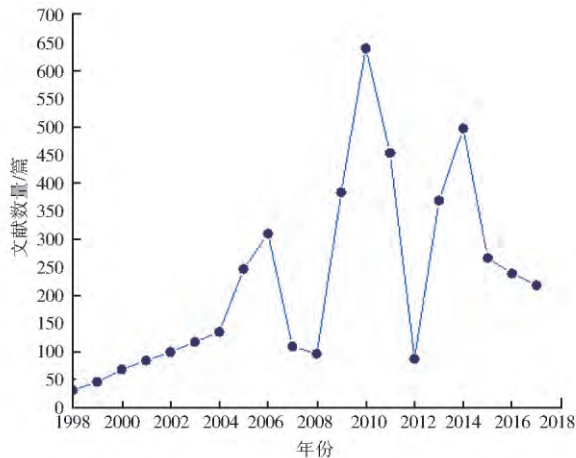


图1 文献数量时间分布图

Fig. 1 Time distribution map of quantity of literature

图1为文献数量时间分布图。2006年前,发文量逐年增加,2006年后呈骤然下降趋势,在2008年后发文量迅猛上升,并在2010年达到最高,表明当时煤矿安全的研究热度高涨,之后又呈现出急剧下降,在2012年发文数量达到最低值,这也是煤矿安全领域研究的低谷期,直到2012年,先进计算技术被应用于煤矿安全领域,发文量开始回升,2014年,新能源突起,煤矿安全领域相关研究递减。从整体看,煤矿安全研究热度虽有起伏,但整体处于热点状态。

## 2 知识图谱分析

### 2.1 煤矿安全领域的研究力量分析

#### 2.1.1 研究机构分析

使用 Cite Space V 对煤矿安全研究机构进行知识图谱分析<sup>[7]</sup>,总结出煤矿安全研究机构现状及其合作强度(见图2)。从图2可知,煤矿安全领域的研究机构主要集中在高校,除了涉及到工程方面的研究,还与管理学有着千丝万缕的联系。图中共 272 个节点(节点大小代表该机构发文情况),152 条连线(节点之间的连线表示机构间的合作发文情况),网络密度为 0.004 1,说明近二十年,中国煤矿

安全领域的研究机构较为分散,机构间的合作交流有所欠缺。其中,中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院的发文量最多(如表1所示),达74篇;其次,西安科技大学能源学院51篇,中国矿业大学管理学院50篇,中煤科工集团重庆研究院有限公司33篇,太原理工大学矿业工程学院28篇。从中心性来看,中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院(0.19)最高。可见,无论是发文量还是中心性,中国矿业大学都居于首位,表明中国矿业大学在煤矿安全领域方面的研究最具影响力,其次为太原理工大学矿业工程学院(0.07)、中煤科工集团重庆研究院有限公司(0.06)。

综上所述,中国矿业大学在煤矿安全领域的研究相对较多,同其他机构之间的合作相对较广,具有较高的影响力。除此之外,西安科技大学、中煤科工集团有限公司、太原理工大学都在不同程度的为煤矿安全领域的研究贡献力量。

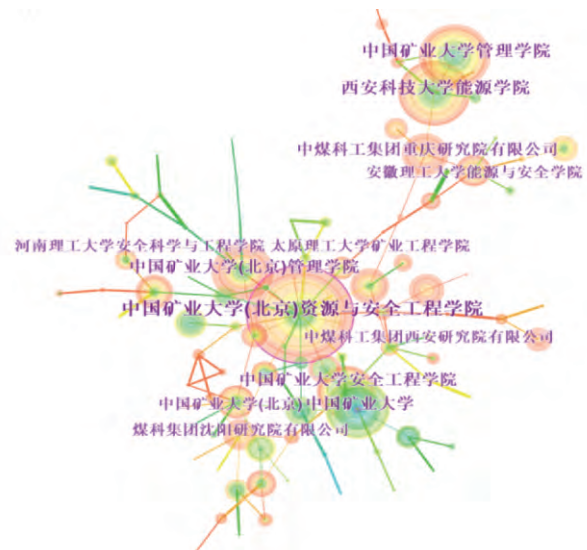


图2 煤矿安全领域研究机构知识图谱

Fig. 2 Knowledge map of research institutions in the field of coal mine safety

表1 煤矿安全领域研究机构频次及中心性(前10位)

Table 1 Frequency and centrality of research institutions in the field of coal mine safety (Top 10)

序号	研究机构	发文量	中心性
1	中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院	74	0.19
2	西安科技大学能源学院	51	0.04
3	中国矿业大学管理学院	50	0.00
4	中国矿业大学(北京)管理学院	44	0.05
5	中国矿业大学安全工程学院	42	0.02
6	中国矿业大学信息与电气工程学院	33	0.00
7	中煤科工集团重庆研究院有限公司	33	0.06

续表 1

序号	研究机构	发文量	中心性
8	太原理工大学矿业工程学院	28	0.07
9	河南理工大学 安全科学与工程学院	27	0.02
10	安徽理工大学 能源与安全学院	25	0.02

### 2.1.2 研究人员分析

从个人发文量看,中国矿业大学的华钢发文数量最多,共 18 篇;其次为西安科技大学的田水承(15 篇)、太原理工大学的栗继祖(13 篇)、中国矿业大学的李新春(13 篇)、安徽理工大学的孟祥瑞(12 篇)、郑州大学的王金凤(12 篇)、中国矿业大学的林柏泉(10 篇)和太原科技大学的曾建潮(10 篇)。这再次表明在煤矿安全研究领域,中国矿业大学和西安科技大学较为领先。

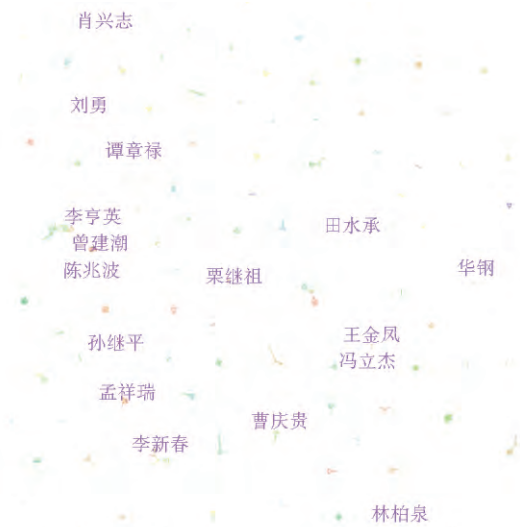


图 3 煤矿安全领域研究作者共现知识图谱  
Fig. 3 Knowledge map of research authors in the field of coal mine safety

从煤矿安全领域研究作者共现知识图谱(图 3)可见,李亨英、曾建潮、陈兆波、李忠卫等人有较为密切的合作关系,他们都来自太原科技大学,主要开展关于煤矿安全事故人因分析<sup>[8-9]</sup>、安全评价方面的研究,为煤矿安全事故的人因分析提供参考。

郑州大学的王金凤、冯立杰和翟雪琪围绕煤矿安全工程及安全管理展开研究,通过构建煤矿生产物流效率优化模型为安全生产前提下实现资源优化配置、提高煤矿生产物流效率提供了科学依据<sup>[10]</sup>,并且为解决煤矿安全投入与安全绩效的关系问题采用系统动力学进行煤矿安全投入与安全绩效的仿真模拟,该成果为煤矿安全管理决策提供理论依据<sup>[11]</sup>。

中国矿业大学的华钢、温良和吕茂超团体主要研究煤矿安全监控系统体系,并在美国 NI 公司的

LabVIEW 平台上设计了风机故障监测诊断系统、采用最小二乘法编制风机特征曲线,实现风机性能曲线拟合的可视化<sup>[12-13]</sup>。此系统与方法已用于煤矿行业,并取得了良好的检测效果。

由此看来,煤矿安全领域研究人员间的合作研究并不明显,为数不多的合作团队也几乎来自同一机构,跨机构、跨学科的合作研究少之又少,且并未出现有突出影响力的作者。

### 2.2 煤矿安全领域研究热点分析

关于煤矿安全领域的研究,紧紧围绕“安全生产(193 次)”“安全管理(179 次)”“监控系统(84)”“对策(53)”等核心概念(见图 4),表明研究热点主要集中在煤矿事故的防治。

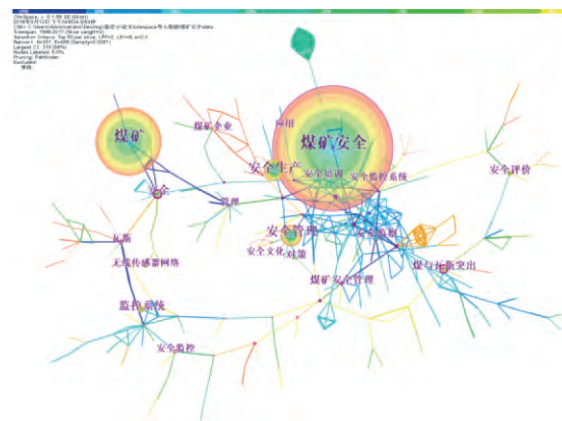


图 4 煤矿安全领域研究热点图  
Fig. 4 Knowledge map of research hotspot in the field of coal mine safety

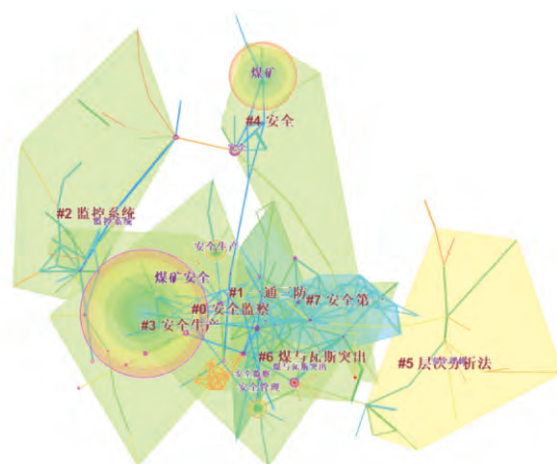


图 5 煤矿安全领域研究关键词聚类图  
Fig. 5 Cluster diagram of keyword in the field of coal mine safety

且从图 5 可见,煤矿安全领域的研究热点可以归纳为以下七大类:

- 1) 安全监察。煤矿安全监察执法是我国具有相应煤矿监管权力的职能部门。负责对煤矿进行安全管理,在预防事故发生和保障煤矿企业安全生产方

面都具有举足轻重的作用。然而,在实际执法过程中,监察技术落后,监察人员执法意识薄弱、专业素养和业务能力不足,以至于执法效果力不从心<sup>[14]</sup>。赵志刚和刘建等人分别从物联网和云数据的角度对其进行了研究探讨,不仅提高了煤矿监察工作效能,而且遏制了煤矿事故的不断发生<sup>[15]</sup>。因此,安全监管执法的信息化建设是必要的。

2)一通三防。“一通三防”管理不善而引发的重大灾害事故影响着煤矿企业安全生产的稳定运营。将安全监控技术与“一通三防”相结合,实现对煤矿井下不安全行为、瓦斯浓度等信息进行动态监测,能够减少事故发生的可能性,以加强“一通三防”管理,如管理信息系统、通风系统等。

3)监控系统。智慧矿山的核心技术即为智能监控,结合现有的无线传感器网络、以太网等先进技术,对矿山生产、职业健康与安全、技术和后勤保障等进行主动感知、自动分析及快速处理<sup>[16-17]</sup>,解决目前煤矿安全监控系统存在的通信实时性差、可靠性不高、易受电磁波干扰等问题<sup>[18]</sup>。

4)安全生产。煤矿在实施信息化管理与生产的同时,也带来了隐私风险。大量煤矿安全数据和矿工信息在此过程中被收集、传输和存储,那么,在这个数据共享的过程中是否能有效地保障数据安全,保护矿工隐私是大数据时代急需解决的问题<sup>[19]</sup>。

5)层次分析法(AHP)。将复杂的决策系统层次化有助于保障矿井的安全生产与管理。层次分析法能够对影响煤矿安全生产的因素进行分析,从而为煤矿制定合理的安全措施提供理论依据。目前,主要与模糊综合评价法、神经网络结合,应用于安全评价、安全预测。

6)煤与瓦斯突出。采用先进技术减少煤与瓦斯突出事故发生率,如数值模拟、远程智能监测预警系统,将信息监测技术与瓦斯涌出量等事故发生边界值相结合,实现连续、动态地数据监测。

7)安全第一。安全保障是煤矿领域研究的重点问题。在考虑煤矿经济的同时,安全投入必须引起重视,以预防为主,目前很多煤矿实施关井压产,采取培训、责任制等管理方式提高员工专业素质与能力<sup>[20]</sup>,且使用大数据、云计算、物联网等数字技术设计研发了许多智能监测预警系统<sup>[21]</sup>,有效地降低百万吨死亡率。

综上所述,在煤矿安全领域的研究中,安全生产和安全管理一直为科研人员的研究热点,其中瓦斯类事故的相关研究一直是领域内研究的重点问题。由于煤矿的安全数据种类多、规模大,传统的数据采

集处理技术难以满足日渐增加的数据需求与数据存储,因而基于大数据、云计算等信息化技术的应用逐渐成为煤矿安全领域研究的重点、热点,其中,监测预警系统最具代表性。与此同时,研究者越来越重视安监人员的专业素质与能力,且采取安全培训、制度约束等方式来提高。

### 2.3 煤矿安全研究趋势前沿分析

对已有煤矿安全研究的相关数据进行突发性检测,探索煤矿安全领域研究的关键词突变情况。“安全监察”“数值模拟”“乡镇煤矿”的突变强度较大(如表 2 所示),其中“安全监察”的突变值和词频均较高,表明在 1998—2005 年期间,安全监察成为研究热点。与此同时,“乡镇煤矿”也引起安全监察机构的重视,加强行政执法,保障煤矿安全。随着互联网的发展,在 2010 年,有关安全监控的研究骤增,从理论探讨逐渐转为实践研究,安全监控系统逐渐出现于各个煤矿,能够有效地降低煤矿事故发生率。“数值模拟”有通用性强、方便灵活的优点,能够有效地模拟煤矿环境<sup>[22-23]</sup>,为研究者做实验提供必要的数据。“物联网”和“云计算”于 2012 年快速发展,研究热度持续较高,基于物联网和云计算等先进计算机技术的煤矿安全智能系统的研究也随之成为研究热点。同时,煤矿安全影响因素研究也成为研究者所关注问题,尤其是不安全行为。从图 6 可见,大数据、云计算技术、应急救援和安全工程是目前煤矿安全领域研究的热点趋势。如利用大数据技术可以实时分析煤矿遇难紧急逃生路线,并提供紧急救援。将虚拟现实技术引入煤矿安全工程,可以有效地提高矿工在施工过程中的安全性等。

结合表 2 和图 6 可知,在煤矿安全领域的应用与相关理论研究中,基于大数据、云计算及物联网等先进计算机技术的研究和煤矿事故发生的影响因素及应急救援将会是未来的研究趋势。

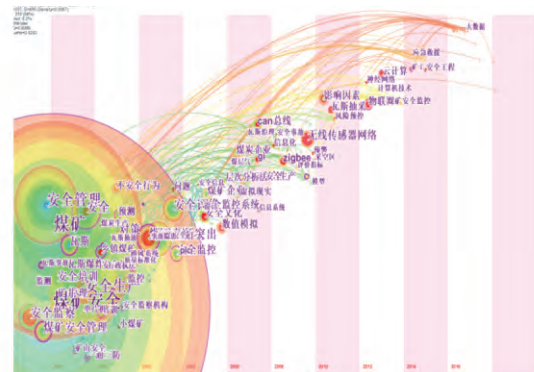


图 6 煤矿安全领域研究时区图  
Fig. 6 Time zone map in the field of coal mine safety

表 2 煤矿安全领域研究突现词排序(部分)

Table 2 Sudden word sorting in the field of coal mine safety(part)

序号	突现词	强度/MPa	起止时间/年份
1	安全监察	19.110 1	1998—2005
2	数值模拟	10.305 7	2014—2017
3	乡镇煤矿	10.305 2	2000—2005
4	物联网	8.453 8	2012—2017
5	影响因素	7.472 4	2014—2017
6	不安全行为	7.056 8	2012—2017
7	云计算	6.973 3	2012—2017
8	本质安全	6.827 2	2009—2011
9	无线传感器网络	6.783 0	2009—2014
10	Can 总线	6.756 7	2006—2011
11	一通三防	6.595 0	1998—2002
12	计算机技术	6.347 4	2012—2013
13	安全生产	6.245 4	2005—2007
14	安全工程	6.141 2	2014—2017
15	plc	6.133 8	2014—2015
16	zigbee	6.041 7	2010—2015
17	瓦斯抽采	6.013 4	2011—2017
18	应急救援	5.667 1	2014—2017
19	煤矿	5.513 0	2010—2011
20	设计	5.382 7	2012—2013
21	安全监察机构	5.379 0	2000—2003
22	安全监控系统	5.312 8	2010—2011
23	煤与瓦斯突出	5.059 2	2009—2014

续表 2

序号	突现词	强度/MPa	起止时间 /年份
24	行政执法	4.851 2	2000—2004
25	单片机	4.757 7	1999—2005
26	安全文化	4.732 0	2005—2010
27	矿工	4.719 6	2014—2017
28	预警	4.698 7	2009—2013
29	安全事故	4.664 0	2008—2011
30	对策	4.641 2	2002—2005

### 3 结束语

运用科学知识图谱分析煤矿领域的研究现状及发展趋势对煤矿领域发展有一定的理论意义。通过分析可知有关煤矿安全领域的研究相对较少,大多数研究只停留在理论层面,实用性不足,研究深度不够,还有很大的发展空间。并且,煤矿安全领域的研究力量主要集中在高校,研究机构也较为分散,缺乏合作交流,不利于推动学术成果的创新。先进计算机技术的引入,将有助于煤炭生产,降低人员伤亡率,实现多渠道防治煤矿事故,特别是在影响因素及应急救援方面,使煤矿安全领域有一个良好的生产环境。

### 参考文献:

- [1] 田浩,张义平,严鸿海,等.“十二五”期间我国煤矿安全生产状况及对策研究[J]. 煤矿安全,2017,10(48):243-245.  
TIAN Hao,ZHANG Yiping,YAN Honghai,*et al.* Study on Safety Production Situation and Countermeasures of Coal Mines in the 12th Five-year Period[J]. Safety in Coal Mines,2017,10(48):243-245.
- [2] 赵云平,施龙青,高卫富,等.我国煤矿转型发展期内煤矿事故统计分析[J]. 煤矿技术,2016,09(35):321-324.  
ZHAO Yunping,SHI Longqing,GAO Weifu,*et al.* Statistic Analysis of Coal Mine Accidents in Chinese Coal Mine Transformation and Development Period[J]. Coal Technology,2016,09(35):321-324.
- [3] 高丽利.基于 SNA 国内知识图谱领域科研合作关系研究[J]. 现代情报,2012,01(32):102-106+112.  
GAO Jingli. Analysis on Author Cooperation Relationship of Mapping Knowledge Research in China Based on SNA [J]. Journal of Modern Information,2012,01(32):102-106+112.
- [4] HONG Chen,QUN Feng,Dandan Zhu,*et al.* Impact of Rent-seeking on Productivity in Chinese Coal Mine Safety Supervision: A Simulation Study[J]. Energy Policy, 2016:315-329.
- [5] 陈悦,刘则渊.悄然兴起的科学知识图谱[J]. 科学学研究,2005,23(2):149-154.  
CHEN Yue,LIU Zeyuan. The Rise of Mapping Know Ledge Domain[J]. Studies In Science of Science,2005,23(02):149-154.
- [6] CHEN Chaomei,HU Zhigang,LIU Shengbo,*et al.* Emerging Trends in Regenerative Medicine: A Scientometric Analysis in CiteSpace[J]. Expert Opinion on Biological Therapy, 2012:593-608.
- [7] 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.  
CHEN Yue,CHEN Chaomei,LIU Zeyuan,*et al.* The Methodology Function of Cite Space Mapping Knowledge Domains[J]. Studies in Science of Science,2015,33(2):242-253.
- [8] 陈兆波,刘媛媛,曾建潮,等.煤矿安全事故人因分析的一致性研究[J]. 中国安全科学学报,2014,02(24):145-150.  
CHEN Zhaobo,LIU Yuanyuan,ZENG Jianchao,*et al.* Consistency Research on Human Factors Analysis of Coal Mining Accidents[J]. China Safety Science Journal,2014,02(24):145-150.

- [9] 乔楠,陈兆波,曾建潮,等.煤矿安全事故人因分析结果的群决策集结方法[J].中国安全科学学报,2016,05(26):129-134.  
QIAO Nan,CHEN Zhaobo,ZENG Jianchao,*et al.* A Group Decision Based Method for Aggregating Results of Analysis of Human Factors in Mining Accidents[J].China Safety Science Journal,2016,05(26):129-134.
- [10] 王金凤,翟雪琪,冯立杰.面向安全硬约束的煤矿生产物流效率优化研究[J].中国管理科学,2014,07(22):59-66.  
WANG Jinfeng,ZHAI Xueqi,FENG Lijie. Efficiency Optimization of Coal Mine Production Logistics Under Safety Hard Constraint[J].Chinese Journal of Management Science,2014,07(22):59-66.
- [11] 王金凤,刘振锋,冯立杰,等.煤矿安全投入与安全绩效的系统动力学[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2011,30(2):182-185.  
WANG Jinfeng,LIU Zhenfeng,FENG Lijie,*et al.* Research on Relationship Between Coal Mine Safety Input and Safety Performance Based on System Dynamics[J].Journal of Liaoning Technical University(Natural Science),2011,30(2):182-185.
- [12] 吕茂超,华钢,刘晶晶.基于LabVIEW的风机故障监测诊断系统的设计[J].煤矿安全,2011,42(10):51-53.  
LV Maochao,HUA Gang,LIU Jingjing. Design of Fan Fault Monitoring and Diagnosis System Based on LabVIEW[J].Safety in Coal Mines,2011,42(10):51-53.
- [13] 吕茂超,华钢,刘璠,等.基于最小二乘法拟合风机特征曲线的可视化研究[J].煤矿机械,2011,32(06):85-87.  
LV Maochao,HUA Gang,LIU Fan,*et al.* Visualization Research of Characteristics Curve Fitting Based on Least Squares[J].Coal Mine Machinery,2011,32(06):85-87.
- [14] 刘建,郝彤,刘传安.基于“国家安监云”的煤矿安监执法平台研究[J].煤矿安全,2018,01(49):237-240.  
LIU Jian,GAO Tong,LIU Chuanan. Research on Coal Mine Safety Supervision and Law Enforcement Platform Based on National Security Supervision Cloud[J].Safety in Coal Mines,2018,01(49):237-240.
- [15] 赵志刚.物联网技术在煤矿安全监察中的应用[J].煤矿安全,2014,07(45):102-105.  
ZHAO Zhigang. Application of the Internet of Things Technology in Coal Mine Safety Supervision[J].Safety in Coal Mines,2014,07(45):102-105.
- [16] 李梅,杨帅伟,孙振明,等.智慧矿山框架与发展前景研究[J].煤炭科学技术,2017,01(45):121-128,134.  
LI Mei,YANG Shuaiwei,SUN Zhenming,*et al.* Study on Framework and Development Prospects of Intelligent Mine[J].Coal Science and Technology[J],2017,01(45):121-128,134.
- [17] 程久龙,宋广东,刘统玉,等.煤矿井下微震震源高精度定位研究[J].地球物理学报,2016,12(29):4513-4520.  
CHENG Jiulong,SONG Guangdong,LIU Tongyu,*et al.* High Precision Location of Micro-seismic Sources in Underground Coal mine[J].Chinese Journal of Geophysics,2016,12(29):4513-4520.
- [18] 魏峰.一种数字式煤矿安全监控系统设计[J].工矿自动化,2017,02(43):19-23.  
WEI Feng. Design of a Digital Coal Mine Safety Monitoring and Control System[J].Industry and Mine Automation,2017,02(43):19-23.
- [19] 张彦斐,胡德华.量化自我研究的知识图谱分析[J].图书馆论坛,2018(02):8-16.  
ZHANG Yanfei,HU Dehua. A Knowledge Mapping Analysis of Quantified Self Study[J].Library Tribune,2018(2):8-16.
- [20] Li Fenfang,Xing Dongli,An Bangli. Analysis of the Symbiotic Relationship between Managers and Staff with an Application for Coal Mine Safety Management[J].International Journal of Engineering Research in Africa. 2015:156-165.
- [21] 马小平,胡延军,缪燕子.物联网、大数据及云计算技术在煤矿安全生产中的应用研究[J].工矿自动化,2014,40(4):5-9.  
MA Xiaoping,HU Yanjun,MIAO Yanzi. Application Research of Technologies of Internet of Things,Big Data and Cloud Computing in Coal Mine Safety Production[J].Industry and Mine Automation,2014,40(4):5-9.
- [22] 常江浩,于景邨,刘志新.煤矿老空水全空间瞬变电磁响应三维数值模拟及应用(英文)[J].应用地球物理(英文版),2016,03(13):539-552+581-582.  
CHANG Jianghao,YU Jingcun,LIU Zhixin. Three-dimensional Numerical Modeling of Full-space Transient Electromagnetic Responses of Water in Goaf[J].Applied Geophysics,2016,03(13):539-552,581-582.
- [23] ZHANG Bin,ZHOU Jiemin,LI Mao. Prediction of Sinter Yield and Strength in Iron Ore Sintering Process by Numerical Simulation[J].Applied Thermal Engineering,2018:70-79.

(编辑:刘新光)