

机电与自动化

智能矿井安全生产大数据集成分析平台及其应用

毛善君¹, 刘孝孔², 雷小锋³, 赵仁乐², 张明², 崔希国²

(1. 北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871;

2. 山东能源临沂矿业集团有限责任公司, 山东 临沂 276017;

3. 中国矿业大学, 江苏 徐州 221116)



扫码移动阅读

摘要:针对智能矿井建设需要监控实时化、系统集成化、数据海量化、控制协同化和决策在线化的实际需求,提出建立高度集成的大数据分析平台,为决策支持和协同管控服务。在阐述煤矿大数据特征的基础上,提出了服务于智能开采的大数据集成分析平台设计的具体要求,并对“一张图”协同管理、平台技术架构和数据处理流程进行了阐述;设计了由设备感知层、数据资源层、平台服务层、大数据分析应用层构成的系统总体架构;研究了数据集成、知识集成等技术,开发了包括煤矿安全状况评估打分子系统、煤矿安全问题推理解释子系统、诊断任务配置与管理子系统在内的安全生产大数据动态诊断系统。安全生产大数据集成分析平台在山东能源临沂矿业集团有限责任公司示范矿得到了全面应用,并已运行 1 年多,应用结果表明,该平台运行稳定可靠、效果显著。

关键词:智能矿井;一张图;煤矿安全生产;大数据分析平台;集成管理

中图分类号:TD67

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2018)12-0169-08

Research and application on big data integration analysis platform for intelligent mine safety production

MAO Shanjun¹, LIU Xiaokong², LEI Xiaofeng³, ZHAO Renle², ZHANG Ming², CUI Xiguo²

(1. School of Earth and Space Science, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Shandong Energy Linyi

Mining Group Co., Ltd., Linyi 276017, China; 3. China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Intelligent mine requires real-time monitor and control, multi-system integration, massive data management, collaborative control and online decision making. A highly integrated big data analysis platform for mine decision support and collaborative control is provided. This paper explains the typical characteristics of big data in coal mine, presents the basic requirements of big data analysis integration platform for intelligent mining, elaborates the GIS “one map” collaboration management, the technology architecture of platform and data process workflow. The paper also designs the overall architecture of the system including device perception layer, data resource layer, platform service layer and big data analysis application layer, studies the technologies of data integration and knowledge integration, and develops a big data dynamic diagnosis system which include three parts: coal mine work safety evaluation and marking system, coal mine safety deducing and interpreting system, diagnosis task configuration and management system. Big data integration analysis platform for safety production has been applied in the demonstration mine of Shandong Energy Linyi Mining Group Co., Ltd., Shandong Province. The platform has been running for more than one year. The application results show that the platform is stable, reliable and effective.

Key words: intelligent coal mine; one map; coal mine safety production; big data analysis platform; integrated management

0 引言

智能矿井建设和运行的重要基础就是对矿山静

态和动态数据的实时集成分析,为系统的高效运行和安全生产提供信息支撑。煤矿数据具有典型的大数据特征:

收稿日期:2018-10-22;责任编辑:赵瑞 DOI:10.13199/j.cnki.est.2018.12.027

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2017YFC0804300)

作者简介:毛善君(1964—),男,四川成都人,教授,博士生导师,博士。Tel:010-62759803, E-mail: sjmao@pku.edu.cn

引用格式: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.

1) 数据规模大。煤矿企业在生产过程中产生大量的静态和动态数据,特别是包括“水、火、瓦斯、顶板”为主的环境监测、设备及人员监测以及地质测量等在内的动态数据。

2) 数据的种类齐全。煤矿安全生产数据属于多媒体数据,不仅包括实测值、平均值、累计值等结构化数据,而且还包括矿图、图像、视频、音频、应急知识、事故案例等非结构化和非结构化数据,并且此类数据所占比例越来越大。

3) 数据价值密度低。井下各种类型传感器和监测设备实时运行,严密监控生产环境和设备运行状况,不间断监测产生大量的数据与从中所要获取的知识成反比。

4) 数据更新和处理要求快。环境监测与自动化控制技术在煤矿生产过程中已经得到广泛使用,快速产生时间序列数据;智能矿井需要实时、快速处理数据,为决策支持服务。

因此,利用大数据分析技术动态诊断煤矿的安全生产状况,预测预报发生事故的可能性就成为近年煤炭工业研究的热点,并且已经取得了丰硕的成果^[1-4]。当前,大数据技术在煤炭工业的研究与应用还处在初级阶段,存在的主要问题如下:①主要涉及理论、模式、架构、硬件环境等内容^[5-8],而且相当多的成果专业单一,主要与安全监测或设备运行状态诊断的大数据分析有关^[9-11];②大数据分析过程与GIS的关联性弱,缺乏基于GIS的涉及“采、掘、机、运、通”和“水、火、瓦斯、顶板”的大数据集成分析可视化平台以及长期可靠运行的软件系统,不具备具有空间关系的可视化分析界面,不利于对分析结果应用的决策支持^[12-15]。

实际上,智能矿井是一个复杂的巨系统,生产过程都与地理空间有关,信息化建设必须满足监控实时化、系统集成化、数据海量、控制协同化和决策在线化的实际需求,很多事故的发生都是多专业、多因素综合作用的结果。所以,结合空间信息技术,如何实现大数据技术与复杂系统具体业务的集成应用,从而开发大数据集成分析平台,使之服务于智能矿井安全生产、减人增效、管理升级等方面,是本文研究的重点和将要解决的问题。

1 智能矿井安全生产大数据集成分析平台的总体架构设计

智能矿井安全生产大数据集成分析平台的设计

(以下简称大数据分析平台)遵循“标准规范、规划统一、业务协同、资源共享”的原则。智能矿井安全生产大数据集成分析平台总体架构设计的具体要求包括4层含义。

1) 局部和全局的兼顾:总体设计的首要视角是要跳出局部环境的束缚和影响,站在全局互联和全网通用的整体高度和视野,基于“一张图”和“大数据分析”的思想实现统一管理的问题。

2) 业务数据的全面集成:煤矿安全生产数据包括3个方面,其一是煤矿安全生产活动及其人员、设备、环境的技术规范和管理制度;其二是技术要求以及人员、设备、环境的准备情况;其三是人员、设备、环境在生产活动中的具体表现情况和状态。

3) 业务流程的再造:智能矿井不同于手工管理、半信息化管理和数据孤岛严重的信息化管理模式,以大数据分析的需求为依据,以安全生产管理的核心业务流为主线,再造业务流程,确保工作流程、软件系统或模块、数据以及相应技术之间的深度融合。

4) 企业效益的提升:在流程再造和大数据分析平台的基础上,促进职能变革、提高业务效率、推动体制创新、降低或杜绝安全生产事故,最终提升企业效益。

1.1 煤矿GIS“一张图”

区别于互联网、电子商务领域的大数据分析,煤矿安全生产数据均具有空间属性,煤矿安全生产只能在特定空间背景环境中展开。因此,煤矿安全生产大数据分析,需要在煤矿安全生产的特有空间环境中研发分析工具,展示分析的数据和结果。GIS“一张图”^[16-18]是煤矿安全生产大数据集成分析的理想工具。

煤矿GIS“一张图”,是煤矿空间环境数据组织集成的统一框架,是2D GIS或2D+3D GIS一体化的服务平台,是基于统一地理信息平台的煤矿安全生产大数据集成和展示平台,其核心理念是“综合、集成”统一管理、“随时、随地”访问使用,“持续、及时”协同、动态更新,服务于技术、生产、安监、防灾应急等煤矿大数据分析展示等。

在煤矿GIS“一张图”框架下,可以实现图形及相关属性信息的大数据协同管理、“一张图”大数据服务和可视化展示。

1) “一张图”大数据协同管理。针对矿图多专业分离的现状,实现在线协同工作的“一张图”管理模式,基于大数据集中存储及网络服务模式创新,完成多专业、多终端、多人在线的矿图及各类业务数据的

采集、录入及编辑,安全、稳定的数据提交,实现多矿井、多专业的“一张图”协同集中管理,如图1所示。

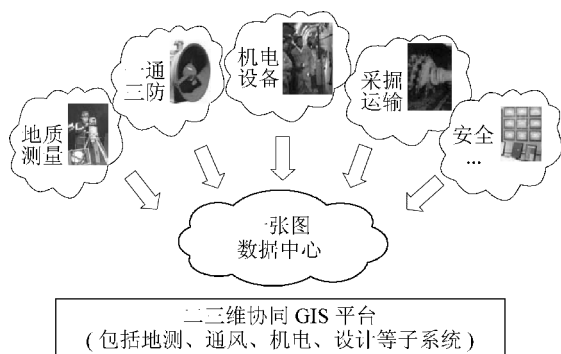


图1 煤矿GIS“一张图”协同管理

Fig.1 GIS “one map” collaborative management

2) “一张图”大数据服务。基于统一的矿图标准规范体系及“一张图”数据库,采用面向服务架构(SOA)实现符合OGC国际标准的地理空间数据和业务数据共享接口,可以为煤矿安全生产大数据的深度挖掘和与现有业务系统的集成提供坚实基础。

3) “一张图”大数据可视化。煤矿GIS“一张图”的空间框架是大数据分析最优的展示平台。在“一张图”的可视化框架下进行“以图管矿、以图管量、以图防灾避灾”,在空间维度上直观地展示大数据分析、动态诊断和决策结论。

1.2 煤矿安全生产大数据分析平台

为实现通过大数据技术提升安全生产和管理水平的目标,需要跨越部门、专业,集成“人、机、环、管”,考虑历史、现势和未来,整合时间和空间维度,打通信息壁垒,深入挖掘煤矿安全生产数据背后的关系和规律。为此,煤矿安全生产大数据分析平台的技术架构就是重要研究内容之一。

煤矿安全生产大数据分析平台的组成框架如图2所示。底层统一接入煤矿设备、生产、安全、监测、地测、管理等数据并进行抽取和清洗,通过Hadoop HDFS、分布式数据库HBase和数据仓库Hive实现海量数据存储访问,利用大数据计算引擎Spark和Storm在算法服务统一管理和算法运行统一调度框架下,提供煤矿大数据算法的离线和实时计算服务。

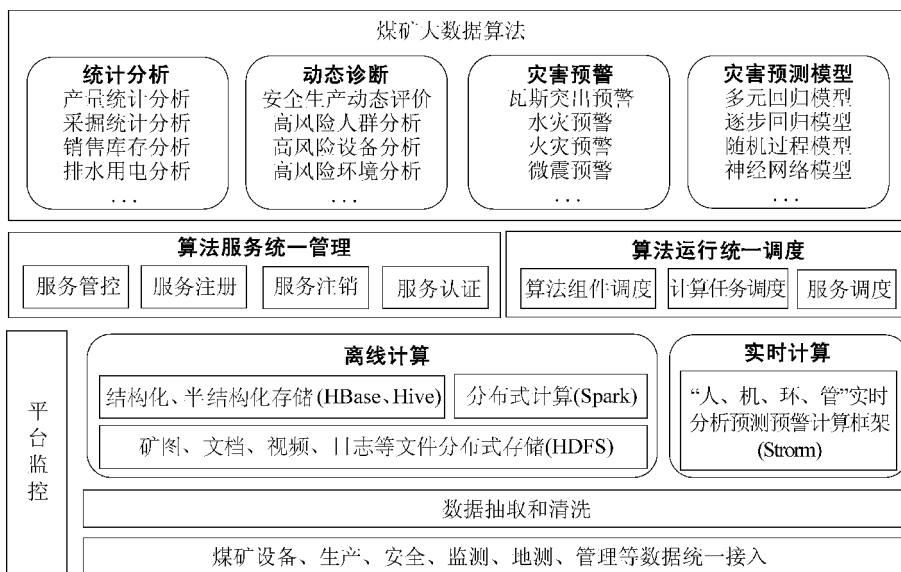


图2 煤矿安全生产大数据分析平台技术框架

Fig.2 Technical framework of big data analysis platform for coal mine safety production

煤矿安全生产大数据分析平台提供了数据接入、存储、处理和可视化展示等功能,如图3所示。数据引擎提供CSV、TXT、文件文档和关系数据库等数据进入云存储环境为大数据计算做基础准备。为不同的应用场景提供了3种存储方式:HBase、Hive、HDFS。为大数据的统计分析提供了SparkSQL分析、RDD、DataFrame、DataSet任务提交接口;为机器学习和预测预报提供决策树、回归、贝叶斯分析以及

通风网络解算等算法;提供了饼状图、柱状图、雷达图曲线图以及GIS专题地图等接口,使计算分析结果能够直观展现。

1.3 大数据集成分析平台总体架构

智能矿井安全生产大数据分析平台,是在煤矿GIS“一张图”基础之上构建的服务于煤矿安全生产数据深度分析挖掘的软件平台,用于构建和定制面向特定安全生产主题的大数据应用系统,如安全

生产动态诊断与决策系统,平台总体框架如图4所示。

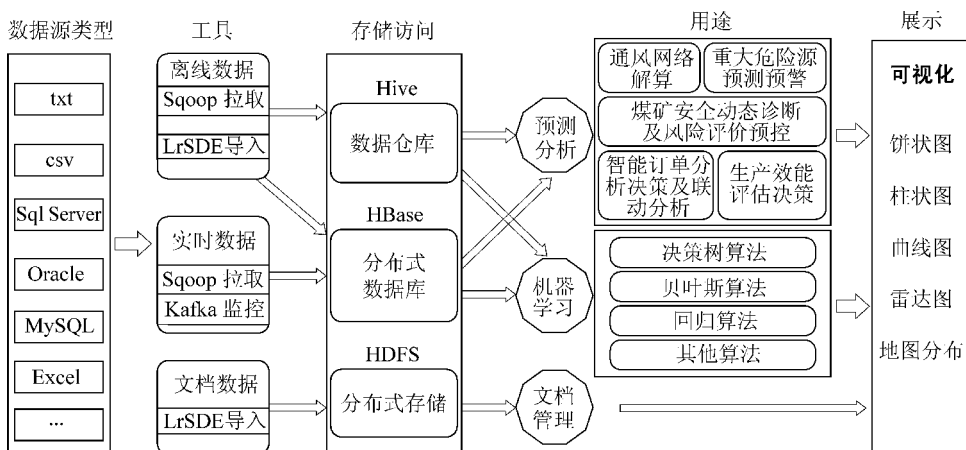


图3 煤矿安全生产大数据分析平台的数据处理流程

Fig. 3 Data processing flow of big data analysis platform for coal mine safety production

平台总体架构自下而上分为设备感知层、数据资源层、平台服务层、大数据分析应用层。其中,设备感知层自动获取来自各类监测监控传感器和系统的时间序列监测数据;信息资源层基于“一张图”整合在线监测数据和生产业务数据,通过数据统一接入平台形成“一张图”空间数据库;平台服务层基于

煤矿 GIS“一张图”提供数据、GIS 和可视化展示服务,基于煤矿安全生产大数据分析平台提供算法服务;最顶层是大数据分析应用层,通过整合调用煤矿 GIS“一张图”和大数据分析服务,定制面向特定安全生产主题的应用系统,本文主要关注煤矿安全生产动态诊断系统。

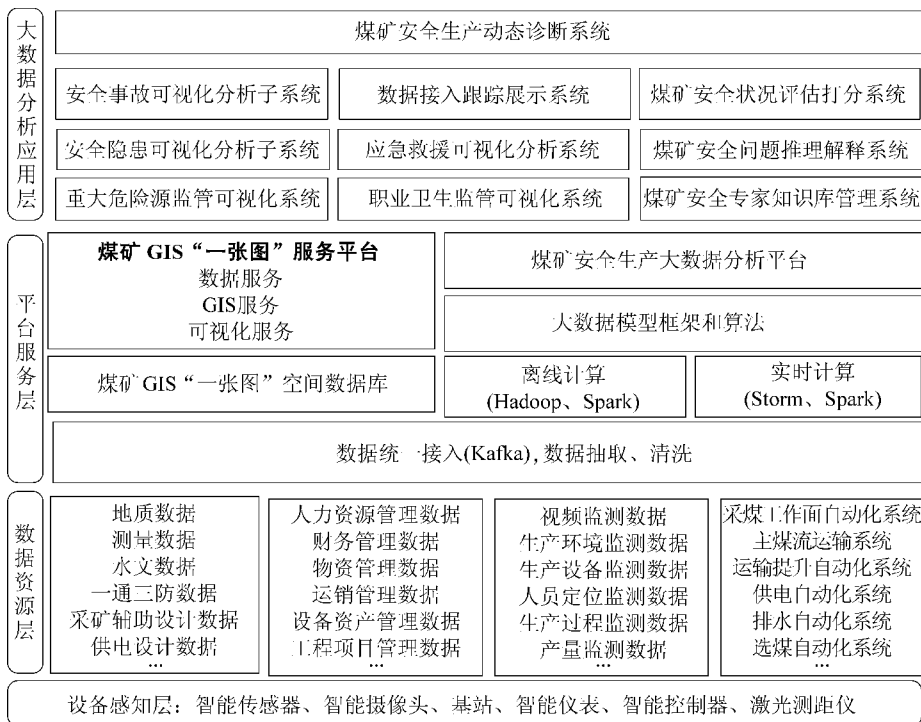


图4 智能矿井安全生产大数据集成分析平台总体架构

Fig. 4 Overall architecture of big data analysis platform for intelligent mine safety production

2 煤矿安全生产动态诊断

安全生产大数据动态诊断系统是智能矿井安全

生产大数据分析平台的核心应用系统,它以大数据分析技术为支撑,以行业、集团、矿井制定的各类安全生产规范规程为依据,结合综合自动化、在线监测

以及煤矿安全生产日常获取的动态和历史数据,对煤矿安全生产的各类信息进行展示、分析、推理,挖掘历史数据中蕴含的模式和知识,诊断并概括现势安全状态,预测未来安全形势,实现煤矿安全生产的动态诊断和辅助决策,如图5所示。

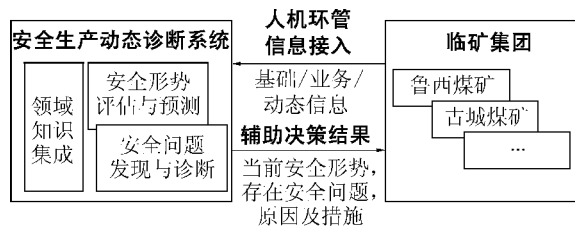


图5 煤矿安全生产大数据动态诊断

Fig. 5 Principle of dynamic diagnosis based on big data of coal mine safety production

煤矿安全生产大数据动态诊断,归纳起来包括数据集成、知识集成和动态诊断三大功能。

2.1 数据集成

建设安全动态大数据诊断系统,首先要基于“一张图”服务平台,将基础图形和属性数据、在线监测的实时性数据、专业业务系统的事务性数据综合集成起来,构建煤矿安全动态诊断专题数据库。

2.2 知识集成

针对知识集成的目标,整理规范规程体系中的经验或者理论知识,构建煤矿安全动态诊断的专家知识库。主要建设工作包括:

1) 梳理煤矿安全规范规程体系,建立煤矿安全知识分类体系及元数据库。

2) 根据煤矿安全知识的特点,选择合理的知识表示方式和推理方式。

3) 定义煤矿安全动态诊断专家知识库的数据模型和数据结构。

4) 根据煤矿安全知识规则体系,建立煤矿安全评估和推理的专家知识库,涵盖法律法规、行业规程规范、条例、手册、办法等,如煤矿安全规程、各工种操作规程、煤矿灾害防治与应急预案、重大危险源辨识标准、“三违行为”辨识标准、隐患界定标准、事故案例库等。

5) 研究开发元数据库管理系统,实现专家知识库中评估打分指标及权重赋值体系(AHP层次分析法、多层次模糊综合评价法、统计平均法)、打分策略算法(综合评分法、功效系数法、综合指数法)以及安全推理知识体系的定义、描述、管理维护。

6) 研究开发知识库管理系统,实现知识的增

加、删除、更新、查找。

7) 设计开发知识库的推理机和解释机,实现对安全知识的推理以及解释。

2.3 动态诊断

2.3.1 动态诊断内容

利用煤矿安全动态诊断专题数据库中的基础数据、实时监测数据以及事务性数据,根据煤矿安全动态诊断专家知识库进行评估、推理和演绎,分析煤矿安全生产现状与趋势,并针对煤矿应急现象做出科学合理的响应对策。主要建设内容包括:

1) 煤矿安全状况评估打分系统(诊):根据综合数据库中在线收集的状态数据,应用安全评估专家知识库,对矿井或特定煤矿安全生产活动进行安全状况打分评估,反映煤矿安全现势和近期的状况。

2) 煤矿安全问题推理解释系统(断):针对状况评估打分的结果,基于专家知识库对发现的问题进行分析和解释,给出原因及处理措施。

3) 诊断任务配置与管理:对用户提交的诊断任务进行配置和管理,制定用户诊断内容、范围和时间计划等。

2.3.2 动态诊断流程

安全动态大数据诊断系统的主要诊断流程(图6)包括如下3个步骤:

1) 诊断对象管理:确定安全生产诊断的目标对象,解决诊断评估谁的问题。

2) 评估指标配置:配置每个诊断对象的评估指标集及权重分配、诊断评估算法和反映诊断对象状态的诊断评估数据源,即确定诊断的计算模型和输入参数,解决如何诊断的问题。

3) 诊断任务创建与运行:根据诊断对象及其评估指标,建立诊断任务并启动任务。此后,诊断任务会根据调度配置要求定时运行,给出安全形势的评估预测结果和可预见的安全问题,对于安全问题可以从专家知识库中推理检索相应的解决方案。

2.3.3 动态诊断功能

煤矿安全动态诊断系统的具体功能(图7)包括:

1) 诊断结果展示及问题分析。主要包括:整体安全状况评估打分与趋势分析;安全状况问题钻取追踪分析;高风险环节分析,包括高风险群体分析、高风险设备分析、高风险环境分析、高风险区域分析、高风险时段分析;部门评估与诊断分析,包括人

员诊断分析、设备诊断分析、环境诊断分析、管理诊

断分析;OLAP 自由探索分析。

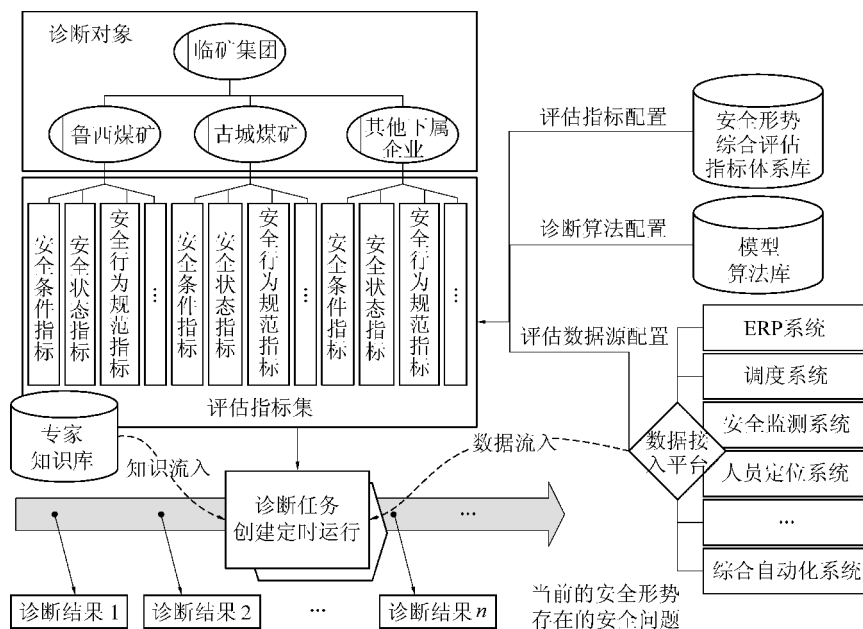


图6 安全生产动态诊断系统的数据处理流程

Fig. 6 Data processing flow of the dynamic diagnosis system for coal mine safety production

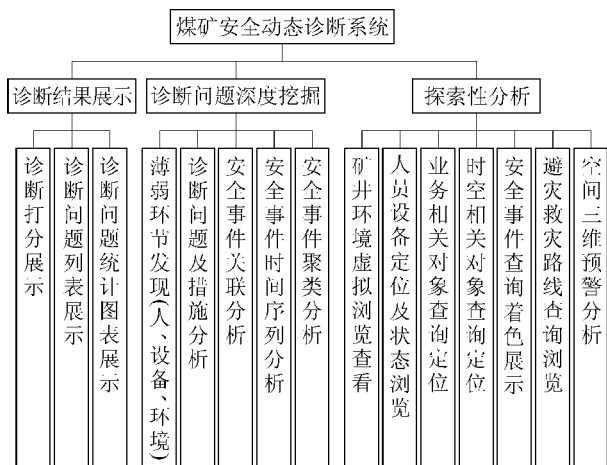


图7 煤矿安全生产动态诊断系统的功能

Fig. 7 Functions of the dynamic diagnosis system for coal mine safety production

2) 二/三维数据展示、查询、分析。在以煤矿GIS“一张图”平台为基础的二维和三维场景中展示“采、掘、机、运、通”各类设备;安全监测传感器;人员定位分站;其他传感器;瓦斯/水/火/顶板等危险源的范围和位置。此外提供查询分析功能:特定设备、传感器、危险源的在线状态查询;给定对象的缓冲区查询;给定对象的巷道拓扑查询;区域内三违/隐患事件查询;三违/隐患时间/区域统计查询;相关信息推荐(与时间/空间相关);巷道着色(按属性值颜色渐变)。

3 大数据集成分析平台的实际应用

山东能源临沂矿业集团有限责任公司(简称“临沂矿业集团”)是全国煤炭企业50强和山东省重点工业企业之一。近年来,临沂矿业集团通过全面推进思想解放、技术创新等各项工作,在互联网+、中国制造2025、智能矿井等理念推出的背景下,将如何从传统模式向智能化模式转变,促进煤矿安全生产运营管理走向数字化、智能化,作为企业转型升级的战略重点之一。

集团围绕“四个人均领先”(人均工效、人均收入、人均创新成果、人均客户价值),以井下自动化生产,井上五大平台建设为抓手,不断解放生产力实现本质安全。目前,基于统一的数据处理和应用标准,已成功开发全集团(生产矿井+集团)高度集成的安全生产大数据分析平台,而且已经在相关示范矿井稳定运行1年多,并已开始在集团和其他生产矿井得到全面推广应用,为智能矿井的建设奠定了坚实基础。

图8是部分应用成果的可视化展示,这些成果为煤矿安全生产提供了高科技的分析手段,确保管理和技术层把更多的精力用于分析研究,而不是资料的收集和整理,经济和安全效益显著提高。

4)与大数据集成分析平台相关的软件系统已经在临沂矿业集团部署上线并稳定运行,同时开始全面推广应用,证明了本文设计和技术方法的先进性和实用性。

参考文献 (References) :

[1] 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):1-4.
SUN Jiping. Accident analysis and big data and internet of things in coal mine [J]. Industry and mine automation, 2015, 41 (3):1-4.

[2] 李 东,周 勇.大数据在煤矿安全领域应用方法研究[J].中国煤炭,2018,44(7):124-130.
LI Dong, ZHOU Yong. Research on application of big data in coal mine safety [J]. Coal Economic Research, 2018, 44 (7): 124-130.

[3] 司 鹤,赵剑楠,胡千庭.大数据理论下的煤与瓦斯突出事故致因分析[J].西安科技大学学报,2018(4):515-522,537.
SI Hu, ZHAO Jiannan, HU Qianting. Analysis of causes of coal and gas outburst accidents based on big data theory [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2018 (4): 515-522, 537.

[4] 郜 彤,刘传安.基于大数据分析的煤矿安全风险预测系统研究[J].煤炭工程,2018(7):173-176.
GAO Tong, LIU Chuan'an. Study on coal mine safety risk prediction system based on big data analysis [J]. Coal Engineering, 2018 (7): 173-176.

[5] HUANG Lang, WU CHAO, WANG Bing, et al. Big-data-driven safety decision - making: a conceptual framework and its influencing factors [J]. Safety Science, 2018, 109:46-56.

[6] OUYANG Qiumei, WU Chao, HUANG Lang. Methodologies, principles and prospects of applying big data in safety science research [J]. Safety Science, 2018, 101:60-71.

[7] LALATENDU Muduli, DEVI Prasad Mishra, PRASANTA K. JANA. Application of wireless sensor network for environmental monitoring in underground coal mines: a systematic review [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2018, 106:48-67.

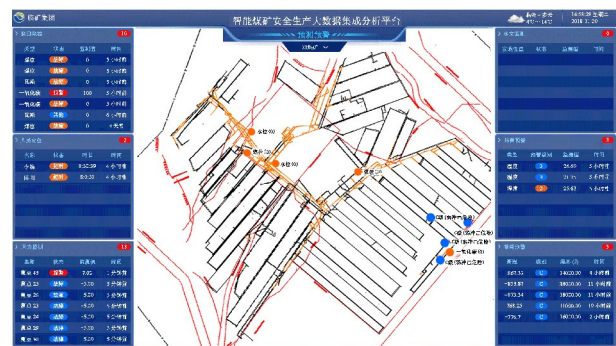
[8] ANDRZEJ Janusz, MAREK Grzegorowski, Marcin michalak. Predicting seismic events in coal mines based on underground sensor measurements [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2017, 64:83-94.

[9] 王万丽,崔 超.煤矿安全生产大数据应用管理系统研究与设计[J].中国煤炭,2018,44(2):91-94,117.
WANG Wanli, CUI Chao. Research and design of big data application management system for coal mine safety production [J]. China Coal, 2018, 44 (2): 91-94, 117.

[10] 刘玉海.基于MongoDB的煤矿大数据管理研究[J].信息系统工程,2017(9):119-120.
LIU Yuhai. Research of MongoDB based big data management for coal mine [J]. China CIO News, 2017 (9): 119-120.



(a) 煤矿安全生产动态诊断



(b) 基于“一张图”的大数据分析可视化 - 预测预警分析



(c) 大数据分析可视化 - 安全状况分析

图8 山东临沂矿业集团大数据集成分析平台应用

Fig.8 Application of the big data integration analysis platform in Shandong Energy Linyi Mining Group Co., Ltd.

4 结 论

1)基于智能矿井建设的具体需求,研究设计了大数据集成分析平台的架构、流程和功能,开发了包括安全生产全业务流程的动态诊断系统,为提高决策管理水平奠定了基础。

2)智能矿井建设的关键技术之一是各生产子系统之间的协同控制,而大数据集成分析平台可以为智能开采提供超前的预警信息,将为智能开采系统的稳定可靠运行提供保障。

3)通过在软件系统平台和技术架构中融入GIS,可保证大数据分析过程的可视化和分析结果时空位置动态展示的可操作性和实用性。

- [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):86-89,128.
SHEN Zhuo,TAN Zhanglu. Research on big data visual management platform of coal mine based on data mining[J]. China Coal,2016,42(12):86-89,128.
- [12] 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.
- [13] 张长鲁.煤矿事故隐患大数据处理与知识发现分析方法研究[J].中国安全生产科学技术,2016,12(9):176-180.
ZHANG Changlu. Study on big data processing and knowledge discovery analysis method for safety hazard in coal mine[J]. Journal of Safety Science and Technology,2016,12(9):176-180.
- [14] 刘香兰.煤矿安全生产大数据分析与管理平台设计研究[J].煤炭工程,2017,49(6):32-35.
LIU Xianglan. Design and research of big data analysis and management platform for coal mine safety production[J]. Coal Engineering,2017,49(6):32-35.
- [15] 张科利,王建文,曹 豪.互联网+煤矿开采大数据技术研究与实践[J].煤炭科学技术,2016,44(7):123-128.
ZHANG Keli,WANG Jianwen,CAO Hao. Study and practice on big data technology of internet plus coal mining[J]. Coal Science and Technology,2016,44(7):123-128.
- [16] 吴金兵,毛善君,李 梅.大型矿区应急救援“一张图”关键技术研究[J].煤矿安全,2016,47(11):83-86.
WU Jinbing,MAO Shanjun,LI Mei. Key technology research on emergency rescue “one-map” for large mining area[J]. Safety in Coal Mines,2016,47(11):83-86.
- [17] 郑海山.阳煤集团安全生产矿区“一张图”内涵分析[J].煤矿安全,2017,48(12):234-236,240.
ZHENG Haishan. Connotation analysis of “one map” for safety production of Yangquan Coal Industry Group[J]. Safety in Coal Mines,2017,48(12):234-236,240.
- [18] 孙 颖,张新长,张 维.基于数字城市建设的“一张图”应用模式研究[J].测绘通报,2013(10):34-36,58.
SUN Ying,ZHANG Xinchang,ZHANG Wei. The study of “one map” application mode based on digital city construction[J]. Bulletin of Surveying and Mapping,2013(10):34-36,58.