

基于云平台的煤矿监测数据可视化计算系统设计与应用

杨玉勤¹, 毛善君¹, 杨 阳²

(1. 北京大学 遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871; 2. 北京龙软科技股份有限公司, 北京 100190)

摘要:针对煤矿监测大数据处理的重要性, 基于云计算、大数据和智能决策等技术, 设计了一个基于云平台的煤矿监测数据可视化计算系统, 提出了基于云服务的基础设施层、模型服务层以及计算应用层 3 层架构, 并详细阐述了云平台, 海量数据存储, 分布式数据处理模型库以及 GIS 可视化交互界面设计等关键技术。基于在线地图和实时数据, 该系统能够使用户快速配置实时数据源和计算模型, 克服了传统计算模式模型和参数配置相对固定、可视化操作简单的缺点, 并且以服务的形式在云平台的基础上搭建了模型服务框架, 通过模型服务管理模块, 系统可进行模型的在线注册与修改, 实现了模型库的动态扩展, 解决了传统模型库类型固定, 扩展性差的问题。

关键词:云计算; 动态模型库; 在线地图服务; 可视化计算

中图分类号: TD67; TP311.5 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2017)06-0142-05

Design and application of of monitored and measured data visualized calculation system in coal mine based on cloud platform

Yang Yuqin¹, Mao Shanjun¹, Yang Yang²

(1. Research Institute of Remote Sensing and Geographic Information System, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Beijing Longruan Technologies Inc., Beijing 100190, China)

Abstract: According to the importance of the coal mine monitored and measured large data processing, based on the cloud calculation, large data and intelligent decision making as well as other technology, a visualized calculation system of the mine monitored and measured data was designed based on the cloud platform. Three layer frameworks of an infrastructure layer, distribution type data processing model library and calculation applied layer were provided based on the cloud services. The paper in detail stated the cloud platform, mass data storage, distribution type data processing model library and GIS visualized interactive interface design as well as other key technologies. Based on the online map and real-time data, the system could make the rapid configuration of the real-time data sources and calculation model to the users and could overcome the disadvantages of the relative fixed and visualized operation simple allocated to the traditional calculation mode model and parameters. A model service framework was established based with the service mode and based on the cloud platform. With the management module of the model services, the system could make the online registration and modification of the model, could realize the dynamic expansion of the model library and could solve the type fixed and poor expansion problems of the traditional model library.

Key words: cloud calculation; dynamic model library; online map services; visualized calculation

0 引 言

煤炭是我国的主要能源, 但瓦斯爆炸、煤与瓦斯突出等灾害事故影响着煤矿的安全生产。伴随着信息技术在煤矿的不断发展, 各类监测监控系统已经

得到广泛应用, 事故发生率、百万吨死亡率及伤亡人数都大幅下降^[1]。为进一步防止瓦斯事故的发生, 相关研发人员基于井下监测数据, 构建了矿井瓦斯浓度动态预测模型^[2-6], 并且基于 GIS 平台开发了瓦斯预测管理系统^[7-8]。孟伟东等^[9]设计了基于

收稿日期: 2016-12-22; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2017.06.023

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2016YFC0801800)

作者简介: 杨玉勤(1995—), 男, 江西抚州人, 硕士研究生。通讯作者: 毛善君, 教授, 博士生导师, E-mail: sjmao@pku.edu.cn

引用格式: 杨玉勤, 毛善君, 杨 阳. 基于云平台的煤矿监测数据可视化计算系统设计与应用[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(6): 142-146, 151.

Yang Yuqin, Mao Shanjun, Yang Yang. Design and application of of monitored and measured data visualized calculation system in coal mine based on cloud platform[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(6): 142-146, 151.

GIS的煤与瓦斯突出综合模糊预测系统,在专家系统技术与GIS结合方面做了有益的探索;李晓华等^[10]在瓦斯地质理论和瓦斯涌出预测方法的指导下,结合GIS软件空间分析技术,设计开发了瓦斯涌出动态预测可视化系统。在云计算的研究方面,文献^[11-12]将云计算技术引入瓦斯安全预测预警系统中,实现基于大数据处理的矿井瓦斯实时预警应用;文献^[13-14]进行了基于云计算的煤矿安全监测监管平台的研究,并设计了基于云平台的系统架构。这些研究成果都有效地解决了煤矿安全生产的管理和决策问题,但存在如下不足:①GIS系统主要服务于专题图形的处理、与预测预报有关的可视化展示及属性查询,不能很好地用于对监测点和模型参数的动态选择及配置,交互性差。②对于非云计算成果而言,数值计算模型类型固定,扩展性差。③文献^[13]等最新研究成果都是基于云平台强大的计算处理能力、数据存储能力以及系统资源调度能力进行组件式开发,同样缺乏对算法模型库本身的扩展功能。

鉴于此,笔者设计并实现了一个基于云计算平台的煤矿监测数据可视化计算系统:①构建云计算平台和分布式数据库,实现煤矿安全监测海量实时数据的存储;②基于服务的形式构建了一个动态模型库,使其能动态地增加删除模型,实现“热插拔”式的模型扩展;③使用Web前端可视化技术以及在线地图服务模式,构建可视化人机交互界面,实现煤矿采掘工程平面图等专题图形与计算模型的集成和可视化交互操作,通过可视化地图动态配置模型参数,提高了数据处理效率。

1 系统总体架构及功能设计

可视化计算系统主要分为3个层次,总体架构如图1所示。

1)基础层主要负责系统基础资源的管理与分配以及数据的存储,包括云主机与分布式数据库2个部分。云主机基于Openstack云计算平台,用来弹性分配虚拟机等计算资源,提供实施简单、可大规模扩展和标准统一的云计算管理平台;分布式数据库主要实现海量煤矿监测数据的存储与处理,为模型库提供数据支持,基于HBase(Hadoop Database)加以实现。

2)服务层包括模型服务管理模块和模型库,主要实现系统中模型库的管理与应用。模型库主要包

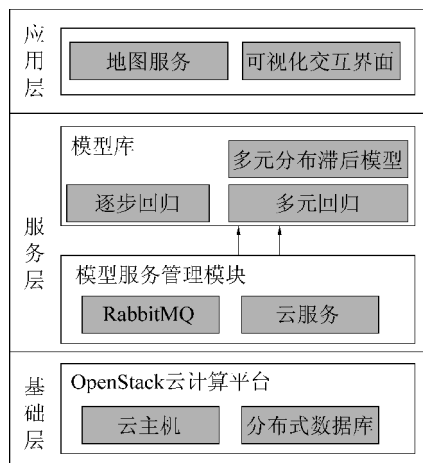


图1 系统总体架构

Fig. 1 Framework of system

含计算模型的具体实现,例如回归分析、多元分布滞后模型等,并将其封装成服务的形式运行在云平台上的各个虚拟机中;模型服务管理模块用于对模型库的管理,负责模型服务的注册、组织、修改、删除等,实现模型库的动态扩展。

3)应用层包括地图服务与可视化交互界面2个部分,负责与用户的人机交互以及可视化操作。地图服务使用户可以在网络上浏览矿区专题地图,并根据地图配置监测点、数学模型和参与计算的参数,计算结果也可以图表的形式展现出来。

2 系统关键技术

基于云计算平台的煤矿监测数据可视化计算系统的实现,涉及云计算、海量数据分布式存储、基于服务的动态分布式模型库设计以及可视化交互界面设计等方面,本节围绕系统的3层体系架构,对相关关键技术进行阐述。

2.1 云平台与分布式数据库

云计算是一种利用互联网实现随时随地、按需、便捷地访问共享资源池(如计算设施、存储设备、应用程序等)的计算模式。

系统基础云平台层的层次架构如图2所示。基础云平台基于云计算的IaaS(基础设施即服务)模式以及PaaS(平台即服务)模式,使用开源的云计算管理平台OpenStack搭建,负责监测数据的存储、计算平台的搭建、服务的发布与调度等。IaaS层使用虚拟化技术管理系统的基础资源,包括计算资源、存储资源和网络资源,井下瓦斯监测数据及架构上层各模块的计算数据资源均存储在该层的虚拟资源池

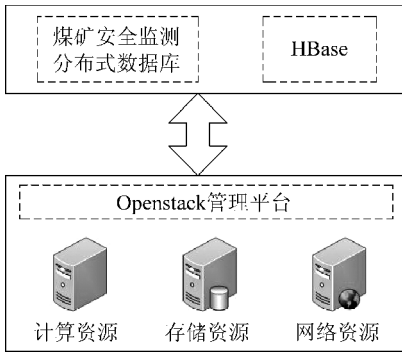


图2 基础云平台层次架构

Fig. 2 Basic cloud platform architecture

中。OpenStack 集成了多个核心和扩展项目,所有模块子项目之间均通过标准化的 API 来实现服务调用,因此系统具有良好的控制性、兼容性、可扩展性与灵活性。

随着各种传感设备以及监测设备的发展,煤炭企业拥有海量的煤矿监测数据。传统关系型数据库无法支持海量监测数据,为了高效存储和处理煤矿安全监测海量时间序列数据,基于底层云平台和新型分布式数据库 HBase^[15-19],系统构建了煤矿监测综合分布式数据库。HBase 是基于列存储的 NoSQL 数据库,其表模式的设计主要包括行键与列族的设计。根据煤矿监测数据的特点,系统选择监测点的传感器 ID 作为行键;监测点一般包括空间属性和监测值 2 种数据属性。因此,数据表包含空间属性列族和监测数据列族 2 个基本列族,空间属性列族存储监测点的位置坐标等,监测数据列族存储传感器的监测数据,例如瓦斯浓度、温度等。

构建煤矿综合分布式数据库有利于决策人员实时或快速处理多地点、多指标决策支持问题,并且实现数据与模型库的紧密结合,使之成为煤矿瓦斯安全预测的基础。

2.2 基于服务的动态模型库设计与管理

传统软件系统中的计算模型和方法都是固定的,属于功能菜单的一部分,如果增加,需要重新修改源程序,并进行调试和编译,扩展性差。为解决此问题,笔者以服务化的形式设计模型库,将模型库里的计算模型都以服务的形式运行在云平台上的各个虚拟机中,然后通过 RPC(远程过程调用)的形式调用模型进行计算,如图 3 所示。以服务的方式设计模型库可以统一模型库的接口,易于扩展,还可以将计算模型与前端地图联系起来,专题地图可以可视化地反映数据采集点的空间分布,同时,系统在进行

模型调用时可以在前端地图上动态配置数据点,并设置计算模型参数,然后通过 RPC 将数据和参数信息传递给模型进行计算。

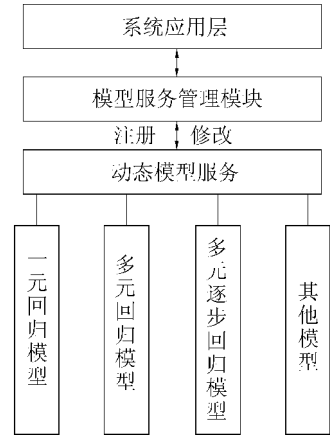


图3 基于服务的动态模型库

Fig. 3 Dynamic model base based on web service

通过服务的方式,各个计算模型还可以分布在不同的主机中,在调用多个模型进行计算时,各个模型可以在不同的主机上同时进行计算,不会受到单台主机的性能制约,而且当一个计算较慢的模型被多次调用时,可以进行弹性扩展,云平台会根据用户的请求量弹性分配更多的资源给系统,系统会自动创建虚拟机来运行模型服务,让这个模型同时运行在多台主机中,这样就形成了一个服务集群,减少系统等待的时间,提高计算效率。

模型服务管理模块用于对模型库的管理,负责模型服务的注册添加、修改、删除、使用等全面管理和调度工作,实现模型服务的动态扩展。通过开源消息队列框架 RabbitMQ 实现。模型服务注册时需要的主要信息包括以下 4 点:①模型服务名称。②模型服务接口:描述了模型服务的接口信息,包括功能函数的名称、输入参数的类型等;③模型服务输出结果:描述了模型服务计算之后返回的结果信息;④模型服务描述信息:对模型功能的简单描述。

在进行服务的注册时,需要提供可运行的模型服务程序,服务管理模块会返回一个 ID 码作为模型服务的唯一标识,并将模型对应的相关信息存入后台数据库,系统会创建新的云主机,并在云主机上运行该服务;模型的修改需要提供新的模型服务程序,并修改模型服务的信息,服务管理模块会结束之前运行的服务,运行新的程序,并且修改数据库中的信息;删除模型服务时,服务管理模块会结束该服务并且删除数据库中该模型的信息;使用模型服务时,服务管理模

块会解析调用参数中的模型 ID 码,根据 ID 码把调用信息路由到相对应的模型服务中进行计算。

2.3 可视化交互界面设计

为了把模型库与 GIS 平台结合起来,充分发挥可视化地图与决策人员认知能力的优势,系统的可视化设计主要分为 3 个模块:模型可视化配置、参数可视化选择以及结果可视化展示。

1) 模型可视化配置:决策人员可以通过可视化交互界面动态配置计算模型。系统通过读取模型服务管理模块中的数据,获取模型库中的模型信息,然后展示在前端界面上,使得决策人员可以根据需要选择对应的模型,如图 4 所示。决策人员选择模型之后,系统会在前端显示模型的具体信息。

2) 计算参数的可视化选择:决策人员可以根据

地图实时动态的交互式选择参与计算的参数。该模块通过地图服务将监测点数据与矿井专题地图联系在一起,以地图的形式直观地展示监测点参数,如图 4 的“动态勾选计算参数”所指内容。地图上会显示监测点信息,而且地图服务提供在线的矿区地图浏览,支持漫游缩放操作,决策人员可以通过浏览地图快速的选择监测点,点击地图上的监测点获取相关监测参数,然后为模型选取自变量和因变量。模型参数模块则会在表格里动态地显示用户已选择的参数或数据。

3) 结果可视化展示:模型与数据配置完成后,系统会在后台调用相关计算模型,并从数据库中获得相关数据进行计算,最后返回计算结果并把结果以图表的形式展示出来。

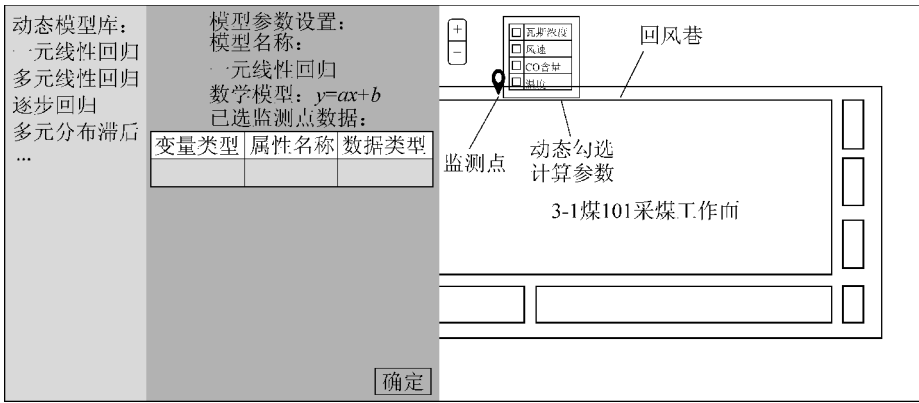


图 4 系统可视化交互界面

Fig. 4 Visual interaction interface of system

2.4 模型应用实例

以多元分布滞后模型 MDL 为例,MDL 可用于瓦斯体积分数预测,其数学模型见式(1),式中变量的具体含义参见文献[2]。

$$Y_t = \alpha + \sum_{l=1}^{p_0} \beta_{0,l} Y_{t-l} + \sum_{i=1}^g \sum_{l=0}^{p_i} \beta_{i,l} X_{i,t-l} + \varepsilon_t \quad (1)$$

MDL 模型应用实例界面如图 5 所示。

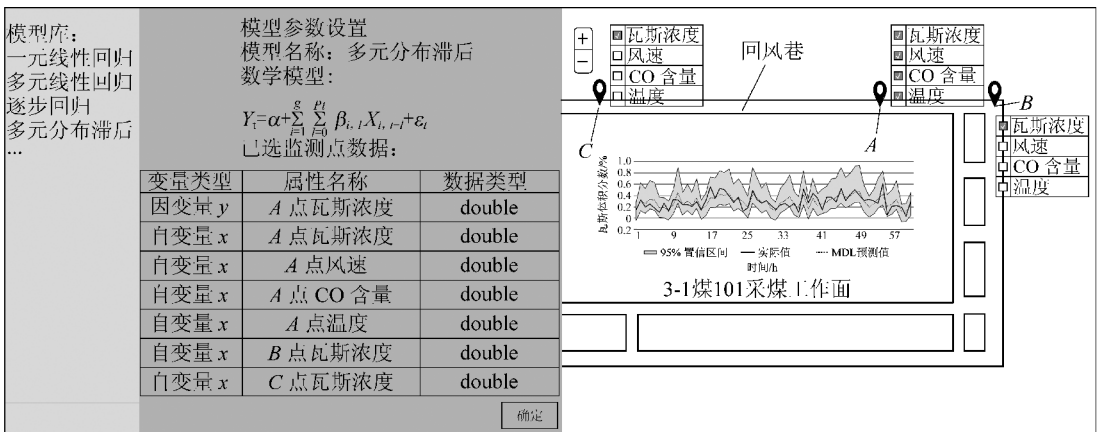


图 5 MDL 模型应用实例界面

Fig. 5 Application interface of MDL mode

在界面上选择多元分布滞后数学模型,要对A点的瓦斯浓度动态预测(因变量),可视化选取A点的瓦斯浓度(被预测变量的历史数据)、风速、CO含量、温度以及上隅角B点和回风巷C点瓦斯浓度作为模型的自变量。模型参数配置完成后,系统根据配置结果在分布式数据库中获取对应数据,并调用远程计算模型和返回计算结果。计算结果可以可视化的折线图形式显示在A点处,并可点击放大查看,如图6所示。

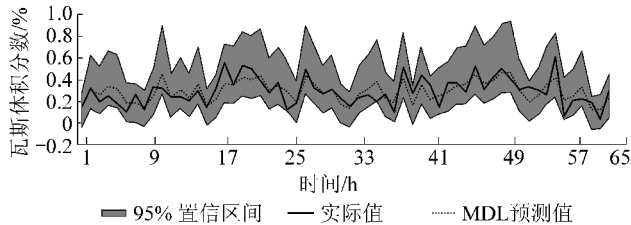


图6 MDL模型预测结果

Fig.6 Predict result of MDL mode

3 结 语

设计并实现了一个基于云平台的煤矿监测数据可视化计算平台,重点解决了 OpenStack 基础云平台的搭建技术,基于服务的模型注册、添加和删除等技术,WebGIS 可视化技术等,将空间信息与计算模型联系起来,并以可视化界面的形式与用户进行交互,提高了数据处理的效率和软件系统的实用性,而且通过服务化的形式设计分布式模型库,进一步提升了系统的扩展能力,有效地解决了煤矿安全生产在未来云计算和大数据时代面临的智能数据管理和决策问题。

参考文献 (References):

[1] 孙继平.煤矿信息化与智能化要求与关键技术[J].煤炭科学技术,2014,42(9):22-25,71.
Sun Jiping.Requirement and key technology on mine informatization and intelligent technology[J].Coal Science and Technology, 2014, 42(9):22-25, 71.

[2] 杨丽,刘晖,毛善君,等.基于多元分布滞后模型的瓦斯浓度动态预测[J].中国矿业大学学报,2016,45(3):455-461.
Yang Li,Liu Hui,Mao Shanjun,et al.Dynamic prediction of gas concentration based on multivariate distribution lag model[J].Journal of China University of Mining & Technology,2016,45(3):455-461.

[3] 伍爱友,肖红飞,王从陆,等.煤与瓦斯突出控制因素加权灰色关联模型的建立与应用[J].煤炭学报,2005,30(1):58-65.
Wu Aiyou,Xiao Hongfei,Wang Conglu,et al.Establishment and application of weights and gray association model based on coal and gas outburst controlled factors assessment[J].Journal of China Coal

Society,2005,30(1):58-65.

[4] 张剑英,程健,侯玉华,等.煤矿瓦斯浓度预测的ANFIS方法研究[J].中国矿业大学学报,2007,36(4):494-498.
Zhang Jianying,Cheng Jian,Hou Yuhua,et al.Forecasting coalmine gas concentration based on adaptive neuro-Fuzzy inference system [J].Journal of China University of Mining & Technology,2007,36(4):494-498.

[5] 朱红青,常文杰,张彬.回采工作面瓦斯涌出BP神经网络分源预测模型及应用[J].煤炭学报,2007,32(5):504-508.
Zhu Hongqing,Chang Wenjie,Zhang Bin.Different source gas emission prediction model of working face based on BP artificial neural network and its application[J].Journal of China Coal Society,2007,32(5):504-508.

[6] 汪凌.煤矿瓦斯预测专家系统中基于粗集的知识获取方法[J].工矿自动化,2013,39(3):49-52.
Wang Ling.Knowledge acquisition approach based on rough sets theory for gas forecast expert system of coal mine[J].Industry and Mine Automation,2013,39(3):49-52.

[7] 刘明举,郝富昌.基于GIS的瓦斯预测信息管理系统[J].煤田地质与勘探,2005,33(6):20-23.
Liu Mingju,Hao Fuchang.Managing information system of gas prediction based on GIS[J].Coal Geology & Exploration,2005,33(6):20-23.

[8] 李和平,张明娟.基于Web GIS的瓦斯事故预警系统设计[J].煤炭工程,2011(4):122-123.
Li Heping,Zhang Mingmei.Design on early warning system on gas accident based on Web GIS[J].Coal Engineering,2011(4):122-123.

[9] 孟伟东,王延斌,倪小明.基于GIS的煤与瓦斯突出综合模糊预测系统[J].采矿技术,2008,8(5):79-81.
Meng Weidong,Wang Yanbin,Ni Xiaoming.Coal and gas outburst comprehensive fuzzy forecasting system based on GIS[J].Mining Technology,2008,8(5):79-81.

[10] 李晓华,周炳秋,韩真理,等.基于GIS的瓦斯涌出动态预测可视化系统[J].煤矿安全,2016,47(4):99-102.
Li Xiaohua,Zhou Bingqiu,Han Zhenli,et al.Visualization system for dynamic prediction of gas emission based on GIS[J].Safety in Coal Mines,2016,47(4):99-102.

[11] 白永明,张杰.矿井瓦斯预测预警的云计算模式研究[J].工矿自动化,2014,40(5):76-80.
Bai Yongming,Zhang Jie.Reasearch of cloud computing model of mine gas forecast and early warning[J].Industry and Mine Automation,2014,40(5):76-80.

[12] 张杰.基于云计算数据集成模式的矿井瓦斯预警研究[D].西安:西安科技大学,2014.

[13] 许金.基于云计算的煤矿监管服务平台研究[J].工矿自动化,2014,40(4):78-81.
Xu Jin.Research of coal mine supervision platform based on cloud computing[J].Industry and Mine Automation,2014,40(4):78-81.

[14] 李昊旻,卢建军,卫晨.基于云计算的煤矿安全监测预警系统研究[J].工矿自动化,2013,39(3):46-49.

(下转第151页)

- [2] 付建华,程远平.中国煤矿煤与瓦斯突出现状及防治对策[J].采矿与安全工程学报,2007,24(3):253-259.
Fu Jianhua, Cheng Yuanping. Prevention and control measures of coal and gas outburst on coal mine in China[J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2007, 24(3): 253-259.
- [3] 王 力. 煤矿井下松软煤层空气雾化钻进用雾化器的研制[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(8): 150-155.
Wang Li. Research and development on atomizer of air atomized-drilling in soft seam of underground mine[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(8): 150-155.
- [4] 殷新胜,刘建林,冀前辉.松软煤层中风压空气钻进技术与装备[J].煤矿安全,2012,43(7):63-65.
Yin Xinsheng, Liu Jianlin, Ji Qianhui. Medium pressure compressed air drilling technique and matched equipment in soft seam [J]. Safety in Coal Mines, 2012, 43(7): 63-65.
- [5] 王永龙,孙玉宁,翟新献,等.松软突出煤层新型钻进技术研究[J].采矿与安全工程学报,2012, 29(2):289-294.
Wang Yonglong, Sun Yuning, Zhai Xinxian, et al. Study on new drilling technology in soft and outburst seam [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(2): 289-294.
- [6] 郭 湧.宽叶螺旋钻中风压钻进技术在晋城某矿的应用[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2012,39(3):48-51.
Guo Yong. Application of medium pressure compressed air drilling technique using wide blade-auger stem[J]. Exploration Engineering: Rock and Soil Drilling and Tunneing, 2012, 39(3): 48-51.
- [7] 王 毅,李乔乔,贾明群.螺旋钻进技术在杉木树煤矿强突出煤层中的应用[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2008,35(10):11-13.
Wang Yi, Li Qiaoqiao, Jia Mingqun. Application of auger drilling technique on outburst coal seam in Shanmu Coal Mine [J]. Exploration Engineering: Rock and Soil Drilling and Tunneing, 2008, 35(10): 11-13.
- [8] 王永龙,翟新献,孙玉宁.刻槽钻杆应用于突出煤层钻进的合理参数研究[J].煤炭学报,2011,36(2):304-307.
Wang Yonglong, Zhai Xinxian, Sun Yuning. Reasonable parameters study on grooved drill pipe used in drilling outburst coal seam[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(2): 304-307.
- [9] 陈功胜,高艳忠.松软煤层瓦斯抽采钻孔不提钻下入筛管技术[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2014,33(5):592-596.
Chen Gongsheng, Gao Yanzhong. The screen pipe placing in borehole technology without drilling rod lifting for gas drainage borehole in the soft seam [J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2014, 33(5): 592-596.
- [10] 付 帅,吕平洋,王嘉鉴,等.近距离松软煤层群高位钻孔瓦斯抽采技术研究[J].煤炭科学技术, 2016, 44(11): 78-81.
Fu Shuai, Lyu Pingyang, Wang Jiajian, et al. Study on gas drainage technology with high level borehole in contiguous soft coal seams group[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(11): 78-81.
- [11] 王四一,刘 勇,董昌乐,等.筛管护孔工艺及装备在神华宁煤集团的应用[J].煤矿安全,2015,46(12):151-153.
Wang Siyi, Liu Yong, Dong Changle, et al. Application of screen pipe hole protection technology in Shenhua Ningxia Coal Group [J]. Safety in Coal Mines, 2015, 12(46): 151-153.
- [12] 徐庆武,王国君,董 力,等.瓦斯抽放钻孔护孔技术探讨[J].煤矿安全,2007,38(1):39-40.
Xu Qingwu, Wang Guojun, Dong Li, et al. Discussion on hole drilling technology for gas drainage[J]. Safety in Coal Mines, 2007, 38(1): 39-40.
- [13] 姚辉苗,郭 帅,王成帅.松软煤层全孔段下筛管瓦斯抽采技术与装备研究[J].煤矿机械,2015,36(10):222-224.
Yao Huimiao, Guo Shuai, Wang Chengshuai. Technique and matched equipment of screen pipe hole protection technology in soft seam [J]. Coal Mine Machinery, 2015, 36(10): 222-224.
- [14] 张 强,王继承,王四一.筛管护孔工艺技术应用试验及瓦斯抽采效果研究[J].煤炭技术,2016,35(10):162-164.
Zhang Qiang, Wang Jicheng, Wang Siyi. Application of screen pipe hole protection technology and study on the effect of gas drainage [J]. Coal Technology, 2016, 35(10): 162-164.

(上接第 146 页)

- Li Haomin, Lu Jianjun, Wei Chen. Research of coal mine safety monitoring and early warning system based on cloud computing [J]. Industry and Mine Automation, 2013, 39(3): 46-49.
- [15] Ghemawat S, Gobiuff H, Leung S T. The Google file system[C]//ACM Symposium on Operating Systems Principles 2003, SOSP 2003, Bolton Landing, NY, USA, DBLP, 2003.
- [16] Dean J, Ghemawat S. MapReduce: simplified data processing on large clusters. [C]. Conference on Symposium on Operating Systems Design & Implementation, DBLP, 2004.
- [17] Chang F, Dean J, Ghemawat S, et al. Bigtable: a distributed storage system for structured data [C]. Usenix Symposium on Operating Systems Design and Implementation, USENIX Association, 2006.
- [18] 马 莉,李树刚,肖 鹏,等.云计算环境下煤矿应急管理海量数据存储技术[J].西安科技大学学报,2014,34(5):596-601.
Ma Li, Li Shugang, Xiao Peng, et al. Massive data storing technique of coal mine emergency management in cloud computing [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2014, 34(5): 596-601.
- [19] 范建永,龙 明,熊 伟.基于 HBase 的矢量空间数据分布式存储研究[J].地理与地理信息科学,2012(5):39-42.
Fan Jianyong, Long Ming, Xiong Wei. Research of vector spatial data distributed storage based on HBase [J]. Geography and Geo-information Science, 2012(5): 39-42.