

互联网+废弃煤矿隐蔽灾害综合防治技术研究

李文^{1,2,3}

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司安全分院,北京 100013; 2. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室,北京 100013; 3. 北京市煤矿安全工程技术研究中心,北京 100013)

摘要: 为了推进生态文明建设、提高废弃煤矿隐蔽灾害综合防治技术水平,基于互联网+废弃煤矿隐蔽灾害综合防治内涵与核心问题现状与进展分析,系统探讨了互联网+废弃煤矿隐蔽致灾因素勘查、隐蔽灾害监测预警、隐蔽灾害综合治理与利用技术的可行性。结果表明:互联网+废弃煤矿隐蔽灾害综合防治技术是移动互联网、大数据、云计算、物联网等与煤矿安全、地勘、机械电子、生态等行业的融合;废弃煤矿隐蔽致灾因素勘查大数据平台建设、监测预警平台建设(采空区失稳及塌陷监测、矿井地下水位和水质监测、温度及自燃监测、有毒有害气体监测、废弃煤矿区生态环境监测)、隐蔽灾害治理与综合利用(废弃煤矿生态恢复治理效果评价、废弃煤矿瓦斯储量预测及抽采效果评估、废弃煤矿地下空间综合分级利用)等技术的核心在于大数据平台建设和云计算技术,“互联网+”的引入将大幅提高废弃煤矿隐蔽灾害综合防治的技术水平和效果。

关键词: 废弃煤矿; 隐蔽灾害; 互联网+; 大数据; 云计算; 勘查; 监测预警

中图分类号: TD76 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2016)07-0086-06

Research on internet plus comprehensive prevention and control technology of hidden disaster in abandoned coal mine

Li Wen^{1,2,3}

(1. Safety Branch, China Coal Research Institute Company Limited, Beijing 100013, China; 2. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization, Beijing 100013, China; 3. Beijing Research Center of Mine Safety Engineering and Technology, Beijing 100013, China)

Abstract: In order to promote the construction of the ecologic civilization and to improve the comprehensive prevention and control technology level of the hidden disaster in the abandoned coal mine, based on the status and progress analysis on the comprehensive prevention and control connotation and key problems of the hidden disaster in the internet plus abandoned coal mine, the paper systematically discussed the survey of the hidden disaster occurred factors, the monitoring and early warning of the hidden disaster, the comprehensive control and utilization technology feasibility of the hidden disaster in the internet plus abandoned coal mine. The results showed that the comprehensive prevention and control of the hidden disaster in the internet plus abandoned coal mine would be the mobile internet, big data, cloud computing, internet of things and others integrated with the mine safety, geological survey, mechanical and electrical and ecologic sectors. The construction on the survey big data platform of the hidden disaster potential factors for the abandoned coal mine, the construction on the monitoring and early warning platform (the monitoring and measuring of the goaf stability lost and subsidence, monitoring and measuring of the underground mine water level and water quality, monitoring and measuring of the temperature and spontaneous combustion, monitoring and measuring of the toxic and harmful gas and the monitoring and measuring of the ecologic environment in the abandoned mine area), control and comprehensive utilization of the hidden disaster (evaluation on the ecologic restoration control of the abandoned mine, prediction on gas reserves of the abandoned mine and the evaluation on the gas drainage effect in the abandoned mine, comprehensive grading and utili-

收稿日期: 2016-03-22; 责任编辑: 赵瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2016.07.015

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51304117, 51404139); 中国煤炭科工集团有限公司科技创新基金青年基金资助项目(2014QN013)

作者简介: 李文(1980—), 男, 山东菏泽人, 副研究员, 博士。Tel: 010-84262499, E-mail: vinly.li@163.com

引用格式: 李文. 互联网+废弃煤矿隐蔽灾害综合防治技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(7): 86-91.

Li Wen. Research on internet plus comprehensive prevention and control technology of hidden disaster in abandoned coal mine [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(7): 86-91.

zation of underground space in the abandoned mine) and other technical core would be depended on the construction of the big data platform and the cloud computing technology and the introduction of the "internet +" would highly improve the hidden disaster comprehensive prevention and control technology level and effect of the abandoned mine.

Key words: abandoned coal mine; hidden disaster; internet plus; big data; cloud computing; survey; monitoring and early warning

0 引 言

自 2015 年 7 月、8 月国务院印发《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》(国发〔2015〕40 号)和《促进大数据发展行动纲要》(国发〔2015〕50 号)以来,将“互联网+”引入传统行业已成为研究的热点议题。“互联网+传统行业”就是将移动互联网、云计算、大数据、物联网、人工智能等与传统行业相融合,必将成为推动技术进步、效率提升和组织变革的经济社会发展新形态^[1-5]。2014 年 5 月,国家安全生产监督管理总局等十二部门下发《关于加快落后小煤矿关闭退出工作的通知》(安监总煤监〔2014〕44 号),明确了关闭对象、关闭到位标准和主要工作措施。据报道,未来 3 年还将关闭 4 300 座小型低效煤矿。在“十八大”报告关于“大力推进生态文明建设”的战略决策下,对废弃关闭煤矿隐蔽灾害的综合防治提出了更高的要求。如何利用“互联网+”技术实现对废弃煤矿隐蔽灾害的综合防治已成为今后一段时期须解决的关键技术问题。

在废弃煤矿隐蔽灾害综合防治研究方面,不少专家和学者从隐蔽灾害的类型和特点^[6-7]、诱发的生态环境问题及防治^[8-10]、采空区失稳评价与防治^[11-12]、水害防治^[13]及水污染评价^[14]、采空区自燃及火区治理^[15]、有害气体防治^[16]、矸石山自燃防治等传统角度进行了研究,取得了丰硕成果。上述研究的共同特点是从理论、技术或工程角度进行较深入研究,但未将研究与移动互联网、云计算、大数据、物联网等相结合。

近年来,一些专家和学者开始将物联网^[5,17-18]、“互联网+”思维引入煤炭^[19-20]和石油系统^[20]中,提出了主要研究、应用方向和建设构想,指出了“互联网+”对技术提升、效率提升的显著作用。笔者在前人研究的基础上,基于互联网+废弃煤矿隐蔽灾害综合防治内涵及核心问题分析,系统探讨互联网+废弃煤矿隐蔽致灾因素勘查、废弃煤矿隐蔽灾害监测预警、废弃煤矿隐蔽灾害综合治理与利用技术的可行性与研究进展,旨在抛砖引玉,为“互联网+”时代废弃煤矿隐蔽灾害综合防治提供一套可借鉴的技术与方法。

1 互联网+废弃煤矿隐蔽灾害综合防治内涵及核心问题

废弃煤矿隐蔽灾害归纳起来主要有 8 大特点^[6-16]:采空区失稳难以预测,采空区地表塌陷不具有规律性,老采空区积水危害程度大,矿井地下水位变化与水质污染严重,采空区温度异常或自燃灾害频发,有毒有害气体危害安全生产和污染环境,煤矸石地面堆积引起的自燃,滑坡及对土地资源的污染,废弃煤矿对生态环境的破坏等。

“互联网+”具有 6 大特征:跨界融合、创新驱动、重塑结构、尊重人性、开放生态和连接一切。对于互联网+废弃煤矿隐蔽灾害综合防治来说,也相应具有以下 6 个方面的内涵。

1) 废弃煤矿隐蔽灾害综合防治包含隐蔽致灾因素勘查、监测预警、灾害治理与废弃煤矿综合利用等,互联网+废弃煤矿隐蔽灾害综合防治涉及移动互联网、大数据、云计算、物联网和煤炭、地勘、机械电子、农林牧业、生态等行业的融合。

2) 废弃煤矿隐蔽灾害综合防治应打破传统思维,运用互联网思维来主动求新求变,实现技术协同创新、跨界创新和融合创新。

3) “互联网+”时代是一次信息革命,废弃煤矿隐蔽灾害综合防治应在技术信息对称下综合考虑,依靠大众智慧,让评估更真实、防治更具体。

4) 废弃煤矿隐蔽灾害综合防治更尊重人性,以人为本。隐蔽灾害只要危害居民健康、只要对生活造成不良影响就应持续整顿和改进,直到消除隐患甚至加以利用。

5) 废弃煤矿隐蔽灾害综合防治应依靠创新和创意驱动,优化各技术行业内部生态、融合外部生态。在研发综合防治技术与产品时应坚持市场驱动、跨界融合和开放生态,才能实现颠覆性创新。

6) 废弃煤矿隐蔽灾害综合防治应连接一切可能的技术、现场和受影响的人或物,实现连接(connection)、交互(interaction)和关系(relationship)的持续构建,形成分享机制、倒逼诚信关系。

互联网+废弃煤矿隐蔽灾害综合防治的核心问

题在于大数据平台建设和云计算技术,大数据平台建设的根本在于数据库的构建,随着数据库的急剧膨胀带来了数据深度分析需求的增长(图1^[4]),进而通过移动互联网终端实现信息共享,达到有效、高效综合防治隐蔽灾害的目标。

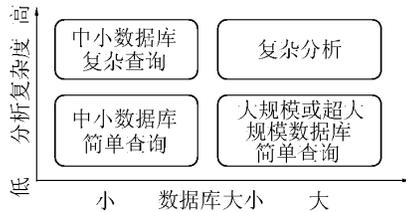


图1 数据分析的趋势

Fig. 1 Trends of data analysis

2 互联网+废弃煤矿隐蔽致灾因素勘查技术

互联网+废弃煤矿隐蔽致灾因素勘查技术主要体现在采空区及水害、温度异常区(自燃或火区)勘查大数据平台建设方面。以采空区及水害勘查为例,近年来,地面物探技术如探地雷达法、高密度电阻率法、瞬变电磁法、地震法(浅层二维地震和三维地震)、可控源音频大地电磁法和音频大地电磁法等取得了长足发展,井下物探勘查技术如矿井瞬变电磁法、矿井(高密度)直流电(透视)法、矿井地震法(瑞雷波、反射波、槽波等)、无线电波透视法(电磁波CT法)等也已经被广泛应用。融合物探、钻探、化探技术发展起来的综合精细勘查技术在采空

区及水害勘查方面发挥了重要作用,有效避免了多起隐蔽灾害的发生^[21-25]。

但在物探数据采集、数据处理和解释方面目前还多处于仪器(单通道、多通道)独立采集、分别专业化处理和综合解释阶段^[20]。在煤矿区不同地点(含地面与井下物探和钻探)、不同时间、不同物探方法、同一物探方法不同参数设置采集到的地层数据信息是海量的“大数据”,如何将这些“大数据”引入互联网建成地层信息数据库,便于及时查询、对比和分析是目前地勘行业的重大研究方向。

采空区及水害勘查大数据平台建设就是在构建超大规模地层信息数据库(地质资料数字化与互联网共享平台)的基础上,在每次勘查前利用移动互联网客户端(比如手机、网络PC等)查询数据库、分析大数据;在勘查过程中随时比对地层信息和异常区;在勘查解释后将成果录入数据库,进而大幅提高勘查精度,最终达到智慧管理和科学决策的目标。

3 互联网+废弃煤矿隐蔽灾害监测预警技术

互联网+废弃煤矿隐蔽灾害监测预警技术主要包括采空区失稳及塌陷监测预警平台建设、矿井地下水位和水质监测预警平台建设、温度及自燃监测预警平台建设、有毒有害气体监测预警平台建设、废弃煤矿区生态环境监测预警平台建设等(图2)。



图2 互联网+废弃煤矿隐蔽灾害监测预警技术体系构建

Fig. 2 Monitoring and forecasting system construction on internet plus hidden disaster of abandoned coal mines

3.1 采空区失稳及塌陷监测预警平台建设

采空区失稳及塌陷监测预警平台建设即通过长期监测废弃煤矿采空区地表下沉、变形情况和上覆

岩层的位移变化情况(比如利用岩层内部多点位移计进行监测^[12])对比分析位移和变形海量数据,建立参数变化阈值与采空区失稳塌陷的关系,构建失

稳及塌陷预警模型,利用移动互联网终端随时主动跟踪监测数据的变化,进而实现及时预警。

3.2 矿井地下水位和水质监测预警平台建设

矿井地下水位和水质监测预警平台建设即通过长期监测废弃煤矿地下水位的变化情况(图3)和水质变化情况^[13-14],分析不同地质及采矿条件下废弃煤矿水位回弹和地下水流场的变化情况,建立废弃煤矿水情变化监测系统和信息数据库,利用移动互联网终端随时主动跟踪监测,实现及时预警、提前防治。

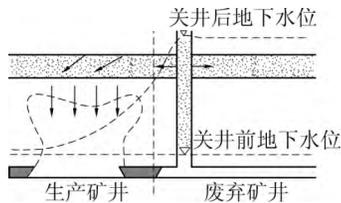


图3 煤矿关闭前后地下水位变化特征

Fig. 3 Variation characteristics of groundwater table pre and post the closure of coal mine

3.3 温度及自燃监测预警平台建设

温度及自燃监测预警平台建设即通过长期监测废弃煤矿钻孔、地表裂隙、矸石山表层和内部温度或CO浓度的变化情况^[15],分析废弃煤矿温度异常区、自燃区或火区的位置和范围,构建采空区和矸石山温度异常及自燃状态预警模型,利用大数据分析和云计算技术,开展火区状态变化及爆炸危险性评估,利用移动互联网终端随时主动跟踪监测,及时预警,及时采取防灭火措施或自燃采空区封闭。

3.4 有毒有害气体监测预警平台建设

有毒有害气体(CH_4 、 CO 、 CO_2 、 NO_x 、 H_2S 等)监测预警平台建设即通过长期监测废弃煤矿预留钻孔(抽采钻孔、封闭不良井筒或钻孔)、地表裂隙、露天矿回填区等有毒有害气体浓度和成分变化情况^[16],利用大数据分析和云计算技术,分析气体浓度和成分变化的原因,开展有毒有害气体泄漏危险性评估,建立废弃煤矿居民生活区或建筑规划区危险预警模型,利用移动互联网终端随时主动跟踪监测,实现及时预警、提前采取通风或工程技术防治措施。

3.5 废弃煤矿区生态环境监测预警平台建设

废弃煤矿区生态环境监测预警平台建设即通过长期监测废弃煤矿区地下水流动系统变化情况、地表塌陷及变形情况、废弃煤矿关闭不到位引起的次生灾害发生情况(矸石山自燃或泥石流灾害及对土地资源的破坏、井口开挖或沉陷形成的不稳定边坡、露天矿回填不及时造成的滑塌等)^[7-10],利用大数

据分析和云计算技术,分析生态环境监测各项指标的变化,建立废弃煤矿生态环境分级综合预警模型,利用移动互联网终端随时主动监测数据的变化,进而实现及时预警。

4 互联网+废弃煤矿隐蔽灾害综合治理与利用技术

互联网+废弃煤矿隐蔽灾害综合治理与利用技术主要包括废弃煤矿生态恢复治理效果评价、废弃煤矿瓦斯储量预测及抽采效果评估、废弃煤矿地下空间综合分级利用等。

4.1 废弃煤矿生态恢复治理效果评价

《关于加快落后小煤矿关闭退出工作的通知》(安监总煤监(2014)44号)中把“矿山环境治理与周边生态环境相协调”作为关闭到位标准之一,这也是对废弃煤矿生态恢复治理效果的基本要求。

“互联网+”时代的废弃煤矿生态恢复治理应基于生态环境监测预警平台,利用遥感、无线传输、物联网、人工智能技术,实时监测土壤、水质、农林牧草等生态环境的变化,对不同的破坏类型进行生态适宜性分区和规划,采用人工修复、自然修复和自修复手段^[10],因地制宜对土地进行工程复垦、生态复垦、生物复垦和组合复垦^[8],使土地复垦与农田改造相结合、农牧渔林综合复垦与企业生态相结合,经济效益与生态效益相统一^[9]。

效果评价基于对生态环境监测各类大数据的分析,利用云计算和移动互联网技术,可以实现实时解算、实时评价、实时监控。一旦发现生态恢复治理效果不好即可及时调整治理方案,改进工作方法,最终达到突出的治理效果。

4.2 废弃煤矿瓦斯储量预测及抽采效果评估

废弃煤矿瓦斯(煤层气)抽采利用不仅可以缓解我国资源短缺问题,还可以最大限度地减少废弃煤矿瓦斯自然逸散造成的大气污染^[26]。经过“十一五”、“十二五”油气重大专项科研攻关,已基本解决了废弃煤矿瓦斯抽采技术难题,对瓦斯储量的准确预测还处于“十三五”攻关阶段。

“互联网+”时代废弃煤矿瓦斯储量预测及抽采效果评估应利用各抽采钻孔浓度及气体成分监测,开启超大规模地层信息数据库大数据查询和录入功能,分析各抽采钻孔的实际瓦斯抽采量和对应废弃煤矿瓦斯储存与开采、地质情况的关系,进而改进瓦斯储量预测模型^[27]和抽采钻孔设计,实现瓦斯储量

精细预测和优化布孔。

4.3 废弃煤矿地下空间综合分级利用

废弃煤矿除可抽采瓦斯进行资源再利用外(适合瓦斯浓度较高废弃煤矿)根据废弃煤矿的类别、位置、可维护情况等,可以对地下空间进行综合分级利用。归纳起来,对废弃煤矿的利用可分为3个等级^[28]:①建立地下试验、车库、观光或娱乐场所等;②建立地下储藏(能)库;③设立垃圾材料回填站。值得一提的是,顾大钊^[29]提出矿井水井下储存利用的新理念,即利用煤炭开采形成的采空区作为储水空间,采用人工坝体将不连续的煤柱坝体连接构成复合坝体,建设煤矿地下水库,并在神东矿区成功建设了示范工程,累计建成32座煤矿地下水库,为矿区提供了95%以上用水,且实现了长期低成本安全稳定运行。谢和平等^[30]提出利用废弃煤矿的开采空间(巷道及采空区)进行井下抽水蓄能发电新技术,并进一步提出了煤矿地下水库、矿井水循环利用与抽水蓄能发电一体化技术构想,为废弃煤矿地下空间综合利用开创了新模式。

“互联网+”时代废弃煤矿地下空间综合分级利用应基于采空区失稳及塌陷监测预警平台,利用井下(无线)传输、大数据分析等技术,根据废弃煤矿利用功能与分级,有差异地进行应力场、裂隙场、位移场实时监控、实时评价、实时预警,保障废弃煤矿的安全利用。

5 结 论

1) 互联网+废弃煤矿隐蔽灾害综合防治涉及移动互联网、大数据、云计算、物联网和煤炭、地勘、机械电子、农林牧业、生态等行业的融合。其核心在于大数据平台建设和云计算技术,大数据平台建设的根本在于数据库的构建。

2) 互联网+废弃煤矿隐蔽灾害综合防治技术涵盖互联网+废弃煤矿隐蔽致灾因素勘查技术、废弃煤矿隐蔽灾害监测预警技术、废弃煤矿隐蔽灾害治理与综合利用技术等3个方面。废弃煤矿隐蔽灾害防治中勘查、监测、利用技术与实践为大数据分析、云计算、物联网、移动互联网技术融合应用奠定了基础,为“互联网+”提供了大数据支持。

3) “互联网+”时代废弃煤矿隐蔽灾害综合防治构建的大数据云平台不只局限于企业内部,更应在行业内分享或网络共享,在做好移动互联网接入安全、数据存储与处理安全、大数据云平台安全的前提下,其实时

远程监测共享服务功能必将倒逼诚信,大幅提高废弃煤矿隐蔽灾害综合防治的技术水平和效果。

参考文献(References):

- [1] 罗军舟,吴文甲,杨明.移动互联网:终端、网络与服务[J].计算机学报,2011,34(4):2029-2051.
Luo Junzhou, Wu Wenjia, Yang Ming. Mobile internet: terminal devices, networks and services [J]. Chinese Journal of Computers, 2011, 34(4): 2029-2051.
- [2] 李乔,郑云.计算概念和影响力解析[J].计算机科学,2011,38(4):32-37.
Li Qiao, Zheng Yun. Cloud computing concepts and impact analysis [J]. Computer Science, 2011, 38(4): 32-37.
- [3] 王珊,王会举,覃雄派,等.架构大数据:挑战、现状与展望[J].计算机学报,2011,34(10):1741-1752.
Wang Shan, Wang Huiju, Qin Xiongpai, et al. Architecting big data: challenges, studies and forecasts [J]. Chinese Journal of Computers, 2011, 34(10): 1741-1752.
- [4] 覃雄派,王会举,杜小勇,等.大数据分析:RDBMS与MapReduce的竞争与共生[J].软件学报,2012,23(1):32-45.
Qin Xiongpai, Wang Huiju, Du Xiaoyong, et al. Big data analysis: competition and symbiosis of RDBMS and MapReduce [J]. Journal of Software, 2012, 23(1): 32-45.
- [5] 孙继平.煤矿物联网特点与关键技术研究[J].煤炭学报,2011,36(1):167-171.
Sun Jiping. Research on characteristics and key technology in coal mine internet of things [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(1): 167-171.
- [6] 李怀展,查剑锋,元亚菲.关闭煤矿诱发灾害的研究现状及展望[J].煤矿安全,2015,46(5):201-204.
Li Huaizhan, Zha Jianfeng, Yuan Yafei. Research status and prospect of hazards caused by close coal mine [J]. Safety in Coal Mines, 2015, 46(5): 201-204.
- [7] 李文,李健.资源整合煤矿采空区灾害特点及防治对策[J].煤矿安全,2015,46(7):179-181,185.
Li Wen, Li Jian. Coal's disaster characteristics of resource integration coal mines and their control countermeasures [J]. Safety in Coal Mines, 2015, 46(7): 179-181, 185.
- [8] 戚鹏,尚煜.废弃矿井的生态环境问题及治理对策[J].生态经济,2015,31(7):136-139.
Qi Peng, Shang Yu. Research on ecological problems and countermeasures of abandoned coal mines [J]. Ecological Economy, 2015, 31(7): 136-139.
- [9] 徐嘉兴,李钢,陈国良,等.矿区土地生态质量评价及动态变化[J].煤炭学报,2013,38(S1):180-186.
Xu Jiaying, Li Gang, Chen Guoliang, et al. Dynamic changes and evaluation of land ecological quality in coal mining area [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(S1): 180-186.
- [10] 胡振琪,龙精华,王新静.论煤矿区生态环境的自修复、自然修复和人工修复[J].煤炭学报,2014,39(8):1751-1757.
Hu Zhenqi, Long Jinghua, Wang Xinjing. Self-healing, natural restoration and artificial restoration [J]. Coal Science and Technology, 2014, 39(8): 1751-1757.

- ration and artificial restoration of ecological environment for coal mining[J].*Journal of China Coal Society* 2014 39(8): 1751-1757.
- [11] 李 文.房采采空区失稳危险性评价[J].*中国安全科学学报*, 2011 21(3): 95-100.
Li Wen. Risk assessment of room method goafs instability [J]. *China Safety Science Journal* 2011 21(3): 95-100.
- [12] Li Wen. Mine earthquake prevention and control technology induced by old coalmine goafs based on surface isolation grouting [C]//3rd International Young Scholars' Symposium on Rock mechanics: Transit Development in Rock Mechanics, London: Taylor and Francis Group 2014.
- [13] 董书宁.对中国煤矿水害频发的几个关键科学问题的探讨[J].*煤炭学报* 2010 35(1): 66-71.
Dong Shuning. Some Key scientific problems on water hazards frequently happened in China's coal mines [J]. *Journal of China Coal Society* 2010 35(1): 66-71.
- [14] 李 庭,冯启言,周 来,等.废弃矿井地下水污染风险评估系统开发[J].*能源环境保护* 2014 28(2): 13-16.
Li Ting, Feng Qiyang, Zhou Lai, et al. Design and development of groundwater contamination risk assessment system for abandoned coal mines [J]. *Energy Environmental Protection* 2014 28(2): 13-16.
- [15] 牛立东,王常兴,王俊峰,等.废弃小煤窑采空区自然火区治理关键技术的应用研究[J].*中国煤炭* 2010 36(1): 91-93 97.
Niu Lidong, Wang Changxing, Wang Junfeng et al. A research on the application of key technology for coal spontaneous combustion control in gob areas of an abandoned small coal mine [J]. *China Coal* 2010 36(1): 91-93 97.
- [16] 崔洪庆,辛事福.废弃煤矿有害气体泄漏灾害及其防治措施[J].*矿业安全与环保* 2009 36(4): 78-80.
Cui Hongqing, Xin Shifu. Control measures on the hazard gas leakage of abandoned coal mine [J]. *Mining Safety & Environmental Protection* 2009 36(4): 78-80.
- [17] 钱建生,马姗姗,孙彦景.基于物联网的煤矿综合自动化系统设计[J].*煤炭科学技术* 2011 39(2): 73-76.
Qian Jiansheng, Ma Shanshan, Sun Yanjing. Design on mine comprehensive automation system based on internet of things [J]. *Coal Science and Technology* 2011 39(2): 73-76.
- [18] 孙继平.“互联网+煤炭”与煤矿信息化[J].*煤炭经济研究*, 2015 35(10): 16-19.
Sun Jiping. "Internet + coal" and coal mine informatization [J]. *Coal Economic Research* 2015 35(10): 16-19.
- [19] 王海军,武先利.“互联网+”时代煤矿大数据应用分析[J].*煤炭科学技术* 2016 44(2): 139-143.
Wang Haijun, Wu Xianli. Analysis on application of coal mine big data in age of "Internet +" [J]. *Coal Science and Technology*, 2016 44(2): 139-143.
- [20] 周 萌,胡建强.石油地球物理勘探+互联网建设构想[J].*国际石油经济* 2015 23(9): 1-5.
Zhou Meng, Hu Jianqiang. Applying internet to geophysical petroleum exploration [J]. *International Petroleum Economics* 2015 23(9): 1-5.
- [21] 程久龙,潘冬明,李 伟,等.强电磁干扰区灾害性采空区探地雷达精细探测研究[J].*煤炭学报* 2010 35(2): 227-231.
Cheng Jiulong, Pan Dongming, Li Wei et al. Study on the detecting of hazard abandoned workings by ground penetrating radar on strong electromagnetic interference area [J]. *Journal of China Coal Society* 2010 35(2): 227-231.
- [22] 刘菁华,王祝文,朱 士,等.煤矿采空区及塌陷区的地球物理探查[J].*煤炭学报* 2005 30(6): 715-719.
Liu Jinghua, Wang Zhuwen, Zhu Shi et al. The geophysical exploration about exhausted area and sinking area in coal mine [J]. *Journal of China Coal Society* 2005 30(6): 715-719.
- [23] 程建远,孙洪星,赵庆彪,等.老窑采空区的探测技术与实例研究[J].*煤炭学报* 2008 33(3): 251-255.
Cheng Jianyuan, Sun Hongxing, Zhao Qingbiao, et al. The detection technology of excavated region in coal mine and case study [J]. *Journal of China Coal Society* 2008 33(3): 251-255.
- [24] 李 文,牟 义,张俊英,等.煤矿采空区地面探测技术与方法优化[J].*煤炭科学技术* 2011 39(1): 102-106.
Li Wen, Mu Yi, Zhang Junying et al. Optimization of surface detection technology and method of mine goaf [J]. *Coal Science and Technology* 2011 39(1): 102-106.
- [25] 李宏杰.浅层地震和瞬变电磁法在采空区探测中的应用研究[J].*煤矿开采* 2013 18(1): 17-18 21.
Li Hongjie. Application of shallow earthquake and transient electromagnetic method in gob exploration [J]. *Coal Mining Technology* 2013 18(1): 17-18 21.
- [26] 韩宝山,张新民,张 群.废弃矿井煤层气资源量计算范围研究[J].*煤田地质与勘探* 2004 32(1): 29-31.
Han Baoshan, Zhang Xinmin, Zhang Qun. Theoretical study on calculation limits of CBM resource of old coal mine [J]. *Coal Geology & Exploration* 2004 32(1): 29-31.
- [27] 秦 伟,许家林,胡国忠,等.老采空区瓦斯储量预测方法研究[J].*煤炭学报* 2013 38(6): 948-953.
Qin Wei, Xu Jialin, Hu Guozhong et al. Study on computing method of old goaf methane reserves [J]. *Journal of China Coal Society* 2013 38(6): 948-953.
- [28] 孟鹏飞.废弃矿井资源二次利用的研究[J].*中国矿业* 2011, 20(7): 62-65.
Meng Pengfei. Study on the recycling of discarded mine resources [J]. *China Mining Magazine* 2011 20(7): 62-65.
- [29] 顾大钊.煤矿地下水库理论框架和技术体系[J].*煤炭学报*, 2015 40(2): 239-246.
Gu Dazhao. Theory framework and technological system of coal mine underground reservoir [J]. *Journal of China Coal Society*, 2015 40(2): 239-246.
- [30] 谢和平,侯正猛,高峰,等.煤矿井下抽水蓄能发电新技术:原理、现状及展望[J].*煤炭学报* 2015 40(5): 965-972.
Xie Heping, Hou Zhengmeng, Gao Feng et al. A new technology of pumped-storage power in underground coal mine: principles, present situation and future [J]. *Journal of China Coal Society*, 2015 40(5): 965-972.