

煤矿物联网技术及应用

【编者按】2009年11月3日，温家宝总理在《让科技引领中国可持续发展》讲话中将物联网定位于国家战略性新兴产业之一。物联网是继计算机、互联网与移动通信网之后世界信息产业第三次浪潮。目前，煤矿生产与安全监控各子系统由不同的厂商提供，其数据格式、通信方式与协议、自动化水平也各不相同，缺乏公共的应用平台，不支持第三方的服务，不能满足现代煤矿安全生产、灾害预警、应急救援等不断增长的需求。物联网理念的推广与技术的应用将给煤矿自动化及信息化带来革命性的变化，对提升煤矿安全生产管理具有重要意义，也将推动煤炭行业整个产业链的发展。目前煤矿物联网应用还处于起步阶段，为系统报道煤矿物联网技术研究和应用进展，促进学术交流和科研成果转化，本刊组织了“煤矿物联网技术及应用”专题，从矿山物联网架构与平台、人员感知、设备感知、灾害感知、云平台服务等几方面对物联网在矿山的应用进行了介绍，以期为广大煤矿科技工作者提供参考。

夹河煤矿感知矿山物联网方案设计及实施

宋金玲¹，郝丽娜¹，魏培¹，许云良²

(1. 中国矿业大学 物联网研究中心，江苏 徐州 221008; 2. 徐州矿务集团有限公司 夹河煤矿，江苏 徐州 221141)

摘要：针对夹河煤矿信息化特点和感知矿山物联网示范工程设计要求，对夹河煤矿感知矿山物联网进行研究和方案设计。以1 000 MB工业以太网环网为骨干、具备SmartMesh功能的无线网络为补充，实现全矿井无线覆盖。基于物联网3个感知理念，实现了基于GIS的井下移动目标连续定位，定位精度不超过5 m，并能对周围环境参数进行感知和预警；同时能将设备工作状态和健康信息集成，实现设备健康状态感知。最后指出解决灾害预警需采用基于物联网的分布式灾害感知方式。

关键词：物联网；感知矿山；示范工程；分布式灾害感知；夹河煤矿

中图分类号：TD67 **文献标志码：**A **文章编号：**0253-2336(2012)09-0068-04

Design and Practices on Plan of Sensory Mine Internet of Things for Jiahe Mine

SONG Jin-ling¹，HAO Li-na¹，WEI Pei¹，XU Yun-liang²

(1. Research Center of Internet of Things, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;

2. Jiahe Mine, Xuzhou Coal Mine Group Corporation Ltd., Xuzhou 221141, China)

Abstract: According to the information features of Jiahe Mine and the demo project design requirements of the sensory mine internet of things, a study and plan design were conducted on the sensory mine internet of things in Jiahe Mine. Based on the 1 000 MB Industrial Ethernet link network as the backbone and the wireless network with SmartMesh functions as the supplement, the wireless network was covered the full mine. Based on the three sensory conceptions of the internet of things, a mobile target continuous positioning in underground mine was realized based on GIS. The positioning accuracy would not be over 5 m and the sensory and pre-warning could be conducted on the around environment parameters. The working status and health information of the equipment could be integrated and the health status sensory of the equipment could be realized. Finally the paper pointed out that the disaster pre-warning to be solved should be applied with the distribution type disaster sensory mode based on the internet of things.

Key words: internet of things; sensory mine; demo project; distribution sensory; Jiahe Mine

收稿日期：2012-05-09；责任编辑：赵瑞

基金项目：国家自然科学基金面上资助项目(60972059)；江苏省科技支撑计划资助项目(BE2011501)

作者简介：宋金玲(1972—)，女，江苏赣榆人，副教授。Tel: 0516-83899702, E-mail: jlsongrr@163.com

网络出版时间：2012-09-17 10:33:18；网络出版地址：http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120917.1033.201209.68_019.html

引用格式：宋金玲，郝丽娜，魏培，等. 夹河煤矿感知矿山物联网方案设计及实施[J]. 煤炭科学技术，2012，40(9)：68-71，124.

夹河煤矿感知矿山示范工程是我国第一个感知矿山示范工程, 示范工程以物联网理念为指导, 以 3 个感知为重点, 即: ①感知矿山灾害风险, 实现各种灾害事故的预警预报; ②感知矿工周围安全环境, 实现主动式安全保障; ③感知矿山设备工作健康, 实现预知维修。示范工程共分 2 期, 一期主要完成人员环境参数感知、精确定位和基于物联网技术的设备健康状况感知, 并开发相应设备; 二期主要完成基于物联网技术的煤矿灾害征兆感知、预警与减灾控制系统, 并形成规模化生产。2011 年 11 月 23 日, 国家安全生产监督管理总局规划科技司组织有关专家对该物联网示范工程项目进行技术鉴定, 项目总体技术达到国际先进水平。笔者从 3 个感知出发, 讨论了示范工程方案、数据传输模式及建设内容, 示范工程基于物联网技术实现了数字矿山的升级, 为煤矿安全生产提供新的思路。

1 夹河煤矿物联网框架和设计要求

示范工程集采集技术、信息融合、识别与协同、传感网络安全生产、预警、灾后重构再生等技术, 形成具有自主技术的矿山物联网体系。并以煤矿高效、安全和绿色开采为目标, 以技术先进, 整体规划, 分步实施, 经济实用的原则加以设计实现, 其基本的网络架构如图 1 所示。

夹河煤矿基于物联网组网需求, 将原有的网络改造成防爆 1 000 MB 工业以太网, 系统设计的总体要求是: ①煤矿各种信息均能融入骨干网进行传输; ②建立一个基于统一网络的多子系统监控系统、语音通信系统和多路工业电视监控系统, 在调度指挥控制中心监控煤矿井上、井下安全生产全过程, 并通过网络将其传输到煤矿各科室和局调度中心; ③对各监控子系统可建立虚拟专用网, 保证各子系统的相对独立运行; ④可实现有效的流量限制, 防止广播风暴对控制系统造成灾难; ⑤系统具有模块化、热插拔结构, 适合煤矿不间断生产和维护、维修需要; ⑥快速环形冗余网络故障重构时间严格小于 300 ms; ⑦系统统一的编程组态方式, 降低对煤矿用户专业知识的要求; ⑧丰富的网络管理和诊断功能, 便于故障定位和设备的维修。

2 夹河煤矿感知矿山示范工程建设内容

夹河煤矿感知矿山物联网示范工程建设内容主

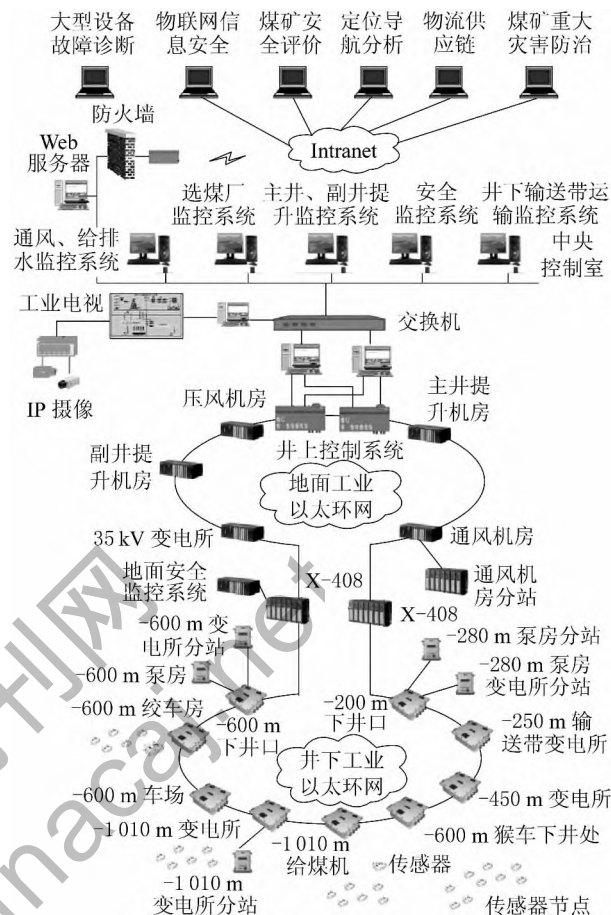


图 1 感知矿山物联网基本架构

要包括: 井下人员环境感知系统、大型设备健康状态感知系统、灾害感知系统、骨干传输与无线感知网络、感知矿山信息集成交换平台、感知矿山信息联动系统、基于 GIS 的井下移动目标连续定位及管理系统、基于虚拟现实的感知信息可视化浏览系统、感知矿山物联网统一管理系统等, 各子系统关系如图 2 所示, 其中, 底层的感知层网络具备自组网及灾后网络重构功能, 感知矿山信息集成交换平台为感知矿山系统的基础平台, 控制网的形式可以有所不同, 但要尽可能满足感知矿山对控制网络传输平台的要求。

3 示范工程网络传输框架

夹河煤矿物联网示范工程网络数据传输结构如图 3 所示, 系统网络由骨干传输网络和无线感知网络构成。

骨干网采用 1 000 MB 工业以太网, 主要由交换机和光纤组成, 交换机负责各子网及子节点接入网络, 采用光纤连接各个交换机构成环网。无线

感知网络基于 WIFI 技术, 为煤矿井下提供一个泛在通信网络, 提供感知信息的传输通道, 为感知矿

工周围安全环境、灾害数据、设备健康状况信息等井下与井上调度提供服务。

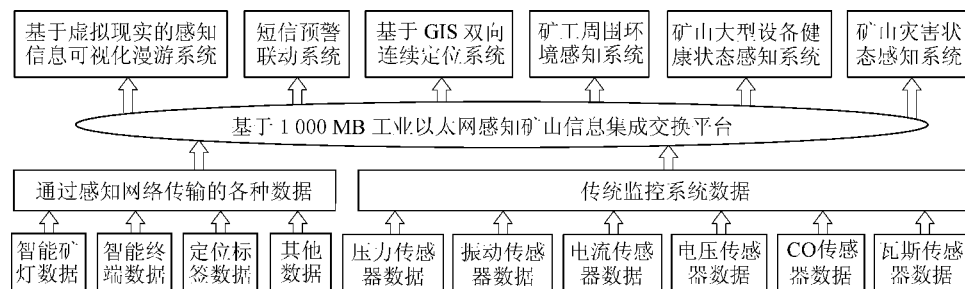


图 2 感知矿山物联网示范工程各系统关系

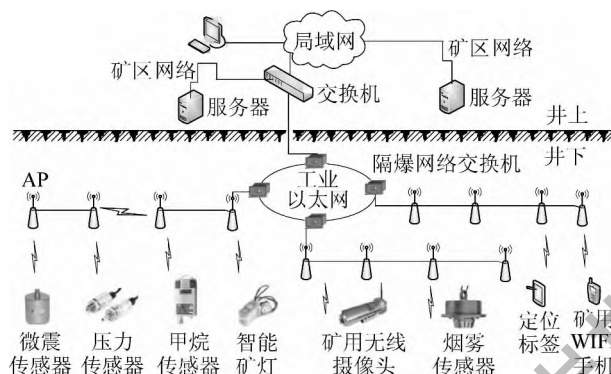


图 3 夹河煤矿物联网示范工程网络数据传输结构

示范工程无线通信系统终端（传感器）主要有智能矿灯、机车定位卡、人员定位卡、无线摄像头、WIFI 手机、各种灾害传感器、用于健康状况诊断的震动传感器等。各种无线终端由智能矿灯等通过煤矿本安型无线基站 AP 传到 1 000 MB 工业以太网上, AP 控制器负责对接入点 AP 的管理, 包括对 AP 的升级、AP 连接情况及 AP 网络故障信息的管理; 接入点负责信息的传输, 把终端采集到的信息发送给服务器并转发服务器数据给终端; 网络交换机是系统中 AP 控制器与服务器的桥梁, 把 AP 从井下采集的各种数据信息经交换机传到服务器中, 以供工作人员查看。

整个网络的组网及网络拓扑的形成是自适应的, 网络基于 802.11 b/g 标准, 采用 OFDM 多载波调制技术, 工作在 2.4 GHz 国际公用频段, AP 具有 SmartMesh 功能, 会不断检测其工作环境和上行链路的带宽状况, 自动地、实时地选择最佳的回传路径。整个网络信号强、带宽大、传输速率快, 可以实现连续人员定位功能, 通过实时调整数据传送速度以加快定位反应的速度, 同时还可以传送实时的语音、图像等信息。

4 矿山物联网示范工程系统设计和实现

夹河煤矿基于示范工程 3 个感知理念, 构建了煤矿人员环境感知系统、设备健康状况感知系统、煤矿灾害预警系统。人员环境感知系统可感知矿工周围温度、瓦斯等井下环境参数, 对井下人员进行定位、动作感知, 同时还可以实现双向通信; 设备健康状况感知系统根据在线监测数据、设备的历史运行状况、同类设备统计数据等综合信息, 通过远程专家诊断平台和专家会诊平台, 实现重点关键设备的智能诊断和状态预测; 煤矿灾害预警系统利用物联网分布式感知技术, 采用新型传感器在井下布设底层感知网络, 建立矿山重大灾害预警模型与计算平台, 为矿山灾害预警与灾后救援提供远程诊断支持。示范工程中所有安全生产、人员、设备、管理等复杂异构信息都统一到一个数据存储平台, 整个系统的时空信息处于同一个集成与交换平台上, 实现各独立的子监控系统信息共享和联动。在调度室能对矿井人员、设备、环境信息等进行联合监控, 从而构建一套基于物联网的预警联动系统。

1) 井下人员环境感知系统。示范工程人员环境感知系统首先可提供照明, 同时可实现井下瓦斯、温度、震动等实时监测和移动目标定位。系统由原来的被动感知变为主动感知, 主要由 WIFI 通信终端、铁锂矿灯灯头、人员定位标签等组成, 智能通信终端包括微控制器、温度传感器、甲烷传感器、加速度传感器、液晶显示器、蜂鸣器、指示灯等部分。该环境感知系统能将采集的数据通过 WIFI 通信技术传输给中央调度室, 及时显示环境温度、甲烷浓度、电池电量、时间、信号强度等, 当甲烷浓度超限时蜂鸣器会发生报警; 具有基于 WIFI 的实时定位功能, 定位精度不超过 5 m; 矿工

和调度室可双向收发短消息,同时可实现对井下人员的健康状况监控。现有的煤矿井下人员与设备定位系统,大多为区段定位型,定位精度低,与煤矿井下真实地理坐标没有直接关系。该示范工程采用基于 GIS 的井下移动目标连续定位,定位精度高,定位系统给出的定位坐标是全矿井真实的地理坐标,同时具备环境信息感知能力和双向通信能力。

2) 设备状态感知系统。设备状态感知系统对夹河煤矿现有的子系统进行自动化改造,实现井上、井下远程监控,建立和完善综采工作面监控系统、主煤流运输监控系统、主副井提升监控系统、主要通风机监控系统、压风机监控系统、排水监控系统、35 kV 变电所监控系统、井下变电所监控系统,将设备的工作状态和健康信息集成起来,在此基础上实现设备健康状态的感知。设备状况感知情况如图 4 所示。设备健康状况感知系统根据在线监测数据、设备的历史运行状况、同类设备统计数据等综合信息,通过远程专家诊断平台和专家会诊平台,实现了重点关键设备的智能诊断和状态预测。



图 4 感知矿山物联网 GIS 系统界面

3) 矿山灾害感知系统。矿山灾害感知是一个难题,一些重大灾害是多种因素共同作用结果,目前矿山灾害监测仪器只能监测一种信息,不能进行多源信息融合;现有的综合自动化系统各传感器、执行器不直接接入主干网络,须通过网络化控制器接入主干网络,子系统工业总线固定布置,一般不适合移动,不能构成逻辑化系统。夹河煤矿物联网示范工程一期中主要完成人员环境感知和设备状况感知,二期中主要完成灾害感知,并继续完善设备状况感知系统。现有的应力传感器等是各自单独的系统,在图3所示的夹河示范工程网络数据传输结构图上,将原来独立的水压监测仪、水温监测仪和电导率监测仪等进行集成,增加无线收发模块,瓦斯、矿震等各种灾害传感器也采用分布式方式直接接入主干网络,可根据应用需求组成逻辑上的应用系统。煤矿透水监测、煤与瓦斯突出监测、

矿压分布监测系统 中的传感器、执行器、控制器等在地理位置上可能分布很远,也可按照应用构成逻辑子系统,完成分布式灾害监测。采用基于物联网分布式灾害监测方式,对煤矿有关环境与地质参数进行实时采集,可深入研究煤与瓦斯突出和爆炸、冲击地压、突水等突发性动力灾害成灾机理,建立煤矿各灾害综合监测预警模型,开发集成监测及预警软件,形成较为完善的煤岩动力灾害综合自动监测预警系统,实现对煤岩动力灾害的自动监测及可靠预警,为灾害防治及安全决策提供科学依据。

5 GIS 管理系统与虚拟现实三维展示平台

示范工程还借助地理信息系统技术、虚拟现实技术、网络通信技术等将与煤矿有关的安全和生产信息集成到统一应用平台上，实现了煤矿可视化的安全生产调度。示范工程突破传统定位系统的缺陷，设计实现了基于矿山物联网的煤矿井下移动目标监控 WebGIS 系统，定位底层数据来源于 WIFI 无线传感器网络，上层采用实际 GIS 地理参考系统，通过坐标系统转换，将实时感知数据与地理环境融合，解决了感知数据的实时定位问题，实时监控井下矿工、机车等移动目标的活动状态及周围环境信息，并可查询目标历史轨迹，在电子矿图上动态回放，为分析井下移动目标运行情况、灾后应急救援提供历史资料。另外，示范工程在统一的时间坐标和空间框架下，将夹河煤矿分布式数据信息资源进行全面、高效、有序的管理和整合，设计和实现了基于虚拟现实的感知矿山三维展示平台，进行可视化三维表达，给使用者提供一种具有真实感、沉浸感、实时化漫游环境。

6 结 语

基于物联网 3 个感知理念, 结合夹河煤矿感知矿山物联网设计要求和建设内容, 讨论了示范工程整体数据传输网络, 并对夹河煤矿各个感知子系统实现过程和功能进行介绍。示范工程首次实现了井下人员周围环境信息的感知, 利用传感网、统一的时空信息交换平台、智能终端, 实现井下矿工与井上调度及矿工之间的短消息和周围传感信息的交互传送, 并实现重大消息的区域转发等功能, 为物联网技术在矿山的应用开辟了新的应用模式。同时指

(下转第 124 页)

表 1 煤样氧化特征与动力学参数

编号	吸氧增重阶段			始分解阶段			开始燃烧 温度/℃
	特征温度/℃	$E/(kJ \cdot mol^{-1})$	相关系数	特征温度/℃	$E/(kJ \cdot mol^{-1})$	相关系数	
1	132.21 ~ 268.46	178.83	0.991	268.46 ~ 339.16	284.34	0.987	339.16
2	152.33 ~ 273.32	191.05	0.976	273.32 ~ 344.00	274.29	0.986	344.00
3	160.87 ~ 266.83	240.25	0.979	266.83 ~ 357.70	258.85	0.980	357.70
4	182.57 ~ 263.36	272.36	0.984	263.36 ~ 369.40	248.50	0.985	369.40
5	135.84 ~ 267.05	210.88	0.985	272.15 ~ 337.78	311.35	0.985	337.78
6	144.13 ~ 265.20	229.85	0.987	265.20 ~ 346.18	280.35	0.981	346.18
7	135.42 ~ 276.89	107.66	0.987	276.89 ~ 357.70	250.25	0.980	357.70
8	144.97 ~ 270.92	101.05	0.980	270.92 ~ 362.08	224.23	0.983	362.08

通过计算得出小粒径气煤的氧化速率约为 0.093 6% /min, 不黏煤自燃前氧化速率约等于 0.198 8% /min, 所以, 可预测不黏煤的实际氧化速率应是气煤的 2.12 倍左右。

3 结 论

1) 受空气中氧的作用, 低变质程度不黏煤低温下表面官能团、侧链结构发生变化, 随氧化程度的增加, 表面碳氧化合物生成与解吸并存, 酸性基团总体增加, 煤结构中小分子逐渐脱落。

2) 煤颗粒度、氧化时间和氧化温度对煤氧化进程均有影响, 随颗粒度降低、时间延长和温度的升高, 氧化程度加剧, 煤的自燃倾向加大。

3) 低变质程度不黏煤较常规炼焦气煤更易氧化, 开始分解和燃烧温度明显较低, 预测存储时间缩短 1/2 以上。

参考文献:

- [1] 李 文, 李保庆. 煤的低温氧化与自燃 [J]. 煤炭转化, 1995, 18 (1): 10-18.
[2] 董希琳, 陈长江, 郭艳丽. 煤炭自燃阻化文献综述 [J].

消防科学与技术, 2002, 3 (2): 28-31.

- [3] 戴广龙. 煤低温氧化过程气体产物变化规律研究 [J]. 煤矿安全, 2007, 38 (1): 1-4.
[4] 陆 伟, 胡千庭. 煤低温氧化结构变化规律与煤自燃过程之间的关系 [J]. 煤炭学报, 2007, 32 (9): 939-944.
[5] 何启林, 王德明. TG-DTA-FTIR 技术对煤氧化过程的规律性研究 [J]. 煤炭学报, 2005, 30 (1): 53-57.
[6] 唐明云, 张国枢, 戴广龙, 等. 空气流量对煤升温氧化影响的实验研究 [J]. 煤矿安全, 2008, 39 (5): 12-13.
[7] 王兰云, 蒋曙光, 梁运涛, 等. 基于静态耗氧实验的煤低温氧化反应动力学分析 [J]. 矿业安全与环保, 2009, 36 (1): 1-3.
[8] 侯 爽. 煤分子活性基团低温氧化过程研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2007: 25-26.
[9] 舒新前, 王祖讷, 徐精彩. 神府煤煤岩组分的结构特征及其差异 [J]. 燃料化学学报, 1996, 24 (5): 426-433.
[10] Martin K A, Chao S S. Structural Group Analysis of Argonne Premium Coals by FTIR Spectroscopy [J]. Preprint Am Chem Soc, Div Fuel Chem, 1988, 33 (3): 17-25.
[11] Xu J C, Xue H L, Deng J. Investigation Into the Surface Active Groups of Coal [J]. Journal of Coal Science & Engineering (China), 2001, 7 (2): 88-96.
[12] 葛新玉. 基于热分析技术的煤氧化动力学试验研究 [D]. 淮南: 安徽理工大学, 2009: 24-28.

(上接第 71 页)

出采用基于物联网的分布式灾害感知组成逻辑子系统, 是解决煤矿灾害预警的发展方向, 同时能适应煤矿生产的动态变化。夹河煤矿示范工程作为我国第一个感知矿山示范工程, 实际运行效果良好, 已通过国家安全生产监督管理总局的鉴定与验收。

参考文献:

- [1] 张 申, 赵小虎. 论感知矿山物联网与矿山综合自动化 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40 (1): 83-86.
[2] 张 申, 丁恩杰, 徐 钊, 等. 物联网与感知矿山专题讲

- [3] 张 申, 丁恩杰, 徐 钊, 等. 物联网与感知矿山专题讲
座 (二) [J]. 工矿自动化, 2010 (11): 129-132.
[4] 张 申, 丁恩杰, 徐 钊, 等. 物联网与感知矿山专题讲
座 (三) [J]. 工矿自动化, 2010 (12): 117-121.
[5] 张 申, 丁恩杰, 徐 钊, 等. 物联网与感知矿山专题讲
座 (四) [J]. 工矿自动化, 2011 (1): 105-108.
[6] 孙彦景, 钱建生, 李世银, 等. 煤矿物联网络系统理论与
关键技术 [J]. 煤炭科学技术, 2011, 39 (2): 69-72.
[7] 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.
[8] 张 申, 丁恩杰, 赵小虎, 等. 数字矿山及其两大基础平
台建设 [J]. 煤炭学报, 2007, 32 (9): 997-1001.