

文章编号:1671-251X(2020)07-0064-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2020020054

煤与瓦斯突出预测多元数据可视化系统构建与应用

蒲阳^{1,2}, 宋志强^{1,2}, 宁小亮^{1,2}

(1. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室, 重庆 400037;
2. 中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400037)


扫码移动阅读

摘要:针对现有煤与突出预测方法存在可视化程度低、突出预测准确性和实时性不高等问题,以新元煤矿为试验矿井,构建了煤与瓦斯突出预测多元数据可视化系统。该系统通过物探、钻探等方式及WTC瓦斯突出参数仪、安全监控系统、专用数据采集仪获取突出预测所涉及的基础数据,通过井下工业环网和地面办公网实现突出预测数据的传输;采用涵盖突出危险性时空演化关系的区域总体把控、局部在线辨识两级预测方法,通过深度挖掘煤与瓦斯突出预测多元数据,使杂乱的原始数据变得有序,为数据可视化奠定基础;通过基于WebGIS的突出预测综合可视化平台对区域预测和局部预测子系统的数据进行有效融合,实现对预测结果及多元数据的直观展示,使突出预测过程可控、结果可查。应用结果表明,该系统改变了新元煤矿突出预测指标单一、不连续的现状,显著提高了矿井煤与瓦斯突出预测准确性与实时性。

关键词:煤与瓦斯突出;突出预测;多元数据;可视化;区域预测;局部预测;数据挖掘

中图分类号:TD713 文献标志码:A

Construction and application of multivariate data visualization
system for coal and gas outburst prediction

PU Yang^{1,2}, SONG Zhiqiang^{1,2}, NING Xiaoliang^{1,2}

(1. State Key Laboratory of the Gas Disaster Detecting, Preventing and Emergency Controlling,
Chongqing 400037, China; 2. CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing 400037, China)

Abstract: In view of problems of low visualization degree, low outburst prediction accuracy and low real-time performance in existing coal and outburst prediction methods, a multivariate data visualization system for coal and gas outburst prediction is constructed taking Xinyuan Coal Mine as a test mine. The system obtains basic data involved in outburst prediction through the ways of geophysical exploration, drilling, etc. and WTC gas outburst parameter meter, safety monitoring system, and special data acquisition instrument, and transmits the outburst prediction data through underground industrial ring network and ground office network; two-level prediction method of regional overall control and local online identification covering the spatio-temporal evolution relationship of outburst danger is adopted, so that the messy original data becomes orderly through deep mining of multivariate data of coal and gas outburst, laying the foundation for data visualization; the data of regional prediction subsystem and local prediction subsystem is effectively fused through integrated visualization platform of outburst prediction based on WebGIS to realize intuitive display of prediction results and multivariate data, so that the outburst prediction process can be controlled and the results can be checked. The application results show that the system changes the single and discontinuous status of outburst prediction index of Xinyuan Coal Mine, and

收稿日期:2020-02-26;修回日期:2020-06-22;责任编辑:胡娴。

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2018YFC0808305)。

作者简介:蒲阳(1986—),男,陕西宝鸡人,助理研究员,硕士,研究方向为煤矿安全技术,E-mail:puyang@vip.126.com。

引用格式:蒲阳,宋志强,宁小亮.煤与瓦斯突出预测多元数据可视化系统构建与应用[J].工矿自动化,2020,46(7):64-69.

PU Yang, SONG Zhiqiang, NING Xiaoliang. Construction and application of multivariate data visualization system for coal and gas outburst prediction[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(7): 64-69.

significantly improves the accuracy and real-time performance of coal and gas outburst prediction.

Key words: coal and gas outburst; outburst prediction; multivariate data; visualization; regional prediction; local prediction; data mining

0 引言

2020年3月,国家发展改革委等八部委联合发布了《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》^[1],标志着我国煤炭开采已进入智能化发展的新时期,煤矿企业以智能化技术为依托,走安全、高效的高质量发展道路已是大势所趋。在新技术的推动下,煤矿开采工艺、管理模式等必将发生重大变化,但“安全第一”的生产方针始终不变。在煤与瓦斯突出(以下简称“突出”)矿井,有效防治突出灾害是矿井安全工作的重中之重,而随着矿井采掘作业机械化、自动化水平不断提高,开采强度、深度不断增大,导致突出危险性演化呈现出速度快、变化多等新特征,突出灾害防治形势愈发严峻。因此,在当前的生产条件下,要提高突出防治效果,必须超前、精准感知并及时消除突出危险,才能有效保障工作面作业安全。

近年来,在2个“四位一体”(区域四位一体、局部四位一体)综合防突技术和管理体系^[2]的指导下,我国煤矿企业的防突工作取得了显著成效,但在智能化开采时代其局限性日益凸显,主要体现在突出预测准确性、实时性不高,无法实现精准、高效防突,从而制约智能化开采发展进程。而导致突出预测准确性、实时性不高的根本原因在于突出预测信息化和数据可视化程度低,这也是智能化开采面临的主要共性问题^[3-6]。

本文以山西阳煤集团新元煤矿为试验矿井,通过构建突出预测多元数据可视化系统,形成集数据自动采集与传输、数据深度挖掘与可视化于一体的突出预测新生态,弥补矿井目前使用的钻孔取样测定方法在预测实时性、全面性、准确性等方面存在的不足,推动矿井防突信息化、智能化进程。

1 系统构建

按照信息化、可视化技术思路,结合突出预测技术特征,设计突出预测多元数据可视化系统架构。该系统分为数据采集层、数据传输层、数据挖掘层、数据可视化层^[7-10],如图1所示。

1.1 数据采集层

突出数据采集的主要任务是通过各类仪器设备获取能够部分反映突出危险性大小的基础数据。由于突出事故致灾因素众多,所以突出预测所涉及的基础数据类型众多,大致可分为4类,分别是瓦斯地

数据 可视化层	区域 预测	多级瓦斯地质动态分析系统
	局部 预测	防突动态分析与管理 系统 瓦斯涌出动态分析系统 安全隐患排查及巡检系统
	综合 平台	突出预测综合可视化平台
数据 挖掘层	区域 预测	基于关键数据点,通过回归分析、插值算法掌握宏观瓦斯地质规律
	局部 预测	基于监测、检测、观测数据,通过特征指标提取、类比分析等方法,实时预测工作面突出危险性
	数据 融合	通过区域与局部预测的联合辨识,分级预测突出危险性大小
数据 传输层	井下 数据	井下采集终端→监控系统服务器→突出预测服务器→预测结果发布终端
	地面 数据	地面客户端→突出预测服务器→预测结果发布终端
数据 采集层	获取方式	
	数据类型	
物探、钻探等 WTC瓦斯突出参数仪 安全监控系统 专用数据采集仪		瓦斯地质数据 局部预测数据 瓦斯监测数据 突出隐患数据

图1 突出预测多元数据可视化系统架构

Fig.1 Architecture of multivariate data visualization system for coal and gas outburst prediction

质数据、局部预测数据、瓦斯监测数据及突出隐患数据^[11-14]。本文针对不同的数据类型,分别设计不同的获取方式。

(1) 瓦斯地质数据。瓦斯地质数据主要是反映矿井总体突出危险性大小的相关数据,主要包括瓦斯含量(压力)、地质构造位置及其控制范围、煤层赋存变化、采掘应力带范围等。瓦斯含量(压力)数据以打钻方式测定,地质构造、煤层赋存变化等均以物探、钻探方式获取,采掘应力带范围通过数值模拟结合现场实测、观测的方式获取。

(2) 局部预测数据。新元煤矿采用钻屑瓦斯解吸指标 K_1 与钻屑量指标 S 预测工作面突出危险性,需要人工填报预测表单。为提升数据采集效率,升级矿井原有的WTC瓦斯突出参数仪至新型WiFi版,其可将测定的 K_1 值和 S 值通过井下无线基站直接上传至地面突出预测服务器,自动完成数据分析及报表生成。

(3) 瓦斯监测数据。瓦斯监测数据来自矿井安全监控系统。为避免对安全监控系统正常运行造成不利影响,采用单向传输方式获取瓦斯监测数据,即安全监控系统数据发送程序将数据实时发送至突出

预测服务器,并写入专用 txt 文档,然后预测系统数据采集程序从 txt 文档中采集数据并转存至预测数据库。

(4) 突出隐患数据。对于超采超掘、超能力生产、通风系统不完善、人员疲劳作业、瓦斯监测仪器未检定、冒险作业等突出隐患数据,目前尚未实现自动监测。该类数据的获取方式一般是由瓦斯检查员、安全生产监察员或带班领导采用专用数据采集仪,以图片、语音或视频形式记录异常信息,并通过井下通信基站上传至地面突出预测服务器。

1.2 数据传输层

系统所涉及的数据按其来源可分为 2 类,即井下数据与地面数据,相应数据传输方式也有所区别。井下数据有 2 种传输方式:① 利用传感器自动采集数据,通过井下监控基站,经由井下工业环网自动上传至地面监控服务器,监控服务器将数据单向传输至突出预测服务器。② 人工用数据采集仪采集数据,通过井下无线基站,经由井下工业环网自动上传至地面突出预测服务器。地面数据传输主要借助地面办公网,由其他数据采集、处理终端直接将数据传输至突出预测服务器。

为便于数据管理,在突出预测服务器端分别构建瓦斯地质数据库、动态防突数据库、瓦斯涌出数据库、隐患排查数据库等专业数据库,各个数据终端上传的数据分别存储至对应的专业数据库。

1.3 数据挖掘层

煤矿井下地质、生产环境极度复杂,煤与瓦斯突出危险性大小随时间、空间的变化而变化,因此,突出预测应该综合考虑突出影响因素的时空演化。本文通过挖掘突出预测多元数据,构建了从区域到局部、涵盖突出危险性时空演化关系的预测方法。其中,区域预测主要对矿井、采区及回采区域等较大范围内突出危险性大小进行超前、宏观预测;局部预测着重分析工作面实时突出危险性大小,采用接触式和非接触式预测相结合的方法提升预测准确性、实时性。通过对区域、局部突出预测多元数据的深度挖掘,使各数据采集终端获取的杂乱的原始数据变得有序,为数据可视化奠定基础。

1.3.1 区域预测

区域预测主要包括瓦斯赋存规律分析、煤层赋存规律分析、地质构造控制作用分析等。

在瓦斯赋存规律分析方面,根据瓦斯含量(压力)关键点数据,采用回归分析法分析瓦斯赋存基本规律,基于 GIS 技术生成瓦斯赋存云图,实现对瓦斯含量(压力)从点到线、面全方位预测。

在煤层赋存规律分析方面,根据地勘数据、钻探

及采掘观测数据等基础数据,采用回归分析法拟合煤层厚度变化、软分层厚度变化规律,并自动圈定存在煤层厚度变化较大、软分层增厚等情况的潜在突出危险区。

在地质构造控制作用分析方面,考察日常预测指标超限点、瓦斯超限点、动力现象点等与地质构造的位置关系,确定地质构造控制范围。经分析,在煤层厚度及其变化、煤层倾角及其变化、煤层埋深或标高等瓦斯赋存主控因素中,新元煤矿 3 号煤层瓦斯含量与煤层埋深单因素高度相关(判定系数 R^2 为 0.800 4),瓦斯含量随埋深增大而增大,随埋深变化梯度为 $4.77 (\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})/100 \text{ m}$ 。据此建立矿井瓦斯含量宏观分布规律,并以云图形式完成瓦斯含量分布可视化展示,如图 2 所示。

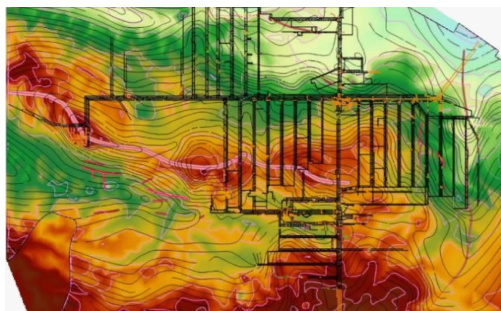


图 2 新元煤矿 3 号煤层瓦斯含量分布云图

Fig. 2 Cloud map of gas content distribution in No. 3 coal seam of Xinyuan Coal Mine

1.3.2 局部预测

局部预测主要内容包括工作面日常预测、瓦斯涌出特征动态分析、突出隐患排查等。

(1) 工作面日常预测。新元煤矿工作面日常预测采用钻屑瓦斯解吸指标 K_1 及钻屑量指标 S ,这也是《防治煤与瓦斯突出细则》要求执行的预测方法。针对 K_1 、 S 指标预测数据,主要采用自动化、信息化等技术手段解决采集效率低、数据分析不足等问题。具体体现在以下方面:① 通过研发突出参数井下直接上传技术及装备,提升突出参数传输的时效性,抢占最佳消突时间。② 采用数据可视化技术,对预测值大小及钻孔参数、掘进速度等数据进行图形化展示,使当前掘进巷道突出危险性大小随采掘时间、空间的推移清晰明了,还可为相邻巷道突出防治提供参考依据。

(2) 瓦斯涌出特征动态分析。瓦斯涌出特征动态分析主要用于弥补钻屑指标法在预测连续性方面的不足。该方法以瓦斯监测数据为基础,通过分析瓦斯监测数据分布特征及其与突出危险性之间的关联关系,采用最小二乘法、移动平均、回归分析等数学方法提取突出危险特征指标,实现对工作面突出危险性的实时预测,并以曲线图形式对预警结果及

级别进行可视化展示。

(3) 突出隐患排查。突出隐患排查作为局部预测的一种重要补充手段,主要针对无法监测、难以量化及具有偶然性的人的不安全行为、物的不安全状态及管理上的缺陷。从突出预测及隐患管理需要出发,按突出隐患的严重程度及隐患治理的难易程度,将突出隐患分为 3 个级别,见表 1。同时,针对新元煤矿突出隐患整改滞后、缺乏有效的监管手段等问题,提出一种突出隐患闭环管理方法,将隐患处理责任到岗,落实到人,并进行严格的进程跟踪与时限管理,变以往隐患静态显示为动态监控,以便及时发现并处理隐患。突出隐患闭环管理方法实现思路:隐患排查→隐患上传→通知责任人→隐患处理→隐患审核→隐患统计与归档。通过隐患闭环管理,利用隐患的分类特征和辨识方法,多层次监督,提升了隐患处理执行力及隐患管理、控制效率。

表 1 突出隐患级别

Table1 Hidden danger levels of coal and gas outburst	
隐患级别	划分标准
1 级	严重隐患,需 24 h 内处理完毕
2 级	较严重隐患,需 48 h 内处理完毕
3 级	一般隐患,需 168 h 内处理完毕

1.3.3 区域与局部两级预测

区域预测是基于 GIS 矿图,从瓦斯赋存、煤层赋存、地质构造、采掘影响等角度对矿井突出危险性进行宏观评价,在较广的区域范围内将突出危险性划分为“危险”“威胁”“正常”3 个级别。局部预测是随着工作面向前推进,通过监测、检测、观测数据对工作面局部范围内的突出危险性进行跟踪评价,并将突出危险性大小划分为“危险”“威胁”“正常”3 个级别。按最高级原则对区域、局部预测结果进行融合,即取区域、局部预测结果中等级较高的作为工作面最终预测结果。

1.4 数据可视化层

数据可视化是预测结果展示手段,即通过各专业预测软件自动获取瓦斯灾害多元数据,对突出多元信息进行深度挖掘与融合,实现对评价范围内突出危险性大小的自动辨识与快速、连续预测,并将预测结果实时发送至相关人员。为便于数据维护,根据新元煤矿相关部门职责划分,设计了区域预测子系统、局部预测子系统及 1 个综合可视化平台。

1.4.1 区域预测子系统

区域预测子系统为多级瓦斯地质动态分析系统。该系统基于 GIS 平台开发,适用于煤矿井下复杂空间关系专业化、精细化分析,可全面、综合分析

矿井级、采区级及工作面级等多级瓦斯地质规律,并可实现瓦斯地质图的便捷生成、动态更新及瓦斯地质信息的多维度可视化,为突出危险性预测提供瓦斯地质信息支撑。此外,该系统还提供了专业的数据管理工具,能够实现煤层及瓦斯参数、地质构造等基础信息的可视化与集约化管理。

1.4.2 局部预测子系统

局部预测子系统包括防突动态分析与管理系统、瓦斯涌出动态分析系统及安全隐患排查及巡检系统。

(1) 防突动态分析与管理系统。该系统通过分析防突参数、钻孔施工、采掘进尺等基础数据,实现对 2 个“四位一体”综合防突的综合评价与动态管理,以及全过程数据可视化。该系统主要功能包括防突措施钻孔智能设计及施钻效果评价、预测参数自动上传与在线审批、防突数据动态分析与自动成图等。

(2) 瓦斯涌出动态分析系统。该系统主要作用是深度挖掘瓦斯监测数据,提取能够反映工作面突出危险性大小的特征指标,结合考察确定的辨识方法,确定工作面突出危险性等级,并通过客户端、短信平台、网页等多种途径同时发布。该系统采用服务(Windows 服务模式)和客户端联合运行,其中服务主要负责数据采集、指标计算等功能,客户端主要负责指标及规则设定、结果发布等功能。

(3) 安全隐患排查及巡检系统。该系统采用计算机网站与移动客户端联动,两者操作步骤类似。计算机网站方便地面数据录入、查询,移动客户端主要用于井下隐患信息采集,二者共享数据库,相互配合使用,为工作面突出危险性预测提供突出隐患数据支撑,并实现对隐患信息从发现到处理、审核及归档的闭环管理。

1.4.3 突出预测综合可视化平台

突出预测综合可视化平台基于 WebGIS 平台构建,通过对各子系统时空多元数据的有效融合,实现矿井瓦斯灾害隐患的综合判识与集中展示。平台可提供地图查询、专题统计、表单汇总等主要功能,分别以图形、图表、表单形式实现对原始数据及预测结果的可视化。此外,为方便用户使用,平台还提供了文件管理、系统管理等实用化功能。

2 现场应用

煤与瓦斯突出预测多元数据可视化系统在新元煤矿陈家沟五采区胶带巷进行现场应用。系统运行期间捕捉到 1 次瓦斯异常现象,以此次预警过程为例,对系统预测过程进行说明。

现场情况:2017 年 8 月 19 日陈家沟五采区胶带巷工作面观测发现煤层变软,实测瓦斯含量超过 12 m³/t,最终于 8 月 23 日揭露 1 条落差为 1.5 m 的正断层。

系统预测结果(图 3):在区域预测方面,8 月 19 日八点班,多级瓦斯地质动态分析系统根据瓦斯含量预测突出危险性级别为“危险”,根据地质构造预测为“威胁”(8 月 21 日零点班,升级为“危险”)。在局部预测方面,防突动态分析与管理系统根据自

动上传的 K_1 值预测突出危险性级别为“正常”(过断层期间 K_1 值未超限),根据自动上传的工作面煤层情况预测为“威胁”,瓦斯涌出动态分析系统根据瓦斯量指标连续预测为“威胁”或“危险”。由此可见,系统从区域、局部 2 个方面准确预测了井下实际突出危险性(过断层,瓦斯含量增大,煤层变软),弥补了传统预测方法的不足(日常预测指标 K_1 、瓦斯浓度监测未预测到此次异常),并实现了多因素、连续、超前预测及预测全过程可视化。

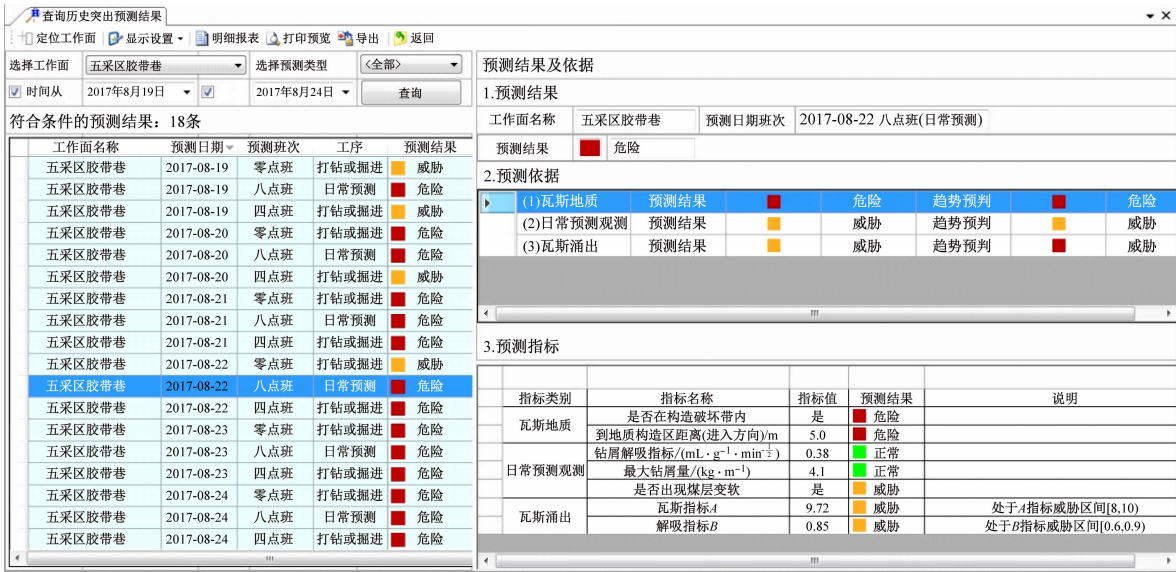


图 3 突出预测多元数据可视化系统预测案例

Fig. 3 Prediction case of multivariate data visualization system for coal and gas outburst prediction

3 结语

针对现有突出预测方法存在的可视化程度低、突出预测准确性、实时性不高等问题,以新元煤矿为试验矿井,构建了煤与瓦斯突出预测多元数据可视化系统;升级了矿井突出参数获取装备,实现了相关参数的自动采集与无线传输,为突出预测多元数据挖掘及可视化奠定基础;提出了突出危险性区域、局部两级预测方法,提升了预测的准确性与实时性。该系统以软件技术手段实现了突出预测多元数据的可视化,并使突出预测过程可控、结果可查。该系统的应用彻底改变了新元煤矿突出预测指标单一、不连续的现状,显著提升了矿井突出预测技术水平,助力矿井实现精准防突,同时也为矿井的信息化、智能化建设提供了支撑。

参考文献 (References):

[1] 国家发展改革委,国家能源局,应急管理部,等. 关于印发《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》的通知[EB/OL]. [2020-02-25]. https://www.mem.gov.cn/gk/tzgg/tz/202003/t20200303_344938.shtml. National Development and Reform Commission,

National Energy Administration, Ministry of Emergency Management, et al. Notice on issuing the *Guiding Opinions on Accelerating the Intelligent Development of Coal Mines*[EB/OL]. [2020-02-25]. https://www.mem.gov.cn/gk/tzgg/tz/202003/t20200303_344938.shtml.

[2] 国家煤矿安全监察局. 防治煤与瓦斯突出细则[M]. 北京:煤炭工业出版社,2019.

National Coal Mine Safety Supervision Administration. Detailed rules for prevention of coal and gas outburst[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing Home,2019.

[3] 方巍,郑玉,徐江. 大数据:概念、技术及应用研究综述[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版),2014,6(5):405-419.

FANG Wei, ZHENG Yu, XU Jiang. Big data: conceptions, key technologies and application[J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (Natural Science Edition), 2014,6(5):405-419.

[4] 吴立新,汪云甲,丁恩杰,等. 三论数字矿山——借力物联网保障矿山安全与智能采矿[J]. 煤炭学报,2012,37(3):357-365.

WU Lixin,WANG Yunjia,DING Enjie,et al. Thirdly study on digital mine: serve for mine safety and intellimine with support from IoT [J]. Journal of China Coal Society,2012,37(3):357-365.

[5] 韩建国. 神华智能矿山建设关键技术研发与示范[J]. 煤炭学报,2016,41(12):3181-3189.

HAN Jianguo. Key technology research and demonstration of intelligent mines in Shenhua Group [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41 (12): 3181-3189.

[6] 谭章禄,吴琦. 智慧矿山理论与关键技术探析[J]. 中国煤炭,2019,45(10):30-40.

TAN Zhanglu, WU Qi. Analysis and discussion of smart mine theory and key technologies [J]. China Coal,2019,45(10):30-40.

[7] 孙继平. 煤矿事故分析与煤矿大数据和物联网[J]. 工矿自动化,2015,41(3):1-5.

SUN Jiping. Accident analysis and big data and Internet of things in coal mine[J]. Industry and Mine Automation,2015,41(3):1-5.

[8] 谭章禄,马营营,袁慧. 煤炭大数据平台建设的关键技术及管理协同架构[J]. 工矿自动化,2018,44(6):16-20.

TAN Zhanglu, MA Yingying, YUAN Hui. Key technologies and management collaborative architecture of construction of coal big data platform [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44 (6): 16-20.

[9] 李春香,蒋星星. 基于大数据的毕节市煤矿安全生产管理平台设计研究[J]. 煤炭工程,2019,51(10):171-176.

LI Chunxiang, JIANG Xingxing. Design of big data management platform for coal mine safety production in Bijie[J]. Coal Engineering,2019,51(10):171-176.

[10] 韩安. 基于 Hadoop 的煤矿数据中心架构设计[J]. 工矿自动化,2019,45(8):60-64.

HAN An. Architecture design of coal mine data center based on Hadoop [J]. Industry and Mine Automation,2019,45(8):60-64.

[11] 申琢,谭章禄. 基于数据挖掘的煤矿大数据可视化管理平台研究[J]. 中国煤炭,2016,42(12):86-89.

SHEN Zhuo, TAN Zhanglu. Research on big data visual management platform of coal mine based on data mining[J]. China Coal,2016,42(12):86-89.

[12] 毛善君,刘孝孔,雷小锋,等. 智能矿井安全生产大数据集成分析平台及其应用[J]. 煤炭科学技术,2018,46(12):169-176.

MAO Shanjun, LIU Xiaokong, LEI Xiaofeng, et al. Research and application on big data integration analysis platform for intelligent mine safety production[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(12):169-176.

[13] 张鹏,陈运启,靳妮倩君. 煤矿安全生产综合监察监管平台设计与实现[J]. 矿业安全与环保,2019,46(6):53-56.

ZHANG Peng, CHEN Yunqi, JIN Niqianjun. Design and implementation of comprehensive supervision platform for coal mine safety production[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2019, 46 (6): 53-56.

[14] 王国法,杜毅博. 煤矿智能化标准体系框架与建设思路[J]. 煤炭科学技术,2020,48(1):1-9.

WANG Guofa, DU Yibo. Coal mine intelligent standard system framework and construction ideas [J]. Coal Science and Technology,2020,48(1):1-9.