

矿山无线安全监测预警系统设计及关键技术

聂百胜^{1,2} 彭斌^{1,2} 范鹏宏^{1,2} 王龙康^{1,2} 郭昊^{1,2} 于红阳^{1,2} 刘帅^{1,2} 刘旭涛^{1,2}

(1. 中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院,北京 100083; 2. 中国矿业大学(北京)煤炭资源与安全开采国家重点实验室,北京 100083)

摘要: 为了实现煤炭资源理性开发和煤矿安全生产,基于一条线的井巷智慧线技术,根据煤矿生产特点,提出了适用于煤矿的无线安全监测预警系统设计方案,研发了与智慧线匹配的无线通信和监测终端,设计了通风环境参数监测系统、煤岩瓦斯动力参数监测系统、安全隐患监测子系统,构建了基于人人都是安全员、本质安全化、动态预警、闭环控制等核心思想的矿山安全管理预警体系。结果表明,基于智慧线技术的无线安全监测预警系统对煤矿具有很好的适应性,能稳定可靠地进行参数监测和数据传输,能够有效提升煤矿的安全管理和应急救援水平。

关键词: 煤矿安全生产; 智慧线技术; 无线安全监测预警; 安全管理

中图分类号: TD76 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2016)07-0053-06

Design and key technology on early warning system of mine wireless safety monitoring

Nie Baisheng^{1,2}, Peng Bin^{1,2}, Fan Penghong^{1,2}, Wang Longkang^{1,2}, Guo Hao^{1,2},
Yu Hongyang^{1,2}, Liu Shuai^{1,2}, Liu Xutao^{1,2}

(1. School of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;

2. State Key Lab of Coal Resources and Safety Mining, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: In order to realize the reasonable development of the coal resources and the mine safety production, based on one line mine roadway intelligent line technology, according to the mine production features, an early warning design plan suitable for the mine wireless safety monitoring was provided. The wireless communication and monitoring terminal intelligent matched with the intelligent line were researched and developed. The monitoring system of the ventilation environment parameters, the monitoring system of the coal and gas dynamic parameters and the monitoring sub-system of the safety hidden dangers were designed. An early warning system of the mine safety management was established based on every miner been a safety supervisor, intrinsic safety, dynamic early warning, closed-loop control and other core idea. The results showed that based on the intelligent line technology, the early warning system of the wireless safety monitoring with a good suitability to the mine could stably and reliably conduct the parameter monitoring and data transmission and could effectively improve the mine safety management and the emergent rescue level.

Key words: mine safety production; intelligent line technology; wireless safety monitoring and early warning; safety management

0 引言

煤炭是我国主体能源,2006年至2015年煤炭产量保持在30亿t以上,在全国能源产量中的比例一直保持较高^[1-2]。随着煤炭行业安全生产监管体制体系逐步完善,煤矿企业安全管理水平的提高,我

国煤炭行业安全生产形势逐年好转,2015年全国煤炭行业年死亡人数由2006年4746人降至588人,年百万吨死亡率由2006年2.04降至0.157^[3],但与世界发达国家相比仍存在较大差距^[4-5]。高效率的煤矿企业安全管理与安全监测监控系统的先进性和实用性紧密相关。随着计算机技术的迅猛发展和企

收稿日期:2016-03-22;责任编辑:赵瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2016.07.009

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2011CB201202);国家自然科学基金面上资助项目(E041003);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2009K03)

作者简介:聂百胜(1973—),男,山西平陆人,教授,博士生导师。E-mail: bshnie@163.com

引用格式:聂百胜,彭斌,范鹏宏,等.矿山无线安全监测预警系统设计及关键技术[J].煤炭科学技术,2016,44(7):53-58.

Nie Baisheng, Peng Bin, Fan Penghong, et al. Design and key technology on early warning system of mine wireless safety monitoring[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(7): 53-58.

业自身发展的需要,国内主要科研单位和生产厂家相继推出了 KJ2、KJ4、KJ8、KJ10、KJ13、KJ19、KJ38、KJ66、KJ69N、KJ70N、KJ73N、KJ75、KJ76N、KJ78N、KJ90、KJ91N、KJ92、KJ95N、KJ101、KJ102N、KJ160N、KJ169、KJ350、KJ352、KJ397、KJ770、KJF2000、KJ4/KJ2000 和 KJG2000 以及 MSNM、WEBGIS 等有线传输型煤矿安全综合监测监控系统^[6]。但是传统有线传输型监测监控系统的传感器和分站数量多、传输线路趟数多且距离长,传输线路连接复杂,系统安装工作强度大,建网速度较慢。并且井下工作场所移动性,工作条件时刻发生变化,设备设施和人员也需要随工作地点的移动而移动,受传感器和基站传输线缆的牵制,监测监控设备转移不方便。

为了适应井下采掘工作面更替性和井下作业人员流动性,先后出现了漏泄通信系统、PHS、Zigbee、WiFi、3G/4G 等矿井移动通信系统^[7]。漏泄通信系统主要用于井上下语音通信,难以实现监测数据传输。PHS 通信系统因为安全性和传输距离的有限性已很少被矿井采用。现有矿井 ZigBee 系统不支持语音通话功能,带宽很小,难以支持高质量的通信。WiFi 和 4G 全矿井移动通信系统因传输带宽宽,传输距离远,具有语音、图像和数据通信功能,在煤矿安全生产中有一定的应用前景。由于井下巷道拐弯较多,而无线信号穿透能力较弱,通信质量不够理想,会形成一定的信号盲区,因此,若想保持良好的信号,必须在每个拐弯处安装无线发射基站,这样无疑会增加企业成本。

针对传统有线传输型和现有无线安全监测监控系统的缺点,结合智慧矿山^[8-12]和本质化安全管理^[13-16]的理念,提出了一种基于智慧线技术的无线安全监测系统,该系统的井下传输智慧线和转换器布置占用空间小,监测终端不需要信号传输线缆,信号数据传输中继无需基站,系统搭建简便,能够实现空间无线信号全覆盖,各类安全监测信息能够稳定、快速传输,非常适用于井下受限空间。

1 矿山无线安全监测预警系统核心技术及装备

1.1 设计思路

1) 数据传输网络的智能化。利用一条线的智慧线技术,实现作业空间稳定无线信号全覆盖,所有监测信息通过智慧线进行接收和发送。

2) 人员和设备定位信息传输的无线化。研发

与人员和设备匹配的无线终端,在智慧线覆盖范围内全程定位。

3) 语音通信系统的无线化。开发具备语音功能的无线终端,为作业人员提供移动语音通信业务,及时向地面发送风险信息,同时接收地面监控中心的指令。

4) 视频监控系统的无线化。开发与智慧线兼容的无线摄像机,将采集到的实时图像转换为网络数据调制信号无线输出。

5) 可监测参量传感器的无线化。开发动作可靠、性能稳定的无线传感器,减少传感器传输线缆,避免因移动性机械设备挂断传输线路而导致监测失效。

6) 不可监测参量检查仪的无线化。开发无线检查仪,使一线员工和安检人员能连续获取现场无法自动监测的风险信息。

7) 动态预警体系。将作业现场获取的风险信息与预警准则进行对比后直接确定预警级别;将安全管理制度或措施缺陷与半量化的预警准则进行对比后确定预警级别,这个半量化预警准则通过对不安全状态进行打分间接获取。

8) 本质安全化。实现生产现场的信息可监测、风险可预控。对安全隐患和预警的信息实现获取分析、整改、检查确认的闭环控制体系。

1.2 关键技术及装备

1.2.1 矿山智慧线无线通信网络构成

矿山智慧线无线通信网络分为地面数据中心、地面监测系统和井下监测系统,如图 1 所示。

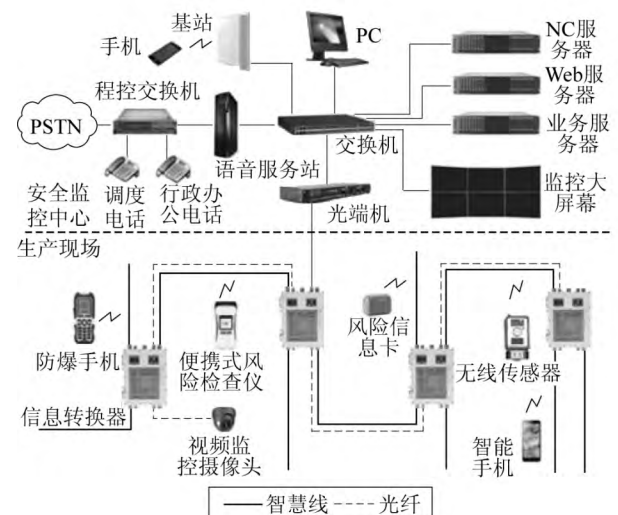


图 1 矿山智慧线无线通信网络

Fig. 1 Smart-line wireless network for coal mine

1) 地面数据中心。由机房、光端机、交换机、各类服务器、显示器、管理系统等组成。光端机、交换机的作用是帮助网络中终端、设备及相关业务平台间的信息实现交互。服务器的功能是实现智慧线网络数据的处理和分发、对网络内的设备终端进行管理、对用户所使用的业务进行控制。服务器包括: 安全隐患监测服务器、定位服务器、广播服务器、存储服务器等, 用于实现相应的业务服务。

2) 地面监测系统由地面基站、便携式风险检查仪和风险信息卡组成。便携式风险检查仪可以通过基站访问数据中心, 接收和传输各种安全信息。

3) 井下系统。井下系统由智慧线、无线传感器、便携式风险检查仪和风险信息卡组成。井下各种监测信息均由智慧线传输至地面数据中心。

1.2.2 网络系统性能指标

系统工作在 2.394~2.507 GHz 共 113 MHz 的频谱范围内, 无线终端数据速率最高可达 2 Mbit/s。系统采用近距离覆盖, 覆盖范围以线缆中心半径 30 m 内, 单一子网线缆长度可达 100 km 以上, 多个子网可分层汇聚成一个巨网。系统可同时支持语音业务和数据业务, 支持终端的高速移动(100 km/h), 网内无缝漫游切换, 支持移动终端的实时定位。

参数及技术指标包括: 多址方式为时分多址、双工方式为时分双工、调制方式为偏移四相相移键控(OQPSK)、信道分配为智能动态分配、切换策略为预加载切换、漫游功能为网内漫游、智慧线射频发射功率为 4.5 dBm、智慧线接收灵敏度为-97 dBm、终端射频发射功率小于 20 dBm、终端接收灵敏度为-97 dBm、无线数据传输速率为 2 Mbit/s、功率控制为自适应功控、误码率为 10^{-8} 、服务质量(QoS)为分级保障、语音业务系统容量为 32 路/km、定位业务系统容量为 3 500 个/km、数据业务系统容量为 5 000 个/km。

1.2.3 智慧线及配套设备

1) 智慧线。智慧线是一种本安型新产品, 外表和普通线缆没有区别, 它将射频单元、基带处理单元、天馈系统以及传输线、电源线等全部汇集到一条线缆内, 采用 TOA 定位方法, 具有无线通信和人员定位功能, 如图 2a 所示。煤矿井下智慧线安装时可悬挂到巷道壁或顶部线缆挂钩上, 适用于弯曲、分支、变坡、遮挡等非视距、无线衰减大的巷道。井下移动监测终端通过空中无线接口接入智慧线网络, 可以实现煤矿井下安全生产信息自动上传。

智慧线基本参数及指标如下: 直径小于 17 mm, 质量 240 kg/km(含线轴), 功耗为 15 W/km, 供电接续距离最长 2 km, 语音信道数 32 个/km, 最大支持定位终端数 3 500 个/km, 防护等级为 IP54, 支持远程软件升级。

智慧线空口参数及指标如下: 无线频率 2.395~2.48 GHz, 射频发射功率-50~0 dBm, 以线缆为轴心可达到半径 30 m 的覆盖范围, 双工方式为时分双工, 调制方式为 OQPSK, 物理信道 22 个, 载波宽度 2 MHz, 数据吞吐量 2 Mbit/s, 接收灵敏度-97 dBm。

智慧线与信息转换器间的传输参数及指标如下: 传输方式为 RS485 总线, 传输速率为双向 921 600 bit/s, 通信信号峰-峰值电压 1~10 V。

2) 信息转换器。信息转换器是智慧线网络中的核心设备, 可挂墙安装, 能够为智慧线供电, 具有 2 条智慧线之间传输数据、存储数据的功能, 可以实现智慧线和以太网的对接, 如图 2b 所示。

信息转换器基本参数及指标如下: 接口端子 10 个(智慧线×4, 光纤×4, RJ45×1, 电源×1), 功耗为 4.5 W, 四向支持智慧线总长 2 km 的负载能力, 存储容量支持 2 h 数据备份, 防护等级为 IP54, 支持远程软件升级。

信息转换器与信息转换器/光端机接口传输参数及指标如下: 传输方式为光信号全双工传输, 传输速率 1.25 Gbit/s, 发射光功率-5~-15 dBm, 接收灵敏度小于-30 dBm, 最大传输距离 10 km。

3) 快速连接器。快速连接器是将 2 根智慧线快速便捷连接起来的插件, 连接起来的智慧线整体具有抗拉性和封闭性, 操作简单快捷, 运输轻便, 如图 2c 所示。矿山初建阶段可快速建网, 矿井应急救援时可实现快速修复。



图 2 智慧线及连网部件

Fig. 2 Smart-line and networking components

4) 便携式无线风险检查仪。集成传感、无线通信、定位、低功耗等技术于一体的产品, 无需安装, 自动接入智慧线网络上报数据及位置信息, 与矿用手

机连接后手机屏幕显示,如图3a所示。主要用于一线工人、安检人员监测所处小范围作业环境空气中的有毒有害气体浓度,及时掌握作业现场的职业卫生安全状况。

便携式无线风险检查仪技术指标及参数包括:激光式探头,响应时间0.1s,测量精度±10%,工作距离0~30m,与矿用手机连接后在手机屏幕显示数据,工作时间10h,功耗小于100mA,自动标定与归零,声光报警(报警声强度不小于80dB),防护等级IP65,支持远程软件升级。

5) 矿用智能手机。可以与智慧线网络实现无线连接,下载和上传安全数据库中的资料,与指挥中心可以进行实时语音通话功能,现场管理人员接受指挥中心的安全生产指令;开发相应的APP,将反映作业区域内人-机-环安全隐患的文本、语音、照片、短视频通过APP快速传至监控中心,如图3b所示。



图3 便携式无线风险检查仪、矿用智能手机和风险信息卡

Fig. 3 Portable wireless inspection tester,

smartphone and person risk information card for mine

智慧线网络下矿用智能手机技术参数及指标包括:射频带宽2MHz、最大发射功率20dBm、接收灵敏度-97dBm、最大传输速率2Mbit/s、防护等级IP54。

6) 人员风险信息卡。根据不同岗位展开设计,每个岗位风险信息卡正面的信息是该岗位工作人员照片、名字、所属班组、岗位操作规程等;背面是该岗位主要的危险因素、造成危险因素起因物以及相应的措施,根据危险因素的风险大小制成不同的颜色,红色代表重大风险,橙色代表较大风险,黄色代表一般风险,危险因素根据风险大小从高到低进行排序,如图3c所示。

7) 定位标识卡。位标识卡是单一功能的智慧线网络专用终端设备,采用低功耗、微型化设计,用于井下人员、设备的位置监控,可连续向智慧线传输

人员、设备移动轨迹,实现快速定位,如图4a所示。

8) 无线监测传感器。无线监测终端采用静态无线传感器和动态无线检测仪表,将设备运行、井下气候、灾害预警参数的监测数据通过智慧线传输至地面监控预警中心,无线监测传感器如图4b所示。



(a) 定位标识卡 (b) 无线监测传感器

图4 定位标识卡和无线监测传感器

Fig. 4 Location identifier and wireless sensor

2 矿山无线安全监测预警技术方案

以智慧线无线通信网络为依托,构建通风环境参数监测系统、煤岩动力参数监测系统、安全隐患监测系统、安全管理及预警系统。

1) 通风环境参数监测系统。运用智慧线技术,以井下巷道通风环境参数物理信号为基础,将温湿度、氧气浓度、瓦斯浓度、一氧化碳浓度、二氧化碳浓度、烟雾浓度、风速、风压等传感器与智慧线进行无线对接,可以实现井下空气有害气体的实时监测与超限预警,如图5所示。

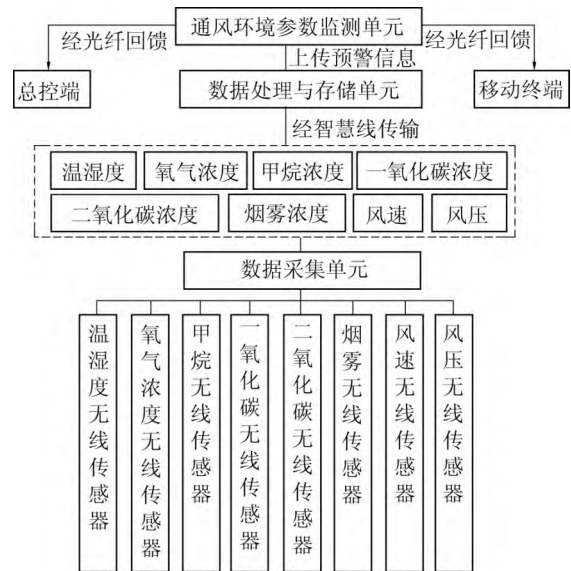


图5 通风环境参数监测系统

Fig. 5 Monitoring system of ventilation parameters

2) 煤岩动力参数监测系统。运用智慧线技术,以工作面煤体物理信号为基础,将煤矿井下瓦斯浓

度传感器、媒体应力计、顶板压力监测监控系统、声发射监测系统、电磁辐射监测系统、微震系统、静电荷监测系统及其传感器与智慧线进行无线对接,如图 6 所示。

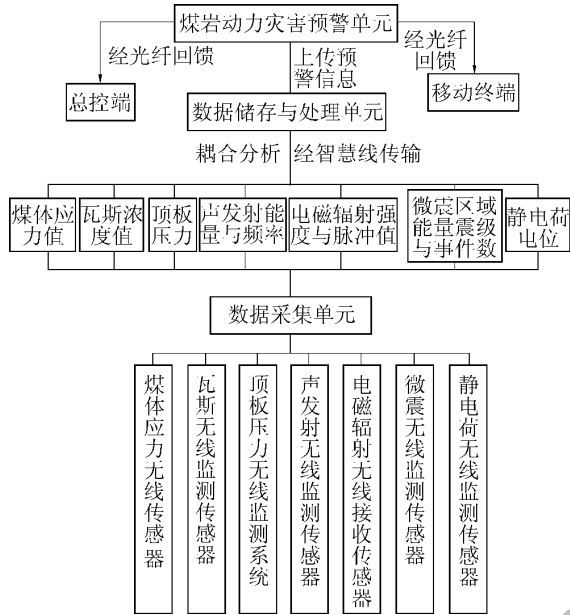


图 6 煤岩动力参数监测系统

Fig. 6 Monitoring system of coal-rock dynamic parameters

3) 安全隐患监测系统。由人工监测系统和无线视频监控系统构成,现场作业人员通过便携式风险检查仪、风险信息卡和矿用智能手机将工人不安全行为的隐患信息以文本、图片或视频的形式,经过智慧线网络上传数据中心。同时不定时监测环境和机械设备的不安全因素,以检验各类传感器的工作状态。地面监控中心还可通过人员定位信息获取安全隐患位置,如图 7 所示。

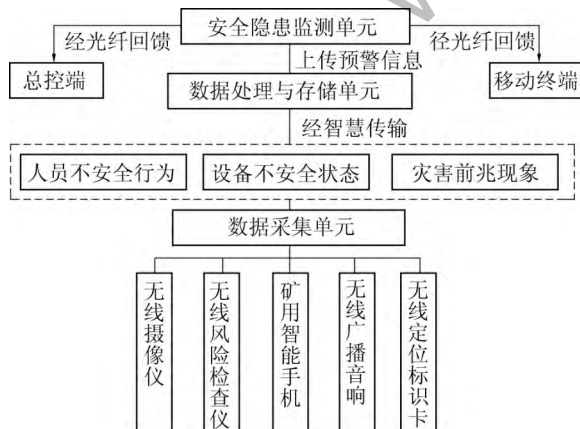


图 7 安全隐患监测系统

Fig. 7 Monitoring system of hidden danger

现场安全检查人员利用便携式风险检查仪对生

产作业现场的职业卫生安全状况进行全方位检查。

发现隐患后认定隐患责任人,评价隐患的危险级别、制定隐患的整改时间等,将检查出的隐患及时上传数据中心。

现场安全检查人员利用矿用智能手机和无线摄像仪将巡检时发现的灾害前兆方面的图片、音频或影像资料通过 APP 软件传送到智慧线,通过智慧线反馈给地面监控中心,以便领导层及时制定应对策略。

现场安全检查人员对作业过程中的各种机械设备或监测仪表的运行状况进行检查、记录、统计、上传数据中心,并可通过无线通信系统及时组织工人排除故障。

地面管理人员利用矿用智能手机 APP 登录煤矿安全数据中心,可以根据一线员工风险信息卡的定位功能,随时查看每个生产环节的作业人员数量和位置,并可以根据现场安全检查人员的定位标识卡实时定位井下安全隐患位置。

4) 安全管理及预警系统。基于上述系统采集生产过程中“人-机-环”安全隐患相关的数据,根据风险预警准则,运用大数据理论对海量安全生产数据进行统计、分析,启动区域预警,确定相关隐患和风险信息的管理责任人,及时对现场隐患和风险进行整改,并对整改到位情况进行再确认。该子系统对煤矿安全管理及应急救援起到辅助决策的作用,如图 8 所示。

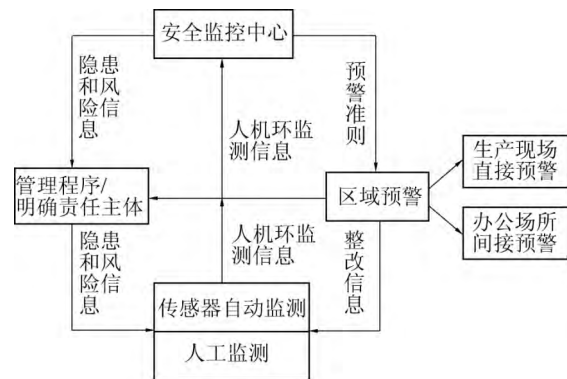


图 8 安全管理及预警系统

Fig. 8 Safety management and pre-warning system

某矿在应用了无线安全监测预警技术后,实现了各类终端监测信息的稳定传输,提高了一线工人的安全素质,减少了煤矿生产过程中的违章次数,减少了安全隐患的数量,降低了伤亡事故发生的概率,降低了事故发生后的损失程度,提高了安全管理效率和安全生产水平。

3 结论与展望

1) 研发了适用于矿山的智慧线及其连接器、信号转换器、矿用智能手机 APP、无线传感器、无线风险检查仪等无线安全监测监控装备。

2) 开发了井下人员设备无线精确定位系统和语音通信系统。

3) 设计了矿井生产设备运行参数、通风环境参量和煤岩体动力参量的无线监测预警系统。

4) 构建了基于人人都是安全员、本质安全化、动态预警、闭环控制等核心思想的矿山安全管理预警体系。

5) 应进一步完善标准与规范体系,消除信息孤岛、重复投资等问题。

6) 应充分运用先进物理、数学、信息手段,充分利用数字化资源,突破智能化安全监测的关键技术,提高软件研发与现场应用的信息融合水平,解决动态安全预警问题。

参考文献(References):

- [1] 国家安全生产监督管理总局. 中国安全生产年鉴(2006—2014) [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007—2015.
- [2] 国家统计局. 2015年国民经济和社会发展统计公报[J/OL]. [2016-02-29]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201602/t20160229_1323991.html.
- [3] 新华网. 2015年我国煤矿百万吨死亡率再创新低[J/OL]. [2016-02-04]. http://news.xinhuanet.com/energy/2015-12/04/c_1117351249.htm.
- [4] 祁海莹. 产煤发达国家生产现状及安全形势分析[J]. 中国煤炭, 2015, 41(8): 140-143.
Qi Haiying. Analysis on production status and safety situation for developed country of coal industry [J]. China Coal, 2015, 41(8): 140-143.
- [5] 国务院安委会办公室. 美加两国矿山安全生产工作方面的经验做法[J]. 中国安全生产, 2016(1): 54-55.
The State Administration of Work Safety. Work experience on mine safety production in America and Canada [J]. China Occupational Safety and Health, 2016(1): 54-55.
- [6] 李继林. 煤矿安全监控系统的现状与发展趋势[J]. 煤炭技术, 2008, 27(11): 3-5.
Li Jilin. Present situation and development of coal mine safety monitoring system [J]. Coal Technology, 2008, 27(11): 3-5.
- [7] 孙继平. 煤矿事故特点与煤矿通信、人员定位及监视新技术[J]. 工矿自动化, 2015(2): 1-5.
Sun Jiping. Characteristics of coal mine accidents and new technologies of coal mine communication, personnel positioning and monitoring [J]. Industry and Mine Automation, 2015(2): 1-5.
- [8] 国务院. 国务院关于印发《中国制造2025》的通知[J/OL]. [2016-02-19]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm.
- [9] 王莉. 智慧矿山概念及关键技术探讨[J]. 工矿自动化, 2014(6): 37-41.
Wang Li. Study on concept and key technologies of smart mine [J]. Industry and Mine Automation, 2014(6): 37-41.
- [10] 徐静, 谭章禄. 智慧矿山系统工程与关键技术探讨[J]. 煤炭科学技术, 2014, 44(4): 79-82.
Xu Jing, Tan Zhanglu. Smart mine system engineering and discussion of its key technology [J]. Coal Science and Technology, 2014, 44(4): 79-82.
- [11] 叶旭东, 王震, 梁壮等. 智慧煤矿的概念和内涵[J]. 煤炭经济研究, 2015, 35(10): 25-28.
Ye Xudong, Wang Zhen, Liang Zhuang et al. Conception and connotation of intelligent coal [J]. Coal Economic Research, 2015, 35(10): 25-28.
- [12] 张旭平, 赵甫胤, 孙彦景. 基于物联网的智慧矿山安全生产模型研究[J]. 煤炭工程, 2012(10): 123-125.
Zhang Xuping, Zhao Fuyin, Sun Yanjing. Study on safety production model of intelligent mine base on internet of things [J]. Coal Engineering, 2012(10): 123-125.
- [13] 聂百胜, 王龙康, 王超等. 选煤厂安全管理系统设计方案[J]. 能源工程, 2011, 26(S1): 1502-1510.
Nie Baisheng, Wang Longkang, Wang Chao et al. Design for safety management system of coal preparation plant [J]. Energy Engineering, 2011, 26(S1): 1502-1510.
- [14] 傅贵, 殷文韬, 董继业等. 行为安全“2-4”模型及其在煤矿安全管理中的应用[J]. 煤炭学报, 2013, 38(7): 1123-1129.
Fu Gui, Yin Wentao, Dong Jiye et al. Behavior-based accident causation: the "2-4" model and its safety implications in coal mines [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(7): 1123-1129.
- [15] 聂百胜, 王亮, 孟筠青等. 企业本质安全宏细微观管理装置: 中国, CN103903096A [P]. 2014-07-02.
- [16] 王龙康. 煤矿安全隐患层次分析与预警方法研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2015.